COMMUNICATION TECHNOLOGY

เทคโนโลยีการสื่อสาร

สุวัฒน์ สกุลชาติ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ตำรา วิชาเทคโนโลยีการสื่อสาร

Communication Technology

พิมพ์ครั้งที่ 1 กรกฎาคม 2568

พิมพ์ครั้งที่ 2 ตุลาคม 2568

เรียบเรียงโดย สุวัฒน์ สกุลชาติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

สุวัฒน์ สกุลชาติ.

ตำรา วิชาเทคโนโลยีการสื่อสาร = Communication Technology.--พิมพ์ครั้งที่ 2.--

พระนครศรีอยุธยา : สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, 2568.

266 หน้า.

1. โทรคมนาคม -- เครื่องมือและอุปกรณ์. 2. โทรคมนาคม -- เครื่องส่งและการส่ง. I. ชื่อเรื่อง.

621.382

ISBN (e-book) 978-616-629-757-7

จัดพิมพ์โดย สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (RUS Digital Publishing)
เลขที่ 60 หมู่ 3 อาคารสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ ถนนสายเอเชีย
(กรุงเทพฯ - นครสวรรค์) ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

เบอร์โทร 088-9216914

E-mail digitalpub@rmutsb.ac.th

Website https://dpub.rmutsb.ac.th

คำนำ

ตำราเล่มนี้ ทำการเรียบเรียงขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาในวิชาเทคโนโลยีการสื่อสาร รหัสวิชา 502-30-08 ของหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ซึ่งมีเนื้อหาสาระครอบคลุมคำอธิบายรายวิชาเทคโนโลยีการสื่อสารเกี่ยวกับ หลักการสื่อสารและโทรคมนาคม ระบบวิทยุ เครื่องรับ-ส่งวิทยุสื่อสาร โทรทัศน์และระบบกระจายเสียง ระบบโทรทัศน์วงจรปิด สายส่ง-สายอากาศโทรคมนาคม ระบบรับ-ส่งด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ระบบการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายเทคโนโลยีระบบอินเตอร์เน็ต ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เทคโนโลยีสื่อสารไมโครเวฟ ระบบสื่อสารดาวเทียม และเทคโนโลยีสื่อสารสมัยใหม่

ผู้เขียนได้รวบรวมเรียบเรียงจัดทำเกี่ยวกับเนื้อหาสาระรายวิชาเทคโนโลยีการสื่อสาร ประกอบด้วย การแบ่งเนื้อหาออกเป็น 10 บท โดยบทที่ 1 คือหลักการสื่อสารและโทรคมนาคมเบื้องต้น ในบทนี้จะได้กล่าวถึงระบบนิเวศการสื่อสาร รวมถึงสื่อกลางการสื่อสารในแต่ละประเภท บทที่ 2 ระบบวิทยุ เครื่องรับ-ส่งวิทยุสื่อสาร จะได้กล่าวถึงพื้นฐานการนำคลื่นวิทยุมาประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ บทที่ 3 ระบบโทรทัศน์และกล้องวงจรปิด จะได้กล่าวถึงการพัฒนาระบบโทรทัศน์จากอดีตจนถึงปัจจุบันและการใช้งานระบบกล้องวงจรปิด บทที่ 4 สายอากาศ จะได้กล่าวถึงคุณลักษณะของสายอากาศและการนำสายอากาศไปใช้งาน บทที่ 5 สายอากาศประยุกต์ ซึ่งจะได้กล่าวถึงแนวทางของการพัฒนาสายอากาศในรูปแบบต่าง ๆ ที่สามารถประยุกต์ใช้กับงานที่เป็นแบบเฉพาะทางที่แตกต่างกัน บทที่ 6 เส้นใยแก้วนำแสง จะได้กล่าวถึงโครงสร้างและส่วนประกอบที่สำคัญพร้อมทั้งการนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ประเภทต่าง ๆ บทที่ 7 เครือข่ายเทคโนโลยีระบบอินเตอร์เน็ต จะได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของระบบอินเตอร์เน็ตและการนำไปใช้งานในปัจจุบัน บทที่ 8 ระบบเซลลูลาร์ ไมโครเวฟและดาวเทียม จะได้กล่าวถึงพื้นฐานของระบบสื่อสัญญาณในระบบเซลลูลาร์ ไมโครเวฟและดาวเทียม รวมถึงการนำมาใช้งานในปัจจุบัน บทที่ 9 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี จะได้กล่าวถึงเทคโนโลยีประเภทอาร์เอฟไอดีที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ในปัจจุบันและอนาคต สุดท้ายจะเป็นบทที่ 10 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ จะได้กล่าวถึงเทคโนโลยีประเภทวายฟายและเทคโนโลยีในยุคที่ 5 ที่มีบทบาทสำคัญกับชีวิตประจำวันในปัจจุบันและเทคโนโลยีในยุคที่ 6 ที่กำลังพัฒนาสำหรับอนาคตอันใกล้

สุวัฒน์ สกุลชาติ
20 มิถุนายน 2567

สารบัญ

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญ (ต่อ)

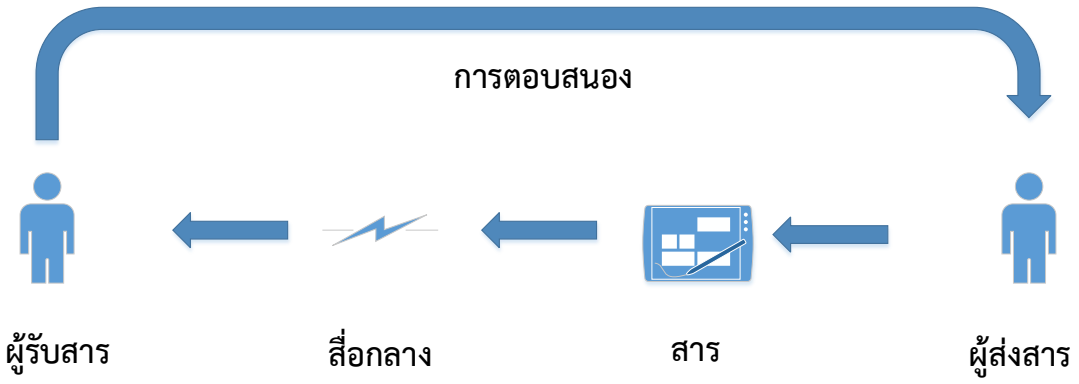
สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 1
หลักการสื่อสารและโทรคมนาคมเบื้องต้น

วิชาเทคโนโลยีการสื่อสาร เป็นวิชาที่มีความสำคัญที่จะเป็นพื้นฐานทางด้านเทคโนโลยีเกี่ยวกับการสื่อสารให้กับนักศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการสื่อสารมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและใช้อยู่ในชีวิตประจำวันรวมถึงในการทำงานและในการประกอบธุรกิจต่าง ๆ โดยจะมีเนื้อหามุ่งเน้นเกี่ยวกับพื้นฐาน หลักการของการสื่อสารตั้งแต่เริ่มต้นมาจนถึงปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ เพื่อจะได้เป็นความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านอื่น ๆ ต่อไปได้

1.1 ระบบนิเวศการสื่อสาร

ในการสื่อสารขั้นพื้นฐานในทุก ๆ ระบบ หรือในทุก ๆ รูปแบบ จะมีองค์ประกอบพื้นฐานที่เหมือนกันคือ ผู้ส่งสาร สาร สื่อกลาง และผู้รับสาร โดยที่ผู้รับสารจะมีการโต้ตอบกลับไปยังผู้ส่งสารหรือไม่ก็ตาม แสดงได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ระบบนิเวศการสื่อสาร

ผู้ส่งสาร (Sender)
สาร (Message)
สื่อกลาง (Media)
ผู้รับสาร (Receiver)

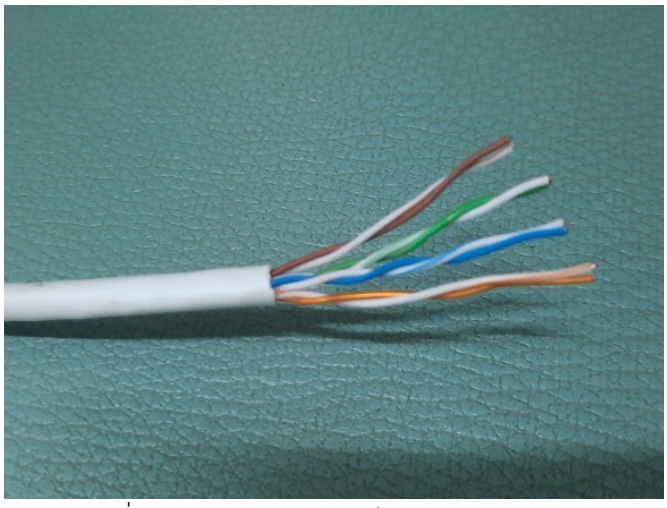
โดยการสื่อสารในลักษณะนี้เริ่มต้นจากการสื่อสารระยะใกล้โดยการพูดคุยกันระหว่างบุคคลเพียง 2 คน ซึ่งจะมีสื่อกลางหรือตัวกลางคืออากาศ ระยะของการสื่อสารหรือพูดคุยนั้นจะมีระยะไม่มากนัก อาจจะมีระยะไม่เกิน 20 เมตร หรือถ้าไกลกว่านั้นอาจทำให้สารหรือคำพูดเกิดความคลาดเคลื่อน ไม่ชัดเจน ไม่ได้ความหมายที่ถูกต้องได้ จากข้อจำกัดที่กล่าวมานี้จึงทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านต่าง ๆ ตามมาอีกมากมาย ทั้งทางด้านสื่อกลางในการสื่อสาร อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อทางด้านส่งและด้านรับ เป็นต้น

1.2 สื่อกลางในการสื่อสาร

เมื่อต้องการการสื่อสารที่ไกลขึ้น จึงได้มีการพัฒนาสื่อกลางที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลเข้ามาช่วยทำให้สามารถสื่อสารกันได้ไกลขึ้นรวมถึงการนำไปใช้ในการสื่อสารข้อมูลด้านต่าง ๆ โดยสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.2.1 สื่อกลางประเภทมีสาย เช่น สายโทรศัพท์ สายใยแก้วนำแสง เป็นต้น

1.2.1.1 สายทองแดงแบบไม่หุ้มฉนวน (Unshield Twisted Pair) หรือที่รู้จักกันในชื่อของสายประเภท UTP โดยลักษณะของสายประเภทนี้จะมี 4 คู่ รวม 8 เส้น ซึ่งจะมีแม่สีเป็นสีหลักและจะมีลูกสีเป็นสีรอง พันตีเกลียวกันไปตลอดความยาวของแต่ละคู่สี และจะถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกสายไว้ภายนอก แสดงได้ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 สายทองแดงแบบไม่หุ้มฉนวน (UTP)

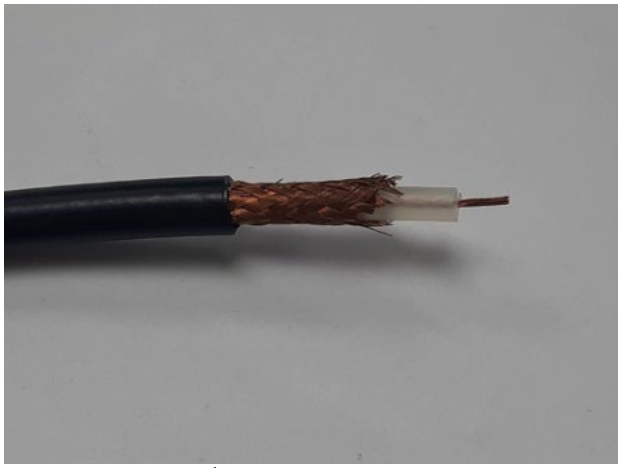
โดยที่แม่สีจะมี 5 สี เรียงตามลำดับได้แก่ สีขาว สีแดง สีดำ สีเหลือง และสีม่วง ส่วนลูกสีรองก็จะมี 5 สี เช่นกัน เรียงตามลำดับได้แก่ สีน้ำเงิน สีส้ม สีเขียว สีน้ำตาล และสีเทา จากรูปที่ 1.2 จะเห็นว่าแม่สีแรกที่นำมาใช้คือสีขาว ส่วนลูกสีรองที่นำมาใช้คือสีน้ำเงิน สีส้ม สีเขียว และสีน้ำตาล โดยขนาดของสายตัวนำทองแดงจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.4, 0.5, 0.65 มิลลิเมตร เป็นต้น โดยจะมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายอยู่ที่ 120 โอห์ม สายประเภทนี้นิยมนำไปใช้งานเป็นสายโทรศัพท์ (Fixed Line) สายอินเตอร์เน็ต สายแลน (LAN) เป็นต้น ซึ่งก็จะนิยมเรียกสายประเภทนี้บ่อยครั้งว่าสายแลนนั่นเอง

1.2.1.2 สายทองแดงแบบหุ้มฉนวน (Shield Twisted Pair) หรือที่รู้จักกันในชื่อของสายประเภท STP โดยลักษณะของสายประเภทนี้จะมี 4 คู่ รวม 8 เส้น มีแม่สีเป็นสีหลักและมีลูกสีเป็นสีรอง พันตีเกลียวกันไปตลอดความยาวของแต่ละคู่สี เช่นเดียวกับสายประเภท UTP แต่ที่แตกต่างกันคือการเพิ่มแผ่นอลูมิเนียมฟอล์ยบาง ๆ ห่อหุ้มสายไว้ 1 ชั้น เพื่อป้องกันคลื่นสัญญาณรบกวนจากภายนอก ก่อนที่จะถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกสายไว้ภายนอก แสดงได้ดังรูปที่ 1.3

สายประเภทนี้นิยมนำไปใช้งานเป็นสายอินเตอร์เน็ตหรือสายแลนที่ต้องการความเสถียรของสัญญาณสูง หรือหากต้องมีการพาดวางสายไปตามแนวเดียวกับสายไฟฟ้าแรงสูง ก็จะใช้สายประเภทนี้ในการเดินสายแทน แต่ก็จะมีราคาที่สูงกว่าสายประเภท UTP ตามไปด้วย

รูปที่ 1.3 สายทองแดงแบบหุ้มฉนวน (STP)

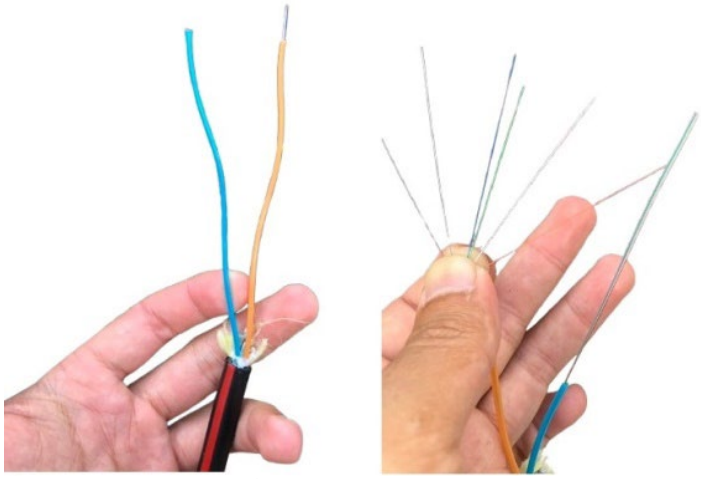
1.2.1.3 สายโคแอคเชียล (Coaxial) จะมีลักษณะเป็นสายเส้นเดี่ยวที่ประกอบไปด้วยสายทองแดงตัวนำอยู่ตรงกลางที่ถูกห่อหุ้มด้วยฉนวน 1 ชั้น ก่อนที่จะนำเส้นทองแดงฝอยขัดสานกันเป็นแพ มาห่อพันไว้โดยรอบและจะถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกสายไว้ภายนอก แสดงได้ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 สายโคแอคเชียล

สายประเภทนี้นิยมนำไปใช้งานเป็นสายเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็ว (Speed) ในการรับส่งข้อมูลสูง มีความถี่ของสัญญาณสูง มีช่องสัญญาณสูง โดยนำไปเชื่อมต่อกับหัวต่อประเภท SMA หรือ BNC ซึ่งจะมีค่าความต้านทานสายตั้งแต่ 50 และ 75 โอห์ม ตามลำดับ

1.2.1.4 สายใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) จะมีลักษณะเป็นสายเส้นเดี่ยวที่ประกอบไปด้วยเส้นใยแก้วนำแสงอยู่ตรงกลางที่ถูกห่อหุ้มด้วยฉนวน 1 ชั้น ที่มีสีที่แตกต่างกันก่อนที่จะนำเส้นใยฝอยขัดสานกันเป็นแพ มาห่อพันไว้โดยรอบและจะถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกสายไว้ภายนอก แสดงได้ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 สายใยแก้วนำแสง

สายใยแก้วนำแสงนิยมนำไปใช้งานเป็นสายเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่ต้องการความเร็ว (Speed) ในการรับส่งข้อมูลสูง มีความถี่ของสัญญาณสูง มีช่องสัญญาณสูง ส่งสัญญาณระยะไกล โดยนำไปเชื่อมต่อกับหัวต่อประเภท FC, SC, LC, D4, DIN เป็นต้น ซึ่งจะมีข้อดีกว่าการใช้สายตัวนำประเภททองแดงคือ

สามารถป้องกันการรบกวนจากสัญญาณไฟฟ้าได้ดี
สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไกล ๆ โดยไม่ต้องมีตัวขยายสัญญาณกลางทาง
ไม่สามารถดักจับสัญญาณระหว่างทางได้ จึงมีความปลอดภัยมากกว่าสายทองแดง
ส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงและสามารถส่งสัญญาณขนาดใหญ่ ๆ ได้ดี
สายมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา
ปัจจุบันมีราคาไม่แพงมาก

1.2.2 สื่อกลางประเภทไร้สายหรือการส่งสัญญาณผ่านอากาศ ด้วยคลื่นความถี่ซึ่งมีการใช้งานในย่านความถี่ที่หลากหลาย โดยใช้ระบบการรับส่งสัญญาณจากอุปกรณ์ต้นกำลัง เช่น ระบบไมโครเวฟ ระบบดาวเทียม ระบบวายฟาย เป็นต้น

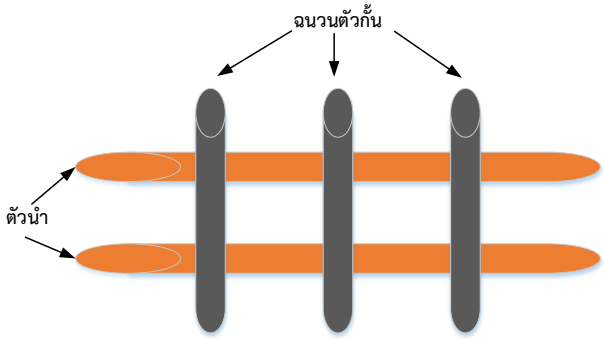
1.3 สายส่งสัญญาณ

สำหรับสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลประเภทมีสายนั้นยังสามารถแบ่งออกได้ตามชนิดของสายส่งสัญญาณได้ 2 ชนิด คือ

1.3.1 สายส่งสัญญาณชนิดโลหะตัวนำ

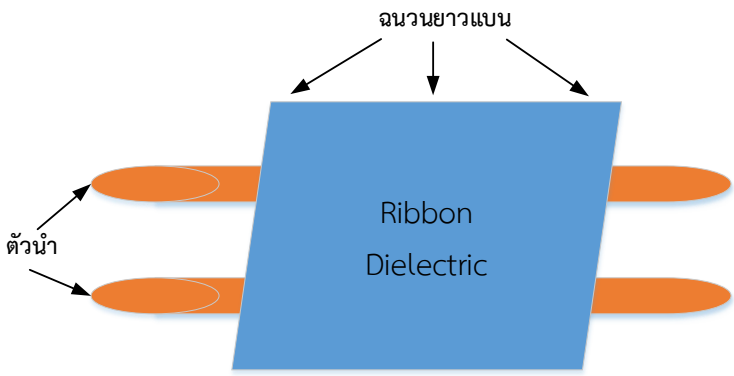
1.3.1.1 แบบสายคู่ (Two Wires)

1.3.1.1.1 สายคู่ขนานช่องเปิด (Two Wires Open Air) นิยมนำมาใช้เป็นสายส่งกำลังไฟฟ้า นำมาใช้ระหว่างสายอากาศกับเครื่องรับสัญญาณ แต่มีข้อเสียคือการสูญเสียพลังงานในการแพร่กระจายคลื่นจำนวนมากและง่ายต่อการถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนประเภทต่าง ๆ (Noise) แสดงได้ดังรูปที่ 1.6



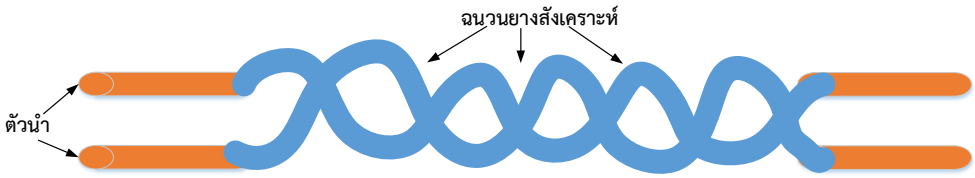
รูปที่ 1.6 โครงสร้างของสายคู่ขนานช่องเปิด

1.3.1.1.2 สายคู่ขนานช่องปิด (Two Wires Ribbon) มีค่าอิมพีแดนซ์ของสายประมาณ 300 โอห์ม นิยมนำมาใช้ระหว่างสายอากาศกับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ โดยมีโครงสร้างของสายคล้ายกับสายคู่ขนานช่องเปิดแต่มีการสูญเสียพลังงานในการแพร่กระจายคลื่นที่น้อยกว่ามาก แสดงได้ดังรูปที่ 1.7



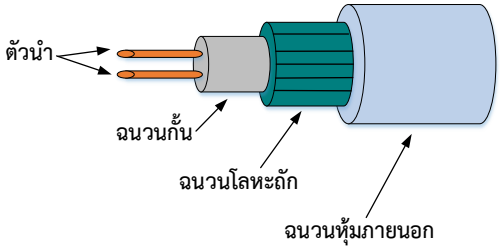
รูปที่ 1.7 โครงสร้างของสายคู่ขนานช่องปิด

1.3.1.1.3 สายตีเกลียวคู่ (Twisted Pairs) มีโครงสร้างของสายเป็นสายตัวนำที่พันห่อหุ้มด้วยยางสังเคราะห์ 2 เส้นตีเกลียวคู่กันไปตลอดความยาวของสาย เพื่อช่วยป้องกันการรบกวนจากสัญญาณภายนอกจากการหักล้างกันของสัญญาณรบกวนไปตามเกลียวที่พันกันของสายทั้ง 2 เส้น แสดงได้ดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 โครงสร้างของสายตีเกลียวคู่

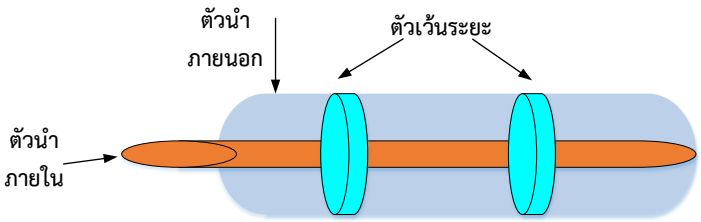
1.3.1.1.4 สายคู่หุ้มด้วยฉนวน (Shielded Pairs) มีโครงสร้างของสายเป็นสายตัวนำ 2 เส้นวางคู่ขนานกันตลอดความยาวสาย และหุ้มด้วยฉนวนกั้นมีเส้นโลหะฝอยขัดสานกันเป็นแพ เพื่อช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก และด้านนอกสุดจะหุ้มด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง แสดงได้ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 โครงสร้างของสายตีเกลียวคู่

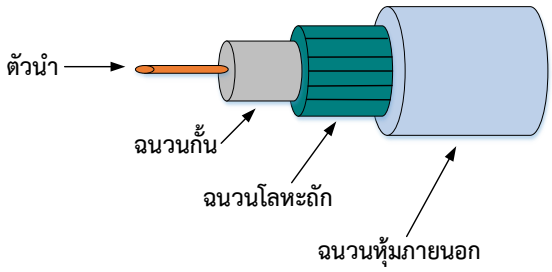
1.3.1.2 แบบสายแกนร่วมหรือสายโคแอคเชียล (Coaxial Cable)

1.3.1.2.1 สายโคแอคเชียลชนิดแข็ง มีโครงสร้างของสายเป็นสายตัวนำอยู่ภายใน (Inner Conductor) และมีตัวนำครอบกันอยู่รอบนอกอีกชั้น ภายในสายจะบรรจุก๊าซประเภทฮีเลียม อาร์กอน หรือไนโตรเจน ไว้เพื่อทำให้เกิดความดัน แสดงได้ดังรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 โครงสร้างของสายโคแอคเชียลชนิดแข็ง

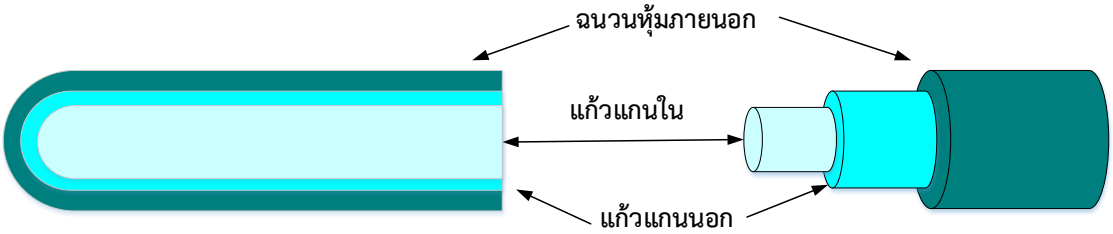
1.3.1.2.2 สายโคแอคเชียลชนิดอ่อน มีโครงสร้างของสายเป็นสายตัวนำอยู่ภายใน (Inner Conductor) และมีฉนวนหุ้มครอบกันอยู่รอบนอก 1 ชั้น ตามด้วยฉนวนที่เป็นโลหะถัก จากนั้นจะห่อหุ้มด้วยฉนวนภายนอกอีกชั้นหนึ่ง แสดงได้ดังรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 โครงสร้างของสายโคแอคเชียลชนิดอ่อน

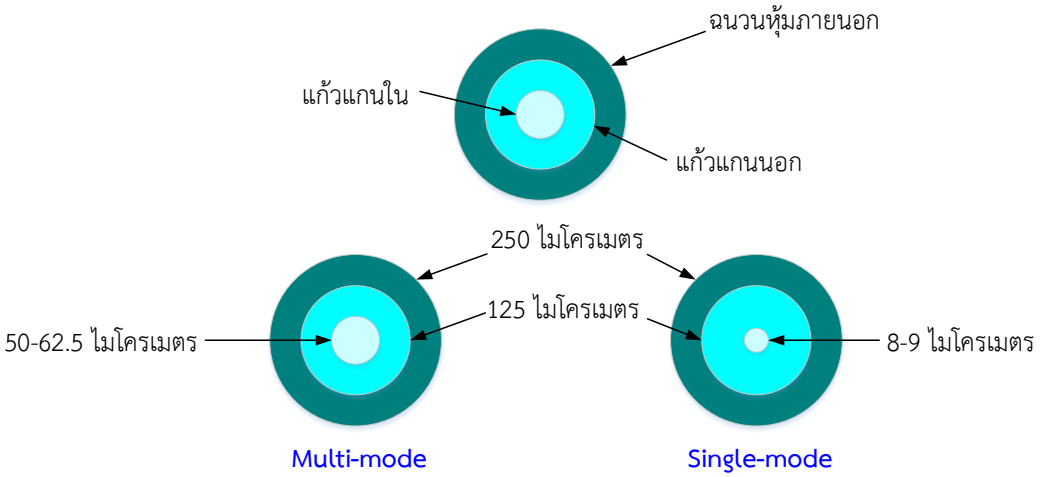
1.3.2 สายส่งสัญญาณชนิดอโลหะ

สายส่งสัญญาณชนิดอโลหะหรือสายส่งสัญญาณที่ไม่ได้ทำจากโลหะ ซึ่งก็คือสายใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) โดยจะทำจากเส้นแก้วบริสุทธิ์ที่ประกอบด้วยแก้วแกนใน (Core) ซึ่งเป็นส่วนที่ให้แสงเดินทางผ่านและจะมีแก้วแกนนอก (Cladding) ทำหน้าที่จำกัดแสงให้อยู่ที่แกนภายใน โดยจะถูกแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือสายใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (Single-mode: SM) กับชนิดหลายโหมด (Multi-mode: MM) ซึ่งโครงสร้างโดยรวมของสายใยแก้วนำแสง แสดงได้ดังรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 โครงสร้างโดยรวมของสายใยแก้วนำแสง

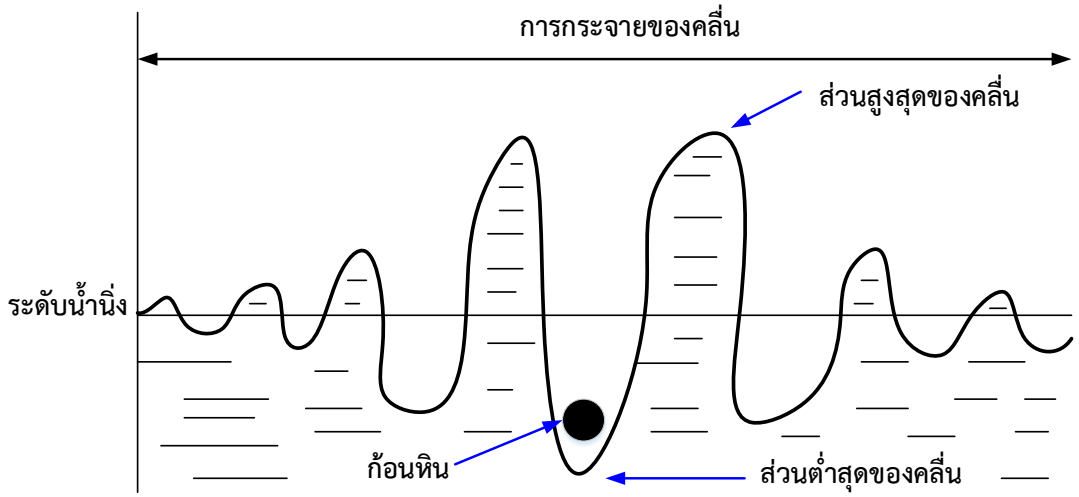
โดยที่สายใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวจะมีขนาดของแก้วแกนในอยู่ที่ประมาณ 8-9 ไมโครเมตร ส่วนชนิดหลายโหมดจะมีขนาดของแก้วแกนในอยู่ที่ประมาณ 50-62.5 ไมโครเมตร โดยมีขนาดของแก้วแกนนอกเท่ากันที่ 125 ไมโครเมตร และฉนวนหุ้มภายนอกจะมีขนาด 250 ไมโครเมตร ลักษณะโครงสร้างของสายทั้ง 2 ชนิด แสดงได้ดังรูปที่ 1.13



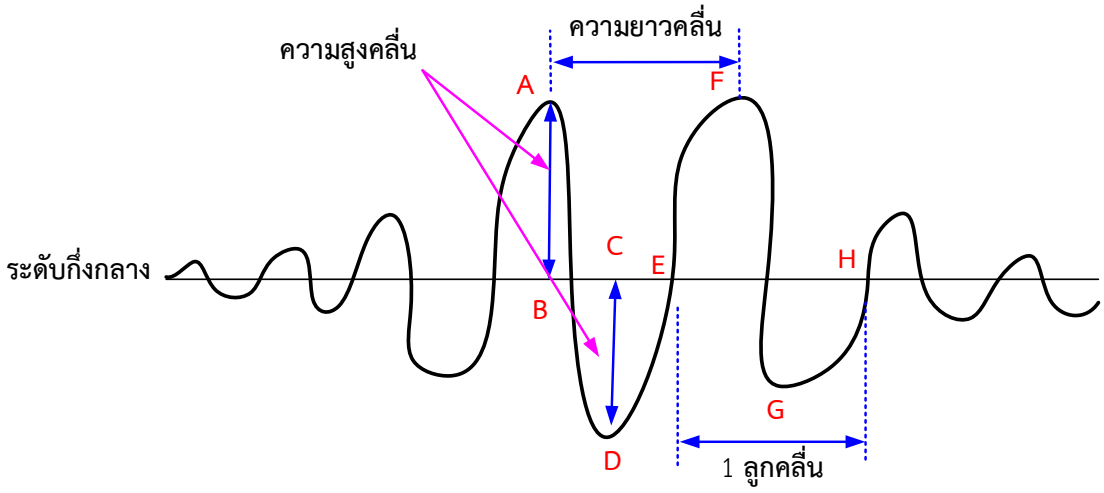
รูปที่ 1.13 โครงสร้างของสายใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวและชนิดหลายโหมด

1.4 การกำเนิดคลื่น

คลื่น (Wave) คือพลังงานรูปแบบหนึ่งซึ่งกำเนิดขึ้นมาจากการกระทำของพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง และจะสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้นั้นจะต้องอาศัยพาหะพาไป สามารถอธิบายเปรียบเทียบได้โดยการโยนก้อนหินลงในน้ำที่นิ่ง ก้อนหินนั้นจะทำให้น้ำนั้นเกิดคลื่นสูงเคลื่อนซ้อนกันไปเรื่อย ๆ เป็นระลอก ๆ กระจายออกไปเป็นวงกว้างแต่จะมีความสูงที่ค่อย ๆ ลดลง จนสุดท้ายก็จะราบเรียบเท่ากับระดับผิวน้ำตามเดิม แสดงได้ดังรูปที่ 1.14



รูปที่ 1.14 ตัวอย่างการเกิดคลื่นบนผิวน้ำ



รูปที่ 1.15 ส่วนประกอบของคลื่นบนผิวน้ำ

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของคลื่นแสดงได้ดังรูปที่ 1.15 จะมีชื่อเรียกต่างกันอธิบายได้ดังนี้

1. ระยะ AB เป็นระยะที่สูงสุดของคลื่น หรือเรียกว่าแอมพลิจูด (Amplitude)

2. ระยะ A ถึง F เป็นระยะห่างจากยอดคลื่นหนึ่งไปยังอีกยอดคลื่นหนึ่ง หรือเรียกว่าความยาวคลื่น (Wave Length)

3. ระยะ E ไป F ไป G ครบส่วนที่ H เรียกการลากเส้นครบรอบของคลื่นนี้ว่า 1 ลูกคลื่น หรือ 1 ไซเคิ้ล (Cycle)

4. รูปคลื่นในลักษณะนี้จะมีลักษณะคล้ายคลื่นไซน์ (Sine Wave)

5. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น จะเรียกเป็นจำนวนไซเคิ้ลต่อ 1 วินาที (Cycle/Sec) และถูกเรียกว่าความถี่ (Frequency) ถ้าหากคลื่นเคลื่อนที่ได้ 100 ไซเคิ้ลต่อ 1 วินาที จะเรียกว่าเป็นคลื่นที่มีความถี่ 100 ไซเคิ้ล ต่อวินาที (100 c/s) โดยความถี่ของคลื่นจะมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz) ใช้ตัวย่อเป็น Hz แทนการใช้ไซเคิ้ลต่อวินาที (Cycle/Sec)

ตารางที่ 1.1 ชนิดของคลื่นและการแบ่งช่วงความถี่

ชนิดของคลื่น	ย่านความถี่	ย่านความยาวคลื่น
1. คลื่นความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง	0 - 400 Hz	α - 750 km
2. คลื่นความถี่เสียง	20 Hz - 20 KHz	15,000 km - 15 km
3. คลื่นความถี่วิทยุ	3 KHz - 3 THz	100 km - 0.1 mm
4. คลื่นความร้อน (แสงอินฟราเรด)	300 GHz - 375 THz	1 mm - 0.8 μm
5. คลื่นแสง	375 THz - 750 THz	0.8 μm - 0.4 μm
6. คลื่นรังสีอัลตราไวโอเลต	750 THz - $3x10^4$ THz	0.4 μm - 100 nm
7. คลื่นรังสีเอ็กซ์	$3x10^3$ THz - $3x10^7$ THz	100 nm - 10 pm
8. คลื่นรังสีแกมมา	$3x10^6$ THz - $3x10^9$ THz	100 pm - 0.1 pm
9. คลื่นรังสีคอสมิค	$3x10^8$ THz เป็นต้นไป	0.5 pm ลงมา

1.5 คลื่นเสียงและคลื่นความถี่

คลื่นเสียงหรือความถี่เสียง (Audio Wave or Audio Frequency) คือความถี่ที่อยู่ในช่วงที่มนุษย์สามารถเปล่งเสียงออกมาได้และสามารถรับฟังได้ โดยจะมีความถี่อยู่ในช่วง 20-20000 Hz ซึ่งช่วงความถี่นี้คลื่นเสียงจะไม่สามารถเดินทางไปได้ไกลมากนัก เพราะเป็นคลื่นที่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำจะเกิดการจางหายไปในอากาศได้ง่าย ซึ่งเสียงพูดของมนุษย์ที่พูดและฟังกันรู้เรื่อง เข้าใจความหมายจากการพูดคุยในภาษาเดียวกันหรือภาษาที่สื่อสารกันได้จะมีความถี่อยู่ที่ประมาณ 20-3400 Hz โดยเสียง

ที่หูของมนุษย์ได้ยินดีที่สุดจะอยู่ประมาณ 2000 Hz และที่ความถี่เสียงสูงขึ้นไปประมาณ 15000 Hz หูของมนุษย์ก็เกือบจะไม่ได้ยินเสียงนั้นแล้ว

ตารางที่ 1.2 ชนิดของคลื่นความถี่วิทยุและช่วงการนำไปใช้งาน

ชื่อ	ย่านความถี่	ช่วงความยาวคลื่น	การนำไปใช้งาน
1. Very Low Frequency (VLF)	3 KHz - 30 KHz	100 km - 10 km	การสื่อสารระยะไกล
2. Low Frequency (LF)	30 KHz - 300 KHz	10 km - 1 km	การส่งวิทยุคลื่นยาว, วิทยุเดินเรือ
3. MEDIUM Frequency (MF)	300 KHz - 3 MHz	1 km - 100 m	วิทยุกระจายเสียง AM
4. High Frequency (HF)	3 MHz - 30 MHz	100 m - 10 m	วิทยุคลื่นสั้น, วิทยุสมัครเล่น
5. Very High Frequency (VHF)	30 MHz - 300 MHz	10 m - 1 m	คลื่น TV, วิทยุกระจายเสียง FM
6. Ultra High Frequency (UHF)	300 MHz - 3 GHz	1 m - 10 cm	คลื่น TV, เรดาห์, ไมโครเวฟ
7. Super High Frequency (SHF)	3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm	เรดาห์, ไมโครเวฟ, ดาวเทียม
8. Extremely High Frequency (EHF)	30 GHz - 300 GHz	1 cm - 1 mm	งานวิจัยและงานทดลอง
9. ย่านที่ยังไม่มีชื่อ	300 GHz - 3 THz	1 mm - 0.1 mm	งานวิจัยและงานทดลอง

คลื่นความถี่หรือคลื่นวิทยุ (Radio Frequency or Radio Wave) คือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้น โดยมีความเร็วคงที่อยู่ในช่วงความถี่ 10 KHz ถึง 300 GHz และเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว (Velocity) ประมาณ $3x10^8$ เมตร/วินาที โดยความยาวคลื่นจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วและความถี่ดังสมการที่ (1.1)

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{1.1}$$

โดยที่

λ คือ ความยาวคลื่น (Wavelength) มีหน่วยเป็นเมตร

c คือ ความเร็วของคลื่นวิทยุ (Velocity) มีหน่วยเป็นเมตร/วินาที
f คือ ความถี่ (Frequency) มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) คือคลื่นที่สร้างขึ้นมาจากการผสมกันระหว่างกระแสภายในสายอากาศวิทยุทำให้เกิดเป็นสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) และแรงดันที่ตกคร่อมสายอากาศวิทยุทำให้เกิดเป็นสนามไฟฟ้า (Electric Field) เมื่อนำสนามทั้งสองมารวมเข้าด้วยกันจะได้เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งช่วงความถี่ออกได้ดังตารางที่ 1.1 และสามารถแบ่งช่วงของคลื่นความถี่วิทยุตามลักษณะการนำไปใช้งานได้ดังตารางที่ 1.2

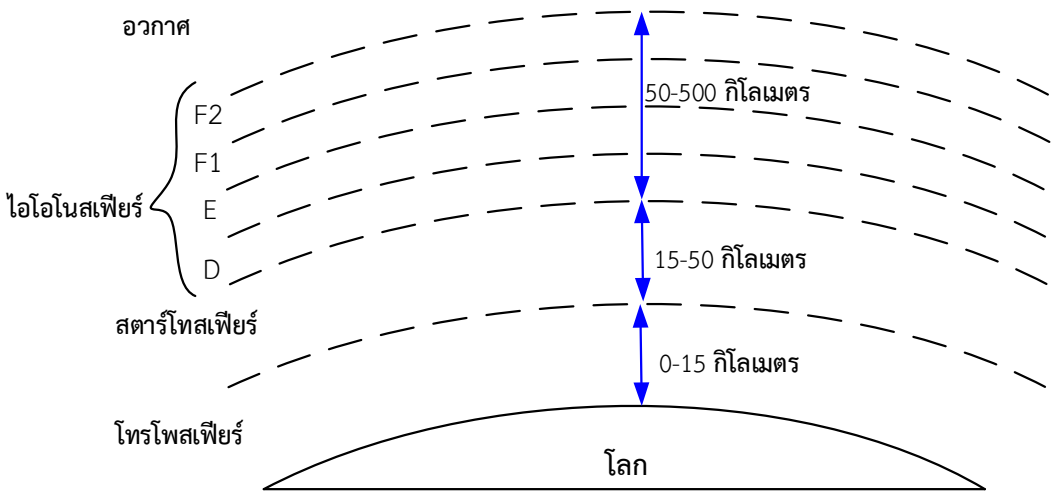
โดยหน่วยของความถี่ในแต่ละช่วงสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. หน่วยความถี่ที่สูงกว่าเฮิรตซ์ขึ้นไป สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1 กิโลเฮิรตซ์ (Kilo Hz: KHz)	= 10^3 Hz
1 เม็กกะเฮิรตซ์ (Mega Hz: MHz)	= 10^6 Hz
1 จิกกะเฮิรตซ์ (Giga Hz: GHz)	= 10^9 Hz
1 เทราเฮิรตซ์ (Tera Hz: THz)	= 10^{12} Hz

2. หน่วยความยาวคลื่น สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1 กิโลเมตร (Kilometer: km)	= 10^3 m
1 เซนติเมตร (Centimeter: cm)	= 10^{-2} m
1 มิลลิเมตร (Millimeter: mm)	= 10^{-3} m
1 ไมโครเมตร (Micrometer: μm)	= 10^{-6} m
1 นาโนเมตร (Nanometer: nm)	= 10^{-9} m
1 พิโกเมตร (Picometer: pm)	= 10^{-12} m



รูปที่ 1.16 การแบ่งชั้นบรรยากาศ

1.6 ชั้นบรรยากาศ

ชั้นบรรยากาศ (Atmosphere) เป็นชั้นของอากาศที่ระดับความสูงจากพื้นดินที่แตกต่างกันก่อนจะถึงชั้นอวกาศ โดยจะแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับชั้นคือ 1. ชั้นโทรโพสเฟียร์ 2. ชั้นสตาร์โทสเฟียร์ และ 3. ชั้นไอโอโนสเฟียร์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.16

1. ชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศในช่วงแรกมีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 0-15 กิโลเมตร ที่ทำให้เกิดการหักเหของคลื่นวิทยุโดยมีผลต่อการกระจายของคลื่นวิทยุ

2. ชั้นสตาร์โทสเฟียร์ (Stratosphere) เป็นชั้นบรรยากาศในลำดับที่ 2 มีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 15-50 กิโลเมตร

3. ชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่สูงสุด มีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 50-500 กิโลเมตร ซึ่งจะมีไอออน (Ion) ที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนหรือสะท้อนคลื่นวิทยุได้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นชั้นย่อย ๆ ได้อีก 4 ชั้น คือ

ชั้น D (D-Layer) มีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 50-90 กิโลเมตร มีคุณสมบัติในการสะท้อนคลื่นวิทยุย่านความถี่สูงและดูดกลืนคลื่นวิทยุความถี่ต่ำ

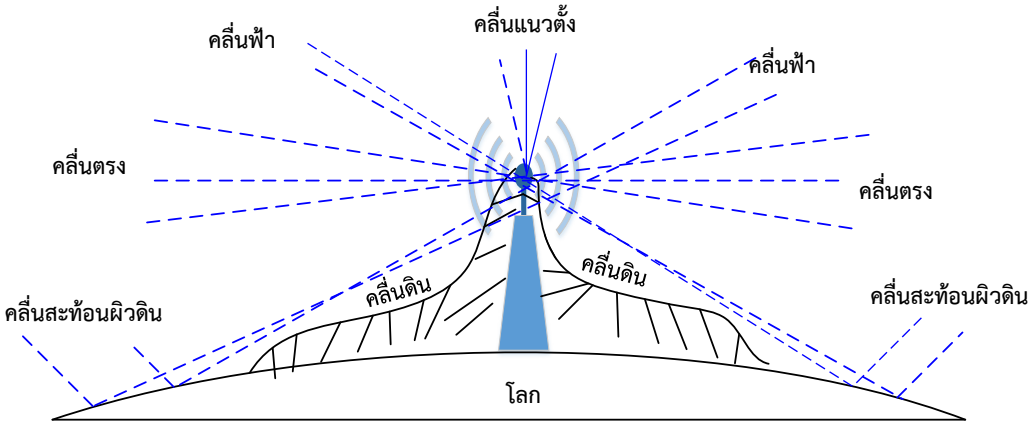
ชั้น E (E-Layer) มีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 110 กิโลเมตร มีคุณสมบัติในการสะท้อนกลับของคลื่นวิทยุสู่ผิวโลก

ชั้น F1 (F1-Layer) มีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 175-250 กิโลเมตร มีคุณสมบัติของการสะท้อนคลื่นวิทยุในการรับส่งความถี่ระยะไกล

ชั้น F2 (F2-Layer) มีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 250-500 กิโลเมตร มีคุณสมบัติในการใช้งานกับการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง (HF)

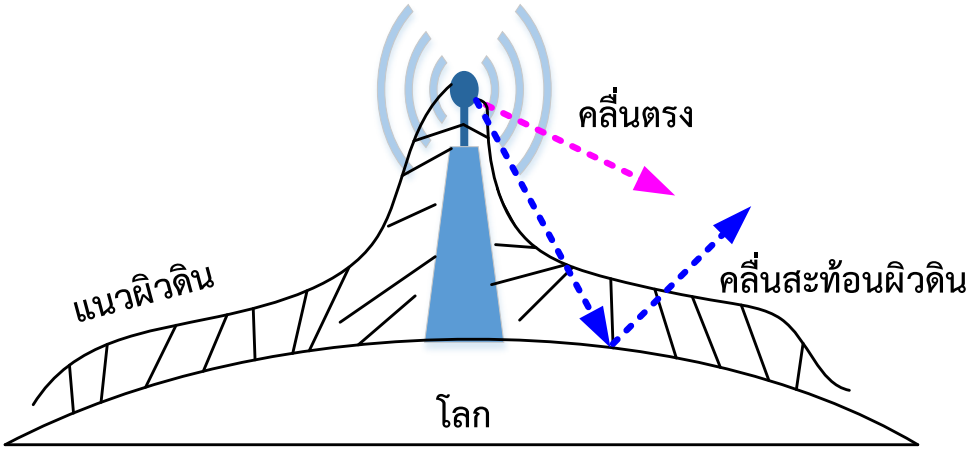
1.7 การแพร่กระจายคลื่นความถี่

จากการศึกษาเรื่องชั้นบรรยากาศทำให้สามารถคาดการณ์และประเมินแนวทางวิธีการแพร่กระจายคลื่นวิทยุไปในชั้นบรรยากาศได้ โดยสามารถแบ่งการแพร่กระจายคลื่นออกได้เป็น 4 ประเภท คือคลื่นดิน คลื่นฟ้า คลื่นโทรโพสเฟียร์ และคลื่นตรง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.17



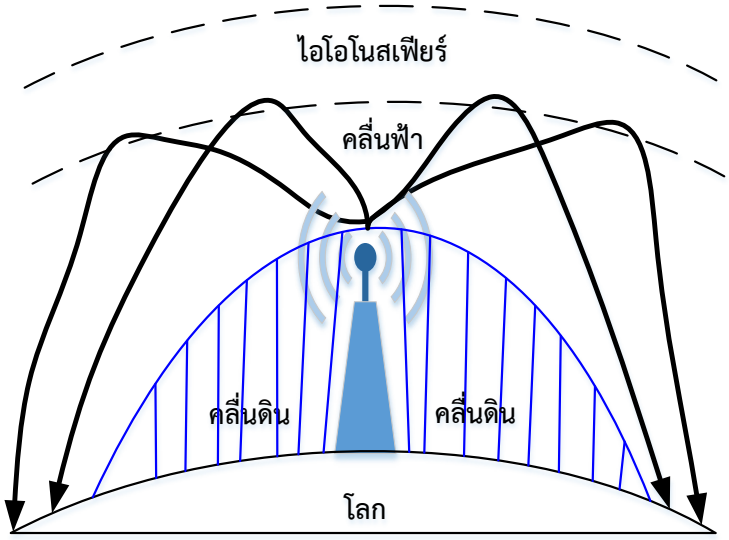
รูปที่ 1.17 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

1.7.1 คลื่นดิน (Ground Wave) หรือคลื่นผิว (Surface Wave) คลื่นดินยังแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ คลื่นผิว (Surface Wave) คลื่นตรง (Direct Wave) คลื่นสะท้อนผิวดิน (Ground Reflected Wave) แสดงได้ดังรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 การแพร่กระจายของคลื่นดิน

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะความถี่ในย่าน VLF, LF และ MF เท่านั้น จะทำการแพร่กระจายไปตามระดับพื้นผิวของโลก ซึ่งจะอาศัยพื้นดินเป็นสื่อกลาง โดยระดับความแรงของสัญญาณจะลดลง เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเนื่องจากคลื่นจะถูกลดทอนลงด้วยค่าความต้านทาน (Resistivity) จากพื้นดิน จึงถูกนำมาใช้แพร่กระจายคลื่นวิทยุกระจายเสียงในระบบ AM (Amplitude Modulation)

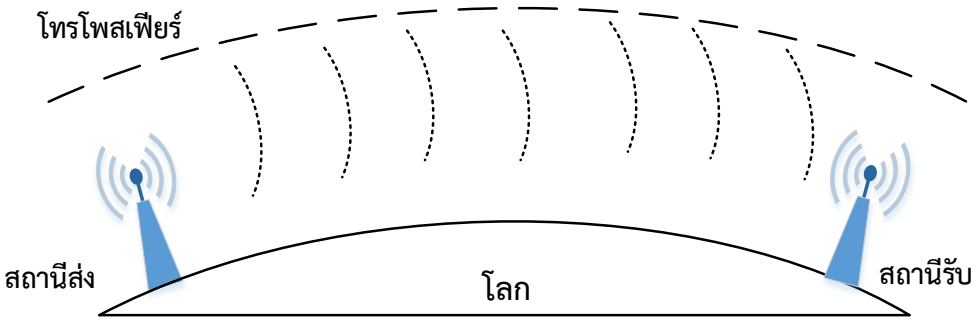


รูปที่ 1.19 การแพร่กระจายของคลื่นฟ้า

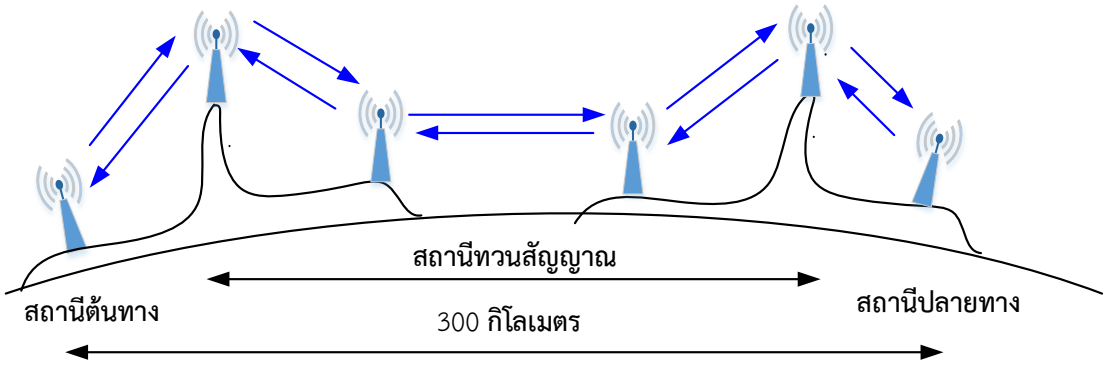
1.7.2 คลื่นฟ้า (Sky Wave) หรือคลื่นไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Wave) การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะที่ความถี่ในย่าน HF เท่านั้น การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในลักษณะนี้จะเดินทางแบบเส้นตรงจนไปถึงชั้นไอโอโนสเฟียร์ แล้วจึงสะท้อนกลับลงมายังพื้นดินอีกครั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 1.19 ทำให้ระยะของการสื่อสารในลักษณะนี้ออกไปได้ไกลกว่าคลื่นดิน จนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสื่อสารระหว่างประเทศได้

การใช้งานความถี่ในย่าน HF โดยการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นฟ้านิยมนำมาใช้ในงานทางด้านระบบวิทยุโทรศัพท์และวิทยุโทรเลข ระบบวิทยุกระจายเสียงคลื่นสั้น (Short Wave) ที่มีระยะทางไกล ๆ เช่น การติดต่อสื่อสารภายในประเทศและระหว่างประเทศ

1.7.3 คลื่นโทรโพสเฟียร์ (Tropospheric Wave) การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นได้เฉพาะความถี่ในย่าน VHF และช่วงต้น ๆ ของความถี่ในย่าน UHF เท่านั้น ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นในลักษณะนี้จะส่งออกจากสายอากาศของเครื่องส่งที่เป็นเส้นโค้งเล็กน้อยออกไปตามชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ แล้วสะท้อนกลับเข้าหาพื้นโลก โดยจะต้องไม่มีสิ่งใดมากั้นขวางการแพร่กระจายคลื่นในลักษณะนี้ หากมีสิ่งกีดขวาง เช่น ภูเขา ต้นไม้ หรืออาคารก็ตาม คลื่นความถี่นั้นก็จะไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ แสดงได้ดังรูปที่ 1.20



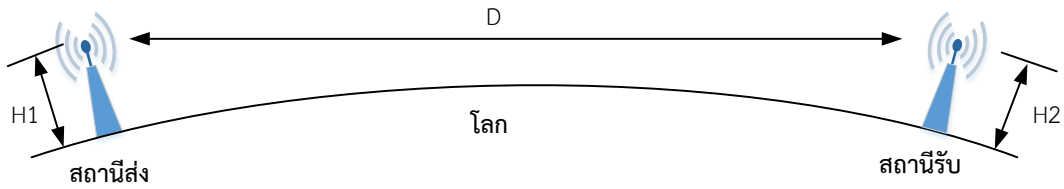
รูปที่ 1.20 การแพร่กระจายของคลื่นโทรโพสเฟียร์



รูปที่ 1.21 การติดตั้งสถานีทวนสัญญาณตามจุดต่าง ๆ

ดังนั้นหากต้องการแก้ปัญหาข้างต้นหรือการเพิ่มระยะทางการรับส่งสัญญาณ สามารถทำได้โดยการติดตั้งเสาให้สูง และติดตั้งสถานีทวนสัญญาณตามจุดต่าง ๆ เพื่อขยายระยะทางให้กับสถานีรับได้ในบริเวณที่กว้างมากขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 1.21

1.7.4 คลื่นตรง (Directed Wave) หรือคลื่นอวกาศ (Space Wave) ซึ่งการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงปลายของความถี่ในย่าน UHF ตลอดความถี่ในย่าน SHF และ EHF โดยจะแพร่กระจายคลื่นออกไปเป็นแนวเส้นตรงคล้ายกับการแพร่กระจายของลำแสง หรือตามแนวของเส้นระดับสายตา (Line of Sight) การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในลักษณะนี้มีลักษณะเหมือนกับการฉายแสง ซึ่งเมื่อมีวัตถุมากั้นขวางหรือมาบดบังตามแนวเส้นตรงนั้น คลื่นวิทยุก็จะไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ โดยระยะทางที่สามารถแพร่กระจายคลื่นวิทยุไปได้ไกลสุดจะอยู่ประมาณ 80 กิโลเมตร แสดงได้ดังรูปที่ 1.22



รูปที่ 1.22 การแพร่กระจายของคลื่นตรง

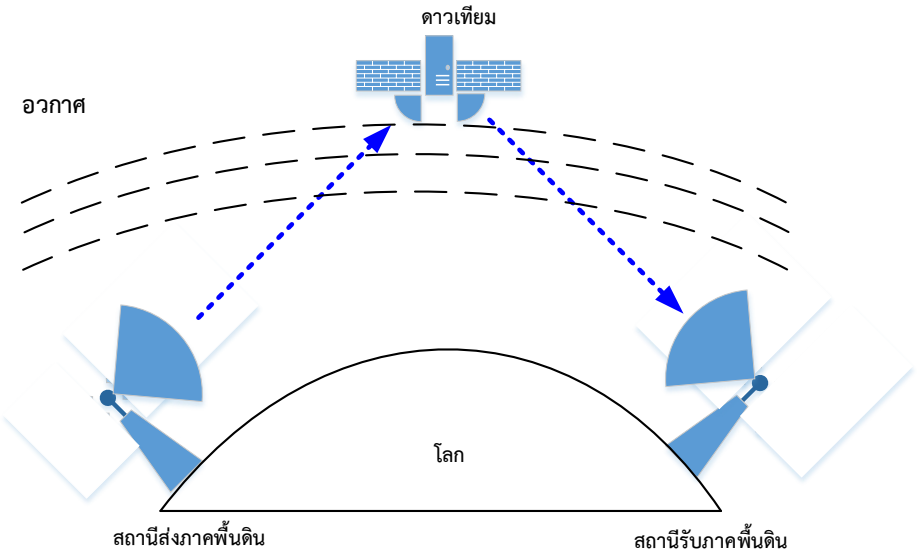
การสื่อสารโดยใช้คลื่นตรงหรือการสื่อสารในระดับสายตานี้ จะถูกเรียกการสื่อสารในลักษณะนี้ว่าเป็นการสื่อสารไมโครเวฟ (Microwave Communication) ซึ่งจากรูปที่ 1.22 ในการส่งสัญญาณในลักษณะนี้ ส่วนโค้งของผิวโลกจะนำมาซึ่งปัญหาต่อระยะทางในการส่งสัญญาณการสื่อสาร โดยสามารถคำนวณระยะทางการสื่อสารไมโครเวฟได้จากสมการที่ (1.2)

$$D = 4.12\,(H1 + H2) \qquad (1.2)$$

โดยที่ D คือ ระยะทางของการสื่อสารไมโครเวฟ มีหน่วยเป็นกิโลเมตร
H1 คือ ความสูงของเสาส่งสัญญาณ มีหน่วยเป็นเมตร
H2 คือ ความสูงของเสารับสัญญาณ มีหน่วยเป็นเมตร

ทั้งนี้สามารถที่จะแก้ปัญหาในเรื่องส่วนโค้งของผิวโลกที่มีผลต่อการรับส่งสัญญาณด้วยการสื่อสารไมโครเวฟคือ

1. ทำการยกระดับของเสาส่งสัญญาณให้สูงขึ้นกว่าปกติหรือการตั้งสถานีรับส่งสัญญาณไว้บนยอดเขา
2. ใช้สถานีถ่ายทอดสัญญาณหรือสถานีทวนสัญญาณ (Repeater Station) เป็นช่วง ๆ ช่วงละประมาณ 80 กิโลเมตร จนถึงปลายทาง



รูปที่ 1.23 ระบบดาวเทียม

3. ใช้ระบบดาวเทียม แสดงได้ดังรูปที่ 1.23 ซึ่งดาวเทียมคือสถานีทวนสัญญาณที่ตั้งอยู่กลางชั้นอวกาศ ซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มระยะทางของการติดต่อสื่อสารให้ออกไปได้ไกลมากขึ้น โดยปัจจุบันถูกนำมาใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างประเทศ

1.8 สรุป

หลักการสื่อสารโดยทั่วไปเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างบุคคลกับบุคคล หรือบุคคลกับกลุ่มคน เพื่อให้เกิดความเข้าใจในวัตถุประสงค์ ความต้องการหรือการปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน จากอดีตที่ใช้การสื่อสารด้วยการพูดคุยเมื่อพบปะเจอหน้ากันในระยะที่ได้ยินเสียงหรือถ้อยคำได้อย่างชัดเจน โดยที่องค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารที่ประกอบไปด้วย ผู้ส่งสาร สาร สื่อกลาง และผู้รับสาร จนพัฒนามาสู่การสื่อสารระยะไกลด้วยการใช้คลื่นความถี่หรือสายนำสัญญาณในแบบต่าง ๆ ได้แก่ สายนำสัญญาณที่ทำจากโลหะ เช่น สาย UTP, สายโคแอคเชียล เป็นต้น และแบบที่ไม่ได้ทำจากโลหะนั่นก็คือสายใยแก้วนำแสง ส่วนสื่อกลางที่ใช้คลื่นความถี่ผ่านไปในอากาศและชั้นบรรยากาศจะใช้คลื่นความถี่วิทยุและคลื่นไมโครเวฟส่งผ่านระบบไมโครเวฟและดาวเทียม ทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีเพื่อมาตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย เพื่อทำให้เกิดความสะดวกสบายต่อการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ในปัจจุบันและอนาคต ในบทนี้ได้กล่าวนำไว้เกี่ยวกับการส่งสัญญาณผ่านอากาศ คลื่นความถี่วิทยุ สายใยแก้วนำแสง ระบบไมโครเวฟและระบบดาวเทียม ซึ่งจะได้อธิบายเนื้อหาโดยละเอียดในบทต่อ ๆ ไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1

ข้อ 1 จงบอกความหมายเกี่ยวกับระบบนิเวศการสื่อสาร
ข้อ 2 จงบอกวิธีการเรียงลำดับสีของสายประเภท UTP
ข้อ 3 จงเขียนลักษณะโครงสร้างของสายโคแอคเชียล
ข้อ 4 จงระบุชนิดของสายส่งสัญญาณว่าแบ่งเป็นกี่ชนิด อะไรบ้าง
ข้อ 5 จงจัดประเภทสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลว่ามีกี่ประเภท อะไรบ้าง
ข้อ 6 จงบอกลักษณะการเกิดขึ้นของคลื่นความถี่
ข้อ 7 จงเขียนสูตรการหาความยาวคลื่น
ข้อ 8 จงอธิบายเกี่ยวกับชนิดของคลื่นความถี่และการนำไปใช้งาน
ข้อ 9 จงอธิบายเกี่ยวกับลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการส่งคลื่น
ข้อ 10 จงอธิบายการแพร่กระจายคลื่นความถี่และการนำไปใช้ประโยชน์

บรรณานุกรม

1. ศูนย์สื่อสารนานาชาติแห่งจุฬาฯ. (2554). การสื่อสาร (Communication) [ออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php?title=การสื่อสาร_(Communication), 11 พฤศจิกายน 2565.

2. อภิชฏา ทองรักษ์. (2565). เครือข่ายการสื่อสารและสายส่ง [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://eng.rmutp.ac.th/เผยแพร่ตำรา-เครือข่ายการสื่อสารและสายส่ง/, 11 พฤศจิกายน 2565.

3. สัญญาณไมโครเวฟ [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://docs.google.com/document/, 11 พฤศจิกายน 2565.

4. ธเนศ เฉลิมวัฒน์. (2557). ระบบสื่อสัญญาณเคเบิ้ลใยแก้ว [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://slideplayer.in.th/slide/2167383/, 11 พฤศจิกายน 2565.

5. Pai Timasart. (2560). การจำแนกคลื่น [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7248-2017-06-12-15-38-24/, 11 พฤศจิกายน 2565.

6. อนงค์ลักษณ์ อาจมังกร, หนังสือเรียนวิชา โทรคมนาคมเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2565.

7. ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, หลักการวิศวกรรมโทรคมนาคม, พิมพ์ครั้งที่ 2: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.

8. พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, โทรคมนาคมเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, 2562.

9. ปรีชา กอเจริญ, หลักการสื่อสารและโทรคมนาคม, พิมพ์ครั้งที่ 1: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม แอนด์ เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์, 2557.

10. ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, สู่โลกไฟฟ้าสื่อสาร, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2555.

บทที่ 2
ระบบวิทยุ เครื่องรับ-ส่งวิทยุสื่อสาร

การติดต่อสื่อสารด้วยการพูดคุยกันเป็นการสื่อสารขั้นพื้นฐานที่มีมาตั้งแต่ครั้งบรรพกาลโดยจะใช้อากาศเป็นสื่อกลาง เมื่อระยะห่างของการพูดคุยกันเพิ่มมากขึ้น คำพูดหรือข้อความนั้นก็จะเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อที่จะทำให้การติดต่อสื่อสารในระยะที่ไกลมากขึ้นแต่ยังคงสามารถรับรู้ข้อมูลข่าวสารได้ตามปกติ โดยในบทนี้จะได้กล่าวถึงการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่ในระบบวิทยุเพื่อให้เข้าใจถึงแนวคิดและวิธีการในการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้การรับส่งสัญญาณผ่านอากาศในเบื้องต้น

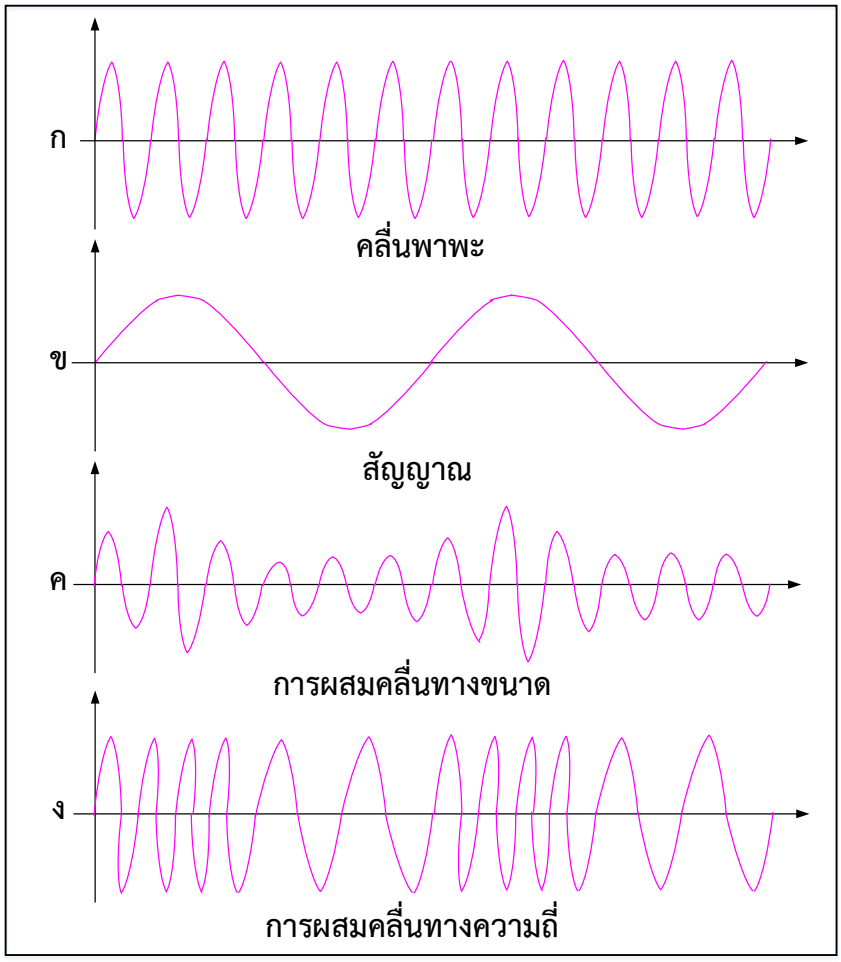
2.1 เครื่องสื่อสารประเภทวิทยุ

เครื่องสื่อสารประเภทวิทยุที่มีใช้งานกันอยู่โดยปกติจะนำมาใช้ในการส่งข่าวสารด้วยคำพูดหรือประมวลเลขสัญญาณ (Telegraphic Code) จากความรู้สึกที่เกิดขึ้นต่อระบบประสาทการได้ยินเสียงของมนุษย์ โดยเยื่อหูได้รับการสั่นสะเทือนต่อความถี่เสียงที่เรียกว่าเสียงนั่นเอง ซึ่งพลังงานเสียงนี้สามารถเคลื่อนที่ผ่านอากาศด้วยความเร็วประมาณ 330 เมตรต่อวินาที ถึงแม้ว่าจะสามารถทำการเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าทางความถี่เสียงได้ แต่ในทางปฏิบัติยังไม่สามารถส่งผ่านออกไปในบรรยากาศรอบโลกได้ด้วยการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น การส่งสัญญาณเสียงขนาด 20 ไซเคิ้ล ต้องใช้สายอากาศยาวเกือบ 8,000 km ในการส่งสัญญาณซึ่งเป็นเรื่องที่ยากมาก ๆ ด้วยข้อจำกัดนี้จะสามารถแก้ปัญหาได้ โดยวิธีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เป็นความถี่วิทยุเป็นพาหะ (Carrier) ของสัญญาณเสียงนั้นก็จะสามารถครอบคลุมระยะทางที่ไกลออกไปได้ โดยที่สายอากาศที่มีประสิทธิภาพสำหรับความถี่นั้นก็มีขนาดกะทัดรัดอีกด้วย ในทางปฏิบัติการสูญเสียกำลังของสายอากาศอยู่ในระดับปานกลาง อีกทั้งยังใช้ได้หลายช่องการสื่อสารอีกด้วย แสดงได้ดังรูปที่ 2.1

จากรูปที่ 2.1 คลื่นพาหะ ไม่สามารถนำพาสัญญาณ (Signal) ไปได้ จึงต้องทำให้สัญญาณอยู่ในรูปแบบใหม่โดยที่คลื่นสัญญาณจะนำมาซ้อนทับไปกับคลื่นพาหะ วิธีการนี้เรียกว่าการผสมคลื่น (Modulation) ซึ่งได้รับการดัดแปลงและปรับแต่งรูปคลื่นพาหะทางความถี่ (Frequency Modulation) หรือทางขนาด (Amplitude Modulation) วิธีการผสมคลื่นทางความถี่และทางขนาดได้นำมาใช้ประโยชน์ในระบบการสื่อสารประเภทวิทยุ

เมื่อนำสัญญาณความถี่เสียงวางซ้อนทับไปบนความถี่วิทยุที่เป็นพาหะจะทำให้เกิดสัญญาณความถี่วิทยุที่มีความถี่เพิ่มมากขึ้น ความถี่ที่เพิ่มมากขึ้นนี้คือความถี่ผลบวกและผลลบของความถี่เสียงกับความถี่วิทยุ เช่น ความถี่ของคลื่นพาหะขนาด 100 KHz ถูกปรับแต่งเข้ากับสัญญาณความถี่ขนาด 1 KHz จะทำให้เกิดสัญญาณความถี่วิทยุเพิ่มขึ้น 2 ความถี่คือ ความถี่ 101 KHz (ผลบวกของ 100 KHz กับ 1 KHz) และความถี่ 99 KHz (ผลลบของ 100 KHz กับ 1 KHz)

หากนำความถี่เสียงเชิงซ้อนมาผสมคลื่นแทนการใช้สัญญาณเสียงอย่างเดียวจะเกิดความถี่ใหม่ขึ้น 2 ความถี่ ตามความถี่ของสัญญาณเสียงแต่ละความถี่ ความถี่ที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะถูกเรียกว่าแถบความถี่ข้าง (Side Band)



รูปที่ 2.1 ลักษณะของสัญญาณและคลื่นพาหะ

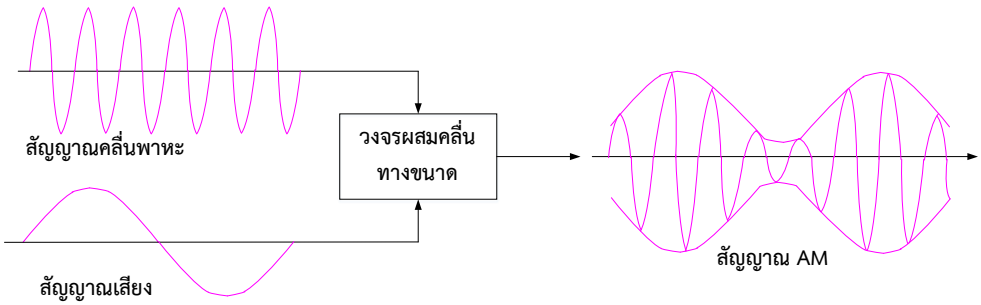
2.2 การผสมคลื่น

จากที่ได้กล่าวถึงคลื่นที่ส่งผ่านไปในอากาศหรือชั้นบรรยากาศไปแล้วนั้น การที่จะทำให้สามารถส่งสัญญาณข้อมูลข่าวสารผ่านอากาศไปได้นั้นจึงต้องมีการผสมคลื่นเพื่อที่จะนำพาสัญญาณนั้นออกไปได้ไกลยิ่งขึ้น โดยการผสมคลื่นที่ใช้ในย่านวิทยุกระจายเสียงจะมีอยู่ 3 แบบ คือ

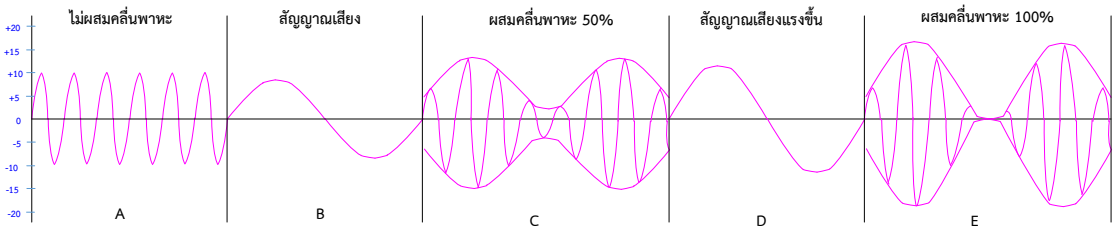
1. การผสมคลื่นทางขนาด โดยสามารถแบ่งออกเป็น แบบไซด์แบนด์ด้านเดียวและแบบไซด์แบนด์สองด้าน
2. การผสมคลื่นทางความถี่
3. การผสมคลื่นทางเฟส

2.2.1 การผสมคลื่นทางขนาด (Amplitude Modulation: AM) ซึ่งวิธีการผสมคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงกับความถี่วิทยุนั้น จะใช้วงจรผสมคลื่นทางขนาด ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผสมสัญญาณทั้ง 2 นั้น โดยมีอุปกรณ์หลักคือไดโอดหรือทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะ ซึ่งจะทำให้คลื่นพาหะนั้นถูกควบคุมระดับความแรงด้วยสัญญาณเสียงและจะเปลี่ยนแปลง

ระดับสูงหรือต่ำไปตามระดับความแรงของสัญญาณเสียงนั้น ซึ่งหลักการของการผสมคลื่นวิทยุแบบ AM แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การผสมคลื่นทางขนาด

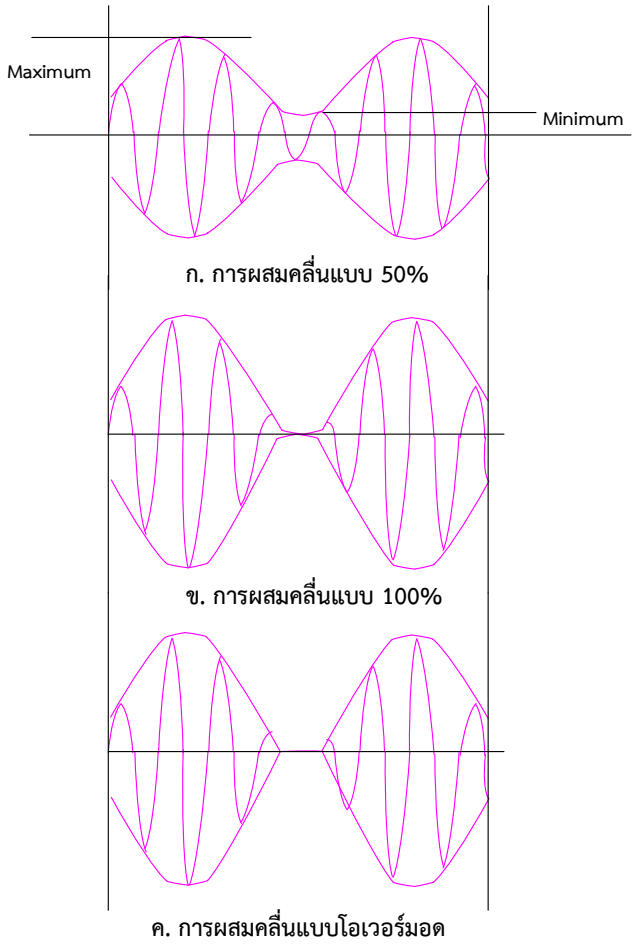


รูปที่ 2.3 การผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะแบบ AM

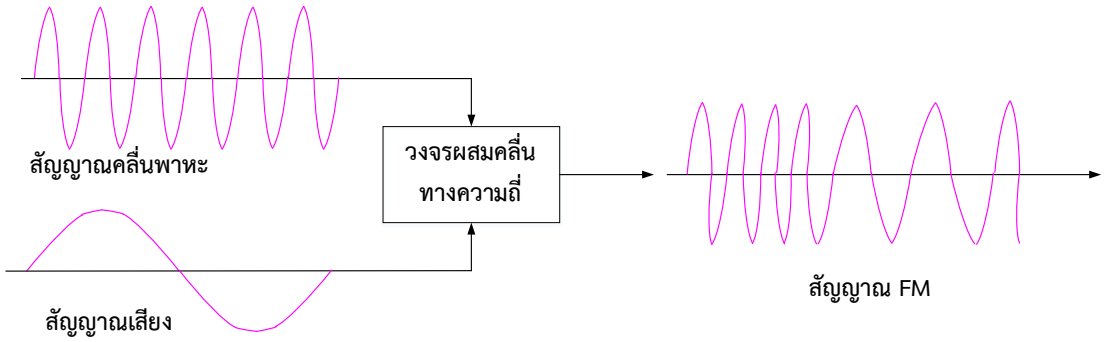
จากรูป 2.3 จะพบว่า ส่วน A นั้นจะเป็นความถี่วิทยุซึ่งทำหน้าที่เป็นคลื่นพาหะ ส่วน B จะเป็นสัญญาณเสียงที่มีระดับความแรงของสัญญาณต่ำ ส่วน D จะเป็นสัญญาณเสียงที่มีระดับความแรงของสัญญาณสูง เมื่อทำการนำสัญญาณเสียงไปผสมกับคลื่นพาหะ A ก็จะได้สัญญาณระบบวิทยุแบบ AM ออกมาตามส่วน C และ E โดยถ้านำส่วน A ผสมกับส่วน B จะได้สัญญาณระบบวิทยุแบบ AM ตามส่วน C ซึ่งจะถูกรียกว่าการผสมคลื่นแบบ 50 % และถ้านำส่วน A ไปทำการผสมกับส่วน D จะทำให้ได้สัญญาณระบบวิทยุแบบ AM ตามส่วน E ซึ่งจะถูกเรียกว่าการผสมคลื่นแบบ 100 %

โดยการผสมสัญญาณระบบวิทยุแบบ AM นั้น สามารถผสมได้ 3 แบบคือ การผสมคลื่นแบบ 50 % การผสมคลื่นแบบ 100 % และการผสมคลื่นแบบโอเวอร์มอด แสดงได้ดังรูปที่ 2.4

2.2.2 การผสมคลื่นทางความถี่ (Frequency Modulation: FM) ซึ่งวิธีการผสมคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงกับความถี่วิทยุ โดยจะให้สัญญาณเสียงนั้นไปควบคุมความถี่วิทยุ (คลื่นพาหะ) ให้เปลี่ยนแปลงความถี่นั้นไปตามระดับสัญญาณเสียงที่ถูกส่งเข้ามาควบคุม โดยจะมีวงจรผสมคลื่นทางความถี่ ที่จะทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงความถี่ให้สูงหรือต่ำตามสัญญาณเสียง ซึ่งหลักการของการผสมคลื่นวิทยุแบบ FM แสดงได้ดังรูปที่ 2.5

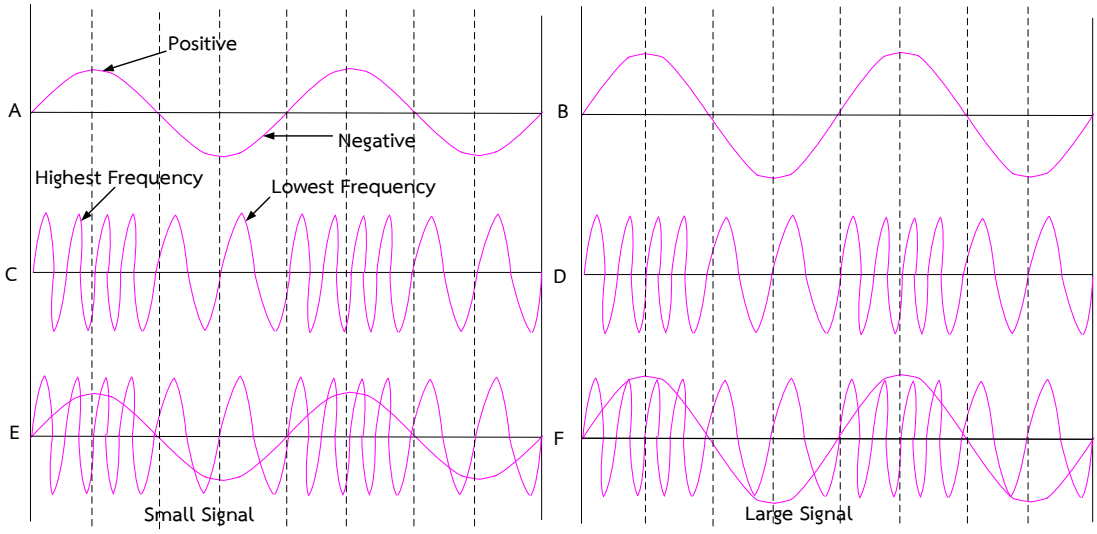


รูปที่ 2.4 การผสมสัญญาณระบบวิทยุแบบ AM



รูปที่ 2.5 การผสมคลื่นทางความถี่

โดยเมื่อมีสัญญาณเสียงช่วงบวกเข้ามาผสม ความถี่ของคลื่นพาหะนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าสัญญาณปกติ และเมื่อมีสัญญาณเสียงช่วงลบเข้ามาผสม ความถี่ของคลื่นพาหะนั้นก็จะลดต่ำลงกว่าสัญญาณปกติ แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะแบบ FM

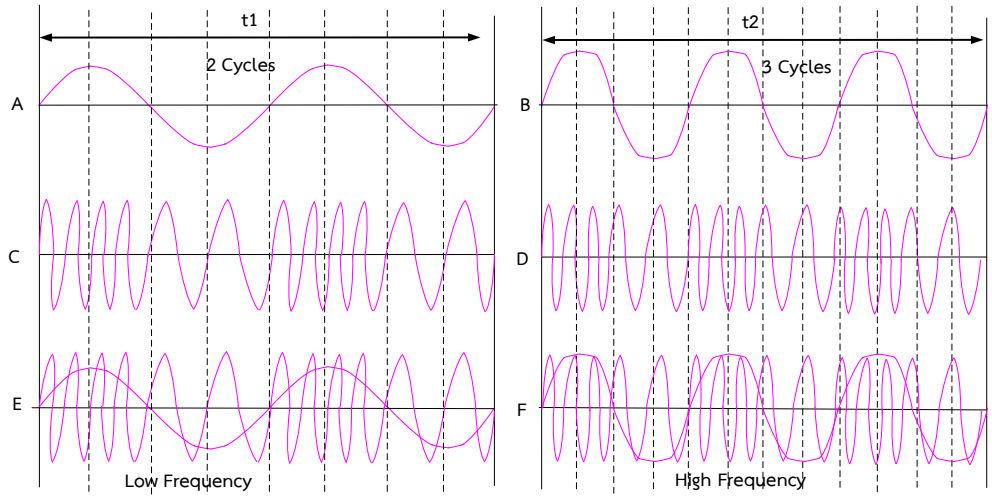
จากรูป 2.6 จะเป็นการผสมสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะที่มีระดับความแรงของสัญญาณเสียงที่มีระดับสูงหรือต่ำเปรียบเทียบกัน ซึ่งจะมีผลทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงความถี่ในลักษณะที่สูงขึ้นหรือต่ำลงตามไปด้วย โดยส่วน A, C, E จะเป็นสัญญาณเสียงที่มีระดับความแรงของสัญญาณต่ำ ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่สูงขึ้น (ช่องว่างแคบลง) และลดต่ำลง (ช่องว่างกว้างขึ้น) จากความถี่ปกติไม่มากนัก ส่วน B, D, F จะเป็นสัญญาณเสียงที่มีระดับความแรงของสัญญาณสูง ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่สูงขึ้น (ช่องว่างแคบลง) และลดต่ำลง (ช่องว่างกว้างขึ้น) จากความถี่ปกติมากขึ้นตามไปด้วย

จากรูป 2.7 จะเป็นการผสมสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะที่มีระดับความแรงของสัญญาณเสียงมีความแรงเท่ากัน แต่มีค่าความถี่ที่แตกต่างกัน เมื่อทำการผสมสัญญาณกับความถี่ของคลื่นพาหะแบบ FM ก็จะมีผลทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงความถี่ในลักษณะที่สูงขึ้นหรือต่ำลงตามไปด้วย โดยส่วน A, C, E ที่มีระดับความแรงของสัญญาณต่ำ ก็จะได้ช่วงความเข้มที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาหะที่มีจำนวนไม่มากนัก ส่วน B, D, F มีระดับความแรงของสัญญาณสูง ก็จะได้ช่วงความเข้มที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาหะที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น

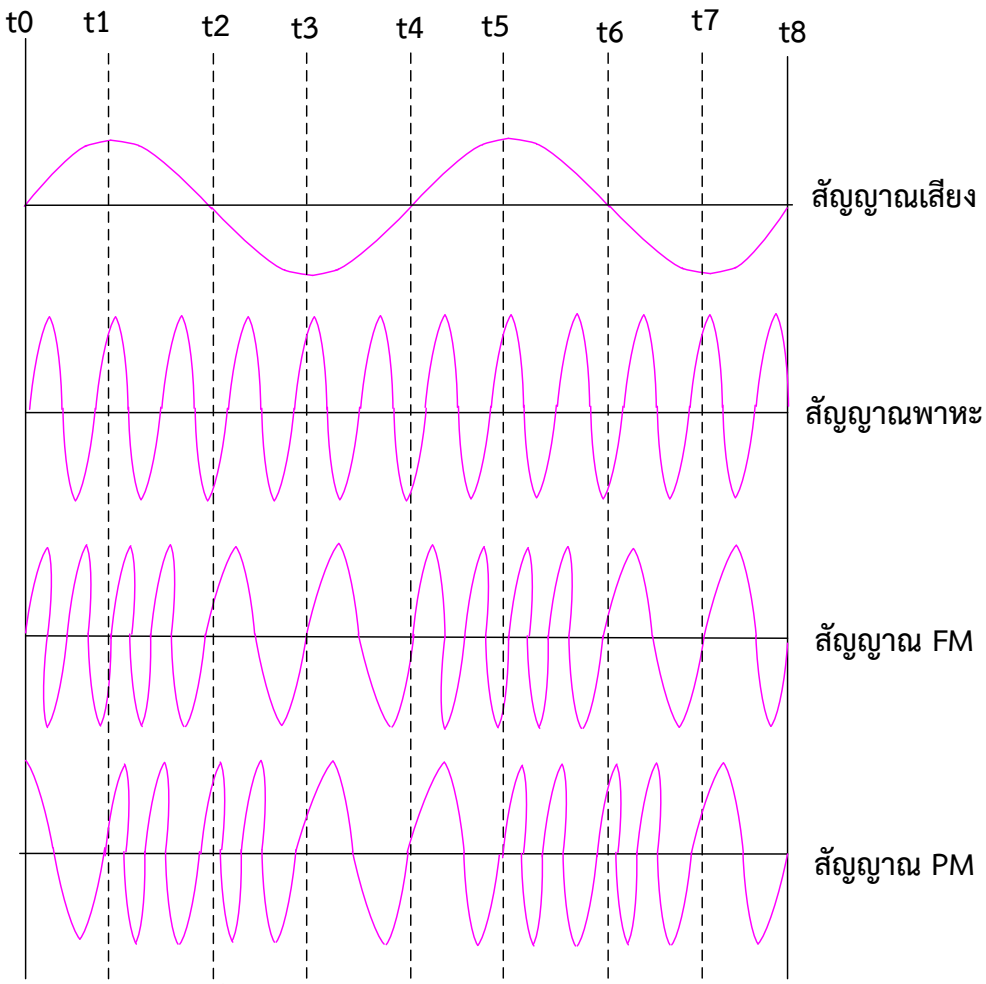
2.2.3 การผสมคลื่นทางเฟส (Phase Modulation: PM) ซึ่งวิธีการผสมคลื่นทางเฟสนั้น จะทำให้เฟสของคลื่นพาหะนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณเสียงที่ผสมเข้ามา เมื่อเฟสของคลื่นพาหะเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยที่การผสมคลื่นทางเฟสนั้นก็จะส่งผลทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยนั่นเอง

ข้อแตกต่างระหว่างสัญญาณ PM กับ FM แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 และสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. สัญญาณ PM มีความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนโดยตรงทั้งกับความถี่และทั้งกับความแรงของสัญญาณเสียงที่นำเข้ามาผสม



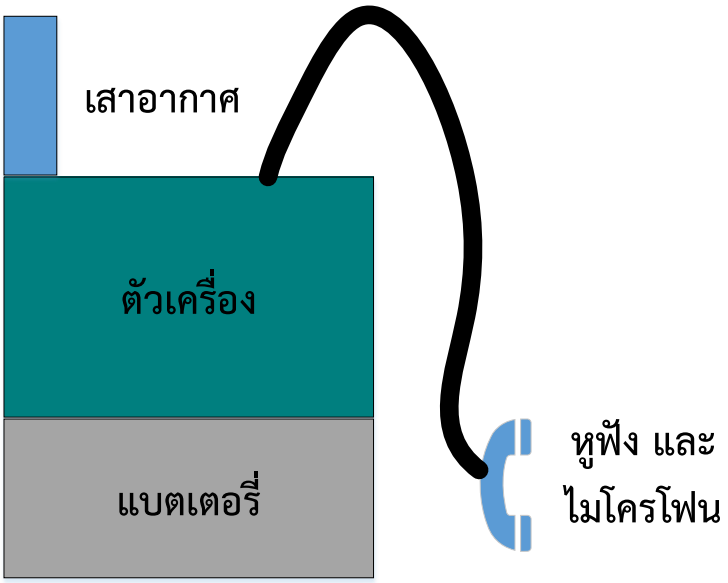
รูปที่ 2.7 การผสมสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะแบบ FM ตามระดับความแรงของสัญญาณ



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบการผสมสัญญาณแบบ FM กับ PM

2. สัญญาณ FM มีความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนโดยตรงแค่กับความแรงของสัญญาณเสียงที่นำเข้ามาผสมเพียงอย่างเดียว

จากรูปที่ 2.8 เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างการผสมแบบ FM กับ PM โดยจะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้ง 2 นั้นจะมีลักษณะที่เหมือนกันทุกอย่างเลยทีเดียว กล่าวคือสัญญาณเสียงที่ไปผสมกับความถี่ของคลื่นพาหะ จะทำให้คลื่นพาหะนั้นเปลี่ยนความถี่ไปในลักษณะเดียวกัน แต่การผสมสัญญาณทางเฟสนั้น ความถี่ของคลื่นพาหะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนเฟสและขนาดของสัญญาณเสียงที่นำเข้ามาผสมกับความถี่ของคลื่นพาหะด้วย ซึ่งการผสมคลื่นทางเฟสนั้น ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไปได้มากที่สุด โดยสัญญาณเสียงที่มีการเปลี่ยนแปลงทางขนาดผ่านจุดศูนย์นั้นจะหมายถึงความถี่ของคลื่นพาหะที่เกิดการเปลี่ยนทางความถี่สูงขึ้น ในช่วงเวลาที่สัญญาณเสียงเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณลบเป็นสัญญาณบวก และความถี่ของคลื่นพาหะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ให้ลดต่ำลง ในช่วงเวลาที่สัญญาณเสียงเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณบวกเป็นสัญญาณลบนั่นเอง



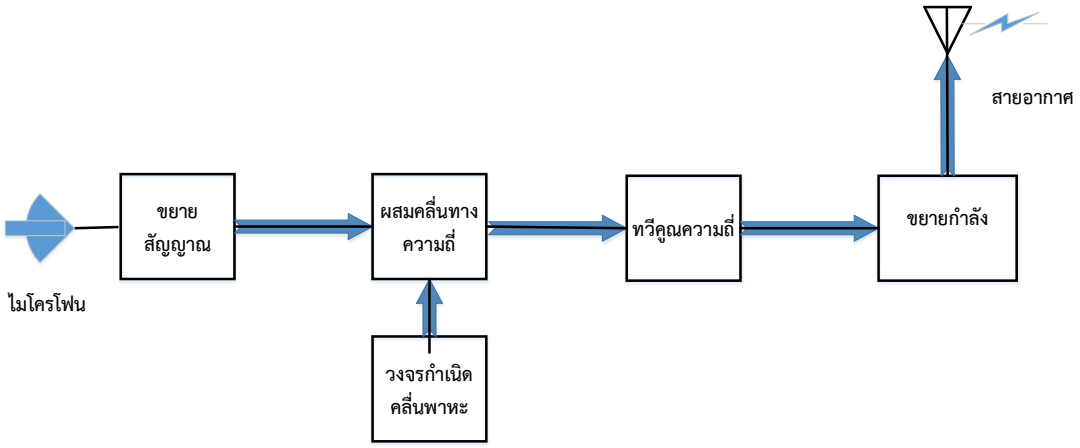
รูปที่ 2.9 เครื่องวิทยุสื่อสาร

2.3 การส่งและรับคลื่นวิทยุ

2.3.1 เครื่องวิทยุสื่อสาร

เครื่องวิทยุสื่อสารจะมีส่วนประกอบหลักคือเครื่องส่งซึ่งจะทำหน้าที่ส่งออกความถี่วิทยุ แบตเตอรี่ คันเคาะ หูฟังและไมโครโฟน โดยสายอากาศด้านส่งเป็นส่วนที่ใช้ในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ สายอากาศด้านรับเป็นส่วนที่รับคลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกมา เครื่องรับจะใช้หลักการเปลี่ยนคลื่นความถี่วิทยุที่รับมาได้ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่นำไปใช้งานได้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.9

2.3.2 การทำงานของเครื่องส่งวิทยุสื่อสาร



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบการทำงานของเครื่องส่งวิทยุสื่อสาร

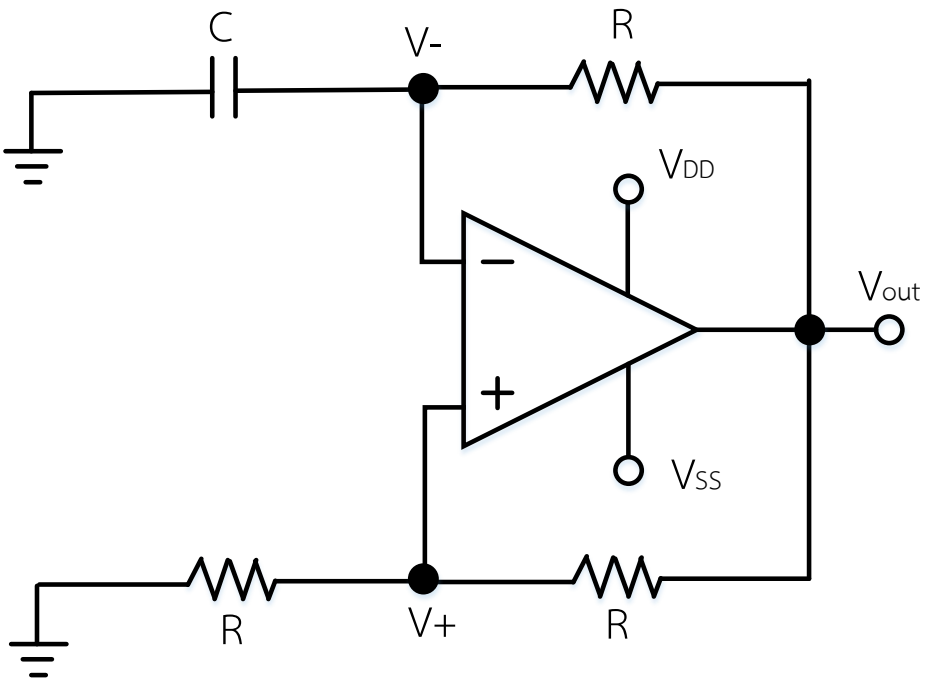
พื้นฐานการทำงานของเครื่องส่งวิทยุสื่อสารจะประกอบด้วยภาครับเสียงหรือไมโครโฟน ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อส่งต่อไปยังภาคขยายสัญญาณ ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ แล้วส่งต่อไปยังภาคผสมสัญญาณซึ่งจะนำสัญญาณที่ได้มาผสมกับสัญญาณที่มาจากภาคกำเนิดคลื่นพาหะ เพื่อส่งต่อไปยังภาคทวีคูณความถี่ เพื่อทำให้สัญญาณมีความแรงสูงมากขึ้นจนเหมาะสมกับระบบ แล้วจึงส่งต่อไปยังภาคขยายกำลังของคลื่นความถี่วิทยุเพื่อขยายกำลังให้แรงมากขึ้น ก่อนส่งออกไปยังสายอากาศ เพื่อส่งออกอากาศต่อไป แสดงได้ดังรูปที่ 2.10

2.3.3 วงจรกำเนิดความถี่วิทยุ

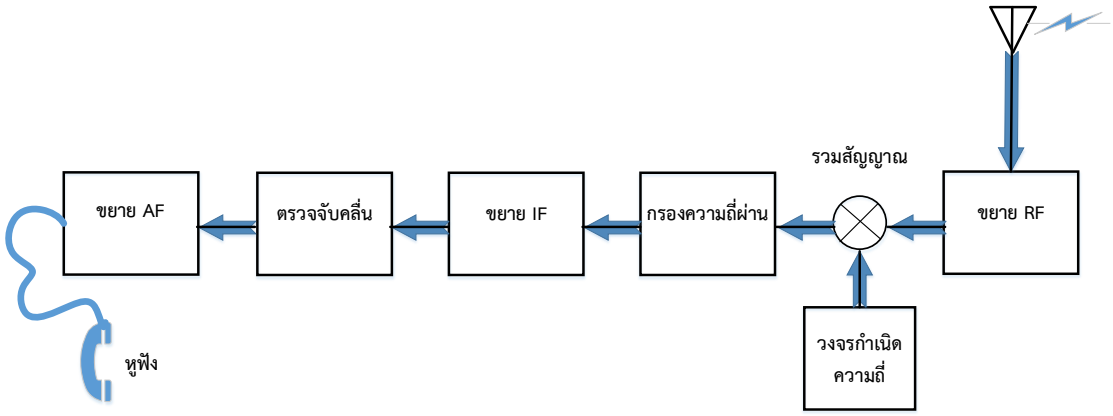
ออสซิลเลเตอร์ (Oscillator: OSC) ทำหน้าที่กำเนิดความถี่วิทยุขึ้นมา โดยจะมีภาคขยายเพื่อขยายความถี่วิทยุต่อจากภาค OSC อีกขั้นหนึ่ง เพื่อทำให้กำลังการส่งความถี่ออกอากาศคงที่และแรงขึ้น โดยวงจรกำเนิดความถี่สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11

2.3.4 สายอากาศ

สายอากาศ (Antenna) สายอากาศภาคส่งจะทำหน้าที่ส่งพลังงานของสัญญาณความถี่ออกไปในอากาศโดยการแพร่กระจายพลังงานออกไปเป็นรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและถูกดักรับพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นด้วยสายอากาศภาครับที่ปลายทาง โดยที่เครื่องรับวิทยุจะทำการปรับเปลี่ยนความถี่ตั้งค่าให้ตรงกับความถี่ของเครื่องส่งสัญญาณความถี่แล้วจะทำให้ได้รับสัญญาณและข่าวสารที่สามารถสื่อสารกันได้



รูปที่ 2.11 วงจรกำเนิดความถี่



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบการทำงานของเครื่องรับวิทยุสื่อสาร

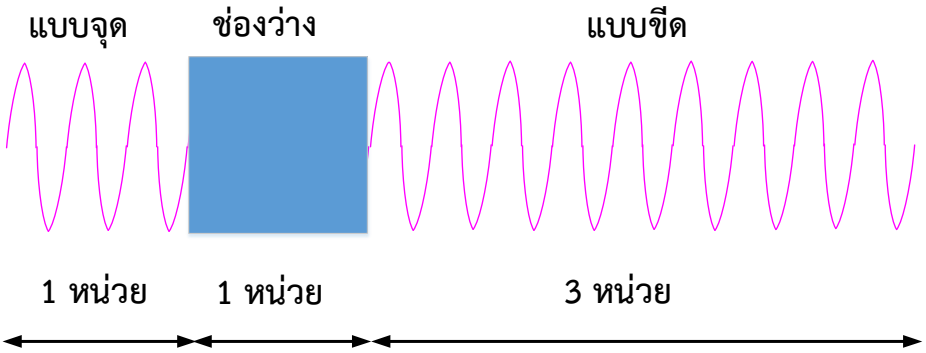
2.3.5 เครื่องรับวิทยุ

เครื่องรับวิทยุ จะอยู่ที่ภาครับสัญญาณโดยส่วนประกอบหลัก ๆ จะประกอบด้วยสายอากาศด้านรับ จะรับสัญญาณคลื่นความถี่ที่แพร่กระจายอยู่ในอากาศ วงจรขยายความถี่ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่รับมาได้ทั้งหมด ส่งต่อไปยังภาควงจรตรวจจับคลื่นแล้วทำการขยายสัญญาณที่ได้อีกครั้งก่อนส่งออกไปยังลำโพงหรือหูฟัง แสดงได้ดังรูปที่ 2.12 โดยสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

1. ภาคขยายความถี่วิทยุ (RF Amplifier) ซึ่งเครื่องขยายความถี่วิทยุจะมีวงจรปรับแต่งอย่างน้อย 1 วงจรหรือมากกว่าก็ได้ เพื่อให้สัญญาณความถี่วิทยุที่ต้องการได้รับการขยายมากกว่าสัญญาณความถี่อื่นที่ปะปนสอดแทรกเข้ามา

2. ภาคตรวจจับคลื่น (Detector) โดยสัญญาณความถี่วิทยุที่สามารถรับมาได้จากเครื่องรับวิทยุจะมีลักษณะเป็นสัญญาณความถี่วิทยุที่ผสมคลื่น (Modulate RF Signal) ซึ่งจะนำสัญญาณเสียงหรือสัญญาณความถี่เสียงอื่น ๆ ไปด้วยพร้อมกับสัญญาณคลื่นพาหะ ซึ่งสัญญาณความถี่วิทยุที่ส่งออกมาพร้อมข้อมูลข่าวสารนั้น จะถูกประมวลเลขสัญญาณแบบจุด (Dot) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ข้อมูลข่าวสารที่สัญญาณความถี่วิทยุนำมาด้วยนั้นถูกถอดออกมาเรียกว่าการตรวจจับคลื่น (Detector)

3. ภาคขยายความถี่เสียง (AF Amplifier) ซึ่งระดับความแรงของสัญญาณที่ได้จากภาคตรวจจับคลื่น (Detector) นั้นตามปกติจะมีกำลังที่อ่อนมาก ไม่สามารถที่จะนำไปใช้งานได้ทันที จึงต้องเพิ่มภาคขยายความถี่เสียงขึ้นอีกหนึ่งภาคหรือหลาย ๆ ภาคก็ได้ เพื่อทำให้กำลังความถี่เสียงแรงขึ้นถึงระดับที่ลำโพงหรือหูฟังสามารถทำงานได้



รูปที่ 2.13 ลักษณะสัญญาณความถี่ในการส่งคลื่นวิทยุโทรเลข

2.3.6 วิทยุโทรเลข

การส่งข้อมูลข่าวสารด้วยวิทยุโทรเลข เป็นการสื่อสารในช่วงแรก ๆ ที่เป็นจุดเริ่มต้นของระบบโทรศัพท์ในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นการส่งสัญญาณด้วยความถี่เป็นช่วง ๆ ตามคำและความหมายที่ต้องการสื่อสารกัน แสดงได้ดังรูปที่ 2.13 และสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

1. ข่าวสารจากวิทยุโทรเลขสามารถส่งไปได้จากการผสมคลื่นพาหะและหยุดส่งด้วยคันไกไฟฟ้าหรือคันเคาะตัวเลข โดยตัวอักษรแต่ละตัวจะถูกกำหนดขึ้นโดยการประกอบห่วงไฟฟ้า (Pulse) สั้นและยาวเป็นกลุ่ม ๆ ตามการประมวลเลขสัญญาณ เช่น การส่งตัวอักษร A ในรูปการประมวลเลขสัญญาณ โดยการกดคันเคาะจะใช้เวลาไม่ถึงหนึ่งวินาทีและปล่อยคันเคาะที่เวลาเท่าเดิมแล้วทำการกดคันเคาะอีกครั้งเป็นเวลานานเท่ากับ 3 เท่า ของการกดครั้งแรก

2. ข่าวสารวิทยุโทรเลขสามารถส่งไปได้โดยใช้คลื่นผสมเสียง (Tone Modulated Wave) โดยที่คลื่นพาหะจะถูกผสมเสียงที่ความถี่คงที่ซึ่งมีความถี่ระหว่าง 500 ถึง 1000 Hz ต่อวินาที เนื่องจากการปล่อยคลื่นผสมเสียง (Tone Emission) นั้น มีย่านความถี่ที่กว้างจึงช่วยต้านทานการรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์บางอย่างได้ และจากสัญญาณมีย่านความถี่กว้าง จึงทำให้วิทยุหาทิศทาง (Radio Direction Finder) หรือหาเป้าหมายได้ง่ายขึ้น

3. การส่งวิทยุโทรเลขด้วยมือของมนุษย์นั้นจะมีข้อจำกัดจากความสามารถในการใช้มือรับ - ส่งข้อมูลข่าวสาร ของแต่ละบุคคล

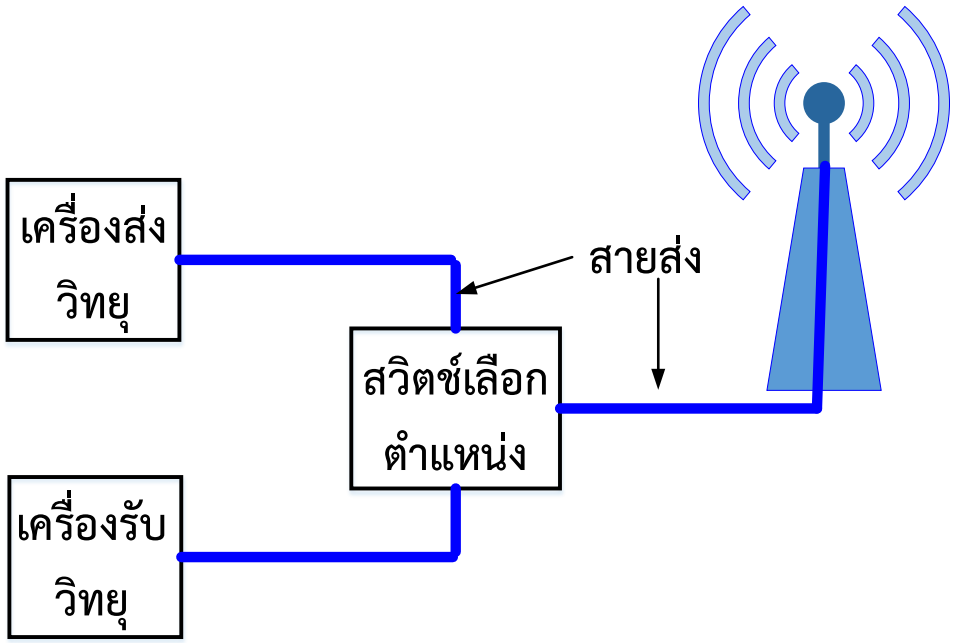
3.1 การสื่อสารด้วยวิทยุโทรเลขสามารถใช้งานได้ในทุกสภาพอากาศ ในขณะที่การสื่อสารประเภทอื่น ๆ จะใช้ไม่ได้ผลเมื่ออยู่ในสภาพบรรยากาศที่ไม่เหมาะสมหรือมีสัญญาณรบกวน

3.2 เครื่องส่งวิทยุโทรเลขมีรัศมีทำการที่ไกลกว่าเครื่องส่งวิทยุโทรศัพท์ หากมีกำลังส่งออกอากาศเท่ากัน เนื่องจากกำลังส่งออกอากาศของสัญญาณจะแรงขึ้นเมื่อมีความกว้างแถบที่น้อยลง

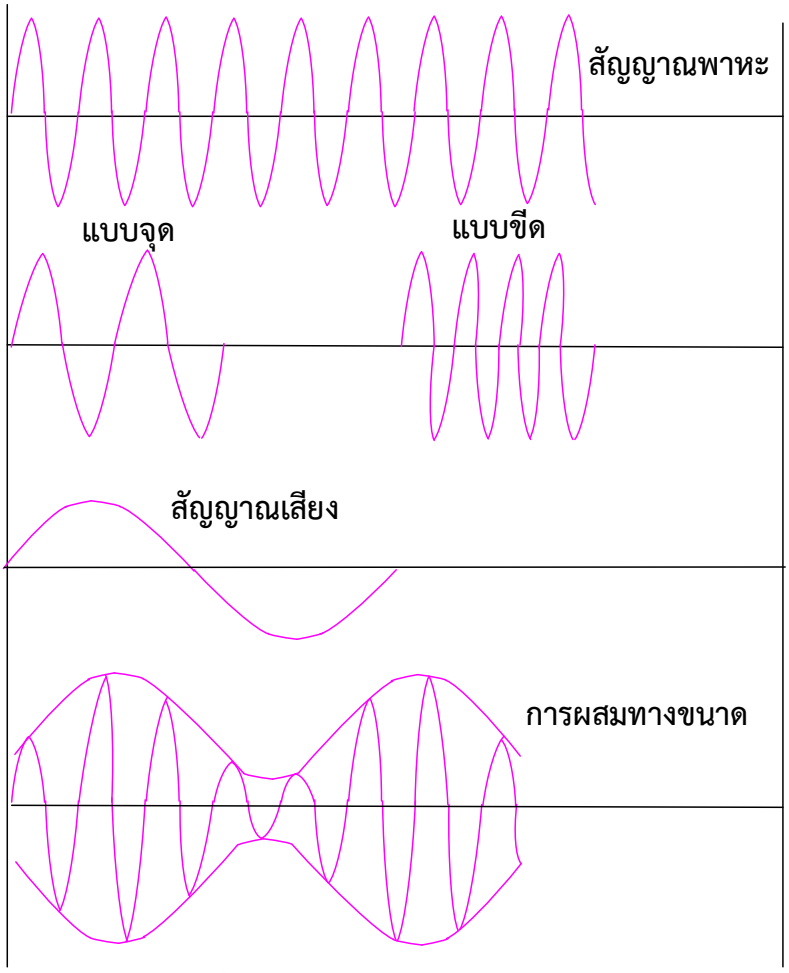
3.3 แถบความถี่ของวิทยุโทรเลขที่ถูกกำหนดมาให้ใช้งานได้นั้นจะสามารถใช้งานได้มากกว่าสถานีวิทยุโทรศัพท์โดยจะไม่มีการรบกวนซึ่งกันและกัน

2.4 เครื่องส่งวิทยุ

2.4.1 เครื่องส่งวิทยุ (Transmitter) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำให้เกิดสัญญาณคลื่นวิทยุ (คลื่นพาหะ) แล้วทำการส่งต่อสัญญาณคลื่นวิทยุด้วยความถี่ใดความถี่หนึ่งออกไปยังสายอากาศด้านส่ง ซึ่งจะนำพาข้อมูลข่าวสารที่อยู่ในลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าปล่อยแพร่กระจายออกอากาศไปในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 2.14 โดยที่ระบบของการส่งสัญญาณวิทยุนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.15 คือ



รูปที่ 2.14 ระบบเครื่องส่งวิทยุ



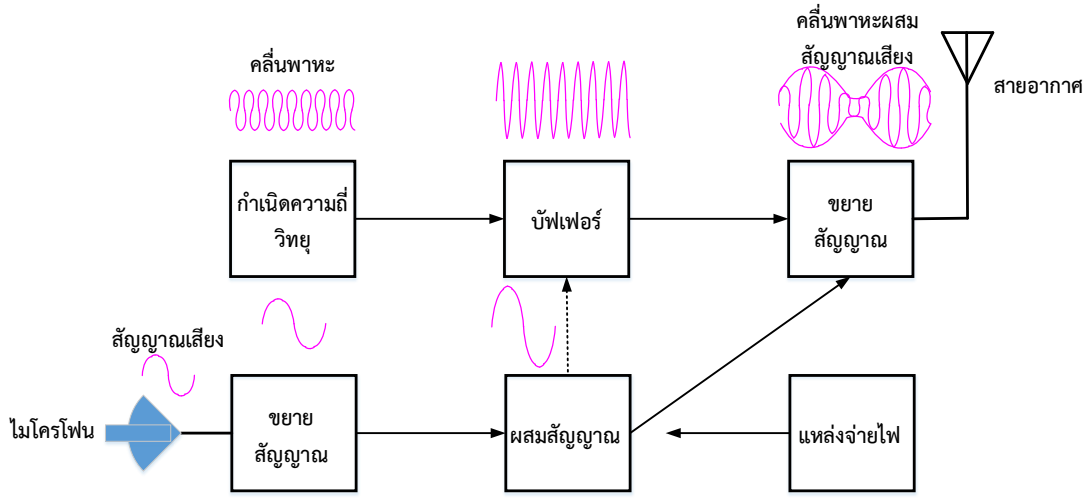
รูปที่ 2.15 ระบบของการส่งสัญญาณวิทยุ

1. การส่งสัญญาณแบบคลื่นต่อเนื่อง (Continuous Wave) เป็นการส่งสัญญาณของคลื่นวิทยุเป็นแบบระยะเวลาสั้น ๆ หรือเป็นแบบจุด (Dot) และแบบระยะเวลายาว ๆ หรือเป็นแบบขีด (Dash) ซึ่งจะถูกนำมาใช้งานในระบบวิทยุโทรเลข (Radio Telegraph) โดยที่ค่าระดับความแรงในการส่งสัญญาณนั้นจะมีค่าที่เท่ากันตลอดทุก ๆ ไซเคิ้ล

2. การส่งสัญญาณแบบคลื่นผสม (Modulated Wave) เป็นการส่งสัญญาณแบบคลื่นผสมที่ถูกนำมาใช้งานในระบบวิทยุโทรศัพท์ (Radio Telephone) ซึ่งจะมีข้อมูลข่าวสารผสมเข้าไปอยู่ด้วย โดยจะใช้วิธีการผสมกันทางด้านขนาด (AM) หรือวิธีการผสมกันทางด้านความถี่ (FM) หรือวิธีการผสมกันทางด้านเฟส (PM) ก็ได้ ซึ่งสัญญาณของคลื่นวิทยุที่ได้ออกมานั้นจะแปรผันไปตามความแรงของสัญญาณเสียงด้วยนั่นเอง

2.4.2 เครื่องส่งวิทยุแบบ AM (Amplitude Modulation Transmitter)

โดยการทำงานของเครื่องส่งวิทยุแบบ AM แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งแต่ละภาคการทำงานจะอธิบายการทำงานเบื้องต้นได้คือ



รูปที่ 2.16 ระบบของเครื่องส่งวิทยุแบบ AM

เริ่มจากภาคกำเนิดความถี่วิทยุ จะทำหน้าที่สร้างความถี่วิทยุขึ้นมา โดยอาจจะเริ่มสร้างสัญญาณความถี่ต่ำขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำไปเข้าวงจรทวีคูณความถี่เป็นช่วง ๆ จนทำให้ได้ความถี่ที่สูงเพียงพอและต้องอยู่ในย่านความถี่ที่ต้องการ แล้วจึงทำการส่งต่อความถี่ที่ได้นั้นเข้าไปยังภาคบัฟเฟอร์เพื่อทำการขยายความถี่วิทยุต่อไป

ถัดมาเป็นภาคบัฟเฟอร์ จะทำหน้าที่ขยายความถี่วิทยุให้มีความแรงเพิ่มมากขึ้นและยังทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกันระหว่างสัญญาณจากภาคกำเนิดความถี่กับสัญญาณจากภาคขยายกำลัง

ถัดมาเป็นภาคขยายกำลัง จะทำหน้าที่ขยายความถี่วิทยุ โดยจะทำการขยายสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการผสมเรียบร้อยแล้วให้มีกำลังส่งที่สูงมากขึ้นก่อนที่จะนำส่งต่อออกไปยังสายอากาศ

ถัดมาเป็นภาคผสมคลื่น จะทำหน้าที่ผสมสัญญาณเสียงเข้ากับความถี่ของคลื่นพาหะในระบบแบบ AM โดยที่สัญญาณเสียงจะถูกนำไปควบคุมความแรงของความถี่ของคลื่นพาหะให้มีระดับที่สูงเพิ่มขึ้นหรือลดต่ำลง

ถัดมาเป็นภาคขยายเสียง จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่สร้างขึ้นด้วยไมโครโฟนให้มีระดับความแรงของสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นก่อนที่จะนำส่งเข้าไปยังภาคผสมคลื่น

สุดท้ายจะเป็นภาคแหล่งจ่ายไฟ จะจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงตามขนาดแรงดันที่เหมาะสมไปยังภาคต่าง ๆ ของเครื่องส่ง

2.4.3 ไซด์แบนด์คลื่นวิทยุแบบ AM (AM Side Bands)

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างของคลื่นพาหะ (fc) ที่มีความถี่เท่ากับ 1000 Hz และความถี่เสียง (fa) มีความถี่เท่ากับ 1 Hz

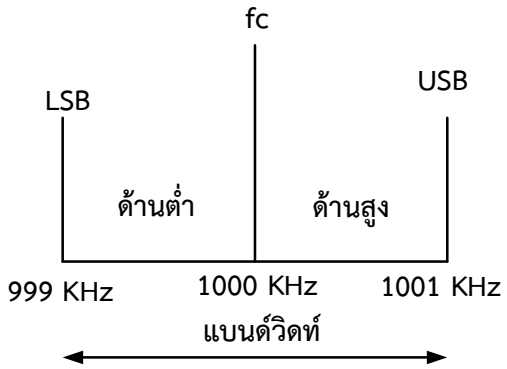
เมื่อทำการผสมคลื่นเข้าด้วยกันก็จะเกิดเป็นความถี่ต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.17 และสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ความถี่พาหะ (Carrier Frequency: fc) = 1000 Hz ซึ่งจะถูกเรียกว่าความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency)

2. ความถี่ทวีคูณของคลื่นพาหะ (2fc) = 2000 Hz ซึ่งจะถูกเรียกว่าความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 (2nd Harmonic Frequency)

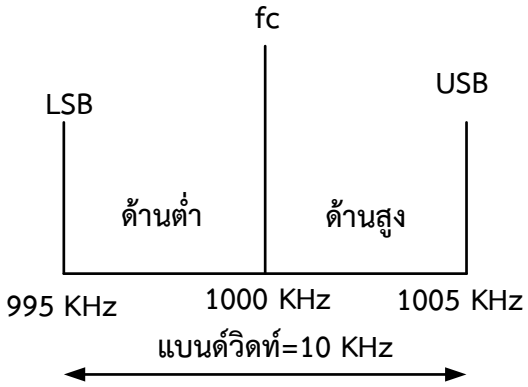
3. ความถี่ผลบวกของคลื่นพาหะกับความถี่เสียง (fc+fa) = 1000 Hz + 1 Hz = 1001 Hz ซึ่งจะถูกเรียกว่าไซด์แบนด์ด้านสูง (Upper Side Band: USB)

4. ความถี่ผลต่างของคลื่นพาหะกับความถี่เสียง (fc-fa) = 1000 Hz – 1 Hz = 999 Hz ซึ่งจะถูกเรียกว่าไซด์แบนด์ด้านต่ำ (Lower Side Band: LSB)



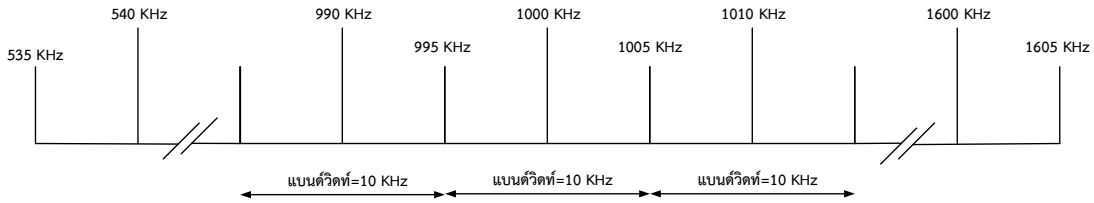
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างไซด์แบนด์คลื่นวิทยุแบบ AM

โดยที่สเปคตรัมความถี่ จะมีความถี่ที่ถูกส่งออกทั้งหมดครอบคลุมตั้งแต่ช่วงความถี่ของ 999 Hz ถึง 1001 Hz ซึ่งค่าความกว้างนี้จะถูกเรียกว่าแบนด์วิดท์ (Bandwidth)



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างไซด์แบนด์การส่งคลื่นวิทยุระบบ AM

การส่งคลื่นวิทยุระบบ AM นั้นจะกำหนดแบนด์วิดท์ของแต่ละสถานีกว้างได้ถึง 10 KHz ซึ่งทำให้สามารถมีไซด์แบนด์ได้ข้างละ 5 KHz นั่นจึงทำให้ในแต่ละสถานีส่งนั้นจะสามารถทำการผสมสัญญาณเสียงเข้ากับความถี่ของคลื่นพาหะได้ที่ 5 KHz ตามมาตรฐานของ FCC แสดงได้ดังรูปที่ 2.18



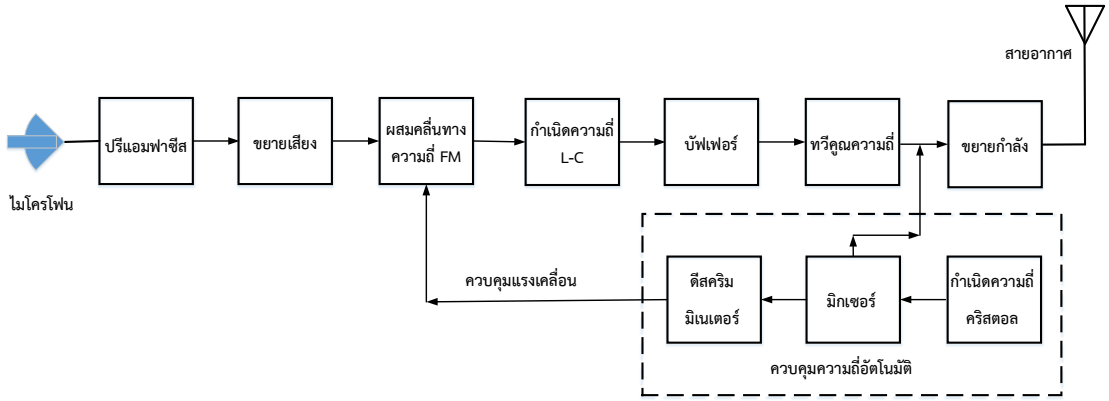
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างไซด์แบนด์การส่งคลื่นวิทยุกระจายเสียงในระบบ AM

โดยในการส่งวิทยุกระจายเสียงของระบบ AM ตามมาตรฐานของ FCC จะอยู่ในช่วงความถี่ 535 KHz ถึง 1605 KHz ซึ่งสัญญาณเสียงนี้จะทำการผสมกับความถี่ของคลื่นพาหะซึ่งจะได้ความถี่สูงสุดอยู่ที่ 5 KHz ความถี่ของคลื่นพาหะของสถานีจะมีความถี่อยู่ที่ 540 KHz และในแต่ละสถานีจะมีช่วงความถี่ที่ห่างกันอยู่ที่ 10 KHz นั่นหมายถึงจะมีไซด์แบนด์อยู่ที่ สถานีละ 5 KHz สถานีสุดท้ายจะมีความถี่อยู่ที่ 1600 KHz โดยจะสามารถสร้างสถานีได้ทั้งหมดรวม 107 สถานีนั่นเอง ตัวอย่างของแต่ละช่องสถานี แสดงได้ดังรูปที่ 2.19

2.4.4 เครื่องส่งวิทยุแบบ FM (Frequency Modulation Transmitter)

เครื่องส่งวิทยุแบบ FM สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบ FM ทางตรง (Direct FM) และแบบ FM ทางอ้อม (Indirect FM)

1. เครื่องส่งแบบ FM ทางตรง แสดงได้ดังรูปที่ 2.20 โดยสามารถอธิบายการทำงานในแต่ละภาคได้ดังนี้



รูปที่ 2.20 ระบบเครื่องส่งแบบ FM ทางตรง

เริ่มจากภาคปรีแอมฟาซีส รับสัญญาณเสียงที่ผ่านไมโครโฟนมาแล้วก็จะถูกส่งเข้ามายัง ภาคปรีแอมฟาซีส เพื่อทำหน้าที่ยกระดับความแรงของสัญญาณเสียงที่ความถี่สูงในขั้นแรกให้แรงเพิ่มมากขึ้น

ถัดมาเป็นภาคขยายสัญญาณเสียง จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงในขั้นที่ 2 ให้มีระดับความแรงที่เพิ่มมากขึ้นไปอีก โดยเป็นการขยายสัญญาณแบบไม่มีความผิดเพี้ยนอีกด้วย

ถัดมาเป็นภาคผสมคลื่นทางความถี่ จะทำหน้าที่รับสัญญาณเสียงเข้ามาเพื่อควบคุมให้ภาคผสมคลื่นคงคุณสมบัติการทำงานให้ค่าความจุที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นหรือลดต่ำลงไปตามสัญญาณเสียงที่ส่งเข้ามาควบคุม

ถัดมาเป็นภาคกำเนิดความถี่แบบ LC จะทำหน้าที่รับค่าความจุที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณเสียงของภาคผสมคลื่นเข้ามาเพื่อทำการควบคุมการสร้างความถี่ ของวงจรกำเนิดความถี่แบบ LC

ถัดมาเป็นภาคบัฟเฟอร์ จะทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่น FM มาจากภาคกำเนิดความถี่แบบ LC เพื่อมาทำการขยายความแรงของสัญญาณให้เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังทำหน้าที่ช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน

ถัดมาเป็นภาคทวีคูณความถี่ จะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความถี่ของสัญญาณคลื่น FM ให้มีความถี่ที่เพิ่มสูงขึ้นจนสูงถึงย่านที่เหมาะสมของสถานี FM

ถัดมาเป็นภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณของความถี่ FM ที่มีกำลังลดต่ำลงให้มีกำลังที่สูงขึ้น จนเพียงพอสำหรับการส่งต่อเข้าไปยังสายอากาศด้านส่ง

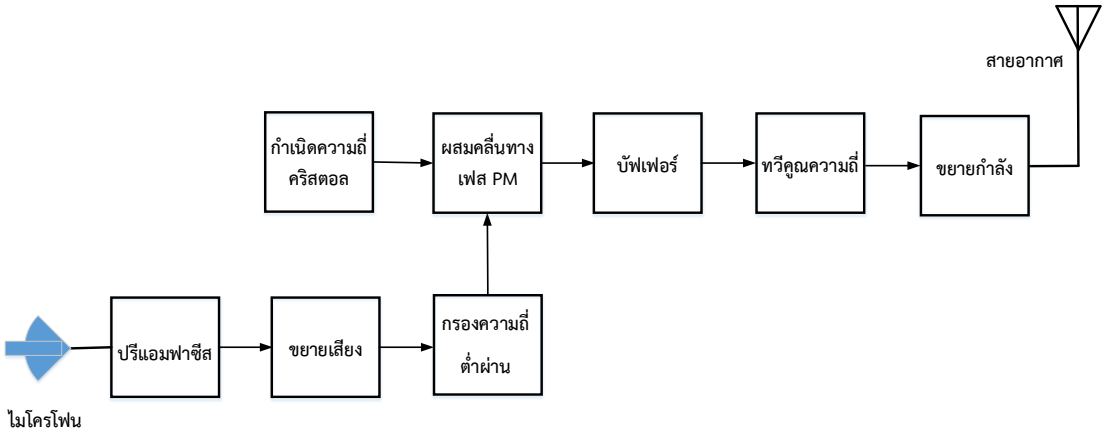
ถัดมาเป็นภาคควบคุมความถี่โดยอัตโนมัติ ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมศูนย์กลางของค่าความถี่ของวงจรกำเนิดความถี่ไว้ให้คงที่ตลอดเวลา

ถัดมาเป็นภาคกำเนิดความถี่คริสตอล จะทำหน้าที่สร้างความถี่วิทยุขึ้นมาโดยจะมีความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นพาหะของสถานี FM

ถัดมาเป็นภาคมิกเซอร์ จะทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นความถี่เข้ามา 2 สัญญาณคือสัญญาณความถี่วิทยุ FM ที่ได้มาจากภาคทวีคูณความถี่และสัญญาณความถี่วิทยุที่ได้มาจากภาคกำเนิดความถี่คริสตอล แล้วนำ 2 สัญญาณนี้มาหักล้างซึ่งกันและกัน

ถัดมาเป็นภาคดีสคริมมิเนเตอร์ จะทำหน้าที่รับความถี่ที่ได้จากการหักล้างกันจากภาคมิกเซอร์มาทำการแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

2. เครื่องส่งแบบ FM ทางอ้อม (Indirect FM) แสดงได้ดังรูปที่ 2.21 โดยสามารถอธิบายการทำงานในแต่ละภาคได้ดังนี้



รูปที่ 2.21 ระบบเครื่องส่งแบบ FM ทางอ้อม

เริ่มจากภาคปรีแอมฟาซีส จะทำหน้าที่ยกระดับความแรงของสัญญาณเสียงที่ความถี่สูงในขั้นแรกให้แรงเพิ่มมากขึ้น

ถัดมาเป็นภาคขยายสัญญาณเสียง จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงในขั้นที่ 2 ให้มีระดับความแรงที่เพิ่มมากขึ้นไปอีก โดยเป็นการขยายสัญญาณแบบไม่มีความผิดเพี้ยนอีกด้วย

ถัดมาเป็นภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณเสียงให้เลื่อนเฟสไป 90 องศา แล้วส่งต่อเข้าไปยังภาคผสมคลื่นทางเฟส

ถัดไปเป็นภาคกำเนิดความถี่คริสตอล จะทำหน้าที่สร้างความถี่ของคลื่นพาหะขึ้นมาโดยจะมีความถี่ที่คงที่ค่าใดค่าหนึ่ง แล้วส่งต่อเข้าไปยังภาคผสมคลื่นทางเฟส

ถัดมาเป็นภาคผสมคลื่นทางเฟส จะทำหน้าที่ในการผสมคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงที่ผ่านภาคกรองความถี่ต่ำผ่านกับสัญญาณความถี่ของคลื่นพาหะ

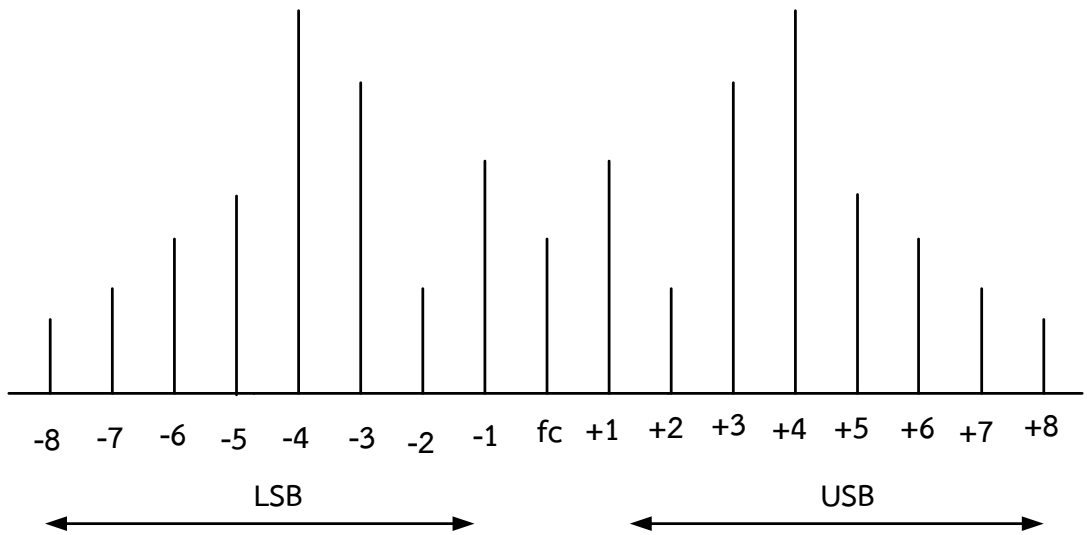
ถัดมาเป็นภาคบัฟเฟอร์ จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่ FM ที่ได้มาจากภาคผสมคลื่นทางเฟส เพื่อทำให้มีระดับความแรงที่เพิ่มมากขึ้น

ถัดมาเป็นภาคทวีคูณความถี่ จะทำหน้าที่เพิ่มความถี่ของสัญญาณ FM เพื่อให้มีค่าความถี่ที่เพิ่มสูงขึ้นจนเหมาะสมกับย่านของสถานี FM

สุดท้ายภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณของความถี่ FM ที่มีกำลังลดต่ำลงให้มีกำลังที่สูงขึ้น จนเพียงพอสำหรับการส่งต่อเข้าไปยังสายอากาศด้านส่ง

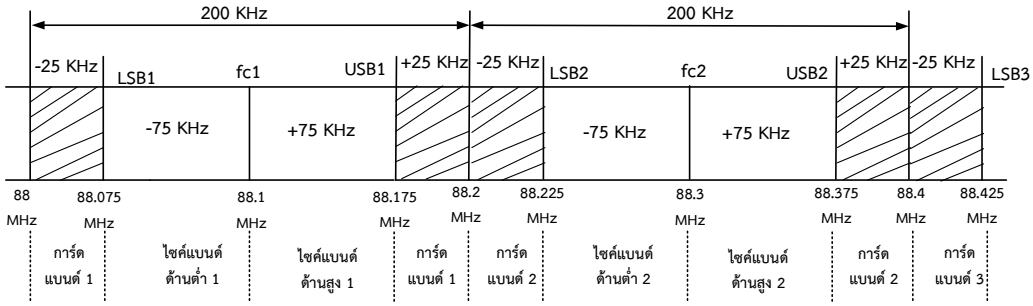
2.4.5 ไซด์แบนด์วิทยุ FM (FM Side Bands)

การส่งกระจายเสียงของวิทยุแบบ FM จะมีจำนวนของไซด์แบนด์ของคลื่นความถี่ที่มากกว่าการส่งกระจายเสียงของวิทยุแบบ AM โดยขนาดไซด์แบนด์ของแต่ละฮาร์โมนิกจะมีความแรงที่สูงต่ำแตกต่างกัน แสดงได้ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างไซด์แบนด์การส่งคลื่นวิทยุระบบ FM

ไซด์แบนด์ของวิทยุกระจายเสียงแบบ FM ตามมาตรฐานของ FCC ถูกกำหนดไว้อยู่ที่ 75 KHz รวมด้านสูงและด้านต่ำจะมีค่าอยู่ที่ 150 KHz มีแบนด์วิดท์ของแต่ละสถานีอยู่ที่ 200 KHz และจะมีช่องว่างของความถี่ที่ไม่มีสัญญาณหรือการ์ดแบนด์ (Guard Band) อีก 50 KHz (200 KHz-150 KHz = 50 KHz) จะมีค่า 25 KHz รวมด้านสูงและด้านต่ำเพื่อใช้ในการป้องกันสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อนกันของแต่ละสถานี แสดงได้ดังรูปที่ 2.23



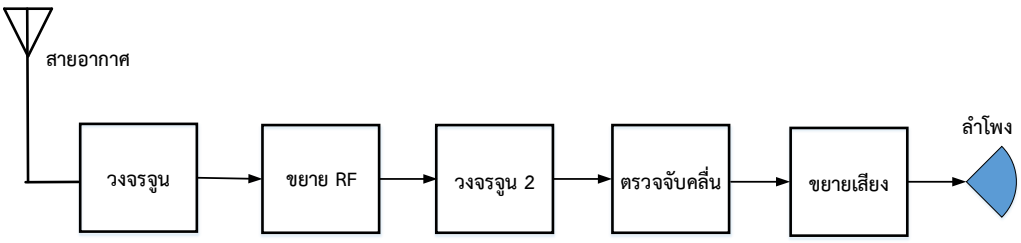
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างไซด์แบนด์การส่งคลื่นวิทยุกระจายเสียงในระบบ FM

2.5 เครื่องรับวิทยุ

เครื่องรับวิทยุเป็นการนำอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์มาต่อประกอบรวมกันเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถใช้ในการรับและเปลี่ยนสัญญาณคลื่นความถี่ที่ส่งกระจายเสียงออกอากาศในระบบของวิทยุมาเป็นสัญญาณเสียง โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ ๆ คือเครื่องรับวิทยุระบบ AM และเครื่องรับวิทยุระบบ FM

2.5.1 เครื่องรับวิทยุระบบ AM โดยจะอาศัยตัวแยกคลื่น (Demodulator) เพื่อทำการแยกคลื่นพาหะออกจากสัญญาณคลื่นเสียงให้เหลือเพียงแค่สัญญาณคลื่นเสียงเท่านั้น แล้วจึงนำออกไปเข้าสู่ลำโพงหรือหูฟัง โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงหลักการทำงานเฉพาะเครื่องรับวิทยุระบบ AM แบบจูนความถี่วิทยุ TRF ดังนี้

เครื่องรับวิทยุ AM แบบจูนความถี่วิทยุ TRF ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อลดปัญหาของเครื่องรับวิทยุในช่วงแรก ๆ ที่มียังขาดประสิทธิภาพในด้านการขยายสัญญาณและยังมีสัญญาณแทรกระหว่างสถานีกันอยู่ แสดงได้ดังรูปที่ 2.24 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

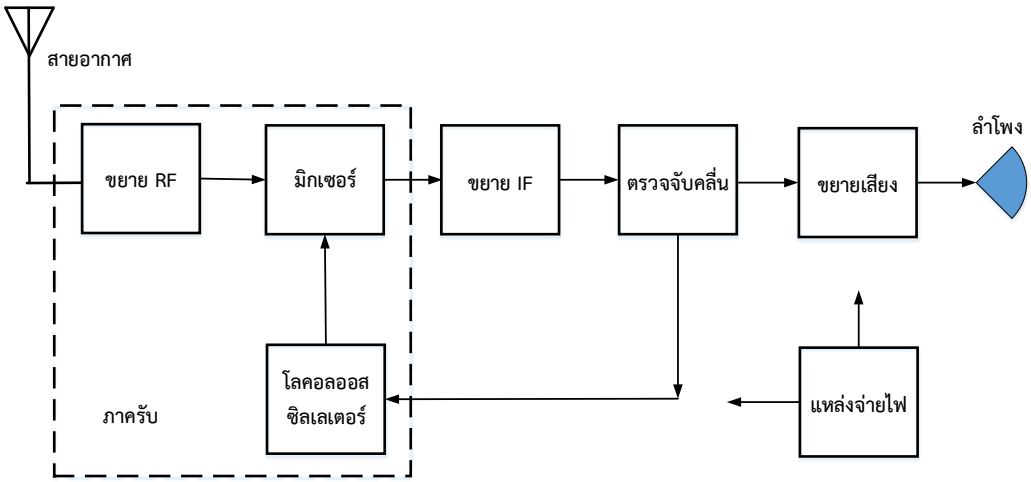


รูปที่ 2.24 ระบบเครื่องรับวิทยุ AM แบบจูนความถี่วิทยุ TRF

เครื่องรับวิทยุ AM แบบจูนความถี่วิทยุ TRF มีหลักการทำงานคือจะมีสัญญาณคลื่นวิทยุ AM ของทุกสถานีจะมารอที่ปลายสายอากาศด้านรับ โดยจะมีวงจรรับสัญญาณหรือวงจรจูนทำการเลือกรับสัญญาณแค่เพียงความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้น แล้วส่งต่อเข้าไปยังภาคขยายความถี่ RF เพื่อทำการขยายความถี่นั้นให้มีความแรงเพิ่มมากขึ้น แล้วจึงส่งต่อไปยังวงจรจูนที่ 2 ซึ่งมีการเลือกความถี่ที่ตรงกับวงจรจูนในครั้งแรก เพื่อตรวจสอบความถี่ที่ผ่านเข้ามาให้มีความถูกต้อง และป้องกันความถี่อื่นเข้ามาแทรกแซง ก่อนที่จะส่งเข้าไปยังภาคตรวจจับคลื่นซึ่งจะทำหน้าที่ตัดสัญญาณความถี่วิทยุ AM ออกให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่ง ส่งต่อเข้าไปยังวงจรกรองความถี่เพื่อทำการตัดความถี่พาหะออกไป คงเหลือไว้แค่เพียงสัญญาณเสียงเท่านั้น แล้วจึงส่งต่อออกไปยังวงจรขยายสัญญาณในลำดับสุดท้ายให้มีระดับสัญญาณที่แรงขึ้น เพื่อส่งต่อออกไปยังลำโพงเพื่อปล่อยเสียงนั้นให้ดังออกมา โดยข้อดีของเครื่องรับวิทยุ AM แบบจูนความถี่วิทยุ TRF ที่ได้พัฒนาขึ้นมาพอสรุปได้ดังนี้

1. ระบบมีความไวต่อการรับสัญญาณที่ดีขึ้นสามารถรับสัญญาณที่มีความแรงต่ำได้
2. สามารถแยกรับสัญญาณและเลือกรับความถี่ที่ต้องการได้ดี
3. สัญญาณที่รับได้มีความชัดเจนดีและไม่ผิดเพี้ยน

2.5.2 เครื่องรับวิทยุ FM แบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์ โดยเครื่องรับวิทยุ FM นั้น มีการพัฒนามาจากอดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อลดปัญหาในการรับสัญญาณด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะเครื่องรับวิทยุ FM แบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.25 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้



รูปที่ 2.25 ระบบเครื่องรับวิทยุ FM แบบซุปเปอร์เฮทเตอร์โรดายน์

เริ่มจากสายอากาศ จะทำหน้าที่ รับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ปล่อยออกมาจากทุกสถานี

ถัดมาเป็นภาคขยาย RF จะทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุในย่าน FM 88 MHz–108 MHz เข้ามาและทำการเลือกรับสัญญาณความถี่วิทยุ FM แค่เพียงสถานีเดียวเท่านั้น

ถัดมาเป็นภาคมิกเซอร์ จะทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเข้ามาทั้งสัญญาณที่ได้จากภาคขยาย RF และสัญญาณ OSC ที่ได้จากภาคโลคอลออสซิลเลเตอร์ เพื่อที่จะทำการผสมสัญญาณนั้นส่งออกไปยังเอาต์พุตต่อไป

ถัดมาเป็นภาคโลคอลออสซิลเลเตอร์ จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่ที่มีระดับความแรงคงที่ขึ้นมา โดยจะเป็นความถี่ที่สูงกว่าความถี่ที่วงจรขยาย RF รับเข้ามาซึ่งจะเท่ากับความถี่ IF คือ 10.7 MHz

ถัดมาเป็นภาคขยาย IF จะทำหน้าที่ขยายความถี่ปานกลางที่เกิดจากผลการหักล้างของความถี่ภาคโลคอลออสซิลเลเตอร์กับภาคขยาย RF

ถัดมาเป็นภาคตรวจจับคลื่น จะทำหน้าที่แยกสัญญาณเสียงออกจากความถี่ IF ที่เกิดจากการผสมสัญญาณเสียงกับสัญญาณของคลื่นพาหะ ให้เหลือเฉพาะสัญญาณคลื่นความถี่เสียงที่ต้องการ

ถัดมาเป็นภาคขยายเสียง จะทำหน้าที่ขยายเสียงที่ได้รับมาจากภาคตรวจจับคลื่น ให้มีระดับความแรงที่เพิ่มมากขึ้นที่มีความชัดเจนไม่ผิดเพี้ยน เพื่อที่จะได้ส่งต่อไปยังลำโพงให้ปล่อยสัญญาณเสียงนั้นออกมา

สุดท้ายเป็นภาคจ่ายกำลังไฟ จะทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟกระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรของเครื่องรับวิทยุ FM ทั้งหมด โดยจะประกอบด้วยวงจรเรคกูเลเตอร์ในการควบคุมแรงดันไฟกระแสตรงให้คงที่ทำให้คุณภาพการทำงานของอุปกรณ์เครื่องรับวิทยุมีประสิทธิภาพ

2.6 สรุป

การสื่อสารทางไกลในช่วงแรก ๆ ที่มีการพัฒนาขึ้นมาจะเป็นการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุที่ส่งผ่านไปในอากาศและชั้นบรรยากาศด้วยการนำสัญญาณเสียงผสมรวมกับคลื่นพาหะ เพื่อทำให้สัญญาณเดินทางผ่านอากาศออกไปได้ไกลขึ้น ซึ่งแบ่งการผสมคลื่นออกเป็น 3 แบบ คือการผสมคลื่นทางขนาด การผสมคลื่นทางความถี่ และการผสมคลื่นทางเฟส โดยเครื่องส่งวิทยุจะประกอบไปด้วยภาคการทำงานต่าง ๆ ซึ่งภาคการทำงานขั้นพื้นฐานจะประกอบไปด้วยภาคขยายสัญญาณ ภาคกำเนิดคลื่นพาหะ ภาคผสมคลื่น ภาคทวีคูณความถี่ ภาคขยายกำลังและสายอากาศ ส่วนของเครื่องรับวิทยุก็จะมีภาคการทำงานพื้นฐานคล้ายกับภาคส่งวิทยุ ซึ่งจะมีการรับสัญญาณที่ผสมแล้วที่ส่งผ่านมาในอากาศที่แตกต่างกันออกไป โดยเครื่องรับวิทยุแบบ AM จะรับสัญญาณที่มีการผสมคลื่นทางขนาด เครื่องรับวิทยุแบบ FM จะรับสัญญาณที่มีการผสมคลื่นทางความถี่ โดยต้องผ่านภาคการทำงานอีกหลาย ๆ ภาคการทำงาน จึงจะได้สัญญาณเสียงที่ชัดเจนขึ้น แต่เครื่องรับวิทยุนั้นจะสามารถรับฟังได้เฉพาะเสียงเพียงเท่านั้น ไม่สามารถเห็นภาพได้ ซึ่งถ้าต้องการการสื่อสารที่ได้ยินทั้งเสียงและเห็นภาพได้ด้วยนั้นต้องใช้ผ่านเครื่องรับโทรทัศน์ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2

ข้อ 1 จงบอกความหมายของคลื่นพาหะ
ข้อ 2 จงเขียนลักษณะของสัญญาณและคลื่นพาหะ
ข้อ 3 จงบอกหลักการผสมคลื่นที่ใช้ในย่านวิทยุกระจายเสียง
ข้อ 4 จงอธิบายข้อแตกต่างของการผสมคลื่นแบบ FM กับ PM
ข้อ 5 จงอธิบายถึงระบบของเครื่องส่งวิทยุแบบ AM
ข้อ 6 จงอธิบายถึงการผสมคลื่นแบบโอเวอร์มอด
ข้อ 7 จงอธิบายถึงระบบของเครื่องส่งวิทยุแบบ FM ทางตรง
ข้อ 8 จงอธิบายถึงระบบของเครื่องรับวิทยุแบบ AM
ข้อ 9 จงอธิบายถึงระบบของเครื่องรับวิทยุแบบ FM
ข้อ 10 จงอธิบายถึงไซด์แบนด์ของวิทยุกระจายเสียงแบบ FM ตามมาตรฐานของ FCC

บรรณานุกรม

1. กองทัพบก โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมทหารสื่อสาร. (2560). การสื่อสารประเภทวิทยุ ว.0402 [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.tds.rta.mi.th//205ตำราการสื่อสารประเภทวิทยุ, 11 พฤศจิกายน 2565.

2. ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบวิทยุสื่อสาร [ออนไลน์], แหล่งที่มา http://kromchol.rid.go.th/ict/cmd/download/RidRadio.pdf, 11 พฤศจิกายน 2565.

3. สุทัศน์ สุริยะ. (2552). วิชาเครื่องรับวิทยุ [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://anyflip.com/pomjl/afcn/basic, 11 พฤศจิกายน 2565.

4. พันธ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, เครื่องรับวิทยุ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, 2566.

5. พันคำ ช่อวงศ์, เครื่องส่งวิทยุ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, 2562.

6. สายัญต์ ชื่นอารมย์, เครื่องส่งวิทยุ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2562.

7. อนงค์ลักษณ์ อาจมังกร, เครื่องรับวิทยุ, พิมพ์ครั้งที่ 2: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2562.

8. เจน สงสมพันธุ์, เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์นาคร, 2564.

9. ปรีชา กอเจริญ, หลักการสื่อสารและโทรคมนาคม, พิมพ์ครั้งที่ 1: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม แอนด์ เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์, 2557.

10. ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, สู่โลกไฟฟ้าสื่อสาร, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2555.

บทที่ 3
ระบบโทรทัศน์และกล้องวงจรปิด

จากการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุกระจายเสียงที่ทำให้สามารถรับฟังข้อมูลข่าวสารที่เป็นเสียงได้เพียงอย่างเดียว ทำให้มีการพัฒนาระบบอุปกรณ์ที่สามารถรับส่งข้อมูลข่าวสารที่เป็นได้ทั้งภาพและเสียงพร้อม ๆ กัน จึงได้เกิดเป็นระบบโทรทัศน์ขึ้นมา (ระบบโทรทัศน์วงจรเปิด)

โทรทัศน์ (Television: TV) เป็นการส่งและรับภาพกับเสียงได้พร้อม ๆ กัน โดยอาศัยเครื่องส่งและเครื่องรับ ซึ่งออกอากาศกระจายสัญญาณด้วยความถี่ของคลื่นวิทยุที่ใช้พลังไฟฟ้าแปลงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งออกจากเครื่องส่งสัญญาณไปตามอากาศออกไปยังเครื่องรับสัญญาณที่อยู่ห่างไกล หรือจะใช้วิธีการส่งและรับด้วยสายเคเบิ้ลนำสัญญาณก็ได้

โดยที่มาตรฐานของระบบโทรทัศน์จะจำแนกออกได้เป็น 3 ระบบคือระบบเอ็นทีเอสซี (NTSC) ระบบแพล (PAL) และระบบเซกาม (SECAM) แสดงได้ดังตารางที่ 3.1

1. ระบบ NTSC จะนิยมใช้กันในประเทศอเมริกา ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน เป็นต้น
2. ระบบ PAL จะนิยมใช้ในทวีปยุโรป ฮ่องกง ออสเตรเลีย สิงค์โปรและประเทศไทย เป็นต้น
3. ระบบ SECAM จะนิยมใช้ในประเทศฝรั่งเศสและรัสเซีย เป็นต้น

ตารางที่ 3.1 มาตรฐานของระบบโทรทัศน์

รายละเอียด	ระบบโทรทัศน์		
	NTSC	PAL	SECAM
1. แรงดัน	110 V	220 V	220 V
2. ความถี่	60 Hz	50 Hz	50 Hz
3. จำนวนกรอบภาพ	30 กรอบภาพ/วินาที	25 กรอบภาพ/วินาที	25 กรอบภาพ/วินาที
4. จำนวนเส้น	525 เส้น	625 เส้น	625 เส้น

โดยที่เครื่องรับโทรทัศน์ทั่วไปตามบ้านนั้นจะใช้หลอดรับภาพรวบรวมสัญญาณไฟฟ้าแปลงเปลี่ยนออกมาเป็นสัญญาณภาพ ซึ่งการกวาดภาพตามระบบโทรทัศน์นั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ระบบคือ 1. ระบบ PAL ของยุโรป ซึ่งที่จอภาพจะมีเส้นกวาดภาพ 625 เส้น ที่จะสามารถทำการกวาดภาพได้ 25 ครั้งต่อวินาที และ 2. ระบบ NTSC ของอเมริกา ที่จอภาพจะมีเส้นกวาดภาพ 525 เส้น สามารถทำการกวาดภาพได้ 30 ครั้งต่อวินาที โดยหากระบบมีเส้นกวาดภาพจำนวนมากก็จะทำให้ได้ภาพที่มีความชัดเจนมากและความเร็วในการกวาดภาพมากก็จะทำให้ภาพที่ได้มีความนิ่งมากขึ้น ซึ่งระบบโทรทัศน์นั้นจะมีการส่งภาพอยู่ 6 ระบบ ได้แก่

1. ระบบย่านความถี่สูงมาก (Very High Frequency: VHF) เป็นระบบที่แบ่งช่วงสัญญาณของคลื่นออกอากาศได้ตั้งแต่ 1-13 ช่อง โดยช่องที่ 1 นั้นเป็นช่วงความถี่ต่ำจึงไม่ถูกนำมาใช้

เพื่อออกอากาศ และจะเริ่มออกอากาศตั้งแต่ช่องที่ 2 เป็นต้นไป โดยความถี่ที่ใช้ออกอากาศนั้นจะอยู่ที่ช่วงความถี่ 48-300 MHz ซึ่งเป็นระบบที่สามารถแพร่ภาพออกไปได้ไกลและมีความชัดเจน

2. ระบบย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) เป็นระบบที่แบ่งช่วงสัญญาณของคลื่นได้ตั้งแต่ 14-83 ช่อง รวมมีจำนวนทั้งหมดเป็น 70 ช่อง ซึ่งจะใช้ช่วงคลื่นตั้งแต่ความถี่ 300-3000 MHz โดยจะนำไปใช้เพื่อการศึกษาทางไกล ซึ่งหากมีสิ่งกีดขวางเข้ามาปิดกั้นสัญญาณแล้ว คุณภาพของภาพที่รับได้นั้นจะไม่ค่อยชัดเจนมากนัก

3. ระบบผ่านเคเบิ้ลโทรทัศน์ (Cable Television: Cable TV) โดยจะส่งสัญญาณภาพไปตามสายแกนร่วม (Coaxial Cable) ไปตามแนวสายที่มีระยะทางไกลรอบชุมชนหรือตัวเมือง ซึ่งจะมีการเก็บค่าบริการรายเดือนด้วย

4. ระบบย่านไอทีเอฟเอส (Instructional Television Fixed Service: ITFS) โดยจะเป็นการส่งภาพระหว่างสถานีต่อสถานี โดยใช้ความถี่ไมโครเวฟในช่วงความถี่ 2500-2560 MHz เพื่อนำไปใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น โดยจะทำการส่งสัญญาณภาพไปในทางเดียวแต่จะส่งสัญญาณเสียงออกไปเป็น 2 ทาง ส่งไปยังเครื่องรับของแต่ละโรงเรียน

5. ระบบย่านความถี่สูงสุด (Super High Frequency: SHF) จะเป็นระบบโทรทัศน์ที่ส่งสัญญาณภาพด้วยความถี่ที่สูงมาก โดยจะอยู่ในช่วงความถี่ 4000-6000 MHz ซึ่งจะส่งกระจายสัญญาณภาพมาจากสถานีออกอากาศบนดาวเทียม ซึ่งจะส่งสัญญาณโดยตรงไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ โดยที่เครื่องรับโทรทัศน์นั้นจะแปลงสัญญาณจาก SHF ลงมาเป็นย่าน VHF หรือย่าน UHF เพื่อทำให้เครื่องรับโทรทัศน์สามารถแสดงภาพได้ตามปกติ

6. ระบบโทรทัศน์ดิจิทัล (Digital Television) จะเป็นการส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบใหม่ด้วยระบบดิจิทัล โดยระบบดิจิทัลนี้จะมีจุดเด่นกว่าระบบอะนาล็อกแบบเดิม ซึ่งจะมีความคมชัดของภาพและเสียงที่ดีกว่ามาก อีกทั้งในการส่งข้อมูลแบบดิจิทัลนี้ก็สามารถส่งข้อมูลต่าง ๆ ได้มากกว่า ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบการรับส่งสัญญาณดิจิทัลไปอย่างกว้างขวาง เช่น โทรทัศน์แบบจอกว้างหรือโทรทัศน์ที่มีความคมชัดสูง เป็นต้น

3.1 การส่งภาพและเสียงในระบบโทรทัศน์

3.1.1 การส่งสัญญาณภาพ สามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนสัญญาณภาพให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่จะแสดงออกมาเป็นจุด โดยบริเวณจุดที่มีความสว่างมากก็จะมีแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าสูง ส่วนจุดที่มีความสว่างน้อย ก็จะมีแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าต่ำนั่นเอง ซึ่งแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าจะทำให้การขยายกำลังส่งมีค่าที่สูงขึ้น เพื่อส่งออกไปผสมกับความถี่ของคลื่นวิทยุที่จะส่งแพร่กระจายออกอากาศ การผสมกับความถี่ของคลื่นวิทยุจะใช้แบบระบบ AM ซึ่งมีข้อดีคือ

1. สามารถแพร่กระจายสัญญาณออกไปได้ในระยะทางไกล

2. มีความถี่ของช่องสัญญาณให้เลือกส่งออกอากาศได้หลายช่อง เช่น ที่ช่องความถี่ 54-61 MHz เป็นของช่อง 3 ที่ช่องความถี่ 174-181 MHz เป็นของช่อง 5 เป็นต้น

3.1.2 การส่งสัญญาณเสียง สามารถทำได้ด้วยการใช้ไมโครโฟนซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะมีช่วงความถี่ที่แตกต่างกันไปคือ ระดับเสียงสูง เสียงต่ำ โดย

ที่ค่าความถี่จะอยู่ในช่วง 20-20000 Hz จากนั้นทำการขยายสัญญาณให้มีกำลังแรงขึ้น แล้วจึงนำไปผสมกับความถี่ของคลื่นวิทยุในระบบ FM เพื่อส่งแพร่กระจายออกอากาศต่อไป

3.1.3 เครื่องรับ ซึ่งจะมีสายอากาศด้านรับ จะทำหน้าที่รับสัญญาณที่เป็นคลื่นแม่เหล็กที่แพร่กระจายออกมาในอากาศ ทำการเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า หลังจากนั้นจะส่งต่อไปยังวงจรเลือกคลื่น เพื่อเลือกรับสัญญาณเพียงช่องเดียวเท่านั้น แล้วจึงทำการลดความถี่ลงมาให้อยู่ในระดับความถี่ปานกลาง แล้วทำการขยายสัญญาณ นำส่งต่อเข้าไปยังส่วนแยกเฉพาะสัญญาณภาพ เพื่อทำการส่งต่อไปยังหลอดภาพ โดยจะทำการเปลี่ยนสัญญาณภาพนั้นไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยมีพลังงานแสงที่จุดแต่ละจุดเหมือนกันกับฝั่งด้านส่ง ซึ่งการแสดงภาพของหลอดภาพนั้นจะมีความเร็วอยู่ที่ 25 ภาพต่อวินาที

3.2 การส่งภาพระบบโทรทัศน์สี

สำหรับการมองเห็นภาพและสีต่าง ๆ ด้วยตาของมนุษย์นั้น สามารถที่จะแยกการรับสีของสายตามนุษย์ ด้วยจอประสาทที่ตาอยู่ 3 ลักษณะคือ

1. การรับแสงสีแดง ส่วนของสมองก็จะรับรู้แสงสีแดงด้วย
2. การรับแสงสีเขียว ส่วนของสมองก็จะรับรู้แสงสีเขียวด้วย
3. การรับแสงสีน้ำเงิน ส่วนของสมองก็จะรับรู้แสงสีน้ำเงินด้วย

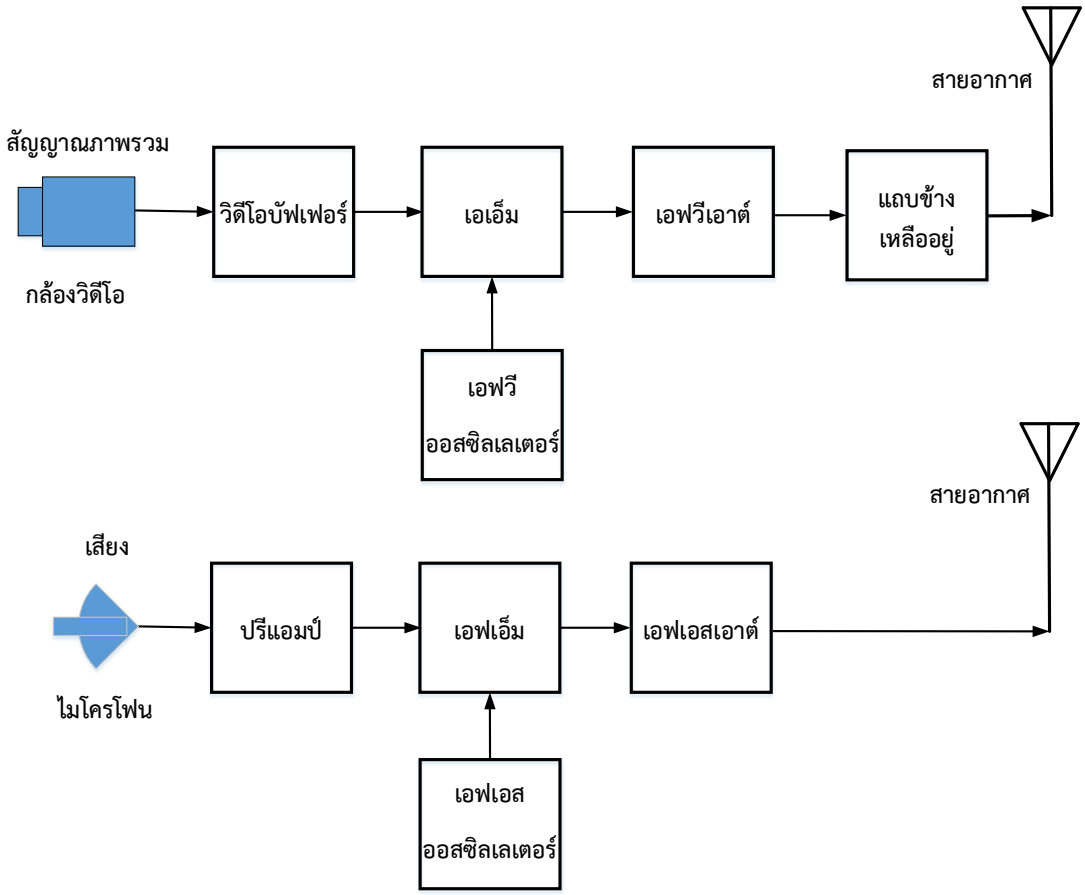
ในการได้รับแสงสีม่วง ประสาทตาที่ไวต่อแสงสีแดงกับสีน้ำเงินก็จะรับรู้ได้พร้อม ๆ กันว่าเป็นแสงสีแดงและสีน้ำเงินผสมรวมกันเข้ามา ซึ่งก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนของสมอง สมองก็จะรับรู้ว่าเป็นการผสมรวมกันของแสงสีแดงและสีน้ำเงินและรับรู้ได้ว่าคือแสงสีม่วง

และหากได้รับแสงสีเหลือง ประสาทตาที่ไวต่อแสงสีแดงกับสีเขียวก็จะรับรู้พร้อม ๆ กันว่าเป็นแสงสีแดงและสีเขียวผสมรวมกันเข้ามา ซึ่งก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนของสมอง สมองก็จะรับรู้ว่าเป็นการผสมกันของแสงสีแดงและสีเขียวและรับรู้ได้ว่าคือแสงสีเหลืองนั่นเอง

ทั้งนี้ในการรับสีของเครื่องโทรทัศน์สี ก็ใช้หลักการการรับแสงของจอประสาทตาของมนุษย์ด้วยเช่นกัน โดยจะใช้หลอดกำเนิดภาพหลัก 3 หลอด คือ หลอดสีแดง หลอดสีเขียว และหลอดสีน้ำเงิน ซึ่งจะใช้แท่งปริซึมเป็นตัวแยกแสง โดยจะแยกสีแดงส่งเข้าไปยังหลอดสีแดง สีเขียวแยกส่งเข้าไปยังหลอดสีเขียว และสีน้ำเงินแยกส่งเข้าไปยังหลอดสีน้ำเงิน แล้วจะส่งเข้าไปรวมกับความถี่ของคลื่นวิทยุด้วยเครื่องส่ง เพื่อทำการส่งออกอากาศต่อไป

เครื่องรับโทรทัศน์สี ก็จะทำการรับสัญญาณที่แพร่กระจายมาทางอากาศ แล้วจะเลือกสัญญาณคลื่นความถี่เพียงช่องสัญญาณเดียว แล้วจะนำไปลดความถี่ให้ต่ำลง จากนั้นทำการส่งต่อไปยังภาคขยายสัญญาณ แล้วจึงส่งต่อเข้าไปยังภาคแยกสัญญาณแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน หลังจากนั้นก็จะส่งต่อเข้าไปยังหลอดภาพ โดยจะใช้วัสดุที่เรืองแสงมาทำการฉายไปที่หน้าจอโทรทัศน์ โดยใช้อิเล็กตรอนมาเป็นตัวตกกระทบและเปล่งแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน โดยจะแสดงออกมาเป็นจุด ๆ ตามสีที่ได้รับ และหากเป็นสีที่ถูกผสมมาก็จะทำการตกกระทบเป็น 2 จุด หากเป็นสีขาวก็จะตกกระทบเป็น 3 จุด

3.3 หลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี



รูปที่ 3.1 หลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี

โดยหลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และสามารถอธิบายได้ดังนี้

โดยจะเริ่มจากกล้องวิดีโอ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณภาพทางแสงให้เป็นสัญญาณภาพทางไฟฟ้า

ภาควิดีโอบัฟเฟอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายแรงดันของสัญญาณภาพรวม ทำให้มีแรงดันเพิ่มสูงขึ้นก่อนส่งไปยังภาคเอเอ็ม

ภาคเอฟวีออสซิลเลเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ตามความถี่ที่ต้องการ กลายเป็นสัญญาณพาหะภาพหรือสัญญาณเอฟวี-ออสแล้วส่งต่อไปยังภาคเอเอ็ม

ภาคเอเอ็ม ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนค่าแอมพลิจูดของสัญญาณเอฟวี-ออส โดยจะแปรเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของสัญญาณภาพรวม ได้เป็นสัญญาณเอฟวี

ภาคเอฟวีเอาต์ ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายกำลังของสัญญาณเอฟวี เพื่อให้มีกำลังที่เพิ่มสูงขึ้นส่งต่อไปยังภาคเวสติเจียลไซด์แบนด์

ภาคเวสติเจียลไซด์แบนด์ ซึ่งจะทำหน้าที่กรองสัญญาณโดยจะยอมให้แถบข้างบนที่ช่วงความถี่ 0-5 MHz ผ่านได้ และสัญญาณแถบข้างล่างที่ช่วงความถี่ 0 - (– 0.75) MHz ผ่านได้ แต่

สัญญาณแถบข้างล่าง ตั้งแต่ช่วงความถี่ (– 0.75) - (– 1.25) MHz จะถูกลดระดับความแรงของสัญญาณลงให้เหลือเป็นศูนย์

สายอากาศ ซึ่งจะทำหน้าที่ เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าของสัญญาณเอฟวีให้กลายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งแพร่กระจายออกไปในอากาศ

ภาคปรีแอมป์ ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายแรงดันของสัญญาณเสียงเพื่อทำให้มีระดับแรงดันที่เพิ่มสูงขึ้น ก่อนส่งต่อไปยังภาคเอฟเอ็ม

ภาคเอฟเอสออสซิลเลเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ตามความถี่ที่ต้องการ กลายเป็นสัญญาณพาหะเสียงหรือสัญญาณเอฟเอส-ออสเพื่อนำส่งต่อไปยังภาคเอฟเอ็ม

ภาคเอฟเอ็ม ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงความถี่สัญญาณเอฟเอส-ออสแปรเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของสัญญาณเสียง กลายเป็นสัญญาณเอฟเอส ± 50 KHz

ภาคเอฟเอสเอาต์ จะทำหน้าที่ในการขยายกำลังของสัญญาณเอฟเอส ± 50 KHz ให้มีกำลังที่เพิ่มสูงขึ้น ก่อนส่งออกไปยังสายอากาศ

และสายอากาศ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเอฟเอสให้กลายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปในอากาศ

3.4 หลักการรับสัญญาณโทรทัศน์สี

โดยหลักการรับสัญญาณโทรทัศน์สีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และสามารถอธิบายได้ดังนี้

สายอากาศ ซึ่งจะทำหน้าที่รับพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสัญญาณโทรทัศน์ที่ถูกส่งแพร่กระจายออกอากาศจากสายอากาศของเครื่องส่ง ให้เปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ก่อนส่งต่อไปยังภาคจูนเนอร์

ภาคจูนเนอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่แยกสัญญาณโทรทัศน์ออกมาเพียงแค่ช่องเดียวเท่านั้นตามที่ต้องการแล้วทำการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณความถี่ในระดับปานกลางของภาพและสัญญาณเสียง

ภาควีไอเอฟ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการกรองสัญญาณให้ผ่านได้เฉพาะสัญญาณวีไอเอฟ 38.9 MHz และเอสไอเอฟ 33.4 MHz แล้วทำการขยายแรงดันให้เพิ่มสูงขึ้นและรักษาระดับแรงดันนั้นให้คงที่ แล้วจึงทำการดีมอดูเลตแบบ AM ได้สัญญาณภาพรวม 0-5 MHz และเอสไอเอฟ 5.5 MHz±50 MHz

ภาคเอสไอเอฟ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการกรองสัญญาณเอสไอเอฟ 5.5 MHz ±50 KHz ผ่าน และทำการดีมอดูเลตแบบ FM ได้เป็นสัญญาณเสียงและขยายสัญญาณนั้นให้มีกำลังเพิ่มสูงขึ้นก่อนนำส่งต่อออกลำโพงให้ได้ยินเป็นเสียง

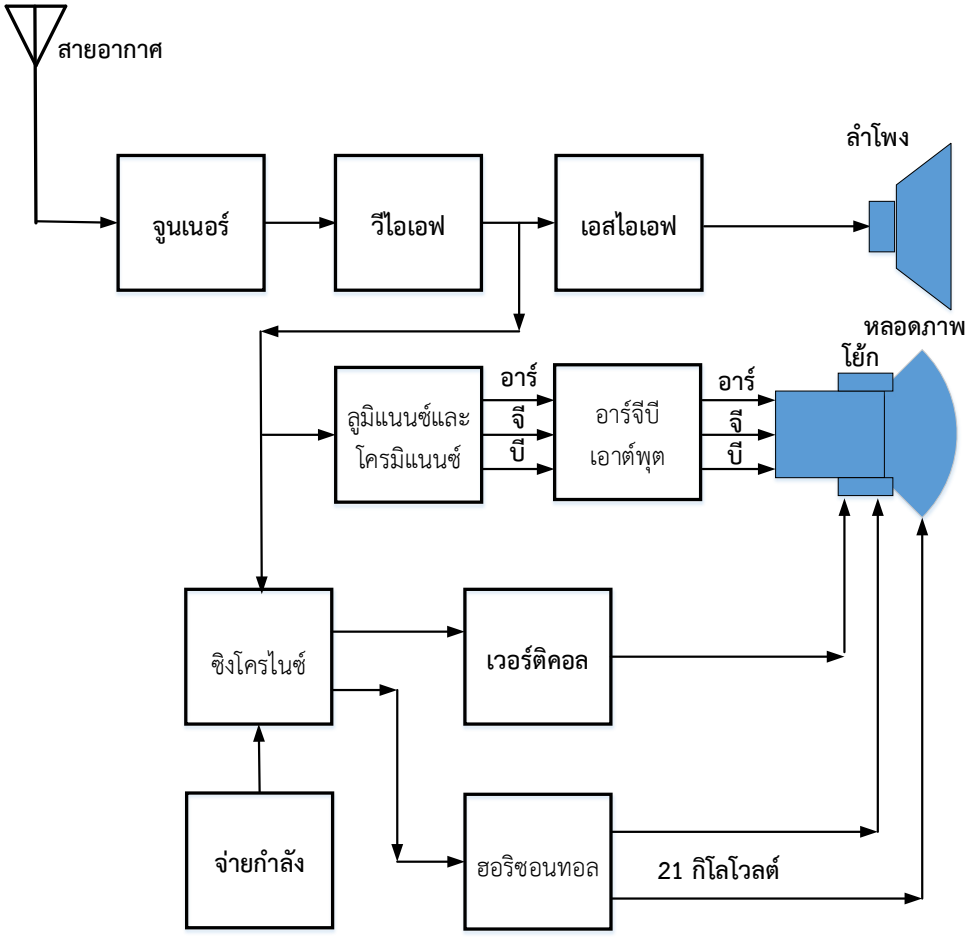
ภาคซิงโครไนซ์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการตัดสัญญาณซิงก์รวมออกจากสัญญาณภาพรวมโดยสัญญาณซิงก์รวม ประกอบด้วยสัญญาณฮอร์-ซิงค์ (สัญญาณแนวนอน) และสัญญาณเวอร์-ซิงค์ (สัญญาณแนวตั้ง) และสัญญาณอีควอไลซิงพัลส์

ภาคฮอริซอนทอล ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณฮอริซอลทอลที่มีความถี่และเฟสที่ถูกต้อง ตรงตามสัญญาณฮอร์-ซิงค์และทำการขยายให้มีกำลังเพิ่มสูงขึ้น

ภาคเวอร์ติคอล ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณเวอร์ติคอลที่มีความถี่และเฟสที่ถูกต้องตรงตามสัญญาณเวอร์ติคอลทริกพัลส์และทำการขยายให้มีกำลังเพิ่มสูงขึ้น

ภาคจ่ายกำลัง ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันและกระแสไฟฟ้าคงที่ เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจร

ภาคลูมิแนนซ์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการขยายแรงดันของสัญญาณวายให้เพิ่มสูงขึ้น และเติมสัญญาณเวอร์-แบล็งกิง และฮอร์-แบล็งกิง ลงในสัญญาณวาย



รูปที่ 3.2 หลักการรับสัญญาณโทรทัศน์สี

ภาคโครมิแนนซ์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณอาร์–วาย กับบี–วาย ออกจากสัญญาณโครมิแนนซ์

ภาคอาร์จีบีเอาต์พุต ซึ่งจะทำหน้าที่ในการขยายแรงดันของสัญญาณอาร์ จี และบี ให้มีแรงดันเพิ่มสูงขึ้น ก่อนส่งต่อไปยังขาแคโทดของหลอดภาพ

หลอดรังสีแคโทดสี ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณอาร์ จี และบี ทางไฟฟ้า ให้กลายเป็นแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน โดยลำแสงของอิเล็กตรอนพุ่งชนสารเรืองแสงอาร์ จี และบี ต้องอยู่ในอัตราส่วนและการกวาดที่ถูกต้องด้วย

3.5 โทรทัศน์ทางสาย

ระบบโทรทัศน์ที่มีการส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณประเภทต่าง ๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

3.5.1 ซีซีทีวี (Closed-Circuit Television: CCTV) จะเป็นโทรทัศน์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณประเภทโคแอคเชียลในระยะสั้น ๆ ไม่ไกลมากนัก เพื่อใช้ทางการศึกษาหรือทางการแพทย์ โดยในปัจจุบันจะนำไปใช้ในด้านการรักษาความปลอดภัยในสถานที่ต่าง ๆ

3.5.2 เอ็มเอทีวี (Master Antenna Television: MATV) โดยจะใช้ภายในอาคารขนาดใหญ่ที่มีห้องจำนวนมาก ๆ ตามโรงแรมหรือโรงพยาบาล ซึ่งจะใช้สายอากาศในการรับสัญญาณจากเครื่องส่ง แล้วนำมาแพร่กระจายสัญญาณส่งต่อไปยังห้องต่าง ๆ

3.5.3 เคเบิ้ลโทรทัศน์ (Cable Television: Cable TV) โดยจะนำมาใช้เพื่อการบันเทิงและทางการค้า ใช้การส่งสัญญาณผ่านสายโคแอคเชียลในระยะทางที่ห่างไกลไปตามเส้นทางทั่วทั้งเขตชุมชนและตัวเมือง ซึ่งจะมีค่าบริการจากการรับสัญญาณไปชมด้วย

3.6 โทรทัศน์ผ่านไมโครเวฟและดาวเทียม

จากการนำระบบโทรทัศน์ที่แพร่กระจายสัญญาณด้วยคลื่นวิทยุและผ่านสายนำสัญญาณนั้น ก็ยังมีข้อจำกัดสำหรับการรับสัญญาณในพื้นที่ห่างไกลและทุรกันดาร จึงมีการนำระบบโทรทัศน์ผ่านไมโครเวฟและดาวเทียมมาใช้งานดังนี้

3.6.1 โทรทัศน์ผ่านไมโครเวฟ จะเป็นการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์แพร่กระจายผ่านความถี่ที่สูงมาก ตั้งแต่ 1 GHz ขึ้นไป โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณภายนอกสถานีเข้ามายังภายในสถานี เช่น ใช้ในการถ่ายทอดสดกีฬาจากสนามกีฬาเข้ามายังภายในสถานี โดยจะมีระยะการส่งไม่เกิน 80 km ตามข้อจำกัดของการส่งผ่านระบบไมโครเวฟ

3.6.2 โทรทัศน์ผ่านดาวเทียม จะเป็นการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม 3 ดวง ที่โคจรอยู่รอบโลกซึ่งเพียงพอที่จะสามารถส่งสัญญาณกระจายออกไปได้ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ทั่วทั้งโลก โดยที่จะต้องมีจานรับสัญญาณขนาดใหญ่มาก เพราะว่าระยะทางจากดาวเทียมมายังพื้นโลกมีระยะทางที่ไกลมากเช่นกัน โดยวิธีนี้จะนำมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาจากการส่งด้วยระบบไมโครเวฟนั่นเอง

3.7 ความเป็นมาของโทรทัศน์ในประเทศไทย

โดยในปี พ.ศ. 2498 รัฐบาลไทยได้ร่วมกันจัดตั้งบริษัทไทยโทรทัศน์ ที่สถานีโทรทัศน์ไทยทีวีช่อง 4 บางขุนพรหม โดยใช้ระบบ NTSC ซึ่งเป็นรายการที่ส่งสัญญาณภาพแบบขาวดำและแพร่กระจายสัญญาณออกอากาศเฉพาะในกรุงเทพฯ และปริมณฑลใกล้ ๆ

ต่อมาในปี พ.ศ. 2510 กองทัพบกจัดตั้งสถานีโทรทัศน์ ที่สถานีโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 7 ระบบ NTSC ซึ่งเป็นรายการที่ส่งสัญญาณภาพแบบขาวดำและแพร่กระจายสัญญาณออกอากาศเฉพาะในกรุงเทพฯ และปริมณฑลใกล้ ๆ

ต่อมาทางรัฐบาลทำการขยายสถานีเครือข่ายออกไปยังภูมิภาคต่าง ๆ โดยที่ภาคอีสานเป็นจังหวัดขอนแก่น ภาคเหนือเป็นจังหวัดลำปาง และภาคใต้เป็นจังหวัดสงขลา

และในช่วงปลายปี พ.ศ. 2510 สถานีโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 7 ได้ทำการเปลี่ยนระบบการส่งจากระบบ NTSC ที่เป็นรายการที่ส่งสัญญาณภาพแบบขาวดำ มาใช้เป็นระบบแพล ซึ่งเป็นรายการที่ส่ง

สัญญาณภาพสี แพร่กระจายสัญญาณออกอากาศเฉพาะกรุงเทพฯ และปริมณฑลใกล้ ๆ โดยต่อมาสถานีโทรทัศน์ทุกสถานีจึงเปลี่ยนมาใช้ระบบแพลทั้งหมด แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ประเทศไทยมีสถานีแม่ 6 สถานี ระบบแพล บี 625 เส้น

ช่อง	สถานีโทรทัศน์สี	ความถี่ (MHz)
3	อ.ส.ม.ท. ช่อง 3 และเครือข่ายย่อย	54-61
5	กองทัพบก ช่อง 5 และเครือข่ายย่อย	171-181
7	กองทัพบก ช่อง 7 และเครือข่ายย่อย	188-195
9	อ.ส.ม.ท. ช่อง 9 และเครือข่ายย่อย	202-209
11	ส.ท.ท. ช่อง 11 และเครือข่ายย่อย	216-223
26	TPBS และเครือข่ายย่อย	510-517

โดยในปัจจุบันได้มีการส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัลซึ่งอาศัยการส่งผ่านดาวเทียมมาใช้งานกันทั่วทุกสถานี โดยใช้ดาวเทียมไทยคม 4 (ไอพีสตาร์) ซึ่งเป็นดาวเทียมดวงแรกของโลก ที่ให้บริการด้านการสื่อสาร โดยจะใช้เทคโนโลยีการรับส่งสัญญาณดิจิทัลได้ทั้งสัญญาณภาพและเสียงไปพร้อม ๆ กัน ในรูปแบบของอินเตอร์เน็ตโปรโตคอล สามารถส่งสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ของทวีปเอเชียและแปซิฟิก

3.8 ระบบกล้องวงจรปิด

ระบบกล้องวงจรปิดหรือระบบโทรทัศน์วงจรปิด (Closed-Circuit Television: CCTV) จะเป็นการส่งสัญญาณภาพจากกล้องโทรทัศน์วงจรปิดที่ทำการติดตั้งไว้ตามตำแหน่งต่าง ๆ มายังจอแสดงผลเพื่อดูภาพและบันทึกภาพ โดยปกติจะทำการติดตั้งส่วนแสดงผลและบันทึกนี้ไว้คนละจุดกับกล้องวงจรปิด เช่น ห้องควบคุม ห้องส่วนกลาง เป็นต้น

3.8.1 ประเภทของกล้องวงจรปิด

ในปัจจุบันระบบกล้องวงจรปิดนั้นได้มีการพัฒนาไปมาก ซึ่งพัฒนาจากระบบกล้องวงจรปิดที่แสดงภาพแบบขาวดำมาเป็นกล้องวงจรปิดที่แสดงภาพสีได้ ทั้งยังมีระบบกล้องวงจรปิดแบบดิจิทัลที่ให้สัญญาณภาพที่มีความละเอียดสูงมาก อีกทั้งในส่วนของเครื่องบันทึกและอุปกรณ์ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่รองรับกับระบบก็มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน โดยที่กล้องวงจรปิดนั้นจะมีลักษณะและการใช้งานต่าง ๆ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. กล้องวงจรปิดแบ่งตามประเภท
   1.1 แบ่งตามประเภทการแสดงภาพของกล้อง
      1.1.1 กล้องสี
      1.1.2 กล้องขาวดำ
   1.2 แบ่งตามประเภทสถานที่ของการติดตั้ง
      1.2.1 กล้องติดตั้งในอาคาร

1.2.2 กล้องติดตั้งนอกอาคาร

1.3 แบ่งตามประเภทรูปแบบของการส่งผ่านสัญญาณภาพ

1.3.1 กล้องอะนาล็อก (Analog) เป็นการส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณแบบอะนาล็อก เช่น สายโคแอคเชียล

1.3.2 กล้องดิจิทัล (Digital IP) เป็นการส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณแบบ UTP ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

1.4 แบ่งตามประเภทความสามารถในการจับภาพในที่มืด

1.4.1 กล้องกลางวัน-กลางคืน (Day-Night) โดยกล้องที่ออกแบบมานั้นจะมีความสามารถในการจับภาพในบริเวณพื้นที่ที่มีแสงสว่างมากและสว่างน้อยได้

1.4.2 กล้องอินฟราเรด จะเป็นกล้องที่ออกแบบมาให้สามารถจับภาพในที่มืดสนิทโดยเฉพาะในช่วงกลางคืน ซึ่งจะอาศัยหลักการของการส่งรังสีอินฟราเรดออกมายังบริเวณที่ติดตั้งกล้องไว้ แต่จะมีระยะจับภาพไม่เกิน 10 เมตร

1.4.3 กล้องจับความร้อน จะถูกออกแบบมาเพื่อใช้จับภาพในที่มืดโดยเฉพาะในช่วงกลางคืน โดยใช้หลักการจับความร้อนจึงไม่ต้องการแสงสว่างมากนัก ซึ่งภาพที่แสดงออกมาจากกล้องจับความร้อนนั้นจะเห็นเพียงรูปร่างเค้าโครงเท่านั้นไม่สามารถเห็นรายละเอียดของวัตถุนั้นได้ แต่จะมีระยะจับภาพได้ไกลมากกว่ากล้องอินฟราเรด

1.5 แบ่งตามประเภทความละเอียดของสัญญาณภาพที่ได้

1.5.1 กล้องความละเอียดสูง

1.5.2 กล้องความละเอียดต่ำ

1.6 แบ่งตามประเภทรูปลักษณะของกล้อง

1.6.1 กล้องบูลเล็ต จะเป็นกล้องขนาดเล็กที่ถูกออกแบบมาให้เหมาะกับการซ่อน เพื่อแอบซ่อนการติดตั้งกล้องไม่ให้พบเห็นได้ง่าย

1.6.2 กล้องพีซีบี จะเป็นกล้องที่ออกแบบมาเพื่อการนำไปติดตั้งในอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อปกปิดซ่อนเร้นไว้ไม่ให้ล่วงรู้จุดที่มีการติดตั้งกล้องไว้

1.6.3 กล้องที่มีรูปทรงเลียนแบบอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น กล้องที่มีรูปร่างคล้ายกับอุปกรณ์ตรวจจับควันหรือเหมือนป้ายทางออก ทำมาในรูปทรงของนาฬิกาหรือโคมไฟ เป็นต้น

รูปที่ 3.3 กล้องทรงกระบอก

1.7 แบ่งตามประเภทรูปร่างลักษณะของกล้อง

1.7.1 กล้องทรงกระบอก แสดงได้ดังรูปที่ 3.3

1.7.2 กล้องโดม แสดงได้ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 กล้องโดม

2. ชนิดของกล้องวงจรปิด แบ่งตามลักษณะการติดตั้งที่ใช้งานในปัจจุบัน มี 2 ลักษณะ

2.1 กล้องวงจรปิดแบบอยู่กับที่ ซึ่งเมื่อติดตั้งกล้องชนิดนี้ไปแล้วจะไม่สามารถขยับตัวกล้องหรือหมุนปรับเปลี่ยนทิศทางมุมมองอีกได้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 กล้องวงจรปิดแบบอยู่กับที่

2.2 กล้องวงจรปิดแบบหมุนปรับซูมและควบคุมได้ ซึ่งกล้องวงจรปิดชนิดนี้สามารถหมุนปรับทิศทางซ้าย-ขวา ก้ม-เงยและซูมภาพเข้า-ออกได้ ด้วยเครื่องควบคุม ซึ่งในปัจจุบันมีการติดตั้งใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แสดงได้ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 กล้องวงจรปิดแบบหมุนปรับซูมและควบคุมได้

ตารางที่ 3.3 ค่าความละเอียดของภาพต่าง ๆ

ชนิดความละเอียด	ความละเอียด Pixels (WxH)	ความหมาย
QCIF	176x120	Quarter CIF
CIF	352x240	-
2CIF	704x240	2 Times CIF Width
4CIF	704x480	2 Times CIF Width and Height
D1	720x480	Full D1
720p HD	1280x720	720p High Definition
960p HD	1280x960	920p High Definition
1.3 MP	1280x1024	1 Megapixel
2 MP	1600x1200	2 Megapixel
1080p HD	1920x1080	1080p High Definition
3 MP	2048x1536	3 Megapixel
5 MP	2592x1944	5 Megapixel

3.8.2 คุณสมบัติของกล้องวงจรปิดที่ดีและเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในปัจจุบัน มีดังนี้

1. ให้ความคมชัดของภาพสูง สามารถจับได้ทั้งภาพนิ่งและภาพที่มีการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว

2. สามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้ทุกสภาพแสง เนื่องจากมีการใช้งานตลอดเวลา 24 ชั่วโมง

3. ค่าความละเอียดของภาพสูง ซึ่งจะมีค่าบอกเป็นพิกเซล (Pixel) หรือจุดของภาพ ถ้ากล้องนั้นมีค่า Pixel มาก ค่าความละเอียดของภาพก็จะสูงมากขึ้นตามไปด้วย เช่น 1920 x 1080 Pixel โดยสามารถแบ่งค่าความละเอียดได้ดังตารางที่ 3.3

4. ไดนามิกเรงจ์ (Dynamic Range) เป็นค่าของความสามารถในการใช้งานตามสภาวะของแสง โดยกล้องควรจะมี Dynamic Range ที่กว้างและครอบคลุมตั้งแต่ระดับความสว่างน้อย ๆ จนถึงระดับที่สว่างมาก ๆ จึงจะใช้งานได้ดี อีกทั้งยังอาจมีฟังก์ชันของการชดเชยแสงด้านหลัง (Black Light Compensation: BLC) สำหรับการใช้ในการจับภาพย้อนแสงด้วย ซึ่งมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 3.7

(ก) มี BLC (ข) ไม่มี BLC

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างฟังก์ชันของการชดเชยแสงด้านหลัง

5. ความไวของชัตเตอร์ โดยหากกล้องมีความไวชัตเตอร์สูงก็ยิ่งส่งผลที่ดีต่อการจับภาพเคลื่อนไหวที่มีความเร็วสูง เช่น ภาพของรถที่วิ่งบนถนนด้วยความเร็ว โดยความไวของชัตเตอร์นั้นจะบอกเป็น 1/x /Second เช่น 1/100 วินาที, 1/10,000 วินาที เป็นต้น ซึ่งมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

(ก) ความไวชัตเตอร์สูง (ข) ความไวชัตเตอร์ต่ำ

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างความไวของชัตเตอร์

3.8.3 เทคโนโลยีของกล้องวงจรปิดแบบมีสาย

ในปัจจุบัน จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ

1. ระบบเอเฮชดี (AHD) สามารถใช้สายสัญญาณได้ไกลประมาณ 500 เมตร บนสาย 3C ซึ่งจะมีขนาดของสายที่เล็กกว่าสาย RG-6 สามารถรองรับความละเอียดของภาพที่ 720p 60fps และ 1080p 30fps และสามารถรองรับการใช้งานของกล้อง Analog 960H/D1 ได้

2. ระบบเฮชดีซีวีไอ (HDCVI) สามารถรองรับสายสัญญาณได้ยาวประมาณ 500 เมตร บนสาย 3C และสามารถรองรับความละเอียดของภาพที่ 720p 60fps และ 1080p 30fps โดยที่เครื่องบันทึก DVR จะไม่สามารถบันทึกสัญญาณภาพผสมกันระหว่าง 720p และ 1080p ได้

3. ระบบเฮชดีเอสดีไอ (HD-SDI) สามารถรองรับสายสัญญาณได้ยาวประมาณ 150 เมตร และสามารถรองรับความละเอียดของภาพที่ 1080p/720p สัญญาณภาพเป็นแบบ Real Time

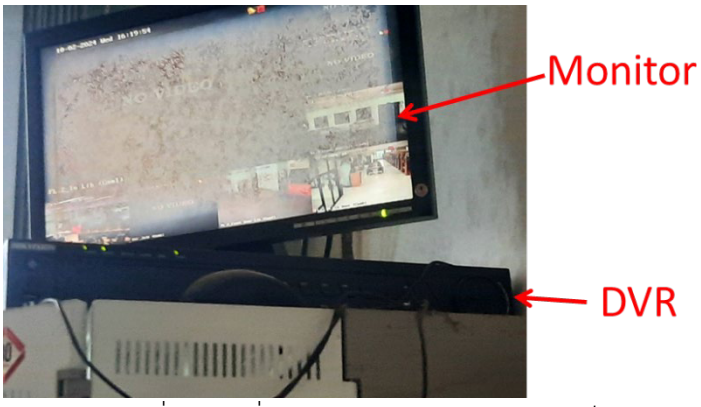
4. ระบบเฮชดีทีวีไอ (HD-TVI) สามารถรองรับสายสัญญาณได้ยาวประมาณ 500 เมตร บนสาย 5C และที่ระยะประมาณ 300 เมตร บนสาย 3C และสามารถรองรับความละเอียดของภาพที่ 720p 60fps และ 1080p 30 fps โดยที่เครื่องบันทึก DVR นั้นจะสามารถบันทึกสัญญาณภาพผสมกันระหว่าง 720p และ 1080p ได้

3.8.4 เครื่องบันทึกภาพกล้องวงจรปิด

เครื่องบันทึกวิดีโอแบบดิจิทัล (Digital Video Recorder: DVR) จะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิดที่ถูกส่งผ่านสายนำสัญญาณเข้ามายังเครื่องบันทึก เพื่อทำการบันทึกภาพเหล่านั้นเข้าไว้ด้วยระบบดิจิทัลลงในฮาร์ดดิสก์ โดยแบ่งประเภทของเครื่องบันทึกได้เป็น

1. เครื่องบันทึกภาพ (Digital Video Recorder: DVR) จะเป็นการบันทึกภาพแบบใหม่ในระบบ CCTV เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการบันทึกภาพด้วยม้วนเทปมาเป็นการบันทึกด้วยฮาร์ดดิสก์แทน ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลได้มากขึ้นและยังสามารถเก็บรักษาข้อมูลได้ง่ายกว่า เครื่องบันทึกภาพกล้องวงจรปิดแบบ DVR นี้ยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1.1 เครื่องบันทึกภาพระบบดิจิทัลสำเร็จรูป จะออกแบบมาเพื่อบันทึกภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิดมาเก็บลงไว้ในฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเครื่องบันทึกภาพกล้องวงจรปิดแบบสำเร็จรูปนี้จะมีแบบที่สามารถต่อกล้องวงจรปิดได้จำนวนสูงสุด 4 กล้อง 8 กล้อง และ 16 กล้อง แสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องบันทึกภาพระบบดิจิทัลสำเร็จรูป

1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ (PC Base Digital Video Recorder) จะเป็นการนำเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการบันทึกภาพที่ได้จากกล้องวงจรปิดแบบอะนาล็อกด้วยการติดตั้งการ์ดสำหรับจับสัญญาณภาพที่ใช้กับกล้องวงจรปิดและทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันที่ติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้งานนั้นจะมีระดับเป็นเครื่องเซิร์ฟเวอร์ (Server)

2. ไฮบริดดีเฮชอาร์ (Hybrid DVR) จะเป็นเครื่องบันทึกที่สามารถทำการบันทึกข้อมูลได้ทั้งระบบที่เป็นแบบ Analog และแบบ IP

3. เอ็นวีอาร์ (Network Video Recorder: NVR) จะเป็นเครื่องที่ใช้บันทึกภาพจากกล้องแบบ IP เท่านั้นเพื่อนำมาเก็บลงบนฮาร์ดดิสก์ ซึ่งยังมีการทำงานอยู่บนพื้นฐานของเครื่องแบบ DVR แต่มีความสามารถทางด้านเทคโนโลยีที่สูงขึ้น

3.8.5 กล่องครอบกล้องวงจรปิด

กล่องครอบกล้องวงจรปิด (Housing) จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันตัวกล้องและตัวเลนส์จากแสงแดดและหยดน้ำรวมถึงไอน้ำ ไอหมอกด้วย ซึ่งจะช่วยในการทำให้ตัวกล้องและเลนส์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากยิ่งขึ้นและยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของตัวกล้องและเลนส์ได้อีกด้วย แสดงได้ดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 กล่องครอบกล้องวงจรปิด

3.8.6 สายสัญญาณภาพอาร์จีซิก (RG-6)

สายอาร์จีซิก (RG-6) จะเป็นสายที่ใช้นำสัญญาณภาพของระบบเคเบิ้ลโทรทัศน์ดาวเทียมหรือระบบ Audio/Video โดยที่สาย RG-6 ที่จะมีคุณภาพสูงนั้นจะต้องมีชิลด์ป้องกันสัญญาณสูงระดับ 95% โดยถ้าหากนำสายที่มีคุณภาพต่ำหรือมีค่าการชิลด์ในระดับ 60-80% มาใช้งานก็อาจทำให้คุณภาพของภาพจากกล้องวงจรปิดออกมาไม่ดีได้ ซึ่งสาย RG-6 จะมีชิลด์ที่ทำจากอลูมิเนียมหรือทำจากทองแดง โดยสายที่มีชิลด์ทำจากอลูมิเนียมจะใช้ในการเดินสายไกลได้ไม่เกิน 400 เมตร ส่วนสายที่มีชิลด์ทำจากทองแดงจะใช้ในการเดินสายในระยะไกลได้ประมาณ 400-700 เมตร แสดงได้ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 สาย RG-6 แบบต่าง ๆ

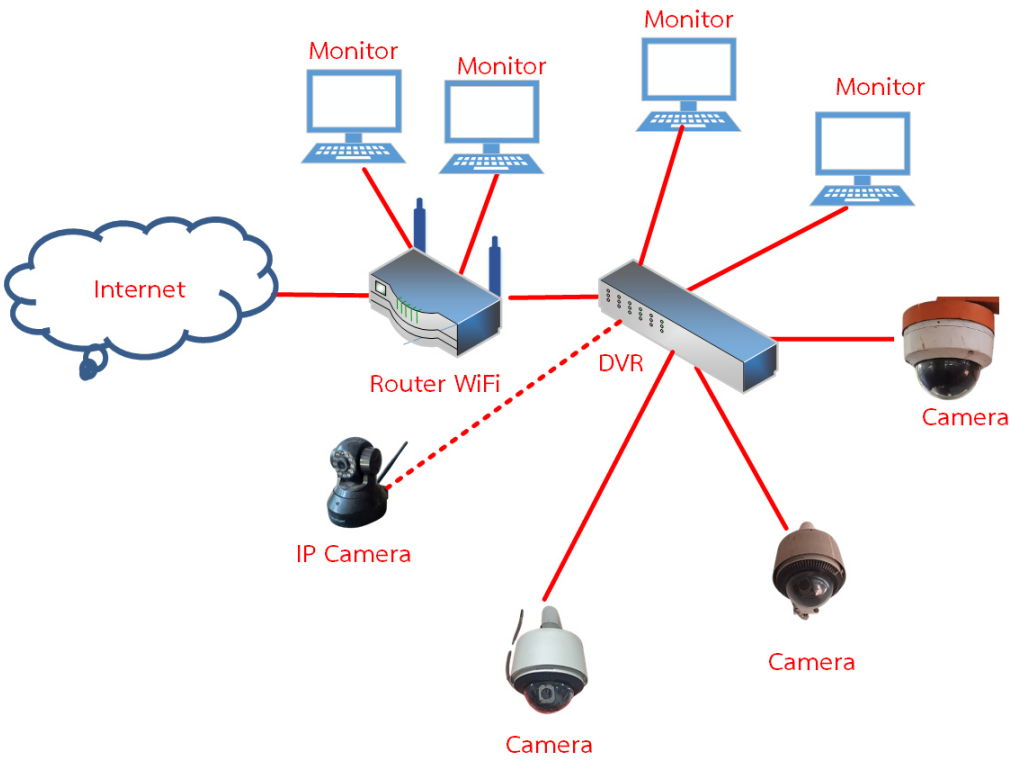
3.8.7 อุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบกล้องวงจรปิด

1. หัวต่อ (Connector) ชนิดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อสายนำสัญญาณกับตัวกล้องและเครื่องบันทึก DVR โดยจะใช้ในการต่อกับส่วนปลายของสายนำสัญญาณทั้ง 2 ข้าง ซึ่งหัวต่อที่ได้รับความนิยมนำมาใช้งาน ได้แก่ BNC, F-Type, F-Type Coupling, BNC to RCA เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 หัวต่อแบบต่าง ๆ

2. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Converter) จะเป็นอุปกรณ์ที่จะช่วยในการแปลงสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณแบบต่าง ๆ โดยจะช่วยให้สัญญาณที่ได้จากกล้องวงจรปิดส่งไปได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ



รูปที่ 3.14 ไดอะแกรมความสัมพันธ์ในระบบกล้องวงจรปิด

โดยสามารถเขียนไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบกล้องวงจรปิด แสดงได้ดังรูปที่ 3.14

3.9 สรุป

ระบบโทรทัศน์วงจรเปิด (TV) เป็นการสื่อสารในยุคต่อจากระบบวิทยุ โดยระบบโทรทัศน์นั้นจะสามารถได้ยินทั้งเสียงและได้เห็นภาพ ทำให้เกิดความสมจริงของเรื่องราวหรือเหตุการณ์ที่ถ่ายทอดออกมา โดยยังคงใช้หลักการส่งผ่านสัญญาณเสียงและสัญญาณภาพมากับคลื่นพาหะ ด้วยการผสมคลื่นเหมือนกับในระบบวิทยุ ซึ่งในอดีตยังคงให้ภาพที่เป็นเพียงขาวดำเท่านั้น และพัฒนามาเป็นภาพสีและพัฒนาต่อมาเป็นภาพสีที่คมชัดมากยิ่งขึ้นในปัจจุบัน ส่วนระบบโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) หรือกล้องวงจรปิดนั้นก็ได้พัฒนามาให้เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะด้านในเรื่องของการดูแลความปลอดภัย มีการพัฒนาคุณภาพของกล้องที่ใช้บันทึกภาพและเสียงที่มีความคมชัดและสามารถใช้งานได้ทั้งกลางวันและกลางคืน มีระบบการส่งผ่านข้อมูลต่าง ๆ เพื่อใช้บันทึกข้อมูลลงในเครื่องบันทึกข้อมูลจากการใช้สายนำสัญญาณมาเป็นการส่งข้อมูลผ่านสัญญาณคลื่นความถี่ไร้สายที่ได้มีการพัฒนาให้ทันกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ โดยการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่รับส่งสัญญาณผ่านอากาศของระบบวิทยุโทรทัศน์และกล้องวงจรปิดนั้น จะมีอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ส่งและรับคลื่นความถี่นั่นก็คือสายอากาศ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3

ข้อ 1 จงระบุถึงมาตรฐานของระบบโทรทัศน์มีกี่ระบบ อะไรบ้าง
ข้อ 2 จงบอกถึงช่องทางการส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้ทางใดบ้าง อย่างไร
ข้อ 3 จงบอกรูปแบบของระบบย่านความถี่กับการแบ่งช่องสัญญาณโทรทัศน์
ข้อ 4 จงบอกถึงหลักการส่งภาพระบบโทรทัศน์สี
ข้อ 5 จงอธิบายถึงหลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี
ข้อ 6 จงอธิบายถึงหลักการรับสัญญาณโทรทัศน์สี
ข้อ 7 จงอธิบายเกี่ยวกับระบบกล้องวงจรปิด
ข้อ 8 จงอธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีของกล้องวงจรปิดแบบมีสาย
ข้อ 9 จงอธิบายเกี่ยวกับ Dynamic Range
ข้อ 10 จงอธิบายถึงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบกล้องวงจรปิด

บรรณานุกรม

1. pranot.tuy77. (2562). บทที่1 เครื่องรับโทรทัศน์ [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://pubhtml5.com/iwwt/rodo/basic/, 11 พฤศจิกายน 2565.

2. วิจิตร ภักดีรัตน์. (2523). หน่วยที่13 การสื่อสารทางสื่อมวลชน (2) [ออนไลน์], แหล่งที่มา http://old-book.ru.ac.th/e-book/m/MC315/mc315-13.pdf, 11 พฤศจิกายน 2565.

3. กรมชลประทาน. (2557). กล้องวงจรปิด [ออนไลน์], แหล่งที่มา http://kromchol.rid.go.th/ict/cmd/km2557/cctv2557.pdf, 11 พฤศจิกายน 2565.

4. PawachMetharattanara. (2566). กล้องวงจรปิด CCTV [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.slideshare.net/slideshow/cctvdocx/262536563, 11 พฤศจิกายน 2566.

5. สมาคมช่างเหมาไฟฟ้าและเครื่องกลไทย, คู่มือการติดตั้งระบบโทรทัศน์วงจรปิด, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2564.

6. สัญญา โพธิ์วงศ์, เครื่องรับโทรทัศน์, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2560.

7. สมสุข หินวิมาน, ความรู้เบื้องต้นทางวิทยุและโทรทัศน์, พิมพ์ครั้งที่ 2: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2557.

8. สัญญา โพธิ์วงษ์ และอนุศรา เรียงสา, เครื่องรับโทรทัศน์, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2555.

9. บุญชัด เนติศักดิ์, ทฤษฎีและปฏิบัติ เครื่องรับโทรทัศน์ เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2556.

10. ประพันธ์ พิพัฒนสุข, เครื่องรับโทรทัศน์, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, 2566.

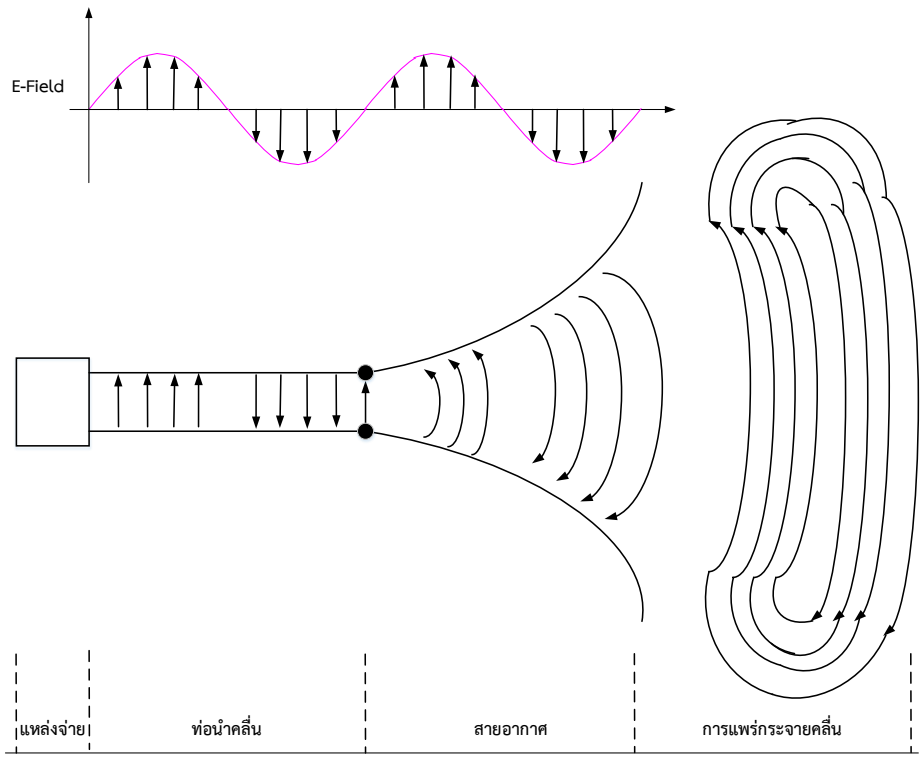
บทที่ 4
สายอากาศ

อุปกรณ์สำคัญสำหรับการส่งและรับคลื่นความถี่นั้นก็คือสายอากาศ โดยสายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อที่จะส่งและรับสัญญาณคลื่นความถี่ในรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปในอากาศ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการสื่อสารไร้สายทุกประเภท

4.1 นิยามสายอากาศ

สายอากาศหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำจากโลหะเช่น เส้นลวดอลูมิเนียม แผ่นทองแดง จานสังกะสี เป็นต้น ที่สามารถทำการแพร่กระจายหรือรับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุได้

โดยจะมีลักษณะการส่งคลื่นความถี่ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1



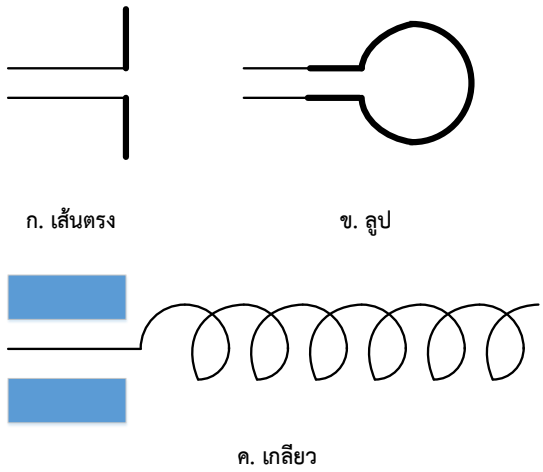
รูปที่ 4.1 ลักษณะการส่งคลื่นความถี่ของสายอากาศ

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าสัญญาณคลื่นความถี่จากเครื่องส่งหรืออุปกรณ์ส่งสัญญาณนั้นจะเป็นลักษณะของคลื่นไซน์ เมื่อส่งผ่านท่อนำคลื่นเข้ามายังสายอากาศจะมีการปรับเปลี่ยนรูปคลื่นไปตามความยาวของสายอากาศจนสุดปลายของสายอากาศ

รูปของสัญญาณก็จะเปลี่ยนจนกลายเป็นรูปลักษณะคล้ายกับโดนัทวงรีกระจายแบบต่อเนื่องออกไปในอากาศไปตามทิศทางของปลายสายอากาศนั้น

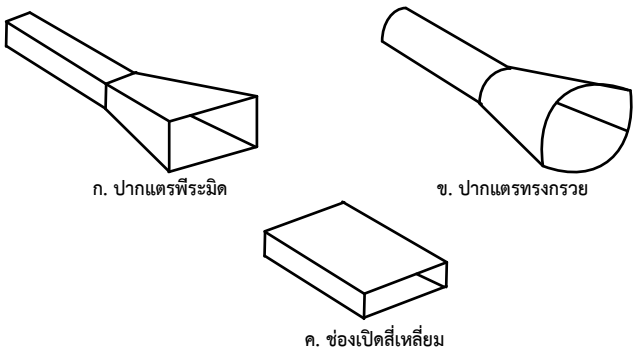
4.2 ชนิดของสายอากาศ

4.2.1 สายอากาศแบบเส้นลวด (Wire Antenna) จะเป็นสายอากาศที่ทำจากโลหะเส้นกลม ๆ ที่ผ่านการคำนวณระยะความยาวของสายอากาศไว้แล้ว เพื่อให้สามารถรับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุแบบรอบทิศทางได้เป็นอย่างดี โดยตัวอย่างของการใช้งานสายอากาศชนิดนี้ก็จะเห็นได้ตามรถยนต์ทั่ว ๆ ไป ตามอาคารต่าง ๆ บนเรือ เป็นต้น โดยจะมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป เช่น เป็นเส้นตรง เป็นลูปและเป็นเกลียว แสดงได้ดังรูปที่ 4.2



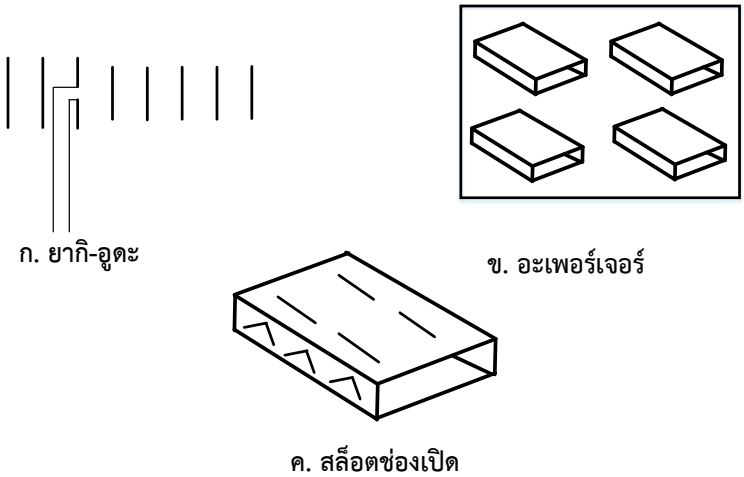
รูปที่ 4.2 รูปร่างของสายอากาศแบบเส้นลวด

4.2.2 สายอากาศแบบอะเพอร์เจอร์ (Aperture Antenna) จะเป็นสายอากาศที่ทำจากโลหะที่มีรูปทรงคล้ายท่อหรือกรวย เพื่อใช้ในการแพร่กระจายสัญญาณออกไปในทิศทางที่กำหนดไว้ ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในงานที่เกี่ยวกับเครื่องบินและอากาศยานต่าง ๆ เนื่องจากสามารถติดตั้งบนพื้นผิวของเครื่องบินหรืออากาศยานได้ โดยจะมีวัสดุที่เป็นไดอิเล็กตริกปิดทับไว้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.3



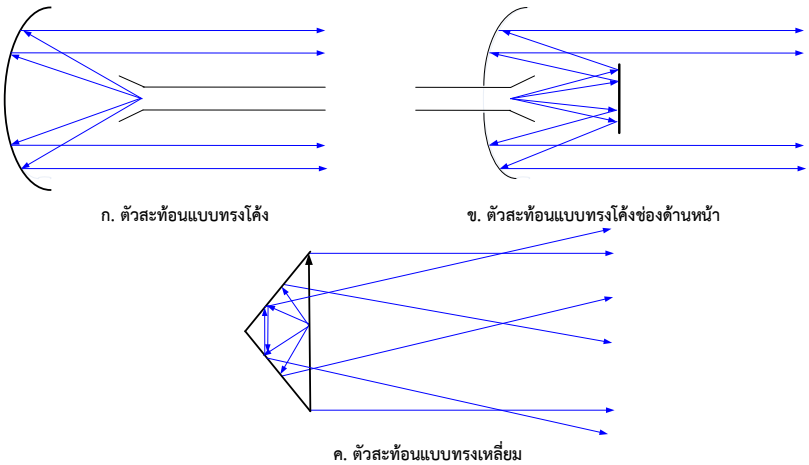
รูปที่ 4.3 รูปร่างของสายอากาศแบบอะเพอร์เจอร์

4.2.3 สายอากาศแบบอาเรย์ (Array Antenna) จะเป็นสายอากาศที่มีลักษณะการนำมาจัดวางเรียงกันเป็นแถวหรือหลาย ๆ แถว โดยลักษณะการจัดวางที่คำนึงถึงหลักการทางไฟฟ้าและทางเรขาคณิต เพื่อทำให้การแพร่กระจายคลื่นเป็นไปตามที่ต้องการ แสดงได้ดังรูปที่ 4.4



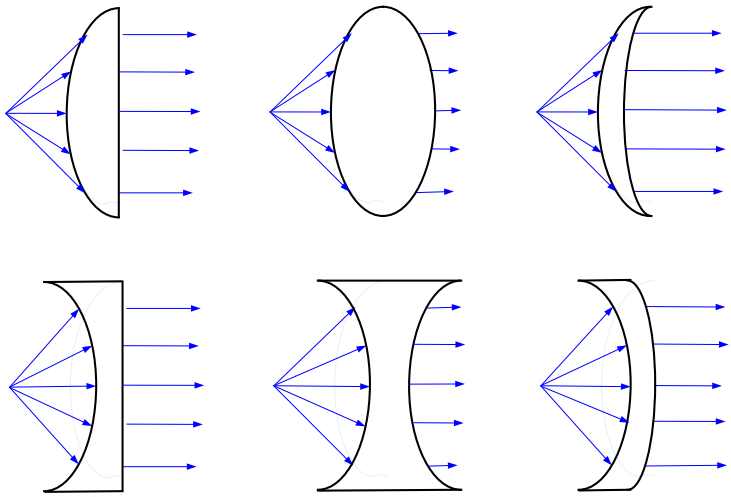
รูปที่ 4.4 รูปร่างของสายอากาศแบบอาเรย์

4.2.4 สายอากาศที่มีตัวสะท้อน (Reflector Antenna) จะเป็นสายอากาศที่มีลักษณะการนำตัวสะท้อนหรือแผ่นสะท้อนมาวางไว้เพื่อสะท้อนสัญญาณคลื่นความถี่ให้รวมเข้ามายังสายอากาศ ซึ่งจะช่วยให้มีอัตราขยายที่สูงมากขึ้น เพื่อการส่งและการรับสัญญาณในระยะทางที่ห่างไกลกันมาก ๆ โดยที่ตัวสะท้อนจะนิยมทำเป็นรูปพาราโบลา โดยที่สายอากาศชนิดนี้จะพบได้บ่อย ๆ ในลักษณะของจานรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ตามบ้านเรือน อาคารหรือสำนักงานต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 รูปร่างของสายอากาศที่มีตัวสะท้อนแบบต่าง ๆ

4.2.5 สายอากาศแบบเลนส์ (Lens Antenna) จะเป็นสายอากาศที่อาศัยเลนส์ในการรวมพลังงานที่แพร่กระจายอยู่ทั่วทุกทิศทางโดยรอบให้ไปในทิศทางที่ต้องการด้วยการตกกระทบ การแบ่งลักษณะสายอากาศแบบเลนส์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.6

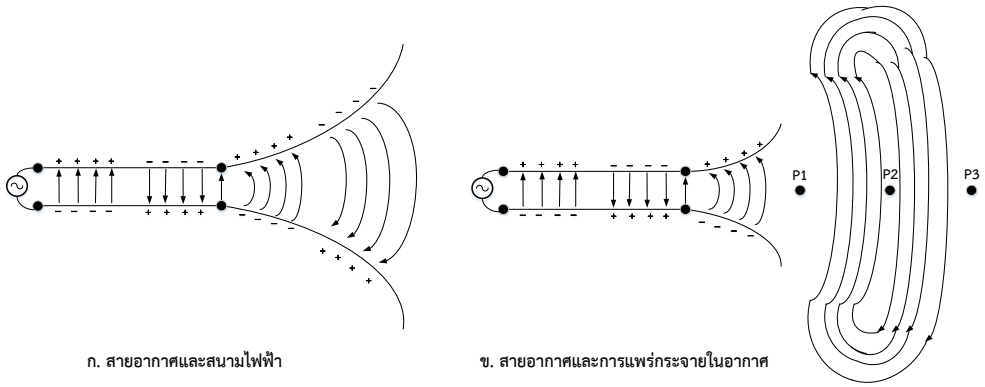


รูปที่ 4.6 รูปร่างของสายอากาศแบบเลนส์ในรูปแบบต่าง ๆ

4.3 กลไกของการแพร่กระจายคลื่น

โดยการแพร่กระจายของคลื่นในรูปสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกสร้างโดยแหล่งกำเนิดสัญญาณแล้วนำส่งออกไปตามสายอากาศและเมื่อคลื่นนั้นออกไปจนสุดปลายของสายอากาศก็จะกลายเป็นคลื่นแพร่กระจายออกไปในอากาศ

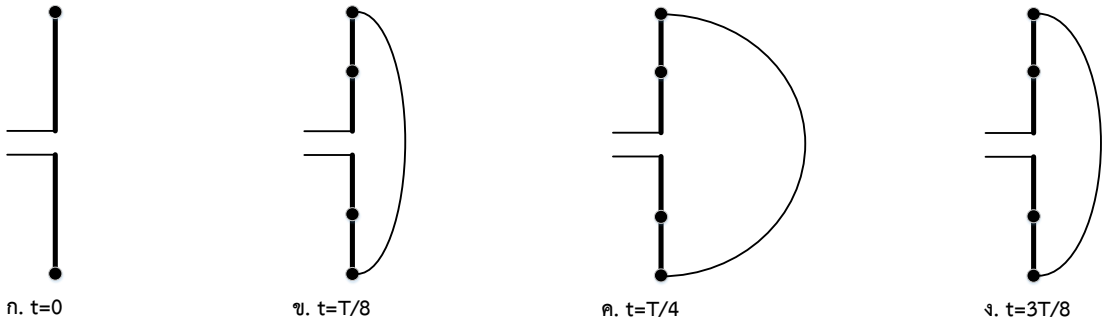
ซึ่งสนามไฟฟ้านั้นจะเริ่มจากประจุบวกและไปสิ้นสุดที่ประจุลบ หรือสามารถที่จะเริ่มจากประจุบวกแล้วไปสิ้นสุดที่อนันต์ หรือจะเริ่มจากอนันต์แล้วไปสิ้นสุดที่ประจุลบหรือจะเป็นแบบวงรอบปิดก็ได้



รูปที่ 4.7 ลักษณะการแพร่กระจายของประจุ

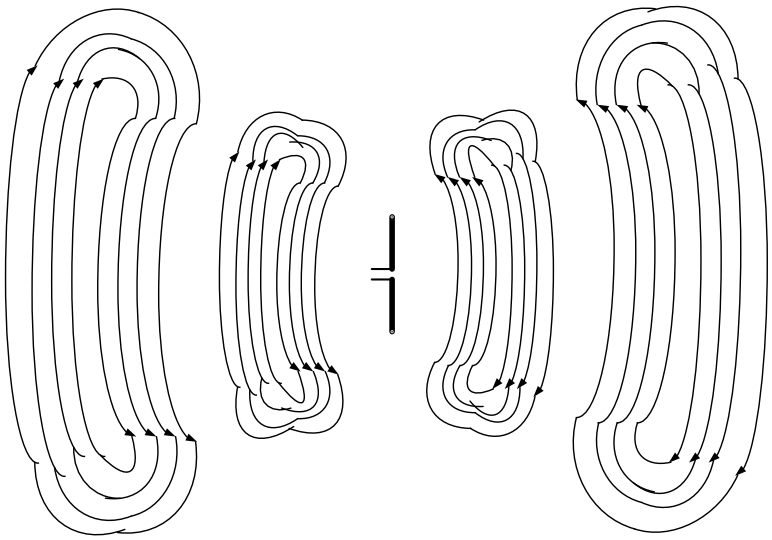
โดยเส้นสนามไฟฟ้าที่ลากผ่านจากเส้นลวดตัวนำทั้ง 2 เส้นนี้ จะเกิดเป็นรูปแบบลักษณะการแพร่กระจายของประจุ ซึ่งหากแหล่งกำเนิดนั้นมีศักย์เป็นแบบคลื่นไซน์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.7

จากรูปที่ 4.7 คลื่นที่แพร่กระจายออกไปในอากาศจะถูกสร้างโดยการเชื่อมต่อที่ปลายเปิดของเส้นไฟฟ้า คลื่นที่แพร่กระจายออกไปในอากาศจะเป็นแบบคาบเวลา (Periodic) ด้วย แต่จะมีจุดเฟสที่คงที่ ซึ่งเคลื่อนที่ออกไปยังอากาศภายนอกด้วยความเร็วแสงเป็นระยะ ๆ ด้วยเวลาครึ่งหนึ่งของคาบ โดยลักษณะของคลื่นที่แพร่กระจายออกไปในอากาศด้วยคาบเวลาที่แตกต่างกันเป็นระยะ ๆ นั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



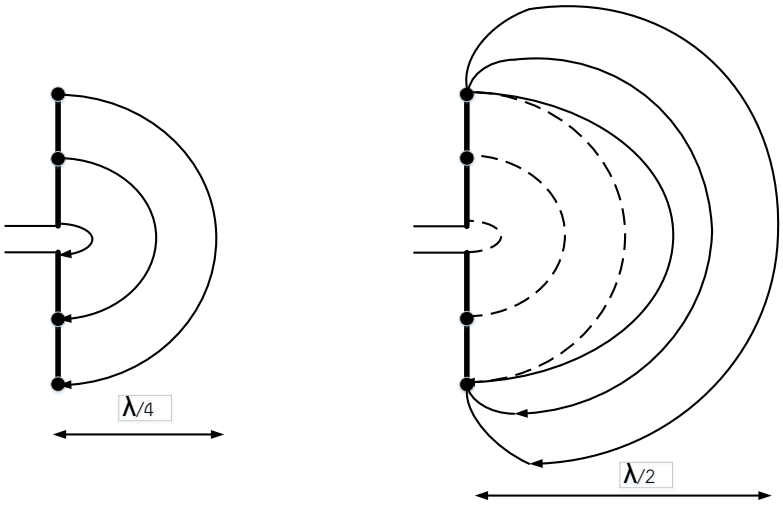
รูปที่ 4.8 ลักษณะของคลื่นที่แพร่กระจายออกไปในอากาศด้วยคาบเวลาที่แตกต่างกัน

การส่งสัญญาณคลื่นความถี่จากสายอากาศออกไปเป็นคลื่นอากาศนั้น โดยหากมีการปล่อยสัญญาณคลื่นความถี่ทางไฟฟ้าออกไปอย่างต่อเนื่อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นก็จะยังคงมีและคงอยู่อย่างต่อเนื่องที่เป็นไปในลักษณะการเคลื่อนที่ตามหลังกันไปตลอดเวลา สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 คลื่นที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ตามหลังกันไปตลอดเวลา

สายอากาศแบบเส้นลวดที่มี 2 เส้นนั้น จะสามารถแสดงเส้นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นลวดทั้ง 2 เส้นในลักษณะของสายอากาศไดโพล (Dipole) ที่ปล่อยสัญญาณออกตรงกลาง (Center-fed) ขนาดของสัญญาณจะเป็นวงขนาดเล็กที่มีสัดส่วน 1/4 ของคาบแรก ระหว่างเวลาที่ประจุมีค่าสูงสุด จากแหล่งกำเนิดที่เป็นแบบคลื่นไซน์ และค่อย ๆ เคลื่อนห่างออกไปที่ระยะ 1/2 ของคาบแรก จนคลื่นนั้นค่อย ๆ เคลื่อนหลุดออกไปจากปลายสายอากาศในระยะที่ห่างเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นลักษณะแบบนี้ไปอย่างต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10

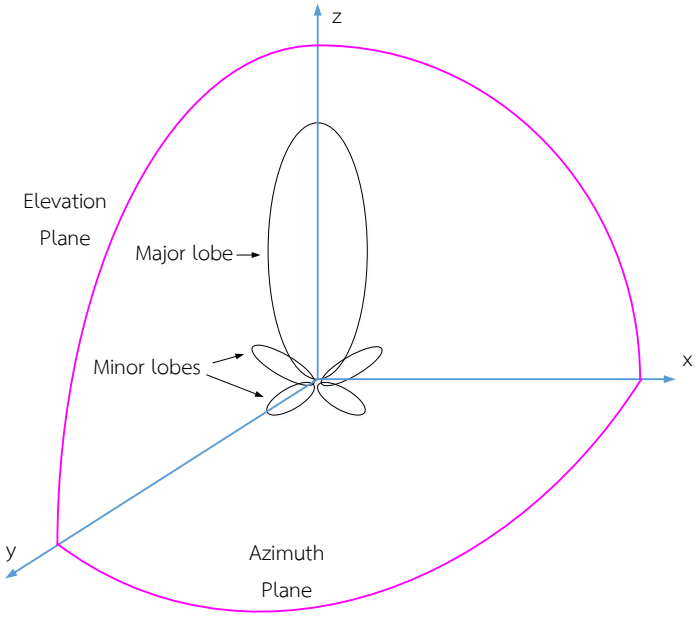


ก. t=T/4 ข. t=T/2

รูปที่ 4.10 ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นจากสายอากาศไดโพล

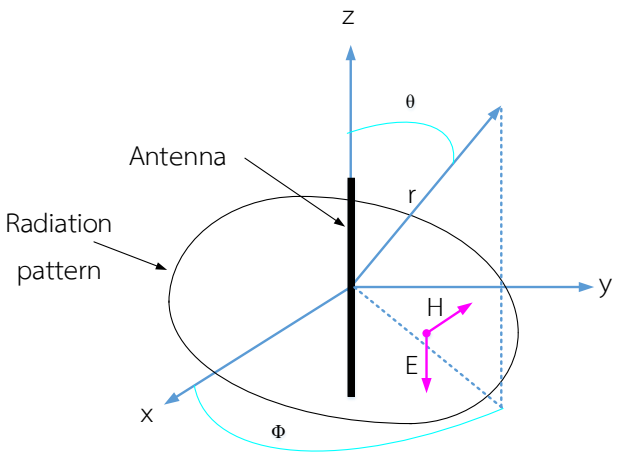
4.4 พารามิเตอร์พื้นฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับสายอากาศ

4.4.1 รูปแบบของการแพร่กระจาย โดยคุณลักษณะของการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นความถี่ของสายอากาศนั้นจะเป็นฟังก์ชันของพิกัดต่าง ๆ รูปแบบของการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นความถี่จะพิจารณาในบริเวณของสนามระยะไกลและถูกแทนเข้าไปเป็นฟังก์ชันของพิกัดทิศทาง คุณลักษณะการแพร่กระจาย ความเข้มของการแพร่กระจาย ความแรงของสนาม เฟส และโพลาไรเซชัน ค่าเหล่านี้จะหมายถึงพลังงานที่ถูกแพร่กระจายออกไปในอากาศแบบ 3 มิติ ในรูปของฟังก์ชันทางตำแหน่งที่มีระยะห่างที่เท่า ๆ กัน จุดพิกัดต่าง ๆ ตามเส้นของกำลังที่รับได้จากระยะห่างที่คงที่นี้จะถูกรียกว่ารูปแบบของกำลัง ส่วนการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าที่ระยะห่างที่คงที่จะถูกเรียกว่ารูปแบบของสนาม แสดงได้ดังรูปที่ 4.11



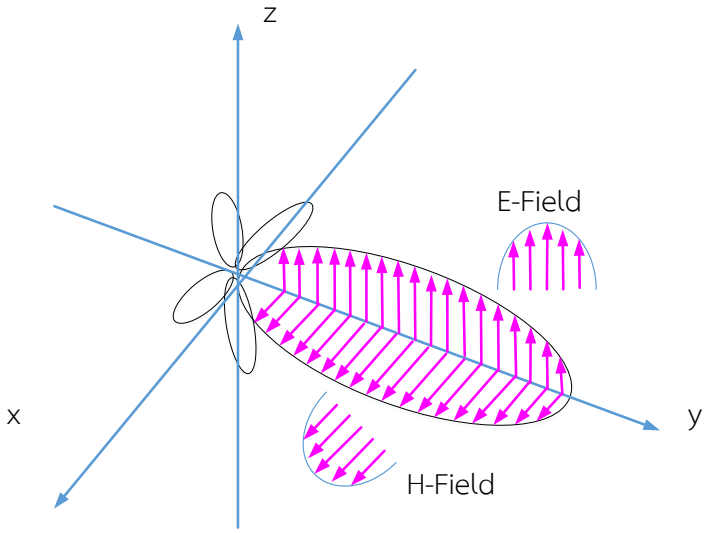
รูปที่ 4.11 รูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นความถี่

4.4.2 รูปแบบไม่ขึ้นกับทิศทาง ขึ้นกับทิศทาง และกึ่งทิศทาง โดยปกติแล้วสายอากาศตามทฤษฎีจะมีการแพร่กระจายสัญญาณออกไปได้เท่ากันทุกทิศทาง แต่ในทางปฏิบัติแล้วสายอากาศสามารถแพร่กระจายสัญญาณออกไปได้หลายรูปแบบ โดยสายอากาศจะมีทิศทางที่แน่ชัดเป็นสายอากาศแบบมีทิศทาง (Directional) จะเป็นสายอากาศที่มีคุณลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพในบางทิศทางที่เด่นชัดกว่าทิศทางอื่น ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.12 โดยจะเห็นได้ว่ารูปแบบนี้ไม่ขึ้นกับทิศทางในพื้นราบแนวระดับ (Azimuth Plane) นั้นจะมีค่าคงที่และมีทิศทางในพื้นราบแนวดิ่ง (Omnidirectional)

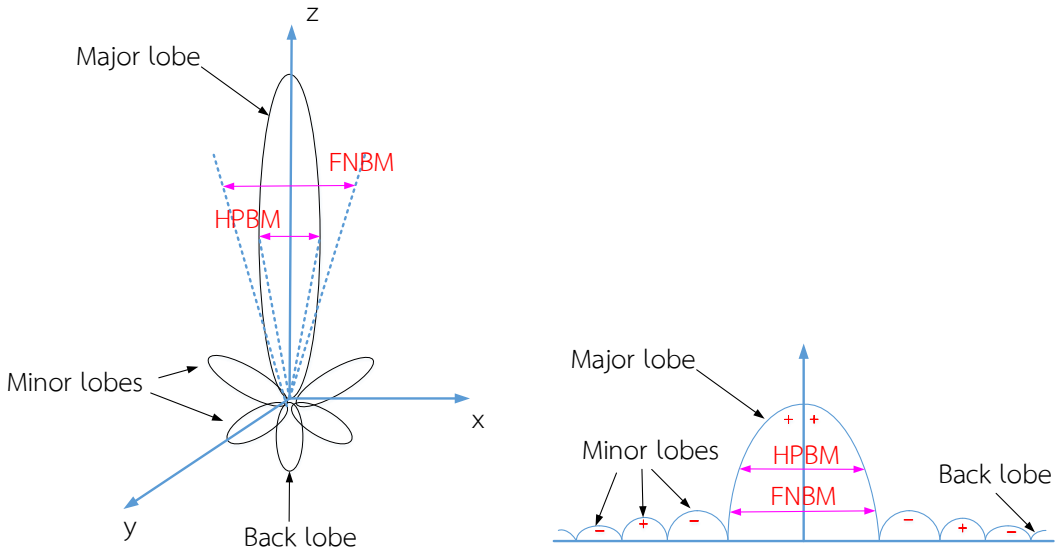


รูปที่ 4.12 สายอากาศแบบไม่ขึ้นกับทิศทาง

4.4.3 ระนาบของการแพร่กระจาย โดยรูปแบบของระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบโพลาไรซ์เชิงเส้น จะมี 2 ระนาบคือระนาบ E-Plane ซึ่งจะหมายถึงพื้นราบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและทิศทางที่การแพร่กระจายสูงสุด และระนาบ H-Plane ซึ่งจะหมายถึงพื้นราบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางที่การแพร่กระจายสูงสุด แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งระนาบ XZ (พื้นราบกับแนวดิ่ง) คือระนาบ E-Plane และระนาบ XY (พื้นราบกับแนวนอน) คือระนาบ H-Plane



รูปที่ 4.13 ระนาบของการแพร่กระจาย

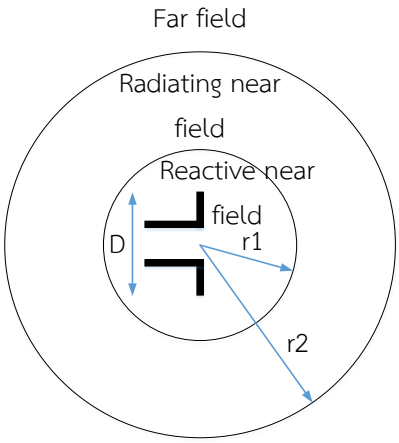


(ก) ระนาบ 3 มิติ (ข) ระนาบ 2 มิติ

รูปที่ 4.14 โหลบการแพร่กระจาย

4.4.4 โหลบการแพร่กระจาย โดยส่วนต่าง ๆ ของรูปแบบการแพร่กระจายจะถูกเรียกว่า โหลบ (Lobe) ซึ่งจะแบ่งแยกย่อยได้เป็น โหลบหลัก (Major Lobe) โหลบย่อย (Minor Lobe) โหลบข้าง (Side Lobe) และโหลบหลัง (Back Lobe) โดยโหลบเหล่านี้จะเป็นส่วนของรูปแบบการแพร่กระจายที่จะล้อมรอบบริเวณของความเข้มการแพร่กระจาย แสดงได้ดังรูปที่ 4.14(ก) จะเป็นรูปแบบโพลาร์ในระนาบ 3 มิติที่มีความสมมาตรกัน พร้อมกับโหลบที่แพร่กระจายในแบบต่าง ๆ ส่วนรูป 4.14(ข) จะเป็นรูปแบบในระนาบ 2 มิติเชิงเส้นพื้นราบ ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบลักษณะของโหลบต่าง ๆ ให้เห็นได้อย่างชัดเจนขึ้น

4.4.5 ขอบเขตสนามการแพร่กระจาย ซึ่งจะสามารถแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศได้ 3 บริเวณคือ สนามกระทำระยะใกล้ (Reactive Near-Field) สนามระยะใกล้ (Radiating Near-Field) และสนามระยะไกล (Far-Field) โดยที่ $r1 = 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ และ $r2 = 2D^2/\lambda$ แสดงได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ขอบเขตสนามการแพร่กระจาย

4.5 ความหนาแน่นกำลังและความเข้มในการแพร่กระจาย

คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกนำมาใช้ในการส่งข้อมูลผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศซึ่งจะแผ่งไปด้วยกำลังและพลังงานทางไฟฟ้า โดยจะมีปริมาณทางกำลังซึ่งจะถูกเรียกว่าพอยติ้งเวกเตอร์ชั่วขณะ โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (4.1)

$$\vec{W} = \vec{\varepsilon} \times \vec{K} \tag{4.1}$$

เมื่อ

$\vec{W}$ คือ พอยติ้งเวกเตอร์ชั่วขณะ

$\vec{\varepsilon}$ คือ ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วขณะ

$\vec{K}$ คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะ

ความเข้มในการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นกำลังที่แพร่กระจายจากสายอากาศต่อมุมแบบ 3 มิติหนึ่งหน่วย โดยความเข้มการแพร่กระจายจะเป็นพารามิเตอร์ของการแพร่กระจายสนามระยะไกล โดยกำหนดให้

U คือ ความเข้มการแพร่กระจาย

W_{rad} คือ ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วขณะ

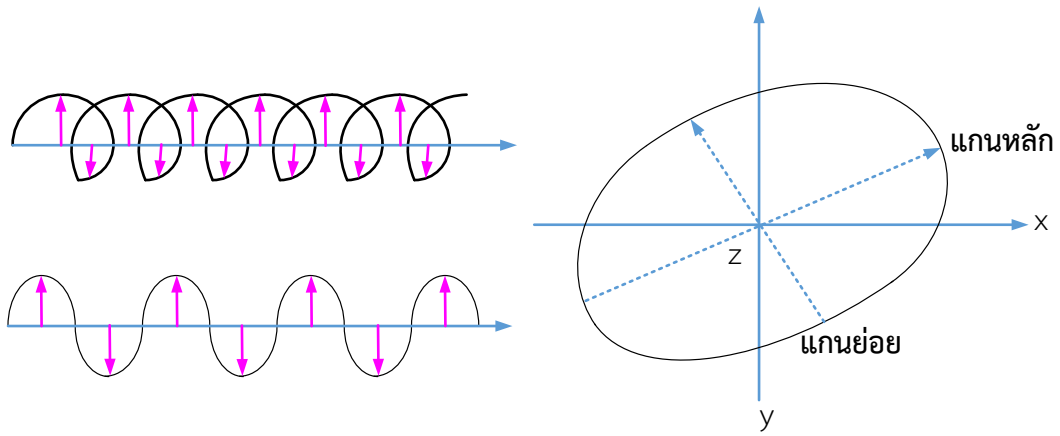
ความเข้มในการแพร่กระจายจะมีความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศโดยสามารถหาได้จากสมการที่ (4.2)

$$U(\theta,\phi) = \frac{r^2}{2}\left|E_\theta(r,\theta,\phi)\right|^2 + \left|E_\phi(r,\theta,\phi)\right|^2 \tag{4.2}$$

เมื่อ

E คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศที่ Far-Field

E_θ, E_ϕ คือ องค์ประกอบสนามไฟฟ้าจากสายอากาศที่ Far-Field



(ก) การหมุนของคลื่น (ข) วงรีโพลาไรเซชัน

รูปที่ 4.16 ลักษณะของโพลาไรเซชัน

4.6 โพลาไรเซชันและไดเรคติวิตี้

โพลาไรเซชัน จะหมายถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของลำคลื่นที่แพร่กระจายออกเมื่อสายอากาศได้รับการกระตุ้น โดยหากลำคลื่นนั้นพุ่งออกไปในทิศทางที่กำหนดก็จะเกิดเป็นพลังงานสูงสุดที่ตรงบริเวณปลายสายอากาศ โดยที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกมาจากสายอากาศนั้นจะมีทิศทางที่แปรเปลี่ยนไปตามเวลาและขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าสัมพันธ์ ออกไปตามตำแหน่งที่มีความแน่นอนในการเคลื่อนที่ด้วยการพุ่งหมุนออกไป โดยจะมีการพุ่งหมุนออกไปได้ 3 ลักษณะคือแบบเส้นตรง แบบก้นหอยและแบบวงรี แสดงได้ดังรูปที่ 4.16

ไดเรคติวิตี้ (Directivity: D_0) จะเป็นทิศทางของการแพร่กระจายพลังงานของสายอากาศ ซึ่งจะสามารถหาทิศทางของการแพร่กระจายพลังงานได้ด้วยไดเรคติวิตี้เกน (Directivity Gain: D_g) โดยจะบ่งบอกได้ถึงอัตราความเข้มของการแพร่กระจายพลังงานไปในทิศทางนั้นต่อความเข้มของการแพร่กระจายพลังงานทั้งหมดของสายอากาศ โดยที่ค่า Directivity Gain จะพิจารณาจากค่าสูงสุดของความเข้มในการแพร่กระจายพลังงานของสายอากาศเท่านั้น โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (4.3) และสมการที่ (4.4)

$$D_g = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \tag{4.3}$$

$$D_0 = \frac{UI_{Max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{Max}}{P_{rad}} \tag{4.4}$$

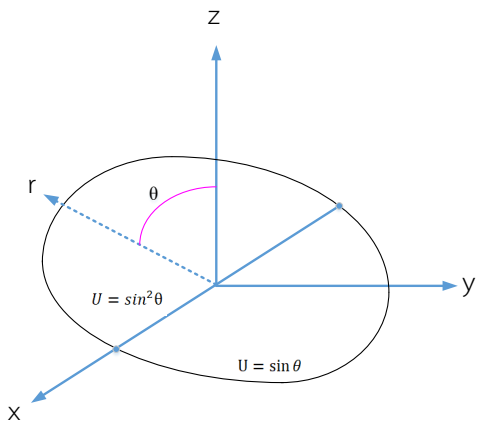
เมื่อ

U_0 คือ ความเข้มการแพร่กระจายของสายอากาศ

U_{Max} คือ ความเข้มการแพร่กระจายสูงสุด

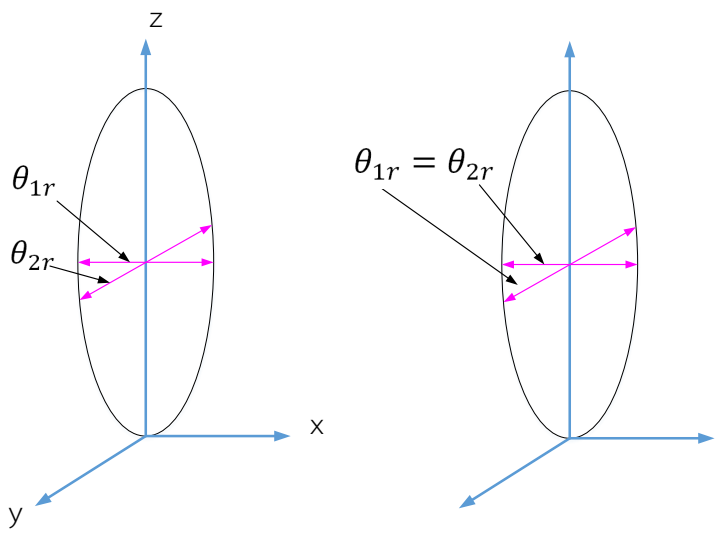
P_{rad} คือ กำลังการแพร่กระจายทั้งหมด

โดยตัวอย่างรูปแบบของการแพร่กระจายพลังงานแบบ 3 มิติของสายอากาศ แสดงได้ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 รูปแบบของการแพร่กระจายพลังงานแบบ 3 มิติของสายอากาศ

และตัวอย่างมุม 3 มิติ ลำคลื่นของการแพร่กระจายพลังงานแบบไม่สมมาตรและแบบสมมาตรของสายอากาศ แสดงได้ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ลำคลื่นของการแพร่กระจายพลังงานแบบไม่สมมาตรและแบบสมมาตร
แบบ 3 มิติของสายอากาศ

4.7 อัตราขยายและประสิทธิภาพของสายอากาศ

อัตราขยาย (Gain) จะเป็นการวัดประสิทธิภาพของสายอากาศ ในรูปแบบอัตราของการขยายกำลังในทิศทางที่เฉพาะเจาะจงต่อการขยายกำลังทั้งหมดของสายอากาศ โดยที่กำลังทางด้านอินพุตของสายอากาศนั้นต้องเท่ากันทั้ง 2 ด้าน ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (4.5)

$$G_g = \frac{4\pi U_{(\theta,\phi)}}{P_{in}} \tag{4.5}$$

เมื่อ

G_g คือ อัตราขยายของสายอากาศ

$U_{(\theta,\phi)}$ คือ ความเข้มการแพร่กระจายสูงสุด

P_{in} คือ กำลังทางด้านอินพุต

ประสิทธิภาพของสายอากาศ (e_t) จะหมายถึงสายอากาศที่มีความสามารถในการรับพลังงานได้ครบทั้งหมดจากพลังงานที่ส่งออกมาจากสายอากาศที่ด้านส่งเข้ามายังสายอากาศที่ด้านรับ ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นจะยังมีพลังงานส่วนที่สูญเสียไปจากหลาย ๆ ปัจจัยในหลาย ๆ ด้านได้แก่ การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ การสูญเสียด้านปลายอินพุต การสูญเสียจากการนำสัญญาณ การสูญเสียทางคุณสมบัติจากวัสดุฐานรอง เป็นต้น ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (4.6)

$$e_t = e_r e_d e_c \tag{4.6}$$

เมื่อ

e_t คือ ประสิทธิภาพรวมทั้งหมด

e_r คือ ประสิทธิภาพเนื่องจากการสะท้อนกลับ

e_d คือ ประสิทธิภาพจากตัวนำ

e_c คือ ประสิทธิภาพจากไดอิเล็กตริก

4.8 อินพุตอิมพีแดนซ์

อินพุตอิมพีแดนซ์ จะหมายถึงอัตราค่าความต่างศักย์ต่อกระแสที่คู่ปลายขั้วของจุด a-b ซึ่งจะเป็นอิมพีแดนซ์ที่ปลายของสายอากาศ ซึ่งจะหาค่าได้ตามสมการที่ (4.7)

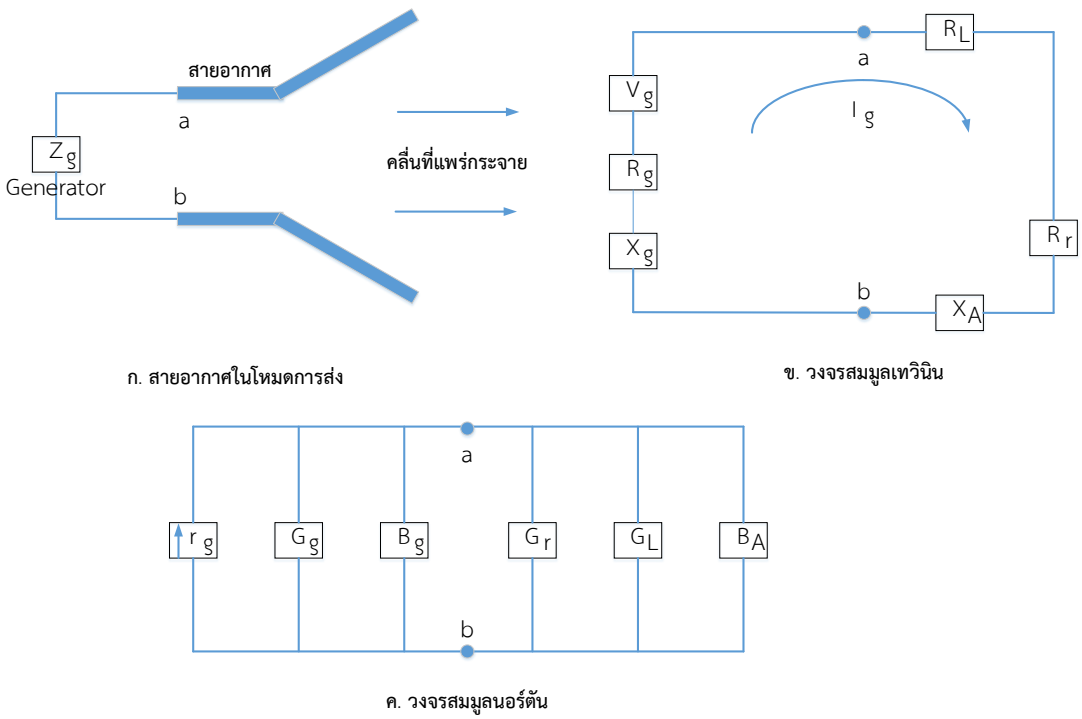
$$Z_A = R_A + jX_A \tag{4.7}$$

เมื่อ

Z_A คือ อิมพีแดนซ์ที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b

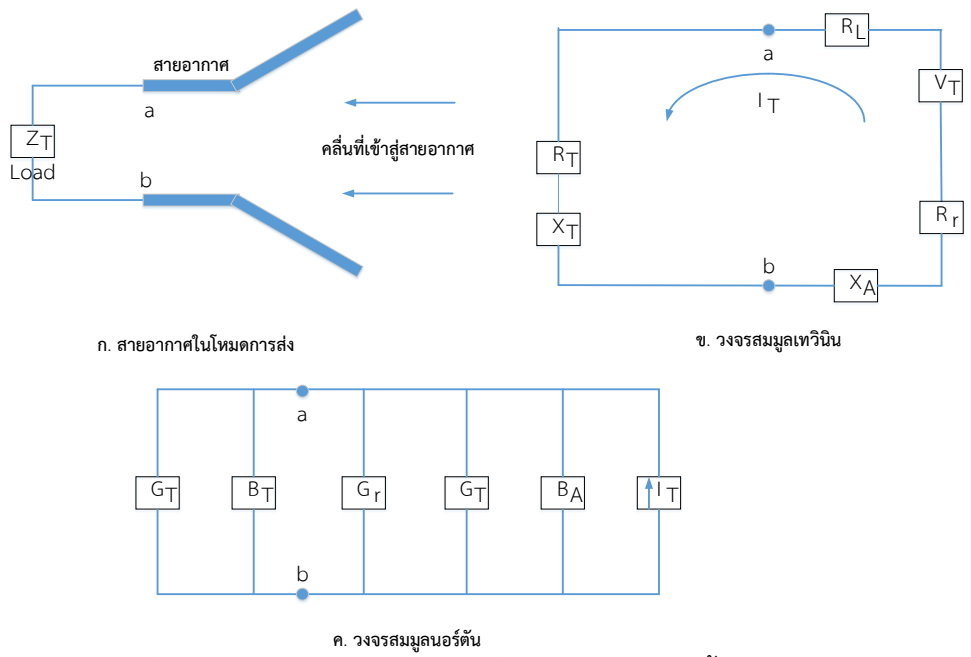
R_A คือ ความต้านทานที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b ($R_a = R_L + R_r$)

X_A คือ รีแอคแตนซ์ที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b

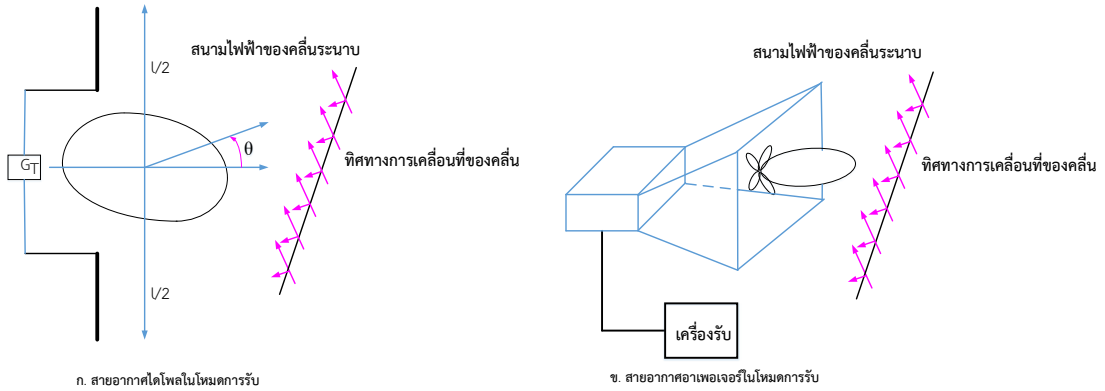


รูปที่ 4.19 ลักษณะของอิมพีแดนซ์ที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b แบบส่ง

อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ดีนั้นควรจะเป็นสายอากาศที่มีความสามารถในการเข้ากันได้ดี (Matching) ระหว่างการต่อภายในของสายส่งและอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งควรมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียง 50 โอห์ม โดยตัวอย่างสายอากาศแบบส่ง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.19 และตัวอย่างสายอากาศแบบรับ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ลักษณะของอิมพีแดนซ์ที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b แบบรับ



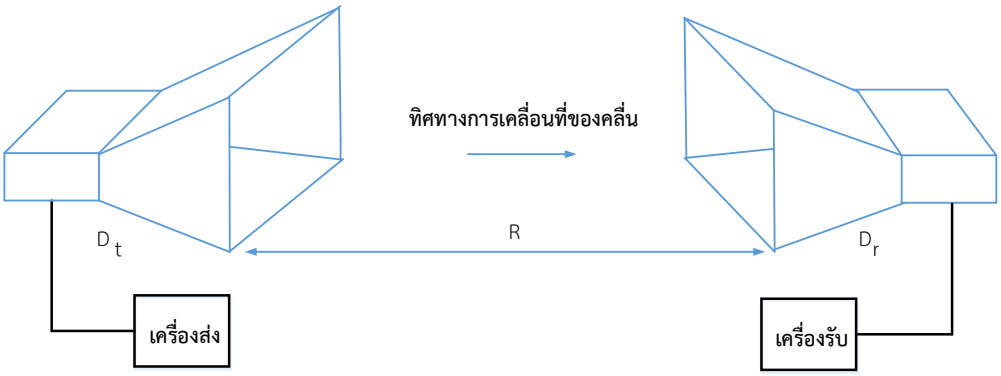
รูปที่ 4.21 ลักษณะการรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศ

4.9 สายอากาศในโหมดการรับ

สายอากาศในโหมดการรับนั้น โดยที่สายอากาศทุกชนิดตั้งแต่สายอากาศแบบไดโพล แบบอะเพอร์เจอร์ แบบแท่งไดอิเล็กตริก แบบอาเรย์ เป็นต้นนั้น จะถูกออกแบบให้สามารถนำมาใช้ในการ

รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและยังสามารถดึงกำลังของพลังงานนั้นออกมาใช้งานได้เสมอในลักษณะที่ใกล้เคียงกันตามการนำมาประยุกต์ใช้งาน แสดงได้ดังรูปที่ 4.21

โดยกำลังของพลังงานที่ดึงเข้ามาได้นั้น จะได้รับมาจากกำลังงานรวมทั้งหมดที่สามารถรับเข้ามาได้ จากความสามารถของสายอากาศทางด้านรับและจะส่งต่อไปเข้ายังโหลดในเครื่องรับต่อไป แสดงได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ลักษณะความสามารถของสายอากาศทางด้านรับ

ตารางที่ 4.1 ช่วงความถี่ของการใช้งานในย่านความถี่วิทยุไมโครเวฟ

ชื่อ	ช่วงความถี่	ช่วงความยาวคลื่น
ความถี่ต่ำมาก	3 KHz - 30 KHz	100 km - 10 km
ความถี่ต่ำ	30 KHz - 300 KHz	10 km - 1 km
ความถี่ปานกลาง	300 KHz - 3 MHz	1 km - 100 m
ความถี่สูง	3 MHz - 30 MHz	100 m - 10 m
ความถี่สูงมาก	30 MHz - 300 MHz	10 m - 1 m
ความถี่สูงยิ่ง	300 MHz - 3 GHz	1 m - 10 cm
ความถี่สูงสุด	3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm
ความถี่สูงพิเศษ	30 GHz - 300 GHz	1 cm - 1 mm

4.10 การนำสายอากาศไปใช้ประโยชน์

จากการออกแบบและสร้างสายอากาศในรูปแบบต่าง ๆ มาใช้งานในปัจจุบันสามารถแสดงได้ออกมาหลายลักษณะ โดยหากแบ่งตามลักษณะการใช้งานในย่านความถี่วิทยุไมโครเวฟ จะสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.1 หรือหากแบ่งตามลักษณะการใช้งานในย่านการสื่อสารไร้สายสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.2 และหากแบ่งตามลักษณะการใช้งานในย่านความถี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะ

สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.3 ซึ่งจะเป็นช่วงความถี่ที่นำมาใช้งานในชีวิตประจำวันของมนุษย์กันอย่างแพร่หลาย

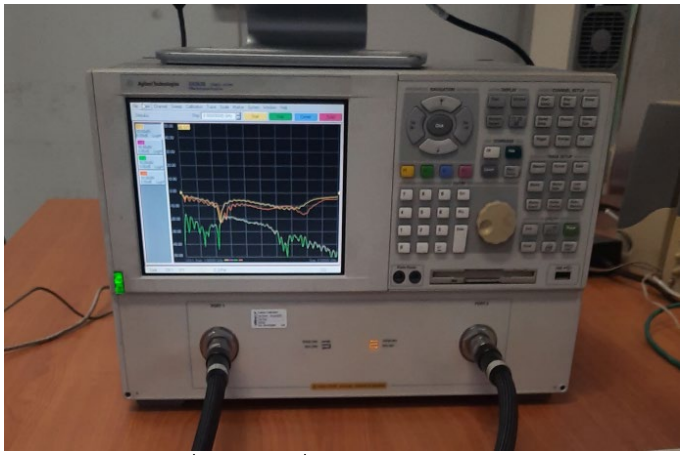
ตารางที่ 4.2 ช่วงความถี่ของการใช้งานในย่านการสื่อสารไร้สาย

เทคโนโลยี	มาตรฐาน	เครือข่าย	อัตราความเร็ว	ระยะทาง	ความถี่
WiFi	IEEE 802.11a	WLAN	สูงสุด 54 Mbps	100 m	5 GHz
WiFi	IEEE 802.11b	WLAN	สูงสุด 11 Mbps	100 m	2.4 GHz
WiFi	IEEE 802.11g	WLAN	สูงสุด 54 Mbps	100 m	2.4 GHz
WiMax	IEEE 802.16d	WMAN	สูงสุด 75 Mbps	10 km	11 GHz
WiMax	IEEE 802.16e	Mobile WMAN	สูงสุด 30 Mbps	5 km	2-6 GHz
WCDMA/UMTS	3G	WMAN	สูงสุด 2 Mbps	8 km	1800, 1900, 2100 MHz
CDMA2000 1xEV-DO	3G	WMAN	สูงสุด 2.4 Mbps	8 km	400, 800, 900, 1700, 1800, 1900, 2100 MHz
EDGE	2.5G	WMAN	สูงสุด 384 Kbps	8 km	1900 MHz
UWB	IEEE 802.15.3a	WPAN	110-480 Mbps	10 m	7.5 GHz

โดยที่อุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพและประสิทธิภาพของสัญญาณที่ได้จากสายอากาศที่ทำการออกแบบไว้นั้นจะเป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) แสดงได้ดังรูปที่ 4.23 ซึ่งจะมีฟังก์ชันในการแสดงรูปของสัญญาณและค่าตัวเลขต่าง ๆ ที่เป็นคุณสมบัติของสายอากาศ เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถประเมินและนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบและปรับปรุงสายอากาศให้มีความสามารถตามคุณสมบัติที่ดีที่สุดก่อนนำไปใช้งานจริง

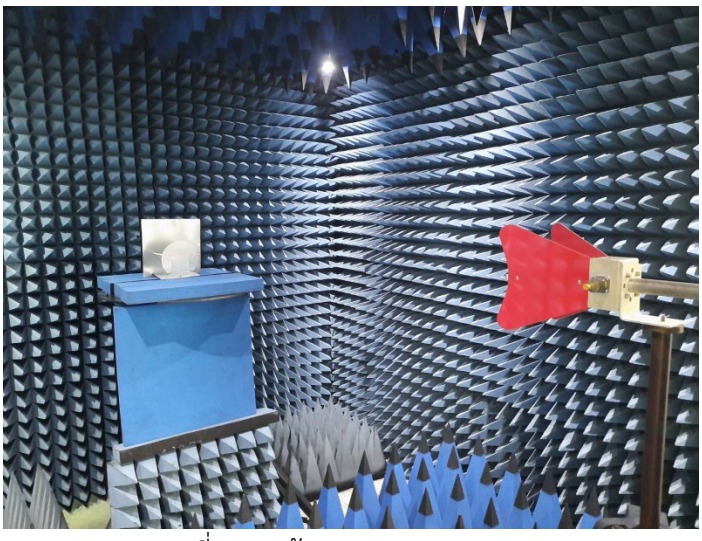
ตารางที่ 4.3 ช่วงความถี่ของการใช้งานในย่านความถี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบ	2G	3G
900 MHz (AIS)	12.5 MHz	5 MHz
850 MHz (CAT)	-	15 MHz
850 MHz (DTAC)	-	10 MHz
1800 MHz (TruemoveH)	12.5 MHz	-
1800 MHz (DPC)	12.5 MHz	-
1800 MHz (DTAC)	50 MHz	-
2100 MHz (TOT)	-	15 MHz
2100 MHz (ประมูลใหม่)	-	45 MHz
รวม	87.5 MHz	90 MHz



รูปที่ 4.23 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

ในการวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศที่สำคัญอีกอย่างคือการวัดคุณสมบัติการแพร่กระจายสัญญาณและค่าอัตราขยายของสัญญาณ ซึ่งจะต้องทำการวัดสายอากาศในห้องที่สามารถป้องกันคลื่นหรือสัญญาณรบกวนการส่งคลื่นในการทดสอบได้ดีอีกทั้งยังต้องป้องกันการแพร่กระจายคลื่นที่จะทดสอบไม่ให้แพร่กระจายออกมาภายนอกได้ดีด้วยเช่นกัน ซึ่งต้องมีห้องทดสอบเฉพาะทางที่มีวัสดุอุปกรณ์ในการดูดซับคลื่นความถี่ได้ดีโดยห้องปฏิบัติการนี้จะถูกเรียกว่าห้อง Chamber Room แสดงได้ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ห้อง Chamber Room

หลังจากที่ทำการออกแบบ สร้างและทดสอบสายอากาศจนได้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพมาได้แล้วนั้น ก็สามารถนำไปใช้งานได้ โดยส่วนใหญ่ที่จะเห็นกันได้โดยทั่วไปจะเป็นสายอากาศทางด้านรับซึ่งตั้งแต่อดีตสายอากาศที่จะพบเจอได้ใกล้ตัวจะเป็นการนำไปใช้งานกับวิทยุทรานซิสเตอร์และโทรทัศน์ แสดงดังรูปที่ 4.25 ซึ่งจะเรียกสายอากาศแบบนี้ว่าเป็นสายอากาศแบบเส้นลวดที่ยืดหดได้ หรือภาษาพูดทั่วไปจะเรียกว่าสายอากาศหนวดกุ้งนั่นเอง ซึ่งก็จะมีทั้งแบบเส้นเดียวและแบบเส้นคู่

รูปที่ 4.25 สายอากาศแบบเส้นลวดที่ยืดหดได้

ในการส่งสัญญาณหรือรับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุสื่อสารในย่านความถี่เฉพาะนั้น ก็จะพบเห็นการนำสายอากาศแบบเส้นลวดมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งจะติดตั้งอยู่บนเสาสูง ๆ หรือ

บริเวณหน้ารถยนต์หรือหลังรถจักรยานยนต์ของตำรวจจราจร เป็นต้น โดยมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 4.26

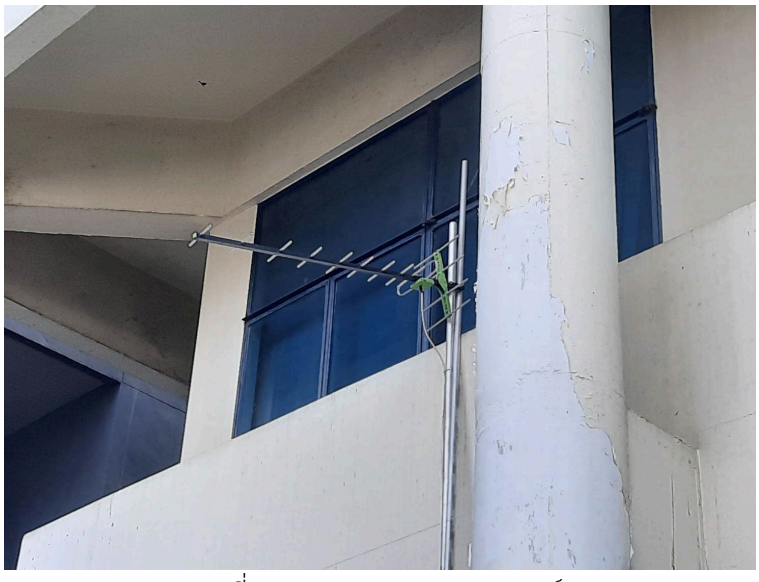
รูปที่ 4.26 สายอากาศแบบเส้นลวด

สายอากาศแบบเส้นลวดที่มีขนาดเล็กและใช้รับความถี่ที่สูงขึ้นนั้นก็จะพบเห็นได้จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นเก่า ๆ ที่จะมีสายอากาศดึงเลื่อนขึ้นเลื่อนลงได้เพื่อใช้ในการรับสัญญาณคลื่นความถี่ในย่านที่ให้บริการอยู่นั่นเอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.27 หรือแม้แต่ในปัจจุบันก็สามารถพบเห็นได้จากกล้องวงจรปิดแบบไร้สาย แสดงได้ดังรูปที่ 4.28

รูปที่ 4.27 สายอากาศโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเก่า

รูปที่ 4.28 สายอากาศกล้องวงจรปิดแบบไร้สาย

ส่วนของการนำสายอากาศแบบเส้นลวดไปพัฒนาต่อจนกลายเป็นสายอากาศแบบอาเรย์นั้น จะพบเห็นการนำไปใช้งานบนเสาสูงที่ยังมีอีกหลายรูปแบบที่จะพบเห็นได้อยู่บ่อย ๆ ในอดีต ซึ่งจะติดตั้งอยู่บนเสากายและเสาทาวเวอร์บนหลังคาบ้านเรือนหรือบนหลังคาดาดฟ้าของอาคารต่าง ๆ เพื่อใช้รับสัญญาณโทรทัศน์ในยุคแรก ๆ หรือวิทยุสื่อสารย่าน 470 MHz แสดงได้ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 สายอากาศแบบอาเรย์

สายอากาศแบบเส้นลวดสามารถนำมาดัดโค้งงอจนกลายเป็นวงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น วงกลม วงรี สี่เหลี่ยม เป็นต้น ซึ่งจะเรียกสายอากาศแบบนี้ว่าสายอากาศแบบลูป (Loop Antenna) เพื่อใช้ในการรับสัญญาณที่มีความถี่ไม่สูงมากนักในช่วงความถี่ระดับเมกกะเฮิรตซ์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.30

รูปที่ 4.30 สายอากาศแบบลูป

สายอากาศที่ต้องการกำลังส่งและรับที่สูงมากขึ้นในระยะทางการส่งที่ไม่ไกลกันมากนัก เช่น จากที่ทำงานมายังบ้านพักหรือจากอาคาร A ไปยังอาคาร B จะสามารถพบเห็นสายอากาศแบบท่อนำคลื่น แสดงได้ดังรูปที่ 4.31 ได้ถูกนำมาใช้งาน ซึ่งจะต้องมีการส่งและรับสัญญาณเป็นแบบเส้นตรงแบบเฉพาะเจาะจงทิศทาง เพื่อให้สัญญาณที่ได้รับมีค่าแรงมากที่สุด โดยระยะระหว่างสายอากาศด้านส่งและด้านรับไม่เกิน 2 km

รูปที่ 4.31 สายอากาศแบบท่อนำคลื่น

ในส่วนของสายอากาศแบบท่อนำคลื่นที่ออกแบบมาใช้สำหรับการส่งและรับสัญญาณในลักษณะการสะท้อนคลื่นสัญญาณเพื่อนำไปใช้ในการหาวัตถุหรือหาระยะของวัตถุในรูปแบบการทำงานของเรดาห์จะออกแบบสายอากาศให้สามารถส่งและรับสัญญาณโดยที่ด้านปลายของสายอากาศจะมีความกว้างมากเพื่อรวบรวมสัญญาณเข้ามายังท่อนำสัญญาณ แสดงได้ดังรูปที่ 4.32 ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ใช้ทางการทหารในการตรวจจับโลหะแปลกปลอมใต้พื้นดินได้ หรือสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาโลหะมีค่าใต้ดินได้เช่นกัน

รูปที่ 4.32 สายอากาศแบบท่อนำคลื่นในการตรวจวัดโลหะในผนังปูน

ส่วนสายอากาศแบบแผ่นสะท้อนที่จะพบเห็นนำมาใช้งานกันอยู่ได้ตามปกติในปัจจุบันจะเป็นลักษณะของจานรับสัญญาณดาวเทียม แสดงได้ดังรูปที่ 4.33 โดยจะใช้รับสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัล ซึ่งจะมีทั้งแบบจานทึบและจานตะแกรง โดยจะรับสัญญาณมาจากดาวเทียมที่อยู่บนชั้นอวกาศ และจะมีการส่งสัญญาณขึ้นไปจากจานส่งสัญญาณขนาดใหญ่ที่อยู่ที่ภาคพื้นดิน

รูปที่ 4.33 จานรับสัญญาณดาวเทียม

4.11 สรุป

สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการส่งและรับคลื่นความถี่ สำหรับการสื่อสารไร้สายที่มีใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สายอากาศจะมีอยู่หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน เช่น สายอากาศแบบเส้นลวด สายอากาศแบบอะเพอร์เจอร์ สายอากาศอาเรย์ เป็นต้น โดยยังคงมีหลักการพื้นฐาน คุณสมบัติและพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ เช่น กลไกการแพร่กระจายคลื่น ขอบเขตสนามการแพร่กระจาย ความหนาแน่นกำลัง ความเข้มในการแพร่กระจาย โพลาไรเซชัน ไดเรคติวิตี้ อัตราขยายและประสิทธิภาพของสายอากาศ เป็นต้น ที่สอดคล้องตามทฤษฎีสายอากาศ อีกทั้งยังสามารถนำคุณสมบัติของสายอากาศไปพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบอีกด้วย แต่จากความต้องการด้านการสื่อสารไร้สายที่มีรูปแบบความแตกต่างหลากหลายมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศในแบบเดิม ให้มีโครงสร้างสายอากาศในรูปแบบที่หลากหลายเพื่อรองรับการใช้งานที่เหมาะสมเฉพาะด้านเฉพาะทางตรงตามวัตถุประสงค์ โดยจะได้ยกตัวอย่างมากล่าวถึงในบทถัดไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4

ข้อ 1 จงบอกเกี่ยวกับนิยายของสายอากาศ
ข้อ 2 จงระบุถึงชนิดของสายอากาศ
ข้อ 3 จงอธิบายหลักการเกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่น
ข้อ 4 จงอธิบายถึงพารามิเตอร์พื้นฐานต่าง ๆ ของสายอากาศ
ข้อ 5 จงอธิบายเกี่ยวกับขอบเขตสนามการแพร่กระจาย
ข้อ 6 จงอธิบายเกี่ยวกับความหนาแน่นและความเข้มในการแพร่กระจายของสายอากาศ
ข้อ 7 จงอธิบายเกี่ยวกับโพลาไรเซชันและไดเรคติวิตี้
ข้อ 8 จงอธิบายเกี่ยวกับอัตราขยายและประสิทธิภาพของสายอากาศ
ข้อ 9 จงอธิบายถึงลักษณะของอิมพีแดนซ์ที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b ทั้งแบบส่งและแบบรับ
ข้อ 10 จงยกตัวอย่างพร้อมอธิบายการนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ

บรรณานุกรม

1. วิทวัส สิฏฐกุล, วิศวกรรมสายอากาศ (Antenna Engineering), พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2563.

2. สายัณต์ ชื่นอารมย์และอนงค์ลักษณ์ อาจมังกร, สายส่งและสายอากาศ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2562.

3. โมไนย ไกรฤกษ์, ทฤษฎีสายอากาศ (Antenna theory), พิมพ์ครั้งที่ 1: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2544.

4. Wi-Fi คืออะไร [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.onehospitality.co.th/wi-fi/, 11 พฤศจิกายน 2565.

5. ปราโมทย์ จามรวิเชียร, เทคโนโลยี เสาอากาศ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ สกายบุ๊คส์, 2567.

6. ฉัตรชัย ไวยาพัฒนกร, การวิเคราะห์สายอากาศ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

7. C. Randy and P. Bancroft, Microstrip and Antenna Design. United Stated of America: Noble Publishing, INC., 2004.

8. C. A. Balanis, Antenna theory, analysis and design, John Wiley & Sons, INC., 3rd ed., New Jersey, USA, 2005.

บทที่ 5
สายอากาศประยุกต์

จากบทที่ 4 ที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีสายอากาศและคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศ รวมถึงการนำสายอากาศไปใช้ประโยชน์ไปแล้วนั้น ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการพัฒนาสายอากาศที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานที่หลากหลายแบบเฉพาะทางมากขึ้น ซึ่งจะยกตัวอย่างสายอากาศที่นำมาประยุกต์ใช้งาน 3 ชนิดได้แก่ สายอากาศโมโนโพล สายอากาศไดโพลและสายอากาศท่อนำคลื่น

5.1 การพัฒนาสายอากาศกับงานด้านระบบการสื่อสารไร้สาย

การนำสายอากาศมาใช้งานนั้น ส่วนใหญ่จะออกแบบและสร้างสายอากาศหนึ่งต้นมาเพื่อใช้งานกับความถี่เพียงความถี่เดียวโดยเฉพาะ ซึ่งจะไม่สามารถนำไปใช้กับความถี่อื่น ๆ ได้ การพัฒนาสายอากาศหนึ่งต้นให้สามารถใช้งานกับความถี่ที่หลากหลายมากกว่าหนึ่งความถี่จึงเป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นอย่างมาก โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาสายอากาศโมโนโพลหนึ่งต้นให้สามารถรองรับการใช้งานกับความถี่ที่มากกว่าหนึ่งความถี่ที่นำไปใช้งานกับย่านความถี่ของระบบเซลลูลาร์หรือระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ กับย่านความถี่ในระบบการสื่อสารไร้สาย WLAN

โดยที่การสื่อสารของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้มีการพัฒนาจากยุค 1G ที่เป็นแบบเซลลูลาร์มีการส่งคลื่นแบบอะนาล็อก มาสู่ยุค 2G โดยได้ปรับเปลี่ยนมาเป็นการเข้ารหัสดิจิทัลด้วยเทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม (Global System for Mobile Communications: GSM) และได้มีการพัฒนาต่อไปสู่ยุค 2.5G หรือการให้บริการแบบจีพีอาร์เอส (General Packet Radio Service: GPRS) และถูกพัฒนาต่อไปเป็นยุค 2.75G ซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มใช้เทคโนโลยีแบบเอดจ์ (Enhanced Data rates for Global Evolution: EDGE) จนมาถึงยุค 3G ซึ่งเป็นการส่งผ่านข้อมูลในระบบไร้สายด้วยอัตราความเร็วที่สูงขึ้น มีช่องสัญญาณความถี่ที่มีความจุเพิ่มมากขึ้น ด้วยเทคโนโลยีดับเบิ้ลยูซีดีเอ็มเอ (Wideband Code Division Multiple Access: WCDMA) ถัดมาเป็นการให้บริการในยุค 4G ซึ่งจะพัฒนาในด้านของความเร็วการส่งข้อมูลและการเชื่อมต่อเครือข่ายด้วยโปรโตคอลไอพี การให้บริการหลักของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นการใช้เทคโนโลยีแอลทีอี (Long Term Evolution: LTE) โดยในปัจจุบันได้มีการพัฒนาไปสู่ยุค 5G ที่จะสามารถให้บริการการรับ-ส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็วและมีการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านเทคโนโลยีอัจฉริยะต่าง ๆ อีกมากมาย ซึ่งจะได้อธิบายเพิ่มเติมในบทที่ 8 และบทที่ 10 ต่อไป

ในส่วนการสื่อสารแบบไร้สายที่เป็นระบบการสื่อสารไร้สายนั้น นิยมใช้งานในย่านความถี่ที่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE ได้แก่ IEEE 802.11b/g/n ที่ช่วงความถี่ 2.4-2.484 GHz และ IEEE 802.16a/e/j ที่ช่วงความถี่ (3.4-3.69 GHz, 5.15-5.35 GHz และ 5.725-5.825 GHz) ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการติดต่อสื่อสารข้อมูลที่ต้องการความรวดเร็วและสามารถส่งผ่านข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก ๆ ซึ่งจากการนำไปประยุกต์ใช้งานดังกล่าวนี้ อุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบในการรับส่งข้อมูลก็คือสายอากาศนั่นเอง จึงทำให้มีการพัฒนาสายอากาศให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ทั้งทางด้านการตอบสนองและรองรับย่านความถี่ใช้งานได้หลากหลาย (Multiband) อีกทั้งยังออกแบบให้มี

อัตราขยายสูง ๆ บนโครงสร้างสายอากาศพื้นฐานเพียงต้นเดียว ซึ่งก็ครอบคลุมทั้งย่านความถี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่และ WLAN เนื่องจากสามารถทำการออกแบบได้ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน

5.2 การออกแบบสายอากาศโมโนโพลกับงานด้านระบบการสื่อสารไร้สาย

5.2.1 การออกแบบและจำลองแบบสายอากาศโมโนโพล

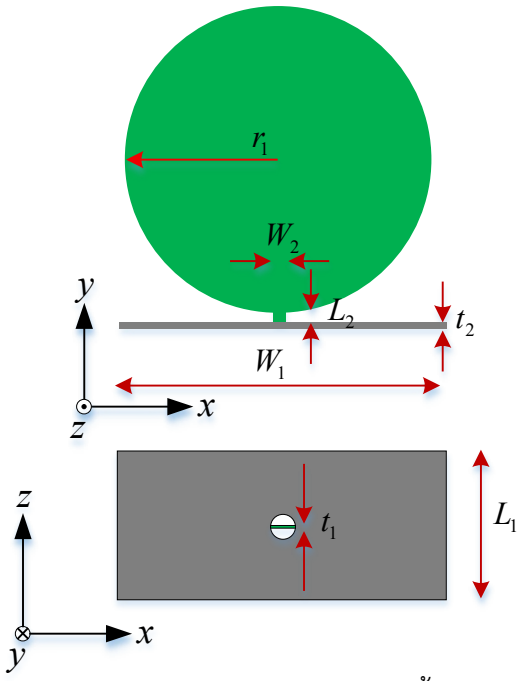
การออกแบบโครงสร้างของสายอากาศโมโนโพลจะออกแบบเป็นรูปวงกลมด้วยแผ่นอลูมิเนียม ให้สามารถครอบคลุมการใช้งานในย่านความถี่ตามมาตรฐาน GSM-850 (0.82-0.90 GHz), GSM-900 (0.88-0.96 GHz), DCS (1.72–1.88 GHz), PCS (1.85–1.99 GHz), UMTS (1.92–2.17 GHz) และย่าน WLAN IEEE 802.11b/g/n (2.4–2.48 GHz) ด้วยการตัดเซาะร่องเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพียง 2 จุด จนสายอากาศมีรูปร่างดูคล้ายกับแมงดาทะเล และใช้เทคนิคการเพิ่มแผ่นสะท้อนเพื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศให้สูงขึ้น โดยจะใช้โปรแกรมวิเคราะห์คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Computer Simulation Technology: CST) ช่วยในการจำลองแบบสายอากาศ และนำมาพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) ค่าแบนด์วิดท์ ทิศทางการแผ่พลังงานและอัตราขยาย ซึ่งจะอาศัยการจำลองผลสายอากาศทำการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการเชิงประสบการณ์ร่วม (Experimental Method) จนได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพดีที่สุด ตามที่ต้องการ

โดยการออกแบบโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลม จะสร้างบนแผ่นโลหะอลูมิเนียมที่มีค่าความหนา t_1 = 0.3 mm เนื่องจากสามารถปรับจูนโครงสร้างสายอากาศได้ง่ายและมีราคาถูก ไม่เป็นสนิม โดยขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างสายอากาศจะมีอยู่ 4 ขั้นตอน ซึ่งในขั้นตอนแรกจะเริ่มจากการออกแบบที่ความถี่เรโซแนนซ์ f_r = 900 MHz ซึ่งเป็นค่าความถี่ตรงกลางระหว่างมาตรฐาน GSM-850 และ GSM-900 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.1)

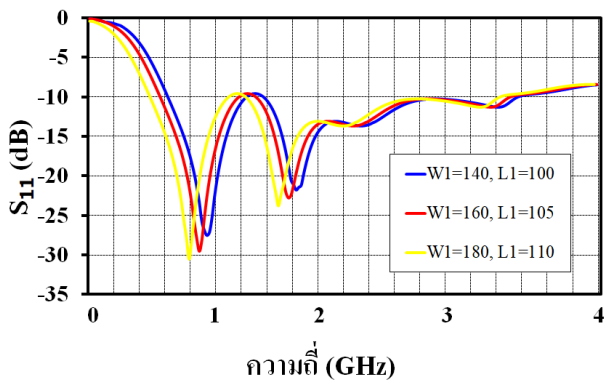
$$r = \frac{0.64\lambda_c}{\pi};\ \lambda_c = \frac{c}{f_r} \tag{5.1}$$

ซึ่งจากการคำนวณพบว่ารัศมีของสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมมีค่า r_1 = 68 mm นำมาจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST โดยที่ตัวสายอากาศจะวางอยู่ตรงกึ่งกลางและตั้งฉากกับระนาบกราวด์ ที่เป็นอลูมิเนียมมีความหนา t_2 = 0.3 mm ด้วยการปรับค่าความกว้าง W_1 ตั้งแต่ 140, 160 และ 180 mm และปรับค่าความยาว L_1 ตั้งแต่ 100, 105 และ 110 mm ซึ่งพบว่าที่ความกว้าง W_1 = 160 mm และความยาว L_1 = 105 mm โดยทำการป้อนสัญญาณเข้าตรงจุดกึ่งกลางของระนาบกราวด์และตัวสายอากาศรูปวงกลมด้านล่าง ที่มีค่าความกว้าง W_2 = 3.1 mm และมีระยะห่างจากแผ่นระนาบกราวด์ L_2 = 4 mm เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด แสดงได้ดังรูปที่ 5.1 ทำให้ได้ค่า S_{11} ที่มีค่าต่ำกว่า -10 dB ที่ความถี่เรโซแนนซ์ช่วงต่ำ 0.914 GHz (0.639-1.236 GHz) เท่ากับ -29.51 dB และที่ความถี่เรโซแนนซ์ช่วงสูง 1.617 GHz (1.368-3.302 GHz) เท่ากับ -22.82 dB แสดงได้ดังรูปที่ 5.2

แบบรูปการแผ่พลังงานแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 โดยที่ทิศทางของแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบรอบทิศทาง และอัตราการขยายมีค่า 3.65 dBi และ 5.88 dBi ตามลำดับ



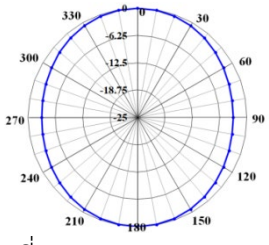
รูปที่ 5.1 การจำลองโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมขั้นตอนแรกด้วยโปรแกรม CST



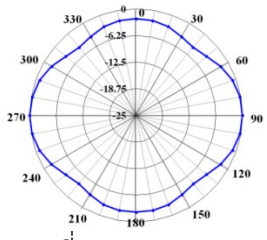
รูปที่ 5.2 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมในขั้นตอนแรก

ขั้นตอนที่ 2 จะทำการเพิ่มแผ่นสะท้อนสัญญาณด้านหลังขนานกับตัวสายอากาศเพื่อเป็นตัวสะท้อนสัญญาณและบังคับทิศทางให้สัญญาณพุ่งออกไปทางด้านหน้าของตัวสายอากาศ โดยที่แผ่นสะท้อนนี้ป็นอลูมิเนียมมีความหนา t_3 = 0.3 mm มีการปรับค่าความกว้าง W_3 ตั้งแต่ 220, 240 และ 260 mm และปรับค่าความยาว L_3 ตั้งแต่ 220, 240 และ 260 mm ซึ่งก็จะวางตั้งฉากกับระนาบกราวด์มีระยะห่างระหว่างตัวสายอากาศกับแผ่นสะท้อนด้านหลัง h ตั้งแต่ 90, 100 และ 110 mm และระยะห่างจากขอบด้านล่าง L_4 ตั้งแต่ 5, 6 และ 7 mm ซึ่งพบว่า W_3 = 240 mm ความ

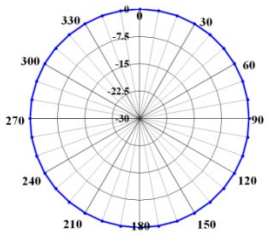
ยาว L_3 = 240 mm h = 100 mm และ L_4 = 5 mm เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด แสดงได้ดังรูปที่ 5.4 และได้ค่า S_{11} ที่ความถี่เรโซแนนซ์ช่วงต่ำ 1.100 GHz (0.986-1.301 GHz) เท่ากับ -11.18 dB และที่ความถี่เรโซแนนซ์ช่วงสูง 2.037 GHz (1.510-2.601 GHz) เท่ากับ -25.09 dB แสดงได้ดังรูปที่ 5.5



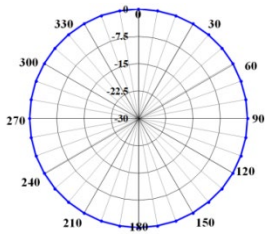
(ก) ความถี่ 900 MHz ระนาบ XZ



(ข) ความถี่ 1600 MHz ระนาบ XZ

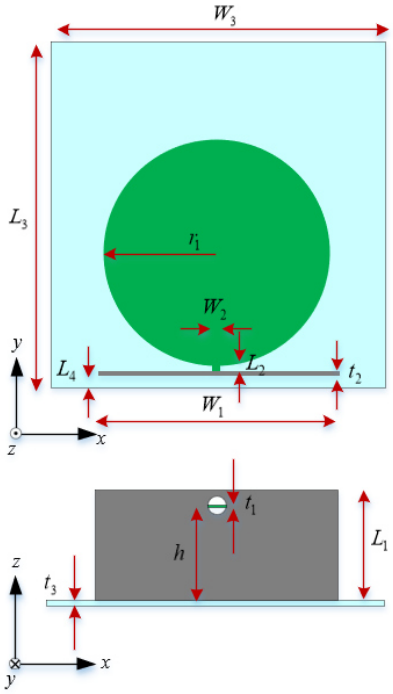


(ค) ความถี่ 900 MHz ระนาบ YZ



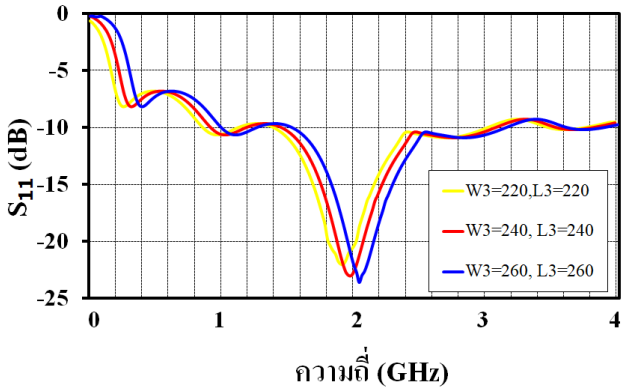
(ง) ความถี่ 1600 MHz ระนาบ YZ

รูปที่ 5.3 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมในขั้นตอนแรก

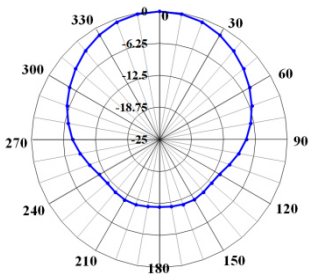


รูปที่ 5.4 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมที่เพิ่มแผ่นสะท้อนด้านหลัง

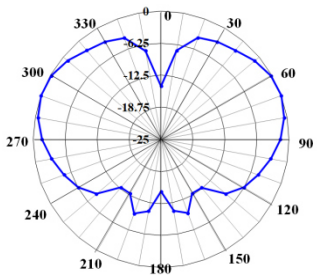
แบบรูปการแผ่พลังงานแสดงได้ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งทิศทางของการแผ่พลังงานมีทิศทางพุ่งออกไปในทิศทางเดียวคือทางด้านหน้าของตัวสายอากาศและอัตราการขยาย มีค่า 8.27 dBi และ 8.51 dBi ตามลำดับ แต่ในช่วงความถี่เรโซแนนซ์ช่วงต่ำ ได้ค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 dB ไม่มากนักและช่วงความถี่ไม่ครอบคลุมการใช้งานในย่านความถี่ที่ต้องการ จึงต้องทำการเลื่อนช่วงความถี่ออกไปทางด้านซ้ายมือเพื่อให้ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานตามมาตรฐาน GSM-850 (0.82-0.90 GHz) และ GSM-900 (0.88-0.96 GHz) ด้วยเทคนิคการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนตัวสายอากาศ ในขั้นตอนต่อไป



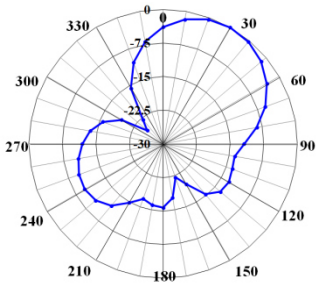
รูปที่ 5.5 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมในขั้นตอนที่ 2



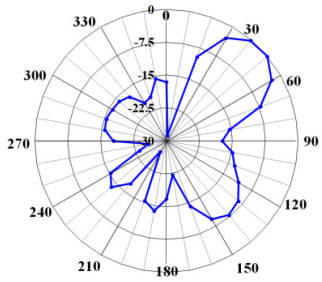
(ก) ความถี่ 1.10 GHz ระนาบ XZ



(ง) ความถี่ 2.0 GHz ระนาบ XZ



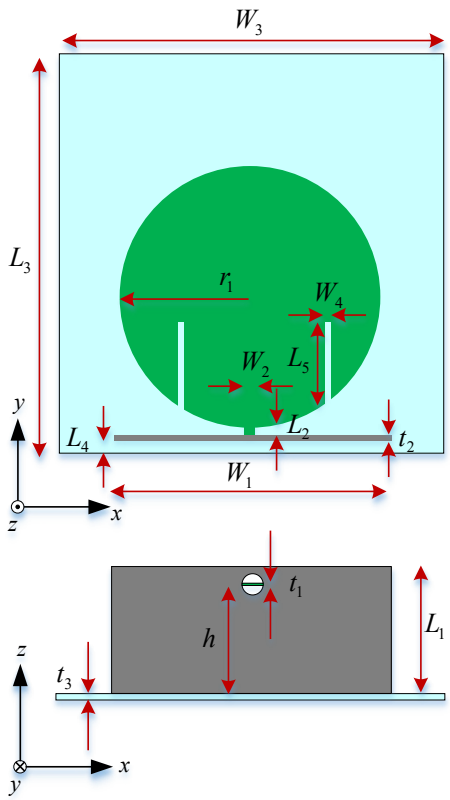
(ค) ความถี่ 1.10 GHz ระนาบ YZ



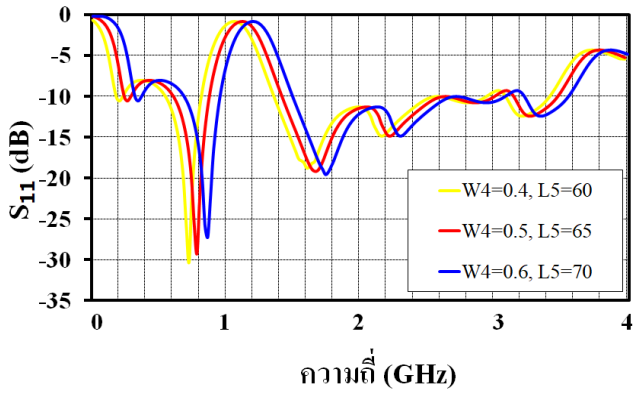
(ง) ความถี่ 2.0 GHz ระนาบ YZ

รูปที่ 5.6 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมในขั้นตอนที่ 2

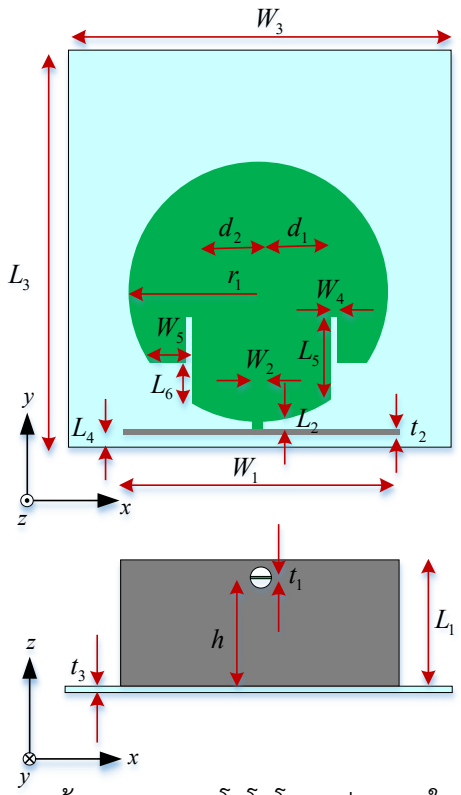
ขั้นตอนที่ 3 จะทำการตัดเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทางด้านล่างทั้งด้านซ้ายและขวาบนตัวสายอากาศรูปวงกลมเพื่อเลื่อนค่าความถี่ออกไปทางด้านซ้ายมือ โดยที่ร่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีการปรับค่าความกว้าง W_4 ตั้งแต่ 0.4, 0.5 และ 0.6 mm และปรับค่าความยาว L_5 ตั้งแต่ 60, 65 และ 70 mm ซึ่งพบว่า W_4 = 0.5 mm และความยาว L_5 = 65 mm เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด แสดงได้ดังรูปที่ 5.7 ซึ่งแสดงค่า S_{11} ที่ความถี่เรโซแนนซ์ช่วงต่ำ 0.852 GHz (0.686-0.947 GHz) เท่ากับ -26.46 dB และความถี่เรโซแนนซ์ช่วงสูง 1.707 GHz (1.476-2.603 GHz) เท่ากับ -19.07 dB แสดงได้ดังรูปที่ 5.8 และอัตราการขยาย มีค่า 6.42 dBi และ 7.16 dBi ตามลำดับ โดยในช่วงความถี่เรโซแนนซ์ช่วงสูงนั้น ยังไม่ครอบคลุมความถี่ใช้งานตามมาตรฐาน จึงต้องทำการเลื่อนช่วงความถี่ออกไปทางด้านขวามือเพื่อให้ครอบคลุมช่วงความถี่ที่ใช้งานตามมาตรฐาน WLAN IEEE 802.11b/g/n (2.4–2.48 GHz) ได้ดียิ่งขึ้น ด้วยการตัดเซาะร่องบนตัวสายอากาศรูปวงกลม อีก 1 จุด



รูปที่ 5.7 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมที่ตัดเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

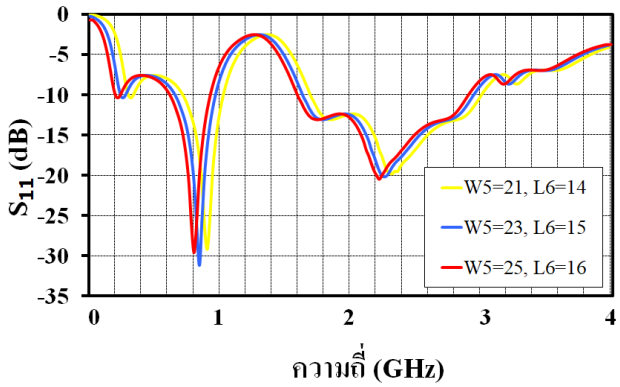


รูปที่ 5.8 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมในขั้นตอนที่ 3



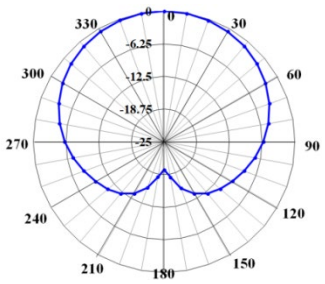
รูปที่ 5.9 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมในขั้นตอนสุดท้าย

ขั้นตอนสุดท้ายจะทำการตัดเซาะร่องที่ด้านล่างทั้งด้านซ้ายและขวาบนตัวสายอากาศรูปวงกลม อีก 1 จุด ติดกับการตัดเซาะร่องในขั้นตอนที่ 3 จนทำให้ตัวสายอากาศมีลักษณะคล้ายรูปกระดองแมงดาทะเล (Horseshoe Crab) เพื่อเลื่อนค่าความถี่เรโซแนนซ์ช่วงสูงออกไปทางด้านขวามือ โดยที่การตัดเซาะร่องจุดที่ 2 นี้มีการปรับขนาดความกว้าง W_5 ตั้งแต่ 21, 23 และ 25 mm และปรับค่าความยาว L_6 ตั้งแต่ 14, 15 และ 16 mm ซึ่งพบว่า W_5 = 23 mm และความยาว L_6 = 15 mm เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด แสดงได้ดังรูปที่ 5.9

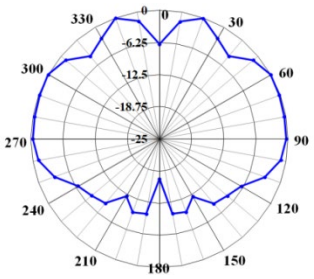


รูปที่ 5.10 ค่า S_{11} ของสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมในขั้นตอนสุดท้าย

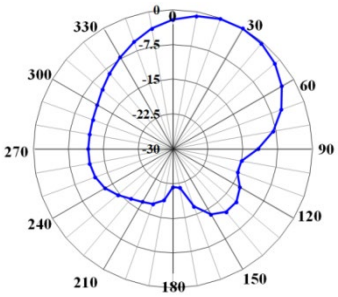
ค่า S_{11} ที่ค่าความถี่เรโซแนนซ์ช่วงต่ำ 0.915 GHz (0.736-1.040 GHz) เท่ากับ -26.59 dB และที่ค่าความถี่เรโซแนนซ์ช่วงสูง 2.284 GHz (1.680-2.940 GHz) เท่ากับ -20.15 dB แสดงได้ดังรูปที่ 5.10 ซึ่งครอบคลุมการใช้งานในช่วงความถี่ GSM-850 (0.82-0.90 GHz), GSM-900 (0.88-0.96 GHz), DCS (1.72–1.88 GHz), PCS (1.85–1.99 GHz), UMTS (1.92–2.17 GHz) และ WLAN IEEE 802.11b/g/n (2.4–2.48 GHz) แบบรูปการแผ่พลังงานแสดงได้ดังรูปที่ 5.11 และอัตราการขยาย มีค่า 6.7 dBi และ 8.47 dBi ตามลำดับ



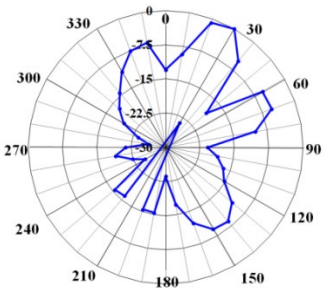
(ก) ความถี่ 900 MHz ระนาบ XZ



(ก) ความถี่ 900 MHz ระนาบ XZ

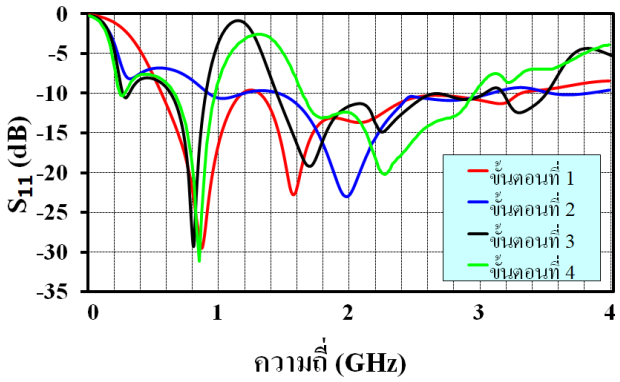


(ค) ความถี่ 900 MHz ระนาบ YZ

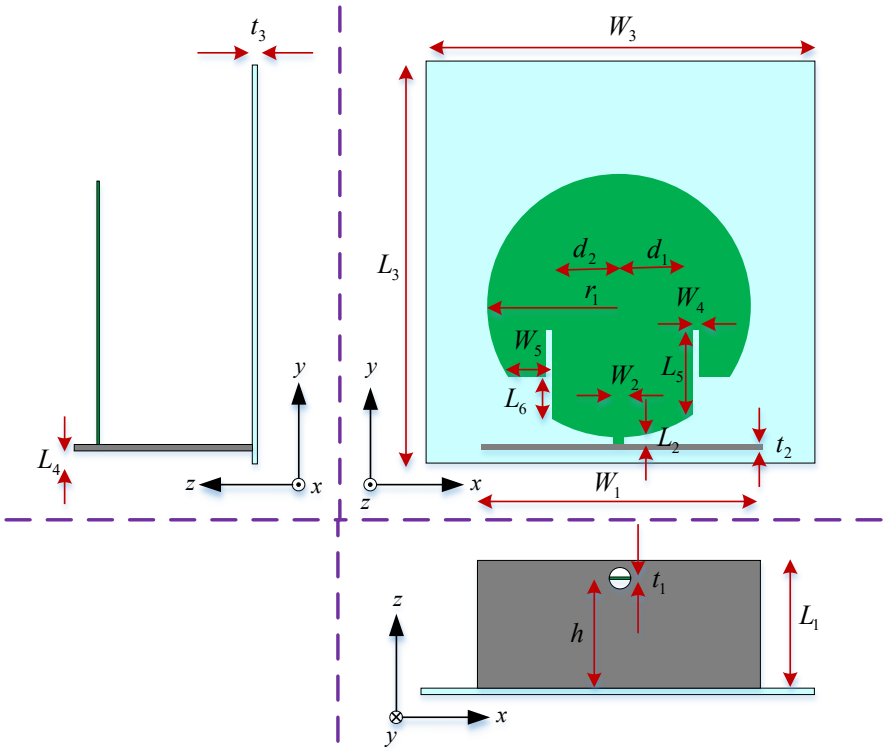


(ง) ความถี่ 2.28 GHz ระนาบ YZ

รูปที่ 5.11 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศโมโนโพลรูปวงกลมในขั้นตอนสุดท้าย



รูปที่ 5.12 การปรับจูนค่า S_{11} ของสายอากาศในขั้นตอนแรกถึงขั้นตอนสุดท้าย



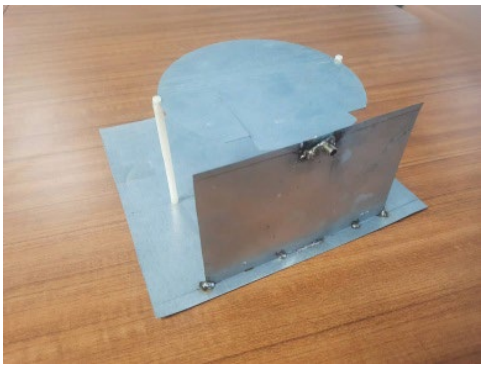
รูปที่ 5.13 โครงสร้างสายอากาศโมโนโพลรูปแมงดาทะเลต้นแบบ

ในส่วนของการปรับจูนตามขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้ายนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า S_{11} แสดงได้ดังรูปที่ 5.12 โดยรูปสายอากาศที่ปรับจูนในขั้นตอนสุดท้ายแสดงได้ดังรูปที่ 5.13 ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าที่เหมาะสมที่สุดแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

5.2.2 การสร้างและวัดผลสายอากาศโมโนโพล

จากผลการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST ในขั้นตอนสุดท้ายได้ค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ดีที่สุดตามตารางที่ 5.1 นำมาสร้างสายอากาศต้นแบบแสดงได้ดังรูปที่ 5.14 และทำการวัดผล

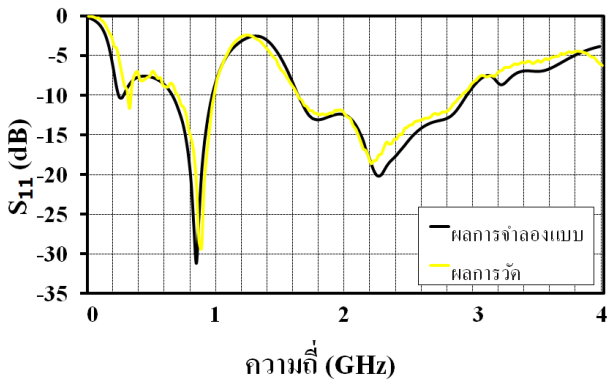
คุณสมบัติต่าง ๆ ด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบ โดยที่ผลวัดค่า S_{11} แสดงได้ดังรูปที่ 5.15 และตารางที่ 5.2 โดยผลการวัดที่ได้มีค่าแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลจากการจำลองแบบ



รูปที่ 5.14 สายอากาศต้นแบบ

ตารางที่ 5.1 ขนาดของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ

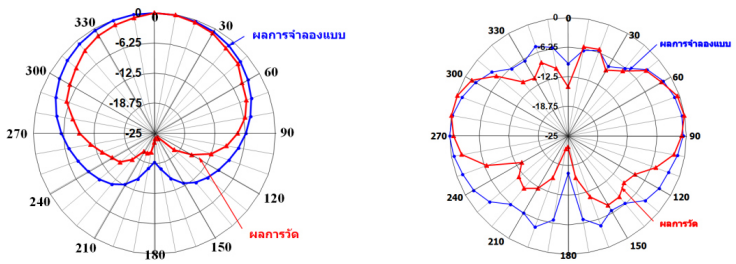
พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาด (mm)
r_1	รัศมีของตัวแผ่พลังงาน	78
W_1	ความกว้างของระนาบกราวด์	160
W_2	ความกว้างของช่องนำสัญญาณ	3.1
W_3	ความกว้างของแผ่นสะท้อน	240
W_4	ความกว้างของช่องสล็อตที่ 1	0.5
W_5	ความกว้างของช่องสล็อตที่ 2	23
L_1	ความยาวของระนาบกราวด์	105
L_2	ความยาวของช่องนำสัญญาณ	4
L_3	ความยาวของแผ่นสะท้อน	240
L_4	ระยะห่างของระนาบกราวด์กับแผ่นสะท้อน	5
L_5	ความยาวของช่องสล็อตที่ 1	65
L_6	ความยาวของช่องสล็อตที่ 2	15
t_1	ความหนาของตัวแผ่พลังงาน	0.3
t_2	ความหนาของระนาบกราวด์	0.3
t_3	ความหนาของแผ่นสะท้อน	0.3
h	ความสูงของตัวแผ่พลังงานจากแผ่นสะท้อน	100



รูปที่ 5.15 การเปรียบเทียบค่า S_{11} ของผลการจำลองแบบกับผลการวัด

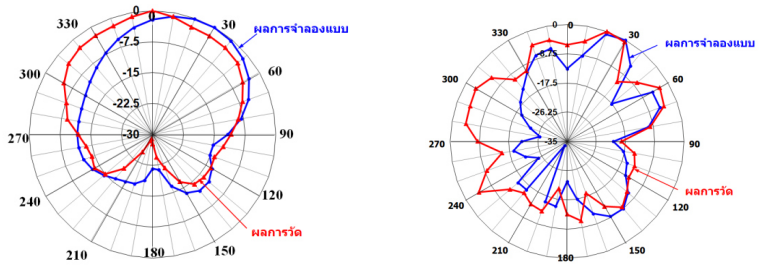
ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองแบบกับผลการวัด ที่ความถี่ 900 MHz และ 2.450 GHz

ความถี่ (GHz)	ผลการจำลองแบบ			ผลการวัด		
	แบนด์วิดท์ (GHz)	f_r (GHz)	S_{11} (dB)	แบนด์วิดท์ (GHz)	f_r (GHz)	S_{11} (dB)
0.900	0.736–1.040	0.915	-26.59	0.766–1.021	0.942	-29.30
2.450	1.680–2.940	2.284	-20.15	1.687–2.922	2.156	-18.62



(ก) ความถี่ 900 MHz (ข) ความถี่ 2.28 GHz

รูปที่ 5.16 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ XZ



(ก) ความถี่ 900 MHz (ข) ความถี่ 2.28 GHz

รูปที่ 5.17 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ YZ

ในส่วนการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า XZ แสดงได้ดังรูปที่ 5.16 และระนาบสนามแม่เหล็ก YZ แสดงได้ดังรูปที่ 5.17 ซึ่งที่ความถี่ 900 MHz และ 2.28 GHz จะพบว่าผลการวัดที่ได้มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลจากการจำลองแบบ โดยมีแบบรูปการแผ่พลังงานของโครงสร้างสายอากาศต้นแบบนี้เป็นแบบเจาะจงทิศทางเหมือนกัน

ในการทดสอบใช้งานสายอากาศต้นแบบนั้นจะทำการทดสอบเพื่อรับสัญญาณด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม โดยเลือกทดสอบใกล้สถานีฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่แห่งหนึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5.18(ก) โดยที่สายอากาศต้นแบบถูกติดตั้งในกล่องพลาสติก แสดงได้ดังรูปที่ 5.18(ข) และวางชุดอุปกรณ์ทดสอบไว้ที่ความสูงประมาณ 4 เมตรจากพื้นดิน โดยมีระยะห่างจากสถานีฐานประมาณ 200 เมตร เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมถูกใช้เพื่อวัดสัญญาณคลื่นความถี่ สายอากาศต้นแบบสามารถรับช่องความถี่ได้ 6 ช่อง ที่ความถี่ 769.818 MHz (-36.66 dB), 874.545 MHz (-35.94 dB), 938.545 MHz (-44.84 dB), 956.000 MHz (-29.45 dB), 1.845 GHz (-49.06 dB) และ 2.136 GHz (-37.94 dB) จากนั้นทำการทดสอบสายอากาศต้นแบบเพื่อรับสัญญาณ WiFi จากเราเตอร์ โดยมีระยะห่างจากสายอากาศและชุดอุปกรณ์ทดสอบประมาณ 40 เมตร ซึ่งก็สามารถรับสัญญาณ WiFi ของช่องที่ 9 ที่ความถี่ 2.452 GHz (-49.01 dB) ได้

(ก) การรับสัญญาณจากสถานีฐาน

(ข) สายอากาศต้นแบบในกล่องพลาสติก

รูปที่ 5.18 การทดสอบสายอากาศต้นแบบ

จากการพัฒนา ออกแบบ สร้าง วัดผลและทดสอบสายอากาศโมโนโพลต้นแบบนี้ สามารถนำมาใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ สามารถรับความถี่ได้หลายความถี่จากสายอากาศเพียงต้นเดียวในราคาต้นทุนที่ต่ำ

5.3 การพัฒนาสายอากาศไดโพลใช้งานกับโดรนสำรวจ

ปัจจุบันโดรนได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตมนุษย์เป็นอย่างมาก ซึ่งโดรนได้ถูกนำมาทำงานแทนแรงงานมนุษย์และเครื่องจักรต่าง ๆ ที่มีราคาแพงที่ต้องสิ้นเปลืองพลังงานเป็นจำนวนมาก มีค่าใช้จ่ายต่อครั้งที่สูงและใช้ระยะเวลานาน ๆ เช่น การนำมาใช้ในการรักษาความปลอดภัย ในด้านการเพาะปลูกและการพ่นยาฆ่าแมลง ใช้ในการสำรวจภูมิประเทศ นำไปใช้สำรวจการจราจร ใช้ในทางการทหาร ในด้านวงการถ่ายทำภาพยนตร์ และในด้านการบินได้นำโดรนใช้ในการตรวจสอบการขึ้นลงของเครื่องบิน

ในสนามบิน เป็นต้น โดยโดรนที่สามารถบินได้จะต้องมีอุปกรณ์ที่เป็นหัวใจหลักที่ใช้ติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย นั่นก็คือสายอากาศซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญในการรับส่งข้อมูลในการควบคุมการบินของโดรนและส่งสัญญาณภาพและข้อมูลต่าง ๆ ผ่านสายอากาศซึ่งจะขึ้นอยู่กับการใช้งานในแต่ละย่านความถี่

สายอากาศที่ออกแบบมาสำหรับใช้งานกับโดรนสำรวจนั้นจะออกแบบให้มีการใช้งาน 3 ย่านความถี่ ได้แก่ ย่านความถี่ 108-118 MHz (Very High-Frequency Omni-Directional Range: VOR) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการตรวจวัดคลื่นความถี่ ย่านความถี่ 328.6-335.4 MHz (Glide Slope: GS) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการตรวจวัดการเคลื่อนที่ทางด้านซ้ายและด้านขวา และย่านความถี่ 962–1231 MHz (Distance Measuring Equipment: DME) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการตรวจวัดระยะทางของมุมที่ใช้ควบคุมการขึ้นของโดรน โดยหากต้องการใช้งานย่านความถี่ใดก็จะทำการนำสายอากาศเฉพาะความถี่นั้นมาติดกับโดรนเพียงต้นเดียว ไม่สามารถใช้งานได้พร้อมกันทั้ง 3 ย่านความถี่ ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในการทำงาน

จากปัญหาที่กล่าวมานี้ จึงได้พัฒนาและออกแบบสายอากาศที่สามารถรองรับการใช้งานได้ทั้ง 3 ย่านความถี่ในสายอากาศเพียงต้นเดียว โดยได้เลือกโครงสร้างสายอากาศไดโพลร่วมกับการเซาะร่องและการเพิ่มสตับ ซึ่งจะมีข้อดีในด้านการออกแบบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและรองรับย่านความถี่ได้ตามต้องการ ซึ่งสามารถนำมาใช้งานร่วมกับโดรนสำรวจได้อย่างลงตัว

5.4 การออกแบบสายอากาศไดโพลใช้งานกับโดรนสำรวจ

5.4.1 การออกแบบสายอากาศไดโพล

การออกแบบโครงสร้างสายอากาศไดโพลเพื่อนำมาใช้งาน 3 ย่านความถี่ในสายอากาศต้นเดียว คือ ย่านความถี่ต่ำ VOR (108–118 MHz) ย่านความถี่กลาง GS (328.6–335.4 MHz) และย่านความถี่สูง DME (962–1231 MHz) โดยออกแบบบนแผ่น FR4 ที่มีน้ำหนักเบาราคาถูกและตอบสนองช่วงความถี่ใช้งานได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีคุณสมบัติของค่าคงตัวไดอิเล็กตริก ε_r = 4.4 ค่าความหนาของวัสดุรองฐาน h = 1.6 mm ค่าความนำของวัสดุตัวนำ (ทองแดง) σ = 5.8 x 10^7 S/m ค่าความหนาของวัสดุตัวนำ (ทองแดง) t = 0.035 mm ค่าไดอิเล็กตริกลอสแทนเจนต์ $\tan\delta$ = 0.015 แสดงได้ดังรูปที่ 5.19 ในขั้นตอนแรกเลือกออกแบบที่ความถี่ต่ำก่อนจนไปถึงความถี่ที่สูงขึ้นเพื่อช่วยในการปรับจูนให้ง่ายขึ้น ซึ่งเลือกออกแบบที่ความถี่ (f_r) = 113 MHz ตามมาตรฐาน VOR (108-118 MHz) ดังสมการที่ (5.2) – (5.3)

คำนวณหาค่าความกว้างของสายอากาศ W จากสมการที่ (5.2)

$$W = \frac{0.5c}{f_r\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{5.2}$$

คำนวณหาค่าความยาวของสายอากาศ L จากสมการที่ (5.3)

$$L = \frac{0.015c}{f_r} \tag{5.3}$$

โดยที่

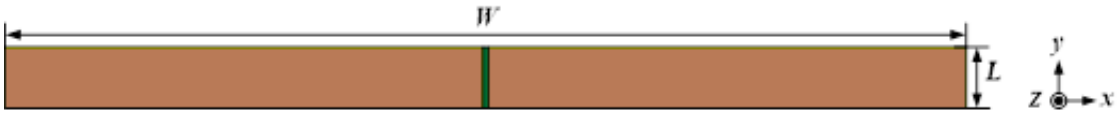
c คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ (3 x 10^8 m/s)

f_r คือ ความถี่ที่ออกแบบเริ่มต้น (113 MHz)

W คือ ความกว้างของแผ่นสายอากาศ (640 mm)

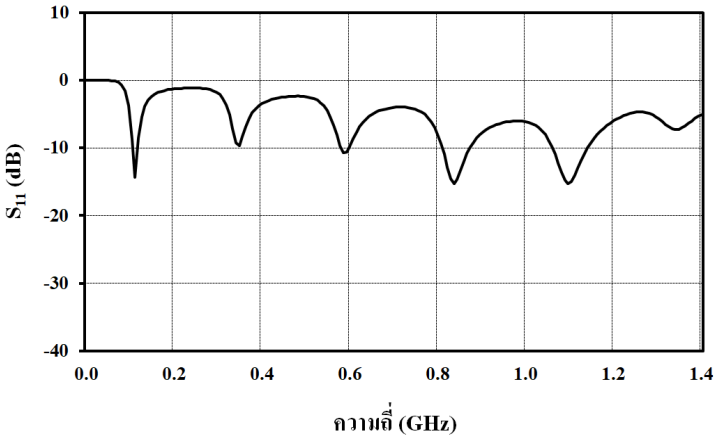
L คือ ความยาวของแผ่นสายอากาศ (40 mm)

g คือ ความกว้างระหว่างสายนำสัญญาณถึงระนาบกราวด์ (0.3 mm)



รูปที่ 5.19 โครงสร้างสายอากาศไดโพลขั้นตอนแรก

เมื่อได้ค่าจากการคำนวณแล้วจึงนำไปจำลองแบบโครงสร้างสายอากาศไดโพลด้วยโปรแกรม CST ซึ่งพบว่ามีค่า S_{11} ตอบสนองที่ย่านความถี่ 113 MHz แต่ยังไม่ตอบสนองย่านความถี่ 332 MHz และย่านความถี่ 1096.5 MHz แสดงได้ดังรูปที่ 5.20 จึงทำการปรับจูนโครงสร้างสายอากาศเพื่อให้ตอบสนองความถี่เพิ่มเติมโดยเริ่มจากความถี่ 332 MHz ก่อน ด้วยการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของกระแสที่ย่านความถี่ 332 MHz ซึ่งพบว่าที่ช่วงจุดป้อนสัญญาณมีค่าความหนาแน่นของกระแสตลอดช่วงตรงกลาง แสดงได้ดังรูปที่ 5.21 จึงนำเทคนิคการเซาะร่องมาช่วยปรับจูนโครงสร้างสายอากาศ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในลำดับถัดไป



รูปที่ 5.20 ผลการจำลองแบบค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลขั้นตอนแรก

ในขั้นตอนที่ 2 ทำการเซาะร่องที่บริเวณแผ่นทองแดงของสายอากาศ เพื่อปรับเพิ่มช่วงความถี่กลางใช้งาน GS (328.6–335.4 MHz) โดยศึกษาจากค่า S_{11} และความหนาแน่นของกระแสจากรูปที่ 5.21 จากการจำลองผลโครงสร้างสายอากาศพบว่าที่ตรงจุดป้อนสัญญาณจนถึงบริเวณปลายของตัวสายอากาศมีความหนาแน่นของกระแสมากทั้งสองด้าน จึงทำการเซาะร่องเพื่อปรับจูนเพิ่มเติม

ด้วยรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน จนได้รูปทรงที่ดีที่สุดคือรูปตัวไอแบบแนวนอน เซาะร่องบนแผ่นทองแดงที่ตรงด้านล่างของสายอากาศทั้งสองด้าน แสดงได้ดังรูปที่ 5.22

รูปที่ 5.21 ความหนาแน่นของกระแสของสายอากาศไดโพลขั้นตอนแรก

รูปที่ 5.22 โครงสร้างสายอากาศไดโพลขั้นตอนที่ 2

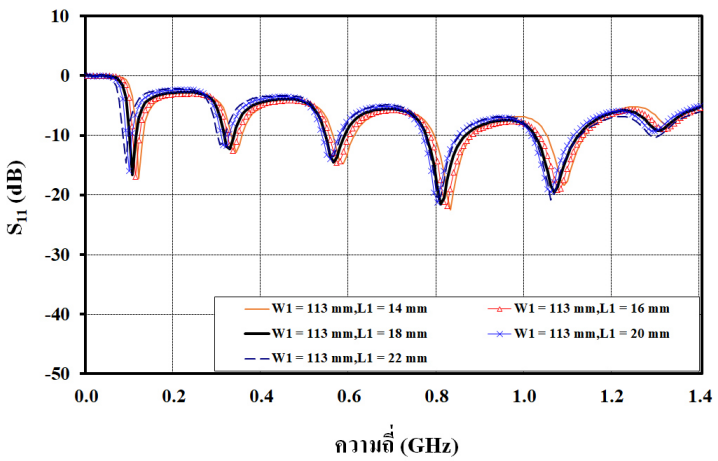
ส่งผลทำให้ได้ช่วงความถี่กลางที่ 332 MHz โดยคำนวณจากสมการที่ (5.4) – (5.5) จะได้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นดังนี้ ค่าความกว้าง W_1 คงที่เท่ากับ 113 mm และทำการปรับค่าความยาว L_1 โดยปรับค่าเท่ากับ 14, 16, 18, 20 และ 22 mm จากการปรับจูนพบว่าค่าความยาว L_1 มีค่าที่เหมาะสม คือ 18 mm โดยค่า S_{11} ช่วงต่ำกว่า -10 dB มี 5 ช่วงความถี่ คือ ช่วงความถี่ 104–115 MHz (10.04%) ช่วงความถี่ 323–340 MHz (5.12%) ช่วงความถี่ 573–594 MHz (3.60%) ช่วงความถี่ 789–857 MHz (8.26%) และช่วงความถี่ 1013–1179 MHz (15.14%) ซึ่งตอบสนองต่อความถี่ต่ำ 108–118 MHz และความถี่กลาง 328–336 MHz แต่ยังไม่ตอบสนองความถี่สูง 962–1231 MHz ตามที่ต้องการ แสดงได้ดังรูปที่ 5.23

คำนวณหาค่าความกว้างของร่องรูปตัวไอ W_1 จากสมการที่ (5.4)

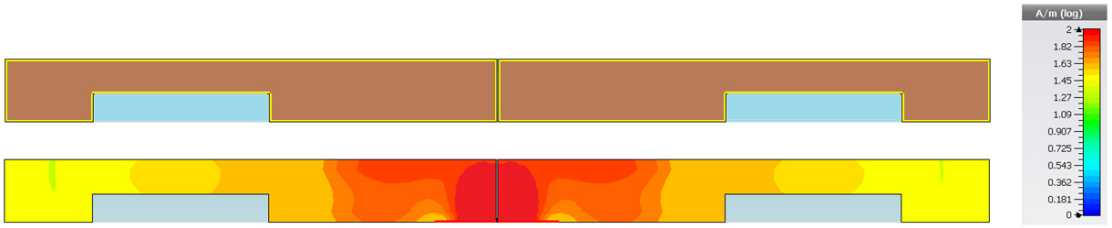
$$W_1 = \frac{0.5c}{f_r\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{5.4}$$

คำนวณหาค่าความยาวของร่องรูปตัวไอ L_1 จากสมการที่ (5.5)

$$L_1 = \frac{0.015c}{f_r} \tag{5.5}$$

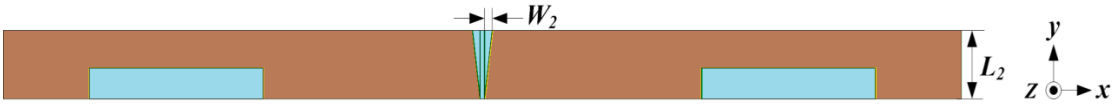


รูปที่ 5.23 ผลการจำลองแบบค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลขั้นตอนที่ 2

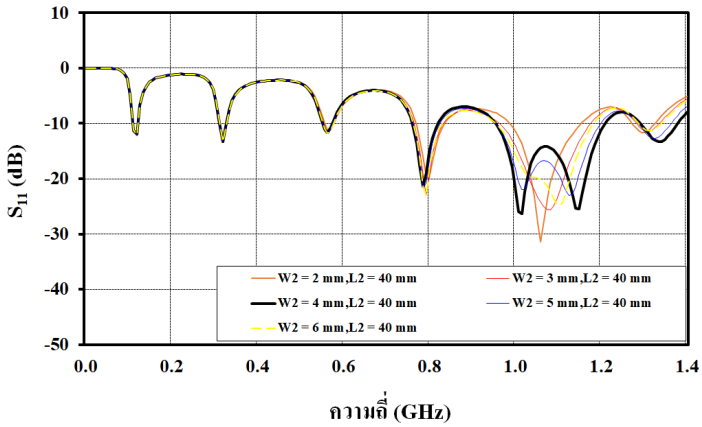


รูปที่ 5.24 ความหนาแน่นของกระแสจากการเซาะร่องในขั้นตอนที่ 2

ในขั้นตอนที่ 3 ทำการเซาะร่องที่บริเวณแผ่นทองแดงด้านบนของจุดสัญญาณของสายอากาศ เพื่อปรับเพิ่มช่วงความถี่สูงใช้งาน DME (962-1231 MHz) โดยศึกษาจากค่า S_{11} และความหนาแน่นของกระแสจากรูปที่ 5.24 จากการจำลองผลโครงสร้างสายอากาศพบว่าที่ตรงจุดป้อนสัญญาณของตัวสายอากาศมีความหนาแน่นของกระแสมากทั้งสองด้าน จึงทำการเซาะร่องเพื่อปรับจูนเพิ่มเติมโดยเลือกใช้รูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน โดยทำการปรับจูนจนได้รูปทรงที่ดีที่สุดคือรูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่าทั้งสองด้าน แสดงได้ดังรูปที่ 5.25 ส่งผลทำให้ได้ช่วงความถี่กลางที่ 1097 MHz โดยคำนวณดังสมการที่ (5.6) – (5.7) จะได้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นดังนี้ ค่าความยาว L_2 คงที่เท่ากับ 40 mm และทำการปรับค่าความกว้าง W_2 โดยปรับค่าเท่ากับ 2, 3, 4, 5 และ 6 mm จากการปรับจูนพบว่าค่าความกว้าง W_2 มีค่าที่เหมาะสม คือ 4 mm โดยค่า S_{11} มี 6 ช่วงความถี่ คือ ช่วงความถี่ 104–118 MHz (10.04%) ช่วงความถี่ 324–340 MHz (4.82%) ช่วงความถี่ 568–591 MHz (3.97%) ช่วงความถี่ 780–841 MHz (7.52%) ช่วงความถี่ 979–1238 MHz (23.36%) และช่วงความถี่ 1321–1409 MHz (6.44%) ซึ่งตอบสนองต่อความถี่ต่ำ 108–118 MHz และความถี่กลาง 328–336 MHz เท่านั้น แต่ยังไม่ตอบสนองความถี่สูง 962–1231 MHz ตามที่ต้องการและยังมีช่วงความถี่ที่ไม่ต้องการ คือ ช่วงความถี่ 568–591 MHz ช่วงความถี่ 780–841 MHz และช่วงความถี่ 1321–1409 MHz แสดงได้ดังรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.25 โครงสร้างสายอากาศไดโพลขั้นตอนที่ 3



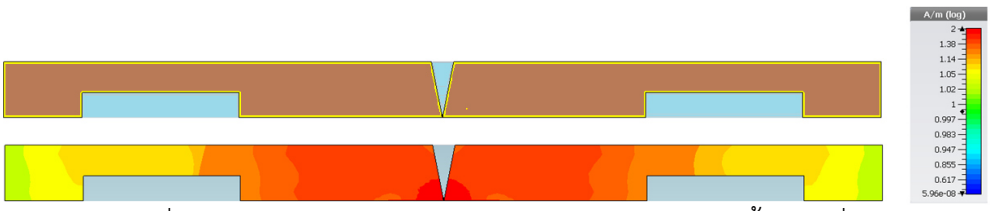
รูปที่ 5.26 ผลการจำลองแบบค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลขั้นตอนที่ 3

คำนวณหาค่าความกว้างของร่องรูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า W_2 จากสมการที่ (5.6)

$$W_2 = \frac{0.5c}{f_r\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{5.6}$$

คำนวณหาค่าความยาวของร่องรูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า L_2 จากสมการที่ (5.7)

$$L_2 = \frac{0.015c}{f_r} \tag{5.7}$$



รูปที่ 5.27 ความหนาแน่นของกระแสจากการเซาะร่องในขั้นตอนที่ 3

ในขั้นตอนสุดท้ายทำการเพิ่มสตับทั้งสองบริเวณตรงกลางของสายอากาศ โดยศึกษาจากค่า S_{11} และความหนาแน่นของกระแสจากรูปที่ 5.27 โดยการใช้เทคนิคการเพิ่มสตับที่ตัวสายอากาศทั้งสองด้านซึ่งเลือกใช้รูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน โดยการปรับจูนจนได้รูปทรงที่ดีที่สุดคือรูปตัวไอแนวตั้ง ส่งผลทำให้ได้ช่วงความถี่สูงที่ความถี่กลาง 1097 MHz โดยคำนวณตามสมการที่ (5.8) –

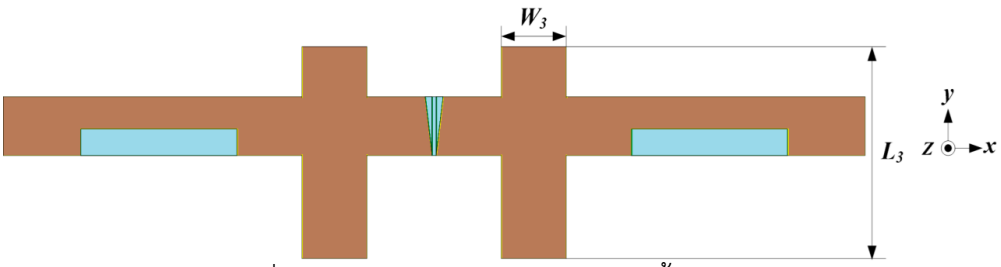
(5.9) กำหนดค่าความกว้าง W_3 คงที่เท่ากับ 47 mm และทำการปรับค่าความยาว L_3 โดยปรับค่าเท่ากับ 124, 134, 144, 154 และ 164 mm จากการปรับจูนพบว่าค่าความยาว L_3 มีค่าที่เหมาะสม คือ 144 mm แสดงได้ดังรูปที่ 5.28 โดย S_{11} มี 3 ช่วงความถี่ คือ ช่วงความถี่ 106–119 MHz (11.50%) ช่วงความถี่ 317–347 MHz (9.05%) ช่วงความถี่ 566–594 MHz (40.25%) ซึ่งตอบสนองต่อช่วงความถี่ต่ำ 108–118 MHz ช่วงความถี่กลาง 328–336 MHz และช่วงความถี่สูง 962–1231 MHz ตามมาตรฐานที่ต้องการ แสดงได้ดังรูปที่ 5.29

คำนวณหาค่าความกว้างของสายอากาศ W_3 จากสมการที่ (5.8)

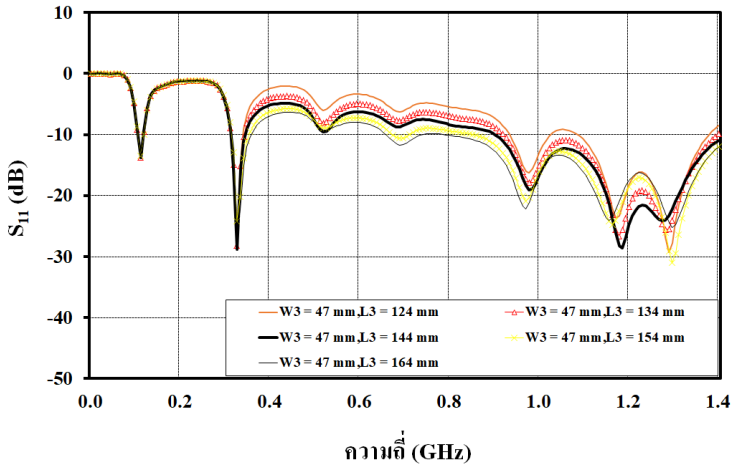
$$W_3 = \frac{0.5c}{f_r\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{5.8}$$

คำนวณหาค่าความยาวของสายอากาศ L_3 จากสมการที่ (5.9)

$$L_3 = \frac{0.015c}{f_r} \tag{5.9}$$

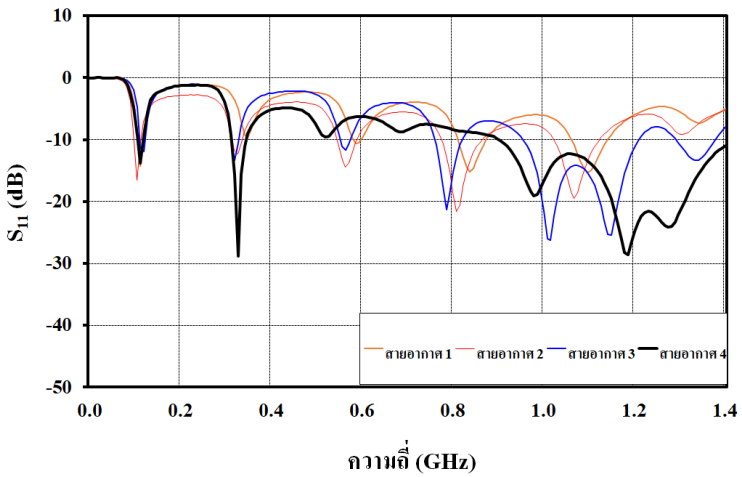


รูปที่ 5.28 โครงสร้างสายอากาศไดโพลขั้นตอนสุดท้าย

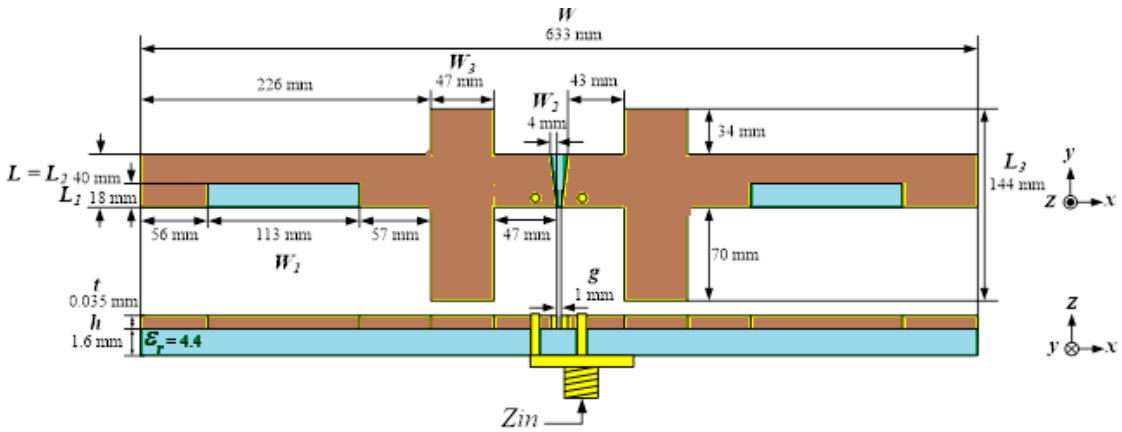


รูปที่ 5.29 ผลการจำลองแบบค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลขั้นตอนสุดท้าย

จากการออกแบบโครงสร้างสายอากาศไดโพล แล้วนำมาปรับจูนโครงสร้างสายอากาศเพื่อหาช่วงความถี่ใช้งานที่ดีที่สุด ด้วยการเปรียบเทียบผลการจำลองแบบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ S_{11} ของสายอากาศทั้ง 4 ขั้นตอน แสดงได้ดังรูปที่ 5.30 พบว่าการเซาะร่องและการเพิ่มสตับที่ตัวสายอากาศรูปตัวไอส่งผลต่อช่วงความถี่ใช้งานตามที่ต้องการ ย่านความถี่ต่ำ VOR (108–118 MHz) ย่านความถี่กลาง GS (328.6–335.4 MHz) และย่านความถี่สูง DME (962–1231 MHz) การแสดงผลค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างสายอากาศแสดงได้ดังรูปที่ 5.31 และตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.30 ผลการจำลองแบบค่า S_{11} ของสายอากาศไดโพลทั้ง 4 ขั้นตอน



รูปที่ 5.31 โครงสร้างสายอากาศไดโพลขั้นตอนสุดท้าย

5.4.3 การวัดผลคุณสมบัติของสายอากาศไดโพลต้นแบบ

ในการทดลองเพื่อที่จะหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศไดโพลต้นแบบโดยใช้เครื่องมือในการทดสอบคือเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสายอากาศไดโพลต้นแบบ พบว่าช่วงความถี่ต่ำ 106-118 MHz ช่วงความถี่กลาง 325-338 MHz และช่วงความถี่สูง 875-1300 MHz และแบบรูปการแผ่พลังงานทั้ง 3 ย่าน ในระนาบ E-plane มี

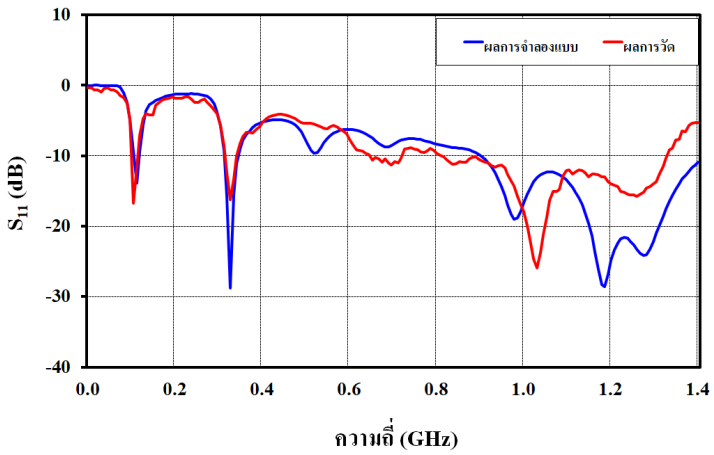
ลักษณะเป็นแบบสองทิศทาง ส่วนของแบบรูปการแผ่พลังงานทั้ง 3 ย่านความถี่ในระนาบ H-plane มีลักษณะเป็นแบบรอบทิศทาง เมื่อนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างผลการจำลองแบบกับผลการวัด พบว่ามีแนวโน้มที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน แสดงได้ดังรูปที่ 5.32-5.34

ตารางที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศไดโพล

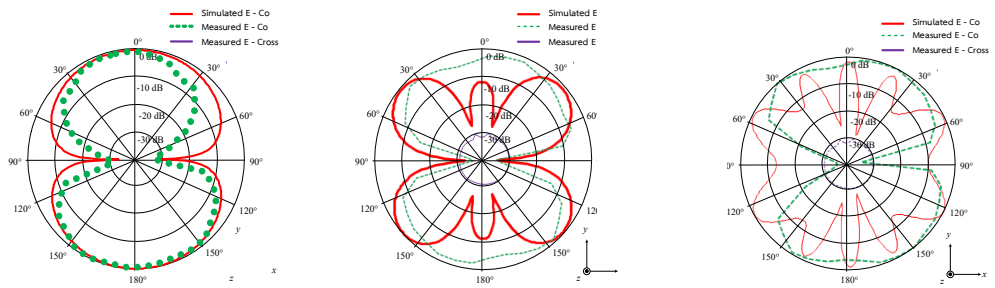
พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาด (mm)
W	ค่าความกว้างของสายอากาศ	633
W_1	ค่าความกว้างของร่องรูปตัวไอ	113
W_2	ค่าความกว้างของร่องรูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า	4
W_3	ค่าความกว้างของสายอากาศสตับรูปตัวไอ	47
L	ค่าความยาวของสายอากาศ	40
L_1	ค่าความกว้างของร่องรูปตัวไอ	18
L_2	ค่าความกว้างของร่องรูปสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า	40
L_3	ค่าความกว้างของสายอากาศสตับรูปตัวไอ	144
h	ค่าความหนาของวัสดุฐานรอง FR4	1.6
t	ค่าความหนาของแผ่นทองแดง	0.035
g	ค่าความกว้างระหว่างสายนำสัญญาณถึงระนาบกราวด์	0.3

5.4.4 การทดสอบใช้งานของสายอากาศไดโพลต้นแบบ

ในการทดสอบการใช้งานสายอากาศไดโพลต้นแบบร่วมกับโดรน ที่ช่วงความถี่ต่ำ 113 MHz ช่วงความถี่กลาง 332 MHz และช่วงความถี่สูง 1096.5 MHz โดยการนำไปติดกับโดรนสำรวจ แสดงได้ดังรูปที่ 5.35 แล้วทดสอบการทำงานของโดรน จากการทดลองพบว่าสายอากาศไดโพลต้นแบบนั้นสามารถใช้ร่วมกับโดรนได้ในทุกย่านความถี่

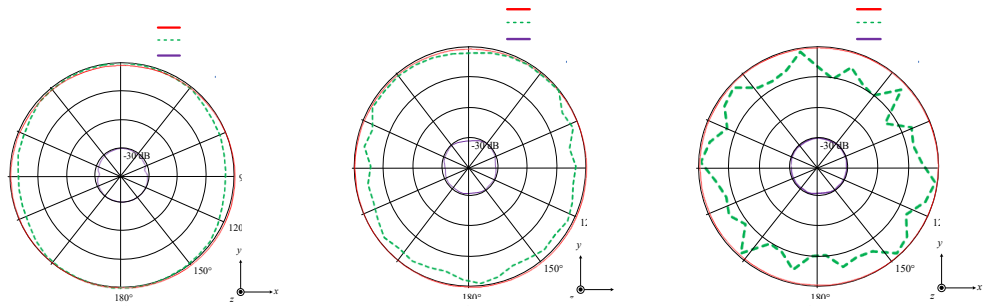


ตารางที่ 5.32 ผลการเปรียบเทียบ S_{11} ระหว่างผลการจำลองแบบกับผลการวัด



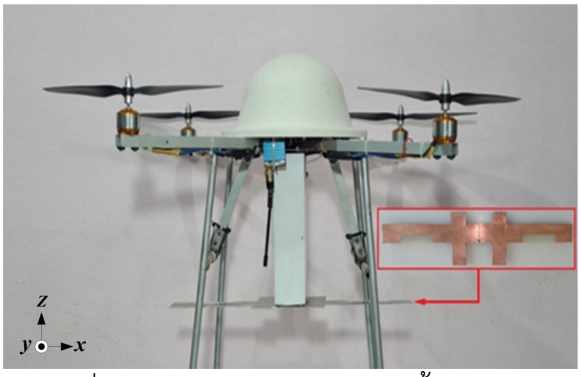
(ก) ความถี่ 113 MHz (ข) ความถี่ 332 MHz (ค) ความถี่ 1096.5 MHz

รูปที่ 5.33 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ E-plane



(ก) ความถี่ 113 MHz (ข) ความถี่ 332 MHz (ค) ความถี่ 1096.5 MHz

รูปที่ 5.34 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ H-plane



รูปที่ 5.35 สายอากาศต้นแบบติดตั้งกับโดรน

จากการพัฒนา ออกแบบ สร้าง วัดผลและทดสอบสายอากาศไดโพลต้นแบบนี้ สามารถนำมาใช้งานกับโดรนสำรวจได้ในทุกย่านความถี่ตรงตามที่ต้องการ สามารถรับส่งสัญญาณความถี่ได้หลายความถี่จากสายอากาศเพียงต้นเดียวด้วยวัสดุที่มีต้นทุนต่ำ

5.5 การพัฒนาสายอากาศท่อนำคลื่นกับงานด้านระบบ NB-IoT

อินเตอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งแบบแบนด์แคบ (Narrowband Internet of Things: NB-IoT) เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่กว้างพลังงานต่ำ (Low Power Wide Area Network: LPWA) ที่ทำให้การครอบคลุมระยะไกลและการส่งสัญญาณพลังงานต่ำซึ่งได้รับความนิยมในปัจจุบัน เทคโนโลยีนี้ใช้

เทคโนโลยี LTE ของระบบเซลลูลาร์ ซึ่งนำไปสู่การแพร่กระจายของการครอบคลุมระยะไกล NB-IoT และ LTE-M (LTE สำหรับเครื่องจักร) เป็นองค์ประกอบสำคัญของกลยุทธ์ 5G IoT ระยะไกล ซึ่งมีประสิทธิภาพเหนือกว่า Sig-Fox และ LoRa ในด้านความหน่วง คุณภาพ และความน่าเชื่อถือ สายอากาศที่ใช้ในระบบสื่อสาร NB-IoT มีความจุในการจัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่และอัตราการถ่ายโอนข้อมูลที่รวดเร็ว เช่น LTE (2.30–2.40 GHz และ 2.496–2.690 GHz)

โดยที่สายอากาศท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่น เช่น การสูญเสียสัญญาณต่ำ แบนด์วิดท์สูง พร้อมคุณสมบัติการแผ่พลังงานที่ดีที่ความถี่สูง โดยในอดีตนั้นท่อนำคลื่นถูกนำไปใช้และพัฒนาสำหรับการใช้งานที่หลากหลาย เช่น การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ท่อนำคลื่นสำหรับการสื่อสารระหว่างแท่นขุดเจาะและหัวเจาะในอุตสาหกรรมขุดเจาะ พบว่าการส่งสัญญาณในระยะทางไกลมีค่าการลดทอนสัญญาณจริงต่ำที่สุด (-3.77 dB/m) และค่าการลดทอนสัญญาณจำลองที่ดีที่สุด (-0.40 dB/m) และสายอากาศไดโพลสำหรับการเก็บพลังงานในระบบ DTV ใช้ท่อนำคลื่นแบบฮอร์น ซึ่งช่วยเพิ่มและเก็บพลังงาน พบว่าสายอากาศสามารถรับพลังงานได้สูงสุด 7.33 วัตต์จากระยะทาง 10 km

ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาสายอากาศท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมพร้อมหัววัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า 3 ชั้น เพื่อให้สายอากาศสามารถขยายแบนด์วิดท์การทำงานได้ และยังช่วยให้ปรับจูนโครงสร้างสายอากาศที่มีกำลังส่งสูงสุดในช่วงความถี่ของแอปพลิเคชัน NB-IoT ได้ง่าย และสามารถใช้วัสดุที่มีราคาถูกมาสร้างเป็นสายอากาศซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

5.6 การออกแบบสายอากาศท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยมกับงานด้านระบบ NB-IoT

5.6.1 การออกแบบโครงสร้างสายอากาศท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยม

การออกแบบสายอากาศท่อนำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่มีหัววัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้รับการออกแบบและปรับให้เหมาะสมสำหรับช่วงความถี่ 2.30-2.69 GHz ของระบบ LTE แสดงได้ดังรูปที่ 5.36 สายอากาศหลักแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยที่ส่วนแรกคือท่อนำคลื่นที่มีขนาด 140 x 70 x 100 mm ซึ่งทำจากอลูมิเนียม ที่มีความหนา 0.1 mm และส่วนที่สองคือหัววัดรูปเค้ก 3 ชั้นกลับด้าน ซึ่งสร้างขึ้นด้วยความถี่การทำงานเริ่มต้นที่ความถี่ (f_{r1}) = 2.45 GHz แสดงได้ดังรูปที่ 5.36 คำนวณได้จากสมการที่ (5.10) - (5.11)

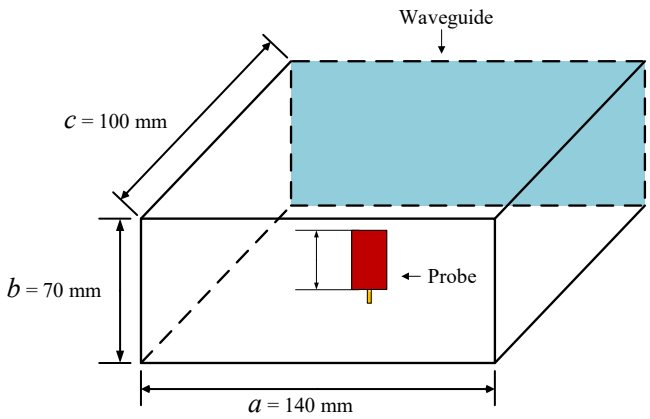
การคำนวณหาค่าความกว้าง W_1 = 230.75 mm ดังสมการที่ (5.10)

$$W_1 = \frac{0.1633c}{f_{r1}} \tag{5.10}$$

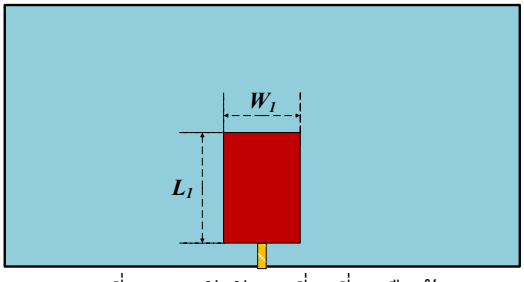
การคำนวณหาค่าความยาว L_1 = 5.16 mm ดังสมการที่ (5.11)

$$L_1 = \frac{0.25c}{f_{r1}} \tag{5.11}$$

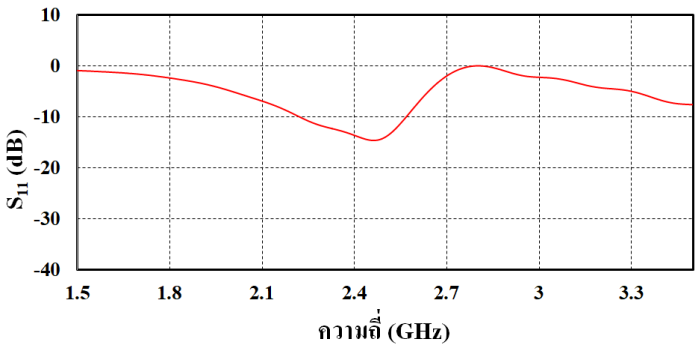
เมื่อได้ค่าจากการคำนวณแล้ว ขั้นตอนแรกคือการออกแบบหัววัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความถี่การทำงานมาตรฐาน 2.45 GHz บนโครงสร้างอลูมิเนียมขนาดหนา 0.1 mm กว้าง 20 mm และยาว 30 mm จากนั้นนำไปจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST ซึ่งผลการจำลองแบบของสายอากาศท่อนำคลื่นพร้อมหัววัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แสดงได้ดังรูปที่ 5.37 ซึ่งตอบสนองค่า S_{11} ความถี่เรโซแนนซ์ที่ 2.45 GHz แบนด์วิดท์ความถี่ 0.342 GHz (2.25–2.567 GHz) แสดงได้ดังรูปที่ 5.38 ผลการจำลองแบบนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าแบนด์วิดท์ของสายอากาศหลักนั้นยังไม่ครอบคลุมตลอดช่วงแบนด์วิดท์ความถี่ของระบบ NB-IoT จึงต้องดำเนินการในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 5.36 สายอากาศท่อนำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมในขั้นตอนแรก



รูปที่ 5.37 หัววัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



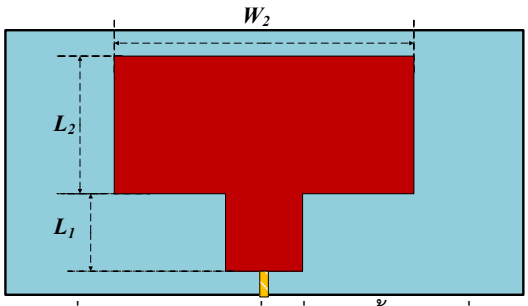
รูปที่ 5.38 ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศในขั้นตอนแรก

ในขั้นตอนที่ 2 ทำการปรับจูนโครงสร้างสายอากาศด้วยเทคนิคการเพิ่มสตับรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ด้านบนสุดของโพรบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากขั้นตอนแรกเพื่อเพิ่มแบนด์วิดท์ความถี่ โดยกำหนด L_1 = 20 mm L_2 = 40 mm และ W_2 ที่ 70, 75, 80, 85 และ 90 mm แสดงได้ดังรูปที่ 5.39 เมื่อ W_2 = 80 mm ค่า S_{11} ที่ได้คือ -22.89 dB และแบนด์วิดท์ที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.707 GHz คือ 2.601-2.825 GHz แสดงได้ดังรูปที่ 5.40 อย่างไรก็ตาม แบนด์วิดท์ของการปรับจูนในขั้นตอนที่ 2 นี้ไม่สามารถใช้กับแบนด์วิดท์ LTE ได้อย่างครอบคลุมตลอดทั้งย่านความถี่ จึงต้องทำในขั้นตอนเพิ่มเติมต่อไป

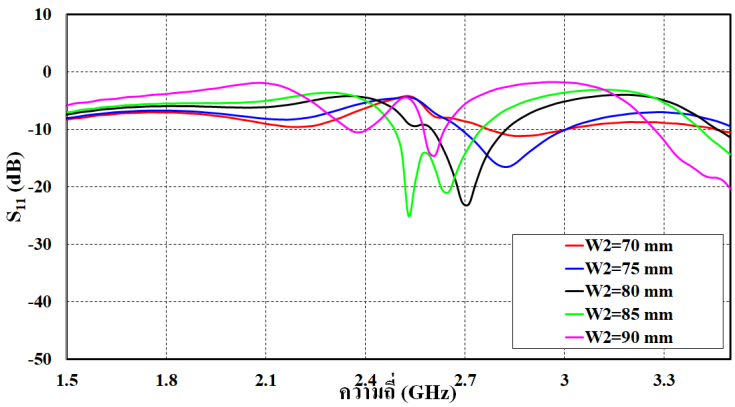
ผลจากการการคำนวณความกว้าง W_2 และความยาว L_2 โดยการเพิ่มสตับในขั้นตอนที่ 2 สามารถหาได้จากสมการที่ (5.12) - (5.13)

$$W_2 = \frac{0.72c}{f_{r2}} \tag{5.12}$$

$$L_2 = \frac{0.36c}{f_{r2}} \tag{5.13}$$



รูปที่ 5.39 หัววัดรูปสี่เหลี่ยมในขั้นตอนที่ 2



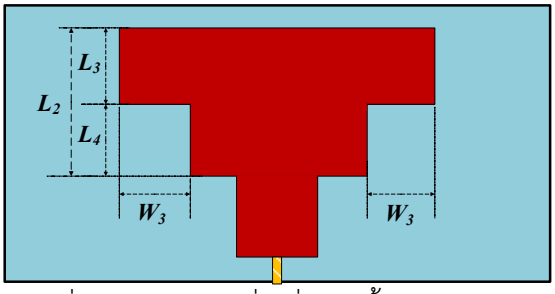
รูปที่ 5.40 ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศในขั้นตอนที่ 2

ในขั้นตอนสุดท้าย ทำการปรับจูนหัววัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำได้โดยการเพิ่มแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ด้านบน ในส่วนของพารามิเตอร์แนวตั้งจาก L_2 ในขั้นตอนที่ 2 ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ L_3 = 20 mm และ L_4 = 20 mm ในพารามิเตอร์แนวนอน W_3 ที่มุมด้านล่างของหัววัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าถูกปรับจูนจาก 5, 10, 15, 20 และ 25 mm โดยมีการยึด L_4 = 20 mm พบว่า W_3 = 15 mm เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด แสดงได้ดังรูปที่ 5.41 – 5.42 การออกแบบสายอากาศขั้นสุดท้าย มีส่วนทำให้ค่า S_{11} อยู่ที่ -33.73 dB และแบนด์วิดท์ความถี่ 2.190-2.906 GHz ที่ความถี่เรโซแนนซ์ 2.464 GHz แสดงได้ดังรูปที่ 5.43

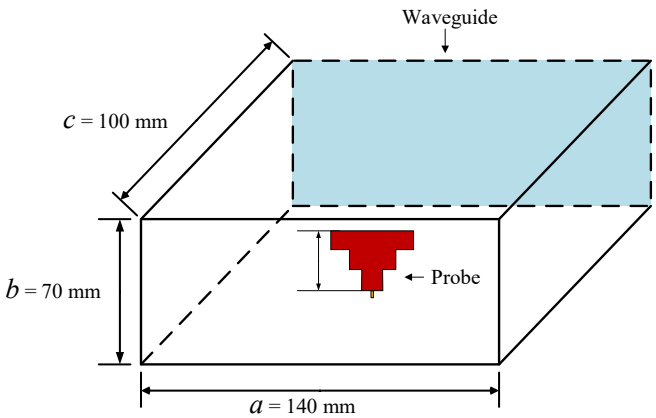
การคำนวณความกว้าง W_3 และความยาว L_3 โดยการเพิ่มสตับในขั้นตอนสุดท้ายสามารถหาได้จากสมการที่ (5.14) - (5.15)

$$W_3 = \frac{0.367c}{f_{r3}} \tag{5.14}$$

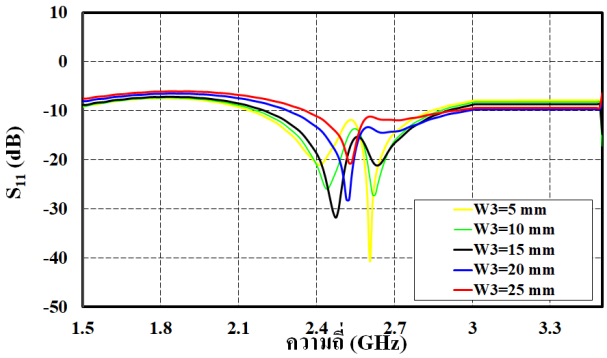
$$L_3 = \frac{0.147c}{f_{r3}} \tag{5.15}$$



รูปที่ 5.41 หัววัดรูปสี่เหลี่ยมในขั้นตอนสุดท้าย

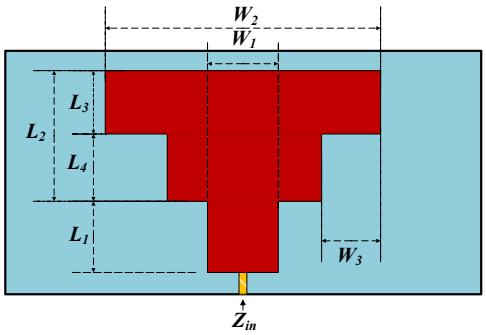


รูปที่ 5.42 หัววัดรูปสี่เหลี่ยมในขั้นตอนสุดท้ายภายในท่อนำคลื่นรูปสี่เหลี่ยม



รูปที่ 5.43 ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศในขั้นตอนสุดท้าย

หลังจากปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศอย่างเหมาะสมที่สุดแล้ว สายอากาศท่อนำคลื่นที่มีหัววัดรูปเค้ก 3 ชั้นแบบกลับด้าน จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแสดงได้ดังรูปที่ 5.44 และตารางที่ 5.3



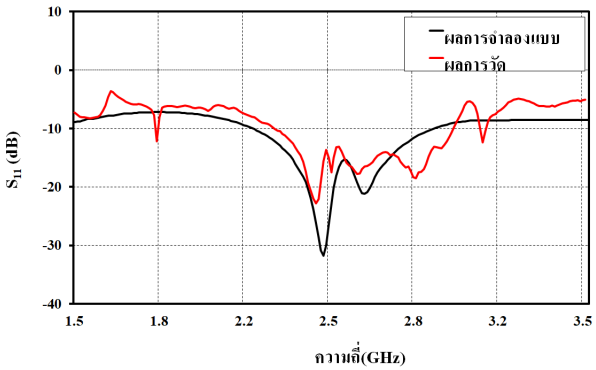
รูปที่ 5.44 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศท่อนำคลื่น

ตารางที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศท่อนำคลื่น

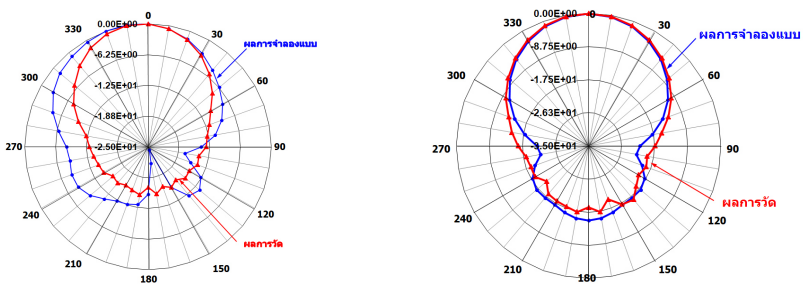
พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ขนาด (mm)
a	ค่าความกว้างของสายอากาศท่อนำคลื่น	140
b	ค่าความสูงของสายอากาศท่อนำคลื่น	70
c	ค่าความยาวของสายอากาศท่อนำคลื่น	100
W_1	ค่าความกว้างของหัววัดรูปสี่เหลี่ยมขั้นตอนแรก	20
W_2	ค่าความกว้างของหัววัดรูปสี่เหลี่ยมขั้นตอนที่ 2	80
W_3	ค่าความกว้างของหัววัดรูปสี่เหลี่ยมขั้นตอนสุดท้าย	15
L_1	ค่าความยาวของหัววัดรูปสี่เหลี่ยมขั้นตอนแรก	20
L_2	ค่าความยาวของหัววัดรูปสี่เหลี่ยมขั้นตอนที่ 2	40
L_3	ค่าความยาวช่วงแรกของหัววัดรูปสี่เหลี่ยมขั้นตอนสุดท้าย	20
L_4	ค่าความยาวช่วงสองของหัววัดรูปสี่เหลี่ยมขั้นตอนสุดท้าย	20

รูปที่ 5.45 สายอากาศต้นแบบ

หลังจากนั้นทำการสร้างสายอากาศต้นแบบที่มีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด แสดงได้ดังรูปที่ 5.45 แล้วจึงใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายทำการวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายอากาศ โดยการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองแบบกับผลการวัด ได้แก่ค่า S_{11} แสดงได้ดังรูปที่ 5.46 ผลที่ได้พบว่าค่า S_{11} มีค่า 27.04% (2.27-2.98 GHz) ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างแบบรูปการแผ่พลังงานในระนาบ E-plane และระนาบ H-plane ที่ความถี่ 2.45 GHz เป็นแบบเจาะจงทิศทาง โดยมีอัตราขยาย 7.89 dBi แสดงได้ดังรูปที่ 5.47 โดยผลการวัดและการจำลองแบบทั้ง S_{11} และแบบรูปการแผ่พลังงานมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด



รูปที่ 5.46 การเปรียบเทียบผลการวัดกับผลการจำลองแบบค่า S_{11} ของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 5.47 การเปรียบเทียบแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ

การพัฒนา ออกแบบ สร้างและวัดผลสายอากาศท่อนำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่มีหัววัดรูปสี่เหลี่ยม 3 ชั้นแบบกลับด้าน ออกแบบมาเพื่อเพิ่มแบนด์วิดท์ความถี่และอัตราขยาย ซึ่งครอบคลุมความถี่ระยะไกล LTE (2.30–2.40 GHz และ 2.50–2.69 GHz) สายอากาศท่อนำคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่พัฒนาขึ้นมานี้เหมาะสำหรับการใช้งาน NB-IoT เนื่องจากการออกแบบไม่ซับซ้อน น้ำหนักเบา และต้นทุนต่ำ

5.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการพัฒนาโครงสร้างสายอากาศรูปแบบต่าง ๆ ที่หลากหลายแตกต่างกันออกไป โดยได้ยกตัวอย่างการพัฒนารูปแบบสายอากาศใน 3 ชนิด ได้แก่ สายอากาศโมโนโพล สายอากาศไดโพลและสายอากาศท่อนำคลื่น เพื่อรองรับการนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันให้สามารถรองรับความถี่ตามที่ต้องการได้ โดยอาศัยวัสดุตัวนำที่แตกต่างกัน โดยเริ่มจากการออกแบบ การจำลองแบบ การจำลองผล การสร้าง การวัดผลและการนำไปทดสอบใช้งานในการรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่ ผลจากการวัดและทดสอบสายอากาศในรูปแบบต่าง ๆ ที่ออกแบบมานี้พบว่ามีคุณสมบัติทางสายอากาศที่สอดคล้องกับพารามิเตอร์ที่สำคัญทางสายอากาศและเป็นไปในทิศทางเดียวกันที่สามารถนำไปใช้งานทดแทนสายอากาศในรูปแบบที่มีการใช้งานกับอุปกรณ์ในแบบเดิมได้ ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้งานเฉพาะด้านที่เกี่ยวข้องมากขึ้นหรือพัฒนาต่อยอดให้มีความหลากหลายในรูปแบบและการประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น แต่การสื่อสารไร้สายนั้นอาจยังมีข้อจำกัดทางด้านการส่งผ่านของข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งยังต้องอาศัยการสื่อสารผ่านสายใยแก้วนำแสงแทน โดยจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5

ข้อ 1 จงบอกถึงย่านความถี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่
ข้อ 2 จงบอกถึงเทคนิคที่นำมาใช้ทำให้ย่านความถี่เพิ่มขึ้น
ข้อ 3 จงบอกถึงคุณสมบัติของสายอากาศที่จำเป็นในการออกแบบ
ข้อ 4 จงบอกถึงวัสดุต่าง ๆ ที่ถูกนำมาใช้สร้างสายอากาศ
ข้อ 5 จงอธิบายถึงแบบรูปการแผ่พลังงานแบบเจาะจงทิศทาง
ข้อ 6 จงอธิบายถึงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ
ข้อ 7 จงอธิบายถึงย่านความถี่ที่นำมาใช้กับโดรนสำรวจ
ข้อ 8 จงอธิบายถึงเทคโนโลยี NB-IoT
ข้อ 9 จงอธิบายถึงแบบรูปการแผ่พลังงาน
ข้อ 10 จงอธิบายถึงขั้นตอนการสร้างสายอากาศเพื่อนำมาใช้งาน

บรรณานุกรม

1. S. Sakulchat, A. Ruengwaree, W. Naktong, P. Unahalekhaka and S. Promput, “Low-Cost High Gain Sea Pimp-Shaped Dual Band Monopole Antenna for Mobile 4G/5G/LTE41/WLAN Application,” Progress In Electromagnetics Research C, vol. 140, pp. 41-51, 2024.

2. W. Naktong, A. Ruengwaree, S. Sakulchat and S. Promput, “The Design of a Triple-Band H-and Dual C-Shaped Planar Dipole Antenna for a Drone Application,” Progress In Electromagnetics Research C, vol. 134, pp. 103-117, 2023.

3. S. Promput, W. Naktong, S. Sakulchat and A. Ruengwaree, “Waveguide antenna with an inverted 3-tiered cake-shaped probe for NB-IoT applications,” in 2023 International Electrical Engineering Congress (iEECON), Krabi, Thailand, 8-10 March 2023, pp. 323-326.

4. W. Naktong and N. Wattikornsirikul, “Dipole Antenna with Horn Waveguide for Energy Harvesting in DTV Systems,” Progress in Electromagnetics Research M, vol. 111, pp. 145–147, 2022.

5. N. Fhafhiem, W. Naktong, A. Innok, and A. Ruengwaree, “High-gain and broadband antenna using microstrip combined with the waveguide antenna,” in 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Phuket, Thailand, 21 December 2017, pp. 1–2.

6. W. Naktong, S. Kronsing, and A. Ruengwaree, “The bandwidth enhancement of rectangular slot antenna with H and T-shaped slot tuning for ultrawideband applications,” in 2014 11th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Nakhon Ratchasima, Thailand, 14-17 May 2014, pp. 1-4.

7. S. Chanramrd, W. Naktong, P. Thongbor, S. Sakulchat, A. Ruengwaree, and A. Namsang, “The structure tuning of plugs-shaped monopole antenna for wireless communication applications,” in 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Phuket, Thailand, 21 December 2017, pp. 1-2.

8. C. Randy and P. Bancroft, Microstrip and Antenna Design, United Stated of America: Noble Publishing, INC., 2004.

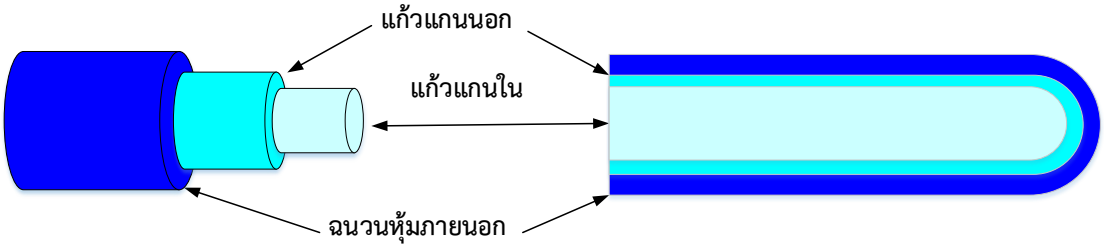
9. C. A. Balanis, Antenna theory, analysis and design, John Wiley & Sons, INC., 3rd ed., New Jersey, USA, 2005.

บทที่ 6
เส้นใยแก้วนำแสง

การสื่อสารผ่านสื่อกลางด้วยสายเคเบิ้ลที่จะกล่าวถึงในบทนี้จะเป็นสายประเภทเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะสามารถนำมาเป็นสื่อกลางในการส่งผ่านข้อมูลขนาดใหญ่และมีความรวดเร็วที่สูงขึ้น

6.1 นิยามเส้นใยแก้วนำแสง

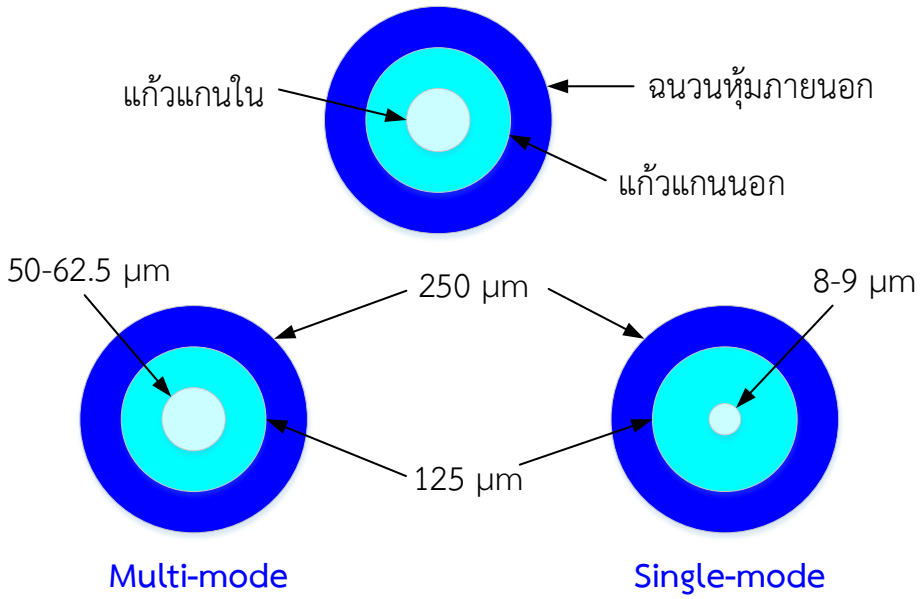
เส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) หรือสายใยแก้วนำแสงจะเป็นสายนำสัญญาณที่ผลิตขึ้นมาจากเส้นใยแก้วบริสุทธิ์ โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณด้วยแสงไปในระยะทางที่ไกล ๆ ได้ ซึ่งจะมีการสูญเสียของสัญญาณต่ำมากและสามารถนำพาข้อมูลขนาดที่ใหญ่มากไปได้ (Bandwidth) โดยที่จะไม่มีผลกระทบจากคลื่นสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าใด ๆ และจะไม่สามารถดักจับข้อมูลระหว่างทางได้ ซึ่งลักษณะโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง แสดงได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง

ข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสายทองแดงคือ

- ความสามารถในการรับส่งข้อมูล ซึ่งจะสามารถรับส่งข้อมูลได้จำนวนมาก ๆ
- มีกำลังสูญเสียที่ต่ำ
- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถรบกวนได้
- มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา
- ไม่สามารถดักจับข้อมูลระหว่างทางได้จึงมีความปลอดภัยของข้อมูลสูงกว่า
- มีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินเพราะเส้นใยแก้วไม่นำไฟฟ้า
- มีอายุการใช้งานยาวนาน
- มีความน่าเชื่อถือในการใช้งานสูง
- ปัจจุบันมีราคาถูก
- ไม่เป็นที่ต้องการของผู้ลักลอบตัดสายฯ



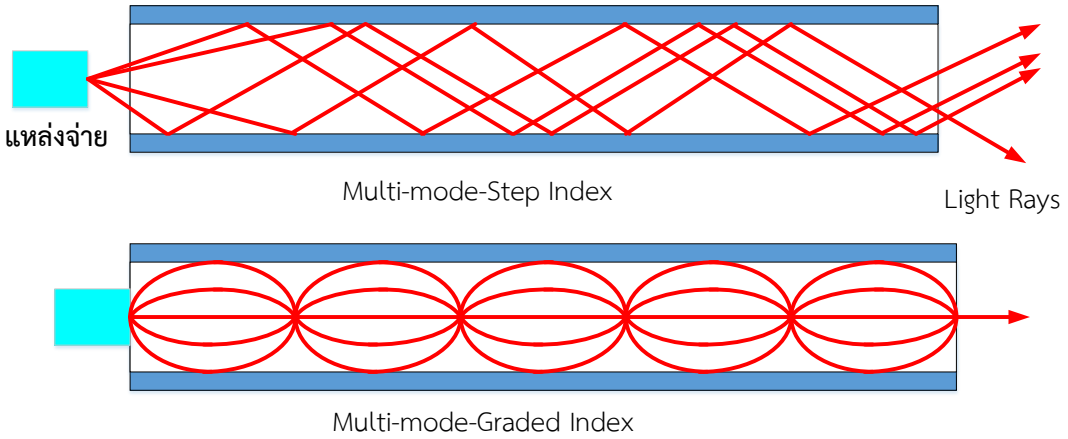
รูปที่ 6.2 ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 ชนิด

6.2 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงนั้นสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางกายภาพได้เป็น 2 ชนิด แสดงได้ดังรูปที่ 6.2 คือ

1. ชนิดมัลติโหมด (Multi-mode Optical Fiber: MM) ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ (แก้วแกนกลาง) ขนาดใหญ่ โดยมีสัดส่วน เช่น 50/125, 62.5/125 μm แต่ในแก้วชนิดนี้จะมีการสูญเสียของแสงอยู่มาก ซึ่งจะนำไปใช้ส่งข้อมูลที่ความเร็วไม่เกิน 100 Mbps ที่ความยาวคลื่น 850 nm สำหรับการส่งข้อมูลกันภายในอาคารหรือต่างอาคารที่มีระยะห่างกันไม่เกิน 2 km และถ้าใช้ส่งข้อมูลที่ความเร็ว 1000 Mbps สำหรับการส่งข้อมูลกันภายในอาคารหรือต่างอาคารที่มีระยะห่างกันไม่เกิน 550 เมตร โดยข้อดีของการใช้สายชนิดนี้คือจะมีราคาของสายและอุปกรณ์ไม่แพงมากนัก

สายชนิดนี้จะนิยมนำไปใช้ในการสื่อสารระยะใกล้ ๆ เช่น ภายในอาคารหรือระหว่างอาคารที่อยู่ในบริเวณใกล้ ๆ กัน ซึ่งจะมีข้อจำกัดสำหรับการส่งสัญญาณแสงผ่านสายชนิดนี้ โดยลักษณะของการส่งสัญญาณแสงของสายชนิดนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งจะมีลักษณะการส่งอยู่ 2 แบบ คือแบบ Step Index จะส่งสัญญาณพุ่งออกไปเป็นลำแสงหลายเส้นโดยทำมุมเฉียงไปตกกระทบกับแคร์ดิก (แก้วแกนนอก) แล้วลำแสงนั้นก็จะสะท้อนทำมุมไปด้านหน้าจากต้นทางไปยังปลายทาง และแบบ Graded Index ซึ่งจะส่งสัญญาณพุ่งออกไปเป็นพวงแสงหลายเส้นโดยลำแสงจะโค้งกระจายไปในกรอบของแคร์ดิกแล้วลำแสงนั้นก็กลับมารวมกันแล้วพุ่งออกไปด้านหน้าจากต้นทางไปยังปลายทาง



รูปที่ 6.3 ลักษณะของการส่งสัญญาณแสงผ่านสายชนิด Multi-mode

2. ชนิดซิงเกิ้ลโหมด (Single-mode Optical Fiber: SM) ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 8/125, 9/125 μm มีการสูญเสียของแสงในสายน้อยมาก ซึ่งจะนำไปใช้ส่งข้อมูลที่ความเร็วประมาณ 40 Gbps ในระยะทางไม่เกิน 20 km และที่ความเร็วประมาณ 10 Gbps ในระยะทางไม่เกิน 100 km สำหรับในการใช้ส่งข้อมูลสื่อสารโทรคมนาคม วงจรสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ เคเบิ้ลทีวี กล้องวงจรปิด เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันมีการนำมาใช้ส่งข้อมูลภายในอาคารอีกด้วย

สายชนิด Single-mode นั้น สามารถแบ่งย่อยออกได้อีก 2 แบบ คือแบบ OS1 กับ OS2 โดยจะแตกต่างกันในเรื่องของการนำไปใช้งานและย่านความยาวคลื่นแสง 1310 nm และ 1550 nm และค่าการลดทอนในสาย (Attenuation) ที่จะทำการเลือกใช้งาน โดยสามารถแยกได้ตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ข้อแตกต่างของสาย Single-mode ชนิด OS1 และ OS2

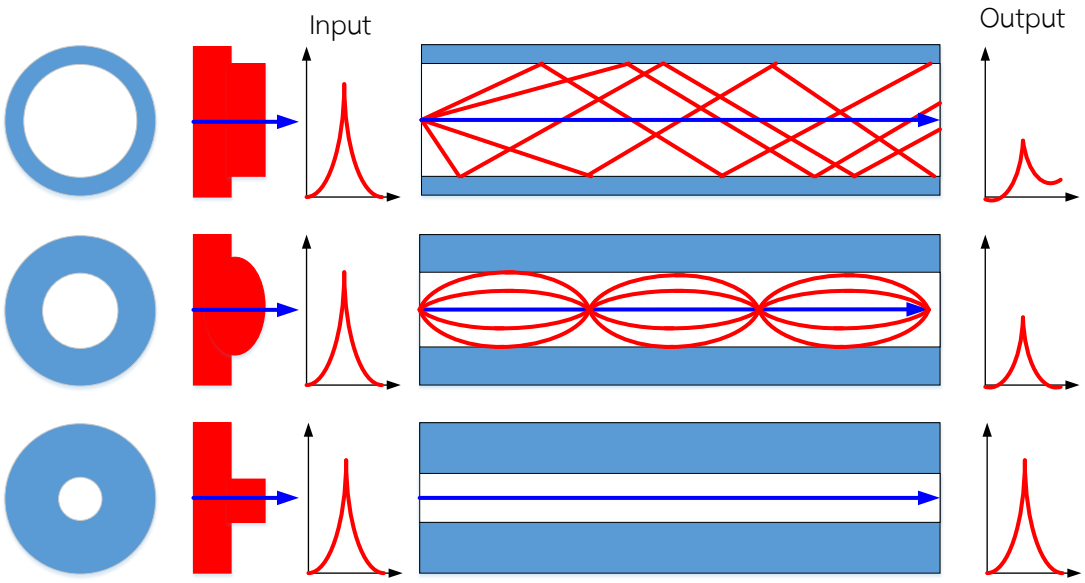
ข้อมูล	OS1	OS2
มาตรฐาน	ITU-T G.652A/B/C/D	ITU-T G.652C/D
โครงสร้างสายเคเบิ้ล	Tight buffered	Loose tube
การใช้งาน	ภายใน	ภายนอก
อัตราการลดทอน	1.0 dB/km	0.4 dB/km
ระยะทาง	10 km	200 km
ราคา	ถูก	แพง

สำหรับการส่งสัญญาณแสงโดยใช้ความยาวคลื่นที่ 1310 nm และ 1550 nm ผ่านสายชนิด Single-mode นี้ จะนิยมใช้เป็นการส่งสัญญาณแบบ Step Index ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาและทำการเพิ่มย่านความถี่ขึ้นมาใหม่ เช่น 1490 nm และ 1625 nm โดยลักษณะของการส่งสัญญาณแสง แสดงได้ดังรูปที่ 6.4 ซึ่งจะมีลักษณะการพุ่งออกของลำแสงเป็นเส้นตรงอยู่ตรงกลางของคอร์

Single-mode-Step Index

รูปที่ 6.4 ลักษณะของการส่งสัญญาณแสงผ่านสายชนิด Single-mode

คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Step Index นั้นมีการสูญเสียทางแสงที่สูงกว่าแบบ Graded Index สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 การสูญเสียทางแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

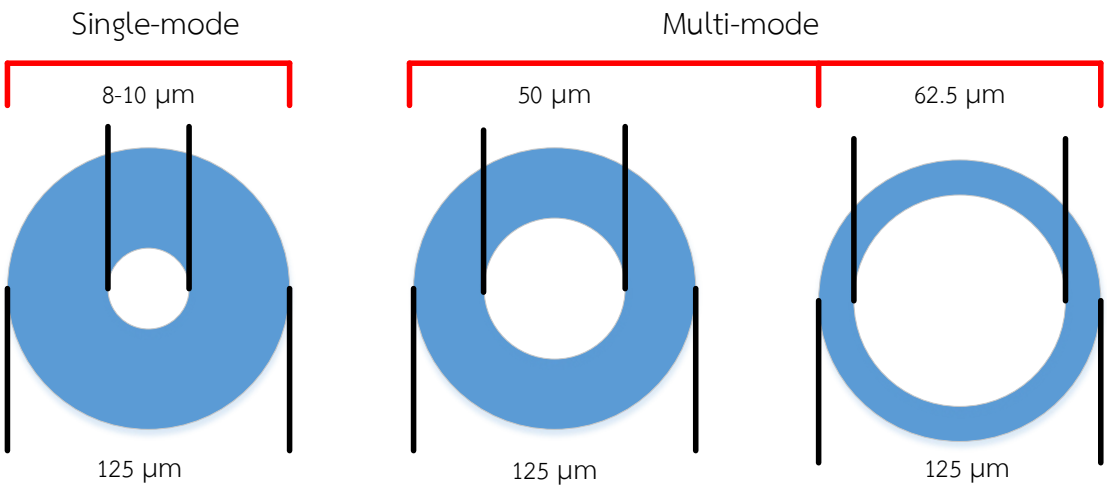
โดยสามารถสรุปความแตกต่างระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 ชนิดได้ดังนี้

1. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 6.6

   Single-mode จะมีขนาดของคอร์ คือขนาด 9/125 μm (OS1, OS2)

   Multi-mode จะมีขนาดของคอร์อยู่ 2 ขนาด และแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ

62.5/125 μm (OM1)
50/125 μm (OM2)
50/125 μm (OM3)
50/125 μm (OM4)
50/125 μm (OM5)



รูปที่ 6.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์

โดยข้อจำกัดด้านระยะของสาย ที่จะนำมาเพื่อเลือกใช้งานของสายประเภท Multi-mode ในระบบเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง แสดงได้ตามตารางที่ 6.2-6.3

ตารางที่ 6.2 ลักษณะความแตกต่างของสายประเภท Multi-mode

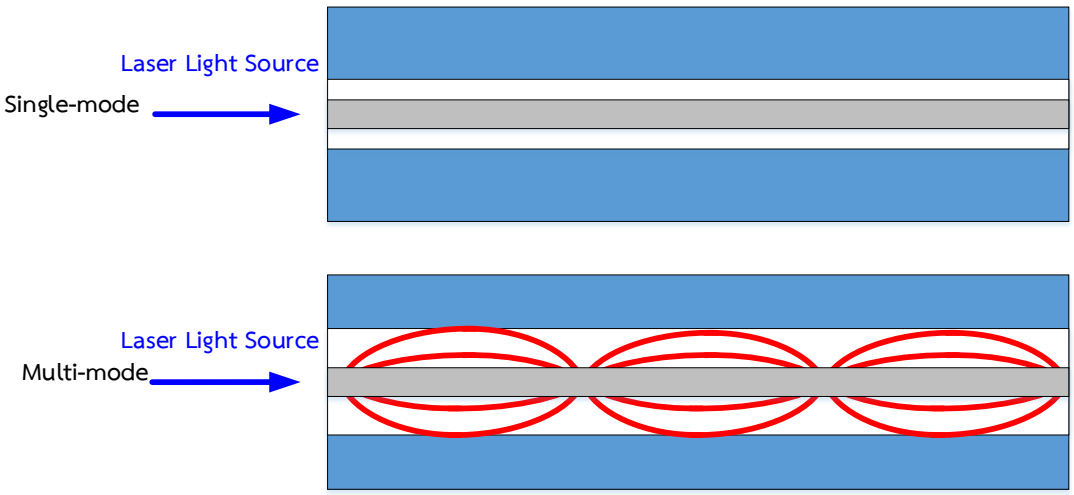
Multi-mode	เส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)	สีเคเบิ้ล	แหล่งกำเนิดแสง	แบนด์วิดท์
OM1	62.5/125	ส้ม	LED	2000 MHz*km
OM2	50/125	ส้ม	LED	5000 MHz*km
OM3	50/125	ฟ้า	VSCEL	2000 MHz*km
OM4	50/125	ฟ้า	VSCEL	4700 MHz*km
OM5	50/125	เขียวอ่อน	VSCEL	28000 MHz*km

ตารางที่ 6.3 คุณสมบัติของสายประเภท Multi-mode

Multi-Mode	Fast Ethernet	1Gbe	10Gbe	40Gbs	100Gbs
OM1	2000 Mbps	275 Mbps	33 Mbps	-	-
OM2	2000 Mbps	550 Mbps	82 Mbps	-	-
OM3	2000 Mbps	-	300 Mbps	100 Mbps	70 Mbps
OM4	2000 Mbps	-	550 Mbps	150 Mbps	150 Mbps
OM5	-	-	550 Mbps	150 Mbps	150 Mbps

2. ด้านการรับส่งสัญญาณทางแสง

ตัวส่งสัญญาณทางแสงนั้นจะใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด LEDs กับสายชนิด Multi-mode ซึ่งเป็นลักษณะแหล่งกำเนิดแสงที่มีการกระจัดกระจาย ไม่คงที่ ส่วนแหล่งกำเนิดแสงชนิด Laser จะนำมาใช้กับสายชนิด Single-mode เนื่องจากให้พลังงานที่สูงและสามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ แต่จะมีราคาสูงกว่าชนิด LEDs เป็นอย่างมาก โดยวิธีในการส่งสัญญาณทางแสงนี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 วิธีในการส่งสัญญาณทางแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

3. สีเปลือกนอกของเส้นใยแก้วนำแสง แสดงได้ดังรูปที่ 6.8

สีของเปลือกนอก (Jacket) ของเส้นใยแก้วนำแสงจะสามารถนำมาใช้ในการแยกประเภทของสายประเภท Multi-mode กับ Single-mode ได้ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน TIA-598C ที่กำหนดไว้เฉพาะสายที่ใช้ภายในอาคาร (Indoor Cable)

Single-mode จะใช้สีเหลืองเป็นสีของเปลือกนอก

Multi-mode จะมีการใช้เปลือกนอกหลายสีตามประเภทดังนี้

OM1 จะใช้เป็นสีส้ม

OM2 จะใช้เป็นสีเทา

OM3 จะใช้เป็นสีฟ้า

OM4 จะใช้เป็นสีม่วงชมพู

OM5 จะใช้เป็นสีเขียว

โดยสายที่ใช้ภายในอาคาร (Indoor) จะเป็นสายที่ใช้เชื่อมต่อชนิด Patch Cord หรือ Pigtail เท่านั้น ที่แบ่งประเภทไว้ตามมาตรฐานสากล ที่ได้รับความนิยมนำมาผลิตใช้กันอย่างแพร่หลาย

รูปที่ 6.8 ตัวอย่างเส้นใยแก้วนำแสงตามสีเปลือกนอก

6.3 อุปกรณ์ต่อร่วมกับเส้นใยแก้วนำแสง

มาตรฐานของเส้นใยแก้วนำแสงหรือสายไฟเบอร์ออปติก (Fiber Optic Cable) ที่ใช้กันอยู่ภายนอก (Outdoor) ที่ใช้ในการลากสายหรือเดินสาย (Lay) ไปตามแนวของเสาไฟฟ้าผ่านอากาศ (Aerial) หรือร้อยสายเข้าท่อเดินสาย (Duct) ก็จะมีการกำหนดสีเป็นลำดับตามมาตรฐานไว้ด้วยเช่นกัน เพื่อให้ง่ายในการเชื่อมต่อ (Splice) เข้าด้วยกัน เพื่อสะดวกในการใช้งาน เนื่องจากสายไฟเบอร์ออปติกที่ใช้ภายนอกอาคารนั้นจะมีจำนวนหลายเส้นอยู่ภายในเปลือกหุ้มที่แข็งแรง โดยจะมีตั้งแต่ 8, 12, 24, 48, 96 เส้น เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 6.9

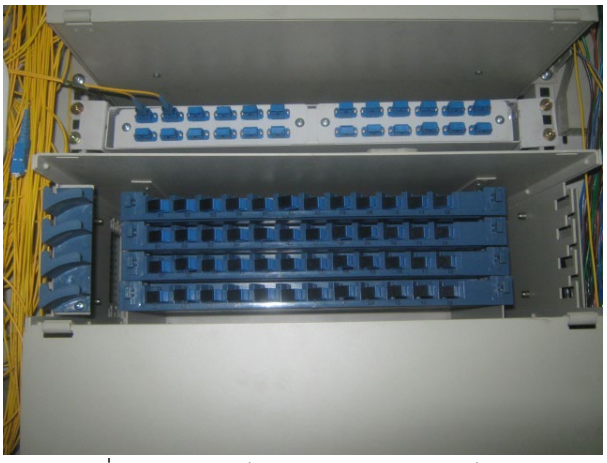
รูปที่ 6.9 สายไฟเบอร์ออปติกที่ใช้ภายนอก

โดยการกำหนดสีเป็นลำดับตามมาตรฐานสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 6.4 และเมื่อนำไปเชื่อมต่อกับสาย Pigtail จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.10 ซึ่งในการเชื่อมต่อนี้จะเป็นการเชื่อมต่อเมื่อดึงสายเข้ามาอยู่ภายในอาคารแล้ว และเตรียมที่จะทำการเชื่อมต่อกัน เพื่อรอการใช้งานต่อไป โดยจะเชื่อมต่อแล้วเก็บสายส่วนที่เหลือไว้ในกล่องหรือตู้เก็บสาย แสดงได้ดังรูปที่ 6.11 ซึ่งจะอาศัยเครื่องสไปซ์ (Fiber Optic Fusion Splice) แสดงได้ดังรูปที่ 6.12 มาช่วยในการหลวมเส้นแก้วให้เชื่อมติดเข้าด้วยกัน

ตารางที่ 6.4 การกำหนดสีเป็นลำดับตามมาตรฐานของเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ภายนอก

เส้นที่	สี
1	น้ำเงิน
2	ส้ม
3	เขียว
4	น้ำตาล
5	เทา
6	ขาว
7	แดง
8	ดำ
9	เหลือง
10	ม่วง
11	ชมพู
12	ฟ้า

รูปที่ 6.10 การนำสายไฟเบอร์ออปติกที่ใช้ภายนอกมาเชื่อมต่อกับสาย Pigtail



รูปที่ 6.11 การเก็บสาย Pigtail ในตู้เก็บสาย

รูปที่ 6.12 Fiber Optic Fusion Splice

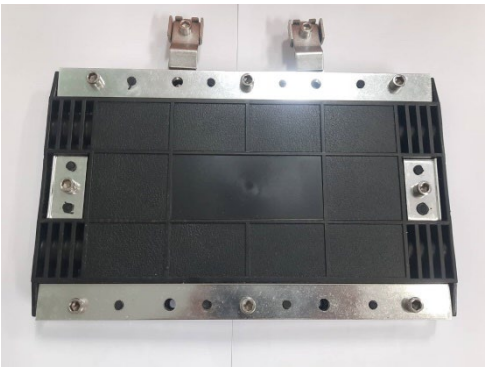
การเชื่อมต่อแบบหลอมรวมนี้ (Splice) จะเป็นการเชื่อมต่อเส้นใยแก้ว 2 เส้นเข้าด้วยกัน โดยการใช้ความร้อนส่งไปที่ปลายของเส้นใยแก้ว ซึ่งเส้นใยแก้วจะอ่อนตัวลงด้วยความร้อนที่เกิดจากประกายไฟของการอาร์ค (Arc) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (Electrode) หลังจากนั้นบริเวณปลายของเส้นใยแก้ว จะถูกดันออกมาให้เชื่อมติดกันอย่างถาวร จนกลายเป็นเส้นใยแก้วนำแสงเส้นเดียวกัน โดยจุดที่มีการต่อเข้าด้วยกันนี้จะเกิดการสูญเสีย (Splice Loss) อยู่ประมาณ 0.00–0.20 dB ซึ่งด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงโดยไม่มีค่าการสูญเสียเลย (Splice Loss = 0.00 dB) แสดงได้ดังรูปที่ 6.13

รูปที่ 6.13 Fiber Optic Fusion Splice ยี่ห้อ Fujikura รุ่น 90s+

โดยขั้นตอนก่อนที่จะนำเส้นใยแก้วเข้าไปยังเครื่อง Splice นั้น จะต้องทำการปลอกพลาสติกที่หุ้มเส้นใยแก้วทั้ง 2 เส้นนั้นออกให้สะอาดก่อนด้วยมีดปลอกเปลือกเส้นใยแก้ว (Cleaver) ซึ่งจะมีที่เป็นรุ่นบุกเบิกแบบมีดพัด แบบด้ามกดและถูกพัฒนามาจนเป็นแบบเครื่องปลอกสายที่มีความทันสมัยและการใช้งานที่ดีขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 6.14 โดยจะสามารถใช้ได้ทั้งการปลอกเส้นใยแก้วประเภทสาย Pigtail ที่จะนำไปใช้ในตู้เก็บสายหรือใช้กับสายประเภทงานภายนอก (Outdoor) ที่จะนำไปใช้ในหัวปิดรอยต่อสาย (Closure) ก็ได้

รูปที่ 6.14 เครื่องปลอกเปลือกเส้นใยแก้ว (Cleaver)

สำหรับหัว Closure นั้น แสดงได้ดังรูปที่ 6.15 จะใช้ในการเก็บจุดต่อจากการเชื่อมต่อของสายไฟเบอร์ออปติกชนิดภายนอกที่ใช้เดินสายไปตามแนวของเสาไฟฟ้า ซึ่งปกติแล้วสายไฟเบอร์ออปติกที่ใช้ภายนอกนี้จะมีความยาวต่อม้วน (Roll) อยู่ที่ประมาณ 4 km ดังนั้นหากมีระยะทางระหว่างสถานีต้นทางกับปลายทางที่ห่างกันมากกว่า 4 km จะต้องมีการใช้สายมากกว่า 2 ม้วนขึ้นไป ก็จะต้องทำการเชื่อมต่อสายนั้นและก็ต้องใช้หัว Closure นี้ ตามจำนวนของจุดต่อนั้นด้วย โดยจะมีลักษณะของการใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 6.16



รูปที่ 6.15 หัว Closure

รูปที่ 6.16 การนำหัว Closure ไปใช้งาน

6.4 ระบบอุปกรณ์สื่อสัญญาณ

ระบบอุปกรณ์สื่อสัญญาณ ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบที่ยังมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันแต่อาจจะค่อย ๆ ทยอยยกเลิกการใช้งานไปตามเทคโนโลยีสมัยใหม่ในปัจจุบันที่ทันสมัยกว่า เพื่อให้เห็นถึงวิวัฒนาการด้านเทคโนโลยีของระบบอุปกรณ์สื่อสัญญาณได้อย่างเข้าใจขึ้น โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงของเทคโนโลยีคือ

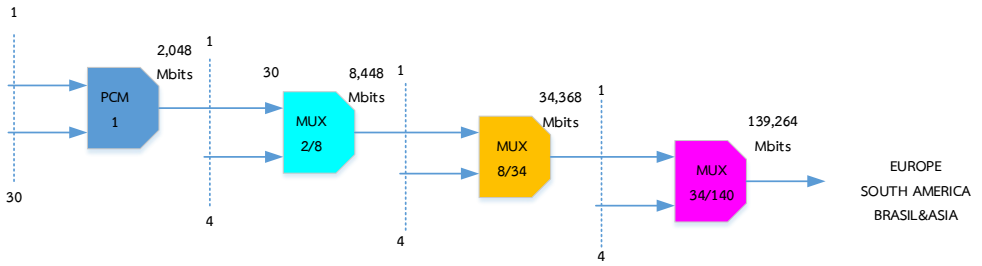
1. ระบบพีดีเฮช (Plesiochronous Digital Hierarchy: PDH)
2. ระบบเอสดีเฮช (Synchronous Digital Hierarchy: SDH)
3. ระบบดีดับเบิ้ลยูดีเอ็ม (Dense Wavelength Division Multiplexing: DWDM)

6.4.1 ระบบพีดีเฮช (Plesiochronous Digital Hierarchy: PDH)

เป็นระบบที่ผลิตออกมาเพื่อรองรับการใช้งานของเทคโนโลยีที่มีความเร็วสูง ถูกนำเข้ามาใช้ในประเทศไทยในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2530-2540 (ในงานด้านระบบโทรศัพท์) โดยการนำข้อมูลที่มีความเร็วต่ำกว่าส่งเข้าไปในระบบที่มีความเร็วสูงกว่า ด้วยระบบสื่อสัญญาณดิจิทัลความเร็วสูงระบบแรก ซึ่งใช้งานมายาวนานกว่า 30 ปี สามารถใช้งานผ่านตัวกลางต่าง ๆ ได้ เช่น สายโคแอคเชียล สายใยแก้วนำแสงและระบบวิทยุไมโครเวฟ เป็นต้น การใช้งานระบบ PDH นี้จะมีอยู่ 3 มาตรฐานคือ มาตรฐานอเมริกา มาตรฐานยุโรป (ประเทศไทยใช้มาตรฐานยุโรป) และมาตรฐานญี่ปุ่น

PDH Hierarchy (EUROPE)

ลำดับชั้น	จำนวนช่องสัญญาณ	อัตราบิตข้อมูล (Mbps)
1 (E1)	30	2.048
2 (E2)	120	8.448
3 (E3)	480	34.368
4 (E4)	1,920	139.264
5	7,680	565.148

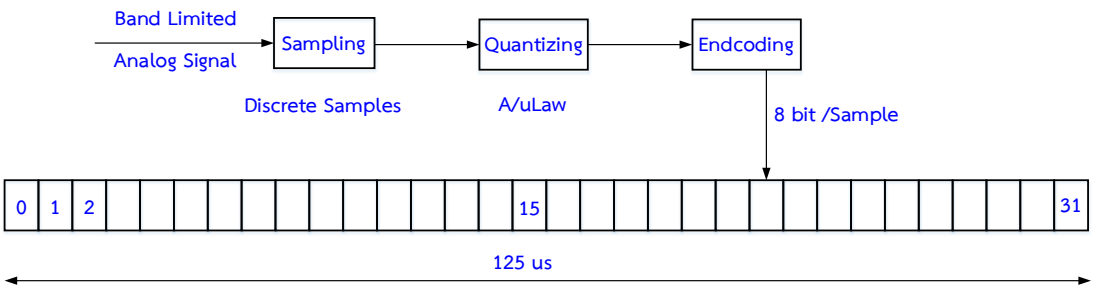


รูปที่ 6.17 โครงสร้างของระบบ PDH มาตรฐานยุโรป

โดยจะขอกล่าวถึงเฉพาะระบบ PDH มาตรฐานยุโรป ซึ่งจะมีโครงสร้างของลำดับชั้นของสัญญาณต่าง ๆ เรียงกันไปจากระดับ 2 Mb, 8 Mb, 34 Mb และ 140 Mb ตามลำดับ แสดงได้ดังรูปที่ 6.17

จากรูปที่ 6.17 จะเห็นว่าระดับสัญญาณต่ำสุดคือระดับ 2 Mb (E1 หมายถึงยุโรประดับที่ 1) จะมีช่องสัญญาณได้ 30 ช่องสัญญาณ และสัญญาณที่มีระดับสูงที่สุดคือ 140 Mb (E4 หมายถึงยุโรประดับที่ 4) จะมีช่องสัญญาณได้ 1,920 ช่องสัญญาณ

ที่ระดับสัญญาณ 2 Mb จะมีโมดูล PCM ในการแยกสัญญาณ 2 Mb ออกเป็นช่องสัญญาณย่อย ๆ (Time Slot) จำนวน 32 ช่องสัญญาณ โดยมีไดอะแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 6.18



รูปที่ 6.18 โครงสร้าง PCM ไดอะแกรม

โดยที่สัญญาณ 2 Mb สามารถแสดงวิธีการหาค่าได้ดังนี้

1/0.000125 s = 8000

8000x8 bit = 64000 bit/s

64000 bit = 64 Kbit/s

64000x32 ts = 2048000 bit/s

2048000 bit/s = 2.048 Mbit/s

และข้อกำหนดการใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณย่อย ๆ เป็นดังนี้

Unframe = 32 Time Slot

PCM 31 = 31 Time Slot

PCM 30 = 30 Time Slot

Time slot 0 = Start Frame

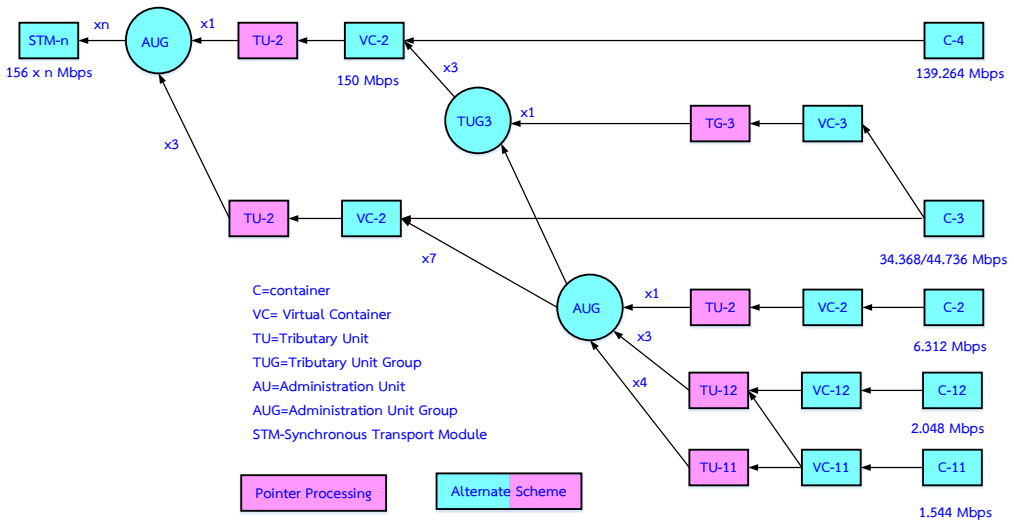
Time slot 15 = Signaling

การที่จะนำสัญญาณระดับ 2 Mb ออกมาใช้งานนั้นจะต้องใส่โมดูล PCM และ MUX ตั้งแต่ระดับ 2 Mb, 8 Mb, 34 Mb และ 140 Mb ตามลำดับ และหากต้องการเพิ่มลดจำนวนพอร์ต 2 Mb ก็จะต้องปรับเปลี่ยนแก้ไขเพิ่มเติมในโมดูล MUX ทุกระดับเป็นขั้น ๆ ไปเช่นกัน ทำให้เกิดความซับซ้อนยุ่งยากในการนำมาใช้งานเป็นอย่างมาก และหากเป็นอุปกรณ์ต่างยี่ห้อกันด้วยแล้ว การนำสัญญาณมาเชื่อมต่อเข้าหากันเพื่อเชื่อมการใช้งานร่วมกันก็เป็นได้ยากอีกด้วย

6.4.2 ระบบเอสดีเฮช (Synchronous Digital Hierarchy: SDH)

เป็นการนำเทคโนโลยีของการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ของสัญญาณรูปแบบใหม่ (ในสมัยนั้น) ถูกนำเข้ามาใช้ในประเทศไทยในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2540-2550 เพื่อเพิ่มความคล่องตัวในการปรับเพิ่มลดระดับสัญญาณใช้งานด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์/ดีมัลติเพล็กซ์ (Multiplex/Demultiplex) ทำให้ง่ายขึ้นกว่าระบบ PDH แบบเดิม โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนแก้ไขในทุกระดับเป็นขั้น ๆ ไป ซึ่งในระบบ SDH นี้จะสามารถปรับเพิ่มลดระดับสัญญาณได้โดยตรงจากระดับต่ำสุด 2 Mb ไปเป็นระดับสูงสุด 155 Mb หรือจากระดับสูงสุด 155 Mb เป็นระดับต่ำสุด 2 Mb นั่นเอง ทั้งนี้ระบบ SDH สามารถรองรับสัญญาณได้หลายระดับพร้อม ๆ กัน เช่น สามารถมัลติเพล็กซ์สัญญาณระดับ 1.5, 2, 6, 8, 34, 45 และ 140 Mb ไปเป็น 155 Mb ได้โดยตรง พร้อมกันนี้ระบบ

SDH ยังสามารถรองรับการใช้งานกับการสื่อสารทางแสงทำให้สามารถส่งสัญญาณที่ความเร็วสูงมาก ๆ ได้ เช่น ระดับ 155 Mb (STM-1), 622 Mb (STM-4), 2488 Mb (STM-16) และ 9953 Mb (STM-64) ไปบนสายใยแก้วนำแสงเพียงคู่เดียว ซึ่งเป็นความสะดวกและลดต้นทุนของสายใยแก้วนำแสงอีกด้วย โดยมีโครงสร้างของระบบ แสดงได้ดังรูปที่ 6.19



รูปที่ 6.19 โครงสร้างของระบบ SDH

จากรูปที่ 6.19 จะเห็นว่าระดับการมัลติเพล็กซ์/ดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณจะมีอยู่ 3 ขั้นคือ AUG, VC-2 และ TUG-2 สัญญาณต่ำสุดคือระดับ 1.5 Mb (C-11) และระดับ 2 Mb (C-12) จะสามารถนำมารวมกันที่ระดับ TUG-2 ได้ 4 และ 3 ช่องสัญญาณตามลำดับ ส่วนสัญญาณระดับ 6 Mb หรือ 8 Mb (C-2) จะสามารถนำมารวมกันที่ระดับ TUG-2 ได้ 1 ช่องสัญญาณ ถัดไปจะเป็นขั้น VC-2 ในส่วนสัญญาณระดับ 34 Mb หรือ 45 Mb (C-3) จะสามารถนำมารวมกันที่ระดับ VC-2 ได้ 1 ช่องสัญญาณและสัญญาณที่มาจาก TUG-2 จะสามารถนำมารวมกันที่ระดับ VC-2 ได้ 7 ช่องสัญญาณ ส่วนสัญญาณระดับ 140 Mb (C-4) จะสามารถนำมารวมกันที่ระดับ VC-2 ได้ 1 ช่องสัญญาณ ถัดไปสุดท้ายจะเป็นขั้น AUG โดยสัญญาณระดับ 140 Mb (C-4) ที่มาจากระดับ VC-2 จะได้ 1 ช่องสัญญาณ และจาก VC-2 ของสัญญาณระดับต่ำกว่า 140 Mb จะได้ 3 ช่องสัญญาณ รวมกันสุดท้ายเป็นสัญญาณขนาด 155 Mb (STM-1)

วิธีการคิดช่องสัญญาณกับระดับสัญญาณเป็นดังนี้

155 Mb (STM-1) = 1 x 140 Mb (C-4)

155 Mb (STM-1) = 3 x VC-2 x 1 x 34 Mb/45 Mb (C-3)

155 Mb (STM-1) = 3 x VC-2 x 7 x TUG-2 x 1 x VC-2 x 1 x 6 Mb (C-2)

155 Mb (STM-1) = 3 x VC-2 x 7 x TUG-2 x 3 x VC-12 x 1 x 2 Mb (C-12)

155 Mb (STM-1) = 3 x VC-2 x 7 x TUG-2 x 4 x VC-11 x 1 x 1.5 Mb (C-11)

ข้อดีของระบบ SDH สามารถสรุปได้ดังนี้

มีโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ที่ไม่ซับซ้อน

สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่างยี่ห้อได้

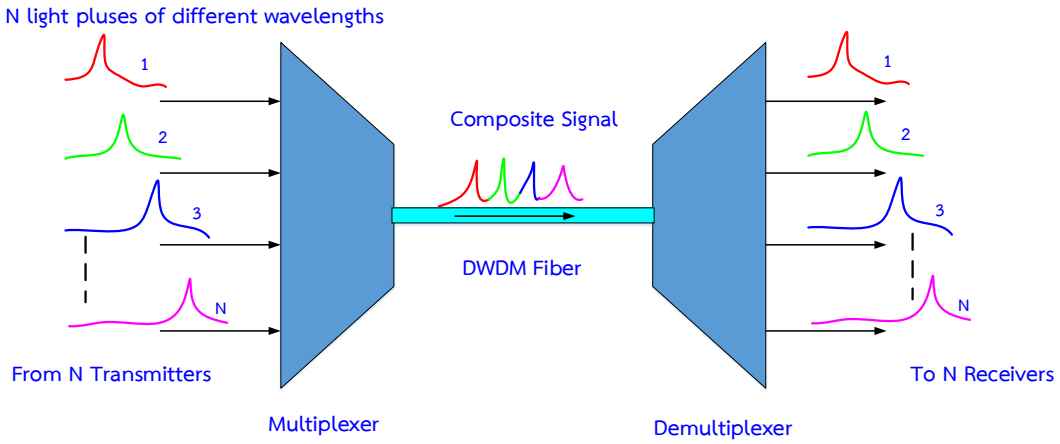
รองรับการใช้งานกับระบบสื่อสัญญาณทั้งแบบเก่าและแบบใหม่ได้

มีโครงสร้างที่รองรับการนำไปใช้งานกับเทคโนโลยีในอนาคตได้

สามารถบริหารจัดการโครงข่ายได้จากศูนย์กลางของระบบ

6.4.3 ระบบดีดับเบิ้ลยูดีเอ็ม (Dense Wavelength Division Multiplexing: DWDM)

ระบบ DWDM เป็นการนำเทคโนโลยีมาใช้กับสายใยแก้วนำแสง โดยเป็นการสื่อสารด้วยแสงที่สามารถรองรับปริมาณข้อมูลขนาดมหาศาลได้อย่างเพียงพอด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์เพื่อให้ได้ช่องสัญญาณ (Channel) จำนวนมาก ๆ ทำให้ไม่เกิดปัญหาด้านการบีบอัดของจำนวนเส้นทางการใช้งานระหว่างเส้นทางขาเข้าและเส้นทางขาออก (คอขวด)



รูปที่ 6.20 โครงสร้างการทำงานของระบบ DWDM

กระบวนการทำงานของ DWDM สามารถแยกออกได้เป็น 5 ขั้นตอน โดยมีโครงสร้างของระบบ แสดงได้ดังรูปที่ 6.20

1. สร้างสัญญาณ
2. รวมสัญญาณ
3. การส่งสัญญาณ
4. แยกสัญญาณที่ได้รับ
5. รับสัญญาณ

จากรูปที่ 6.20 จะเห็นว่าสัญญาณที่ 1 (สีแดง) สัญญาณที่ 2 (สีเขียว) สัญญาณที่ 3 (สีน้ำเงิน) สัญญาณที่ N (สีชมพู) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นมาให้มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันแล้วถูกนำเข้ามารวมกันที่โมดูล Multiplexer ซึ่งจะทำหน้าที่จัดเรียงสัญญาณตามความยาวคลื่นแบบอนุกรมกัน แล้วส่งออกไปในสายใยแก้วนำแสงจากสถานีต้นทางจนไปถึงสถานีปลายทางที่โมดูล

Demultiplexer ซึ่งจะทำหน้าที่แยกสัญญาณความยาวคลื่นที่เรียงกันมานั้นออกมาเป็นสัญญาณของแต่ละความยาวคลื่นของแต่ละสัญญาณส่งต่อไปยังช่องสัญญาณที่จัดสรรรอไว้ แล้วนำไปใช้งานต่อไป

Specifies of STM-1 Optical Interface

Data Rate	155.52 Mbps
Standard	ITU-T G.957 Compliant
Bit Rate	155.52 Mbps
Coding	NRZ
Connecter	LC
Light Source	Class 1 Laser
Wavelength	850nM/1310nM/1550nM Optional -1310nM Std.
Transmit Power	S1.1, L1.1, L1.2 (-11 dBm to 2.5 dBm)
Receive Sensitivity	S1.1, L1.1, L1.2 (-28 dBm to -34 dBm)
Automatic 1+1 Line Protection	Less than 50 ms Swicthing/recovery
Automatic Laser Shot Down Option	User Selectable Options

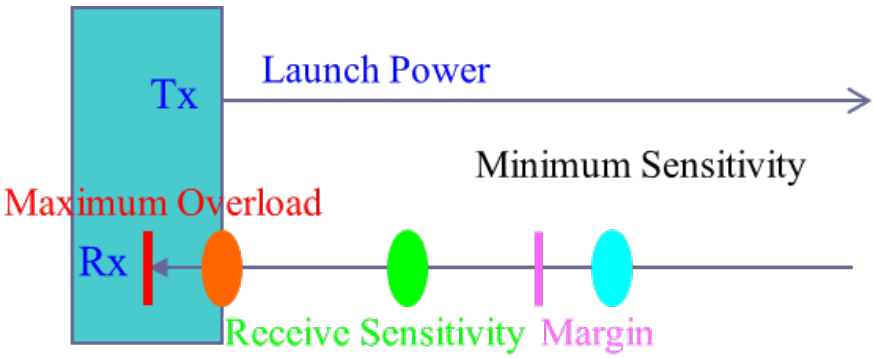
Type	Wavelength (nM)	Mean Launch Powers (dBm)	Receiver Sensitivity (dBm)	Receiver Overlaod (dBm)	Connecter	Configuration
Double Fibers	1310	-8 to -12	-36	-3	LC	Standard (S1.1)
Two Direction	1310	0 to 5	-36	-3	LC	Optional (L1.1)
Single Fiber	1310/1550	-8 to -14	-30	-3	LC	Optional
One Direction	1310/1550	0 to 5	-30	-3	LC	Optional

รูปที่ 6.21 คุณลักษณะของโมดูล STM-1

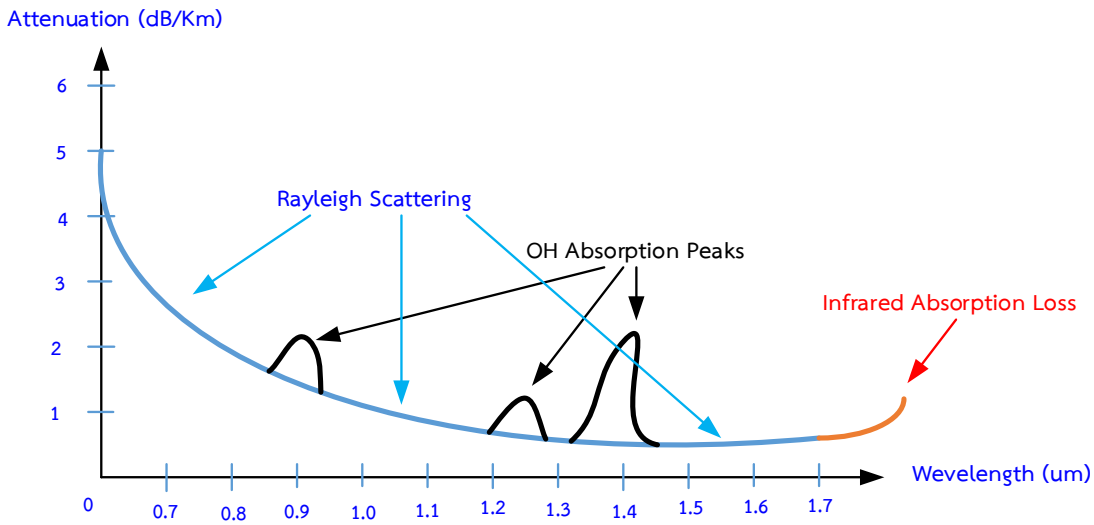
ระยะทางหรือเส้นทาง (Route) ของการส่งสัญญาณด้วยแสงไปตามสายใยแก้วนำแสงจากสถานีส่งต้นทางไปยังสถานีรับปลายทางในทุกระบบของแต่ละช่วงนั้นมีระยะทางที่แตกต่างกันหรือบางช่วงอาจใกล้เคียงกันขึ้นอยู่กับภูมิประเทศไปตามแนวเดินสาย ดังนั้นการออกแบบชนิดของอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณจะถูกแบ่งความแรงออกเป็น 4 ชนิด (Type) คือ 1. Type S ใช้งานที่ระยะ 0-20 km 2. Type L ใช้งานที่ระยะ 20-70 km 3. Type V ใช้งานที่ระยะ 70-100 km และ 4. Type U ใช้งานที่ระยะ 100-140 km โดยมีตัวอย่างคุณลักษณะ แสดงได้ดังรูปที่ 6.21

จากรูปที่ 6.21 เป็นค่าคุณลักษณะของโมดูล STM-1 (155 Mb) โดยค่าที่จะนำมาพิจารณาในการส่งและรับสัญญาณในแต่ละเส้นทางนั้น จะพิจารณาว่าสามารถใช้กับความยาวคลื่นใดได้บ้าง (ลำดับที่ 7: Wave Length: 850 nm/1310 nm/1550 nm) ค่ากำลังส่งสัญญาณ (ลำดับที่ 8: Transmit Power: S 1.1= -11 dBm และ L 1.1/L 1.2= -2.5 dBm โดยที่ตัวเลข 1.1 หมายถึงความยาวคลื่น 1310 nm ส่วนตัวเลข 1.2 หมายถึงความยาวคลื่น 1550 nm) ค่าความไวในการรับสัญญาณ (ลำดับที่ 9: Receive Sensitivity: S 1.1/L 1.1= -34 dBm และ L 1.2= -28 dBm) ซึ่งจะหมายถึงค่าต่ำที่สุดที่จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพได้ ดังนั้นในการออกแบบจะต้องเผื่ออัตรากำลังที่จะรับ

(Margin) ไว้ประมาณ 3 dB สำหรับการซ่อมบำรุงในอนาคตและสุดท้ายจะเป็นค่าความทนต่อกำลังสูงสุดของภาครับสัญญาณ (คอลัมม์ที่ 5: Receiver Overload: -3 dBm) ซึ่งจะมีความสำคัญมาก โดยหากรับกำลังที่ใกล้เคียงหรือสูงเกินกว่าค่าที่ระบุนี้จะทำให้ภาครับสัญญาณรวนหรือพังเสียหายได้ ในการออกแบบจะต้องเผื่ออัตรากำลังที่จะรับไว้ประมาณ 3 dB ด้วยเช่นกัน หรือหากระยะทางใกล้มาก ๆ ก็จะใช้อุปกรณ์เสริมที่เรียกว่า Fix Attenuator เข้ามาใส่ที่ภาครับสัญญาณแทน ซึ่งสามารถเขียนอธิบายระดับความสำคัญนี้ไว้โดยแสดงได้ดังรูปที่ 6.22



รูปที่ 6.22 ระดับความสำคัญจากค่าคุณลักษณะของโมดูล STM-1



รูปที่ 6.23 กราฟการลดทอนในสายเทียบกับความยาวคลื่น

โดยที่สายใยแก้วนำแสงจะถูกนำไปใช้เป็นตัวผ่านของแสงที่มีความเข้มสูง (กำลังส่งสูง) ของตัวส่งสัญญาณเพื่อให้แสงเดินทางไปตามสายได้ตามระยะทางที่ต้องการ โดยความเข้มแสงที่ใช้จะเรียกกันเป็นความยาวคลื่น (Wavelength) มีหน่วยเป็นนาโนเมตร (nm) ซึ่งในปัจจุบันจะนิยมใช้งานกัน 2

ย่านคือ 1310 nm กับ 1550 nm โดยมีสิ่งที่ต้องพิจารณาคือค่าการลดทอนในสาย (Attenuation) ไปตามระยะทาง เพื่อนำไปหาค่าการสูญเสียในสาย (Loss) ซึ่งค่าการลดทอนในสาย แสดงได้ดังรูปที่ 6.23

จากรูปที่ 6.23 จะเห็นว่าค่าการลดทอนในสายที่ความยาวคลื่น 1310 nm มีค่าประมาณ 0.65 dB/km ส่วนค่าการลดทอนในสายที่ความยาวคลื่น 1550 nm มีค่าประมาณ 0.5 dB/km

ทั้งนี้หากลองพิจารณาค่าการลดทอนในสายของสายใยแก้วนำแสงชนิด 1550 nm ที่ระยะทาง 10 km มีการเชื่อมต่อสาย (Splice) ที่ตำแหน่งหัวและท้ายเพื่อใส่หัวต่อชนิด FC (FC Connector) จะสามารถหาค่าการสูญเสียในสายได้จากวิธีการคำนวณเบื้องต้นดังนี้

ค่า Loss (dB) = (ระยะทาง x Attenuation) + (Splice Loss x จำนวนจุดต่อสาย) + (Connector Loss x จำนวนหัวต่อ)

= (10 km x 0.5 dB/km) + (0.3 x (2* + 2**)) + (0.5 x 2)

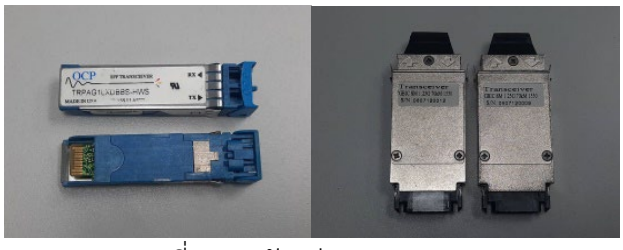
= 7.2 dB (ค่าโดยประมาณ)

โดยที่ 2* คือจุดที่ต้องใส่หัวต่อกลางทาง (Closure) จำนวน 2 จุด เนื่องจากสายใยแก้วนำแสง 1 ม้วน (Roll) จะมีระยะประมาณ 4 km และ 2** คือตำแหน่งหัวกับท้ายที่ต้องเชื่อมต่อสายใยแก้วนำแสงเข้ากับสายเชื่อมหัวต่อชนิด FC (FC-Pigtail) โดยที่คิดค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อแต่ละครั้งอยู่ที่ 0.3 dB (เครื่อง Splicer ในปัจจุบันอาจทำให้ได้ค่าเป็น 0 dB) ผลลัพธ์ที่ได้ของค่าการสูญเสียในสายที่ระยะทาง 10 km ประมาณ 7.2 dB ซึ่งหากใช้สายชนิด 1310 nm จะมีค่าการสูญเสียในสายเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยอยู่ที่ประมาณ 8.7 dB นั่นเอง

6.4.4 อุปกรณ์เสริมในระบบ

ระบบอุปกรณ์สื่อสัญญาณทุกประเภทนั้นจะมีการออกแบบอุปกรณ์เสริมขึ้นมาเพื่อรองรับการเชื่อมต่อใช้งานหรือเพื่อการซ่อมบำรุงในเบื้องต้นได้ก่อนเพื่อความสะดวกและรวดเร็ว ในที่นี้จะขอกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในด้านการติดตั้งและซ่อมบำรุงของสายใยแก้วนำแสงที่ใช้ภายในอาคาร (Indoor) เป็นหลักได้แก่

6.4.4.1 เอสเอฟพี (Small Form Pluggable Module: SFP) คืออุปกรณ์เพิ่มเติมที่ใช้เชื่อมต่อกับสายใยแก้วนำแสง เช่น 1000BASE-SX, 1000BASE-LX เป็นต้น ใช้เป็นตัวส่งและรับสัญญาณแบบเสียบเข้าไปในช่องของโมดูล STM-N (N: 1, 4, 16, 64) เพื่อให้ง่ายต่อการเลือกใช้ตามชนิดของระยะทางระหว่างต้นทางกับปลายทาง มีทั้งการทำงานแบบพอร์ตเดี่ยว (รับส่งในเส้นเดียวกัน) และพอร์ตคู่ (รับส่งแยกเส้นกัน) ตัวอย่างของ SFP แสดงได้ดังรูปที่ 6.24



รูปที่ 6.24 ตัวอย่างของ SFP

6.4.4.2 สายเชื่อมต่ออุปกรณ์ (Patch Cord) คือสายใยแก้วนำแสงแบบอ่อนระยะเส้นสั้น ๆ เช่น 3 เมตร 5 เมตร 10 เมตร เป็นต้น ในการเชื่อมต่อใช้งานจะเป็นแบบจุดต่อจุดภายในห้องควบคุมหรือห้องอุปกรณ์ โดยที่ปลายสายทั้ง 2 ด้าน จะเป็นหัวต่อชนิดเดียวกันก็ได้หรือต่างชนิดกันก็ได้ เช่น FC-FC, FC-LC, LC-SC เป็นต้น ขึ้นอยู่กับจุดเชื่อมต่อแต่ละจุด ส่วนใหญ่จะเป็นสายสีเหลืองกับส้มที่จะเห็นได้อย่างเด่นชัด มีทั้งชนิดสายเส้นเดี่ยว (Simplex) และสายชนิดสายเส้นคู่ (Duplex) โดยนิยมร้อยสายไว้ภายในท่อเฟล็กซ์อ่อนหรืออาจมีการพันด้วยไส้ไก่ที่ปลายหัวและท้ายของสายด้วยเพื่อให้เกิดความแข็งแรงและปลอดภัยขึ้น ตัวอย่างของ Patch Cord แสดงได้ดังรูปที่ 6.25

รูปที่ 6.25 ตัวอย่างของ Patch Cord

6.4.4.3 สายเชื่อมหัวต่อ (Pigtail) คือสายใยแก้วนำแสงแบบอ่อนระยะเส้นสั้น ๆ เช่น 1 เมตร 1.5 เมตร ที่มีปลายสายด้านหนึ่งต่อกับหัวต่อไว้และปล่อยปลายสายอีกด้านหนึ่งว่างไว้ ในการเชื่อมต่อใช้งานจะนำปลายสายที่ปล่อยว่างไว้เชื่อมต่อ (Splice) กับสายใยแก้วนำแสงที่ลากดึงมาจากภายนอก (Outdoor) ใช้ต่อกันในถาดเก็บสาย (Tray) ในกล่องกระจายสายใยแก้วนำแสง (ODF) แยกตามแต่ละเส้น (Core) ตัวอย่างของ Pigtail แสดงได้ดังรูปที่ 6.26

(ก) Pigtail Type LC

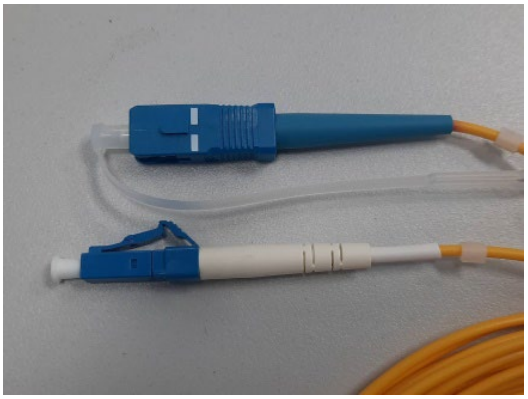
(ข) Pigtail Type SC

รูปที่ 6.26 ตัวอย่างของ Pigtail

6.4.4.4 กล่องกระจายสายใยแก้วนำแสง (Optical/Fiber Distribution Frame: ODF/FDF) คือกล่องหรือตู้สำหรับกระจายสายใยแก้วนำแสง จะถูกติดตั้งไว้ที่ต้นทางและปลายทางของสถานีส่งและสถานีรับเป็นจุดแรกที่เชื่อมต่อ (Splice) กับสายใยแก้วนำแสงที่ลากดึงมาจากภายนอก (Outdoor) มีทั้งแบบติดตั้งในตู้อุปกรณ์ (Rack Mount) และแบบติดตั้งกับผนัง (Wall Mount) ตัวอย่างของ ODF/FDF แสดงได้ดังรูปที่ 6.27

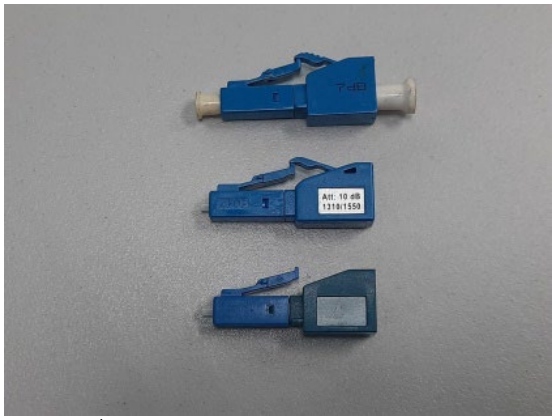
รูปที่ 6.27 ตัวอย่างของ ODF/FDF แบบติดตั้งในตู้อุปกรณ์

6.4.4.5 หัวต่อ (Connector) คือส่วนปลายสุดของสายใยแก้วนำแสงที่จะนำมาใช้งาน โดยการต่อแบบไม่ถาวรสามารถถอดดึงเข้าออกได้ (โดยปกติเมื่อใช้งานไปแล้วจะไม่ถอดเข้าออกอีกเลย) การเชื่อมต่อของหัวต่อนี้จะเกิดช่องว่าง (Gap) ระหว่างหัวต่อได้ซึ่งส่งผลให้เกิดเป็นการสูญเสียจากหัวต่อได้แต่จะมีค่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งหัวต่อจะมีผลิตออกมาอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานและเทคโนโลยีในแต่ละยุคสมัยเช่น D4, FC, ST, DIN, SC, LC, MU เป็นต้น ตัวอย่างของหัวต่อสายใยแก้วนำแสงแสดงได้ดังรูปที่ 6.28



รูปที่ 6.28 ตัวอย่างของหัวต่อสายใยแก้วนำแสงชนิด LC และ SC

6.4.4.6 ตัวลดทอนสัญญาณ (Fix Attenuator) คืออุปกรณ์ที่ช่วยจำกัดหรือลดระดับความแรงของสัญญาณแสงที่มีมากเกินความจำเป็นที่ต้องใช้ระหว่างเส้นทางจากสถานีต้นทางกับสถานีปลายทาง เพื่อไม่ให้เกินกว่าค่าความทนต่อกำลังสูงสุดของภาครับสัญญาณ (Receiver Overload) นั่นเอง โดยมีการกำหนดค่าไว้เลย เช่น 3 dB, 5 dB, 10 dB เป็นต้น และยังมีให้เลือกใช้งานครบทุกชนิดของหัวต่อด้วย เช่น FC, SC, LC, MU เป็นต้น ตัวอย่างของ Fix Attenuator แสดงได้ดังรูปที่ 6.29



รูปที่ 6.29 ตัวอย่างของ Fix Attenuator

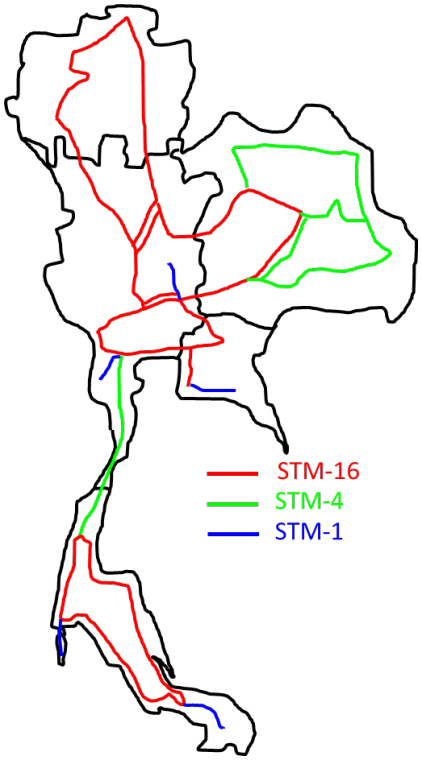
6.4.4.7 หัวต่อตรง (Through Adapter) คืออุปกรณ์ที่ช่วยในการเชื่อมต่อสาย Patch Cord เข้ากับ ODF หรือในบางกรณีอาจใช้ในการเชื่อมต่อความยาวของสาย Patch Cord ให้ยาวขึ้นได้แบบชั่วคราว (ใช้เพื่อการทดสอบสัญญาณเบื้องต้น) โดยมีผลิตออกมาตามชนิดของหัวต่อที่มีการใช้งาน เช่น FC, SC, LC, MU เป็นต้น ตัวอย่างของ Through Adapter แสดงได้ดังรูปที่ 6.30

รูปที่ 6.30 ตัวอย่างของ Through Adapter ชนิด FC

6.5 ระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง

ในปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลในรูปแบบของอินเตอร์เน็ตมีบทบาทกับชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมากจนแถบแยกออกจากกันไม่ได้เลย ทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากการพัฒนาทางด้านสื่อกลางอย่างเส้นใยแก้วนำแสงที่สามารถผลิตออกมาได้ในราคาที่ถูกลงเป็นอย่างมากกว่าในอดีต รวมถึงอุปกรณ์ต่อร่วมประเภทต่าง ๆ ที่ก็สามารถพัฒนาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลายและตอบสนองต่อการใช้งานในราคาที่เข้าถึงได้ ทำให้สามารถวางระบบโครงข่ายที่กระจายออกไปได้ครอบคลุมทุกพื้นที่ในเวลาอันรวดเร็ว

โดยในประเทศไทยจะมีการวางระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงเส้นทางหลักไว้เป็นแนวที่เปรียบเสมือนเส้นกระดูกสันหลัง (Back Bone) ของร่างกายมนุษย์ ไปตามแนวถนนสายหลักด้วยจำนวนคอร์ใช้งานที่มีการคิดคำนวณการใช้งานและคอร์สำรอง (Spare Part) สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณหลักในแต่ละสถานี แสดงได้ดังรูปที่ 6.31 ซึ่งจะเป็นการแสดงเส้นทาง (Route) ของสายไฟเบอร์ออปติกของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง ที่นำไปใช้งานกับอุปกรณ์ส่งสัญญาณประเภท SDH ในระดับ STM-16, STM-4 และ STM-1 ในการให้บริการสัญญาณโทรศัพท์และอินเตอร์เน็ตทั่วประเทศ

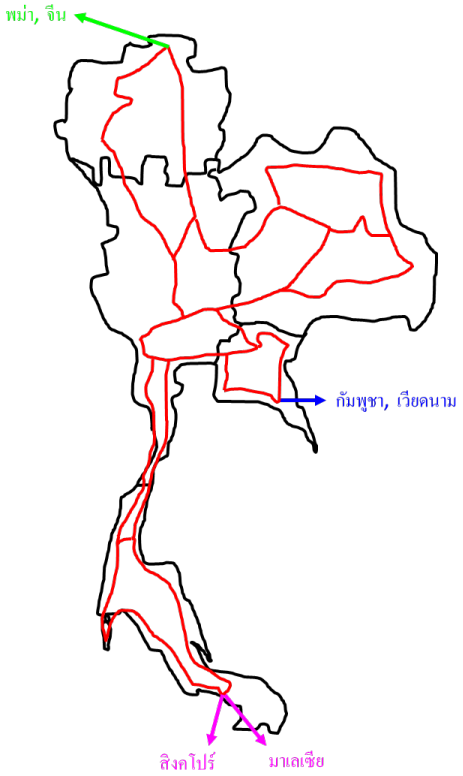


รูปที่ 6.31 ตัวอย่างเส้นทางระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงในประเทศไทย

จากรูปที่ 6.31 จะเห็นว่าลักษณะของการเดินสายไฟเบอร์ออปติกนั้นจะมีทั้งเป็นเส้นทางเดียว (Spur Route) และเป็นเส้นบรรจบกันคล้ายเป็นเส้นทางปิดหรือเป็นวงแหวน (Ring Route) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการวางแผนและสภาพเส้นทางตามความเป็นจริงจากหน้างานอีกด้วย โดยเส้นทางที่เป็นแบบวงแหวนนั้นจะสามารถทำการป้องกัน (Protection) ข้อมูลขาดหายหรือระบบล่มได้ (Link Down)

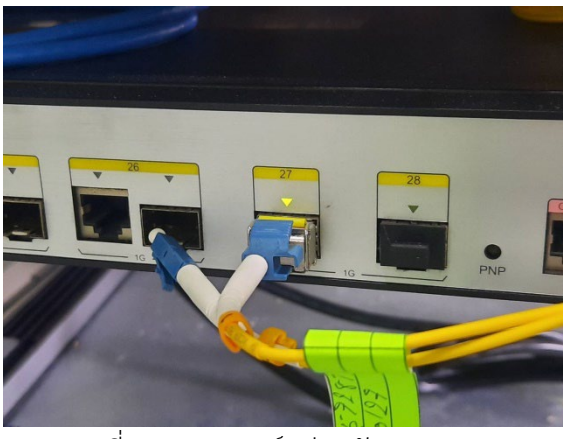
หากเกิดกรณีของสายไฟเบอร์ออปติกขาดจากอุบัติเหตุต่าง ๆ ได้ ส่วนเส้นทางที่เป็นเส้นทางเดียวนั้น ก็จะมีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง ซึ่งวิธีแก้ไขปัญหาเบื้องต้นสามารถทำได้โดยการเช่าคอร์ออปติกจากผู้ให้บริการรายอื่นเข้ามาเป็นเส้นทางสำรอง (Protection Route) แทนชั่วคราว

จากการที่สายไฟเบอร์ออปติกเริ่มมีราคาที่ถูกลง อีกทั้งยังมีการขยายถนนรวมถึงมีการเปิดเส้นทางถนนสายหลักเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถที่จะขยายเส้นทางของสายไฟเบอร์ออปติกได้ครอบคลุมทั่วประเทศ รวมถึงยังขยายการให้บริการออกไปยังประเทศเพื่อนบ้านที่มีพรมแดนติดกับประเทศไทยเพิ่มเติมอีกด้วย แสดงได้ดังรูปที่ 6.32



รูปที่ 6.32 ตัวอย่างเส้นทางระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมต่อข้ามประเทศ

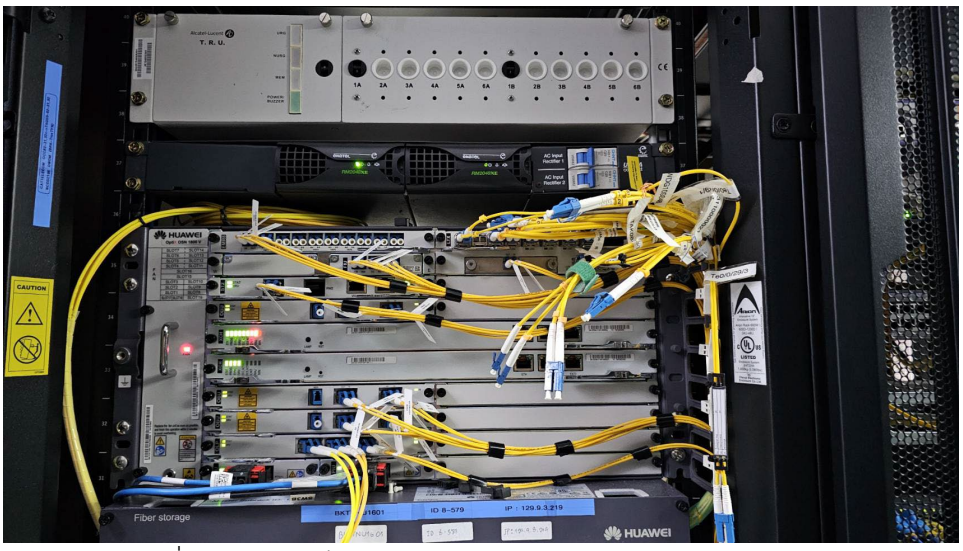
ในการส่งสัญญาณแสงผ่านสายไฟเบอร์ออปติกนั้นจะใช้ตัวปล่อยสัญญาณแสงด้วยเลเซอร์จากอุปกรณ์ที่เรียกว่า SFP แสดงได้ดังรูปที่ 6.33 โดยการเสียบเข้าไปที่ช่องสล็อตของอุปกรณ์นั้น ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 6.34-6.37 ยกตัวอย่าง เช่น อุปกรณ์ Switch, FOM, Metronet, SDH, DWDM เป็นต้น



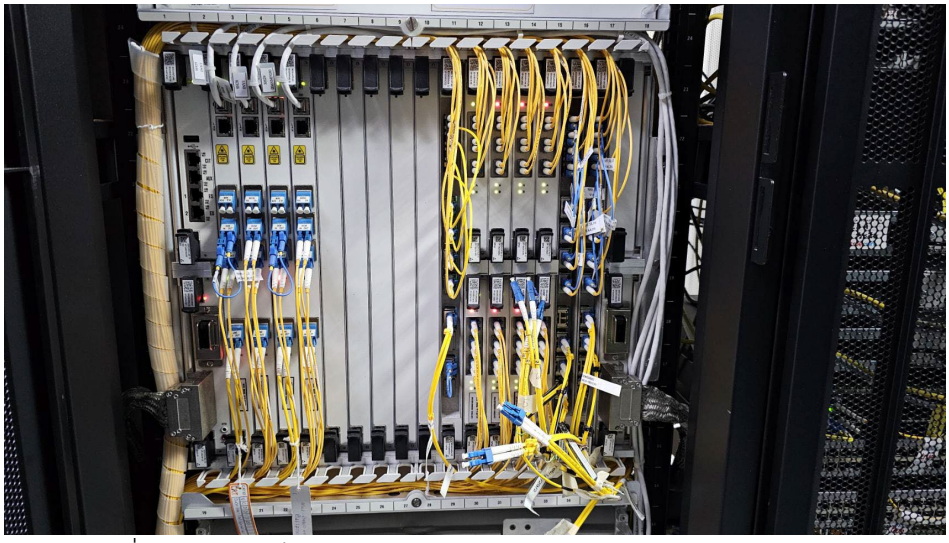
รูปที่ 6.33 อุปกรณ์ปล่อยสัญญาณแสง

รูปที่ 6.34 ช่องสล็อตของอุปกรณ์ FOM สำหรับเสียบ SFP

รูปที่ 6.35 ช่องสล็อตของอุปกรณ์ SDH สำหรับเสียบ SFP

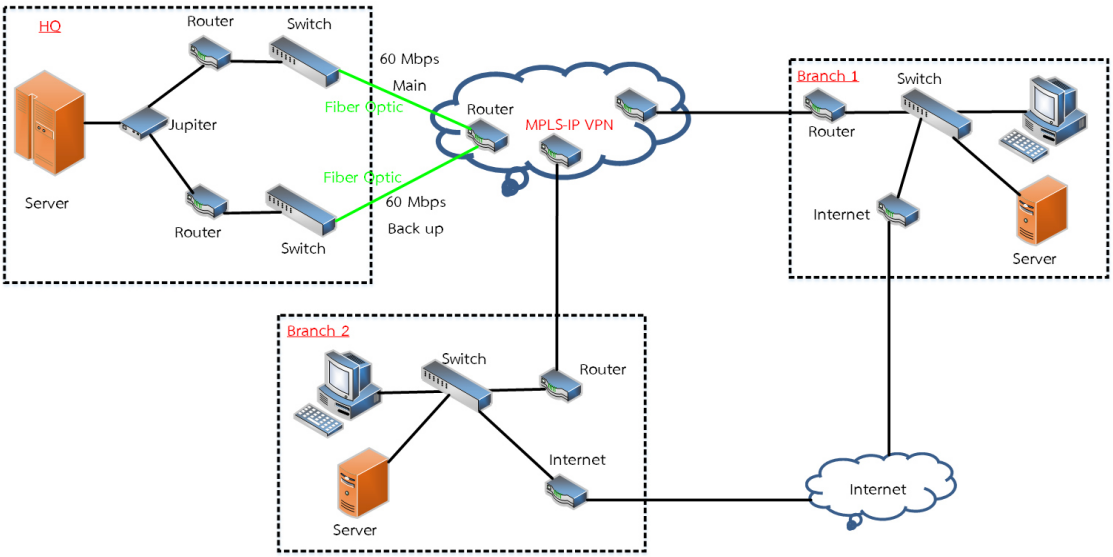


รูปที่ 6.36 ช่องสล็อตของอุปกรณ์ Metronet สำหรับเสียบ SFP

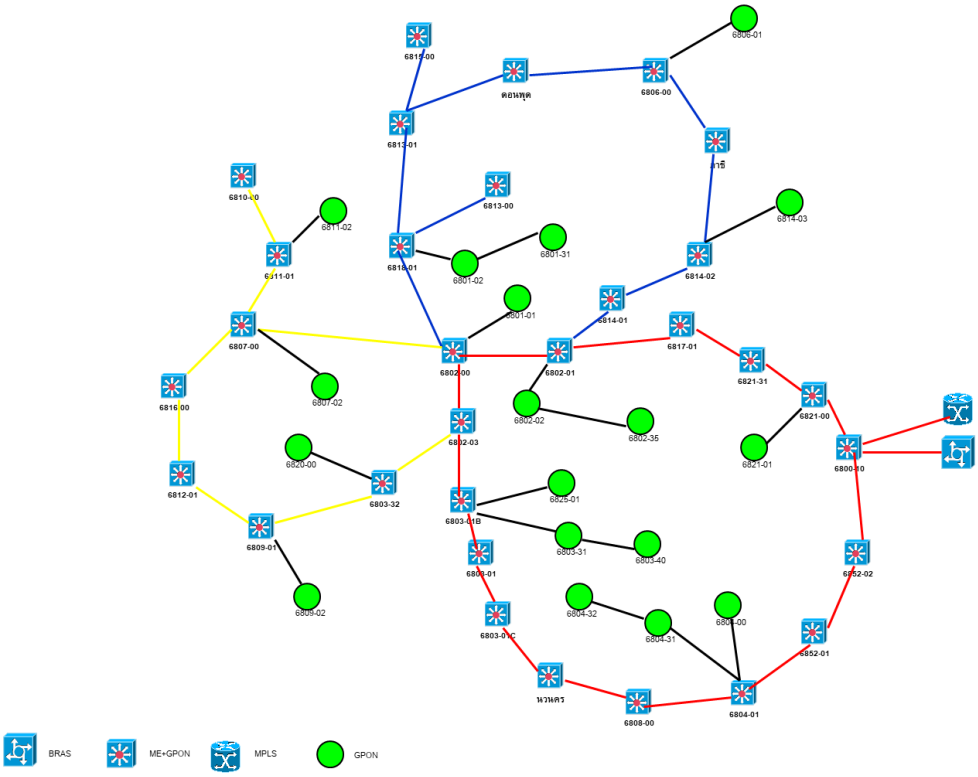


รูปที่ 6.37 ช่องสล็อตของหน้าโมดูลอุปกรณ์ DWDM สำหรับเสียบ SFP

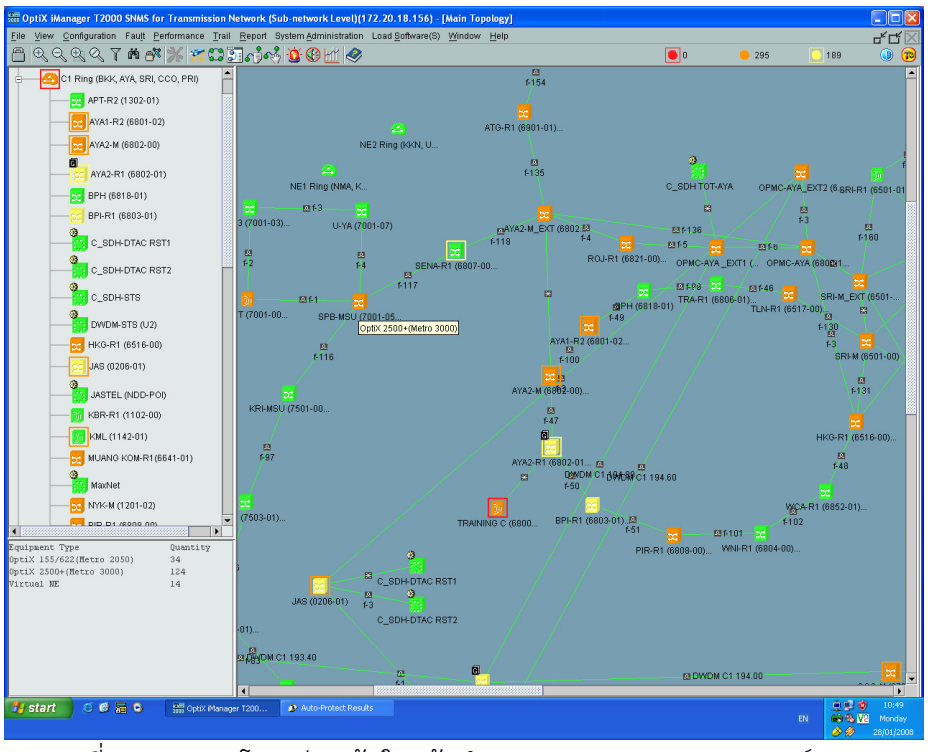
ตัวอย่างของการนำโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้งานในการให้บริการระบบอินเตอร์เน็ตสำหรับผู้ใช้บริการที่มีสำนักงานใหญ่และสาขาย่อย ๆ ตามเขตเศรษฐกิจที่อยู่ห่างกัน โดยใช้การเชื่อมต่อผ่านโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงที่กระจายไปอย่างกว้างขวางครอบคลุมพื้นที่เศรษฐกิจตามภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ ซึ่งการให้บริการแบบนี้จะเป็นการให้บริการแบบเฉพาะราย ที่จะมีค่าบริการรายเดือนที่ค่อนข้างสูง แสดงได้ดังรูปที่ 6.38



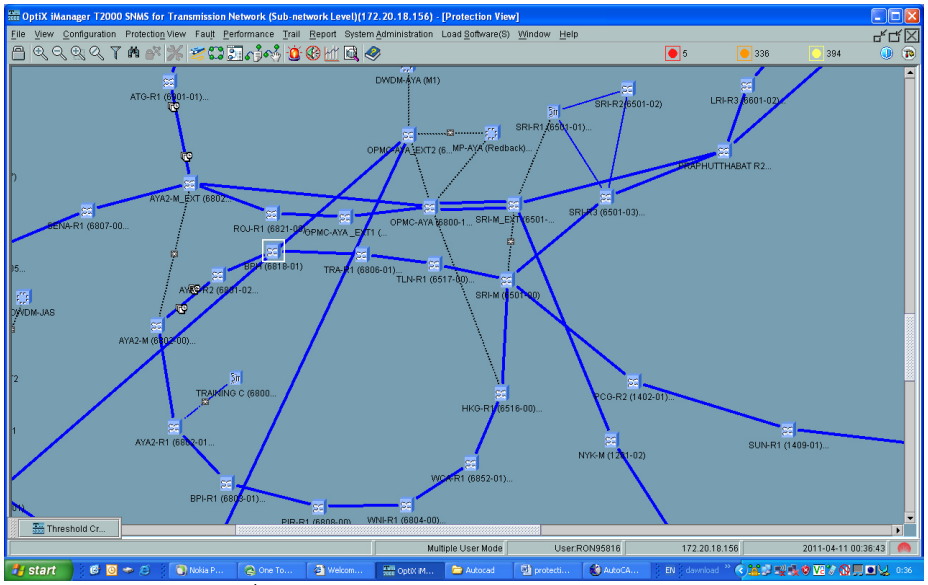
รูปที่ 6.38 การให้บริการระบบอินเตอร์เน็ตผ่านโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 6.39 ระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงแบบวงแหวนของอุปกรณ์ Metronet



รูปที่ 6.40 ระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงแบบวงแหวนของอุปกรณ์ SDH



รูปที่ 6.41 การ Protection ของอุปกรณ์ SDH

โดยการวางโครงข่ายของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะพยายามออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ได้ทุกโหนดให้เป็นแบบวงแหวน (Ring) แสดงได้ตามรูปที่ 6.39-6.40 เพื่อที่จะได้เปิดฟังก์ชันการทำงานของโหมดป้องกัน (Protection) ให้กับข้อมูลซึ่งจะเป็นได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบไม่

อัตโนมัติก็ตาม แสดงได้ตามรูปที่ 6.41 เพื่อช่วยลดระยะเวลาของการที่ผู้รับบริการจะไม่สามารถใช้งานได้ให้น้อยที่สุดหรือไม่มีผลกระทบใด ๆ เลย หากเกิดอุบัติเหตุใด ๆ ขึ้นกับสายไฟเบอร์ออปติกที่เดินสายมาบนเสาไฟฟ้าตามแนวของถนนต่าง ๆ เช่น กรณีรถชนเสาไฟฟ้าหักโค่น รถบรรทุกเกี่ยวสายไฟฟ้าและสายไฟเบอร์ออปติก ไฟไหม้ป่าหญ้าข้างถนน เป็นต้น

6.6 สรุป

จากการสื่อสารด้วยสายนำสัญญาณที่มีโครงสร้างจากวัสดุทองแดงหรือการสื่อสารไร้สายนั้นจะไม่สามารถส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มากได้ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการรับส่งข้อมูลขนาดมหาศาลตามการขยายตัวของผู้ใช้งานในปัจจุบันและอนาคตได้ สายใยแก้วนำแสงหรือเส้นใยแก้วนำแสงจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อรองรับต่อการขยายตัวอย่างรวดเร็วในการสื่อสารข้อมูล ด้วยโครงสร้างที่ทำจากเส้นใยแก้วบริสุทธิ์ที่มีขนาดเล็กมากในระดับไมโครเมตร ทำให้มีน้ำหนักเบา และจากการพัฒนาทางด้านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ทำให้การใช้งานมีความสามารถรองรับการรับส่งข้อมูลขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี มีความปลอดภัยของข้อมูลที่สูงมาก ซึ่งเป็นข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงทำให้การพัฒนาอุปกรณ์ต่อร่วมหรือแม้แต่อุปกรณ์ที่ต้องใช้เชื่อมต่อกันด้วยเส้นใยแก้วนำแสงก็ได้มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด ด้วยการใช้เป็นสื่อกลางของอุปกรณ์หลักทางด้านการสื่อสารในระดับประเทศและทั่วโลก ทำให้มีราคาที่ลดต่ำลงอย่างมาก ส่งผลให้การขยายตัวในการนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้รองรับเทคโนโลยีสมัยใหม่เป็นไปอย่างกว้างขวางในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ โดยเฉพาะการใช้งานทางด้านอินเตอร์เน็ตที่กลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6

ข้อ 1 จงบอกถึงนิยามของเส้นใยแก้วนำแสง
ข้อ 2 จงเขียนลักษณะโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง
ข้อ 3 จงบอกถึงข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับสายทองแดง
ข้อ 4 จงอธิบายถึงลักษณะของการรับส่งสัญญาณทางแสงในเส้นใยแก้วนำแสง
ข้อ 5 จงระบุถึงการกำหนดสีตามลำดับในเส้นใยแก้วนำแสง
ข้อ 6 จงอธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ต่อร่วมกับเส้นใยแก้วนำแสง
ข้อ 7 จงบอกถึงข้อแตกต่างของระบบ SDH กับ PDH
ข้อ 8 จงอธิบายถึงโครงสร้างการทำงานของระบบ DWDM
ข้อ 9 จงอธิบายเกี่ยวกับระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง
ข้อ 10 จงอธิบายเกี่ยวกับการนำเส้นใยแก้วนำแสงไปประยุกต์ใช้งาน

บรรณานุกรม

1. ปรีชา ยุพาพิน, วิศวกรรมใยแก้วนำแสง, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท, 2543.

2. ปรีชา ยุพาพิน, เครือข่ายใยแก้วนำแสง, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท, 2541.

3. สมบูรณ์ ธีรวิสิฐพงศ์, การสื่อสารใยแก้วนำแสง, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น, 2555.

4. เส้นใยแก้วนำแสง [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.hstn.co.th/เส้นใยแก้วนำแสง, 11 พฤศจิกายน 2565.

5. วิทวัส สิฏฐกุล, การสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2563.

6. การสื่อสารโดยอาศัยแสง [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://pubhtml5.com/tpsl/imqw/basic/, 11 พฤศจิกายน 2565.

7. ปรีชา กอเจริญ, หลักการสื่อสารและโทรคมนาคม, พิมพ์ครั้งที่ 1: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม แอนด์ เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์, 2557.

8. ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, สู่โลกไฟฟ้าสื่อสาร, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2555.

บทที่ 7
เครือข่ายเทคโนโลยีระบบอินเตอร์เน็ต

อินเตอร์เน็ตได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ที่มีการติดต่อสื่อสารด้วยข้อมูลจำนวนมากอย่างกว้างขวางไปทั่วโลกจนเกิดเป็นระบบโครงข่ายขนาดใหญ่ ในบทนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ต โดยจะเริ่มตั้งแต่พื้นฐานของการสื่อสาร ลักษณะการเชื่อมต่อเพื่อส่งผ่านข้อมูล ระบบเครือข่ายหรือโครงข่ายรวมถึงอุปกรณ์ต่อร่วมต่าง ๆ ด้วย

7.1 ระบบการสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูลหมายถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือข่าวสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารซึ่งกันและกัน โดยผ่านสื่อกลางในการโอนถ่ายข้อมูลข่าวสารนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ผ่านสายเคเบิ้ลหรือผ่านอากาศ เป็นต้น ในการส่งข้อมูลข่าวสารระหว่างกันได้นั้นจะต้องอาศัยอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่มีคุณสมบัติพื้นฐานคือ

1. สามารถส่งข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำ
2. สามารถรักษาความถูกต้องของข้อมูลข่าวสาร
3. สามารถรักษาเวลาในการเดินทางของข้อมูลได้อย่างเหมาะสม

โดยในการสื่อสารข้อมูลนั้นจะต้องมีองค์ประกอบของการสื่อสารข้อมูลที่ครบถ้วน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.1 และสามารถเขียนได้ 5 ส่วนดังนี้

รูปที่ 7.1 องค์ประกอบของการสื่อสารข้อมูล

1. ตัวส่ง (Sender) จะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลข่าวสารหรือเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ต้นทางในการส่งข้อมูลข่าวสาร

2. ข้อมูลข่าวสาร (Message หรือ Information) จะหมายถึงสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งเข้าไปยังระบบสื่อสารนั้น ๆ ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

2.1 ประเภทข้อความ (Text) จะถูกใช้แทนตัวอักษรหรืออักขระต่าง ๆ ซึ่งจะแทนด้วยรหัสต่าง ๆ เช่น รหัสแอสกี เป็นต้น

2.2 ประเภทตัวเลข (Number) จะถูกใช้แทนตัวเลขต่าง ๆ ซึ่งตัวเลขนั้นจะถูกแปลงเปลี่ยนเป็นเลขฐานสองต่อไป

2.3 ประเภทรูปภาพ (Images) โดยที่ข้อมูลของรูปภาพนั้นจะถูกแทนที่ด้วยจุดสีวางเรียงกันไปตามแนวขนาดของรูปภาพนั้น ๆ

2.4 ประเภทเสียง (Audio) ซึ่งข้อมูลเสียงนั้นจะเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องกันไปตลอด

2.5 ประเภทวิดีโอ (Video) จะเป็นการแสดงภาพเคลื่อนไหวต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากการนำรูปภาพหลาย ๆ รูป มาต่อซ้อนรวมกัน

3. สื่อกลาง (Media) จะใช้เป็นเส้นทางผ่านของข้อมูลข่าวสารเพื่อนำข้อมูลข่าวสารจากต้นทางไปยังปลายทาง สื่อกลางนี้สามารถเป็นได้จากประเภทที่ผ่านไปในสายนำสัญญาณหรือจะเป็นการส่งผ่านทางอากาศก็ได้

4. โปรโตคอล (Protocol) หมายถึงวิธีการหรือข้อกำหนดที่จะทำให้ผู้ส่งและผู้รับสามารถเข้าใจกันได้หรือคุยกันได้อย่างรู้เรื่อง ซึ่งเป็นการตกลงกันไว้ก่อนล่วงหน้าแล้ว ตัวอย่างการใช้โปรโตคอลในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้แก่ X.25 และ TCP/IP เป็นต้น

5. ตัวรับ (Receiver) จะเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ปลายทางของการส่งข้อมูลข่าวสาร โดยจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูลข่าวสารที่ส่งมาแล้วส่งต่อไปยังจอแสดงผล เครื่องรับโทรทัศน์หรือเครื่องพิมพ์เป็นต้น

7.2 คุณสมบัติของสายสัญญาณอินเตอร์เน็ต

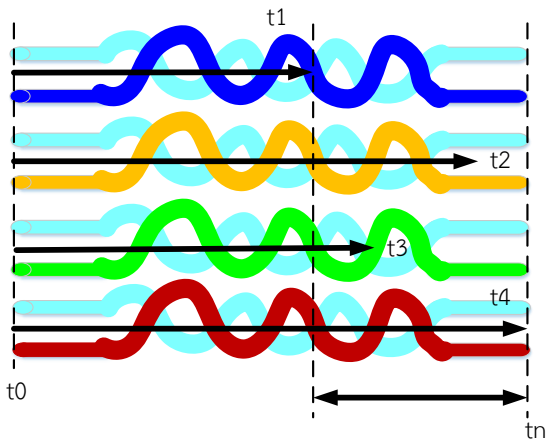
การสื่อสารในปัจจุบันมีความสะดวกสบายมากกว่าในอดีตเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะระบบอินเตอร์เน็ตที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันทั้งโดยส่วนบุคคล ภาคธุรกิจ และหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งระบบอินเตอร์เน็ตได้พัฒนาอย่างต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบัน หากเราย้อนกลับไปในช่วงที่ระบบอินเตอร์เน็ตยังคงเชื่อมต่อกันด้วยสาย LAN ก็จะพบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับสาย LAN ไว้อย่างมากมาย ในส่วนนี้จะนำมากล่าวถึงเฉพาะคุณสมบัติทางไฟฟ้า การต่อใช้งานและการนำไปใช้งานเบื้องต้น

7.2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

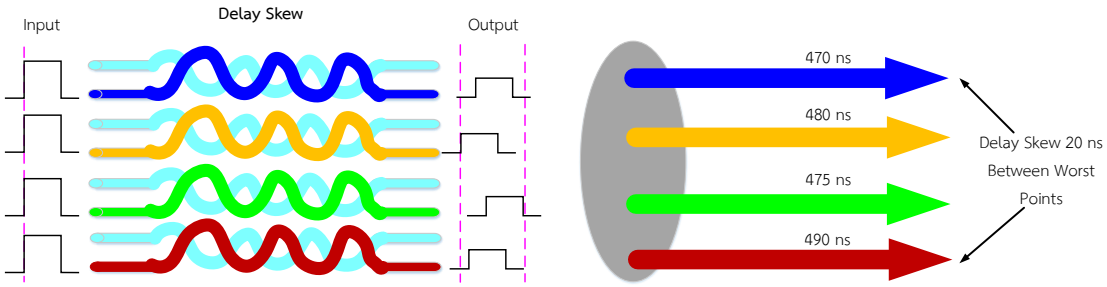
7.2.1.1 การหน่วงเวลา (Propagation Delay) เป็นค่าเวลาที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลที่ส่งสัญญาณจากต้นทางไปยังปลายทางของสายแต่ละคู่สาย มีหน่วยเป็นนาโนเซคั่น (Nanosecond: ns) โดยไม่ควรมีค่าเวลาเกินกว่า 555 ns แสดงได้ดังรูปที่ 7.2

จากรูป 7.2 จะเห็นว่าคู่สายขาวน้ำเงินมีเวลาในการรับส่งสัญญาณเร็วที่สุดคือ 470 ns รองลงมาคือคู่สายขาวเขียวที่เวลา 475 ns ถัดลงมาคือคู่สายขาวส้มที่เวลา 480 ns และช้าที่สุดคือคู่สายขาวน้ำตาลที่เวลา 490 ns โดยทุกคู่สายมีเวลาไม่เกิน 555 ns ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

7.2.1.2 ค่าความล่าช้า (Delay Skew) คือค่าความล่าช้าจากการนับเวลาของสัญญาณที่ถูกส่งมาจากต้นทางไปถึงยังปลายทางของสายแต่ละคู่ (ใช้สาย UTP ปกติ 4 คู่สาย) โดยเวลาที่เกิดขึ้นในการสื่อสารของแต่ละคู่สายจะต้องไม่ต่างกันเกินกว่า 50 ns (เวลาของคู่สายที่เร็วที่สุดลบคู่สายที่ช้าที่สุด) ซึ่งหากมีเวลาที่เกินกว่าที่กำหนดนี้อาจส่งผลให้การติดต่อสื่อสารระหว่างต้นทางกับปลายทางผิดพลาดได้ ตัวอย่างเวลาในการส่งสัญญาณในคู่สาย แสดงได้ดังรูปที่ 7.3

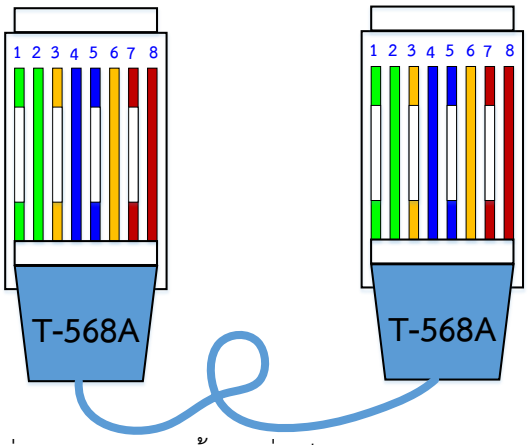


รูปที่ 7.2 ตัวอย่างเวลาทั้งหมดในการส่งสัญญาณในคู่สาย



รูปที่ 7.3 ตัวอย่างเวลาที่แตกต่างกันในการส่งสัญญาณในคู่สาย

จากรูป 7.3 จะเห็นว่าคู่สายขาวน้ำเงินมีเวลาในการรับส่งสัญญาณเร็วที่สุดคือ 470 ns รองลงมาคือคู่สายขาวเขียวที่เวลา 475 ns ถัดลงมาคือคู่สายขาวส้มที่เวลา 480 ns และช้าที่สุดคือคู่สายขาวน้ำตาลที่เวลา 490 ns โดยมีเวลาต่างกันมากสุดคือ 20 ns ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้



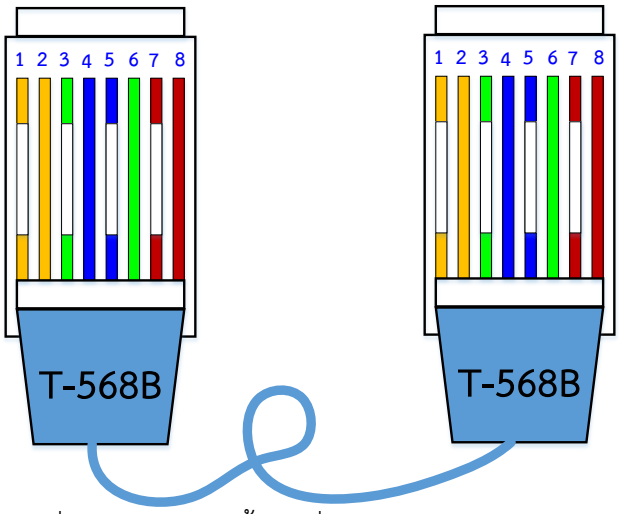
รูปที่ 7.4 การเข้าหัวทั้งสองฝั่งเป็นแบบ TIA/EIA 568A

7.2.2 การต่อใช้งานด้วยสาย LAN มาตรฐาน CCNA

7.2.2.1 การเข้าหัว LAN สำหรับทำสายตรง (Straight-Through Cable) แบบที่ 1 การเข้าหัวทั้งสองฝั่งเป็นแบบ TIA/EIA 568A แสดงได้ดังรูปที่ 7.4

จากรูป 7.4 จะเห็นว่าเมื่อทำการหงายหัวต่อชนิด RJ45 ขึ้นมาทั้งสองด้าน ซึ่งจะมีช่องใส่สายได้ 8 ช่องเท่ากับจำนวนของสาย 4 คู่พอดี โดยเรียงสีจากซ้ายมาขวา (1-8) จะใส่สายตามสีดังนี้ ขาวเขียว เขียว ขาวส้ม น้ำเงิน ขาวน้ำเงิน ส้ม ขาวน้ำตาล และน้ำตาล แล้วทำการบีบด้วยคีมย้ำหัวทั้งสองด้าน ก็จะได้สาย LAN แบบที่ 1 ที่สมบูรณ์ไว้ใช้งาน

7.2.2.2 การเข้าหัว LAN สำหรับทำสายตรง (Straight-Through Cable) แบบที่ 2 การเข้าหัวทั้งสองฝั่งเป็นแบบ TIA/EIA 568B แสดงได้ดังรูปที่ 7.5

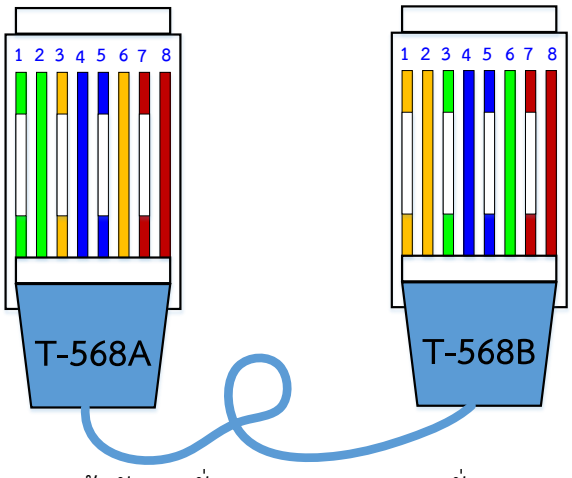


รูปที่ 7.5 การเข้าหัวทั้งสองฝั่งเป็นแบบ TIA/EIA 568B

จากรูป 7.5 จะเห็นว่าเมื่อทำการหงายหัวต่อชนิด RJ45 ขึ้นมาทั้งสองด้าน ซึ่งจะเรียงสีจากซ้ายมาขวา (1-8) จะใส่สายตามสีดังนี้ ขาวส้ม ส้ม ขาวเขียว น้ำเงิน ขาวน้ำเงิน เขียว ขาวน้ำตาล และน้ำตาล แล้วทำการบีบด้วยคีมย้ำหัวทั้งสองด้าน ก็จะได้สาย LAN แบบที่ 2 ที่สมบูรณ์ไว้ใช้งาน

7.2.2.3 การเข้าหัว LAN สำหรับการทำสายครอส (Crossover Cable) โดยการเข้าหัวด้านหนึ่งเป็นแบบ TIA/EIA 568A และอีกด้านหนึ่งเป็นแบบ TIA/EIA 568B แสดงได้ดังรูปที่ 7.6

จากรูป 7.6 จะเห็นว่าเมื่อทำการหงายหัวต่อชนิด RJ45 ขึ้นมาทั้งสองด้าน ด้านทางซ้ายมือจะเรียงสีจากซ้ายมาขวา (1-8) จะใส่สายตามสีดังนี้ ขาวเขียว เขียว ขาวส้ม น้ำเงิน ขาวน้ำเงิน ส้ม ขาวน้ำตาล และน้ำตาล ส่วนทางด้านขวามือจะใส่สายตามสีดังนี้ ขาวส้ม ส้ม ขาวเขียว น้ำเงิน ขาวน้ำเงิน เขียว ขาวน้ำตาล และน้ำตาล แล้วทำการบีบด้วยคีมย้ำหัวทั้งสองด้าน ก็จะได้สาย LAN แบบสายครอสที่สมบูรณ์ไว้ใช้งาน



รูปที่ 7.6 การเข้าหัวแบบฝั่ง TIA/EIA 568A และฝั่ง TIA/EIA 568B

การเข้าหัวของสาย LAN ไม่ตรงตามตามมาตรฐาน จะให้ผลลัพธ์คือจะยังสามารถใช้งานได้ตามปกติแต่ถ้าต้องการต่อเข้ากับ Interface LAN ที่เป็นแบบ 100 Mbps ทั้งสองฝั่งจะทำให้ได้ช่องการใช้งานเหลือแค่ 10 Mbps โดยที่ Card LAN จะทำการปรับลดระดับตัวเองให้เหลือเพียง 10 Mbps แบบอัตโนมัติ

โดยสาย LAN จะมีสายทองแดงข้างในทั้งหมด 8 เส้น (4 คู่) โดยแต่ละคู่จะมีการพันกันเป็นเกลียวตลอดความยาวสาย (Twisted Pair) ซึ่งสายแต่ละคู่จำเป็นต้องพันกันเป็นเกลียวเพื่อป้องกันไม่ให้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสสัญญาณมากวนกันเอง (พันกันเป็นเกลียวเพื่อทำให้สนามแม่เหล็กหักล้างกันเอง ไม่มารบกวนซึ่งกันและกัน) การเข้าหัวของสาย LAN ไม่ตรงตามตามมาตรฐานจะทำให้การหักล้างกันของสนามแม่เหล็กไม่สมบูรณ์ จนกลายเป็นสัญญาณที่จะเข้ามารบกวนซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดการสูญเสียภายในสายจนทำให้ Card LAN ต้องทำการปรับ Speed ของสัญญาณลงจาก 100 Mbps เหลือแค่เพียง 10 Mbps แบบอัตโนมัติเพื่อไม่ให้กระทบต่อการใช้งาน

7.3 ไอพีแอดเดรส

7.3.1 ไอพีแอดเดรส (IP Address หรือ Internet Protocal Address) จะเป็นหมายเลขประจำเครื่องของคอมพิวเตอร์ในแต่ละเครื่องที่อยู่ภายในระบบเครือข่ายที่มีการใช้โปรโตคอลที่เป็นแบบ TCP/IP เช่น 192.168.1.1 หรือ 172.20.100.1 เป็นต้น

7.3.2 ไอพีวีโฟร์ (IPv4) จะประกอบด้วยจำนวนของเลขฐานสอง 32 bits (32 bits = 4 bytes โดยที่ 8 bits = 1 byte) แบ่งเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 bits โดยในแต่ละกลุ่มนั้นจะแบ่งออกด้วยเครื่องหมายจุด . (Dot)

กรณีตัวเลขน้อยที่สุด ตัวเลขจะเป็น เลข 0 ทั้งหมด

00000000 . 00000000 . 00000000 . 00000000

กรณีตัวเลขมากที่สุด ตัวเลขจะเป็น เลข 1 ทั้งหมด

11111111 . 11111111 . 11111111 . 11111111

เมื่อแปลงเลขฐานสองให้เป็นเลขฐาน 10 นั้นจะทำได้โดย

กรณีตัวเลขน้อยที่สุด ตัวเลขจะเป็น เลข 0 ทั้งหมด 0.0.0.0

กรณีตัวเลขมากที่สุด ตัวเลขจะเป็น เลข 1 ทั้งหมด 255.255.255.255

ดังนั้น IPv4 จะมีตัวเลขที่เป็นไปได้ ตั้งแต่ 0.0.0.0 – 255.255.255.255 โดยมีเลขประจำหลักดังนี้

1	1	1	1	1	1	1	1
2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
128	64	32	16	8	4	2	1
128	192	224	240	248	252	254	255

IPv4 จะมีตัวเลขทั้งหมดที่เป็นไปได้ตั้งแต่ 0.0.0.0 - 255.255.255.255 โดยจะสามารถแบ่ง IPv4 ออกเป็น 5 Class โดยวิธีการแบ่ง Class จะกำหนดจาก byte ที่ 1 ซึ่งจะได้ IP ในแต่ละ Class ดังนี้

Class A จะเริ่มตั้งแต่ 0.0.0.0 ถึง 127.255.255.255
Class B จะเริ่มตั้งแต่ 128.0.0.0 ถึง 191.255.255.255
Class C จะเริ่มตั้งแต่ 192.0.0.0 ถึง 223.255.255.255
Class D จะเริ่มตั้งแต่ 224.0.0.0 ถึง 239.255.255.255
Class E จะเริ่มตั้งแต่ 240.0.0.0 ถึง 255.255.255.255

Rule	Minimums and Maximums	Decimal Range
Class A: First bit is always 0	00000000 = 0 01111111 = 127	1-126 0 and 127 are reserved
Class B: First two bits are always 10	10000000 = 128 10111111 = 191	128-191
Class C: First three bits are always 110	11000000 = 192 11011111 = 223	192-223
Class D: First four bits are always 1110	11100000 = 224 11101111 = 239	224-239
Class E: First four bits are always 1111	11110000 = 240 11111111 = 255	224-255

IP ที่สามารถนำไปใช้ให้กับอุปกรณ์หรือ Host ได้จะมีอยู่แค่ 3 Class ได้แก่ Class A, B และ C สำหรับ IP Class D จะขอสงวนไว้ใช้ในงานด้าน Multicast Applications และ IP Class E จะยังคงสงวนไว้สำหรับงานวิจัยในอนาคต

โดยในส่วนของ Subnet Mask ตามเลขต่าง ๆ นั้นจะมีได้ตามค่า Default ของ IP Class ต่าง ๆ ดังนี้

Class A = Mask 8 bits = 255.0.0.0

Class B = Mask 16 bits = 255.255.0.0

Class C = Mask 24 bits = 255.255.255.0

สำหรับวิธีในการหาค่า Subnet Mask สามารถหาได้โดย

/30 หมายถึง Mask 30 bits แรก

/20 หมายถึง Mask 20 bits แรก

/30 11111111.11111111.11111111.111111/00 = 255.255.255.252

/24 11111111.11111111.1111111.00000000 = 255.255.255.0

ในส่วนของ Network IP และ Broadcast IP สามารถหาค่าได้โดยดูจากตัวอย่าง 192.168.22.50/30 ซึ่งจะหมายถึงการนำตัวเลข 30 ในเลขฐาน 10 มาเขียนแทนด้วยเลข 1 ได้ 30 ตัว แล้วแปลงเป็นเลขฐานสอง ได้ดังนี้

/30 11111111 . 11111111 . 11111111 . 111111/00 = 255.255.255.252

โดยเลข 2 ตำแหน่งสุดท้ายจะเป็นเลข 00 แล้วทำการแปลงค่าที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปได้มากที่สุด จาก 00 ไปถึง 11 โดยเริ่มจาก 00==>01==>10==>11

00 ตัวที่ 1

01 ตัวที่ 2

10 ตัวที่ 3

11 ตัวที่ 4

จำนวน IP ต่อ Subnet เมื่อ Subnet Mask คือ 255.255.255.252 คือ 4 ตัว

โดย /30 จำนวน IP ในแต่ละ Subnet ที่จะเป็นไปได้ดูเฉพาะกลุ่มสุดท้ายคือ 0-3, 4-7, 8-11, _ _ _ , 252-255 หรือเขียนในรูป IPv4 จะได้

192.168.22.0 - 192.168.22.3

192.168.22.4 - 192.168.22.7

192.168.22.8 - 192.168.22.11

.....

192.168.22.48 - 192.168.22.51

.....

192.168.22.252 - 192.168.22.255

โดย IP Address ตัวแรกของแต่ละ Subnet จะเรียกว่า Network IP และ IP Address ตัวสุดท้ายของแต่ละ Subnet จะเรียกว่า Broadcast IP ดังนั้น 192.168.22.50/30 จะมี

Network IP คือ 192.168.22.48

Broadcast IP คือ 192.168.22.51

Range Hosts IP คือ 192.168.22.49 - 192.168.22.50

และมีจำนวน Subnet จากค่า Subnet Mask เป็นได้คือการนำจำนวนของเลข 1 ในชุดของ Byte สุดท้ายมาคำนวณได้ดังนี้

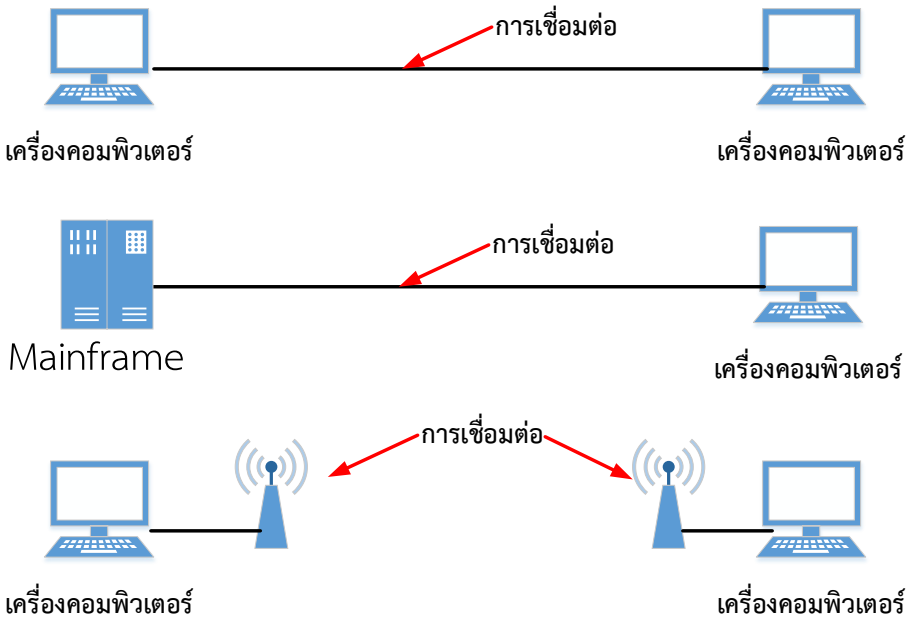
/30 11111111.11111111.11111111.111111/00

ดังนั้นจำนวน Subnet = $2^n = 2^6 = 64$

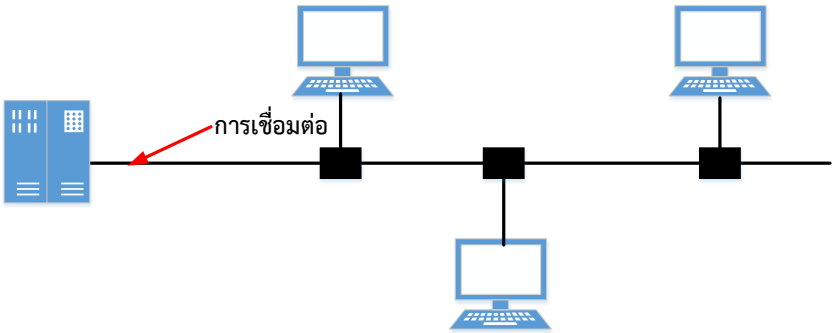
7.4 เครือข่ายและแบบจำลองของเครือข่าย

เครือข่ายหรือโครงข่าย (Network) จะหมายถึงคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสารชนิดต่าง ๆ ที่นำมาเชื่อมโยงหรือเชื่อมต่อเข้าหากันเพื่อวัตถุประสงค์ในการติดต่อสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสาร และการเข้าถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ร่วมกันในเครือข่ายได้ เช่น เครือข่ายคอมพิวเตอร์ เครือข่ายโทรศัพท์ เครือข่ายวิทยุ หรือเครือข่ายดาวเทียม โดยใช้การติดต่อสื่อสารกันผ่านช่องสัญญาณ ซึ่งการเชื่อมโยงในช่วงแรก ๆ จะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

7.4.1 แบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) เป็นวิธีการเชื่อมโยงข้อมูลของอุปกรณ์ 2 อุปกรณ์ ซึ่งจะมีเส้นทางเพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น เช่น ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะกับเครื่องแต่ละเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะด้วยกัน โดยใช้สายเพียง 1 เส้นต่อเชื่อมโยงเข้าหากัน หรือคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะเชื่อมต่อกับเครื่องเมนเฟรมด้วยสาย 1 เส้น หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง ที่อยู่ห่างไกลกันและติดต่อสื่อสารข้อมูลกันผ่านคลื่นไมโครเวฟ แสดงได้ดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 การเชื่อมโยงแบบจุดต่อจุด

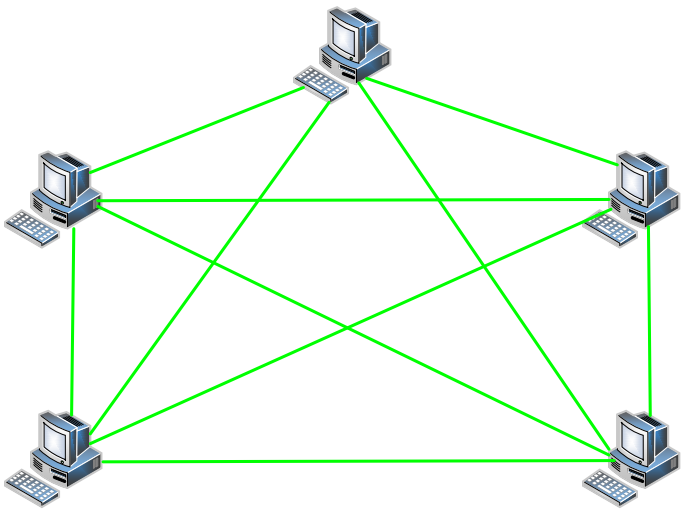


รูปที่ 7.8 การเชื่อมโยงแบบหลายจุด

7.4.2 แบบหลายจุด (Multidrop Line) หรือแบบบัส (Bus) เป็นวิธีการเชื่อมโยงข้อมูลของอุปกรณ์ หลาย ๆ อุปกรณ์ โดยการใช้สายร่วมกันเพียงเส้นเดียว เช่น ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะหลาย ๆ เครื่องกับเครื่องเมนเฟรมด้วยสาย 1 เส้น แสดงได้ดังรูปที่ 7.8

โดยการเชื่อมต่อหรือเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ ในช่วงแรก ๆ นี้ จะมีข้อจำกัดในการขยายเครือข่ายหรือจำนวนของอุปกรณ์และหากเกิดกรณีที่สายขาดก็จะทำให้ไม่สามารถรับส่งข้อมูลกันได้ ทำให้มีการพัฒนาปรับปรุงวิธีการเชื่อมโยงโครงข่ายออกมาอีกหลายรูปแบบ ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างเพียง 3 แบบ ดังนี้

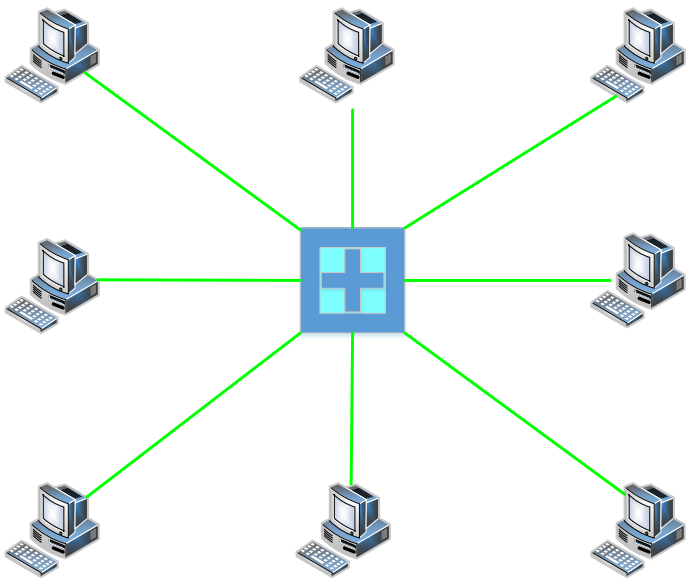
7.4.2.1 แบบเมช (Mesh) จะเป็นวิธีการเชื่อมโยงข้อมูลของอุปกรณ์หลาย ๆ อุปกรณ์ โดยการใช้สายเท่ากับจำนวนของอุปกรณ์ที่ต้องเชื่อมต่อกับทุกอุปกรณ์ เช่น ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะจำนวน 5 เครื่องเข้าด้วยกัน จะต้องใช้สายจำนวน 4 เส้นต่อ 1 จุด แสดงได้ดังรูปที่ 7.9 ซึ่งการต่อลักษณะนี้จะมีความสิ้นเปลืองสายเป็นจำนวนมากแต่ก็จะสามารถลดปัญหาได้อย่างดีที่สุดจากกรณีที่เกิดสายใดสายหนึ่งขาด



รูปที่ 7.9 การเชื่อมโยงแบบเมช

7.4.2.2 แบบสตาร์ (Star) จะเป็นวิธีการเชื่อมโยงข้อมูลของอุปกรณ์หลาย ๆ อุปกรณ์ โดยการเชื่อมโยงเข้ามาที่อุปกรณ์ตัวกลางก่อนและใช้สายเพียง 1 เส้นจากอุปกรณ์ปลายทาง เช่น ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะจำนวน 8 เครื่องเข้าด้วยกันโดยเชื่อมต่อเข้ามาที่เร้าเตอร์ร่วมกันก่อน แสดงได้ดังรูปที่ 7.10 ซึ่งการต่อลักษณะนี้จะลดความสิ้นเปลืองของสายต่อลงได้ และหากเกิดกรณีที่เกิดสายใดสายหนึ่งขาดก็จะไม่กระทบกับอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ

7.4.2.3 แบบริง (Ring) จะเป็นวิธีการเชื่อมโยงข้อมูลของอุปกรณ์หลาย ๆ อุปกรณ์ โดยการเชื่อมโยงเข้ากับอุปกรณ์ที่อยู่ด้านข้างทั้งซ้ายและขวาต่อกันไปเรื่อย ๆ จนวนกลับมาครบทุกอุปกรณ์ในลักษณะคล้ายรูปวงแหวนและใช้สายเพียง 1 เส้นระหว่างการเชื่อมต่อ 2 จุดของอุปกรณ์กับอุปกรณ์ เช่น ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะจำนวน 8 เครื่องเข้าด้วยกันโดยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่ด้านซ้ายและขวาต่อกันไปเรื่อย ๆ จนครบทุกอุปกรณ์ แสดงได้ดังรูปที่ 7.11 ซึ่งการต่อลักษณะนี้จะลดความสิ้นเปลืองของสายต่อลงได้และหากเกิดกรณีที่เกิดสายใดสายหนึ่งขาดก็จะไม่กระทบกับอุปกรณ์แม้แต่ตัวเดียวเลย

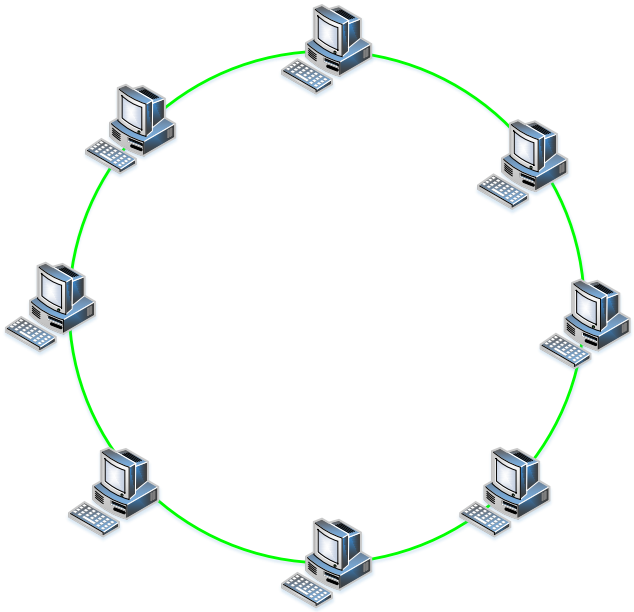


รูปที่ 7.10 การเชื่อมโยงแบบสตาร์

โดยที่ระบบเครือข่ายจะเป็นการเชื่อมต่อของการทำงานที่ซับซ้อน โดยเพื่อให้เข้าใจการทำงานต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้นจึงใช้การสร้างแบบจำลองในลักษณะเป็นลำดับชั้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแบบจำลองโอเอสไอ (OSI Model) และแบบจำลองอินเตอร์เน็ต (Internet Model) แสดงได้ดังรูปที่ 7.12

7.4.3 แบบจำลองโอเอสไอ (Open Systems Interconnection: OSI) จะเป็นรูปแบบมาตรฐานของการสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ โดยคำว่า Open Systems จะหมายถึงระบบที่ยินยอมให้อุปกรณ์ที่มีรูปแบบทางสถาปัตยกรรมระบบที่แตกต่างกันสามารถทำการสื่อสารกันได้อย่าง

อิสระ ด้วยมาตรฐานการสื่อสารที่เป็นสากล โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงวิธีการใด ๆ ของอุปกรณ์ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์



รูปที่ 7.11 การเชื่อมโยงแบบริง

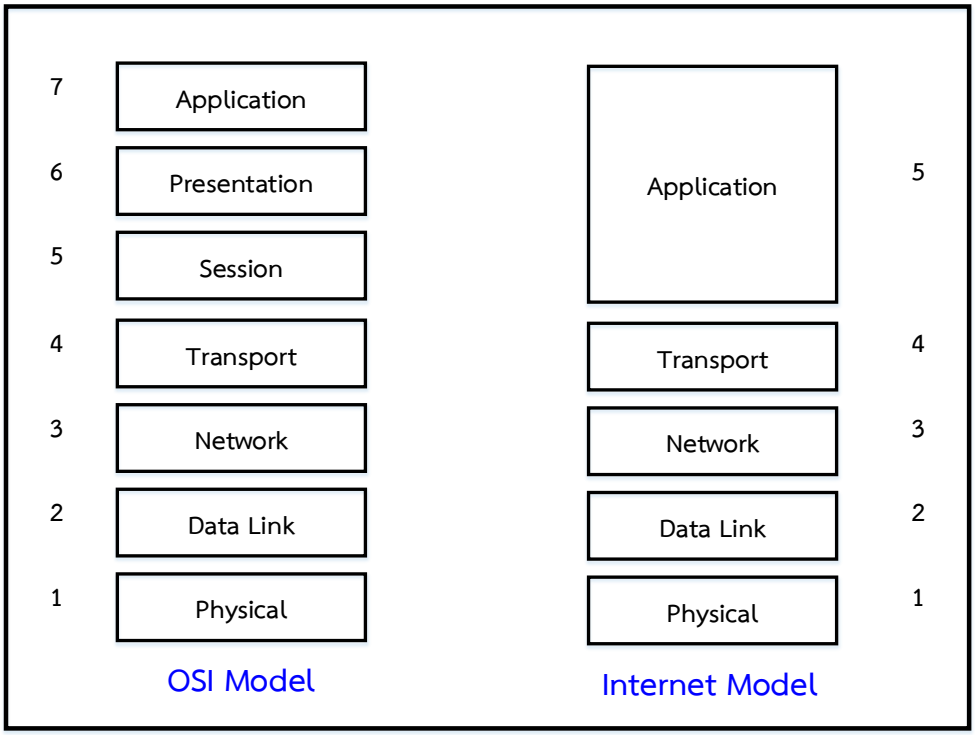
แบบจำลอง OSI มีการแบ่งการทำงานออกเป็นชั้นการสื่อสารที่เรียกว่าเลเยอร์ (Layer) ซึ่งในแต่ละเลเยอร์นั้นก็จะกำหนดชื่อเรียกและมีฟังก์ชันหน้าที่การทำงานในแต่ละเลเยอร์นั้น โดยจะมีทั้งหมด 7 ชั้น ดังนี้

1. ชั้นสื่อสารฟิสิคอล (Physical Layer) ซึ่งเป็นชั้นแรกที่อยู่ล่างสุดจะทำหน้าที่ประสานงานในเรื่องของการส่งกระแสบิต (Bit Stream) ของสื่อกลางที่มีความสัมพันธ์กับข้อกำหนดทางกลไกและทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่อกันและการส่งข้อมูล และข้อกำหนดด้านฟังก์ชันการทำงานกับขั้นตอนการทำงานจากอุปกรณ์ที่จะนำมาเชื่อมต่อเพื่อการส่งข้อมูล

2. ชั้นสื่อสารดาต้าลิงค์ (Data Link Layer) จะทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลในแบบ Hop-to-Hop ซึ่งจะถูกนำส่งในรูปแบบของเฟรม (Frame) ที่จัดส่งจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางภายในลิงค์เดียวกันเท่านั้น โดยจะมีกระบวนการตรวจจับและแก้ไขข้อผิดพลาดที่อาจมาจากชั้นฟิสิคอล เพื่อส่งต่อไปยังชั้นสื่อสารเน็ตเวิร์กได้อย่างถูกต้อง

3. ชั้นสื่อสารเน็ตเวิร์ก (Network Layer) จะทำหน้าที่เกี่ยวกับการส่งแพ็กเก็ตจากต้นทางไปยังปลายทางผ่านเครือข่ายหลาย ๆ เครือข่าย ซึ่งจะนำส่งกันเป็นแพ็กเก็ต (Packet) แต่ละแพ็กเก็ตจะถูกส่งไปยังปลายทาง โดยในระหว่างทางนั้นอาจมีเครือข่ายย่อยที่เชื่อมต่อกันอยู่อีกมากมาย และมีการส่งข้ามเครือข่ายต่างชนิดกันไปมาได้

4. ชั้นสื่อสารทรานสปอร์ต (Transport Layer) จะมีหน้าที่ในการส่งมอบข้อมูลในรูปแบบ Process-to-Process โดยที่โพรเซสจะหมายถึงโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งใช้งานอยู่บนเครื่องต้นทางและปลายทาง ซึ่งการส่งข้อมูลแบบ Source-to-Destination ในการส่งมอบข้อมูลระหว่างโพรเซสจากต้นทางไปยังปลายทางได้อย่างถูกต้อง



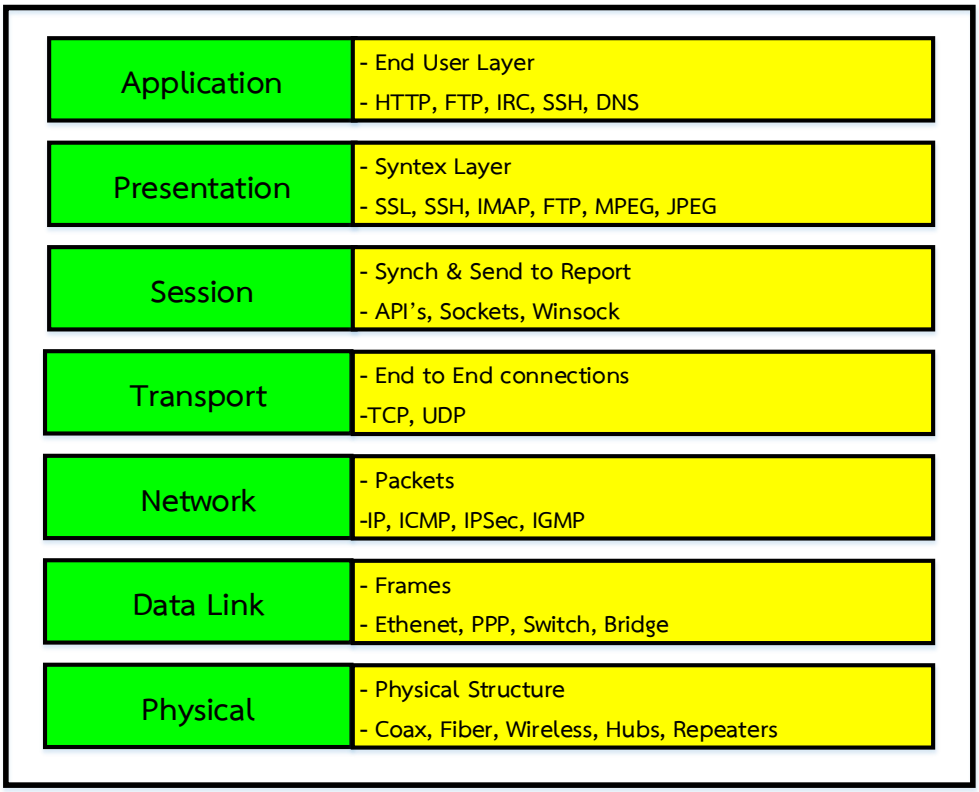
รูปที่ 7.12 แบบจำลองของเครือข่าย

5. ชั้นสื่อสารเซสชัน (Session Layer) จะทำหน้าที่ควบคุมการสื่อสารและการจัดการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารที่เกิดขึ้นระหว่างต้นทางและปลายทาง โดยการสื่อสารในช่วงเวลาใด ๆ นั้นจะเรียกว่า เซสชัน โดยในเซสชั่นหนึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ การล็อกอิน > การกรอกรหัสผ่าน > การใช้โฮสต์> การออกจากระบบ หรือเซสชั่นของการสนทนาที่ประกอบด้วยขั้นตอน การเริ่มสนทนา > การสนทนาเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล > การจบการสนทนา หลังจากนั้นจะส่งต่อไปยังชั้นสื่อสารทรานสปอร์ต

6. ชั้นสื่อสารพรีเซนเตชัน (Presentation Layer) จะทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลให้มีรูปแบบและความหมายที่ตรงกัน ซึ่งในระบบคอมพิวเตอร์แต่ละระดับนั้น อาจใช้รหัสแทนข้อมูลที่ไม่เหมือนกันได้ เช่น บนคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะก็จะใช้รหัส ACSII หรือ Unicode ส่วนที่คอมพิวเตอร์หลักก็จะใช้รหัส EBCDIC โดยในชั้นนี้ก็จะประสานให้ทั้งสองระบบที่ใช้รหัสที่ไม่เหมือนกันสามารถสื่อสารข้อมูลได้อย่างตรงกันและเกิดความเข้าใจกันทั้งสองเครื่อง

7. ชั้นสื่อสารแอปพลิเคชัน (Application Layer) จะทำหน้าที่ในการติดต่อกับผู้ใช้โดยจะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงเครือข่ายได้โดยจะมียูสเซอร์อินเตอร์เฟซเพื่อสนับสนุนงานบริการ

ต่าง ๆ เช่น การส่งอีเมลล์ การสื่อสารแบบระยะไกล การแบ่งปันฐานข้อมูลและการบริการด้านอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้ง 7 เลเยอร์นี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.13-7.14



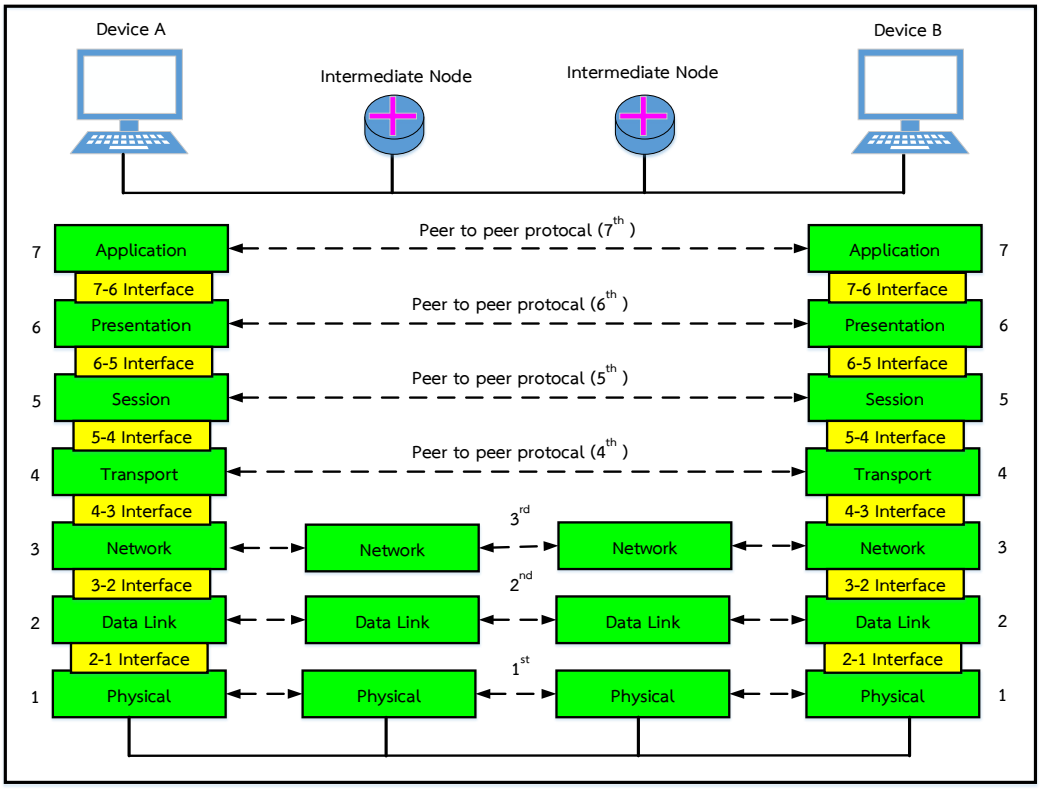
รูปที่ 7.13 เลเยอร์ของแบบจำลอง OSI

7.4.4 แบบจำลองอินเตอร์เน็ตหรือชุดโปรโตคอล TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) จะมีชั้นสื่อสารที่มีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกับแบบจำลอง OSI โดยที่แบบจำลองอินเตอร์เน็ตนั้นจะประกอบไปด้วย 5 ชั้นสื่อสาร ดังนี้

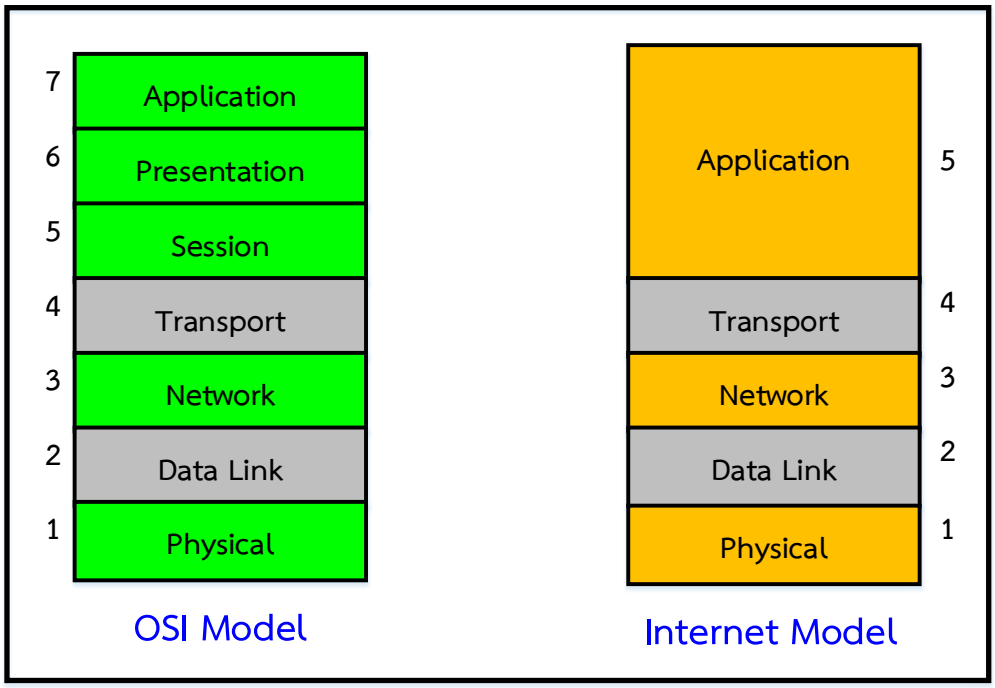
1. ชั้นสื่อสารฟิสิคอล (Physical Layer) จะเป็นการส่งข้อมูลขนาด Bit เข้าไปใน Frame ส่งไปยังโหนดที่มีการเชื่อมต่อกัน ซึ่งโปรโตคอลในชั้นนี้จะขึ้นอยู่กับสื่อกลางที่ใช้ในการเชื่อมต่อ เช่น การเชื่อมต่อแบบ Ethernet จะมีสื่อกลางที่เป็นสายเคเบิ้ล เช่น สาย UTP, Coaxial หรือเส้นใยแก้วนำแสง

2. ชั้นสื่อสารดาต้าลิงค์ (Data Link Layer) จะเป็นการส่งข้อมูลขนาด Frame จากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่งที่เชื่อมต่อติดกัน ซึ่งในแต่ละโหนด IP จะทำการส่งข้อมูลลักษณะ Datagram เพื่อ ส่งไปให้โหนดถัดไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ภายในลิงค์เดียวกันเท่านั้น

3. ชั้นสื่อสารอินเตอร์เน็ต (Internet Layer) จะทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางด้วยความถูกต้องโดยสามารถส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายกันได้ ซึ่งจะทำการส่งข้อมูลในรูปแบบของแพ็กเก็ต (Packet)



รูปที่ 7.14 การเชื่อมต่อทางอินเตอร์เฟซของแบบจำลอง OSI



รูปที่ 7.15 การเปรียบเทียบชั้นการทำงานของทั้ง 2 Model

4. ชั้นสื่อสารทรานสปอร์ต (Transport Layer) จะทำหน้าที่ส่งข้อความจาก Application Layer ที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่อง Client กับเครื่อง Server ของแอปพลิเคชัน โดยในชั้นนี้จะมีโปรโตคอลที่ใช้งานอยู่ 2 โปรโตคอลคือ TCP และ UDP ซึ่งมีหน้าที่ในการส่งข้อความเหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันตรงที่ TCP นั้นจะทำการส่งข้อความไปยังปลายทางโดยจะรับรองความถูกต้องครบถ้วนและตรงตามลำดับในการส่งด้วย ส่วน UDP นั้นจะทำการส่งข้อความไปให้ปลายทางเพียงอย่างเดียว จะไม่มีการรับรองข้อมูลที่จะไปถึงปลายทางอย่างครบถ้วนถูกต้องหรือไม่

5. ชั้นสื่อสารแอปพลิเคชัน (Application Layer) จะทำหน้าที่สนับสนุนแอปพลิเคชันของเครือข่ายซึ่งจะมีอยู่หลายโปรโตคอลที่นำมาใช้งาน เช่น HTTP นำมาใช้ในการรองรับการใช้งานเว็บ, STMP นำมาใช้ในการรองรับการใช้งานด้านอีเมลล์และ FTP นำมาใช้ในการรองรับการใช้งานด้านงานเอกสารต่าง ๆ โดยการเปรียบเทียบชั้นการทำงานของทั้ง 2 Model สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.15

รูปที่ 7.16 เครือข่ายระดับท้องถิ่น

รูปที่ 7.17 เครือข่ายระดับเมือง

7.5 ประเภทและอุปกรณ์ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์

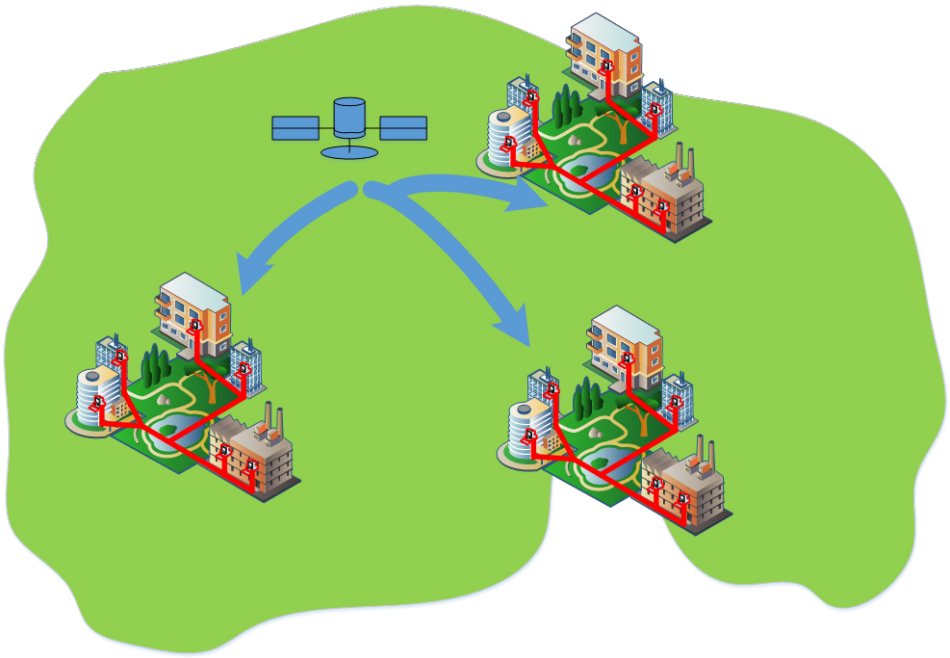
โดยจะสามารถแบ่งออกได้ตามขนาดของเครือข่ายเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. เครือข่ายระดับท้องถิ่น (Local Area Network: LAN)
2. เครือข่ายระดับเมือง (Metropolitan Area Network: MAN)
3. เครือข่ายระดับประเทศ (Wide Area Network: WAN)

7.5.1 เครือข่ายระดับท้องถิ่น จะเป็นเครือข่ายที่ใช้กันอยู่ในบริเวณไม่กว้างไกลมากนัก ใช้อยู่ในระยะทางใกล้ ๆ หรืออยู่ภายในองค์กรหรือหน่วยงานเดียวกันหรือภายในอาคารที่อยู่ติด ๆ กัน เช่น ภายในสำนักงานหรือภายในโรงเรียน/มหาวิทยาลัย เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 7.16

7.5.2 เครือข่ายระดับเมือง จะเป็นเครือข่ายที่มีขนาดกลางใช้ภายในเมือง ในเขตชุมชนหรือเขตจังหวัดที่มีพื้นที่ใกล้เคียงกัน เช่น ระบบเคเบิ้ลทีวี เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 7.17

7.5.3 เครือข่ายระดับประเทศ จะเป็นเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่ใช้ภายในระดับภูมิภาค ในเขตทวีปหรือเขตทวีปที่มีพื้นที่อยู่ใกล้เคียงกัน เช่น ระบบดาวเทียม ระบบคลื่นวิทยุไมโครเวฟ เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 7.18



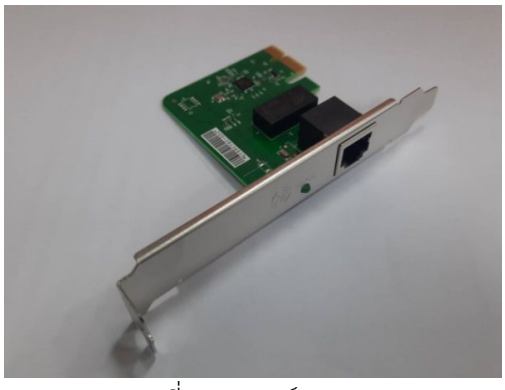
รูปที่ 7.18 เครือข่ายระดับประเทศ

ในด้านอุปกรณ์ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์จะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้เชื่อมต่อกันภายในองค์กรหรือหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่

7.5.4 โมเด็ม (Modem) จะเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณที่ใช้อยู่ในเครือข่ายระยะใกล้ อยู่ในบริเวณที่จำกัดระยะ ซึ่งจะอยู่ในอาคารเดียวกัน หรือใช้ในอาคารที่ใกล้กันก็ได้ เช่น ภายในสำนักงาน ภายในโรงเรียนหรือภายในบริษัท แสดงได้ดังรูปที่ 7.19

รูปที่ 7.19 โมเด็ม

7.5.5 การ์ดเครือข่าย (Network Adapter) หรือ การ์ด LAN ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ที่ต่างรุ่นหรือรุ่นเดียวกันก็ได้ แสดงได้ดังรูปที่ 7.20

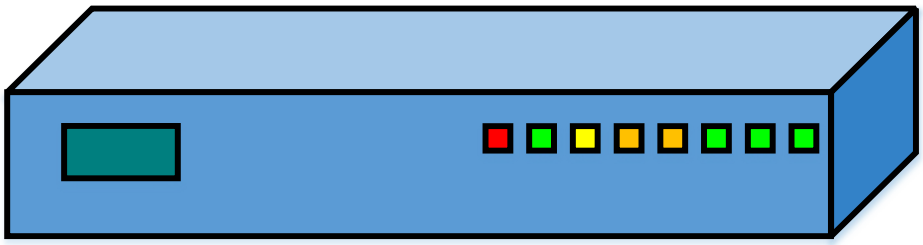


รูปที่ 7.20 การ์ด LAN

รูปที่ 7.21 เราเตอร์

7.5.6 เราเตอร์ (Router) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงให้เครือข่ายหรือการรับส่งข้อมูลสามารถติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้ แสดงได้ดังรูปที่ 7.21

7.4.7 บริดจ์ (Bridge) ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายเครื่องขยายสัญญาณและทำให้การเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ช่วยลดการชนกันของข้อมูลลงได้ แสดงได้ดังรูปที่ 7.22



รูปที่ 7.22 บริดจ์

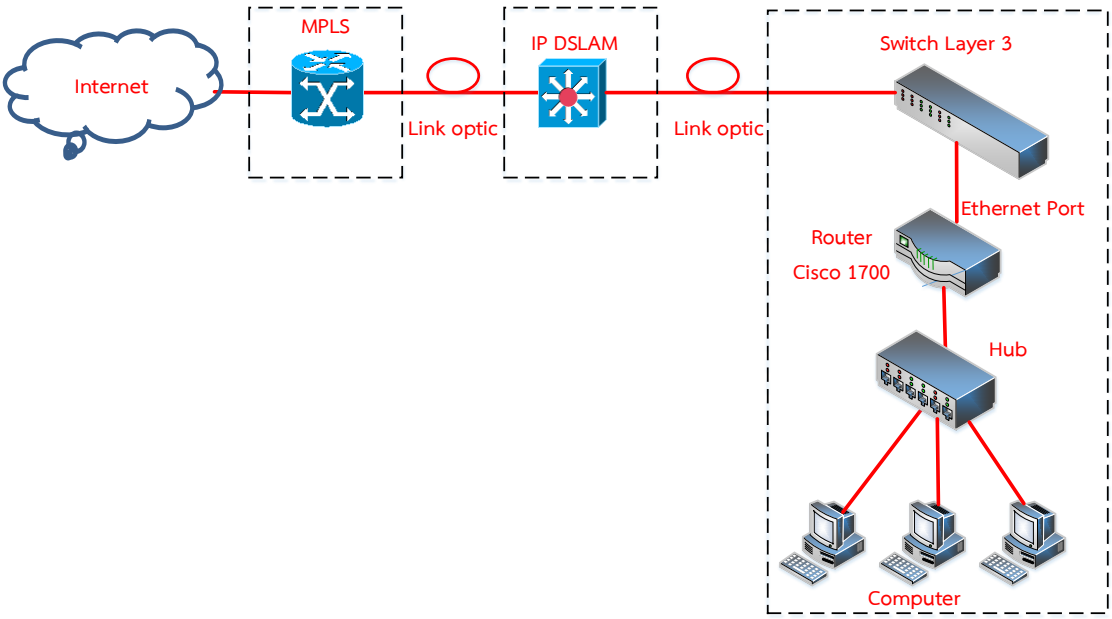
7.5.8 ฮับ (HUB) จะเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการกระจายสัญญาณไปยังเครื่องหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในเครือข่ายที่มีอุปกรณ์มากกว่า 3 เครื่องขึ้นไป แสดงได้ดังรูปที่ 7.23

รูปที่ 7.23 ฮับ

7.6.9 สวิตช์ (Switch) จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อหรือขยายระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตของคอมพิวเตอร์ให้สามารถเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ใช้งานได้มากขึ้น โดยยังคงสามารถส่งข้อมูลเข้าถึงกันได้โดยตรง ซึ่งจะแบ่งการทำงานที่สำคัญออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนควบคุมการรับเข้า/ส่งออก (Input/Output Controller), ส่วนควบคุมการทำงาน (Control Process) และส่วนสลับการส่งข้อมูล (Switching Element) แสดงได้ดังรูปที่ 7.24

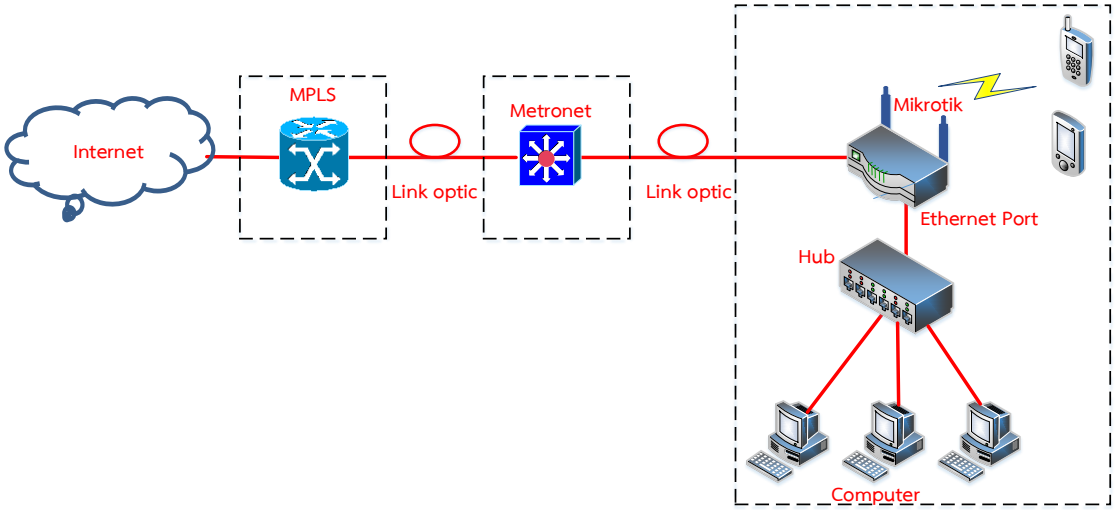
รูปที่ 7.24 สวิตช์

ตัวอย่างการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตแบบส่วนตัว 4M/4M (Internet lead line: ILL 4M/4M) แสดงได้ดังรูปที่ 7.25



รูปที่ 7.25 ตัวอย่าง ILL 4M/4M

ตัวอย่างการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตแบบส่วนตัว FTTx 30/5M (Fiber to Home) แสดงได้ดังรูปที่ 7.26



รูปที่ 7.26 ตัวอย่าง FTTx 30/5M

7.6 ระบบแลนคอมพิวเตอร์

เครือข่ายท้องถิ่น (LAN) เป็นเครือข่ายการติดต่อสื่อสารข้อมูลข่าวสารในรูปแบบต่าง ๆ ระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ซึ่งมีลักษณะการทำงานเพื่อให้บริการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารในส่วนต่าง ๆ ขององค์กรที่ตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกันหรืออยู่ข้างเคียงกัน หรือที่อยู่ในอาคารเดียวกันหรืออาคารที่อยู่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะมีข้อดีหลายด้านได้แก่

1. ด้านการใช้ทรัพยากรร่วมกัน โดยที่ผู้ใช้สามารถใช้ Hardware ประเภทหน่วยความจำ อุปกรณ์เอาต์พุต อุปกรณ์การสื่อสาร Software ที่เครื่องนั้นไม่มี และไฟล์ข้อมูลร่วมกันได้

2. ประหยัดค่าใช้จ่าย ในด้าน Hardware และ Software ซึ่งมีราคาแพงได้ เนื่องจากมีการใช้งานร่วมกันที่เครื่องเดียว ก๊อปปี้เดียว ลดค่าใช้จ่ายในงานที่ซ้ำซ้อน เพราะสามารถรวมเป็นเครือข่ายเดียวกัน ซึ่งสามารถติดตั้งได้ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

3. สะดวกกับผู้ใช้ ผู้ใช้สามารถเข้าสู่เครือข่ายและระบบอื่น ๆ ภายนอกเครือข่ายได้ง่าย ส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง เลือก Hardware คุณภาพดี ๆ ได้ สามารถใช้ไฟล์ข้อมูลที่อยู่อีกจุดหนึ่งได้ ตัดปัญหาเรื่องไฟล์ข้อมูลหาย เพราะไฟล์เซิร์ฟเวอร์จะทำหน้าที่สำรองข้อมูลให้แทน

4. ง่ายต่อการควบคุม ผู้ควบคุมเครือข่ายมีสิทธิที่จะไม่ให้ใครเข้าใช้งานในเครือข่ายได้ ระบบมีความเชื่อถือได้สูง ขยายเพิ่มจุดผู้ใช้ในเครือข่ายได้ง่าย เหมาะกับระบบสำนักงานอัตโนมัติ (Office Automation: OA)

โดยจะยังมีข้อที่ควรต้องระวังดังนี้

1. ราคา Software สำหรับระบบ LAN ค่อนข้างสูง
2. ระบบการรักษาความปลอดภัย
3. คอมพิวเตอร์ในระบบมีหลายเครื่องหลายรุ่นทำให้ดูแลรักษาได้ยาก

ระบบแลนคอมพิวเตอร์

ระบบแลนคอมพิวเตอร์ สามารถแบ่งการทำงานออกได้เป็น 2 แบบได้แก่

7.6.1 แบบเครื่องต่อเครื่อง (Peer to Peer) โดยการทำงานนั้นจะเป็นในลักษณะที่เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะสามารถแบ่งทรัพยากรต่าง ๆ อย่างใกล้เคียงกันด้วยการทำงานที่เท่า ๆ กัน ซึ่งจะใช้ในหน่วยงานที่มีขนาดเล็ก เช่น หน่วยงานที่มีเครื่องที่ทำการเชื่อมต่อกันไม่เกิน 10 เครื่อง เครือข่ายประเภทนี้สามารถเชื่อมต่อด้วยซอฟต์แวร์ประเภท Windows xx โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบนั้นจะสามารถเป็นได้ทั้งเครื่องลูกข่าย (Client) และเครื่องผู้ให้บริการ (Server) ตามช่วงเวลาที่เหมาะสม

7.6.2 แบบลูกข่ายกับแม่ข่าย (Client-Server) โดยการทำงานจะเป็นในลักษณะของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นเครื่องลูกข่ายต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งที่เป็นผู้ให้บริการที่มีขนาดใหญ่ มีส่วนประมวลผลที่มีขนาดใหญ่ที่ทำการติดตั้งระบบปฏิบัติการที่เป็นแบบเน็ตเวิร์กเฉพาะ (Network Operating System: NOS) เช่น Windows NT Server โดยมีหน้าที่ในการควบคุมความปลอดภัยให้กับระบบ ทำการจัดการความแออัดของระบบเน็ตเวิร์ก แบ่งปันทรัพยากรต่าง ๆ เช่น ข้อมูล โปรแกรม รวมถึงการขอใช้อุปกรณ์ร่วมต่าง ๆ ตามที่เครื่องลูกข่ายต้องการ โดยที่เครื่องลูกข่ายนั้นจะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะที่ใช้ OS ธรรมดา เช่น Windows xx ก็เพียงพอที่จะใช้ในการประมวลผลของตัวเองเพื่อจัดการกับข้อมูลที่ได้รับมาจาก Server

ส่วนประกอบของโครงสร้างพื้นฐานในระบบเครือข่าย LAN จะประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้

1. ระบบปฏิบัติการเครือข่าย (Network Operating System) จะทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของเครือข่าย โดยในเครือข่ายแบบ Peer-to-Peer จะมีลักษณะเป็น Windows for Workgroups ซึ่งมีระบบปฏิบัติการเครือข่ายติดตั้งอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องอยู่แล้ว ในส่วนเครือข่ายแบบ Client-Server นั้นจะมีลักษณะเป็น Windows NT ระบบปฏิบัติการเครือข่ายจะติดตั้งอยู่ที่เครื่อง Server และในส่วนเครื่องลูกข่ายจะติดตั้งซอฟต์แวร์ที่จะใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลกับ Server

2. เครื่องหลัก (Server) จะเป็นเครื่องที่ทำหน้าที่ในการให้บริการต่าง ๆ แก่เครื่องลูกข่าย (Client) ซึ่งได้แก่ บริการด้านแฟ้มเอกสาร บริการเกี่ยวกับการพิมพ์เอกสาร บริการรับส่งเอกสาร บริการเกี่ยวกับฐานข้อมูลต่าง ๆ เป็นต้น

3. เครื่องลูกข่าย (Client) จะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะทั่วไปที่ทำการเชื่อมต่อไว้เข้ากับระบบเครือข่าย ซึ่งสามารถดึงข้อมูลจากเครื่องหลักของระบบเครือข่ายได้

4. อุปกรณ์เชื่อมสัญญาณ (Network Interface Card) จะเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องลูกข่ายของเครือข่ายนั้น โดยอุปกรณ์เชื่อมสัญญาณนั้นจะเป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแผงวงจรสำหรับใช้ในการเสียบเข้าไปยังช่องต่อขยายช่องหนึ่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ เพื่อที่จะได้ทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณของเครือข่ายที่จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายได้

5. ระบบสายสัญญาณ (Cabling System) จะเป็นในส่วนของการเดินสายสัญญาณที่ใช้เป็นสื่อกลางในการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในเครือข่ายเข้าด้วยกัน ซึ่งสายสัญญาณที่นำมาใช้

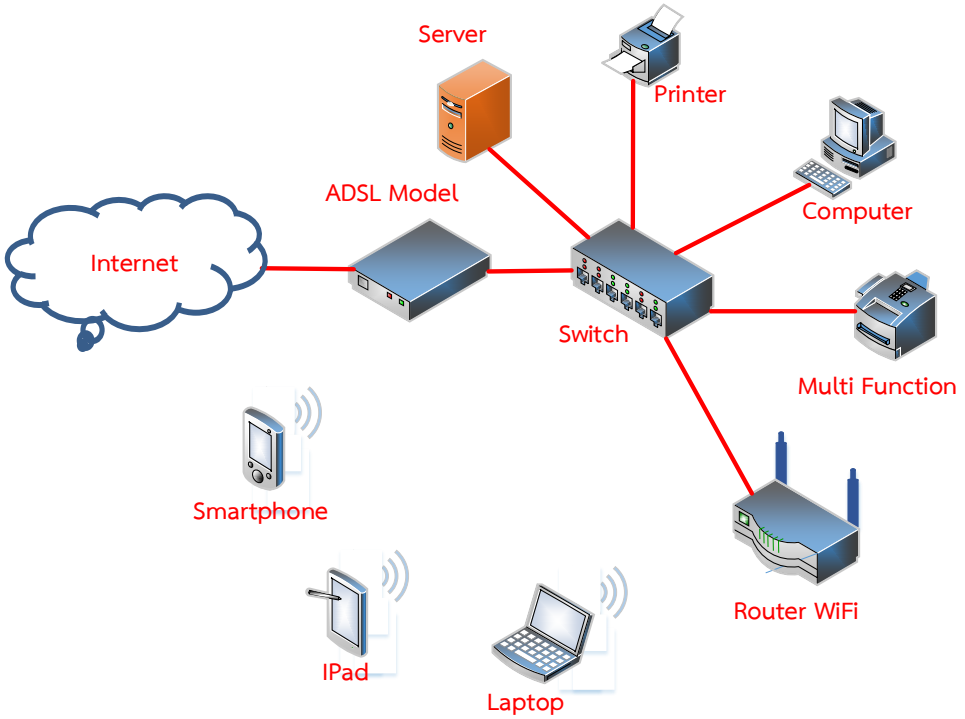
เป็นสื่อกลางแบบต่าง ๆ ได้แก่ UTP/STP, Coaxial, Fiber Optic หรือการเชื่อมต่อแบบไร้สาย เช่น Infrared หรือ WiFi ก็ได้

7.7 มาตรฐานของระบบเครือข่ายแลน

การเชื่อมต่อของระบบแลน (LAN) จะมีองค์กรไอทริปเปิลอี (Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE) กำหนดมาตรฐานของระบบเครือข่ายแบบต่าง ๆ ออกมาและมีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งหากกล่าวถึงระบบ LAN แล้วจะอ้างอิงมาตรฐาน IEEE 802.3 และ Ethernet

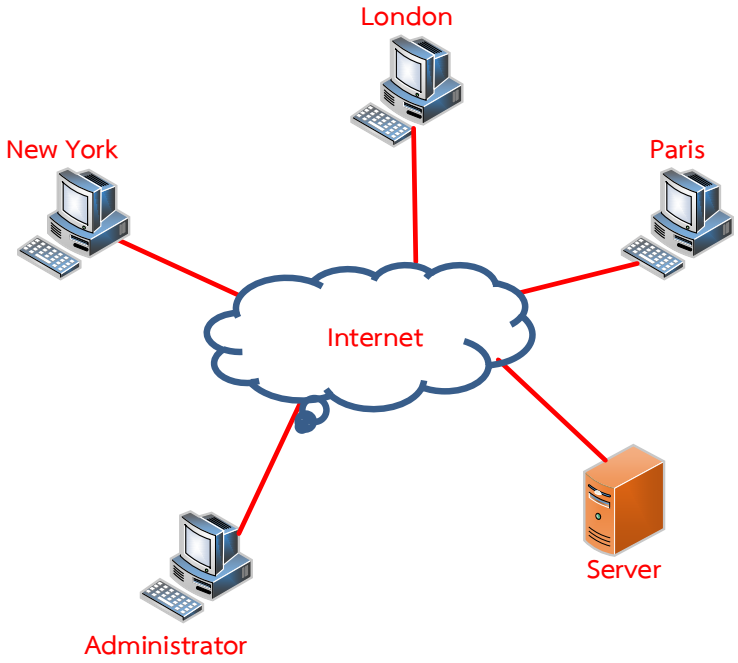
โดยที่ระบบเครือข่ายแบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงปลายทศวรรษ 1970 และได้พัฒนาต่อเนื่องมาจนในปี 1980 ได้ออกแบบเป็นระบบ Ethernet I โดยเชื่อมต่อกับสาย Coaxial และได้พัฒนาจนมาเป็น Ethernet II ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายที่นำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง หลังจากนั้นองค์กรมาตรฐาน IEEE ได้ออกข้อกำหนดมาตรฐาน 802.3 ที่ใช้พื้นฐานจาก Ethernet II

โดยในปัจจุบันได้พัฒนามาเป็นมาตรฐาน IEEE 802.3u ซึ่งสามารถรองรับความเร็วระดับ 100 Mbps เรียกว่ามาตรฐาน Fast Ethernet ซึ่งประกอบไปด้วย 100BaseTX ซึ่งเชื่อมต่อด้วยสาย UTP Category 5 ที่ระยะทางได้ไกลประมาณ 100 เมตรต่อจุด และ 100BaseFX ซึ่งเชื่อมต่อด้วยสายใยแก้วนำแสงที่ระยะได้ไกลประมาณ 400 เมตรต่อจุด และมาตรฐาน 802.3z หรือ Gigabit Ethernet ซึ่งสามารถรองรับความเร็วในระดับ 1,000 Mbps โดยการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย LAN สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.27



รูปที่ 7.27 การเชื่อมต่อระบบเครือข่าย LAN

โดยหากในระบบเครือข่าย LAN ที่ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกันในบริเวณขนาดเล็ก ๆ ระบบเครือข่ายแซน (Small Area Network: SAN) ก็เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน เช่น ในบ้านหรือสำนักงานขนาดเล็ก ๆ ที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่เกิน 10 เครื่อง ในการทำงานด้านต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 7.28



รูปที่ 7.28 การเชื่อมต่อระบบเครือข่าย SAN

7.8 อินเตอร์เน็ต

อินเตอร์เน็ต (Internet) เป็นระบบเครือข่ายของคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ เครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่เปิดใช้งานทั่วโลก จะสามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้หากมีการใช้มาตรฐานในการรับส่งข้อมูลในลักษณะเดียวกัน ซึ่งหมายถึงโปรโตคอล (Protocol) โดยโปรโตคอลที่นิยมนำมาใช้กับระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนี้จะถูกเรียกว่าทีซีพี/ไอพี (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol: TCP/IP) โดยปัจจุบันอินเตอร์เน็ตมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก อย่างเช่น

ทางด้านความบันเทิง โดยจะนำมาใช้เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ สันทนาการ การค้นหาวารสารหนังสือพิมพ์และข่าวสารต่าง ๆ ซึ่งจะมีภาพประกอบ สามารถฟังวิทยุหรือดูวิดีโอผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ สามารถดึงข้อมูล (Download) ภาพยนตร์ต่าง ๆ ได้ เป็นต้น

ทางด้านการศึกษา โดยจะนำมาใช้เป็นแหล่งค้นคว้าหาความรู้ต่าง ๆ เช่น ข้อมูลทางด้านวิชาการ ด้านสื่อทางการศึกษา ด้านเทคโนโลยีการแพทย์ และอื่น ๆ ที่น่าสนใจ โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นได้ทั้งข้อมูลที่เป็นข้อความ ข้อมูลเสียง ข้อมูลแบบภาพเคลื่อนไหวต่าง ๆ เป็นต้น

ทางด้านธุรกิจและการพาณิชย์ โดยจะนำมาใช้ในการค้นหาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจทางธุรกิจ การซื้อขายสินค้า การให้คำแนะนำ สอบถามปัญหาต่าง ๆ ให้แก่ลูกค้า แจกจ่ายตัวโปรแกรมทดลองใช้ (Shareware) หรือโปรแกรมแจกฟรี (Freeware) เป็นต้น

7.8.1 อินเตอร์เน็ตในประเทศไทย

ในประเทศไทยเริ่มนำอินเตอร์เน็ตเข้ามาทดสอบใช้งานประมาณปี พ.ศ. 2530 ด้วยการเชื่อมต่อจากคอมพิวเตอร์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์กับสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ไปที่มหาวิทยาลัยเมลเบิร์น ประเทศออสเตรเลีย โดยการเชื่อมต่อผ่านสายโทรศัพท์ ซึ่งการส่งข้อมูลทำได้แบบช้า ๆ และทำแบบชั่วคราว

ต่อมาในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2538 ได้เริ่มต้นการให้บริการอินเตอร์เน็ตในประเทศไทยขึ้นเป็นครั้งแรก จากความร่วมมือของการสื่อสารแห่งประเทศไทย องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย และสำนักงานส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยให้บริการในชื่อของ บริษัทอินเตอร์เน็ต ประเทศไทย (Internet Thailand) ซึ่งเป็นธุรกิจผู้ให้บริการอินเตอร์เน็ตรายแรกของประเทศไทย

7.8.2 ผู้ให้บริการอินเตอร์เน็ต

ผู้ให้บริการอินเตอร์เน็ต (Internet Service Provider: ISP) จะเป็นบริษัทผู้ให้บริการการเข้าถึงอินเตอร์เน็ต โดยมีระบบที่จะเชื่อมโยงผู้ใช้บริการเข้ากับเทคโนโลยีรับส่งข้อมูลที่ส่งผ่านอุปกรณ์ด้วยโปรโตคอลอินเตอร์เน็ต เช่น Dial, โมเด็มหรือเราเตอร์ เป็นต้น โดยตัวอย่างบริษัทผู้ให้บริการอินเตอร์เน็ต เช่น

1. ศูนย์อินเตอร์เน็ตประเทศไทย (Internet Thailand) เป็นผู้ให้บริการรายแรกในประเทศไทยที่เป็นของรัฐ
2. บริษัท KSC Internet Service จำกัด
3. บริษัท Loxley Information จำกัด
4. บริษัท InfoNews จำกัด
5. บริษัท A-NET จำกัด
6. บริษัท Samart Infonet จำกัด

7.9 ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับอินเตอร์เน็ต

1. อินเตอร์เน็ตโปรโตคอล (Internet Protocol หรือ IP) คือรูปแบบการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์เครือข่ายในอินเตอร์เน็ต

2. เลขที่อยู่ไอพี (IP Address) หมายถึงหมายเลขที่ใช้ในระบบเครือข่ายที่ใช้อินเตอร์เน็ตโปรโตคอล (IP) ซึ่งจะเป็นหมายเลขเฉพาะตัวโดยจะใช้เลขฐานสอง โดยการเขียนจะเขียนเป็นชุดจำนวน 4 ชุด ในแต่ละชุดนั้นจะใช้เลขฐานสองจำนวน 8 บิต รวมเป็นจำนวน 32 บิต แต่จะถูกแปลงเป็นระบบเลขฐานสิบ จำนวน 4 ชุด ที่จะเป็นการแสดงถึงหมายเลขเฉพาะของเครื่องนั้น ๆ โดยที่หมายเลขไอพีจะทำให้ผู้ส่งทราบถึงเครื่องของผู้รับว่าเป็นเลขใด และผู้รับก็จะสามารถทราบได้ว่าเลขใดเป็นของผู้ส่ง เช่น หมายเลขไอพี 74.125.130.102 เมื่อทำการแปลงกลับมาในรูปแบบที่สามารถอ่านได้จะเรียกว่า โดเมนแอดเดรส ซึ่งหมายเลขไอพีนี้หมายถึง www.google.com

3. โดเมนเนม (Domain Name) หมายถึงชื่อเว็บไซต์ซึ่งเป็นชื่อที่กำหนดขึ้นเพื่อให้สามารถจดจำได้ง่ายเพื่อให้สามารถเข้าถึงผ่านบราวเซอร์ของผู้ใช้งานทั่วไป ซึ่งผู้ดูแลระบบโดเมนเนมจะนำไปผูกไว้กับไอพีแอดเดรสกับชื่อโดเมนเนมนั้น ๆ ทั้งนี้ผู้ใช้งานทั่วไปก็จะจดจำเฉพาะโดเมนเนมไปใช้งานโดยไม่จำเป็นต้องจดจำไอพีแอดเดรสซึ่งจดจำได้ยากกว่า ทั้งนี้โดนเมนเนมนั้นเป็นชื่อเฉพาะที่จะไม่ซ้ำกันและจะมีดอทต่อท้ายด้วยเช่น .com โดยที่โดเมนเนมแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. โดเมน 2 ระดับ ชื่อโดเมน . ประเภทของโดเมน
2. โดเมน 3 ระดับ ชื่อโดเมน . ประเภทของโดเมน . ประเทศ

โดยที่โดเมนเนม 2 ระดับ จะประกอบด้วย www.ชื่อโดเมน.ประเภทของโดเมน เช่น www.google.com

การแบ่งประเภทของโดเมนด้วยประเภทขององค์กร สามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

.com หมายถึง บริษัท หรือ องค์กรพาณิชย์ต่าง ๆ
.org หมายถึง องค์กรเอกชนที่ไม่แสวงผลกำไร
.net หมายถึง องค์กรที่เป็นจุดเชื่อมต่อเครือข่าย
.edu หมายถึง สถาบันทางการศึกษา
.gov หมายถึง องค์กรของรัฐบาล
.mil หมายถึง องค์กรทางทหาร

โดเมนเนม 3 ระดับ จะประกอบด้วย www.ชื่อโดเมน.ประเภทของโดเมน.ประเทศ เช่น www.niems.go.th, www.niets.or.th, www.rmutsb.ac.th

ประเภทขององค์กรในลักษณะนี้ สามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

.co หมายถึง บริษัทหรือองค์กรพาณิชย์ต่าง ๆ
.ac หมายถึง สถาบันทางการศึกษา
.go หมายถึง องค์กรของรัฐบาล
.net หมายถึง องค์กรที่เป็นจุดเชื่อมต่อเครือข่าย
.or หมายถึง องค์กรเอกชนที่ไม่แสวงผลกำไร

ประเทศที่ตั้งขององค์กรแสดงในรูปแบบตัวย่อ สามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

.th หมายถึง ประเทศไทย
.cn หมายถึง ประเทศจีน
.uk หมายถึง ประเทศอังกฤษ
.jp หมายถึง ประเทศญี่ปุ่น
.au หมายถึง ประเทศออสเตรเลีย

4. เวิลด์ไวด์เว็บ (World Wide Web: WWW) หมายถึงระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ที่เชื่อมโยงกันทั่วโลก ด้วยโปรโตคอลประเภท TCP/IP ซึ่งเป็นบริการค้นหาหรือเรียกดูข้อมูลประเภทหนึ่งบนระบบอินเตอร์เน็ต ซึ่งข้อมูลจะเป็นแบบสื่อผสม (Multimedia) ที่เป็นทั้งตัวอักษร รูปภาพ เสียง และภาพเคลื่อนไหวแบบวิดีโอ โดยข้อมูลจะถูกแสดงขึ้นมาเป็นหน้า ๆ ซึ่งแต่ละหน้านั้นจะ

สามารถเชื่อมโยงถึงกันได้เป็นแบบเครือข่ายเหมือนใยแมงมุม จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อและกระจายกันอยู่ทั่วโลก

5. เว็บเพจ (Webpage, Web Page) หมายถึง หน้าหนึ่ง ๆ ของเว็บไซต์ที่เปิดขึ้นมาใช้งาน โดยที่ในหน้าแรกของเว็บไซค์ที่แสดงขึ้นมาจะเรียกว่าโฮมเพจ (Home Page) เว็บเพจจะอยู่ในรูปของเอกสารประเภท HTML หรือ XHTML (นามสกุลไฟล์เป็น htm หรือ html) ซึ่งจะมีลิงค์ที่ใช้ในการเชื่อมโยงไปยังเว็บเพจหน้าอื่น ๆ รวมถึงรูปภาพที่ยังสามารถเป็นลิงค์ที่จะเชื่อมโยงไปยังหน้าอื่น ๆ ต่อไปได้อีก ทั้งยังสามารถใส่โปรแกรมขนาดเล็กที่จะแสดงภาพเคลื่อนไหวหรือเสียงต่าง ๆ ได้อีกด้วย

6. เว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) คือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลและโต้ตอบกับข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในหน้าเว็บที่สร้างจากภาษาเฉพาะ เช่น ภาษาเฮชทีเอ็มแอล ที่จัดเก็บไว้ที่ระบบเว็บเซิร์ฟเวอร์หรือในระบบคลังข้อมูลอื่น ๆ โดยโปรแกรมค้นดูเว็บนี้ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการติดต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่

โปรแกรมที่ใช้เปิดดูเว็บเพจ คือ เว็บเบราว์เซอร์ ตัวอย่างเช่น กูเกิลโครม อินเตอร์เน็ตเอกซ์พลอเรอร์ Netscape ไฟร์ฟอกซ์และซาฟารี เป็นต้น

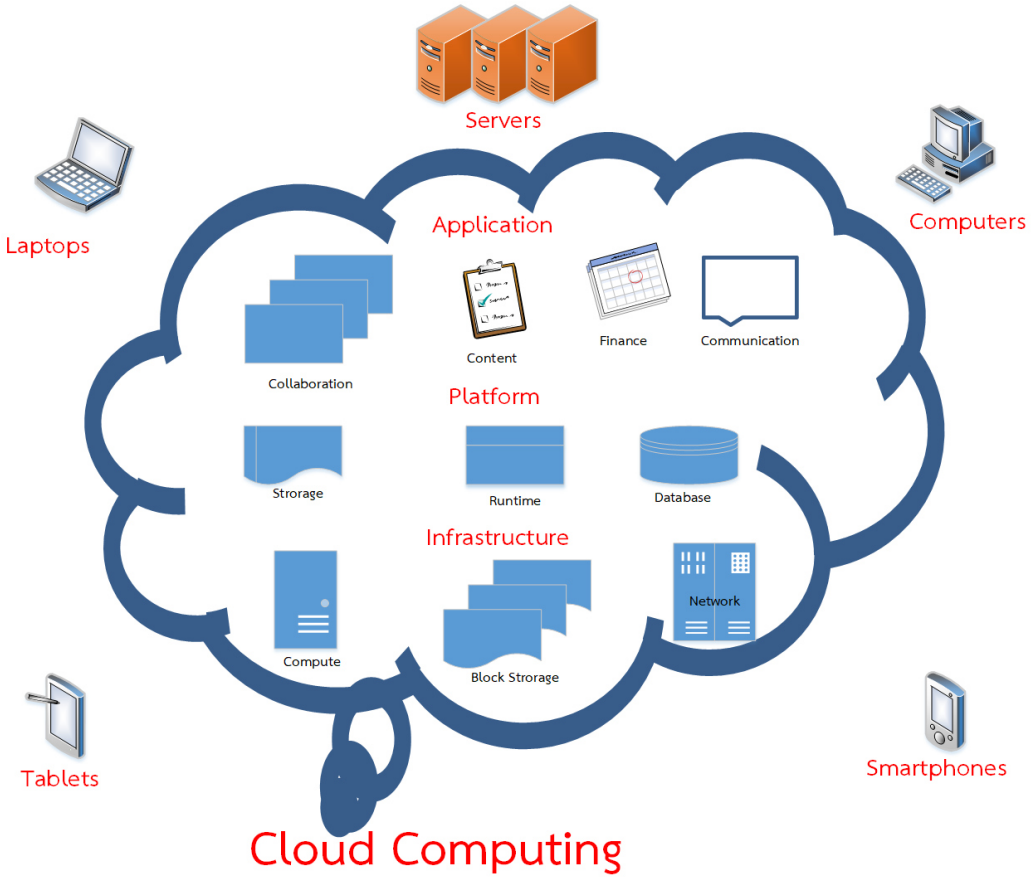
7.10 ระบบคลาวด์คอมพิวติง

ปัจจุบันมีการนำระบบคลาวด์คอมพิวติง (Cloud Computing) มาใช้งานกันอย่างกว้างขวางในรูปแบบของการทำงานด้วยโปรแกรมต่าง ๆ หรือนำมาเป็นแหล่งจัดเก็บสำรองข้อมูลสำคัญ

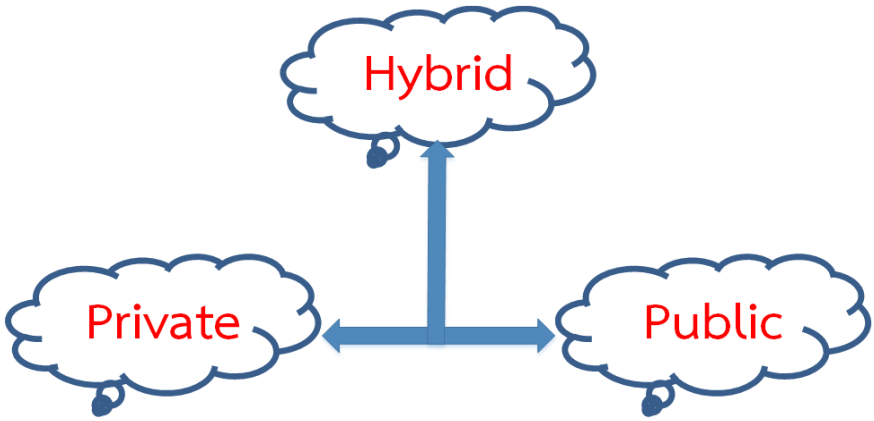
ระบบ Cloud Computing จะเป็นระบบบริการที่รองรับการประมวลผล หน่วยจัดเก็บข้อมูลและระบบออนไลน์ต่าง ๆ จากผู้ให้บริการ เพื่อช่วยลดปัญหาในด้านการติดตั้งโปรแกรมต่าง ๆ การช่วยดูแลระบบ ช่วยประหยัดเวลา ประหยัดบุคลากร และลดความยุ่งยากซับซ้อนในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่ายของผู้ใช้บริการ โดยระบบ Cloud Computing สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.29

ข้อดีของคลาวด์คอมพิวติง สามารถอธิบายได้เบื้องต้นดังนี้

มีต้นทุนที่ถูกกว่าการซื้อเซิร์ฟเวอร์มาติดตั้งเอง
ราคาค่าเช่าจ่ายตามบริการที่ใช้จริง
การใช้งานข้อมูลสามารถทำการประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว
สามารถใช้งานได้ทุกที่ ทุกเวลา เมื่อเชื่อมต่อกับระบบอินเตอร์เน็ต
สามารถทำการแจ้งเพิ่มและลดขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลได้ตลอด
สามารถรองรับการใช้งานด้วยเทคโนโลยีที่หลากหลายได้
มีความปลอดภัยของระบบที่สูงมาก



รูปที่ 7.29 ระบบ Cloud Computing



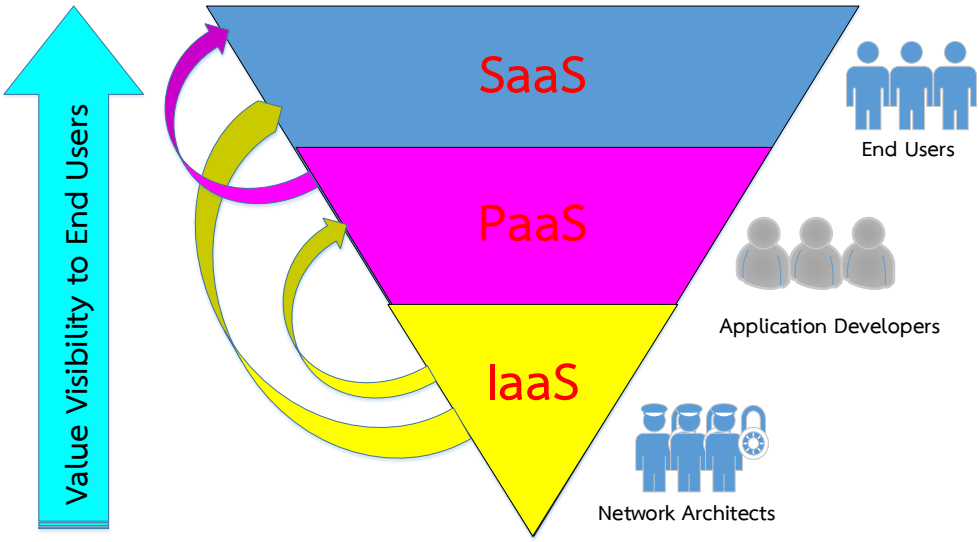
รูปที่ 7.30 ระบบ Cloud Computing

ระบบ Cloud Computing จะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ โดยระบบ Cloud Computing สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.30 ได้แก่

1. พับบลิคคลาวด์ (Public Cloud) จะหมายถึงผู้ให้บริการ (Third-Party) จัดตั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ไว้ให้ใช้เก็บข้อมูลจำนวนมาก ผู้ใช้งานสามารถใช้บริการผ่าน Web Application หรือ Web Service โดยเช่าใช้เป็นรายเดือนหรือรายปี

2. ไพรเวทคลาวด์ (Private Cloud) จะเป็นรูปแบบคลาวด์ที่มีความเป็นส่วนตัวมากขึ้น ตอบโจทย์การแชร์ทรัพยากรหรือข้อมูลร่วมกันในเครือข่าย (Cloud Data Center) โดยผู้ให้บริการมีหน้าที่ติดตั้งระบบและดูแลรักษา ส่วนผู้ใช้งานเป็นผู้จัดเตรียมฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และบริหารจัดการระบบ

3. ไฮบริดคลาวด์ (Hybrid Cloud) จะเป็นรูปแบบการใช้งานในลักษณะลูกผสมระหว่าง พับบลิคคลาวด์ และไพรเวทคลาวด์ ซึ่งองค์กรส่วนใหญ่ก็จะนิยมใช้รูปแบบนี้เนื่องจากมีความยืดหยุ่น



รูปที่ 7.31 การให้บริการในด้านต่าง ๆ บนระบบ Cloud Computing

การให้บริการในด้านต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 7.31 โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. Infrastructure-as-a-Service (IaaS) เป็นการให้บริการเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานและระบบจัดเก็บฐานข้อมูล ในรูปแบบเสมือนเพื่อรองรับการประมวลผล สำหรับใช้งานทางด้านซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชันต่าง ๆ

2. Platform-as-a-Service (PaaS) เป็นการให้บริการเกี่ยวกับแพลตฟอร์มทางด้านซอฟต์แวร์ เช่น เว็บแอปพลิเคชัน ระบบประมวลผลกลาง ซึ่งจะสามารถเปิดใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชัน และมีระบบควบคุมความปลอดภัยขั้นสูง

3. Software-as-a-Service (SaaS) เป็นการให้บริการคลาวด์ทางด้านซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชัน โดยจะมีอัตราค่าบริการไปตามลักษณะของการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น จำนวนของผู้ใช้งาน ปริมาณที่ใช้งานหรือระยะเวลาที่ใช้งาน เป็นต้น

4. Data-as-a-Service (DaaS) จะเป็นการให้บริการเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงข้อมูลที่ใช้ในการเชื่อมโยงเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป โดยเป็นการรองรับการสืบค้นและจัดการข้อมูลขั้นสูง

5. Business Process-as-a-Service (BPaaS) จะเป็นการให้บริการเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจที่สามารถวัดผลทางธุรกิจได้ และยังสามารถทำการประเมินความเสี่ยงให้กับธุรกิจได้อีกด้วย

7.11 สรุป

อินเตอร์เน็ต เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารผ่านคอมพิวเตอร์ในยุคแรก ๆ โดยใช้หลักการสื่อสารขั้นพื้นฐานได้แก่ ตัวส่ง ข้อมูลข่าวสาร สื่อกลาง ตัวรับ แล้วมาเพิ่มในส่วนของวิธีการหรือข้อกำหนดในการเชื่อมต่อสื่อสารกันซึ่งเรียกว่าโปรโตคอลซึ่งจะทำให้ตัวส่งและตัวรับเกิดความเข้าใจกันได้ โดยโปรโตคอลในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้งานในปัจจุบันคือ TCP/IP ด้วยการกำหนดไอพีแอดเดรส การเชื่อมต่อหรือสื่อกลางระหว่างตัวรับและตัวส่งนั้นมีได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน ต้นทุนและองค์ประกอบที่เป็นข้อจำกัดด้านอื่น ๆ ของแต่ละองค์กรด้วย เช่น ใช้สายแลน ใช้เป็นระบบไร้สาย เป็นต้น ทำการเชื่อมต่อกันในแบบระบบโครงข่ายอินเตอร์เนต ปัจจุบันการให้บริการด้านอินเตอร์เน็ตมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วมีการเชื่อมต่อกันตั้งแต่ระดับหน่วยงาน องค์กร ด้วยเครือข่ายที่โยงใยกันไปได้ทั่วทุกมุมโลก ทั้งยังสามารถใช้ในทางธุรกิจที่มีให้บริการในหลายรูปแบบ โดยระบบอินเตอร์เน็ตยังคงถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานผ่านระบบเซลลูลาร์ ระบบไมโครเวฟและระบบดาวเทียมได้ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7

ข้อ 1 จงบอกถึงลักษณะทิศทางของการส่งข้อมูล
ข้อ 2 จงบอกถึงลักษณะการเชื่อมโยงเครือข่ายข้อมูล
ข้อ 3 จงระบุประเภทของเครือข่ายคอมพิวเตอร์
ข้อ 4 จงบอกเกี่ยวกับอุปกรณ์ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์
ข้อ 5 จงอธิบายถึงมาตรฐานการต่อใช้งานสาย LAN
ข้อ 6 จงอธิบายถึงระบบ IP LAN
ข้อ 7 จงอธิบายเกี่ยวกับประโยชน์ของอินเตอร์เน็ต
ข้อ 8 จงอธิบายและเปรียบเทียบชั้นของแบบจำลอง OSI กับแบบจำลองอินเตอร์เน็ต
ข้อ 9 จงวาดรูปการต่ออุปกรณ์ใช้งานระบบแลนอินเตอร์เน็ตและอธิบายมาพอสังเขป
ข้อ 10 จงอธิบายถึงรูปแบบของระบบคลาวด์คอมพิวติง

บรรณานุกรม

1. จักกริช พฤษการ, การสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์, พิมพ์ครั้งที่ 1: บริษัทสำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, 2549.

2. วาทิต เบญจพลกุล, การสื่อสารข้อมูลและโครงข่าย, พิมพ์ครั้งที่ 2: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.

3. นรรัตน์ วัฒนมงคล, การสื่อสารข้อมูลและเครือข่าย, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.

4. หน่วยที่ 2 แบบจำลองเครือข่าย (Network Models) [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://ict-network1.blogspot.com/p/1-home-network-lan-local-area-network.html, 11 พฤศจิกายน 2565.

5. พิพัฒน์ หิรัณย์ณิชชากร, ระบบการสื่อสารข้อมูล และเครือข่ายคอมพิวเตอร์, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2562.

6. วิรุณศักดิ์ สันติเพ็ชร์, วิศวกรรมโทรคมนาคมเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559.

7. ภัควริศ เกื้อกูล, คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ซิมพลิฟาย, 2563.

8. ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, สู่โลกไฟฟ้าสื่อสาร, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2565.

9. การอ่านค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ทางไฟฟ้าของสาย LAN [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.ncsnetwork.com/tips_details.php?xid=11/, 11 พฤศจิกายน 2565.

10. การต่ออุปกรณ์ด้วยสาย LAN, สายตรง, สายครอส [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.similantechnology.com/news&article/connecting-the-lan.html/, 11 พฤศจิกายน 2565.

11. Sarawut Chamchoy. (2561). IP-Addressing and Subneting [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://pubhtml5.com/kdvm/gstd/basic/, 11 พฤศจิกายน 2565.

บทที่ 8
ระบบเซลลูลาร์ ไมโครเวฟและดาวเทียม

การพัฒนาทางด้านการสื่อสารจากอดีตจนถึงปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพนั้น ทำให้เกิดความสะดวกสบายในการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมากจนเรียกได้ว่ากลายมาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตที่จะขาดไปเสียไม่ได้ ในบทนี้จึงจะได้กล่าวถึงการสื่อสารไร้สายที่มีบทบาทสำคัญและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ ซึ่งจะเริ่มอธิบายดังนี้

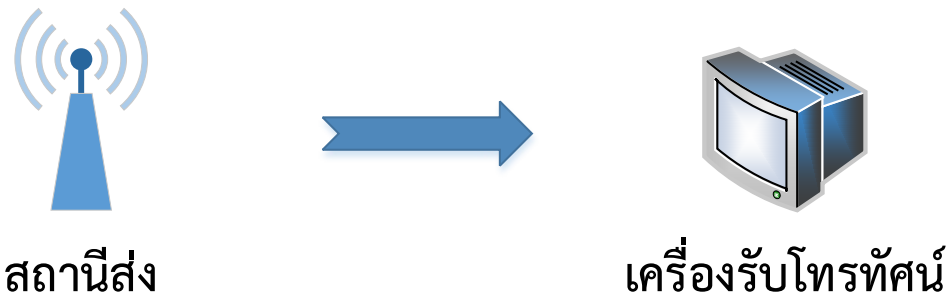
8.1 ลักษณะการส่งข้อมูลในระบบสื่อสัญญาณ

โดยที่ลักษณะทิศทางของการส่งข้อมูลนั้น จะมีทิศทางในการส่งข้อมูลที่แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. การส่งข้อมูลทิศทางเดียว
2. การส่งข้อมูลแบบสองทิศทางสลับกัน
3. การส่งข้อมูลแบบสองทิศทางพร้อมกัน

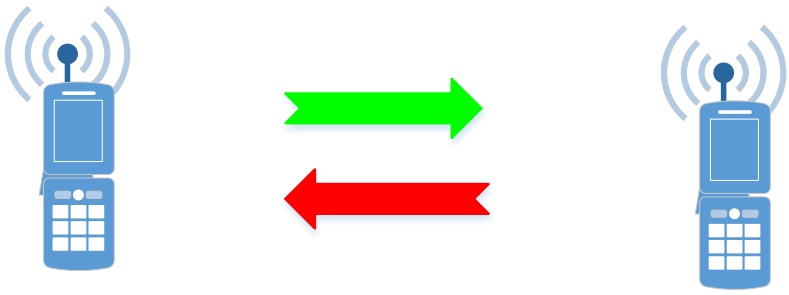
โดยสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

8.1.1 การส่งข้อมูลทิศทางเดียว (Simplex Transmission) จะเป็นการสื่อสารข้อมูลโดยที่ตัวส่งจะทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียวและตัวรับก็จะทำหน้าที่รับข้อมูลเพียงอย่างเดียวเหมือนกัน เป็นลักษณะของการส่งสัญญาณแบบแพร่กระจายสัญญาณข้อมูลข่าวสารออกเพียงอย่างเดียว เช่น การส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปยังเครื่องรับโทรทัศน์หรือการส่งสัญญาณวิทยุกระจายเสียงของสถานีต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 8.1



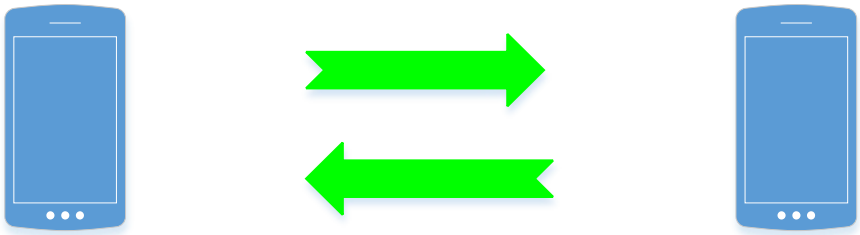
รูปที่ 8.1 การส่งข้อมูลทิศทางเดียว

8.1.2 การส่งข้อมูลแบบสองทิศทางสลับกัน (Half-Duplex Transmission) จะเป็นการสื่อสารข้อมูลที่ทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารของผู้ส่งกับผู้รับ โดยที่ผู้ส่งกับผู้รับจะต้องสลับกันเป็นผู้ส่งข้อมูลซึ่งอีกฝ่ายก็จะเป็นผู้รับ ทั้งนี้ผู้ส่งและผู้รับจะไม่สามารถส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้ เช่น วิทยุสื่อสารของตำรวจหรือวิทยุสื่อสารสมัครเล่นต่าง ๆ เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 การส่งข้อมูลแบบสองทิศทางสลับกัน

8.1.3 การส่งข้อมูลแบบสองทิศทางพร้อมกัน (Full-Duplex Transmission) จะเป็นการสื่อสารข้อมูลที่ทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารของผู้ส่งกับผู้รับ โดยที่ผู้ส่งกับผู้รับจะสามารถส่งข้อมูลข่าวสาร โต้ตอบกันได้ในเวลาเดียวกัน เช่น โทรศัพท์บ้านหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 8.3



รูปที่ 8.3 การส่งข้อมูลแบบสองทิศทางพร้อมกัน

8.2 วิวัฒนาการของระบบเซลลูลาร์

จากการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในระบบเซลลูลาร์ตั้งแต่ยุคเริ่มแรก (1G) จนมาถึงปัจจุบันในยุคที่ 5 (5G) และกำลังพัฒนาไปสู่อนาคตในประเทศไทย สามารถสรุปได้เบื้องต้นดังนี้

1G (First Generation)

2G (Second Generation)

2.5G (Second Point Five Generation)

3G (Third Generation)

4G (Fourth Generation)

5G (Fifth Generation)

8.2.1 ยุค 1G (First Generation) โดยได้มีการเริ่มนำมาใช้งานในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2525 จะเป็นยุคเริ่มต้นของระบบการสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้วยคลื่นความถี่ในช่วง 800–900 MHz ซึ่งจะเป็นการใช้การส่งสัญญาณในแบบอะนาล็อกที่มีการเชื่อมต่อของเครือข่ายในแบบ Circuit Switching จึงทำให้คุณภาพของเสียงในการสื่อสารยังไม่ดีพอ มีความเร็วในการส่งต่ำและในการใช้งานยังไม่มีระบบด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ส่งผลให้สามารถถูกลักลอบใช้งานได้ง่าย สำหรับ

ในประเทศไทยนั้นยังไม่ค่อยนำมาใช้งานน้อยมาก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีค่าบริการและตัวเครื่องโทรศัพท์ยังมีราคาที่สูงมากอยู่

8.2.2 ยุค 2G (Second Generation) โดยเริ่มนำมาใช้งานในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2535 จะเป็นยุคที่เริ่มปรับเปลี่ยนการส่งข้อมูลแบบอะนาล็อกมาเป็นการเข้ารหัสแบบดิจิทัล (Digital Encoding) แทน ซึ่งจะถูกเรียกว่าเป็นระบบ GSM ซึ่งจะมีการส่งข้อมูลด้วยความเร็วที่สูงมากขึ้น มีการนำระบบการเข้ารหัสมาใช้ทางด้านระบบความปลอดภัยของข้อมูลให้สูงขึ้น ในยุคนี้จะเริ่มมีการส่งข้อความสั้น ๆ (Short Message) เพิ่มเติมจากการพูดคุยด้วยสัญญาณเสียง

8.2.3 ยุค 2.5G (Second Point Five Generation) โดยเริ่มนำมาใช้งานในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2545 ด้วยการนำระบบ Packet Switching เข้ามาใช้งาน โดยระบบที่อยู่ในยุคนี้เช่น GPRS และพัฒนาไปสู่การนำระบบ EDGE (ยุค 2.75G) โดยในยุคนี้เทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้พัฒนาไปสู่ยุคของ 3G ควบคู่กันไปด้วย แต่ผู้ใช้บริการจำนวนมากยังเคยชินกับการใช้งานในระบบสื่อสารยุค 2G หรือ 2.5G และ 2.75G กันอยู่ ทำให้ยังไม่สามารถพัฒนาไปสู่ยุค 3G ได้อย่างเต็มตัว เนื่องจากยังไม่คุ้มค่าทางด้านการลงทุน

8.2.4 ยุค 3G (Third Generation) โดยเริ่มนำมาใช้งานในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2548 ระบบ 3G จึงได้พัฒนาและนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายไปทั่วโลกเป็นอย่างมาก ซึ่งได้นำคลื่นความถี่ย่าน 2 GHz มาใช้งาน โดยมีคุณสมบัติและความสามารถที่ก้าวล้ำไปมาก เช่น สามารถที่จะทำการเชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่ายได้ตลอดเวลา สามารถส่งข้อมูลแบบมัลติมิเดียได้ สามารถรองรับการใช้งานประเภทดิจิทัลคอนเทนต์ต่าง ๆ ได้ สามารถให้บริการการประชุมทางไกลแบบเห็นหน้าได้ สามารถรับชมภาพยนตร์แบบสั้น ๆ ได้ สามารถเข้าถึงเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ รวมถึงสามารถทำการเชื่อมต่อสัญญาณกันได้ทั่วโลก

8.2.5 ยุค 4G (Fourth Generation) ในยุค 4G นี้จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีความเร็วสูงกว่ายุค 3G เป็นอย่างมาก โดยสามารถมีความเร็วในการสื่อสารได้ถึงประมาณ 20-40 Mbps ซึ่งทำให้สามารถรับชมรายการโทรทัศน์ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือดาวน์โหลดภาพยนตร์มาชมบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ จากสาเหตุที่เทคโนโลยีก้าวกระโดดเข้าสู่ยุค 4G อย่างรวดเร็วเกิดมาจาก ดิจิทัลคอนเทนต์หรือการบริการด้านเนื้อหาในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เสียงเรียกเข้า ภาพหน้าจอ เสียงรอสาย รวมถึงข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ ที่มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดจึงเป็นแรงผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ยุค 4G เพื่อเตรียมพร้อมในการให้บริการต่าง ๆ หลายรูปแบบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะต้องอาศัยเครือข่ายที่มีความเร็วสูง สามารถรับส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก ซึ่งต่อมาได้พัฒนาเทคโนโลยีจนทำให้ 4G LTE สามารถส่งข้อมูลอยู่ที่ 50 Mbps และสามารถรับข้อมูลได้ด้วยความเร็วถึง 100 Mbps โดยมีความเร็วมากกว่าเทคโนโลยี 3G ประมาณ 7 เท่า

สรุปเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในระบบเซลลูลาร์ 1G-4G

1G จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ Analog

2G จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ Digital

2.5G จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ GPRS

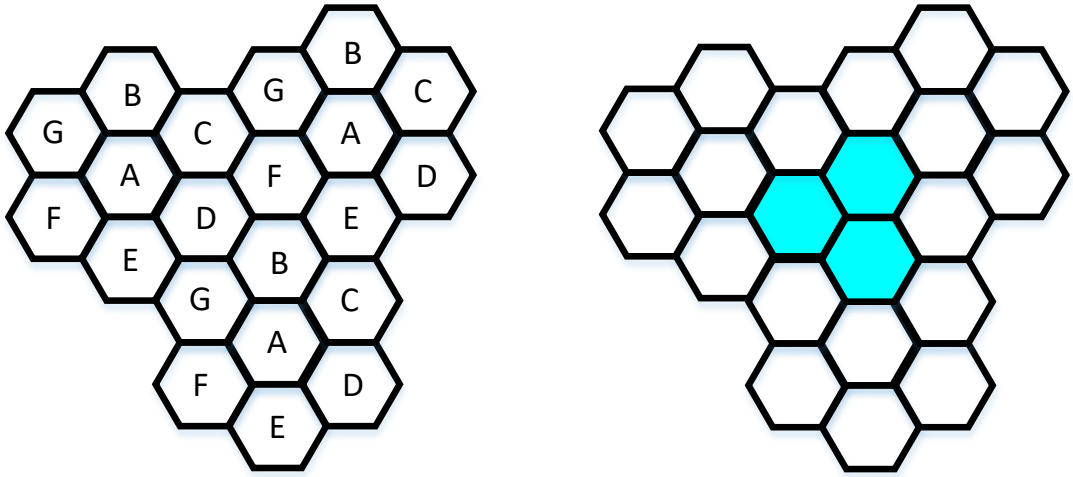
3G จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ Digital Multimedia

4G จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ Hybrid Network

8.3 เทคโนโลยีระบบเซลลูลาร์

เริ่มต้นในช่วงแรกเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2483 จากเทคโนโลยีของวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Radio Telephone) ซึ่งเป็นวิทยุโทรศัพท์ยุคแรก ๆ ที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนักและสามารถเคลื่อนย้ายพกพาไปได้ทุกที่

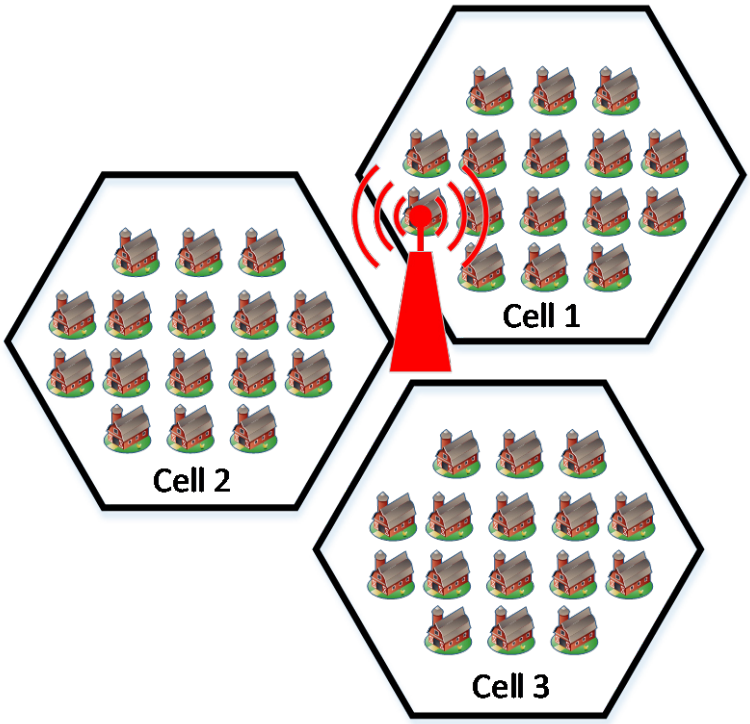
ต่อมาในปี พ.ศ. 2489 บริษัท AT&T จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทแรกที่ได้มีการปรับปรุงพัฒนาการใช้งานจนสามารถที่จะเริ่มให้บริการวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้สำเร็จ โดยได้นำเทคโนโลยีการส่งสัญญาณแบบ AM มาใช้งาน ซึ่งมีช่องสัญญาณที่ใช้งานได้เพียง 6 ช่อง ทำให้พบปัญหาด้านข้อจำกัดของเครือข่ายทางการสื่อสาร เนื่องจากช่องสัญญาณแต่ละช่องจะมีผู้ใช้บริการได้เพียงช่องละหนึ่งผู้ใช้บริการเท่านั้น



รูปที่ 8.4 บริเวณที่ให้บริการในแต่ละเซลล์

หลังจากนั้นจึงได้พัฒนามาเป็นการใช้เทคโนโลยีแบบ FM เข้ามาใช้งานแทน ทำให้การนำแถบกว้างของช่องสัญญาณสื่อสารมาใช้งานลดลงจากขนาด 120 KHz เหลือเพียงแค่ 25 KHz ซึ่งทำให้จำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารมีเพิ่มมากขึ้น ต่อมาในปี พ.ศ. 2490 ได้พัฒนาระบบวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในรูปแบบของระบบโทรศัพท์แบบรวงผึ้ง (Cellular Mobile Telephone System) หรือเรียกในชื่อของโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ (Cellular Telephone)

จนมาถึงในปี พ.ศ. 2526 ได้นำระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ออกไปติดตั้งและเปิดให้บริการ โดยบริเวณที่ให้บริการทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนเล็ก ๆ คล้ายรูป 6 เหลี่ยมและถูกเรียกว่าเซลล์ (Cell) ซึ่งในแต่ละเซลล์นั้นจะมีรัศมีและการดูแลจัดสรรความถี่ใช้งานในแต่ละเซลล์พ่วงต่อกันเป็นแบบรวงผึ้ง แสดงได้ดังรูปที่ 8.4-8.5

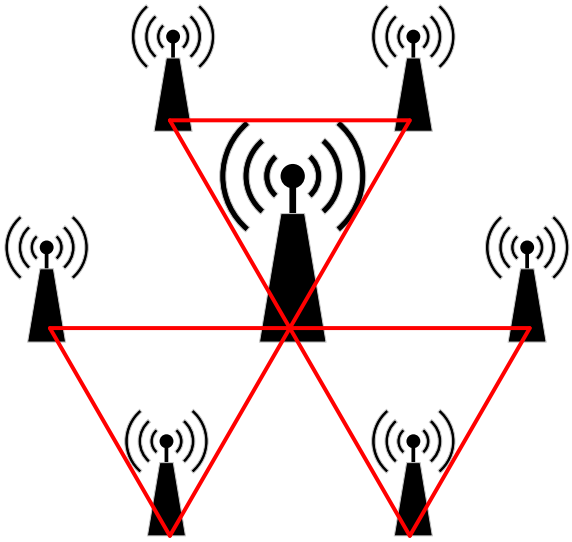


รูปที่ 8.5 รัศมีและการดูแลจัดสรรความถี่ใช้งานในแต่ละเซลล์

ในปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้มีการพัฒนาให้สอดรับกับการใช้งานได้อย่างครอบคลุมในพื้นที่ให้บริการทั่วไปให้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น สามารถที่จะทำการขยายอาณาเขตในการให้บริการได้อย่างทั่วถึงและต่อเนื่องตามความต้องการของผู้ใช้บริการ อย่างเช่นในเขตบริเวณพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยกันอยู่อย่างหนาแน่นนั้น ก็จะมีความต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นจำนวนมากตามไปด้วยเช่นกัน ซึ่งก็จำเป็นต้องวางแผนให้มีจำนวนเซลล์ให้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้นด้วยเพื่อรองรับอัตราการใช้บริการ (Traffic) ที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

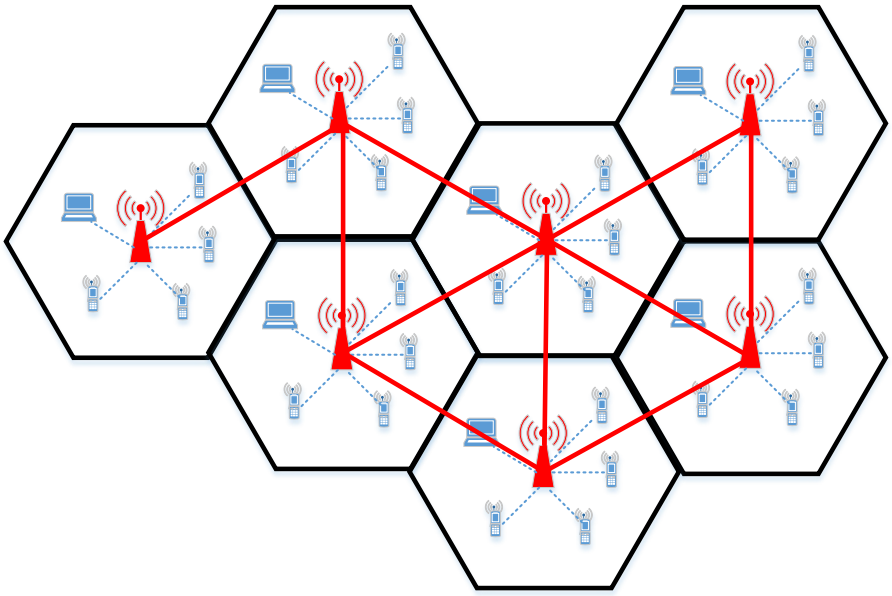
ในทางกลับกันนั้นเขตพื้นที่ที่ไม่มีประชากรหนาแน่นมากนัก ก็จะมีความต้องการในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ลดน้อยลงก็จะต้องออกแบบวางแผนให้ขนาดของเซลล์มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น โดยในแต่ละเซลล์ที่อยู่ชิดติดกันก็จะต้องใช้ย่านความถี่ที่มีความแตกต่างกันเพื่อที่จะได้นำความถี่กลับมาใช้ใหม่โดยที่จะไม่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณแทรกเข้ามาในระบบ แต่หากต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นก็จะทำการแบ่งจำนวนเซลล์ออกเป็นเซลล์ย่อย ๆ จนมีจำนวนเซลล์ที่มากขึ้นตามความต้องการได้ ซึ่งจะทำให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถนำความถี่ที่ใช้ไปแล้วกลับมาใช้งานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทั้งนี้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นจะใช้วิธีการติดตั้งเครื่องรับส่งวิทยุที่มีกำลังส่งน้อย ๆ จำนวนหลาย ๆ จุด ซึ่งกระจายครอบคลุมไปทั่วพื้นที่ที่มีการให้บริการ โดยจะเรียกจุดเหล่านั้นว่าสถานีฐาน (Base Station: BS) หรือที่นิยมเรียกว่าที่ตั้งเซลล์ (Cell Site) ซึ่งจะมีหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเซลล์ทั้งหมดในบริเวณให้บริการ แสดงได้ดังรูปที่ 8.6



รูปที่ 8.6 สถานีฐานในพื้นที่ให้บริการ

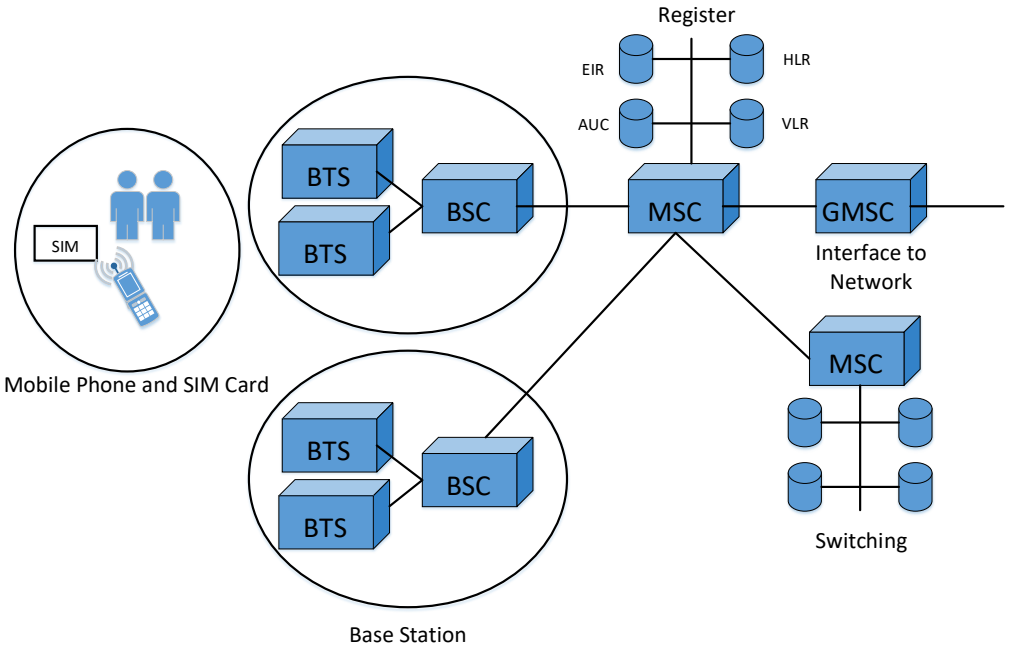
โดยลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์นั้นจะเป็นการเชื่อมต่อถึงกัน ซึ่งแต่ละเซลล์มีรัศมีครอบคลุมพื้นที่ให้บริการที่สอดคล้องกับจำนวนของผู้ใช้บริการ โดยขนาดของเซลล์ตามมาตรฐานทั่วไปจะมีรัศมีตั้งแต่ 250 m จนถึง 30 km ในกรณีที่ต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น ก็จะทำการลดขนาดของเซลล์ลงเพื่อนำความถี่กลับมาใช้ซ้ำและต้องทำการเพิ่มสถานีฐานให้สอดคล้องกันด้วย โดยที่เครื่องส่งของแต่ละเซลล์ก็จะลดกำลังส่งลงเพื่อให้ครอบคลุมเฉพาะในพื้นที่ขอบเขตการให้บริการในแต่ละจุด แสดงได้ดังรูปที่ 8.7



รูปที่ 8.7 ขอบเขตการให้บริการในแต่ละสถานีฐาน

8.4 โครงสร้างพื้นฐานระบบเซลลูลาร์

ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของระบบเซลลูลาร์นั้นสามารถจำแนกตามหน้าที่การทำงานและลักษณะการนำไปใช้งานได้ 4 ส่วนใหญ่ ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 8.8 และสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 8.8 โครงสร้างพื้นฐานระบบเซลลูลาร์

8.4.1 เครื่องลูกข่าย (Mobile Station: MS) จะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลที่จะรับส่งได้ทั้งสัญญาณเสียง สัญญาณภาพหรือข้อความต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อการใช้งานของระบบ (International Mobile Equipment Identity: IMEI) และอีกส่วนคือซิม (Subscriber Identity Module: SIM) ซึ่งจะเป็นการระบุตัวตนหรือหมายเลขโทรศัพท์ของผู้ใช้ โดยจะเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของหมายเลขที่ใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่ออ้างอิงข้อมูลของการให้บริการ ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะแยกเป็นอิสระซึ่งกันและกัน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำหมายเลขที่อยู่ในซิมไปใช้กับเครื่องโทรศัพท์เครื่องอื่น ๆ ได้

8.4.2 สถานีฐาน (Base Transceiver Station: BTS) ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับเครื่องโทรศัพท์ลูกข่ายด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งในการเชื่อมต่อนั้นจะต้องใช้การทำงานร่วมกันกับอุปกรณ์ที่ศูนย์ควบคุม BSC กับอุปกรณ์ที่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนประกอบของสถานีฐานจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือส่วนของระบบควบคุมการทำงานและการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ BSC และอีกส่วนจะเป็นภาคการจัดการสื่อสารทางคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารไปยังเครื่องลูกข่าย ซึ่งสถานีฐานนั้นจะมีหน้าที่ดังนี้

1. ส่งข้อมูลทางด้านคุณภาพช่องสัญญาณไปยัง BSC
2. ทำการเข้ารหัสและถอดรหัสช่องสัญญาณ

3. การแปลงข้อมูลให้เป็นรหัสลับ (Encryption)

4. ทำการซิงโครไนซ์ (Synchronize) โดยการเชื่อมต่อกับเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย

8.4.3 อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน (Base Station Controller: BSC) จะคอยทำหน้าที่ในการควบคุมการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่วิทยุให้กับสถานีฐานในกลุ่มให้บริการ และยังคอยควบคุมการกำหนดเส้นทางการเชื่อมต่อที่ใช้ในการสนทนาต่าง ๆ ผ่านสถานีฐานเชื่อมต่อไปยังเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย ด้วยการติดต่อสื่อสารกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งอุปกรณ์ BSC นี้จะทำหน้าที่บริหารจัดการด้านการทำงานอุปกรณ์ BTS ทั้งหมด ทำให้ชุมสายสามารถรองรับการให้บริการกับผู้ใช้บริการจำนวนมากได้ โดยหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของ BSC มีดังนี้

1. จัดสรรช่องสัญญาณความถี่วิทยุ
2. ควบคุมดูแลเกี่ยวกับ RF Link
3. ควบคุมดูแลเกี่ยวกับ Frequency Hopping
4. ควบคุมกำลังส่งของ MS และ BTS
5. ควบคุมคุณภาพและความแรงของสัญญาณในช่องสัญญาณที่ใช้งาน
6. ควบคุมดูแลเกี่ยวกับการทำ Handover

8.4.4 โครงข่ายสวิตชิ่งย่อย (Network Switching Subsystem: NSS) ที่จะประกอบด้วยการทำงานหลัก ๆ ที่ทำหน้าที่ในการกำหนดและเชื่อมต่อเส้นทางให้กับระบบ ซึ่งจะมีการทำงานประสานกับสวิตชิ่งบริการเคลื่อนที่ (Mobile Service Switching Center: MSC) หรือที่เรียกกันในชื่อของชุมสายเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งจะเป็นส่วนที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่าง BSC กับเครือข่ายทั้งหมดของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่กับเครือข่ายอื่น ๆ ด้วย โดย MSC จะทำหน้าที่เป็นส่วนของการสวิตช์และเชื่อมต่อเส้นทางระหว่างเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าหากัน รวมถึงเส้นทางระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโทรศัพท์ประเภทอื่น ๆ ด้วย อีกทั้งยังทำหน้าที่ในการเลือกเซลล์ให้บริการพร้อมทั้งรายงานพิกัดของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อีกด้วย ซึ่งในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นก็จะมี MSC หลาย ๆ ตัวที่ทำการเชื่อมต่อกัน และในส่วนของการเชื่อมต่อกับเครือข่ายของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน PSTN จะต้องเชื่อมต่อเส้นทางผ่านทางเกตเวย์เครือข่ายของระบบโทรศัพท์ (Gateway Mobile Service Switching Center: GMSC)

8.5 อุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่

โทรศัพท์เคลื่อนที่หรือโทรศัพท์มือถือ (Mobile Phone) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ในการติดต่อสื่อสารกันแบบสองทาง ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สายโดยจะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านไปยังสถานีฐาน โดยผู้ให้บริการแต่ละรายของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นจะทำการเชื่อมต่อสัญญาณไปยังเครือข่ายของโทรศัพท์บ้านและเครือข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่จากผู้ให้บริการรายอื่น ๆ ด้วย ทำให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างครอบคลุม ทั้งนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่ก็ได้มีการพัฒนาความสามารถให้เพิ่มขึ้นจนมีลักษณะใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์พกพามากขึ้นและรู้จักเรียกขานกันในชื่อของสมาร์ทโฟน

โทรศัพท์เคลื่อนที่มีฟังก์ชันการทำงานทางด้านการใช้ติดต่อสื่อสารแบบพูดคุยโต้ตอบกันเป็นพื้นฐานและมีการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานเสริมอื่น ๆ ขึ้นมา เช่น การส่งข้อความสั้น ๆ ปฏิทิน ตารางนัด

หมาย นาฬิกา เกม การใช้งานอินเตอร์เน็ต บลูทูธ อินฟราเรด กล้องถ่ายภาพ วิทยุ เครื่องเล่นเพลง การส่งข้อความมัลติมิเดีย และจีพีเอส

โดยมีการพัฒนาการสื่อสารด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่จากยุคแรกในแบบ 2G และ 3G ซึ่ง G ย่อมาจากคำว่า (Generation) โทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 2G เป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัล ระบบการติดต่อสื่อสารข้อมูลที่จัดอยู่ในยุคนี้เช่น GSM, CDMA โดยมีการพัฒนารูปแบบการส่งคลื่นเสียงแบบอะนาล็อกมาเป็นดิจิทัล โดยการเข้ารหัสด้วยการส่งคลื่นเสียงผ่านมาทางคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งรูปลักษณ์ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 2G นั้น จะเป็นหน้าจอขาวดำและมีเสียงเรียกเข้าแบบ Monotone สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8.9

รูปที่ 8.9 โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G

รูปที่ 8.10 โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2.5G และ 2.75G

รูปที่ 8.11 โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G

ต่อมาได้พัฒนามาเป็นยุคของ 2.5G ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลที่เริ่มนำระบบแพ็กเกจสวิตชิ่ง (Packet Switching) เข้ามาใช้งาน โดยระบบที่อยู่ในยุคนี้เช่น จีพีอาร์เอส (GPRS) ซึ่งทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้มากขึ้น ในส่วนของหน้าจอโทรศัพท์นั้นเริ่มปรับเปลี่ยนเป็นหน้าจอสี ในส่วนของเสียงเรียกเข้าก็ถูกพัฒนาให้เป็นเสียงเรียกเข้าเป็นแบบ MP3 และมีการพัฒนามาสู่ยุค 2.75G ซึ่งจะนำระบบเอดจ์ (Enhanced Data rates for Global Evolution: EDGE) เข้ามาใช้งาน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8.10

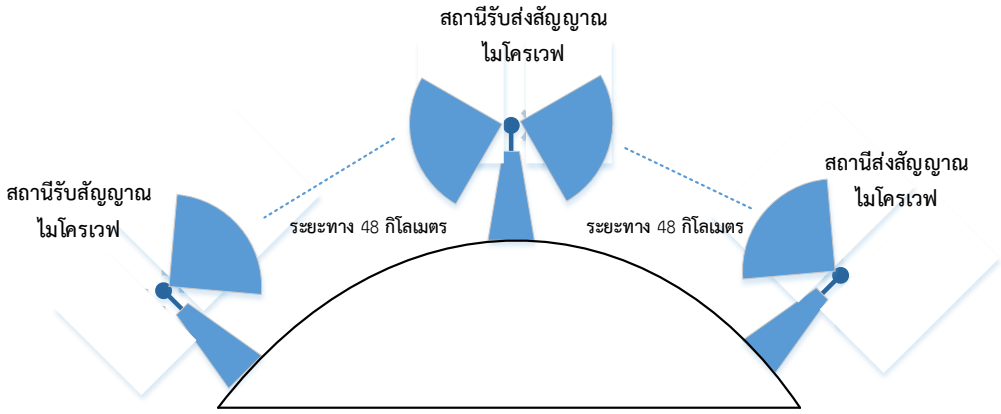
การสื่อสารข้อมูลทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้พัฒนาจนเข้าสู่ยุค 4G โดยเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลที่พัฒนาทางด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูลเร็วขึ้นถึงประมาณ 100 Mpbs ซึ่งสามารถทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่หรือสมาร์ทโฟนมีความหลากหลายในการใช้งานได้มากขึ้น เช่น การดูวิดีโอออนไลน์ที่มีความคมชัดอย่างเป็นธรรมชาติ การวิดีโอคอลข้ามประเทศ (Video Call) หรือการประชุมผ่านโทรศัพท์ (Mobile Teleconferencing) เป็นต้น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมากนัก โดยสามารถเชื่อมต่อข้อมูลได้ทั้งแบบซีดีเอ็มเอ (CDMA) และการเชื่อมต่อแบบไร้สายประเภท WiFi และ WiMax สำหรับการเชื่อมต่อประสานกันของข้อมูลภาพและข้อมูลเสียงให้เป็นข้อมูลเดียวกัน ตัวอย่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8.11

ในยุค 4G นี้ จะเป็นเทคโนโลยีแบบลองเทอมอีวูเลชัน (Long Term Evolution: LTE) ซึ่งจะมีความเร็วมากกว่ายุค 3G ถึงประมาณ 10 เท่า โดยการใช้คลื่นความถี่ในยุค 4G ของแต่ละทวีปก็แตกต่างกัน เช่น อเมริกาเหนือ ใช้ LTE คลื่นความถี่ย่าน 700, 800, 1700 และ 1900 MHz ทวีปยุโรปใช้คลื่นความถี่ย่าน 800, 900, 1800 และ 2600 MHz ทวีปเอเชียใช้คลื่นความถี่ย่าน 1800, 2600 MHz ออสเตรเลียใช้คลื่นความถี่ย่าน 1800 MHz และสำหรับในประเทศไทยได้ทำการทดสอบบนคลื่นความถี่ย่าน 1800 และ 2300 MHz

8.6 ระบบไมโครเวฟ

คลื่นความถี่ไมโครเวฟจะอยู่ในช่วง 1 GHz–10 THz ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการสื่อสารเป็นหลัก หากนำมาใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ในระนาบพื้นโลกจะต้องมีการตั้งสถานีรับส่งสัญญาณเป็นระยะ ๆ เนื่องจากสัญญาณเดินทางพุ่งออกเป็นเส้นตรงและความโค้งของผิวโลก ซึ่งการ

รับส่งสัญญาณนั้นสามารถมีระยะห่างได้ไกลสุดที่ประมาณ 80 km บนผิวโลก โดยความถี่ในช่วงนี้จะสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ออกไปยังนอกโลกได้ แสดงได้ดังรูปที่ 8.12



รูปที่ 8.12 สถานีรับส่งคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถสะท้อนกับผิวโลหะได้ดี จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจจับตำแหน่งทิศทางของอากาศยานได้ด้วย หรือที่รู้จักและเรียกกันว่า ระบบเรดาร์ โดยอาศัยหลักการส่งคลื่นความถี่ไมโครเวฟออกไปกระทบวัตถุที่เป็นโลหะในอากาศและรับคลื่นความถี่ที่จะสะท้อนกลับจากโลหะวัตถุนั้น แล้วนำมาคำนวณอัตราของระยะทางต่อความเร็วก็จะทำให้ทราบระยะห่างระหว่างโลหะวัตถุกับสถานีส่งคลื่นความถี่ไมโครเวฟได้

รูปที่ 8.13 จานไมโครเวฟบนเสาสัญญาณ

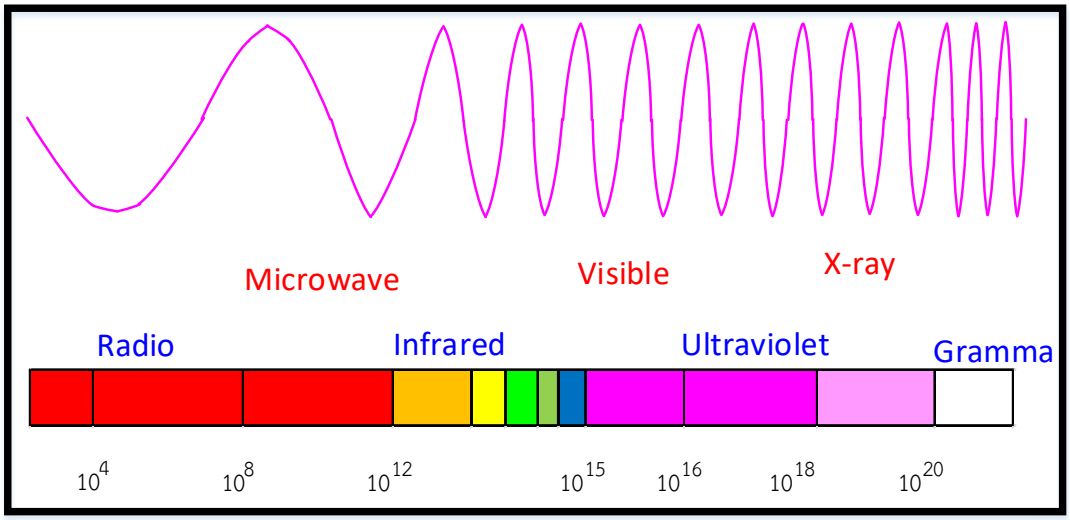
รูปที่ 8.14 จานไมโครเวฟภาคพื้นดิน

การรับส่งคลื่นความถี่ไมโครเวฟนิยมนำมาใช้งานในกรณีที่การส่งสัญญาณผ่านสายเคเบิ้ลทำได้ค่อนข้างยากลำบาก เช่น ในเขตพื้นที่ป่าเขาหรือเขตพื้นที่ทุรกันดาร โดยแต่ละสถานีไมโครเวฟจะติดตั้งจานส่ง-รับคลื่นความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เมตร คลื่นความถี่ไมโครเวฟที่นำมาใช้จะอยู่ในช่วงความถี่สูงที่ประมาณ 2-10 GHz ซึ่งสามารถป้องกันการสอดแทรกหรือคลื่นรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ ได้ แต่สัญญาณคลื่นความถี่นี้อาจมีการอ่อนกำลังลงหรือมีการเบี่ยงเบนหักเหได้ในช่วงอากาศที่มีอุณหภูมิสูง ๆ หรือเกิดเม็ดฝนหนาแน่นรวมถึงการเกิดลมพายุกรรโชกแรง โดยในการติดตั้งจานส่ง-รับสัญญาณคลื่นความถี่จึงต้องปรับหมุนให้หน้าของจานตรงกันทั้ง 2 ฝั่งและติดตั้งบนเสาส่งสัญญาณคลื่นความถี่ที่มีความสูงเพื่อป้องกันสิ่งกีดขวางการรับส่งสัญญาณ โดยตัวอย่างของจานไมโครเวฟ แสดงได้ดังรูปที่ 8.13-8.14

การรับส่งสัญญาณข้อมูลด้วยระบบคลื่นความถี่ไมโครเวฟยังคงใช้กันอย่างกว้างขวาง ในการสื่อสารข้อมูลที่มีระยะทางไกล ๆ หรือการนำไปใช้งานกันบนอาคารสูง โดยเฉพาะความไม่สะดวกในการเดินสายนำสัญญาณประเภทสายไฟเบอร์ออปติก ซึ่งการใช้ระบบไมโครเวฟยังมีราคาที่ถูกกว่าและทำการติดตั้งระบบได้ง่ายกว่า ซึ่งก็ยังคงสามารถส่งข้อมูลได้จำนวนมาก ๆ อยู่อีกด้วย

คลื่นความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) จะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ที่มีความถี่สูงประเภทหนึ่งที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น แต่จะสามารถวัดค่าสัญญาณความถี่ได้ด้วยการใช้เครื่องมือวัดเฉพาะทาง โดยจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเดียวกันกับคลื่นอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) คลื่นรังสีเอกซ์ และคลื่นรังสีแกมมา โดยจะมีค่าความถี่ของคลื่นที่น้อยกว่า

คลื่นความถี่ไมโครเวฟจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1 mm ถึง 1 m โดยที่จะมีความถี่ของช่วงคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 300 MHz ถึง 300 GHz ซึ่งจะมีความถี่คลื่นที่สูงที่สุดอยู่ที่ประมาณ 2450 ล้านรอบ/วินาที โดยความถี่ในช่วง 915–2450 MHz จะถูกนำมาใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ และคลื่นความถี่ไมโครเวฟในช่วงที่เหลืออยู่นั้นจะสงวนไว้ใช้ในงานทางด้านการวิจัย แสดงได้ดังรูปที่ 8.15



รูปที่ 8.15 คลื่นความถี่ไมโครเวฟ

8.6.1 คุณสมบัติของคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

1. การสะท้อนกลับ (Reflection) โดยที่คลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นเมื่อปล่อยออกไปกระทบกับวัตถุที่เป็นโลหะหรือส่วนที่มีโครงสร้างทำจากโลหะ คลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นก็จะไม่สามารถทะลุทะลวงผ่านโลหะนั้นไปได้ ก็จะทำการสะท้อนคลื่นนั้นกลับมาทั้งหมด ในกรณีที่นำไปใช้กับเตาไมโครเวฟนั้นคลื่นไมโครเวฟจะสะท้อนไปมาอยู่ภายใน

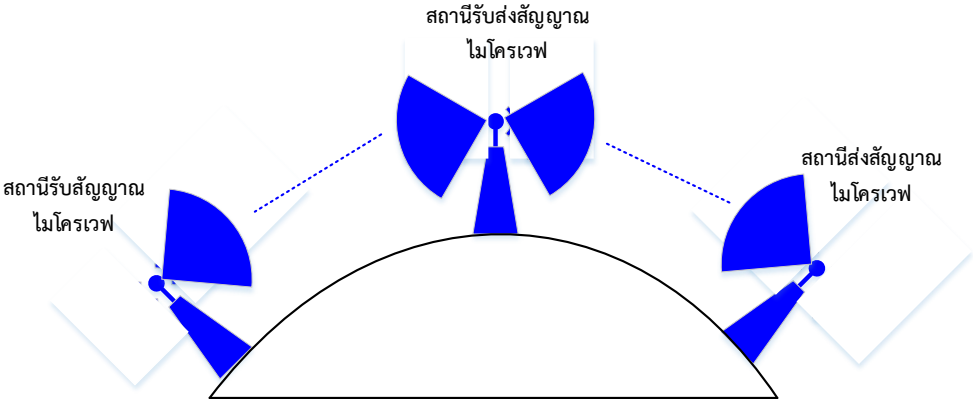
2. การส่งผ่าน (Transmission) โดยที่คลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นเมื่อปล่อยออกไปกระทบกับวัตถุที่ไม่เป็นโลหะหรือส่วนที่มีโครงสร้างไม่ได้ทำจากโลหะ เช่น พลาสติก เซรามิก กระดาษ แก้ว และไม้ เป็นต้น คลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นก็จะสามารถทะลุทะลวงผ่านไปได้ ในกรณีที่นำไปใช้กับเตาไมโครเวฟนั้นคลื่นไมโครเวฟจะส่งผ่านภาชนะที่ใช้รองรับอาหารเข้าไปยังอาหารที่อยู่ภายในได้

3. การดูดซับ (Adsorption) โดยที่คลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นเมื่อปล่อยออกไปกระทบกับวัตถุที่มีน้ำหรือความชื้นภายใน ก็จะเกิดการดูดซับคลื่นความถี่นั้นไว้ จนส่งผลให้โมเลกุลของน้ำที่ดูดซับพลังงานคลื่นและจะแปรเปลี่ยนให้กลายเป็นพลังงานความร้อนจนเกิดเป็นความร้อนขึ้นในวัตถุนั้น อีกทั้งการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำเมื่อคลื่นวิ่งผ่านก็จะทำให้เกิดความร้อนได้ด้วยเช่นกัน ในกรณีของเตาไมโครเวฟนั้นคลื่นไมโครเวฟหลังจากถูกดูดซับไว้โดยน้ำแล้วนั้นก็จะทำการสลายตัวไปในทันทีจะไม่เกิดการตกค้างของคลื่นความถี่ในอาหารแต่อย่างใด

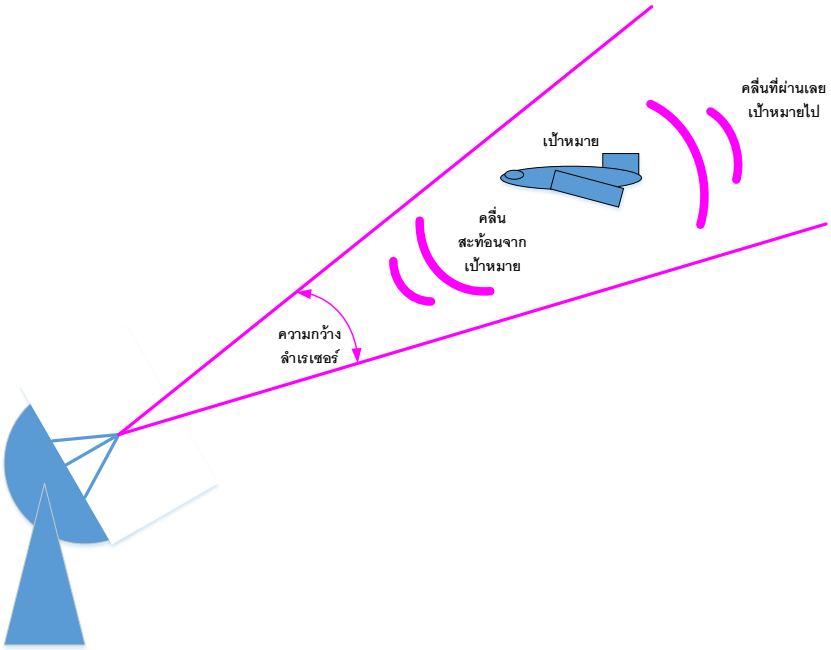
8.6.2 ประโยชน์ของคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

1. นำมาใช้กับระบบการสื่อสารไมโครเวฟและการสื่อสารผ่านดาวเทียมได้ ตัวอย่างระบบสื่อสารไมโครเวฟ แสดงได้ดังรูปที่ 8.16

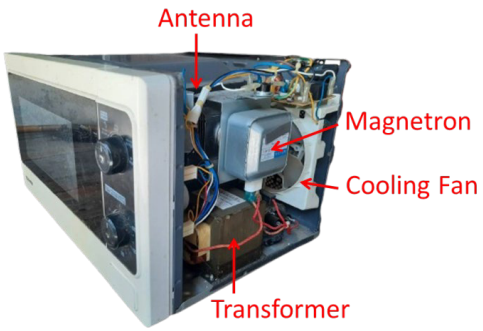
2. นำมาใช้กับระบบตรวจจับวัตถุทางอากาศ การนำร่องทางการบิน การเดินเรือ และยุทโธปกรณ์เคลื่อนที่เรดาร์ แสดงได้ดังรูปที่ 8.17



รูปที่ 8.16 ระบบสื่อสารไมโครเวฟ



รูปที่ 8.17 ระบบตรวจจับวัตถุทางอากาศ



รูปที่ 8.18 เตาไมโครเวฟ

3. นำมาใช้ทางด้านการแพทย์ ในการฆ่าเชื้อหรือการรักษาโดยการใช้ความร้อน โดยใช้คลื่นไมโครเวฟความถี่ต่ำ ๆ ที่สามารถทำให้เกิดความร้อนแค่อุ่น ๆ ในการรักษาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อและการปวดบวมตามข้อ หรือการทำลายเซลล์มะเร็งในร่างกายมนุษย์ที่จะนำคลื่นไมโครเวฟความถี่ต่ำปานกลางเข้ามาช่วยในการรักษา

4. นำมาใช้ในการทำให้เกิดความร้อนกับอาหารหรือการประกอบอาหารในปัจจุบัน โดยที่จะเรียกกันในชื่อของ เตาไมโครเวฟ แสดงได้ดังรูปที่ 8.18 อีกทั้งยังสามารถนำคลื่นความถี่ในช่วง 915–2450 MHz ไปใช้ทางด้านอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ความร้อนในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย

8.6.3 คลื่นไมโครเวฟกับผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์

ในกรณีที่ร่างกายของมนุษย์ได้สัมผัสใกล้ชิดกับคลื่นไมโครเวฟที่มีระดับความเข้มสูง ๆ เช่น ความเข้มข้นที่ประมาณ 100 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร เป็นเวลานานก็จะเกิดปฏิกิริยาของการเสียดสีกันระหว่างโมเลกุลของน้ำกับกล้ามเนื้อที่เป็นโปรตีนหรือไขมันขึ้นภายในเซลล์ของร่างกายมนุษย์ จนเซลล์ร่างกายของมนุษย์นั้นเกิดความร้อนสะสมและจะทำการดูดกลืนเอาไว้ภายในเซลล์หรืออวัยวะต่าง ๆ โดยถ้าร่างกายของมนุษย์นั้นยังไม่สามารถถ่ายเทหรือระบายความร้อนออกไปจนกลับมาอยู่ในสภาวะอุณหภูมิร่างกายที่เป็นปกติได้ ก็จะส่งผลต่อเซลล์หรืออวัยวะนั้นเกิดความเสียหายจนเซลล์นั้นตายได้หากปล่อยไว้ให้อยู่ในระดับที่รุนแรง โดยเซลล์หรืออวัยยะในร่างกายที่มีผลกระทบเกิดขึ้นได้แก่

1. ผลต่อเลนส์ตา ทำให้เลนส์ตาระบายความร้อนได้ลดลง อาจส่งผลทำให้เกิดเป็นต้อกระจกได้

2. ผลต่อหัวใจ ทำให้หัวใจเกิดอาการเต้นเร็วหรือเต้นผิดจังหวะได้

3. ผลต่อศีรษะ ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ มึนงง หรือเมื่อยล้าได้

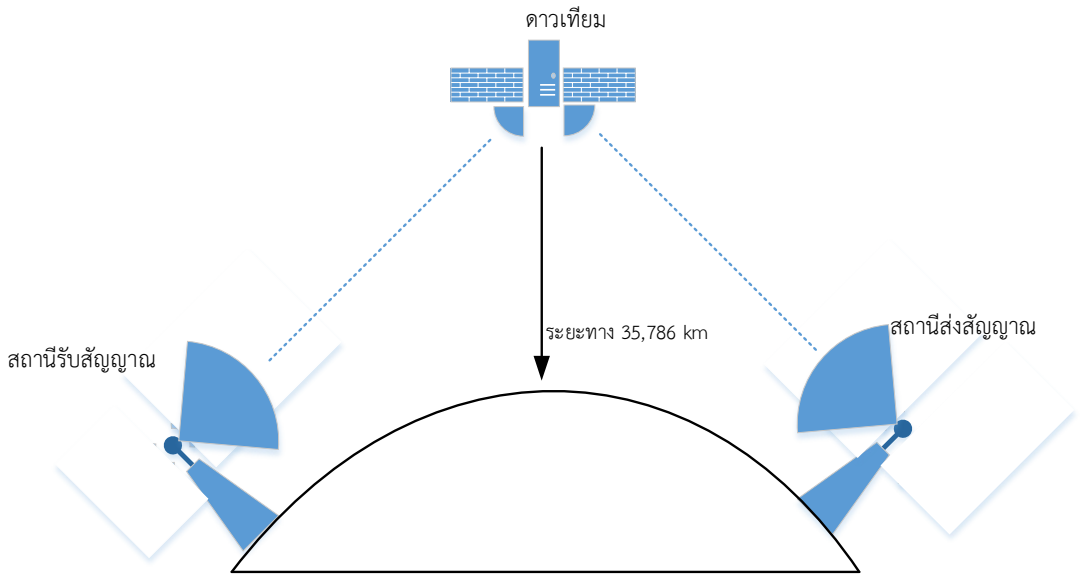
4. ผลต่อกระดูก ทำให้กระดูกที่กำลังมีการเจริญเติบโตเกิดการบิดผิดรูปร่างได้

5. ผลต่อเชื้ออสุจิ อาจส่งผลให้เชื้ออสุจิผิดปกติ เชื้ออสุจิตายจนกลายเป็นหมันแบบชั่วคราวได้

8.7 การสื่อสารด้วยดาวเทียม

ดาวเทียม (Satellite) เป็นสถานีไมโครเวฟลอยฟ้าที่จะคอยส่งและรับสัญญาณข้อมูลกับสถานีดาวเทียมที่อยู่บนพื้นโลก ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายและทวนสัญญาณข้อมูล โดยที่สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินนั้นจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยความถี่หนึ่ง (Up Link) ขึ้นไปยังดาวเทียมที่หมุนไปตามการหมุนของโลกซึ่งดาวเทียมนี้ก็จะมีตำแหน่งที่คงที่หากทำการเทียบกับตำแหน่งของสถานีดาวเทียมบนพื้นโลก ซึ่งดาวเทียมจะถูกส่งและปล่อยให้ลอยค้างฟ้าโดยจะอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 35,786 km โดยที่เครื่องทวนสัญญาณของดาวเทียม (Transponder) จะทำการรับสัญญาณข้อมูลจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินที่จะมีกำลังที่อ่อนลงมากแล้วมาทำการขยายให้มีความแรงเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะทำการทวนสัญญาณและตรวจหาตำแหน่งของสถานีปลายทางบนพื้นโลก แล้วจึงส่งสัญญาณข้อมูลอีกความถี่หนึ่ง (Down Link) ลงมายังสถานีปลายทางบนพื้นโลก แสดงได้ดังรูปที่ 8.19

รูปแบบของการรับส่งสัญญาณข้อมูลจะเป็นได้ทั้งแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) หรือแบบกระจายสัญญาณ (Broadcast) โดยที่สถานีดาวเทียม 1 ดวง จะสามารถมีจำนวนเครื่องทวนสัญญาณดาวเทียมได้มากถึง 25 เครื่อง ซึ่งสามารถครอบคลุมพื้นที่จากการส่งสัญญาณได้ในพื้นที่ประมาณ 1 ใน 3 ของพื้นผิวโลก ทั้งนี้ถ้าต้องการที่จะส่งสัญญาณข้อมูลให้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกแล้วนั้น ก็จะใช้การส่งสัญญาณผ่านสถานีดาวเทียมแค่ 3 ดวงเท่านั้น



รูปที่ 8.19 การรับส่งสัญญาณดาวเทียม

สถานีดาวเทียมตั้งแต่ 2 ดวงขึ้นไปนั้น ถ้ามีการใช้ความถี่ของสัญญาณเท่ากัน โดยอยู่ไม่ห่างกันมากนักอาจก่อให้เกิดการกวนกันของสัญญาณได้ ดังนั้นจึงได้ทำการกำหนดมาตรฐานทางด้านระยะห่างของสถานีดาวเทียมและย่านความถี่ของสัญญาณ เพื่อป้องกันการกวนกันหรือการชนกันของสัญญาณดาวเทียม ดังนี้

1. กรณีมีระยะที่อยู่ห่างกันประมาณ 4 องศา โดยการวัดมุมของดาวเทียมเทียบกับจุดศูนย์กลางของโลก กำหนดให้ใช้ย่านความถี่ของสัญญาณอยู่ที่ 4/6 GHz หรืออยู่ในย่าน C แบนด์โดยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณขาขึ้นอยู่ที่ 5.925-6.425 GHz และมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณขาลงอยู่ที่ 3.7-4.2 GHz

2. กรณีมีระยะที่อยู่ห่างกันประมาณ 3 องศา กำหนดให้ใช้ย่านความถี่ของสัญญาณอยู่ที่ 12/14 GHz หรืออยู่ในย่าน KU แบนด์ โดยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณขาขึ้นอยู่ที่ 14.0-14.5 GHz และมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณขาลงอยู่ที่ 11.7-12.2 GHz นอกจากนี้สภาพอากาศ เช่น ฝนหรือพายุก็สามารถทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไปได้เช่นกัน

การส่งสัญญาณข้อมูลของเครื่องทวนสัญญาณแต่ละตัวจะมีแบนด์วิดท์อยู่ที่ 36 MHz และมีอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 50 Mbps

การส่งสัญญาณข้อมูลทางดาวเทียมนั้นก็จะมีข้อเสียอยู่บ้างได้แก่ สัญญาณข้อมูลที่รับส่งนั้นสามารถที่จะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ ที่อยู่บนภาคพื้นดินได้ รวมถึงการหน่วงเวลา (Delay Time) สำหรับการรับส่งสัญญาณจากระยะทางขาขึ้น-ขาลงของสัญญาณและในด้านของราคาก็จะมีราคาที่สูงในการลงทุนส่งผลต่อค่าบริการที่จะสูงตามไปด้วย

8.7.1 ดาวเทียมไทยคม

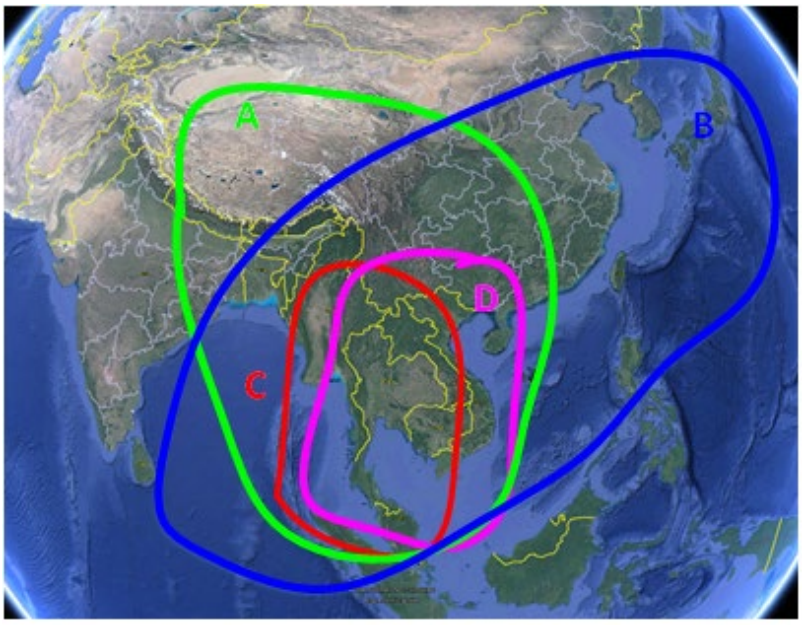
พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร โปรดเกล้าฯ พระราชทานนามดาวเทียมสื่อสารแห่งชาติดวงแรกของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2534 ในชื่อว่าไทยคม (THAICOM) มาจากคำว่า Thai Communications หรือ ไทยคมนาคม เพื่อเป็นสัญลักษณ์การเชื่อมโยงประเทศไทยกับเทคโนโลยีสื่อสารสมัยใหม่

ดาวเทียมไทยคมเป็นดาวเทียมสื่อสารแห่งชาติ โดยมีบริษัทชินวัตรคอมพิวเตอร์ แอนด์ คอมมิวนิเคชั่นส์ จำกัด เป็นผู้ได้รับสัมปทานโครงการดาวเทียมสื่อสารภายในประเทศ ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันดาวเทียมไทยคมนั้นมีการใช้งานไปแล้วทั้งหมดอยู่ 8 ดวง โดยที่ดาวเทียมไทยคม 1, 2, 3 และ 5 ถูกปลดระวางแล้ว ส่วนดาวเทียมไทยคม 4, 6, 7 และ 8 ยังคงปฏิบัติหน้าที่ในวงโคจรอยู่จนถึงปัจจุบัน

ดาวเทียมไทยคม 1 ซึ่งเป็นดาวเทียมดวงแรกของประเทศไทย โดยเป็นดาวเทียมรุ่น HS-376 ที่สร้างขึ้นมาโดยบริษัท Huges Space Aircraft ซึ่งเป็นบริษัทลูกของบริษัทโบอิง ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2536 ในช่วงแรกดาวเทียมดวงนี้โคจรอยู่ที่บริเวณพิกัด 78.5 องศาตะวันออก เรียกชื่อว่า ไทยคม 1 แล้วจึงย้ายมาอยู่ที่บริเวณพิกัด 120 องศาตะวันออก เมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2540 จึงมีการเรียกชื่อใหม่เป็น ไทยคม 1A โดยมีพื้นที่ให้บริการอยู่ในย่านความถี่ C-Band จนถึงปี พ.ศ. 2551 จึงได้ปลดระวาง ซึ่งมีอายุการใช้งานประมาณ 15 ปี

ดาวเทียมไทยคม 2 จะเป็นดาวเทียมดวงที่ 2 ของประเทศไทย โดยเป็นดาวเทียมรุ่น HS-376 โคจรอยู่ที่บริเวณพิกัด 104°24'57.7 องศาตะวันออก ส่งเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2537 มีพื้นที่ให้บริการในย่านความถี่ C-Band ก่อนที่จะตกลงสู่มหาสมุทรอินเดีย เมื่อวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2552 รวมมีอายุการใช้งานประมาณ 15 ปี

ดาวเทียมไทยคม 3 จะเป็นดาวเทียมรุ่น Aerospatiale SpaceBus 3000A มีวงโคจรที่บริเวณพิกัด 78.5 องศาตะวันออก โดยจะมีพื้นที่ให้บริการ (Footprint) ที่ครอบคลุมพื้นที่มากถึง 4 ทวีป ได้แก่ เอเชีย ออสเตรเลีย แอฟริกาและยุโรป แสดงได้ดังรูปที่ 8.20 สามารถทำการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ตรง (Direct-to-Home: DTH) ไปยังบ้านเรือนของผู้ใช้บริการภายในประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้านข้างเคียง โดยถูกส่งเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2540 เพื่อทดแทนการให้บริการจากดาวเทียมไทยคม 1A และได้ทำการปลดระวาง เมื่อปี พ.ศ. 2549 จากสาเหตุของปัญหาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอ รวมมีอายุการใช้งานประมาณ 9 ปี



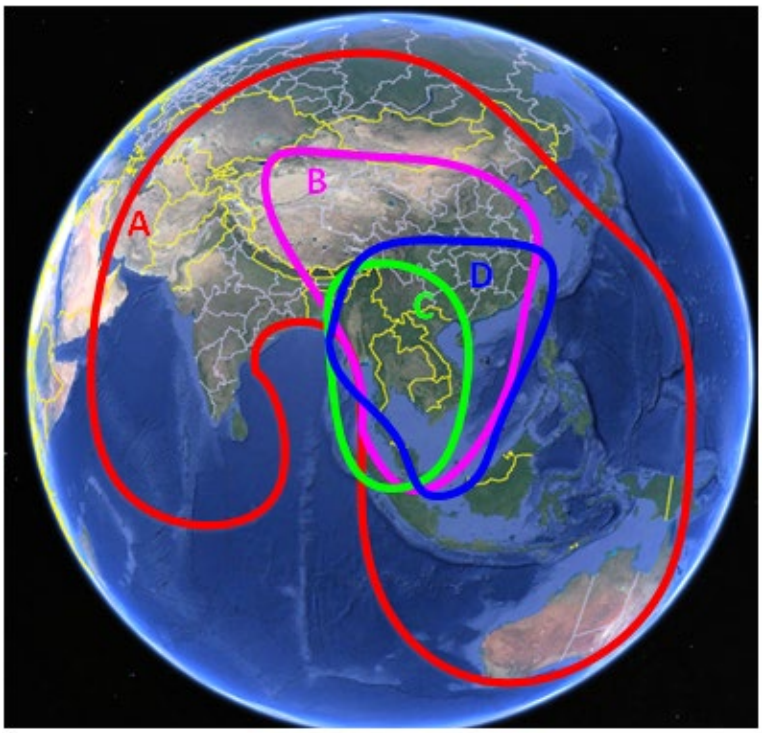
รูปที่ 8.20 พื้นที่ให้บริการของดาวเทียมไทยคม 3

ดาวเทียมไทยคม 4 หรือดาวเทียมไอพีสตาร์ จะเป็นดาวเทียมรุ่น LS-1300 SX ผลิตออกมาโดยบริษัท Space System/Loral พาโล อัลโต ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยจะเป็นดาวเทียมดวงแรกที่มีการออกแบบให้สามารถบริการเกี่ยวกับอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงที่ระดับความเร็ว 45 Gbps ได้ ซึ่งเป็นดาวเทียมขนาดใหญ่และมีน้ำหนักประมาณ 6,805 กิโลกรัม ที่เป็นดาวเทียมสื่อสารเชิงพาณิชย์ที่มีความทันสมัยเป็นอย่างมาก ส่งเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2548 จนถึงปัจจุบัน ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการทั่วภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก

ดาวเทียมไทยคม 5 จะเป็นดาวเทียมรุ่น Aerospatiale SpaceBus 3000A ที่ผลิตขึ้นโดยบริษัท Alcatel Alenia Space ประเทศฝรั่งเศส มีน้ำหนักประมาณ 2,800 กิโลกรัม ซึ่งนำมาใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมตรงไปยังบ้านเรือนของผู้ใช้บริการ (DTH6486) และการถ่ายทอดสัญญาณแบบโทรทัศน์ดิจิทัลความละเอียดสูง (High Definition TV: HDTV) ซึ่งเป็นการให้บริการที่ครอบคลุมพื้นที่ได้ถึง 4 ทวีป ทำการส่งเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 เพื่อเป็นการทดแทนดาวเทียมไทยคม 3 โดยดาวเทียมไทยคม 5 ได้ปลดระวางไปแล้วเมื่อวันที่

26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 จากสาเหตุของปัญหาเกี่ยวกับแบตเตอรี่ของดาวเทียม รวมมีอายุการใช้งานประมาณ 14 ปี

ดาวเทียมไทยคม 6 จะเป็นดาวเทียมที่ผลิตโดยบริษัท Orbital Sciences Corporation แต่ให้ทางบริษัท SpaceX ทำการขนส่งให้เนื่องจากน้ำหนักของดาวเทียมที่มากถึง 3,000 กิโลกรัม ด้วยการใช้จรวดที่ชื่อว่า Falcon 9 ในการขนส่งดาวเทียม ซึ่งดาวเทียมไทยคม 6 มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมพื้นที่ถึง 4 ทวีป แสดงได้ดังรูปที่ 8.21 โดยนำมาเป็นดาวเทียมสำหรับการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมตรงไปยังบ้านเรือนของผู้ใช้บริการ (DTH) และการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลความละเอียดสูง (HDTV) ซึ่งให้บริการในย่านความถี่ C-Band และ Ku-Band



รูปที่ 8.21 พื้นที่ให้บริการของดาวเทียมไทยคม 6

ดาวเทียมไทยคม 7 จะเป็นดาวเทียมแบบ 3 แกน รุ่น FS1300 ผลิตขึ้นมาโดย บริษัท สเปซ สิสเต็มส์/ลอเรล ประเทศสหรัฐอเมริกา ส่งเข้าสู่วงโคจรด้วยจรวดฟอลคอน 9 ของบริษัท สเปซ เอ็กซ์พลอเรชั่น เทคโนโลยี (SPACEX) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยดาวเทียมมีน้ำหนักประมาณ 3,700 กิโลกรัม โดยออกแบบให้มีอายุการใช้งานประมาณ 15 ปี โดยจะมีการให้บริการในย่านความถี่ C-Band จำนวน 14 ทรานสปอนเดอร์ ซึ่งสามารถให้บริการพื้นที่ครอบคลุมภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โซนอินโดจีน รวมถึงทวีปออสเตรเลีย และประเทศนิวซีแลนด์ได้ภายในบีมเดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถติดต่อหากันแบบข้ามภูมิภาคได้ โดยทำการจัดส่งเข้าสู่วงโคจรที่บริเวณพิกัด 120 องศาตะวันออก เมื่อปี พ.ศ. 2557

ดาวเทียมไทยคม 8 จะเป็นดาวเทียมรุ่นใหม่ ที่ผลิตขึ้นมาโดยบริษัท Orbital Sciences Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา ส่งเข้าสู่วงโคจรด้วยจรวดฟอลคอน 9 ของบริษัท สเปซ เอ็กซ์พลอเรชั่น เทคโนโลยี (SPACEX) ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 เพื่อเป็นการทดแทนดาวเทียมไทยคม 5 ซึ่งจะโคจรอยู่ในวงโคจรที่บริเวณพิกัด 78.5 องศาตะวันออก โดยมีน้ำหนักประมาณ 3,100 กิโลกรัม มีจานรับส่งสัญญาณย่านความถี่ Ku-Band จำนวน 24 ทรานสปอนเดอร์ สำหรับการให้บริการครอบคลุมพื้นที่ได้ทั่วประเทศไทย ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และทวีปแอฟริกา โดยออกแบบมาเพื่อใช้เป็นดาวเทียมที่ทำการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมตรงไปยังบ้านเรือนของผู้ใช้บริการ (DTH) และการถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลที่มีความละเอียดสูงและความละเอียดสูงมาก

8.7.2 ดาวเทียม THEOS-2

ดาวเทียม THEOS-2 เป็นดาวเทียมสำรวจโลกดวงแรกของประเทศไทยในระดับ Industrial Grade จากผลงานการวิจัยและพัฒนาของวิศวกรชาวไทย จำนวน 20 คน ที่ได้ทำการพัฒนาร่วมกับองค์กรจากต่างประเทศที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีอวกาศ โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) ซึ่งสามารถส่งดาวเทียมจากท่าอวกาศยานยุโรปเฟรนช์เกียนา (Guiana Space Center) เมืองกูรู เฟรนช์เกียนา ทวีปอเมริกาใต้เข้าสู่วงโคจรได้สำเร็จ เมื่อวันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2566 โดยจะสามารถนำข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมมาใช้พัฒนาประเทศในหลากหลายมิติ เช่น การจัดทำแผนที่ทางภูมิศาสตร์ การจัดการด้านการวิเคราะห์พื้นที่ทางการเกษตร การบริหารจัดการน้ำแบบองค์รวม การจัดการภัยธรรมชาติ การจัดการพื้นที่เมืองเขตชายแดน การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและระบบนิเวศน์ เป็นต้น

8.8 สรุป

ระบบเซลลูลาร์ เป็นระบบที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันด้วยเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาตามยุคสมัยผ่านเครื่องรับโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือโทรศัพท์มือถือ โดยจากอดีตที่มุ่งเน้นให้สามารถพูดคุยกันได้เพียงอย่างเดียวก็ค่อย ๆ พัฒนาขึ้น โดยการเพิ่มการใช้งานทางด้านการส่งข้อความ ส่งรูปภาพ มาเป็นส่งมัลติมิเดีย ส่งวิดีโอสั้น จนถึงการพูดคุยแบบเห็นภาพแบบเรียลไทม์ผ่านสมาร์ทโฟน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพัฒนาที่เกิดขึ้นนี้เพื่อตอบสนองและรองรับต่อการใช้งานในชีวิตประจำวันของมนุษย์ให้เกิดความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านระบบไมโครเวฟเข้ามาช่วยขยายระยะทางให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการในเขตธุรกิจและชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือหากอยู่นอกเหนือจากข้อจำกัดด้านพื้นที่ก็ยังสามารถใช้เทคโนโลยีทางด้านระบบดาวเทียมเข้ามาช่วยในการติดต่อสื่อสารกันได้ ซึ่งระบบดาวเทียมนั้นยังสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างกว้างขวางทั่วทุกมุมโลก ซึ่งก็เป็นการขยายพื้นที่ให้บริการต่าง ๆ ได้อย่างทั่วถึง หากแต่ก็ต้องแลกมาด้วยค่าบริการที่อาจจะสูงมากขึ้น เพื่อให้ตอบรับกับการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หล่าย โดยจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8

ข้อ 1 จงบอกถึงลักษณะการส่งข้อมูลในระบบสื่อสัญญาณ
ข้อ 2 จงบอกถึงวิวัฒนาการในระบบเซลลูลาร์
ข้อ 3 จงอธิบายเกี่ยวกับสถานีฐานในระบบเซลลูลาร์
ข้อ 4 จงบอกลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของระบบเซลลูลาร์
ข้อ 5 จงอธิบายถึงสถานีรับส่งคลื่นความถี่ไมโครเวฟ
ข้อ 6 จงอธิบายถึงคลื่นความถี่ไมโครเวฟ
ข้อ 7 จงอธิบายถึงประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟ
ข้อ 8 จงบอกถึงการนำระบบไมโครเวฟไปใช้งาน
ข้อ 9 จงอธิบายถึงการรับส่งสัญญาณดาวเทียม
ข้อ 10 จงอธิบายถึงดาวเทียมไทยคมที่ยังคงให้บริการอยู่มาพอสังเขป

บรรณานุกรม

1. นิรันดร์ คำประเสริฐ, วิศวกรรมแม่เหล็กไฟฟ้าและวิศวกรรมไมโครเวฟ เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 1: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2547.

2. บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, วิศวกรรมไมโครเวฟ, พิมพ์ครั้งที่ 3: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.

3. วีระพจน์ สิทธิพงศ์, การสื่อสารดาวเทียม, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2558.

4. ระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://art0244.blogspot.com/2018/08/blog-post.html, 11 พฤศจิกายน 2565.

5. Cellular – ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ (mobile phone system) [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://docs.google.com/document/d/1wr3_7GZz4rrZ_LwmyCFEnNkElZahL3DurVHY1BVNgc/edit?hl=en&tab=t.0, 11 พฤศจิกายน 2565.

6. วิรุณศักดิ์ สันติเพ็ชร์, วิศวกรรมโทรคมนาคมเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559.

7. ปรีชา กอเจริญ, หลักการสื่อสารและโทรคมนาคม, พิมพ์ครั้งที่ 1: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็ม แอนด์ เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์, 2557.

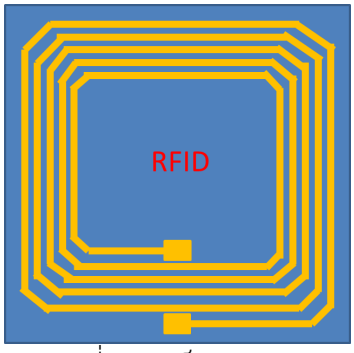
8. ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, สู่โลกไฟฟ้าสื่อสาร, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2555.

บทที่ 9
เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

จากพื้นฐานการสื่อสารที่ได้เรียนรู้ในบทเรียนก่อนหน้านี้ ทำให้สามารถเข้าใจถึงพัฒนาการของเทคโนโลยีการสื่อสารจากอดีตจนถึงปัจจุบันได้ และการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีนี้ยังส่งผลไปยังอนาคตที่จะทำให้เกิดความสะดวกสบายต่อชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้น การนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ก้าวหน้าทันสมัยมาใช้ในปัจจุบันทำให้เกิดการพัฒนาในทุก ๆ ด้านอย่างก้าวกระโดด รวมถึงเทคโนโลยีทางด้านอาร์เอฟไอดี (RFID) ด้วยเช่นกัน

9.1 ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

อาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification: RFID) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้คลื่นวิทยุในการระบุและติดตามวัตถุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรงระหว่างตัวส่งข้อมูลและตัวอ่านข้อมูล แสดงได้ดังรูปที่ 9.1 ระบบนี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลจาก แท็ก RFID (RFID Tag) ไปยัง เครื่องอ่าน RFID (RFID Reader) ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ



รูปที่ 9.1 แท็ก RFID

9.1.1 องค์ประกอบของระบบ RFID ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. แท็ก RFID (RFID Tag) เป็นชิ้นส่วนที่ติดตั้งไว้บนวัตถุที่ต้องการระบุข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

แท็กแบบพาสซีฟ (Passive Tag) ไม่มีแหล่งพลังงานในตัว ต้องพึ่งพาคลื่นวิทยุจากเครื่องอ่าน

แท็กแบบแอคทีฟ (Active Tag) มีแหล่งพลังงานในตัว (แบตเตอรี่) ทำให้ส่งข้อมูลได้ในระยะที่ไกลกว่า

โดยภายในแท็กจะมี ชิป ที่เก็บข้อมูล เช่น หมายเลข ID และสายอากาศ สำหรับส่งและรับสัญญาณ

2. เครื่องอ่าน RFID (RFID Reader) ใช้สำหรับอ่านข้อมูลจากแท็ก RFID โดยส่งคลื่นวิทยุไปยังแท็กและรับข้อมูลกลับมา และเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลหรือระบบซอฟต์แวร์เพื่อจัดการข้อมูล

3. ซอฟต์แวร์หรือระบบจัดการข้อมูล ทำหน้าที่บันทึก วิเคราะห์ และจัดการข้อมูลที่อ่านได้จากแท็ก RFID

9.1.2 การทำงานของ RFID จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. เครื่องอ่านส่งคลื่นวิทยุไปยังแท็ก
2. แท็กรับพลังงานจากคลื่นวิทยุ (สำหรับ Passive Tag) หรือใช้พลังงานของตนเอง (Active Tag)
3. แท็กส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน
4. ข้อมูลจะถูกส่งไปยังระบบจัดการข้อมูลเพื่อประมวลผล

9.1.3 ประโยชน์ของ RFID สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ติดตามสินค้าและการจัดการคลังสินค้า เช่น ในซุปเปอร์มาร์เก็ตหรือโกดังสินค้า
2. การตรวจสอบสิทธิ์และความปลอดภัย เช่น ในบัตรผ่านเข้า-ออก
3. การเก็บค่าผ่านทางหรือบริการอัตโนมัติ เช่น บัตรทางด่วน (Easy Pass)
4. การติดตามทรัพย์สินหรือสัตว์เลี้ยง เช่น การฝังชิปในสัตว์เลี้ยง

ข้อดีของ RFID

ไม่ต้องมีการสัมผัสโดยตรงเหมือนกับบาร์โค้ด

อ่านข้อมูลได้รวดเร็วและแม่นยำ

สามารถอ่านข้อมูลได้ในระยะไกล (ขึ้นอยู่กับประเภทของแท็ก)

ข้อเสียของ RFID

ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบสูง

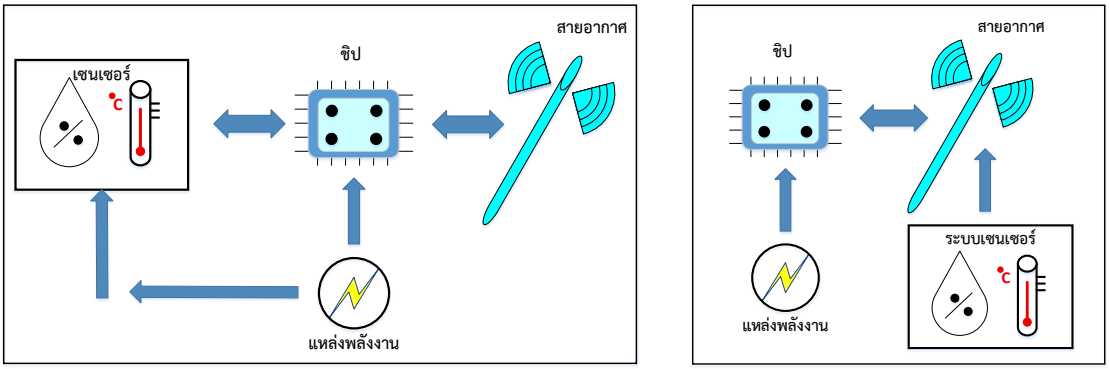
อาจมีปัญหาด้านความปลอดภัยข้อมูล (หากไม่มีการเข้ารหัส)

การรบกวนสัญญาณจากอุปกรณ์อื่น ๆ หรือโลหะ

เทคโนโลยี RFID เป็นส่วนหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญใน IoT ซึ่งช่วยในการเชื่อมต่ออุปกรณ์และการจัดการข้อมูลในโลกดิจิทัลยุคปัจจุบัน

9.2 เซนเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบที่ใช้ชิป

เซนเซอร์ที่ใช้ชิปมีอยู่สองแบบ ได้แก่ เซนเซอร์ RFID แบบอิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์แม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9.2 โดยโทโปโลยีทั้งสองแบบนี้มีหน่วยการทำงานเหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันโดยพื้นฐานในส่วนของการตรวจจับ ในการกำหนดค่าแบบอิเล็กทรอนิกส์ หน่วยตรวจจับจะโต้ตอบกับไอซี ในขณะที่ในการกำหนดค่าแบบแม่เหล็กไฟฟ้า การทำงานของการตรวจจับจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของการตอบสนองความถี่ของแท็ก ในทั้งสองกรณี ข้อจำกัดหลักที่กำหนดระยะการอ่านสูงสุดของแท็กเซนเซอร์จะแสดงด้วยค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีอยู่ในชิป



(ก) เซนเซอร์ RFID อิเล็กทรอนิกส์ (ข) เซนเซอร์ RFID แม่เหล็กไฟฟ้า

รูปที่ 9.2 โทโปโลยีเซนเซอร์แบบ RFID

9.2.1 แท็กเซนเซอร์ RFID อิเล็กทรอนิกส์

แท็กเซนเซอร์อิเล็กทรอนิกส์มีลักษณะเฉพาะคือแยกฟังก์ชันการตรวจจับออกจากฟังก์ชันการสื่อสาร ข้อมูลที่ส่งออกจะถูกเข้ารหัสแบบดิจิทัล ดังนั้นข้อมูลที่ตรวจจับได้จึงแทบไม่มีความไวต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บิตบางส่วนของรหัส ID สามารถใช้เพื่อส่งค่าพารามิเตอร์ที่ตรวจจับได้ เซนเซอร์สามารถรวมอยู่ภายในชิปหรือเชื่อมต่อผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ภายนอก จึงได้สถาปัตยกรรมแท็กเสริม ในทั้งสองกรณี ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแท็กเป็นส่วนสำคัญในการทำให้ระยะการอ่านที่ยอมรับได้ เมื่อระยะการอ่านไม่เพียงพอ จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในแท็กซึ่งเป็นสิ่งที่เรียกว่าแท็กเสริมแบตเตอรี่ ในกรณีเหล่านี้ แท็กจะทำหน้าที่เป็นตัวรับส่งสัญญาณ และจะส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านเฉพาะเมื่อมีการติดต่อสื่อสารกันเท่านั้น เมื่อแท็กต้องถ่ายทอดข้อมูลเซนเซอร์อย่างต่อเนื่อง จึงจำเป็นต้องใช้การกำหนดค่าแบบแอคทีฟ

9.2.1.1 แท็กเซนเซอร์แอคทีฟ ในแท็ก RFID แบบแอคทีฟที่มีความสามารถในการตรวจจับ จะมีเซนเซอร์ติดตั้งอยู่ภายในแท็ก และ IC ของแท็กจะสื่อสารกับเซนเซอร์เพื่อรับข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณที่ตรวจสอบ และรวมข้อมูลนั้นไว้ในลำดับบิตที่ตอบสนองกลับ ดังนั้นกระบวนการของการตรวจจับจึงดำเนินการด้วยส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะ การรวมเซนเซอร์ภายในวงจรชิปจึงจำเป็นต้องออกแบบชิปเฉพาะที่มีคุณสมบัติการตรวจจับเฉพาะ แท็กแบบแอคทีฟมีแบตเตอรี่ จึงให้ระยะการอ่านที่ไกลกว่าแท็กแบบพาสซีฟมาก โดยทั่วไประบบ RFID แบบแอคทีฟจะทำงานที่ความถี่ 433 MHz หรือ 2.45 GHz แต่บริษัทต่าง ๆ จะนิยมใช้ความถี่ 433 MHz เนื่องจากมีความยาวคลื่นที่ยาวกว่า ซึ่งทำให้เหมาะสมกับวัสดุ เช่น โลหะและน้ำมากกว่า โดยทั่วไป แท็ก RFID แบบแอคทีฟจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ซึ่งมีอายุการใช้งาน 3-5 ปี แท็ก RFID แบบแอคทีฟสามารถใช้เป็นทั้งทรานสปอนเดอร์และบีคอนได้ บีคอนมีระยะการอ่านหลายร้อยเมตร แต่เพื่อจำกัดการใช้แบตเตอรี่จึงสามารถตั้งค่ากำลังส่งให้มีระยะการอ่านประมาณ 100 เมตรได้ แท็ก RFID แบบแอคทีฟมีราคาตั้งแต่ 700 ถึง 3,500 บาทขึ้นไป ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแท็กและความสามารถในการทนต่อสภาวะที่รุนแรง แท็ก RFID แบบแอคทีฟสามารถติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวและอุณหภูมิได้ ซึ่งได้มีการกำหนดค่าแท็กแบบแอคทีฟความถี่ 2.4 GHz และ 5.7 GHz แบบใหม่ ซึ่งสามารถกำหนดค่าให้

ทำงานเมื่อเคลื่อนที่จะบันทึกอุณหภูมิ ความชื้น หรือพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมอื่น ๆ และส่งสัญญาณเป็นระยะ การใช้งานการตรวจจับแท็กแบบแอคทีฟที่พบมากที่สุดมีดังนี้

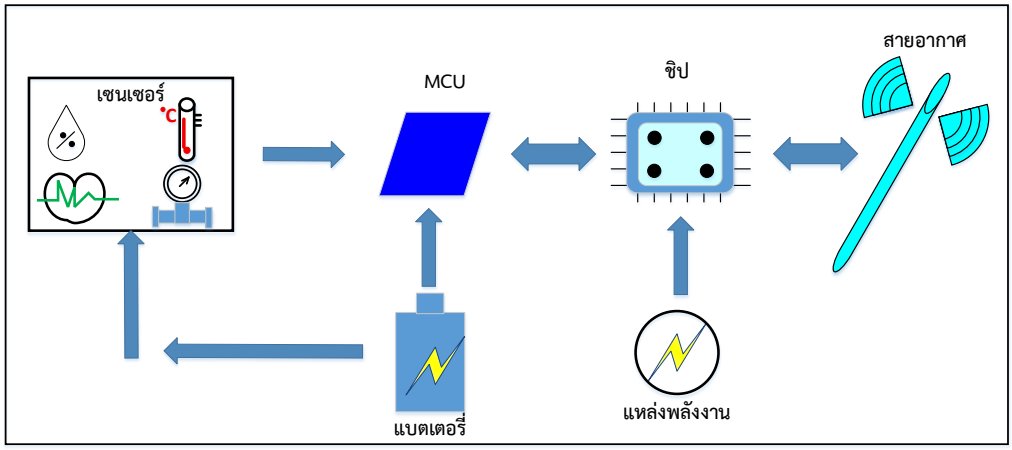
ระบบระบุตำแหน่งแบบเรียลไทม์ (RTLS) สามารถระบุตำแหน่งของแท็กที่ใช้งานอยู่ได้ด้วยการวางสายอากาศที่ถูกต้อง

การติดตามผู้ป่วย สามารถตรวจสอบการเคลื่อนไหวของผู้ป่วยได้ภายในพื้นที่ที่กำหนดด้วยแท็กสายรัดข้อมือ

การตรวจจับอุณหภูมิ แท็กที่ใช้งานอยู่สามารถใช้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาได้ โดยมีการตั้งสัญญาณเตือนหากเกินขีดจำกัดที่กำหนด

การตรวจจับความเคลื่อนไหว สามารถตั้งค่าแท็กให้ส่งสัญญาณเมื่อเคลื่อนที่หรือส่งสัญญาณจนกว่าการเคลื่อนไหวจะหยุด ใช้เพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวของสินทรัพย์มูลค่าสูงและป้องกันการบุกรุก

9.2.1.2 แท็กเซนเซอร์ที่ใช้แบตเตอรี่ (Battery Assisted Passive: BAP) ประกอบด้วยแท็ก RFID ที่มีแบตเตอรี่ฝังอยู่ เมื่อเครื่องอ่านติดต่อสื่อสารกับแท็ก BAP แบตเตอรี่ที่ฝังอยู่จะเปิดขึ้นรวมถึง IC แท็ก RFID และเซนเซอร์หรือตัวกระตุ้นอื่น ๆ ภายในแท็ก ระยะการอ่านของแท็ก RFID BAP นั้นกว้างกว่าแบบพาสซีฟอย่างชัดเจน แต่สั้นกว่าแท็กแอคชูเอเตอร์ อายุการใช้งานของแท็กเหล่านี้ถูกจำกัดด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งโดยปกติแล้วไม่สามารถเปลี่ยนได้ ตัวอย่างเช่น ชิป RFID Monza X-2K ที่ผลิตโดย Impinj Inc. (Seattle, WA, USA) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพผ่านโหมดพาสซีฟด้วยแบตเตอรี่ เมื่อทั้งความไวในการอ่าน (−17 dBm) และความไวในการเขียน (−12 dBm) ของชิปเพิ่มขึ้นถึง −24 dBm เมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แสดงได้ดังรูปที่ 9.3 ซึ่งแสดงแผนผังของแท็ก RFID ที่ใช้เซนเซอร์ด้วยแบตเตอรี่ เพื่อจำกัดการใช้งานแบตเตอรี่ ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ จึงได้มีการเสนอวิธีการเก็บเกี่ยวพลังงานและผสานรวมเข้ากับแท็ก RFID ทั้งแบบแอคทีฟและแบบใช้แบตเตอรี่ช่วย โดยได้มีการนำเทคโนโลยีที่อาศัยคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กตริกโฟโตโวลตาอิกหรือของเพียโซอิเล็กตริกมาใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ นอกจากนี้ยังมีการเสนอการแปลงพลังงานชีวกลศาสตร์เป็นพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย



รูปที่ 9.3 แท็กเซนเซอร์ที่ใช้แบตเตอรี่

9.2.1.3 เซนเซอร์ไร้แบตเตอรี่ (แบบพาสซีฟ) โซลูชันที่รวมเซนเซอร์ไว้ในชิป ซึ่งเซนเซอร์จะถูกฝังและสื่อสารกับ IC เพื่อส่งข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณที่ตรวจสอบ ซึ่งจะต้องเข้ารหัสเป็นสัญญาณที่ตอบสนองกลับ เซนเซอร์ RFID แบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถใช้ประโยชน์จากช่วงความถี่ HF หรือ UHF ได้ ตัวอย่างของเครื่องอ่านสำหรับเซนเซอร์ HF คือสมาร์ทโฟนที่ใช้ประโยชน์จากแนวคิดการสื่อสารระยะใกล้ (NFC) สำหรับแท็ก UHF ซึ่งครอบคลุมช่วงการสื่อสารที่ยาวกว่า ปริมาณพลังงานที่แก้ไขโดยแท็กจะต้องเพียงพอที่จะจ่ายไฟให้ทั้งชิปและเซนเซอร์ที่ฝังอยู่ ในกรณีนี้ ค่าแรงดันไฟฟ้าในชิป มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการขยายช่วงการอ่าน โดยที่เซนเซอร์ต้องสามารถย่อส่วนได้จึงจะฝังลงในชิปได้ และปัจจุบันมีตัวอย่างน้อยมากในเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวัดอุณหภูมิ แสง และความดัน อย่างไรก็ตาม ชิปแท็ก RFID แบบพาสซีฟมีความไวต่อการใช้พลังงานสูงมากจนยากที่จะฝังเซนเซอร์และตัวแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) เพื่อรักษาระยะการทำงานที่เหมาะสม แม้แต่ ADC ที่มีการใช้พลังงานหลาย μW ก็ยังลดระยะการทำงานของแท็กลงอย่างมาก

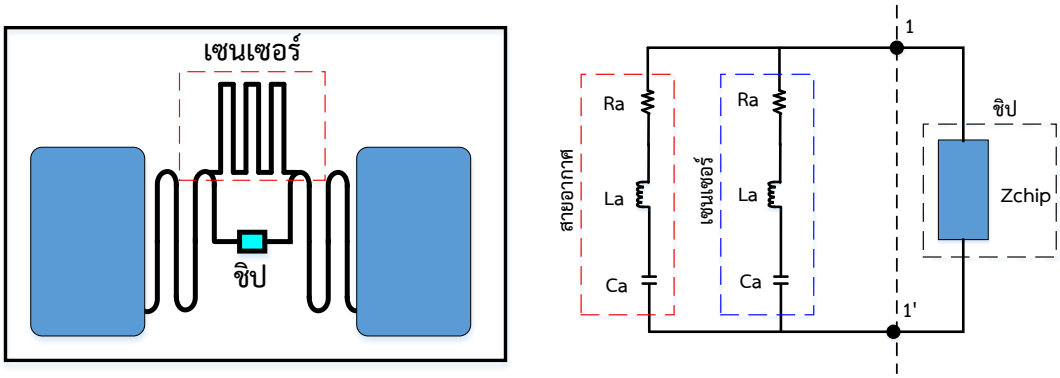
แท็ก RFID แบบใหม่ โดยใช้แพลตฟอร์มการระบุและตรวจจับแบบไร้สาย (Wireless Identification and Sensing Platform: WISP) ได้รับการพัฒนาโดยศูนย์วิจัย Intel ซึ่ง WISP ทำงานเป็นแท็กมาตรฐาน แต่สามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ภายนอกได้โดยใช้หน่วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ตั้งโปรแกรมได้ อย่างไรก็ตาม ความยืดหยุ่นของโซลูชัน WISP นั้นต้องแลกมาด้วยราคาที่สูงขึ้น โดยมีการพัฒนารูปแบบที่ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการพลังงานเพียงไม่กี่มิลลิวัตต์ ยิ่งไปกว่านั้น ยังมีความสามารถในการรวบรวมพลังงานที่จำเป็นในการขับเคลื่อนการรับข้อมูลจากสัญญาณตอบสนอง เช่นเดียวกับในกรณีของแท็กแบบพาสซีฟทั่วไป อีกทางเลือกหนึ่งคือตัวกำจัดพลังงานเพียโซอิเล็กตริกที่เปลี่ยนการสั่นแบบไมโครเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้หลากหลายมาก แม้ว่าความต้องการพลังงานอาจลดอัตราข้อมูลจริงลงก็ตาม

9.2.2 แท็กเซนเซอร์ RFID แม่เหล็กไฟฟ้า

ค่าการอนุญาตที่มีประสิทธิภาพของวัตถุสามารถอนุมานได้โดยใช้แท็ก RFID ทั่วไปที่ติดอยู่กับวัตถุนั้น อันที่จริง ปริมาณต่าง ๆ เช่น อินพุตอิมพีแดนซ์หรือค่าอัตราขยายของแท็ก RFID เช่นเดียวกับสายอากาศใด ๆ จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยสภาพแวดล้อมโดยรอบ สัญญาณที่ตอบสนองกลับของ RFID จะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของวัตถุที่ติดแท็ก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันในพารามิเตอร์สายอากาศของแท็ก ดังนั้นสายอากาศเองจึงกลายเป็นเซนเซอร์ แม้ว่าจะไม่มีเซนเซอร์เลยก็ตาม

แท็กแม่เหล็กไฟฟ้าอาศัยการปรับเปลี่ยนการตอบสนองของแท็กอันเนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนสายอากาศเป็นครั้งคราว พฤติกรรมของสายอากาศสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยพื้นฐานแล้วด้วยเหตุผลสองประการ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าของสายอากาศหรือบางส่วนของสายอากาศ หรือเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าไดอิเล็กตริกเปอร์มิตติวิตี้ของตัวกลางที่อยู่รอบสายอากาศหรือบางส่วนของสายอากาศ ในกรณีแรก เซนเซอร์จะถูกจัดประเภทเป็นแบบความต้านทาน และในกรณีที่สอง เซนเซอร์ถูกจัดให้เป็นแบบการเก็บประจุ ที่น่าสังเกตคือ ในทั้งสองกรณีกลไกการส่งผ่านสัญญาณจะมีอิทธิพลต่อคลื่นความถี่วิทยุ ดังนั้นเซนเซอร์จึงถูกเรียกว่าแม่เหล็กไฟฟ้า

รูปแบบที่เป็นไปได้ของเซนเซอร์ RFID แสดงได้ดังรูปที่ 9.4(ก) โดยสายอากาศไดโพลเชื่อมต่อแบบอนุกรมกับชุดเซนเซอร์และชิป RFID แบบจำลองวงจรสมมูลอย่างง่ายของแท็กเซนเซอร์ RFID แบบแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 9.4(ข) วัสดุตรวจจับ เช่น คาร์บอนนาโนทิวบ์ Kapton หรือสารอื่น ๆ ที่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติตามการกระตุ้นภายนอก จะถูกวางไว้ในชุดเซนเซอร์ การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของชุดเซนเซอร์ส่งผลกระทบต่อการจับคู่ระหว่างความต้านทานของสายอากาศและชิป และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังสะท้อน ขึ้นอยู่กับค่าของพารามิเตอร์ที่ตรวจจับ ความไม่ตรงกันของความต้านทานระหว่างพอร์ตสายอากาศและไมโครชิปนั้นเพียงพอที่จะทำให้ไมโครชิปสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานที่จำเป็นและตอบสนองต่อเครื่องอ่านด้วยรหัสประจำตัวดิจิทัล (IDn) ของตัวเอง



(ก) แบบจำลองเซนเซอร์ RFID (ข) แบบจำลองวงจรสมมูล

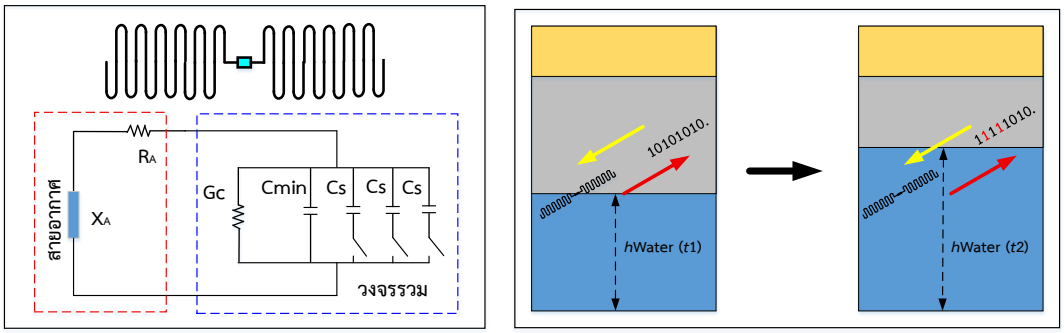
รูปที่ 9.4 รูปแบบที่เป็นไปได้ของเซนเซอร์ RFID

กลไกหลักสองประการสำหรับการตรวจจับความแปรผันในการตอบสนองของเซนเซอร์ ได้แก่ การเลื่อนความถี่เรโซแนนซ์ (Δf) ที่จุดสูงสุด หรือการเปลี่ยนแปลงขนาด ($\Delta\alpha$) ของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ วิธีการเลื่อนความถี่นี้ไม่สามารถใช้ร่วมกับเทคโนโลยีที่ใช้ชิป RFID ได้ เนื่องจากการเลื่อนความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศทำให้ข้อมูลอยู่ห่างจากความถี่ใช้งาน (868 MHz หรือ 915 MHz) มาก ดังนั้นการกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดจึงเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับเซนเซอร์ที่ใช้ RFID

โทโปโลยีเซนเซอร์แบบทางเลือกประกอบด้วยการติดตั้งแท็กด้วยเซนเซอร์จริง (เช่น เซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น) ซึ่งสามารถเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศของแท็ก หรือกระจายอยู่บนพื้นผิวสายอากาศ การเปลี่ยนแปลงของโหลดอิมพีแดนซ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมจะส่งผลให้หน้าตัดเรดาร์ของแท็กเปลี่ยนแปลงไป และส่งผลให้เกิดการปรับกำลังแบบตอบสนองกลับ เช่นเดียวกับในกรณีของแท็กที่ไม่มีเซนเซอร์

9.2.2.1 ชิปที่ปรับแต่งเอง ในกรณีของแท็กเซนเซอร์ RFID แบบแม่เหล็กไฟฟ้า สายอากาศจะทำหน้าที่สองอย่างที่แตกต่างกัน คือ การสื่อสารและการตรวจจับ อย่างไรก็ตาม ทั้งสองอย่างนี้ไม่สามารถทำงานแยกกันหรือทำงานพร้อมกันได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากการตรวจจับต้องแลกมา

ด้วยฟังก์ชันการสื่อสาร อันที่จริง แท็กต้องมีความคลาดเคลื่อนในระดับหนึ่งเพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับความแปรผันของการวัดทางอ้อม เนื่องจากข้อมูลการตรวจจับนั้นสัมพันธ์โดยตรงกับระดับการปรับจูนของแท็ก RFID ดังนั้นความสามารถในการสื่อสารและการตรวจจับจึงมีข้อกำหนดที่ขัดแย้งกัน วิธีแก้ปัญหาสำหรับปัญหานี้คือใช้ไมโครชิปแบบปรับจูนเอง ซึ่งสามารถแก้ปัญหากับการปรับจูนแท็กที่ไม่ต้องการได้โดยไม่กระทบต่อฟังก์ชันการตรวจจับ วงจรสมมูลของแท็ก RFID ที่มีความสามารถในการปรับจูนเองแสดงได้ดังรูปที่ 9.5(ก) หลักการทำงานสามารถอธิบายได้โดยการพิจารณาว่าแท็ก RFID ถูกวางไว้บนสิ่งของที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอย่างมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ว่าง ซึ่งหมายความว่าสายอากาศเดิมถูกปรับค่าให้ต่ำลง และค่าอิมพีแดนซ์ ZA = RA + jXA ซึ่งได้รับการออกแบบให้ตรงกับอิมพีแดนซ์ของชิป ZC อาจอยู่ไกลจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ZC = (ZA)* และทำให้การสื่อสารอาจได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง



(ก) วงจรเทียบเท่าของแท็ก RFID (ข) จำลองการใช้งานที่แท็ก RFID

รูปที่ 9.5 วงจรเทียบเท่าของแท็ก RFID ที่ติดตั้งชิปปรับแต่งอัตโนมัติ

วงจรรวมของแท็ก RFID แบบปรับค่าเองได้สามารถรับประกันระดับการจับคู่ที่เหมาะสมได้ ด้วยความสามารถในการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของชิปให้สอดคล้องกับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศในปัจจุบันโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะทำงานได้อย่างสมบูรณ์ด้วยชุดตัวเก็บประจุที่สามารถเลือกเปิดใช้งานได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่ารีแอกแตนซ์ของชิปจะครอบคลุมตั้งแต่ค่าต่ำสุด Cmin ซึ่งตัวเก็บประจุ Cs อื่น ๆ ทั้งหมด N ตัวจะถูกสลับออก ไปจนถึงค่าสูงสุด Cmax = Cmin + NCs ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อตัวเก็บประจุทั้งหมดถูกเปิดใช้งาน สถานะการกำหนดค่าของตัวเก็บประจุทั้งหมดในเครือข่ายสวิตชิ่งจะถูกเลือกโดยอัตโนมัติ เพื่อให้มั่นใจว่ามีการถ่ายโอนพลังงานสูงสุดจากสายอากาศไปยังไมโครชิป ซึ่งหมายความว่าไมโครชิปจะแก้ไขการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ RFID ที่ไม่พึงประสงค์เพื่อให้เข้าใกล้การจับคู่ที่สมบูรณ์แบบที่สุด

คุณสมบัติการจับคู่แบบปรับค่าเองได้ที่แสดงโดยแท็ก RFID ประเภทนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างครอบคลุมในการตรวจจับ โดยชิปที่ปรับแต่งได้เองจะส่งข้อมูลที่เขียนไว้ในหน่วยความจำไปยังเครื่องอ่าน RFID รวมถึงสถานะของตัวเก็บประจุที่เลือกได้ ข้อมูลเหล่านี้สัมพันธ์กับการปรับจูนที่แท็ก RFID ดำเนินการ และให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่แท็กกำลังทำงานอยู่โดยอ้อม จากนั้นจึงสามารถอนุมานค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพที่ส่งผลต่อแท็ก

ได้จากสถานะของการเชื่อมโยงการปรับแต่งอัตโนมัติ แบบจำลองการใช้งานที่แท็ก RFID แสดงได้ดังรูปที่ 9.5(ข) โดยถูกนำไปใช้กับภาชนะที่ใส่ระดับน้ำ (*h*Water) สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ทุกครั้งที่แท็กถูกตรวจสอบ จะทำการแจ้งสถานะของการเชื่อมโยงการจับคู่ภายในที่ทำให้แท็กสามารถจับคู่และทำงานในสภาพแวดล้อมการทำงานที่ซับซ้อนได้ ลำดับที่เข้ารหัสของตัวเก็บประจุที่เลือกในการเชื่อมโยงการจับคู่ที่ปรับแต่งได้ ณ เวลา *t*1 จะถูกฝังอยู่ในสัญญาณตอบสนองกลับ เมื่อระดับน้ำเปลี่ยนแปลง ณ เวลา *t*2 การเชื่อมโยงการจับคู่ที่ปรับได้จะถูกตั้งค่าเป็นสถานะใหม่ของตัวเก็บประจุเนื่องจากผลกระทบของสภาพแวดล้อมได้เปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าการเชื่อมโยงการจับคู่ที่เข้ารหัสไว้ในสัญญาณที่ตอบสนองกลับทำให้สามารถประมาณระดับน้ำทางอ้อมได้ ซึ่งจะพบว่าจำนวนตัวเก็บประจุที่จำกัดในการเชื่อมโยงการจับคู่ รวมถึงช่วงค่าของตัวเก็บประจุ มีผลต่อความละเอียดของพารามิเตอร์ทางกายภาพที่ตรวจสอบ

9.2.2.2 แท็กฮาร์โมนิก การนำเซนเซอร์ RFID ไปใช้งานแบบอื่นนั้นใช้เรดาร์ฮาร์โมนิกหรือเรดาร์ทุติยภูมิ ในรูปแบบนี้ แท็กจะรับข้อมูลติดต่อสื่อสารที่ความถี่หนึ่ง และกระจายกลับที่ความถี่ฮาร์โมนิก การนำแท็กฮาร์โมนิกไปใช้โดยทั่วไปจะใช้ความถี่ฮาร์โมนิกที่สอง ($2f_0$)

เนื่องจากการใช้การกำหนดค่าแท็กฮาร์โมนิกนั้นขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้ที่จะได้การป้องกันการตอบสนองของแท็กที่ดีขึ้นเมื่อมีสิ่งรบกวน ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้อย่างสมเหตุสมผลว่าวัตถุส่วนใหญ่ที่อยู่รอบ ๆ แท็กนั้นไม่มีคุณสมบัติแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของความถี่ฮาร์โมนิก

โดยทั่วไปแล้ว ทรานสปอนเดอร์ฮาร์โมนิกจะถูกสังเคราะห์ผ่านชอตต์กีไดโอดและสายอากาศ ชอตต์กีไดโอดต้องสามารถทวีคูณความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ถึง $2f_0$ สายอากาศช่วยให้สามารถแพร่กระจายสัญญาณความถี่ที่แปลงแล้วได้ ปัญหาหนึ่งคือการจับคู่สายอากาศควรได้รับการรับประกันทั้งที่ความถี่ฮาร์โมนิกพื้นฐานและความถี่ฮาร์โมนิกที่สอง ซึ่งทำให้การออกแบบทรานสปอนเดอร์มีความซับซ้อนมากขึ้นเมื่อเทียบกับแท็ก RFID มาตรฐาน ความท้าทายเพิ่มเติมคือแท็กต้องเป็นไปตามกฎระเบียบทางความถี่ที่มีอยู่

9.3 เซนเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบไร้ชิป

แท็กเซนเซอร์ RFID แบบไร้ชิป เช่นเดียวกับเซนเซอร์ RFID แบบแม่เหล็กไฟฟ้า ใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของสายอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ทางกายภาพของสภาพแวดล้อมที่ต้องวัด อย่างไรก็ตาม แท็กนี้แตกต่างจากเซนเซอร์ RFID แบบแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไป โดยพื้นฐานแล้วแท็กนี้ไม่มีชิป เป็นเพียงสายอากาศแบบพาสซีฟหรือเรโซเนเตอร์ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระทบแท็กไร้ชิปส่วนใหญ่จะถูกตอบสนองกลับที่ความถี่เรโซแนนซ์ของเรโซเนเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกรองเชิงพื้นที่ ดังนั้น โดยการสังเกตการตอบสนองทางสเปกตรัมของสัญญาณที่ตอบสนองกลับ จะสามารถสังเกตเห็นจุดสูงสุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ของเรโซเนเตอร์ หรือความถี่เรโซแนนซ์ในกรณีของเรโซเนเตอร์หลายตัว เทคโนโลยีนี้ดูเหมือนจะมีแนวโน้มที่ดีสำหรับการออกแบบเซนเซอร์ราคาประหยัด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และพิมพ์ได้ ความสามารถในการตรวจจับได้มาจากการเลื่อนความถี่เรโซแนนซ์ที่จุดสูงสุดในการตอบสนองแบบตอบสนองกลับที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ภายนอกที่อยู่รอบ ๆ แท็ก การไม่มีชิปและแบตเตอรี่ทำให้สามารถลด

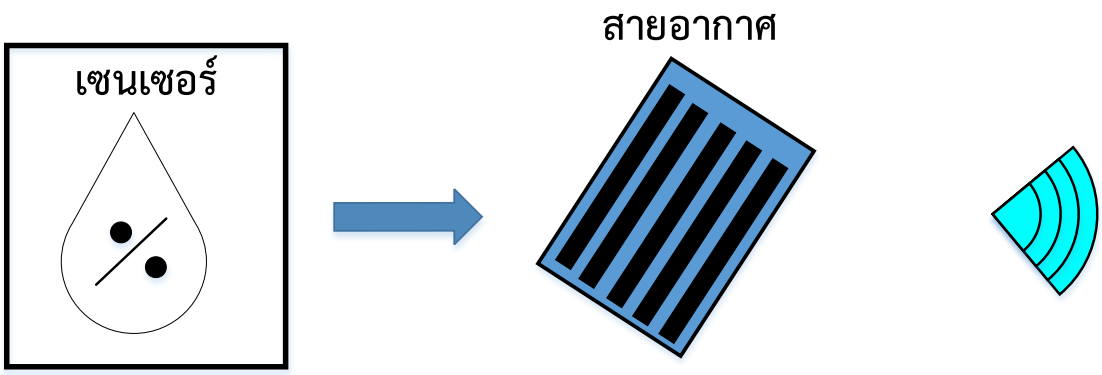
ต้นทุนของเซนเซอร์ได้อย่างมากและมีอายุการใช้งานยาวนานตามทฤษฎี เนื่องจากไม่มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใด ๆ เซนเซอร์ RFID แบบไร้ชิปจึงอาจเหมาะสำหรับสภาพแวดล้อมที่รุนแรง โดยข้อจำกัดหลักประการหนึ่งคือการอ่านค่าเซนเซอร์ที่เชื่อถือได้นั้นสามารถรับประกันได้ภายใต้เงื่อนไขเฉพาะเท่านั้น RFID แบบไร้ชิปอาศัยกลไกการส่งผ่านข้อมูลแบบพาสซีฟ เช่น ความจุหรือการเปลี่ยนแปลงความต้านทานพื้นผิว หรือแม้แต่การรบกวนทางกลของเรโซเนเตอร์ RF ก็ทำให้สามารถสร้างอุปกรณ์ราคาถูกได้ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่พิมพ์ได้ก็สามารถรวมอยู่ในประเภทไร้ชิปได้เช่นกัน คาดว่าความแม่นยำของแท็กไร้ชิปจะมีข้อจำกัดมากกว่าเมื่อเทียบกับเซนเซอร์ที่ติดตั้งชิป แต่การศึกษานี้มีเหตุผลรองรับเนื่องจากความเรียบง่ายในการผลิตที่สูง ซึ่งทำให้สามารถรวมเซนเซอร์เหล่านี้ไว้ในบรรจุภัณฑ์แบบเดิมได้โดยมีต้นทุนต่ำที่สุด ตัวอย่างเซนเซอร์ RFID ไร้ชิปที่วางจำหน่ายทั่วไปบางส่วนจะเป็นเทคโนโลยีที่มีขอบเขตกว้างมาก ตั้งแต่การใช้ประโยชน์จากปรากฏการณ์บาร์คเฮาเซนไปจนถึงการถ่ายภาพด้วยเรดาร์

9.3.1 เซนเซอร์ RFID แบบไร้ชิปแม่เหล็กไฟฟ้า

แท็ก RFID แบบไร้ชิปสามารถจำแนกได้สองประเภทหลัก ๆ คือ แบบโดเมนเวลา และแบบโดเมนความถี่ โดยเซนเซอร์แบบไร้ชิปแบบโดเมนเวลาประกอบด้วยสายอากาศแบนด์วิดท์กว้างและการหน่วงเวลา แท็กจะรับและส่งพัลส์เวอร์ชันที่ดัดแปลงแล้วจากเครื่องอ่านซ้ำ ส่วนตัดขวางเรดาร์แบบโดเมนเวลา (RCS) ของแท็กประกอบด้วยส่วนประกอบโครงสร้างและสายอากาศ การหน่วงเวลาใช้เพื่อแยกจุดสูงสุดของ RCS ของสายอากาศออกจากจุดสูงสุดของโครงสร้าง ซึ่งเป็นจุดสูงสุดที่มีความเข้มข้นมากที่สุด การตอบสนองของสายอากาศของแท็กอาจถูกปรับหรือหน่วงเวลาขึ้นอยู่กับโหลดของการหน่วงเวลา กลไกทั้งสองนี้สามารถใช้ในการออกแบบเซนเซอร์แบบไร้ชิปได้ การมอดูเลตแอมพลิจูดสามารถทำได้โดยการสิ้นสุดการหน่วงเวลาด้วยวัสดุที่สามารถเปลี่ยนความต้านทานพื้นผิวตามปรากฏการณ์ภายนอก ข้อมูลที่รับรู้สามารถรวมอยู่ในการเลื่อนเวลาจากจุดสูงสุดของสายอากาศได้เช่นกัน แท็ก RFID แบบไร้ชิปที่ใช้โดเมนเวลาซึ่งผลิตด้วยเทคโนโลยีแผงวงจรพิมพ์มีขนาดใหญ่และไม่สามารถเข้ารหัสจำนวนบิตสูงได้

แท็กไร้ชิปแบบโดเมนความถี่ จะเข้ารหัสข้อมูลลงในสเปกตรัมโดยใช้โครงสร้างแบบเรโซแนนซ์ได้มีการพัฒนารูปแบบขึ้นมาสองแบบสำหรับแท็กแบบไร้ชิปโดเมนความถี่ แบบแรกใช้สายอากาศโพลาไรซ์แบบตั้งฉากสองต้น โดยมีตัวเรโซเนเตอร์อยู่ระหว่างกลาง ส่วนแบบที่สองใช้ตัวเรโซเนเตอร์หลายตัวที่มีขนาดต่างกันในเซนเซอร์แบบไร้ชิปโดเมนความถี่ แนวคิดคือการเพิ่มฟังก์ชันเซนเซอร์ให้กับแท็ก ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงค่าการอนุญาตของวัสดุโต้ตอบทางเคมี (Chemical Interactive Material: CIM) ที่วางอยู่บนสายอากาศแท็ก CIM อาจทำให้เกิดการเลื่อนความถี่ในสัญญาณที่ตอบสนองกลับหรือการเปลี่ยนแปลงในการตอบสนองของแอมพลิจูดซึ่งพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันสามารถตรวจสอบได้โดยการใช้ประโยชน์จากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง CIM กับตัวเรโซเนเตอร์ เซนเซอร์อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น และก๊าซ ได้รับการพิมพ์แบบอิงค์เจ็ทยังสามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตเซนเซอร์แบบไร้ชิป โพลิเมอร์และวัสดุนาโนหลายชนิดถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์เซนเซอร์เนื่องจากความสามารถในการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสิ่งเหล่านั้น โดยขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ความชื้น

อุณหภูมิ และก๊าซ หรือเนื่องจากความเค้นเชิงกลและความดัน วัสดุเหล่านี้ถูกเรียกว่า CIM เนื่องจากสามารถดำเนินการถ่ายโอนจากปริมาณทางกายภาพไปเป็นปริมาณที่วัดทางไฟฟ้าได้ คุณสมบัติการทำงานที่เรียบง่ายของกลไกการตรวจจับที่ใช้แท็กแบบไร้ชิปแสดงได้ดังรูปที่ 9.6



รูปที่ 9.6 สถาปัตยกรรมเซนเซอร์ RFID แบบไร้ชิป

การใช้แท็กขนาดเล็กทำให้เกิดสัญญาณตอบสนองกลับที่อ่อน ซึ่งแทบจะแยกแยะจากการตอบสนองพื้นหลังไม่ได้ นอกเหนือจากโครงสร้างเฉพาะของแท็กแล้ว ข้อจำกัดหลักของเทคโนโลยีไร้ชิปคือการตรวจจับแท็กต้องใช้กระบวนการสอบเทียบซึ่งมักจะใช้การลบพื้นหลัง ด้วยเหตุนี้ จึงมีการศึกษาวิธีการบางอย่างเพื่อเพิ่มการป้องกันของการตอบสนองของแท็กเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อม ซึ่งได้มีการเสนอวิธีแก้ปัญหาหลายประการเพื่อแก้ไขปัญหาพื้นฐานนี้ เช่น การใช้รูปแบบการเข้ารหัส/ถอดรหัสที่อิงตามโพลาไรเซชันแบบไขว้, โพลาไรเซชันแบบวงกลม, การเข้ารหัสโพลาไรเซชันแบบดิฟเฟอเรนเชียล หรือวิธีการที่ใช้เรดาร์แบบรูรับแสงสังเคราะห์ เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของระบบให้ดียิ่งขึ้น วิธีการข้างต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการเกตแบบโดเมนเวลา การเกตแบบโดเมนเวลาช่วยให้สามารถกรองปัจจัยที่ไม่ต้องการบางอย่างออกไปได้ เช่น การเชื่อมต่อสายอากาศและมัลติพาธ อย่างไรก็ตาม การมีวัตถุขนาดใหญ่อยู่ด้านหลังแท็กนั้นยากที่จะลบออกด้วยเกตเวลาโดเมน เนื่องจากหน้าต่างเวลาควรตอบสนองข้อกำหนดที่ตรงกันข้ามสองสามข้อ โดยที่หน้าต่างเวลาควรมีความยาวเพียงพอที่จะรวมการตอบสนองโดเมนเวลาทั้งหมดของแท็กเรโซแนนซ์ ซึ่งสัมพันธ์แบบผกผันกับแบนด์วิดท์ความถี่ของจุดสูงสุด แต่ในขณะเดียวกันก็ควรถูกตัดทอนเพื่อลบการมีส่วนร่วมของวัตถุที่อยู่ใกล้กับแท็ก หากวัตถุอยู่ใกล้กับแท็กมากเกินไป เกตเวลาอาจไม่เพียงพอที่จะลบการมีส่วนร่วมที่ไม่ต้องการออกได้อย่างสมบูรณ์ ความเป็นไปได้ในการอ่านข้อมูลที่เข้ารหัสภายในแท็กอย่างถูกต้อง (ความน่าจะเป็นในการตรวจจับ) เกี่ยวข้องโดยตรงกับ RCS ที่เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของอนุภาคทั้งหมดของการแพร่กระจายเชิงเฟส ในกรณีของแท็กแบบคาบ ค่าเฉลี่ยของ RCS สามารถควบคุมได้โดยการเพิ่มหรือลดจำนวนหน่วยเซลล์ และด้วยเหตุนี้จึงรวมถึงการแพร่กระจายของแท็ก และในสุดท้ายจะกล่าวถึงเครื่องอ่าน RFID แบบไร้ชิป ซึ่งจำเป็นต้องมีสถาปัตยกรรมที่ซับซ้อนและเฉพาะทางตามรูปแบบการทำงาน โดยปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่สามารถแข่งขันได้ ตัวอย่างต้นแบบของ

เครื่องอ่าน ได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้คลื่นต่อเนื่องแบบมอดูเลตความถี่ (FMCW) หรือเรดาร์พัลส์แบบอัลตราไวด์แบนด์ (UWB)

9.3.2 เซนเซอร์ RFID แบบไร้ชิปอะคูสติก

แท็กคลื่นเสียงพื้นผิว (Surface Acoustic Wave: SAW) ประกอบด้วยแผ่นรองรับเพียโซอิเล็กตริก ตัวแปลงสัญญาณระหว่างดิจิทัล (IDT) ตัวสะท้อนแสงโลหะ และสายอากาศ เมื่อเครื่องอ่าน RF สอบถามแท็ก สายอากาศแท็กจะรวบรวมคลื่นเพื่อตรวจสอบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EM) จากนั้น IDT จะแปลงพลังงานอิเล็กทรอนิกส์เป็นพลังงานกลผ่านปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กตริกผกผัน SAW จะผ่านชุดการสะท้อนที่ควบคุมการเข้ารหัสสัญญาณ จากนั้นคลื่นเสียงเหล่านี้จะถูกแปลงกลับโดย IDT เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กตริก สัญญาณนี้จะถูกส่งกลับไปยังเครื่องอ่านโดยแท็กสายอากาศ ความถี่การทำงานของ RF ถูกจำกัดโดยขนาดของแผ่นรองรับและกระบวนการพิมพ์ด้วยแสง อุปกรณ์ SAW ผลิตในช่วงความถี่ระหว่าง 30 MHz และประมาณ 3 GHz

การหน่วงเวลา SAW อิงตามการหน่วงเวลาการแพร่กระจายของ SAW ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างความยาวคลื่นเสียงและความเร็ว SAW (L/vSAW) ในการใช้งานเซนเซอร์ที่เป็นที่รู้จักคือ L และ vSAW ตามลำดับจะแปรผันตามผลของทรานสดิวเซอร์ที่กำหนดโดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความเค้นเชิงกล และความเครียด และเนื่องจากแรงกระทำของมวลจากชั้นผิวบาง ๆ เซนเซอร์ SAW สามารถวัดพารามิเตอร์ทางกายภาพ เคมี และชีวภาพได้ ตัวอย่างเช่น เซนเซอร์ความดัน ซึ่งพารามิเตอร์ที่ตรวจสอบจะถูกแปลงเป็นการเปลี่ยนแปลงความเร็วของคลื่นเสียงพื้นผิวของเซนเซอร์ โดยการดัด ยืด และบีบอัดพื้นผิว SAW สามารถสังเคราะห์เซนเซอร์สำหรับแรงบิด แรงการกระจัด การสั่นสะเทือน และความเร่งได้ เซนเซอร์ SAW ตัวแรกมีไว้สำหรับการตรวจสอบอุณหภูมิและใช้วัสดุที่ไวต่อแสง เช่น ควอตซ์ (SiO2) ในระบบหลายเซนเซอร์ โดยทั่วไปเซนเซอร์ที่แตกต่างกันจะถูกแยกความแตกต่างผ่านการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ อย่างไรก็ตาม การเข้าถึงหลายช่องทางแบบแบ่งพื้นที่ (SDMA) และการเข้าถึงหลายช่องทางแบบแบ่งเวลา (TDMA) ก็สามารถนำมาใช้ได้เช่นกัน นอกจากนี้ ยังมีการเสนอการเข้ารหัสความถี่แบบตั้งฉาก (OFC) สำหรับการเข้ารหัสเซนเซอร์ SAW ในสภาพแวดล้อมที่มีหลายประสาทสัมผัส

9.3.3 เซนเซอร์ RFID แบบไร้ชิปอิเล็กทรอนิกส์

วิธีแก้ปัญหาที่น่าสนใจสำหรับการออกแบบ RFID แบบไร้ชิปคือการผลิตสายอากาศและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนวัสดุฐานรองเดียวกัน อิเล็กทรอนิกส์แบบออร์แกนิกอาจเป็นวิธีแก้ปัญหาที่ทำให้สามารถผลิตแท็ก RFID ต้นทุนต่ำพิเศษได้อย่างสมบูรณ์ วงจรทรานซิสเตอร์แบบฟิล์มบาง (Thin Film Transistors Circuits: TFTC) ยังสามารถนำไปใช้ในการออกแบบแท็กโดเมนเวลาได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการพัฒนาแท็ก RFID แบบพิมพ์ในปัจจุบันยังไม่เพียงพอที่จะทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง แม้ว่าจะมีทรานซิสเตอร์แบบออร์แกนิกแบบพิมพ์ที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ของพาหะมากกว่า 1 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที และความเร็วในการสลับในช่วงเม็กกะเฮิรตซ์ แต่อิเล็กทรอนิกส์ซิลิคอนมีประสิทธิภาพเหนือกว่าอิเล็กทรอนิกส์แบบพิมพ์อย่างมากในแง่ของความสามารถในการเคลื่อนที่ของพาหะและความเร็วในการสลับ อย่างไรก็ตาม อิเล็กทรอนิกส์แบบพิมพ์ยังคงมีคุณสมบัติที่น่าสนใจที่เกี่ยวข้องกับการผลิตบนวัสดุฐานรองที่อ่อนนุ่มในพื้นที่ขนาดใหญ่

ปัจจุบันสถาปัตยกรรมทรานซิสเตอร์ยังไม่ได้รับการปรับให้เหมาะสมสำหรับไอซีเนื่องจากจำนวนชั้นโลหะที่มีอยู่อย่างจำกัด

แท็ก RFID แบบ TFT ได้รับการพัฒนาโดยบริษัทต่าง ๆ หรือกลุ่มวิจัย แท็กที่พัฒนาขึ้นบางประเภทสามารถสื่อสารได้เฉพาะกับเครื่องอ่าน RFID ที่ออกแบบมาเป็นพิเศษซึ่งมีโปรโตคอลเฉพาะ เช่น แท็ก 8, 12 หรือ 16 บิต ในขณะที่แท็กแบบอื่น ๆ สามารถสื่อสารกับเครื่องอ่าน NFC เชิงพาณิชย์ได้ ซึ่งปัจจุบันได้รวมเข้ากับโทรศัพท์มือถือด้วย เห็นได้ชัดว่า หากใช้โปรโตคอลที่เรียบง่ายโดยคำนึงถึงข้อจำกัดทางเทคโนโลยีของ TFT ข้อกำหนดของระบบสำหรับชิปก็จะไม่เข้มงวดมากนัก ความท้าทายหลักสามประการในการออกแบบแท็ก NFC แบบ TFT คือ อัตราข้อมูล 106 กิโลบิตต่อวินาที การอ่านหน่วยความจำ 128 บิต และกำลังไฟฟ้าตกกระทบของแท็กที่จำกัดในช่วงประมาณ 10 มิลลิวัตต์ จากสมาร์ทโฟน

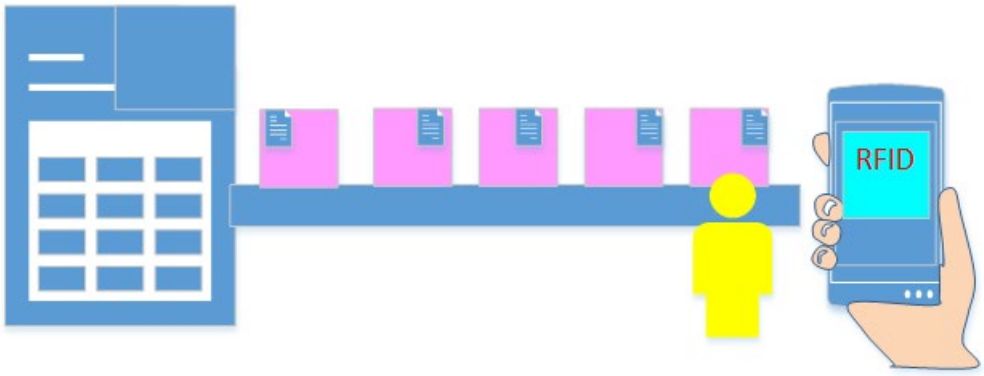
บริษัทต่าง ๆ กำลังทุ่มเทความพยายามอย่างมากในการค้นหากระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ บริษัท PolyIC เป็นบริษัทแรกที่สาธิตแท็ก RFID ที่ผลิตโดยการพิมพ์แบบม้วนต่อม้วน บริษัท EVONIK พัฒนาวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ออกไซด์ที่มีลักษณะเฉพาะ ขณะที่บริษัท IMEC และ TNO ได้ผลิตชิป OLAE ที่มีหน่วยความจำสูงสุดที่ 128 บิต และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ทำงานที่ความถี่สูงพิเศษ บริษัทอื่น ๆ เช่น Dai Nippon Printing และ OrganicID กำลังพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพิมพ์สำหรับ RFID เทคโนโลยีที่เป็นกรรมสิทธิ์ของ OrganicID ซึ่ง Weyerhauser ได้เข้าซื้อกิจการ ได้รับการสนับสนุนในการจดสิทธิบัตรและคำขอสิทธิบัตรหลายฉบับทั้งในสหรัฐอเมริกาและต่างประเทศ เทคโนโลยีนี้ใช้เพื่อสร้างแท็ก RFID ความถี่ 13.56 MHz ราคาประหยัดสำหรับใช้ในการติดตามสินค้าตลอดกระบวนการผลิตและการขนส่ง อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเทคโนโลยีนี้ยังคงอยู่ในระหว่างดำเนินการ แม้จะมีความพยายามอย่างมาก แต่วงจรพิมพ์ก็ยังไม่ทัดเทียมกับ IC ซิลิคอนในแง่ของความเสถียรและประสิทธิภาพ ดังนั้น IC ซิลิคอนจึงยังคงครองตลาดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไฮบริดแบบยืดหยุ่น (FHE)

9.4 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีกับชีวิตประจำวัน

เทคโนโลยี RFID ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะช่วยเพิ่มความสะดวกสบาย ประหยัดเวลา และลดความผิดพลาดในหลาย ๆ ด้าน ต่อไปนี้คือการประยุกต์ใช้งาน RFID ในชีวิตประจำวัน ซึ่งสามารถจำแนกออกได้ดังนี้

9.4.1 การจัดการสินค้าและการช้อปปิ้ง

ระบบจัดการคลังสินค้าหรือร้านค้าปลีก เช่น ซุปเปอร์มาร์เก็ต ใช้ RFID เพื่อติดตามสินค้าในสต็อกแบบเรียลไทม์ ทำให้เติมสินค้าได้ทันเวลาและลดปัญหาสินค้าหมดหรือสูญหาย แสดงได้ดังรูปที่ 9.7



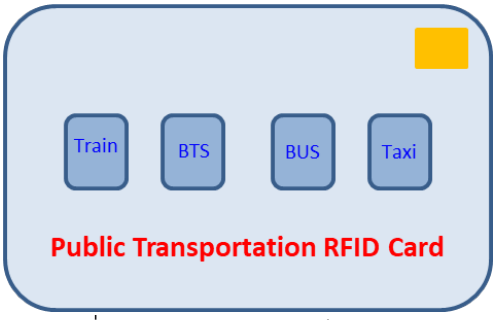
รูปที่ 9.7 ระบบจัดการคลังสินค้า

ระบบชำระเงินแบบอัตโนมัติโดย RFID ในห้างหรือร้านค้า ช่วยให้ลูกค้าสามารถสแกนสินค้าและจ่ายเงินได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านแคชเชียร์ (เช่น ระบบ Grab & Go) แสดงได้ดังรูปที่ 9.8

รูปที่ 9.8 ระบบชำระเงินแบบอัตโนมัติ

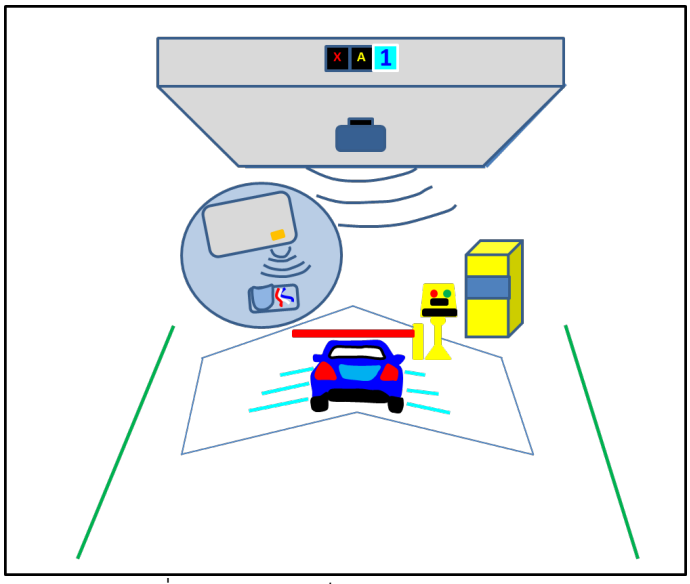
9.4.2 ระบบขนส่งและการเดินทาง

บัตรโดยสารอิเล็กทรอนิกส์ เช่น บัตรรถไฟฟ้า MRT, BTS และบัตรโดยสารรถประจำทาง ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้า-ออกสถานีหรือขึ้นรถได้สะดวกโดยไม่ต้องซื้อบัตรใหม่ทุกครั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 9.9



รูปที่ 9.9 บัตรโดยสารอิเล็กทรอนิกส์

ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ เช่น บัตร Easy Pass หรือ M-Pass ใช้ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางบนทางด่วนโดยไม่ต้องหยุดรถ แสดงได้ดังรูปที่ 9.10



รูปที่ 9.10 ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ

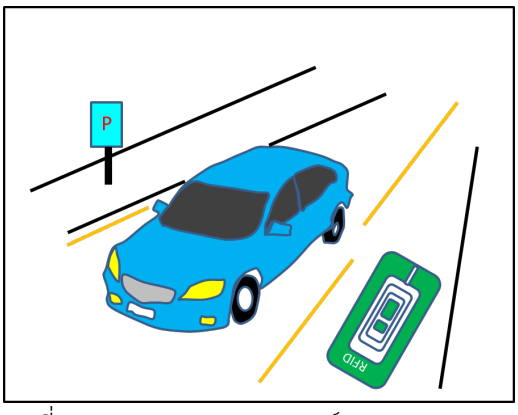
9.4.3 ความปลอดภัยและการตรวจสอบสิทธิ์

บัตรเข้า-ออกอาคารโดย บัตร RFID ใช้สำหรับเปิดประตูในสำนักงานหรือที่พัก ทำให้สามารถควบคุมการเข้าถึงพื้นที่เฉพาะได้ แสดงได้ดังรูปที่ 9.11

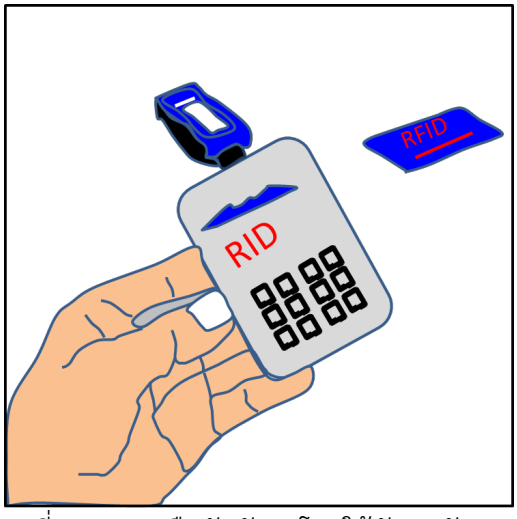
กุญแจรถแบบสมาร์ท (Smart Key) โดยกุญแจที่ใช้ RFID ในการปลดล็อคและสตาร์ทรถโดยไม่ต้องเสียบกุญแจ แสดงได้ดังรูปที่ 9.12

การยืนยันตัวตน โดยใช้ในบัตรประชาชน บัตรนักเรียน/นักศึกษา หรือบัตรพนักงาน แสดงได้ดังรูปที่ 9.13

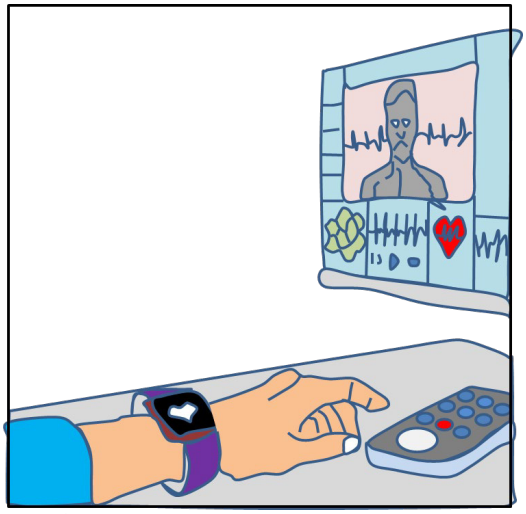
รูปที่ 9.11 บัตรเข้า-ออกอาคาร



รูปที่ 9.12 กุญแจรถแบบสมาร์ท (Smart Key)



รูปที่ 9.13 การยืนยันตัวตนโดยใช้บัตรพนักงาน

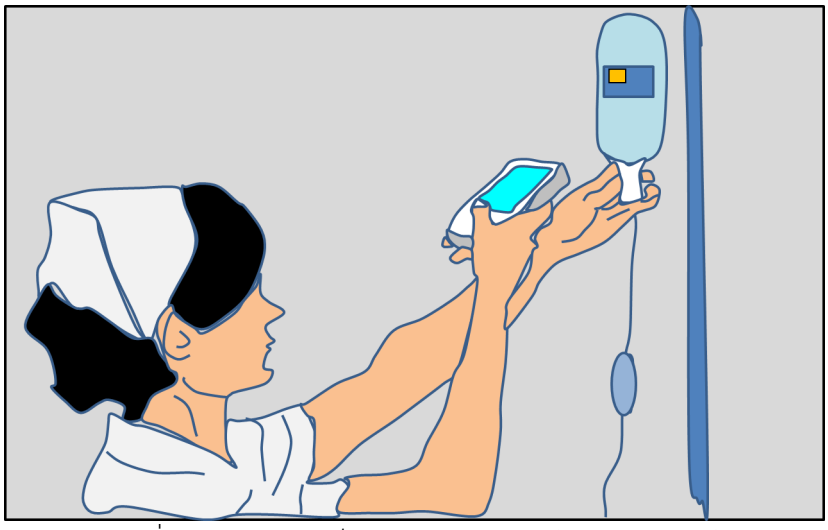


รูปที่ 9.14 การติดตามข้อมูลผู้ป่วยด้วย RFID

9.4.4 การดูแลสุขภาพ

ติดตามข้อมูลผู้ป่วยโดย RFID ใช้ในโรงพยาบาลเพื่อติดตามข้อมูลคนไข้ เช่น ประวัติการรักษา การใช้ยา หรือการติดตามผู้ป่วยในพื้นที่ต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 9.14

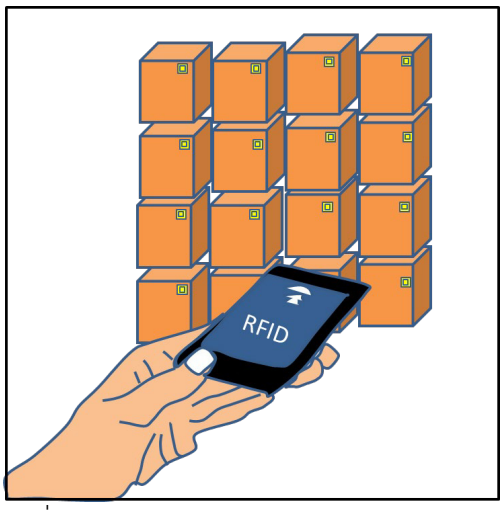
อุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยติดแท็ก RFID เพื่อระบุตำแหน่งและสถานะของอุปกรณ์ในโรงพยาบาล แสดงได้ดังรูปที่ 9.15



รูปที่ 9.15 การติดแท็ก RFID กับอุปกรณ์ทางการแพทย์

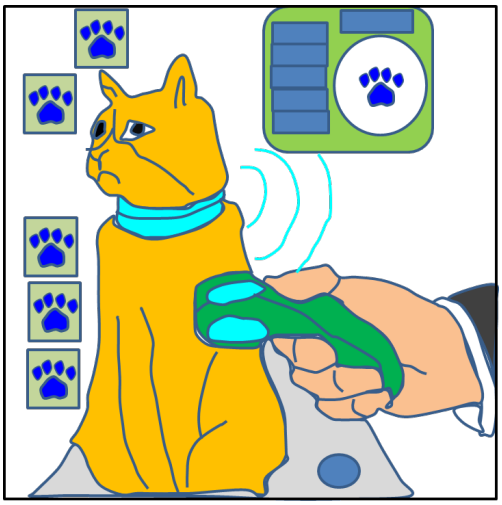
9.4.5 การติดตามสินค้าและพัสดุ

การขนส่งสินค้า โดยบริษัทขนส่ง เช่น DHL หรือ FedEx ใช้ RFID เพื่อติดตามตำแหน่งพัสดุแบบเรียลไทม์ และอัปเดตสถานะการจัดส่งให้ลูกค้า แสดงได้ดังรูปที่ 9.16



รูปที่ 9.16 ติดตามตำแหน่งพัสดุแบบเรียลไทม์

การระบุข้อมูลสัตว์เลี้ยง โดย RFID ใช้ในไมโครชิปที่ฝังในสัตว์เลี้ยงเพื่อติดตามข้อมูล เช่น ชื่อเจ้าของและที่อยู่ในกรณีที่สัตว์เลี้ยงสูญหาย แสดงได้ดังรูปที่ 9.17



รูปที่ 9.17 การระบุข้อมูลสัตว์เลี้ยงด้วย RFID

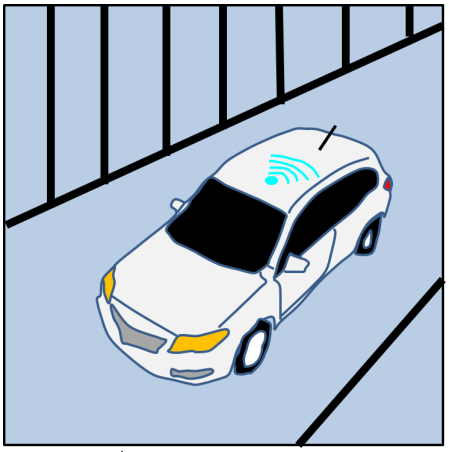
9.4.6 ความบันเทิงและการจัดการกิจกรรม

งานอีเวนต์หรือคอนเสิร์ต โดยบัตรเข้างาน RFID ช่วยให้สามารถเช็คอินได้อย่างรวดเร็ว และยังสามารถใช้เป็นระบบชำระเงินในงานได้

สวนสนุก เช่น บัตรผ่านที่ติดแท็ก RFID ใช้เพื่อเข้าถึงเครื่องเล่นต่าง ๆ และบันทึกประสบการณ์

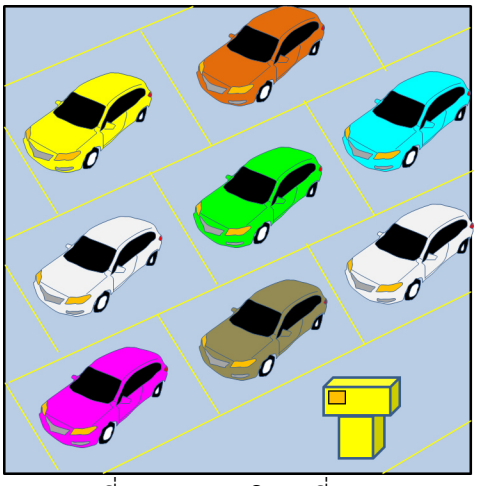
9.4.7 การจัดการยานพาหนะ

ระบบติดตามรถ โดยใช้ RFID เพื่อตรวจสอบประวัติการใช้งานรถยนต์ เช่น การตรวจสภาพหรือการชำระภาษี แสดงได้ดังรูปที่ 9.18



รูปที่ 9.18 ระบบติดตามรถ

การบริหารที่จอดรถ โดยใช้ในการเปิด-ปิดประตูที่จอดรถอัตโนมัติสำหรับลูกค้าที่มีบัตร RFID แสดงได้ดังรูปที่ 9.19



รูปที่ 9.19 การบริหารที่จอดรถ

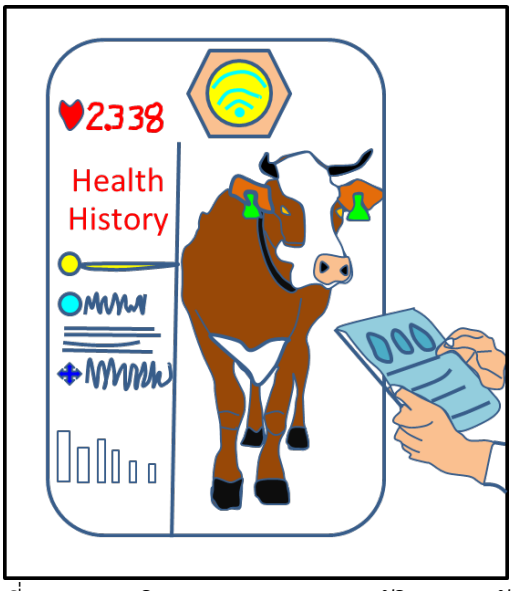
9.4.8 เกษตรกรรมและการผลิต

การติดตามสัตว์ โดย RFID ใช้ระบุสัตว์ในฟาร์ม เช่น การตรวจสอบประวัติสุขภาพ การให้อาหาร และการติดตามด้านอื่น ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 9.20

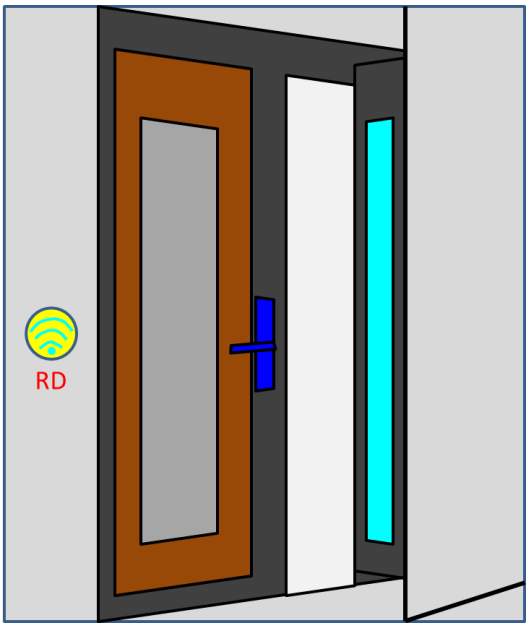
การจัดการห่วงโซ่อุปทาน โดย RFID ใช้เพื่อติดตามสินค้าเกษตร ตั้งแต่การผลิตจนถึงผู้บริโภค เพื่อรับประกันความสดใหม่และความปลอดภัยของอาหาร

9.4.9 บ้านอัจฉริยะ (Smart Home)

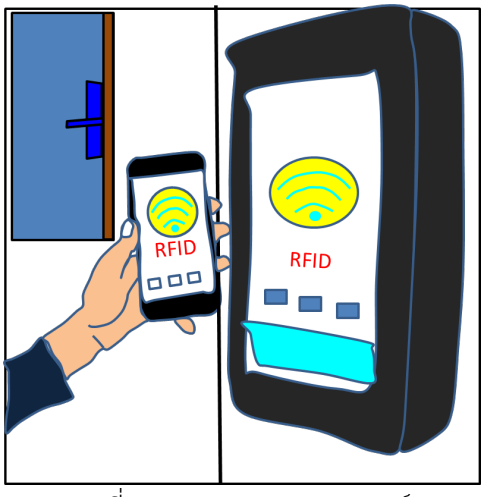
ประตูอัจฉริยะ โดยใช้ RFID ในการปลดล็อคประตูบ้าน แสดงได้ดังรูปที่ 9.21



รูปที่ 9.20 การติดตามตรวจสอบประวัติสุขภาพสัตว์



รูปที่ 9.21 ประตูอัจฉริยะ



รูปที่ 9.22 การควบคุมอุปกรณ์

การควบคุมอุปกรณ์ เช่น การตั้งค่าให้ระบบบ้านอัตโนมัติทำงานเมื่อคุณกลับถึงบ้าน โดยใช้แท็ก RFID ในกุญแจหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ แสดงได้ดังรูปที่ 9.22

ดังนั้นเทคโนโลยี RFID ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายและประสิทธิภาพในชีวิตประจำวัน ทั้งในด้านการเดินทาง การชำระเงิน การจัดการสินค้า และความปลอดภัย อีกทั้งยังช่วยลดเวลาการทำงานในหลายกระบวนการ ทำให้เป็นเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในยุคปัจจุบัน

9.5 การพัฒนางานทางด้านอาร์เอฟไอดี

RFID เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกวันนี้ โดยสามารถนำมาสร้างความสะดวกสบายให้กับชีวิตประจำวันและสร้างความปลอดภัยในชีวิตและ

ทรัพย์สินต่าง ๆ มากมาย ซึ่ง RFID ถูกออกแบบมาให้สามารถใช้งานในย่านความถี่ UHF ในช่วง 860-960 MHz โดยมีพลังงานที่ใช้ในการส่งสัญญาณในระดับต่ำเหมาะสำหรับการใช้งานในระยะใกล้ โดยจะสามารถเห็นได้จากการนำไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัว เช่น บัตรผ่านทาง อุปกรณ์ติดตามประเภทต่าง ๆ แท็กเซนเซอร์ บัตรจอดรถ คีย์การ์ด บัตรเข้า-ออกของพนักงาน เป็นต้น

โครงสร้างการทำงานที่สำคัญของ RFID จะประกอบไปด้วยแท็ก ตัวอ่าน และตัวประมวลผล โดยที่แท็กและตัวอ่านนั้น จะมีสายอากาศที่ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณความถี่เพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังตัวประมวลผล ซึ่งหากต้องการนำไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดความสะดวกสบายมากขึ้นจะต้องทำการออกแบบให้แท็กและตัวอ่านมีขนาดที่เล็กกะทัดรัด โครงสร้างของสายอากาศที่อยู่ภายในแท็กและตัวอ่านก็จะมีขนาดที่จำกัดทางด้านรูปร่างและรูปทรงตามไปด้วย โดยส่วนใหญ่รูปร่างของสายอากาศนั้นจะออกแบบเป็นเส้นเล็ก ๆ ที่มีลักษณะยาวคดโค้งวนรอบไปในพื้นที่แคบ ๆ นอกจากนี้แล้วแท็กส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาจากวัสดุประเภทโลหะแข็งแผ่นเรียบเพื่อให้เกิดความทนทานและพกพาได้สะดวก หรืออาจจะมีแท็กบางตัวที่สามารถโค้งงอและติดกับสิ่งของต่าง ๆ ได้เพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้ายได้ง่ายและสะดวกต่อการติดตามสิ่งของต่าง ๆ ได้

ในด้านของการนำสายอากาศ RFID ไปใช้ร่วมกับสิ่งของที่สามารถเคลื่อนที่ได้นั้น จะสามารถเห็นได้จากตัวอย่างที่มีการนำไปใช้งานกับยานพาหนะในหลากหลายรูปแบบ เช่น การตรวจสอบการเข้าออกของรถในพื้นที่ส่วนบุคคลและสถานที่สำคัญ การตรวจสอบความเร็วของรถตามถนนหลวง การตรวจสอบเส้นทางการเดินทางของรถขนส่ง เป็นต้น จึงมีนักวิจัยและผู้ที่สนใจทำการพัฒนาสายอากาศในลักษณะนี้อย่างต่อเนื่อง จากการสำรวจและศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาสายอากาศที่ประยุกต์ใช้งาน RFID นั้นจะมีอยู่มากมายหลายรูปแบบ ในที่นี้จะขอเริ่มกล่าวถึงการออกแบบสายอากาศแท็ก RFID รูปตัว U แบบสองชั้นที่วางบนวัสดุฐานรองประเภท Rogers RT5880 เพื่อใช้รองรับความถี่ย่าน 915 MHz สำหรับประยุกต์ใช้ในย่านการสื่อสารไร้สายภายในรถยนต์ในอนาคต ถัดมาจะเป็นการปรับปรุงข้อมูลทางด้านตำแหน่งของรถยนต์โดยใช้ IoT และ RFID แบบพาสซีฟที่ใช้พลังงานต่ำ สำหรับถนนอัจฉริยะในอนาคต โดยตัวแท็ก RFID จะถูกวางอยู่ริมถนนทั้งทางด้านซ้ายและขวา ซึ่งทำหน้าที่ในการกระจายสัญญาณกลับในช่วงความถี่ 900-922 MHz เพื่อส่งไปยังสายอากาศที่ติดตั้งอยู่บนหลังคาของรถยนต์ จากกระบวนการปรับปรุงดังกล่าวสามารถทำให้เกิดความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของยานพาหนะได้สูงมากยิ่งขึ้น ในส่วนของสายอากาศ RFID ที่ถูกออกแบบโดยใช้สายอากาศแบบมีร่องที่สร้างจากแผ่นอลูมิเนียมวางบนระนาบกราวด์ที่ทำจากโลหะรูปสี่เหลี่ยม โดยออกแบบมาให้ทำงานในย่านความถี่ 912-930 MHz สำหรับระบบจอดรถอัจฉริยะจะออกแบบสายอากาศแท็ก RFID ที่มีลักษณะเป็นเส้นลายทองแดงคดโค้งวนรอบอยู่บนวัสดุฐานรองชนิด FR4 ซึ่งนำมารองรับการใช้งานที่ความถี่ 915 MHz ทั้งนี้สายอากาศที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นแข็ง จึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานเฉพาะด้านที่ต้องการความคงทนของแผ่น RFID แต่จะยังไม่เหมาะต่อการนำไปใช้กับงานที่ต้องการความยืดหยุ่นหรือบิดโค้งงอได้ตามระนาบพื้นผิวที่โค้งเล็กน้อยถึงปานกลาง จึงได้มีการพัฒนาสายอากาศในอีกลักษณะที่สามารถโค้งงอได้ตามวัสดุที่รองรับ

RFID แบบพาสซีฟที่โค้งงอได้ ซึ่งสร้างบนวัสดุฐานรองชนิดโพลีเมอร์โปร่งใสที่มีความบางและน้ำหนักเบา โดยตัวสายอากาศถูกออกแบบเป็นเส้นรูปสี่เหลี่ยมเพื่อรองรับการใช้งานในย่านความถี่

885-932 MHz โดยสามารถอ่านสัญญาณได้ไกลถึง 8.3 เมตร และยังพบว่ามีการพัฒนาสายอากาศแท็ก RFID ที่โค้งงอได้โดยใช้แผ่นตัวนำทองแดงร่วมกับแผ่นวัสดุฐานรองประเภท PTFE สำหรับออกแบบโครงสร้างที่มีลักษณะเหมือนสายรัดข้อมือ โดยใช้ส่งและรับสัญญาณความถี่ในช่วง 865-868 MHz และสามารถอ่านสัญญาณได้ไกลประมาณ 2.5 เมตร สายอากาศประเภทที่โค้งงอได้ที่ถูกสร้างจากเทปทองแดงบนวัสดุฐานรองชนิด Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) โดยทำการเจาะช่องบนของแผ่นทองแดงเพื่อให้สายอากาศสามารถติดต่อสื่อสารกับแท็ก RFID ในย่านความถี่ 866 MHz ได้ และยังพบว่าแท็ก RFID ที่สร้างขึ้นจากทองแดงโดยการพิมพ์ลงบนแผ่นวัสดุฐานรองชนิด Kapton Polyimide และเชื่อมต่อกับชิป NXP UCODE G2XL ซึ่งรองรับการใช้งานที่ความถี่ 867 MHz เพื่อนำไปใช้ติดตามข้อมูลทางการแพทย์บนถุงเลือดและขวดน้ำเกลือของผู้ป่วย นอกจากนี้ยังมีสายอากาศ RFID ขนาดเล็กที่ถูกออกแบบโดยใช้แผ่นทองแดงบางที่ทำการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแล้ววางติดลงบนวัสดุฐานรองชนิดโฟมบาง เพื่อรองรับความถี่ในการใช้งานที่ช่วง 900-930 MHz และสามารถอ่านสัญญาณได้ประมาณ 1.8 เมตร สุดท้ายเป็นการประยุกต์ใช้ในลักษณะของสายอากาศ RFID ที่สร้างจากทองแดงโดยการพิมพ์ลงบนแผ่นวัสดุฐานรองชนิด Kapton Polyimide ที่แนบติดกับถุงมือเพื่อติดตามส่งผ่านข้อมูลกับเครื่องอ่าน RFID ที่ความถี่ 866 MHz โดยจะมีระยะการอ่านในช่วง 1.8-3.0 เมตร

นอกจากนี้ยังพบวิธีการสร้างสายอากาศด้วยวัสดุตัวนำประเภทอื่น ๆ อีกได้แก่ สายอากาศแบบไดโพลและแท็ก RFID ที่ถูกสร้างขึ้นจากหมึกกราฟีนที่ทำการพิมพ์ลายลงบนวัสดุฐานรองประเภทกระดาษแข็ง ซึ่งทำให้ได้แบนด์วิดท์ใช้งานช่วง 800-965 MHz และมีระยะการอ่านประมาณ 5 เมตร สายอากาศแบบไดโพลที่เป็นเส้นลายโค้งงอถูกสร้างขึ้นจากหมึกกราฟีนที่ถูกพิมพ์ลายลงบนวัสดุฐานรองประเภทกระดาษ ทำให้มีช่วงแบนด์วิดท์ใช้งานตั้งแต่ 984-1052 MHz โดยให้ประสิทธิภาพของการแผ่กระจายสัญญาณได้ดี และก็ยังพบว่ามีสายอากาศที่สร้างจากหมึกตัวนำเงิน โดยการพิมพ์เป็นลวดลายเส้นโค้งงอด้วยเครื่องพิมพ์เฉพาะทางที่มีราคาแพงลงบนวัสดุฐานรองประเภท PET สำหรับนำไปใช้เป็นแท็ก RFID ในย่านความถี่ 750-1050 MHz และก็ยังมีการสร้างสายอากาศแท็ก RFID ที่พิมพ์ด้วยหมึกตัวนำเงิน โดยการพิมพ์แผ่นสายอากาศด้วยเครื่องพิมพ์แบบอิงค์เจ็ททั่วไปบนวัสดุฐานรองประเภท PET เพื่อรองรับการใช้งานในช่วงความถี่ 902-921 MHz ซึ่งออกแบบมาให้ใช้งานร่วมกับการตรวจจับรถยนต์ในพื้นที่ลานจอดรถ เพื่อหาตำแหน่งว่าง ด้วยระบบ IoT เป็นต้น

จากตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นภาพของการพัฒนางานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี RFID ที่มุ่งเน้นการตรวจจับ ติดตามและตรวจสอบได้อย่างแม่นยำและกว้างขวางมากขึ้น ซึ่งเป็นการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ทันกับเทคโนโลยีของโลกสมัยใหม่

9.6 สรุป

เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายสมัยใหม่อีกชนิดหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งในด้านการติดต่อสื่อสารระยะใกล้และการตรวจติดตามสิ่งของต่าง ๆ นั่นก็คือเทคโนโลยี RFID โดยได้มีการพัฒนาขึ้นมาตามเทคโนโลยีด้านอื่น ๆ ส่วนประกอบสำคัญได้แก่ แท็ก RFID เครื่องอ่านและซอฟต์แวร์ โดยแท็ก RFID จะแบ่งเป็นแท็กแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟ อีกทั้งยังมีแท็กที่เป็นเซนเซอร์แบบที่ใช้ชิปและแบบไม่ใช้ชิปอีกด้วย ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านอุตสาหกรรม

การแพทย์ การเกษตร การขนส่ง สุขภาพ ยานยนต์อัจฉริยะต่าง ๆ ตลอดจนด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินได้อย่างอุ่นใจ การใช้ชีวิตอย่างสะดวกสบายและก้าวล้ำสมัยไปเป็นอย่างมาก ตอบรับกับการพัฒนาของโลกแห่งเทคโนโลยีสมัยใหม่ การพัฒนานี้เป็นไปในมุมกว้างในทุกแขนงทุกสาขาที่เกี่ยวข้องทำให้มีนักวิจัยและนักนวัตกรรม รวมไปถึงบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ร่วมกันคิดค้นเทคโนโลยีและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทันสมัยตามมาเป็นอย่างมากเพื่อตอบรับต่อการขยายตัวทางด้านเทคโนโลยีไร้สายของโลกสมัยใหม่ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9

ข้อ 1 จงบอกนิยามของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี
ข้อ 2 จงบอกถึงองค์ประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี
ข้อ 3 จงบอกหลักการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี
ข้อ 4 จงบอกถึงประโยชน์และข้อดีข้อเสียของระบบอาร์เอฟไอดี
ข้อ 5 จงอธิบายถึงเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบที่ใช้ชิป
ข้อ 6 จงอธิบายถึงเซนเซอร์อาร์เอฟไอดีแบบไร้ชิป
ข้อ 7 จงอธิบายถึงการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้กับระบบขนส่งและการเดินทาง
ข้อ 8 จงอธิบายถึงการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้กับการดูแลสุขภาพ
ข้อ 9 จงอธิบายถึงการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้กับการติดตามสินค้าและพัสดุ
ข้อ 10 จงอธิบายถึงการพัฒนางานทางด้านอาร์เอฟไอดี

บรรณานุกรม

1. W. Chen, J. Childs, S. Ray, B. S. Lee and T. Xia, “RFID Technology Study for Traffic Signage Inventory Management Application,” IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, vol. 23, no. 10, pp. 17809-17818, October 2022.

2. A. Li, J. Li, Y. Zhang, D. Han, T. Li, et al., “Secure UHF RFID Authentication with Smart Devices,” IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, vol. 22, no. 7, pp. 4520-4533, July 2023.

3. F. Muralter, L. Arjona, H. Landaluce and A. Perallos, “A Fully Customizable RFID Research Platform with Exchangeable Modules,” IEEE SENSORS JOURNAL, vol. 21, no. 13, pp. 15379-15385, July 2021.

4. R. Colella, M. R. Tumolo, S. Sabina, C. G. Leo, P. Mincarone, et al., “Design of UHF RFID Sensor-Tags for the Biomechanical Analysis of Human Body Movements,” IEEE SENSORS JOURNAL, vol. 21, no. 13, pp. 14090-14098, July 2021.

5. A. Sharif, R. Kumar, T. Althobaiti, A. A. Alotaibi, L. Safi, et al., “Bio-Inspired Circular-Polarized UHF RFID Tag Design Using Characteristic Mode Analysis,” IEEE SENSORS JOURNAL, vol. 23, no. 10, pp. 10847-10855, May 2023.

6. F. Muralter, L. Arjona, H. Landaluce and A. Perallos, “A Fully Customizable RFID Research Platform with Exchangeable Modules,” IEEE SENSORS JOURNAL, vol. 21, no. 13, pp. 15379-15385, July 2021.

7. G. Scotti1, S. Y. Fan, C. H. Liao and Y. Chiu, “Body-Implantable RFID Tags Based on Ormocer Printed Circuit Board Technology,” IEEE Sensors Letters, vol. 4, no. 8, pp. 6500104, August 2020.

8. B. Tao, H. Wu, Z. Gong, Z. Yin and H. Ding, “An RFID-Based Mobile Robot Localization Method Combining Phase Difference and Readability,” IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING, vol. 18, no. 3, pp. 1406-1416, July 2021.

9. E. Pereira, Í. Araújo, L. F. V. Silva, M. Batista, S. Júnior, et al., “RFID Technology for Animal Tracking: A Survey,” IEEE JOURNAL OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION, vol. 7, pp. 609-620, November 2023.

10. L. J. Görtschacher, F. Amtmann, U. Muehlmann, E.h Merlin, P. Priller, et al., “Passive HF RFID Repeater for Communicating with Tags in Metal Housings,” IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, vol. 19, no. 9, pp. 1625-1629, September 2020.

11. A. A. Babar, T. Björninen, V. A. Bhagavati, L. Sydänheimo, P. Kallio, et al., “Small and Flexible Metal Mountable Passive UHF RFID Tag on High-Dielectric Polymer-Ceramic Composite Substrate,” IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, vol. 11, pp. 1319- 1322, November 2012.

12. R. Wang, J. J. Ma, C. S. Chen, B. Z. Wang, and J. Xiong, “Low-Profile Implementation of U-Shaped Power Quasi-Isotropic Antennas for Intra-Vehicle Wireless Communications,” IEEE Access, vol. 8, pp. 48557-48565, March 2020.

13. Y. Liu, R. Chen, Y. Zhou, M. Liu, Y. Hui, et al., “RFID-Based Vehicle Localization Using Virtual Wideband Multi-Frequency Continuous Wave,” IEEE JOURNAL OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION, vol. 7, pp. 222-232, June 2023.

14. A. T. Mobashsher, A. J. Pretorius, and A.M. Abbosh, “Low-Profile Vertical Polarized Slotted Antenna for On-Road RFID-Enabled Intelligent Parking,” IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, vol. 68, no. 1, pp. 527-532, January 2020.

15. E. A. Soliman, M.O. Sallam, W. D. Raedt and G. A. E. Vandenbosch, “Miniaturized RFID Tag Antenna Operating at 915 MHz,” IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, vol. 11, pp. 1068-1071, August 2012.

16. A. S. M. Sayem, D. Le, R. B. V. B. Simorangkir, T. Björninen, K. P. Esselle, et al., “Optically Transparent Flexible Robust Circularly Polarized Antenna for UHF RFID Tags,” IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, vol. 19, no. 12, pp. 2334-2338, December 2020.

17. S. L. Soriano, J. M. Seguí and J. Parrón, “A durable and flexible, low-cost tag antenna design for UHF RFID wearable applications,” in 2023 IEEE 13th International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA), Aveiro, Portugal, 27 October 2023, pp. 9-12.

18. P. Descent and R. Izquierdo, “Thermal Transfer Printing with Donor Ribbon for Flexible Hybrid RFID Antenna Fabrication,” in 2018 International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC), Ottawa, ON, Canada, 20 December 2018.

19. P.W. Sarr, I. Dioum and A. Diop, “Robust RFID Antenna for Tracking Health Products and Water Bottles,” in 2023 IEEE 13th International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA), Aveiro, Portugal, 27 October 2023, pp. 119-122.

20. G. Wu, J. Ouyang, B. Chen, L. Jin and R. Long, “A Small Flexible Anti-metal RFID Tag Antenna,” in 2016 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), Kaohsiung, Taiwan, 6 February 2017, pp. 289-290.

21. S. Ahmed, S. T. Qureshi, L. Sydänheimo, L. Ukkonen and T. Björninen, “Comparison of Wearable E-Textile Split Ring Resonator and Slotted Patch RFID Reader Antennas Embedded in Work Gloves,” IEEE JOURNAL OF RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION, vol. 3, no. 4, pp. 259-264, December 2019.

22. M. Akbari, M. W. A. Khan, M. Hasani, T. Björninen, L. Sydänheimo, et al., “Fabrication and Characterization of Graphene Antenna for Low-Cost and Environmentally Friendly RFID Tags,” IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, vol. 15, pp. 1569-1572, November 2015.

23. T. Leng, Xi. Huang, K. Chang, J. Chen, M. A. Abdalla, et al., “Graphene Nanoflakes Printed Flexible Meandered-Line Dipole Antenna on Paper Substrate for Low-Cost RFID and Sensing Applications,” IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, vol. 15, pp. 1565-1568, November 2015.

24. G. A. Casula, G. Montisci and G. Mazzarella, “A Wideband PET Inkjet-Printed Antenna for UHF RFID,” IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, vol. 12, pp. 1400- 1403, October 2013.

25. Lubna, A. Zahid, N. Mufti, S. Ullah, M. W. Nawaz, et al., “IoT-Enabled Vacant Parking Slot Detection System Using Inkjet-Printed RFID Tags,” IEEE SENSORS JOURNAL, vol. 23, no. 7, pp. 7828-7835, April 2023.

26. F. Costa, S. Genovesi, M. Borgese, An. Michel, F. A. Dicandia, et al., “A Review of RFID Sensors, the New Frontier of Internet of Things,” sensors, vol. 21, pp. 3138, April 2021.

บทที่ 10
เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่

จากการนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ก้าวหน้าและทันสมัยมาใช้ในปัจจุบันทำให้เกิดการพัฒนาในหลาย ๆ ด้าน ทำให้สามารถเข้าใจถึงการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีที่ส่งผลไปยังอนาคตซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกสบายต่อชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้น ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ที่สอดรับกับวิถีชีวิตได้อย่างกลมกลืน

10.1 เทคโนโลยีโครงข่ายแบบไร้สาย

10.1.1 ประวัติความเป็นมา

วายฟาย (Wireless Fidelity: WiFi) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีโครงข่ายแบบไร้สายที่อ้างอิงการใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งจะนำสัญญาณวิทยุ (Radio Frequencies: RF) มาใช้เป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูล แต่จะมีข้อจำกัดของสัญญาณวิทยุในด้านการสื่อสารแบบ Half-Duplex ที่มีลักษณะของอุปกรณ์ในช่องสัญญาณเดียวกันจะไม่สามารถทำการส่งข้อมูลพร้อม ๆ กันได้ โดยหากมีการใช้ช่องสัญญาณนั้นอยู่ การส่งสัญญาณจากแหล่งอื่นก็ต้องคอยฟังและรอจนกว่าช่องสัญญาณนั้นจะว่างลง จึงจะสามารถส่งสัญญาณเข้าไปยังช่องสัญญาณที่ว่างลงได้ โดยจะใช้หลักการกลไกในการเช็คช่องสัญญาณที่มีความหลากหลาย (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance: CSMA/CA) ทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร โดยอาศัยหลักการฟังก่อนพูด (Listen before Talk)

Carrier Sense จะเป็นกลไกในการเช็คช่องสัญญาณว่ามีการใช้งานหรือว่างอยู่ ส่วน Multiple Access จะหมายถึงความสามารถที่จะรองรับอุปกรณ์ได้จำนวนมาก ๆ โดยทุก ๆ อุปกรณ์จะสามารถมีโอกาสในการได้ใช้งานช่องสัญญาณโดยการจัดสรรที่เท่าเทียมกัน และในส่วน Collision Avoidance จะหมายถึงกลไกการจัดระเบียบที่จะช่วยลดความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการชนกันของช่องสัญญาณ

โดยระบบ WiFi จะเป็นเทคโนโลยีที่ทำงานบน OSI Layer 1 และ 2 เท่านั้น โดยจะมีอุปกรณ์หลัก ๆ อยู่ 2 ส่วนคือส่วน Wireless Access Point (AP) และ Wireless Client ซึ่งนิยมเรียกรวมกันว่า Wireless Router เนื่องจากเร้าเตอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้งานกันอยู่นั้นจะมีฟังก์ชันเหล่านี้รวมอยู่ด้วยแล้ว เช่น การจัดสรร DHCP หรือการทำ Private Network ผ่าน NAT อีกทั้งยังทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง Distribution System (DS) หรือ LAN กับตัว Wireless Client เช่น Laptop หรือสมาร์ทโฟนเป็นต้น ทั้งนี้ระบบ WiFi จะมีบริษัท 3Com, Cisco, Nokia และ Symbol Technologies เป็นสมาชิกหลักในการให้บริการซึ่งจะออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถใช้ร่วมกันได้

10.1.2 มาตรฐาน IEEE 802.11

ในปี พ.ศ. 2540 ทางองค์กร IEEE จะเป็นสถาบันที่ทำหน้าที่กำหนดมาตรฐานการใช้งานเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่มีความหลากหลายเพื่อให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน โดยได้กำหนดให้ WiFi จะอยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งในช่วงเริ่มแรกนั้นจะยังมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำและยังพบปัญหาทางด้านความปลอดภัยของข้อมูล จึงได้ทำการพัฒนาต่อไปอีก

10.1.3 มาตรฐาน IEEE 802.11a

ในปี พ.ศ. 2542 หลังจากที่ได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้งานของระบบ WIFi โดยการนำเทคโนโลยี OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) เข้ามาใช้งานทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 54 Mbps ซึ่งจะใช้งานในย่านความถี่ 5 GHz แต่จะมีระยะการใช้งานที่ สั้น ๆ และยังมีราคาที่ยังแพงอยู่จึงไม่ได้รับความนิยมมากนัก และสำหรับในประเทศไทยนั้นยังไม่ได้อนุญาตให้นำมาใช้งานเนื่องจากความถี่ช่วงนี้จะสงวนไว้สำหรับการใช้งานของดาวเทียมสื่อสาร แสดงได้ดังตารางที่ 10.1

ตารางที่ 10.1 ข้อมูลมาตรฐาน IEEE 802.11a

ออกใช้งาน พ.ศ.	ย่านความถี่	การรับส่งข้อมูลสูงสุด	ระยะทาง (ภายในอาคาร)
2542	5 GHz	54 Mpbs	35 m

10.1.4 มาตรฐาน IEEE 802.11b

จากข้อจำกัดทางด้านความถี่ที่ใช้งาน ในปี พ.ศ. 2542 จึงมีการนำเทคโนโลยีซีซีเค (Complimentary Code Keying: CCK) และดีเอสเอสเอส (Direct Sequence Spread Spectrum: DSSS) เข้ามาใช้งานทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 11 Mbps ซึ่งจะใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz ที่จะมีระยะในการให้บริการที่ไกลขึ้นและอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานยังมีราคาถูกอีกด้วย แต่ความถี่ในย่านนี้ก็เป็นช่วงความถี่ที่มีการนำไปใช้งานทางด้านอื่น ๆ ด้วย จึงจะยังพบปัญหาเกี่ยวกับการกวนกันของสัญญาณที่ส่งออกมาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้งานอยู่ใกล้ ๆ กัน แสดงได้ดังตารางที่ 10.2

ตารางที่ 10.2 ข้อมูลมาตรฐาน IEEE 802.11b

ออกใช้งาน พ.ศ.	ย่านความถี่	การรับส่งข้อมูลสูงสุด	ระยะทาง (ภายในอาคาร)
2542	2.4 GHz	11 Mpbs	40 m

10.1.5 มาตรฐาน IEEE 802.11g

ในปี พ.ศ. 2546 หลังจากนั้นจึงได้พัฒนาเทคโนโลยีโอเอฟดีเอ็ม (OFDM) ให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 54 Mbps กับการใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งจะทำให้ได้

ระยะในการให้บริการที่ไกลขึ้น อุปกรณ์ที่นำมาใช้งานยังมีราคาถูก และมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้นได้อีกด้วย แสดงได้ดังตารางที่ 10.3

ตารางที่ 10.3 ข้อมูลมาตรฐาน IEEE 802.11g

ออกใช้งาน พ.ศ.	ย่านความถี่	การรับส่งข้อมูลสูงสุด	ระยะทาง (ภายในอาคาร)
2546	2.4 GHz	54 Mpbs	40 m

10.1.6 มาตรฐาน IEEE 802.11n

ต่อมาในปี พ.ศ. 2552 ได้มีการพัฒนาโดยการนำเทคโนโลยีไมโม (Multiple-Input Multiple-Output: MIMO) เข้ามาใช้งานทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 600 Mbps ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งย่านความถี่ 2.4 และ 5 GHz โดยสามารถเพิ่มระยะในการให้บริการที่ไกลมากยิ่งขึ้นในขณะที่อุปกรณ์ที่นำมาใช้งานก็มีราคาไม่แพงมากนัก แสดงได้ดังตารางที่ 10.4

ตารางที่ 10.4 ข้อมูลมาตรฐาน IEEE 802.11n

ออกใช้งาน พ.ศ.	ย่านความถี่	การรับส่งข้อมูลสูงสุด	ระยะทาง (ภายในอาคาร)
2552	2.4/5 GHz	600 Mpbs	70 m

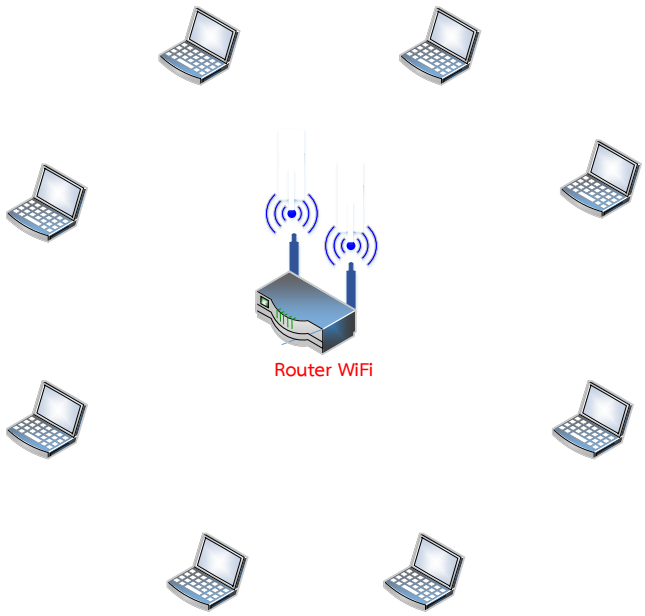
ตารางที่ 10.5 วิวัฒนาการของเทคโนโลยีระบบ WiFi

รุ่น	มาตรฐาน IEEE	ความถี่	การรับส่งข้อมูลสูงสุด	ออกใช้งาน พ.ศ.
WiFi-1	802.11a	5 GHz	11 Mpbs	2542
WiFi-2	802.11b	2.4 GHz	54 Mpbs	2542
WiFi-3	802.11g	2.4 GHz	54 Mpbs	2546
WiFi-4	802.11n	2.4/5 GHz	600 Mpbs	2552
WiFi-5	802.11ac	5 GHz	3.5 Gpbs	2557
WiFi-6	802.11ax	2.4/5 GHz	9.6 Gpbs	2562
WiFi-6E	802.11ax	6 GHz	9.6 Gpbs	2564
WiFi-7	802.11be	2.4/5/6 GHz	46 Gpbs	2567

โดยที่เทคโนโลยีของระบบ WiFi มีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องเพื่อมุ่งเน้นทางด้านการรับส่งข้อมูล (Data Rate) ให้มีขนาดที่สูงมากขึ้นเพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานขนาดใหญ่ในอนาคต ทั้งจากจำนวนของผู้ใช้บริการที่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้อย่างสะดวกง่ายดายและจากพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้บริการที่ต้องการความรวดเร็วและคมชัดของข้อมูลข่าวสารแบบเรียลไทม์มากขึ้น ได้แก่ การพัฒนามาตรฐาน IEEE 802.11ac, IEEE 802.11ax, IEEE 802.11ax (6 GHz) และ IEEE 802.11be ตามมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งก็ทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านอุปกรณ์ต่อร่วมต่าง ๆ ตามไปด้วยเช่นกัน โดยสามารถที่จะสรุปลำดับของวิวัฒนาการทางด้านการพัฒนาเทคโนโลยีของระบบ WiFi ได้ตามตารางที่ 10.5

10.2 การเชื่อมต่อใช้งานระบบวายฟาย

การเชื่อมต่อใช้งานแบบโครงข่ายของระบบ WiFi จะสามารถทำได้ด้วยการเชื่อมต่อสัญญาณผ่านคลื่นความถี่โดยตรงกับเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 1 เครื่องหรือมากกว่านั้น ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ในแต่ละเครื่องนั้นจะมีความสามารถในการทำงานประจำแต่ละเครื่องได้และสามารถขอใช้บริการจากเครื่องที่อยู่ข้างเคียงได้เพื่อลดความยุ่งยากในการเดินสายเคเบิ้ลในรูปแบบต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 10.1



รูปที่ 10.1 การเชื่อมต่อใช้งานระบบ WiFi

ทั้งนี้ในการเชื่อมต่อใช้งานระบบ WiFi นั้นจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งานด้วย โดยมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้มีการกำหนดให้สร้างความปลอดภัยสำหรับโครงข่ายไร้สายด้วยการใช้วิธีการในการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูล การตรวจสอบผู้ใช้งาน เป็นต้น

โดยที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายจะเป็นวิธีการตรวจสอบผู้ใช้งาน (Authentication) โดยจะกำหนดให้มีกลไกในการตรวจสอบผู้ใช้งานอยู่ 2 รูปแบบคือการตรวจสอบระบบและการตรวจสอบรหัส

1. การตรวจสอบระบบ (Open System Authentication) ซึ่งจะเป็นรูปแบบที่ถูกกำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 อยู่แล้ว โดยเป็นการอนุญาตให้เครื่องผู้ใช้งานลูกข่ายทั้งหลายสามารถรับส่งสัญญาณในเครือข่ายได้ตลอด โดยที่เครื่องผู้ใช้งานลูกข่ายนี้ก็จะส่งข้อความที่ไม่มีการเข้ารหัสเพื่อขอรับการตรวจสอบไปยังเครื่องแม่ข่าย ซึ่งเครื่องแม่ข่ายก็จะทำการตอบกลับด้วยข้อความที่แสดงถึงการตอบรับหรือปฏิเสธกลับไป

2. การตรวจสอบรหัส (Shared Key Authentication) ซึ่งจะเป็นรูปแบบที่อนุญาตให้เครื่องผู้ใช้งานลูกข่ายทั้งหลายสามารถรับส่งสัญญาณในเครือข่ายได้ตลอดเช่นกัน โดยใช้วิธีการที่เครื่องผู้ใช้งานลูกข่ายนี้ก็จะส่งข้อความที่ไม่มีการเข้ารหัสเพื่อขอรับการตรวจสอบไปยังเครื่องแม่ข่าย ซึ่งเครื่องแม่ข่ายก็จะทำการตอบกลับด้วยข้อความที่แสดงถึงการตอบรับพร้อมกับคำถามกลับไปยังเครื่องลูกข่าย เครื่องลูกข่ายก็จะทำการเข้ารหัสข้อความคำถามที่ถูกส่งกลับมา โดยจะใช้รหัสลับของเครือข่าย จากนั้นจะส่งข้อความกลับไปให้เครื่องแม่ข่าย เครื่องแม่ข่ายจะทำการถอดรหัสข้อความโดยใช้รหัสลับของเครือข่าย เมื่อทำการถอดรหัสเสร็จแล้วได้ผลลัพธ์ของข้อความที่ตอบกลับมาตรงกับข้อความคำถามที่ส่งออกไป เครื่องแม่ข่ายก็จะส่งข้อความที่แสดงถึงการอนุญาตให้เครื่องลูกข่ายนั้นสามารถใช้เครือข่ายได้

ทั้งนี้ในการใช้เครือข่ายระบบ WiFi ได้อย่างปลอดภัยนั้นควรจะทำการกำหนดรหัสเฉพาะเพื่อใช้เรียกชื่อเครือข่าย หรือทำการปกปิดเครือข่ายไร้สายนั้นไว้ รวมถึงทำการเข้ารหัสโปรโตคอลในการรับส่งข้อมูล

รูปที่ 10.2 Adapter ไร้สาย

10.2.1 อุปกรณ์และการใช้งานในอดีต

จากยุคเริ่มต้นในการใช้งานระบบเครือข่าย WiFi ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เสริมที่มีพื้นฐานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาร่วมด้วยเสมอซึ่งจะได้แก่ Adapter แบบไร้สายซึ่งทำหน้าที่พื้นฐานในการเชื่อมต่อสัญญาณแบบไร้สาย โดยจะมี Interface แบบต่าง ๆ กันไป เช่น PCMCIA, PCI, ISA, Cardbus และ USB แสดงได้ดังรูปที่ 10.2 ที่จะเป็นอุปกรณ์เสริมที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะและแบบพกพา

รูปที่ 10.3 Router WiFi

รูปที่ 10.4 จำลองรัศมีการให้บริการกับเครื่องลูกข่าย

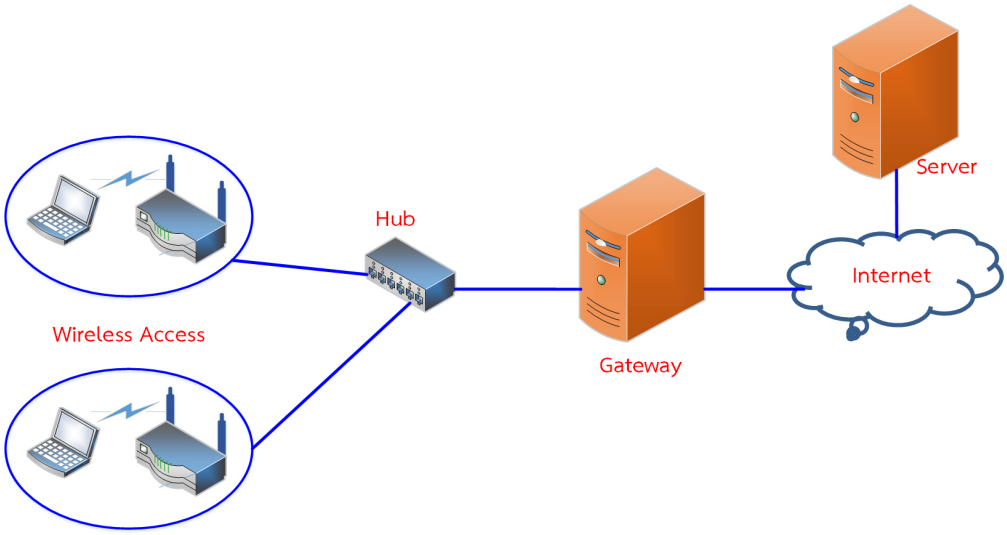
โดยเครื่องแม่ข่ายที่เป็นตัวปล่อยและรับสัญญาณนั้นจะนิยมใช้เป็น Router WiFi หรือ Wireless Access Point ที่จะสามารถปล่อยสัญญาณออกไปได้ในรัศมีที่กว้างหรือสามารถใช้ภายในอาคารที่มีผนังกำแพงปูนหลาย ๆ ชั้นได้ในระดับปานกลาง แสดงได้ดังรูปที่ 10.3 โดยสามารถจำลองรัศมีการให้บริการกับเครื่องลูกข่ายทั้งในพื้นที่โล่งแจ้งและในพื้นที่ภายในอาคารสำนักงาน แสดงได้ดังรูปที่ 10.4

10.2.2 โครงสร้างของ WiFi Public Hotspot

Wireless Access Point จะเป็นการเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless Access) โดยจะอยู่ในส่วนของเครื่องลูกข่ายใช้ในการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายกับเครื่องแม่ข่าย โดยที่อีกส่วนหนึ่งของ Access Point จะทำการเชื่อมต่อกับ Hotspot Gateway ผ่านทางสายนำสัญญาณซึ่ง Hotspot Gateway นี้จะประกอบไปด้วยหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10.5

1. การควบคุมข้อมูล
2. การพิสูจน์และตรวจสอบตัวตน
3. การจัดสรร IP Address ให้กับเครื่องลูกข่าย
4. การกำหนดระยะเวลาและความกว้างของช่องสัญญาณสำหรับเครื่องลูกข่าย

ทั้งนี้แนวโน้มในการพัฒนาระบบเครือข่าย WiFi นี้เพื่อใช้ในอนาคตโดยพิจารณาจากข้อมูลตามมาตรฐาน IEEE 802.11n Draft ที่มุ่งเน้นทางด้านความเร็วและระยะการใช้งานที่จะเพิ่มขึ้น โดยมีแนวทางในการประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการให้บริการ WiFi บนเครื่องบินหรือการนำ WiFi ไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์สมัยใหม่ต่าง ๆ รวมไปถึงการพัฒนาเครือข่าย WiFi เสรี เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น การนำไปใช้งานในรูปแบบของระบบ SAN และการใช้งานระบบคลาวด์ เป็นต้น



รูปที่ 10.5 โครงสร้างของ WiFi Public Hotspot

10.3 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายยุคที่ 5

จากที่ได้ทราบถึงการพัฒนาระบบการสื่อสารด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ตั้งแต่ยุคเริ่มแรก จนมาถึงปัจจุบันในยุคที่ 5 (5G) สามารถอธิบายได้เบื้องต้นดังนี้

10.3.1 ในยุค 5G (Fifth Generation) ได้เริ่มนำมาใช้งานในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเซลลูลาร์ไร้สายที่ให้ความเร็วในการอัพโหลดและดาวน์โหลดข้อมูลที่สูงขึ้น มีประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อสัญญาณที่สม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้นและสามารถประยุกต์ใช้อินเตอร์เน็ตเพื่อเข้าถึงแอปพลิเคชัน เครือข่ายสังคม ข้อมูลและเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้ เช่น รถยนต์ที่ขับเคลื่อนได้ด้วย

ตัวเอง แอปพลิเคชันเกมขั้นสูง รวมถึงการรับชมสื่อออนไลน์แบบเรียลไทม์ที่ใช้การเชื่อมต่อข้อมูลความเร็วสูงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยคลื่นความถี่ย่าน 5G ที่มีการใช้งานในประเทศไทย ได้แก่

ย่านความถี่ 700 MHz (n28) มีการเปิดให้บริการแล้วเมื่อช่วงต้นปี พ.ศ. 2564

ย่านความถี่ 2600 MHz (n41) มีการเปิดให้บริการครบทั้ง 77 จังหวัดแล้ว สำหรับลูกค้า AIS และ Truemove H

ย่านความถี่ 26 GHz (n258) มีการประมูลและรับใบอนุญาตแล้ว แต่ยังไม่มีการนำมาใช้งาน เนื่องจากยังติดปัญหาทางด้านของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งาน

ส่วนคลื่นความถี่ที่จะมีการประมูลเพื่อนำมาใช้งานในอนาคตได้แก่

ย่านความถี่ 3500 MHz (n48) เดิมเป็นย่านความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารดาวเทียม จึงต้องรอหมดสัมปทานและมีการเปิดประมูลเมื่อช่วงปลายปี พ.ศ. 2564

10.3.2 การเปรียบเทียบเทคโนโลยียุค 5G กับ 4G/3G

ด้านความเร็ว

เทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G สามารถพัฒนาความเร็วได้ถึง 10 Gbps ซึ่งเป็นความเร็วที่เร็วกว่าเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 4G ถึง 10 เท่า

ด้านเวลา

การที่จะทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณนั้นจะต้องทำให้เวลาแฝงลดต่ำลงอย่างมาก เวลาแฝงที่เกิดจากความล่าช้าของการส่งและรับข้อมูลสำหรับเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 4G จะเกิดเวลาแฝงอยู่ที่ประมาณ 200 มิลลิวินาที แต่ด้วยเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G สามารถลดเวลาแฝงลงเหลือเพียง 1 มิลลิวินาทีเท่านั้น

ด้านแบนด์วิดท์

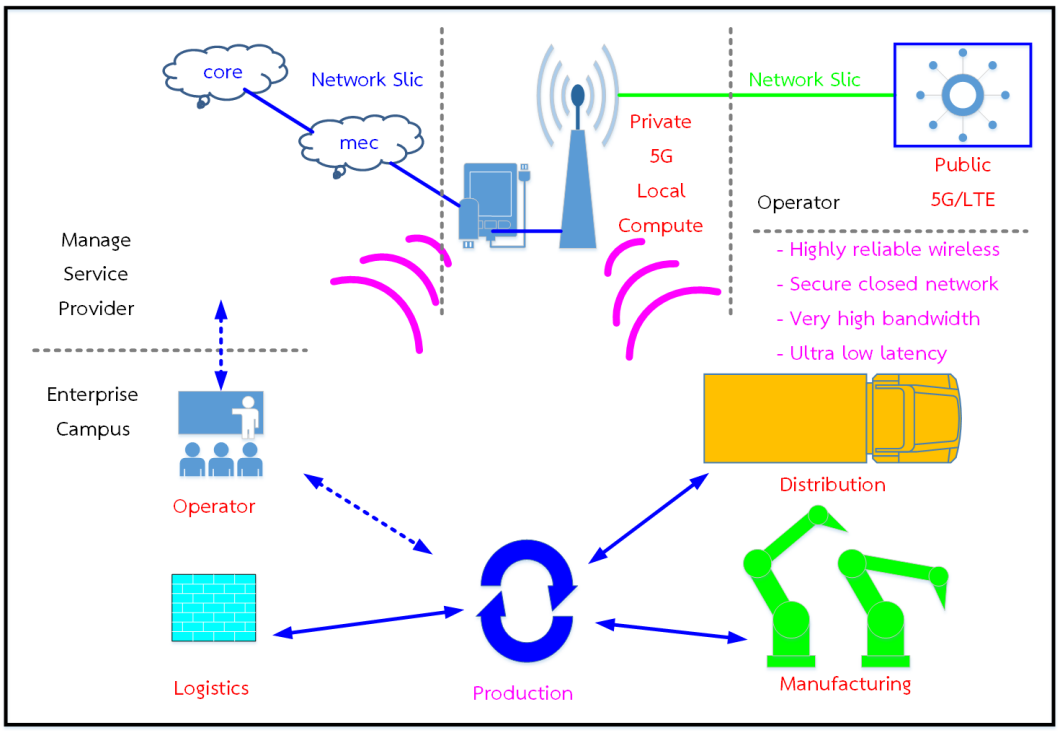
เทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G สามารถใช้งานในย่านความถี่ช่วงกว้างขึ้นที่ช่วงคลื่นต่ำ ช่วงคลื่นกลางและช่วงคลื่นสูงได้ โดยที่เทคโนโลยีเครือข่ายยุค 4G จะใช้งานในย่านความถี่ที่ช่วงคลื่นต่ำเท่านั้น โดยการขยายคลื่นความถี่วิทยุจากช่วงต่ำตั้งแต่ 3 GHz ไปจนถึง 100 GHz ได้นั้น จึงทำให้สามารถเพิ่มความจุในการรับส่งข้อมูลเป็นอย่างมาก และมีอัตราการโอนถ่ายข้อมูลสูงได้ถึง 10 Gbps โดยมีเวลาแฝงที่ลดต่ำลงอย่างมาก

10.4 เทคโนโลยีเครือข่ายยุคที่ 5 กับการประยุกต์ใช้งาน

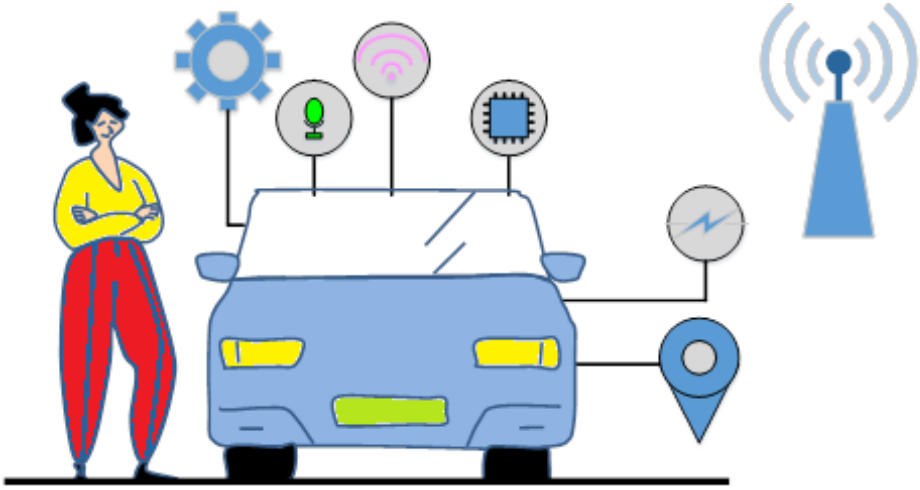
การนำอินเตอร์เน็ตมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีไร้สายสมัยใหม่ต่าง ๆ เช่น อินเตอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT), ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และระบบอัตโนมัติ เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่ต้องใช้ความเร็วและความจุของปริมาณข้อมูลที่สูงขึ้นอย่างมาก

ทั้งนี้ด้วยความสามารถทางด้านความเร็วสูง ความจุขนาดมหาศาลและเวลาแฝงต่ำ เทคโนโลยียุค 5G จึงสามารถสอดประสานและช่วยสนับสนุนการปรับขนาดแอปพลิเคชันต่าง ๆ ได้แก่ การควบคุมทางการจราจรที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบคลาวด์ การประชุมทางไกลผ่านวิดีโอ การบริการขนส่งด้วยโดรน การเล่นเกมระดับคุณภาพในทุก ๆ ที่ การชำระเงินผ่านระบบเครือข่ายออนไลน์ การศึกษาทางไกลผ่านวิดีโอรวมถึงการทำงานนอกสถานที่ผ่านระบบเครือข่าย ทั้งนี้เทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G

นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างไร้ขีดจำกัดทางด้านการทำงาน ด้านเศรษฐกิจและชีวิตประจำวันของมนุษย์ แสดงได้ดังรูปที่ 10.6



รูปที่ 10.6 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G

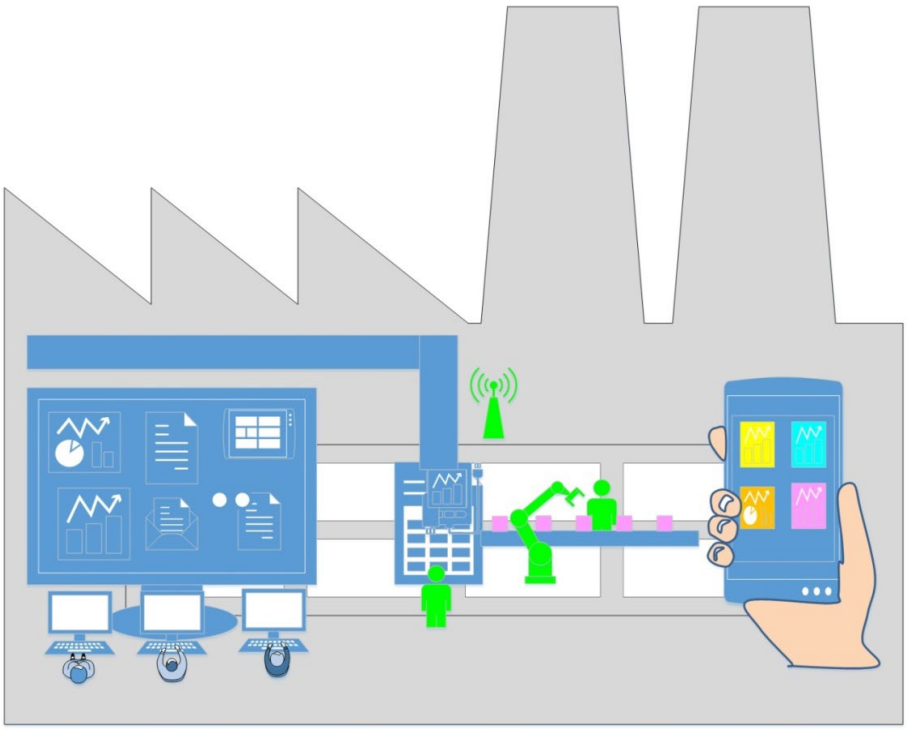


รูปที่ 10.7 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับยานยนต์อัจฉริยะ

10.4.1 ยานยนต์อัจฉริยะ

ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G จะสามารถพัฒนาอุตสาหกรรมรถยนต์ที่ขับเคลื่อนอัตโนมัติให้มีความสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น ด้วยการมีเวลาแฝงที่ต่ำมากทำให้รถยนต์สามารถขับเคลื่อน

ด้วยตนเองบนถนนที่ทำการเชื่อมต่อกับเครื่องรับส่งสัญญาณและเซนเซอร์ที่รับและส่งข้อมูลไปยังยานพาหนะในเวลาแค่ 1/1,000 วินาที ซึ่งในช่วงเวลาสั้น ๆ นี้ จะมีความสำคัญอย่างยิ่งกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และเทคโนโลยีเรดาร์ ในการนำมาวิเคราะห์และประมวลผลของชุดระบบเซนเซอร์ต่าง ๆ ของรถยนต์ เช่น การมองเห็น การเคลื่อนที่ การชะลอหรือหยุดรถ เป็นต้น โดยลักษณะการทำงานของฟังก์ชันต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 10.7



รูปที่ 10.8 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับโรงงานอัจฉริยะ

10.4.2 โรงงานอัจฉริยะ

เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G ทำให้โอกาสที่ผู้ผลิตจะนำมาพัฒนาโรงงานอัจฉริยะด้วยการเชื่อมต่อสัญญาณ 5G ที่สามารถรองรับการทำงานของ IoT ซึ่งจะทำให้โรงงานสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์อัจฉริยะที่หลากหลายในจำนวนมาก ๆ ได้ เช่น ติดตั้งกล้องและเซนเซอร์ไร้สายเพื่อใช้ตรวจสอบและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติแบบเรียลไทม์ได้ ผู้ใช้งานสามารถนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล เพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากขึ้นได้ เช่น สามารถนำมาคาดการณ์อายุการใช้งานของอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำ สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจสำหรับการวางแผนดำเนินงานหรือสามารถนำมาวางแผนในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรอย่างเป็นระบบ เป็นต้น โดยมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 10.8

รูปที่ 10.9 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับโลกเสมือนจริง

10.4.3 โลกเสมือนจริง

เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G สามารถนำมาใช้เป็นเทคโนโลยีโลกเสมือนจริง (VR/AR) ได้อย่างลงตัว โดยการเพิ่มกระบวนการซ้อนทับทางดิจิทัลเข้าไปในการแสดงผลภาพของสมาร์ทโฟน แว่นตาอัจฉริยะ อุปกรณ์หูฟัง และอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออื่น ๆ ทำให้เกิดภาพและเสียงแบบ 3 มิติ ที่สมจริงคล้ายกับการมีตัวตนที่มีอยู่จริงในสถานการณ์หรือเหตุการณ์นั้น ๆ โดยได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการบำรุงรักษาชิ้นส่วนอุปกรณ์ การซ่อมแซมเครื่องมือเครื่องจักร การดำเนินงานต่าง ๆ ในด้านอุตสาหกรรม การนำไปใช้กับงานฝึกอบรมในสถานที่ทำงาน การขายสินค้าและการโปรโมทสินค้า เป็นต้น โดยมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 10.9

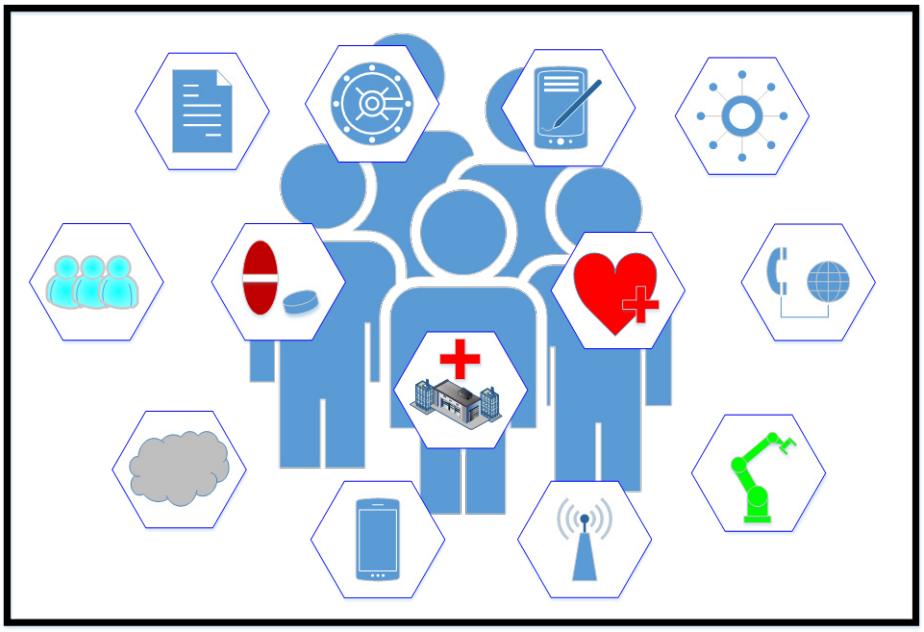
10.4.4 การประมวลผล Edge

เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G สามารถเข้ามามีบทบาทร่วมกับการใช้เทคโนโลยี Edge Computing ได้เป็นอย่างดี ด้วยการที่มีเวลาแฝงที่ต่ำมากสามารถตอบสนองแบบเรียลไทม์ได้อย่างดี ส่งผลให้กระบวนการสร้างแอปพลิเคชันที่มีประสิทธิภาพสูงที่สามารถประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลได้ใกล้กับแหล่งกำเนิดข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการได้อย่างอัจฉริยะ

รูปที่ 10.10 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับเมืองอัจฉริยะ

10.4.5 เมืองอัจฉริยะ

เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G ทำให้การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ ที่ใช้อุปกรณ์ IoT ร่วมกับเซนเซอร์ต่าง ๆ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการจราจร ผู้ใช้ถนนและสิ่งแวดล้อมพื้นฐานแบบเรียลไทม์ เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการการลดมลภาวะ การปรับปรุงบริการสาธารณะ การเลี่ยงและลดปัญหาจราจรต่าง ๆ รวมถึงการวางแผนปรับปรุงคุณภาพอากาศ เป็นต้น โดยมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 10.10



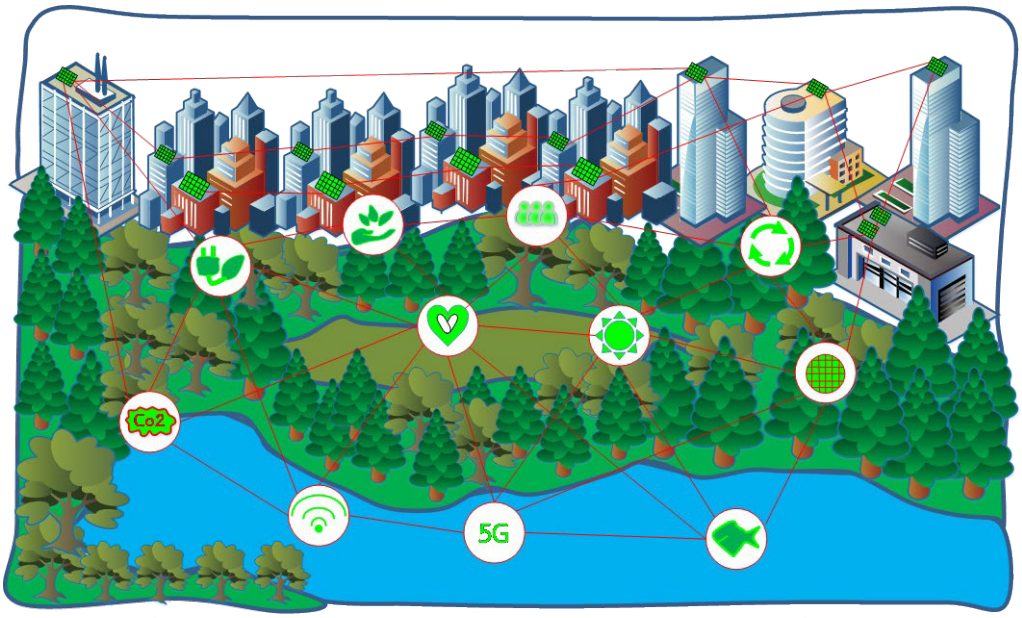
รูปที่ 10.11 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับการดูแลสุขภาพ

10.4.6 การดูแลสุขภาพ

เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G สามารถนำมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีด้านการดูแลสุขภาพได้อย่างมหาศาล ทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่าของธุรกิจอย่างก้าวกระโดดจากข้อดีทางด้านของเวลาแฝงที่ต่ำมาก ซึ่งจะสามารถช่วยทำให้การผ่าตัดทางไกลผ่านวิดีโอคุณภาพสูงแบบเรียลไทม์ได้ และยังสามารถถ่ายทอดการผ่าตัดไปยังผู้เชี่ยวชาญที่อยู่ห่างไกลได้อีกด้วย รวมถึงอุปกรณ์สวมใส่และอุปกรณ์แบบกลืนเข้าร่างกายจะได้รับประโยชน์ในการเข้าถึงข้อมูลสำคัญ ๆ อีกทั้งการตรวจติดตามแบบเรียลไทม์กับผู้ป่วยจะส่งผลให้ได้รับการดูแลสุขภาพแบบเฉพาะบุคคลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้แพทย์สามารถตรวจพบสัญญาณการเกิดโรคได้เร็วขึ้นด้วย โดยมีฟังก์ชันการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 10.11

10.4.7 สิ่งแวดล้อม

เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G จะมีประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณที่ดีและมีการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าเทคโนโลยียุคก่อนหน้า จึงทำให้ปัญหาทางด้านการใช้พลังงานและมลพิษทางสิ่งแวดล้อมลดต่ำลงตามไปด้วย การนำอุปกรณ์ที่รองรับการใช้งานจากเทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G มาใช้งานแทนที่หรือติดตั้งเพิ่มเติมก็จะเป็นการช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ตามมาอย่างต่อเนื่องและยั่งยืนเพิ่มขึ้น โดยมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 10.12



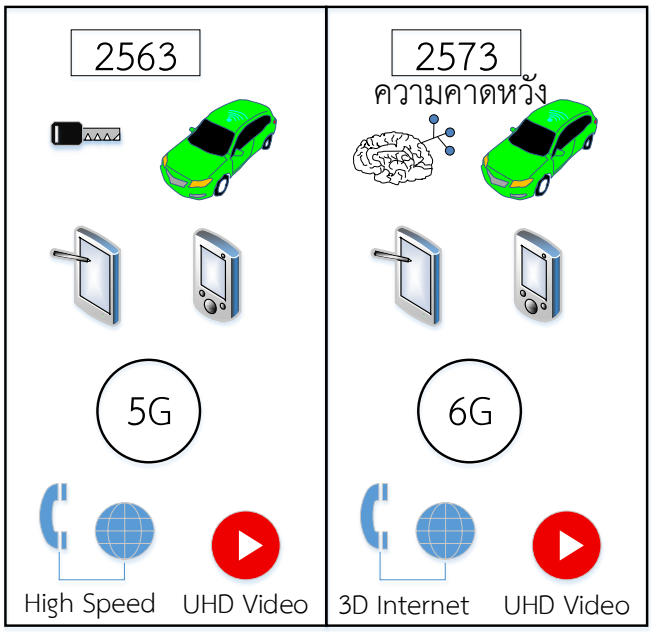
รูปที่ 10.12 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับสิ่งแวดล้อม

10.5 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายยุคที่ 6

การเปิดตัวเครือข่ายมือถือยุค 5G ถือเป็นความก้าวหน้าล่าสุดทางเทคโนโลยีมือถือ โดยเสาสัญญาณโทรศัพท์มือถือยุค 5G ที่เริ่มใช้งานในช่วงแรกจะโดดเด่นด้วยความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงมาก การครอบคลุมเครือข่ายที่ดีขึ้น และความหน่วงต่ำเป็นอย่างมาก คาดว่าเครือข่าย 5G จะเป็นรากฐานสำหรับอินเตอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (IoT) เมืองอัจฉริยะ และการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่สี่ได้

ในขณะที่เครือข่ายไร้สายรุ่นก่อน ๆ ได้ใช้ประโยชน์จากปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและการทำงานอัตโนมัติแล้ว เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายยุคที่ 6 (6G) จะยกระดับความการทำงานร่วมกันนี้ไปสู่อีกระดับที่ไม่เคยมีมาก่อน โดยบูรณาการ AI ในทุกชั้นของสถาปัตยกรรมเครือข่าย

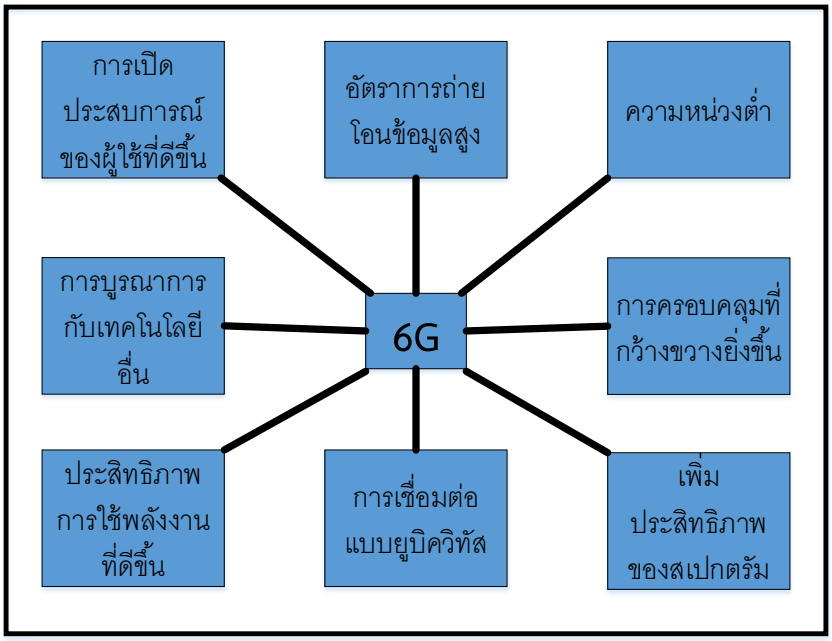
ปัจจุบันเครือข่าย 6G กำลังอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนา ซึ่งถือเป็นวิวัฒนาการขั้นต่อไปของเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ โดยคาดหวังว่าจะให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่เหนือชั้น ความหน่วงต่ำเป็นพิเศษมาก และการครอบคลุมพื้นที่ที่ดีขึ้น เครือข่ายเหล่านี้จะผสานรวมเทคโนโลยีล้ำสมัย เช่น การสื่อสารเทราเฮิรตซ์, MIMO ความเร็วสูงพิเศษ, AI, แมชชีนเลิร์นนิง (Machine Learning: ML), การสื่อสารควอนตัม, คลื่นมิลลิเมตร, พื้นผิวอัจฉริยะที่ปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ และอื่น ๆ การประยุกต์ใช้เครือข่าย 6G ที่มีศักยภาพ ได้แก่ หุ่นยนต์และระบบสมองกลที่เชื่อมโยงกัน อินเตอร์เฟซ สมอง-คอมพิวเตอร์ไร้สาย ความก้าวหน้าของบล็อกเชน โลกเสมือนจริงที่สัมผัสได้หลายประสาทสัมผัส การสำรวจอวกาศและใต้ทะเลลึก ความสามารถด้านอินเตอร์เน็ตแบบสัมผัส และเครือข่ายอุตสาหกรรม ซึ่งวิวัฒนาการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายจากยุค 5G มาสู่ 6G แสดงได้ดังรูปที่ 10.13



รูปที่ 10.13 วิวัฒนาการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายจากยุค 5G มาสู่ 6G

10.5.1 คุณสมบัติของ 6G

เครือข่าย 6G จะนำมาซึ่งความก้าวหน้าครั้งสำคัญเหนือเทคโนโลยี 5G ในปัจจุบัน คุณสมบัติและข้อดีของเครือข่าย 6G แสดงได้ดังรูปที่ 10.14 และสามารถแสดงคุณสมบัติหลักและความก้าวหน้าที่อาจเกิดขึ้นที่เกี่ยวข้องกับ 6G ได้ดังนี้



รูปที่ 10.14 แสดงคุณลักษณะของเครือข่าย 6G

อัตราการถ่ายโอนข้อมูลสูง ซึ่งคาดว่าเครือข่าย 6G จะนำมาซึ่งความก้าวหน้าอย่างมากในด้านความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูล ซึ่งอาจสูงถึง 10 Tbps ถือเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับความเร็วการถ่ายโอนข้อมูลปัจจุบันของเครือข่าย 5G ซึ่งอยู่ที่ 10 Gbps

ความหน่วงต่ำ โดยคาดว่าเครือข่าย 6G จะให้ความหน่วงต่ำเป็นพิเศษ ซึ่งอาจต่ำถึง 0.1 มิลลิวินาที ซึ่งช่วยปรับปรุงความหน่วงของเครือข่าย 5G ที่มีข้อกำหนดความหน่วงที่ 1 มิลลิวินาทีได้อย่างมีนัยสำคัญ

การครอบคลุมที่กว้างขวางยิ่งขึ้น โดยคาดว่าเครือข่าย 6G จะมีระยะการครอบคลุมที่กว้างขวางขึ้น ซึ่งอาจครอบคลุมพื้นที่ใต้ทะเลลึก อวกาศ และใต้ดิน ซึ่งจะทำให้สามารถใช้งานแอปพลิเคชันใหม่ ๆ เช่น การท่องเที่ยวใต้ทะเลลึก การเดินทางในอวกาศ และอินเตอร์เน็ตอุตสาหกรรมได้

การเปิดประสบการณ์ของผู้ใช้ที่ดีขึ้น โดยเครือข่าย 6G คาดว่าจะยกระดับประสบการณ์ของผู้ใช้โดยการขยายความสามารถของความจริงขยาย ความจริงเสริม ความจริงเสมือน และ AI

การเพิ่มประสิทธิภาพของสเปกตรัม ซึ่งคาดว่าเครือข่าย 6G จะให้ประสิทธิภาพด้านสเปกตรัมและเครือข่ายมากกว่าเครือข่าย 5G ถึง 10 เท่า

การเชื่อมต่อแบบยูบิควิทัส โดยคาดว่าเครือข่าย 6G จะให้ข้อมูลการออกอากาศจำนวนมหาศาลและรองรับการเชื่อมต่อมากกว่า 1 ล้านครั้ง ซึ่งมากกว่าเครือข่าย 5G ในปัจจุบันถึงร้อยเท่า

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้น โดยคาดว่าเครือข่าย 6G จะมีการใช้พลังงานที่เหมาะสม ส่งผลให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ใช้งานได้อย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การบูรณาการกับเทคโนโลยีอื่น โดยการบูรณาการเครือข่าย 6G ที่คาดการณ์ไว้เกี่ยวข้องกับการบูรณาการอย่างสอดคล้องกับเทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น IoT การประมวลผลแบบคลาวด์ และการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อให้แน่ใจว่าการเชื่อมต่อมีประสิทธิภาพระหว่างระบบต่าง ๆ

10.5.2 เครือข่าย 6G ปฏิวัติ AI และผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับหลายภาคส่วน

การผสานรวมของเครือข่าย 6G และเทคโนโลยี AI ถือเป็นความหวังอันยิ่งใหญ่ที่จะพลิกโฉมภาคส่วนต่าง ๆ และเปิดประตูสู่โอกาสใหม่ ๆ ด้านนวัตกรรม ประสิทธิภาพ และการเติบโตทางเศรษฐกิจ การผสานพลังของเทคโนโลยีทั้งสองนี้เข้าด้วยกัน ทำให้สามารถก้าวเข้าสู่ยุคใหม่ของการเชื่อมต่อ ที่ซึ่งขอบเขตระหว่างโลกกายภาพและโลกดิจิทัลเลือนราง และความเป็นไปได้ถูกจำกัดด้วยจินตนาการเท่านั้น 6G จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงกระบวนทัศน์ นำมาซึ่งศักยภาพอันปฏิวัติวงการที่จะพลิกโฉมอุตสาหกรรม เศรษฐกิจ และสังคมโดยรวม ดังนี้

การดูแลสุขภาพ โดยเครือข่าย 6G ผสานกับ AI กำลังปฏิวัติการให้บริการด้านการดูแลสุขภาพ ตั้งแต่การติดตามผู้ป่วยทางไกลไปจนถึงการให้คำปรึกษาทางไกลแบบเรียลไทม์ ความหน่วงต่ำพิเศษและความน่าเชื่อถือสูงของ 6G จะช่วยให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อช่วยชีวิตผู้ป่วยได้ เช่น การผ่าตัดทางไกลโดยระบบหุ่นยนต์ที่ควบคุมด้วยอัลกอริทึม AI นอกจากนี้

การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ที่ขับเคลื่อนด้วย AI ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับโรคและผลลัพธ์ของการรักษา นำไปสู่บริการด้านสุขภาพที่เป็นส่วนตัวและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การขนส่ง โดยในภาคการขนส่ง เครือข่าย 6G จะเป็นรากฐานสำคัญของการขยายตัวของยานยนต์ไร้คนขับและระบบขนส่งอัจฉริยะ อัลกอริทึมที่ขับเคลื่อนด้วย AI จะใช้ประโยชน์จากข้อมูลแบบเรียลไทม์จากการสื่อสารระหว่างยานพาหนะกับทุกสิ่ง (V2X) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจราจร เพิ่มความปลอดภัย และลดความแออัด ยิ่งไปกว่านั้น ความสามารถในการสื่อสารแบบแฝงต่ำ (URLLC) ที่เชื่อถือได้สูงของ 6G จะช่วยให้สามารถตัดสินใจได้ภายในเสี้ยววินาที ทำให้มั่นใจได้ว่ายานยนต์ไร้คนขับจะทำงานได้อย่างราบรื่นแม้ในสถานการณ์ที่ยากลำบากที่สุด

การผลิต ด้วยการเติบโตของอุตสาหกรรม 4.0 เครือข่าย 6G จะเป็นตัวเร่งการเปลี่ยนผ่านสู่โรงงานอัจฉริยะที่โดดเด่นด้วยระบบการผลิตที่เชื่อมต่อถึงกันและขับเคลื่อนด้วย AI ด้วยการใช้ประโยชน์จากการเชื่อมต่อขนาดใหญ่ของ 6G และความสามารถในการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ของ AI ผู้ผลิตสามารถเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต ลดเวลาหยุดทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรให้สูงสุด หุ่นยนต์ร่วมปฏิบัติงานที่ติดตั้งอัลกอริทึม AI จะช่วยให้เวิร์กโฟลว์การผลิตมีความคล่องตัวและยืดหยุ่น สามารถปรับให้เข้ากับความต้องการและพลวัตของตลาดที่เปลี่ยนแปลงได้แบบเรียลไทม์

ความบันเทิงและสื่อ โดยการผสานรวมของเครือข่าย 6G และ AI จะปฏิวัติวงการความบันเทิงและสื่อ นำไปสู่ประสบการณ์ที่ดียิ่งขึ้นและการนำเสนอคอนเทนต์ที่ปรับให้เหมาะกับแต่ละบุคคล ตั้งแต่แอปพลิเคชันความจริงเสริม (AR) และความจริงเสมือน (VR) ไปจนถึงการแนะนำคอนเทนต์ที่สร้างโดย AI เครือข่าย 6G จะช่วยให้สามารถสตรีมมัลติมีเดียที่ราบรื่นและมีความเที่ยงตรงสูงโดยมีความหน่วงน้อยที่สุด อัลกอริทึม AI จะวิเคราะห์ความชอบและพฤติกรรมของผู้ใช้แบบเรียลไทม์ เพื่อนำเสนอคอนเทนต์ที่ปรับให้เหมาะกับแต่ละบุคคลอย่างเหนือชั้นและตรงกับรสนิยมและความชอบส่วนบุคคล

การเงินและการธนาคาร โดยในภาคการเงิน เครือข่าย 6G จะช่วยอำนวยความสะดวกในการขยายตัวของโซลูชันฟินเทคที่ขับเคลื่อนด้วย AI ซึ่งจะปฏิวัติระบบการชำระเงิน การตรวจจับการฉ้อโกง และการบริหารความเสี่ยง การวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่ขับเคลื่อนด้วย AI จะช่วยให้สถาบันการเงินสามารถตรวจจับธุรกรรมฉ้อโกงได้อย่างแม่นยำอย่างที่ไม่เคยมีมาก่อน ขณะเดียวกัน ความหน่วงที่ต่ำเป็นพิเศษของ 6G จะช่วยให้การประมวลผลธุรกรรมเกือบจะทันที ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของการชำระเงินดิจิทัล

10.5.3 AI และ ML สำหรับเครือข่าย 6G

สำหรับ AI และ ML คาดว่าจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อเครือข่าย 6G โดยช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการเครือข่ายและยกระดับประสบการณ์ผู้ใช้ในหลากหลายด้าน คาดว่า AI จะมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเครือข่าย 6G โดยจัดการกับความท้าทายหลักในการจัดการกับอุปกรณ์เชื่อมต่อและปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก ด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพทรัพยากรเครือข่าย เช่น แบนด์วิดท์และพลังการประมวลผล AI สามารถรับประกันการทำงานของเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ AI สามารถเปิดใช้งานความสามารถในการตัดสินใจแบบเรียลไทม์ ซึ่งจำเป็นสำหรับ

แอปพลิเคชันต่าง ๆ เช่น รถยนต์ไร้คนขับและความเป็นจริงเสริม ให้ทำงานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ AI ยังสามารถสร้างเครือข่ายอัจฉริยะที่สามารถเรียนรู้ด้วยตนเองและปรับตัวได้แบบเรียลไทม์โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและประสิทธิผล AI สามารถคาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเซนเซอร์และแหล่งข้อมูลอื่น ๆ เพื่อป้องกันการหยุดชะงักของบริการ การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์สำหรับเครือข่าย 6G นี้ช่วยลดเวลาหยุดทำงานและเพิ่มความน่าเชื่อถือ ในทางกลับกัน อัลกอริทึม ML สามารถวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมและความชอบของผู้ใช้เพื่อปรับแต่งประสบการณ์เครือข่าย ซึ่งรวมถึงการนำเสนอข้อมูลแบบปรับตัว การแคชข้อมูลแบบคาดการณ์ และคำแนะนำบริการแบบเฉพาะบุคคล มาตรการรักษาความปลอดภัยทางไซเบอร์ที่ขับเคลื่อนด้วย AI สามารถวิเคราะห์รูปแบบการรับส่งข้อมูลเครือข่าย ตรวจจับความผิดปกติและตอบสนองต่อภัยคุกคามความปลอดภัยเชิงรุกได้อย่างต่อเนื่อง แบบจำลอง ML สามารถพัฒนาและปรับตัวให้เข้ากับภัยคุกคามทางไซเบอร์ใหม่ ๆ ซึ่งช่วยยกระดับความปลอดภัยโดยรวมของเครือข่าย AI ยังสามารถนำไปใช้กับระบบวิทยุแบบ Cognitive ซึ่งช่วยให้เครือข่ายสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพคลื่นวิทยุ สัญญาณรบกวน และความพร้อมใช้งานของคลื่นความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปโดยอัตโนมัติ ซึ่งทำให้สามารถใช้ทรัพยากรวิทยุที่มีอยู่ได้อย่างยืดหยุ่นและชาญฉลาดมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นเทคนิคที่ขับเคลื่อนด้วย AI สามารถเพิ่มความยืดหยุ่นของเครือข่าย 6G ได้โดยการคาดการณ์และลดผลกระทบของความผิดพลาดหรือการหยุดชะงัก แบบจำลอง ML สามารถเปลี่ยนเส้นทางการรับส่งข้อมูลได้อย่างยืดหยุ่นและเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่ายให้เหมาะสมที่สุดเมื่อเกิดความล้มเหลว

ML จะมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการพัฒนาเครือข่าย 6G โดยให้ความสามารถอัจฉริยะและปรับตัวที่สามารถรองรับแอปพลิเคชันและบริการต่าง ๆ ได้ อัลกอริทึมเหล่านี้สามารถจัดการและเพิ่มประสิทธิภาพทรัพยากรเครือข่ายแบบไดนามิกแบบเรียลไทม์ ขึ้นอยู่กับกรณีการใช้งานและข้อกำหนดเฉพาะของเครือข่าย อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบเสริมแรง (RL) เช่น Q-learning และ Deep Q Networks (DQNs) สามารถตัดสินใจแบบลำดับขั้นตอนในสภาพแวดล้อมแบบไดนามิกได้ ในการจัดการเครือข่าย RL สามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากร การกำหนดเส้นทาง และการจัดตารางเวลาโดยอิงตามเงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลง อัลกอริทึมทางพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์เป็นอัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพที่ได้รับแรงบันดาลใจจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ซึ่งสามารถใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรในเครือข่าย โดยปรับตัวให้เข้ากับความต้องการและข้อจำกัดที่เปลี่ยนแปลงไป อัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพกลุ่มอนุภาค (PSO) เป็นอัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพตามประชากรที่จำลองพฤติกรรมทางสังคมของอนุภาค สามารถนำไปใช้สำหรับการจัดสรรทรัพยากรแบบไดนามิก การปรับสมดุลโหลด และการเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่าย โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก เช่น เครือข่ายประสาทเทียม สามารถผ่านการฝึกอบรมเพื่อคาดการณ์ประสิทธิภาพของเครือข่าย จดจำรูปแบบ และปรับปรุงการจัดสรรทรัพยากร การเรียนรู้แบบเสริมแรงเชิงลึก (DRL) ผสานการเรียนรู้เชิงลึกเข้ากับ RL เพื่อการตัดสินใจที่ซับซ้อน ตรรกะฟัซซีสามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองและควบคุมพารามิเตอร์เครือข่ายในสภาพแวดล้อมแบบไดนามิก ซึ่งเป็นวิธีในการจัดการกับความไม่แน่นอนและข้อมูลที่ไม่แม่นยำในการปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่าย กระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ (MDP) ถูกใช้ใน RL เพื่อจำลองปัญหาการตัดสินใจที่มีปฏิสัมพันธ์แบบลำดับ ในการ

ปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่าย MDP สามารถแสดงถึงลักษณะแบบไดนามิกของการจัดสรรทรัพยากรและการตัดสินใจกำหนดเส้นทาง อัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์กลุ่ม (Swarm Intelligence) ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากปัญญาประดิษฐ์กลุ่ม เช่น อัลกอริทึมผึ้งหรืออัลกอริทึมหิ่งห้อย สามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทรัพยากรเครือข่ายร่วมกันได้

10.5.4 การเริ่มนำเครือข่าย 6G มาใช้งาน

การคาดการณ์ชี้ให้เห็นว่าเครือข่าย 6G อาจเปิดตัวในราวปี พ.ศ. 2573 หรือประมาณอีก 5 ปีข้างหน้า ซึ่งอาจเกิดขึ้นเร็วกว่าในภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก ปัจจุบันเทคโนโลยีไร้สาย 6G เป็นจุดสนใจของการวิจัยและพัฒนาโดยหลายประเทศ มหาวิทยาลัย และบริษัทเทคโนโลยีทั่วโลก ซึ่งประเทศจีนตั้งเป้าหมายที่จะเป็นผู้นำในการครองอุตสาหกรรม 6G ภายในอีก 5 ปีข้างหน้า และบริษัทต่าง ๆ ในประเทศจีนมีส่วนร่วมอย่างแข็งขันในการวิจัย 6G โดยที่ในประเทศเกาหลีใต้ บริษัท LG ได้จัดตั้งศูนย์วิจัย 6G ในขณะที่มหาวิทยาลัย Oulu ของประเทศฟินแลนด์เป็นผู้นำการวิจัย 6G ด้วยโครงการ 6G Flagship อีกทั้งคณะกรรมการกลางกำกับดูแลกิจการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (FCC) ได้เปิดใช้งานคลื่นเทราเฮิรตซ์ สำหรับการทดลองมาตรฐานรุ่นต่อไป ซึ่งอาจรวมถึง 6G ในขณะเดียวกัน บริษัทต่าง ๆ เช่น Qualcomm และ Intel ก็มีส่วนร่วมในการวิจัย 6G เช่นกัน โครงการวิจัย 6G ของประเทศญี่ปุ่นมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับอัตราการถ่ายโอนข้อมูลความเร็วสูงพิเศษ และโครงการ Horizon 2020 5G-DRIVE ของสหภาพยุโรปได้สำรวจศักยภาพของ 6G อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความพยายามอย่างมาก แต่เทคโนโลยี 6G ยังคงอยู่ในระยะเริ่มต้นของการพัฒนา และอาจต้องใช้เวลาสักระยะหนึ่งก่อนที่เครือข่าย 6G จะสามารถนำมาใช้งานได้จริง

10.5.5 การบรรจบกันของ AI, 6G และการสื่อสารไร้สาย

ด้วยเทคโนโลยี 6G ซึ่งมีความเป็นไปได้มากมายในการแผ่ขยายไปสู่บริการหลักสามประการ ได้แก่ บรอดแบนด์เคลื่อนที่ประสิทธิภาพสูง (eMBB), การสื่อสารแบบ Ultra-Reliable Low Latency Communication (URLLC) และการสื่อสารแบบแมชชีนขนาดใหญ่ (Massive Machine-Type Communication: mMTC) กรณีการใช้งานข้างต้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. บรอดแบนด์มือถือที่เพิ่มประสิทธิภาพ (eMBB) ซึ่งคาดว่าเครือข่าย 6G จะพัฒนาขีดความสามารถบรอดแบนด์โทรศัพท์มือถือที่เพิ่มประสิทธิภาพของ 5G ให้ดียิ่งขึ้น โดยให้อัตราข้อมูลที่สูงขึ้น ความหน่วงที่ต่ำลง และความจุที่เพิ่มขึ้น ประเด็นสำคัญบางประการของ eMBB ในเครือข่าย 6G ได้แก่

อัตราข้อมูลสูงเป็นพิเศษ โดยเครือข่าย 6G สามารถให้อัตราข้อมูลที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ 5G โดยอาจถึงระดับเทราบิตต่อวินาที (Tbps) ซึ่งจะทำให้สามารถสตรีมคอนเทนต์ความละเอียดสูงได้อย่างราบรื่น เช่น วิดีโอโฮโลแกรม การสตรีมวิดีโอ 8K หรือ 16K แบบไม่บีบอัด และประสบการณ์เสมือนจริง (VR) และความเป็นจริงเสริม (AR) แบบ Ultra-HD

การสื่อสารแบบหน่วงเวลาต่ำ ซึ่งเครือข่าย 6G มุ่งลดความหน่วงเวลาให้ใกล้เคียงกับเวลาจริงมากขึ้น ช่วยให้แอปพลิเคชันต่าง ๆ ตอบสนองฉับไวสูง เช่น เกมบนคลาวด์ การผ่าตัดทางไกล และรถยนต์ไร้คนขับ ด้วยการลดความหน่วงเวลาลงเหลือเพียงไมโครวินาทีหรือนาโนวินาที ผู้ใช้สามารถสัมผัสกับการโต้ตอบกับระบบและอุปกรณ์ระยะไกลได้อย่างราบรื่น

ความจุมหาศาล โดยคาดว่าเครือข่าย 6G จะรองรับจำนวนอุปกรณ์เชื่อมต่อและการเชื่อมต่อพร้อมกันที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก เอื้อต่อการขยายตัวของอุปกรณ์ IoT เทคโนโลยีสวมใส่และเซนเซอร์อัจฉริยะ สิ่งนี้จะช่วยให้การเชื่อมต่อและการแลกเปลี่ยนข้อมูลเป็นไปอย่างราบรื่นในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นหรือสถานการณ์ที่มีอุปกรณ์เชื่อมต่อหนาแน่น

2. การสื่อสารแบบ Ultra-reliable Low-Latency Communication (URLLC) ซึ่งเครือข่าย 6G จะพัฒนาต่อยอดจากความสามารถในการสื่อสารแบบ Ultra-Reliable Low-Latency Communication ของ 5G โดยการลดความหน่วงและเพิ่มความน่าเชื่อถือให้มากขึ้น ประเด็นสำคัญของ URLLC ในเครือข่าย 6G ประกอบด้วย

แอปพลิเคชันที่สำคัญต่อภารกิจ โดยเครือข่าย 6G จะรองรับแอปพลิเคชันที่สำคัญต่อภารกิจที่ต้องการความหน่วงต่ำเป็นพิเศษและความน่าเชื่อถือสูง เช่น ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม การผ่าตัดระยะไกล และยานยนต์ไร้คนขับ โดยการลดความหน่วงให้เหลือเพียงระดับมิลลิวินาทีและรับประกันการเชื่อมต่อการสื่อสารที่มีความน่าเชื่อถือสูง เครือข่าย 6G จะช่วยให้การเชื่อมต่อราบรื่นและตอบสนองได้แบบเรียลไทม์ในสถานการณ์สำคัญ

การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ ด้วยการวิเคราะห์ขั้นสูงและการผสานรวม AI เครือข่าย 6G สามารถเปิดใช้งานการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ช่วยให้เครื่องจักรและอุปกรณ์สื่อสารกันได้แบบเรียลไทม์และคาดการณ์ความต้องการการบำรุงรักษาได้ก่อนที่จะเกิดความล้มเหลว แนวทางการบำรุงรักษาเชิงรุกนี้ช่วยลดระยะเวลาหยุดทำงาน ลดต้นทุนการดำเนินงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

3. การสื่อสารแบบแมชชีนขนาดใหญ่ (mMTC) โดยเครือข่าย 6G จะยังคงรองรับการสื่อสารแบบแมชชีนขนาดใหญ่ เพื่อตอบสนองความต้องการด้านการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ IoT และเซนเซอร์จำนวนมาก ประเด็นสำคัญของ mMTC ในเครือข่าย 6G ประกอบด้วย

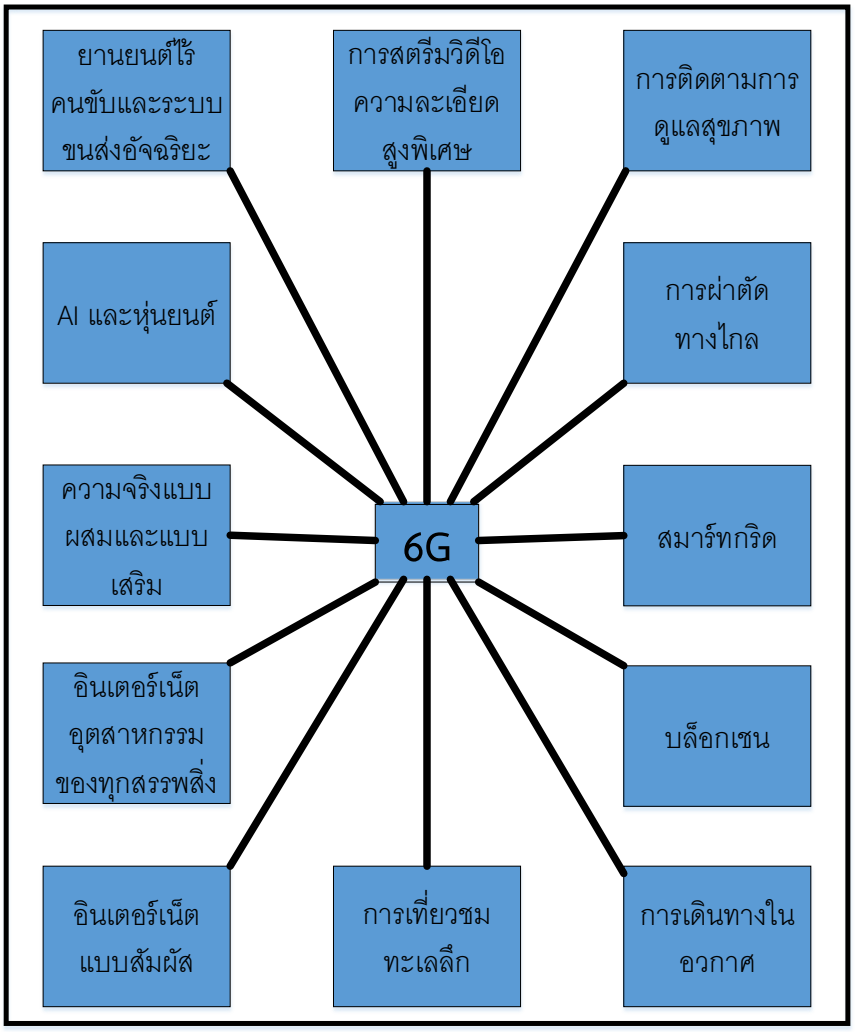
ความสามารถในการปรับขนาดได้มหาศาล ซึ่งเครือข่าย 6G จะได้รับการออกแบบให้รองรับอุปกรณ์เชื่อมต่อขนาดใหญ่ ตั้งแต่อุปกรณ์ IoT และเซนเซอร์นับพันล้านชิ้นไปจนถึงหลายล้านล้านชิ้น ความสามารถในการปรับขนาดนี้จะช่วยให้สามารถนำโซลูชัน IoT ไปใช้งานได้ในหลากหลายด้าน เช่น เมืองอัจฉริยะ ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การดูแลสุขภาพ และการตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อม

การสื่อสารที่ประหยัดพลังงาน ซึ่งเครือข่าย 6G จะผสานรวมโปรโตคอลและเทคนิคการสื่อสารที่ประหยัดพลังงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุปกรณ์ IoT และยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ ซึ่งจะทำให้การใช้งาน IoT เป็นไปอย่างยาวนานและยั่งยืน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ห่างไกลหรือเข้าถึงยากซึ่งมีแหล่งพลังงานจำกัด

กรณีการใช้งานที่หลากหลาย ซึ่งเครือข่าย 6G จะรองรับแอปพลิเคชัน IoT ที่หลากหลาย ซึ่งมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันไป ทั้งในด้านอัตราข้อมูล ความหน่วง ความน่าเชื่อถือ และการใช้พลังงาน แอปพลิเคชันเหล่านี้ประกอบด้วยโครงข่ายอัจฉริยะ การติดตามทรัพย์สิน การตรวจสอบสิ่งแวดล้อม เกษตรกรรมอัจฉริยะ และการดูแลสุขภาพอัจฉริยะ เป็นต้น

10.6 การประยุกต์ใช้งานเครือข่าย 6G

เครือข่าย 6G ยังไม่มีวางจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ แต่คาดว่าจะมีการใช้งานในหลายรูปแบบ แสดงได้ดังรูปที่ 10.15



รูปที่ 10.15 การประยุกต์ใช้งานเครือข่าย 6G

10.6.1 การสตรีมวิดีโอความละเอียดสูงพิเศษและการเล่นเกมบนคลาวด์

ความก้าวหน้าของเครือข่าย 6G และการปฏิวัติ AI จะช่วยให้สามารถสตรีมคอนเทนต์วิดีโอความละเอียดสูงพิเศษและประสบการณ์การเล่นเกมบนคลาวด์ได้อย่างราบรื่น ด้วยคุณภาพที่เหนือชั้นและมีการขัดจังหวะน้อยที่สุด การปฏิวัติ AI จะช่วยเสริมโครงสร้างพื้นฐานนี้ด้วยการใช้อัลกอริทึมที่ซับซ้อนเพื่อปรับพารามิเตอร์การสตรีมให้เหมาะสมแบบเรียลไทม์ รับรองการเล่นที่ราบรื่นและการแนะนำคอนเทนต์ที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ การผสานรวมเครือข่าย 6G และเทคโนโลยี AI นี้จะปฏิวัติวงการความบันเทิง ให้ประสบการณ์ที่ดีและมีคุณภาพสูงแก่ผู้ใช้ ซึ่งจะกำหนดขอบเขตใหม่ของการสื่อสารเคลื่อนที่และ AI

10.6.2 การติดตามการดูแลสุขภาพ

การผสานกันของ AI และการปฏิวัติ 6G กำลังปฏิวัติแอปพลิเคชันการติดตามสุขภาพด้วยการรองรับการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ การติดตามระยะไกล การดูแลสุขภาพเฉพาะบุคคล การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ ระบบอัตโนมัติด้านการดูแลสุขภาพ และการวินิจฉัยและการรักษาที่ปรับปรุงให้ดีขึ้น ความหน่วงต่ำเป็นพิเศษและความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลสูงของเครือข่าย 6G จะช่วยให้การส่งและวิเคราะห์ข้อมูลสุขภาพเป็นไปอย่างราบรื่น ช่วยให้สามารถแทรกแซงได้ทันท่วงทีและให้คำแนะนำด้านสุขภาพเฉพาะบุคคลโดยอิงจากข้อมูลเชิงลึกของแต่ละบุคคล อัลกอริทึม AI จะมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ชุดข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อระบุรูปแบบและความสัมพันธ์ ช่วยให้สามารถวิเคราะห์เชิงคาดการณ์เพื่อคาดการณ์แนวโน้มสุขภาพและทำให้กระบวนการดูแลสุขภาพต่าง ๆ เป็นระบบอัตโนมัติ การทำงานร่วมกันระหว่าง AI และเทคโนโลยี 6G นี้จะเพิ่มประสิทธิภาพการดูแลผู้ป่วยด้วยการให้บริการดูแลสุขภาพที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในเชิงรุกและเฉพาะบุคคลมากขึ้น

10.6.3 การผ่าตัดทางไกล

การเกิดขึ้นของการผ่าตัดทางไกล ซึ่งขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีหุ่นยนต์และเครือข่ายไร้สาย ได้ปฏิวัติวงการการผ่าตัดด้วยการเชื่อมโยงผู้ป่วยและศัลยแพทย์ที่อยู่ห่างไกลทางภูมิศาสตร์ แนวทางที่เป็นนวัตกรรมนี้ใช้ประโยชน์จากผสานกันของการสื่อสารโทรคมนาคมและหุ่นยนต์ขั้นสูง ซึ่งได้รับแรงหนุนจากการปฏิวัติเครือข่าย 6G ที่คาดการณ์ไว้และเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่รวดเร็วเป็นพิเศษและความหน่วงต่ำเป็นพิเศษของเครือข่าย 6G ช่วยให้การสื่อสารระหว่างระบบผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ระยะไกลและศัลยแพทย์เป็นไปอย่างราบรื่น เอาชนะอุปสรรคทางภูมิศาสตร์และให้การดูแลผ่าตัดคุณภาพสูงในพื้นที่ห่างไกล ระบบหุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วย AI แสดงการเคลื่อนไหวที่แม่นยำและคล่องแคล่ว เสริมด้วยอัลกอริทึม AI ที่เรียนรู้และปรับตัวอย่างต่อเนื่องเพื่อปรับปรุงผลลัพธ์การผ่าตัด การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์โดยอัลกอริทึม AI ช่วยให้ศัลยแพทย์ระยะไกลสามารถตัดสินใจได้อย่างชาญฉลาดระหว่างขั้นตอนการผ่าตัดทางไกล ช่วยเพิ่มความปลอดภัยและความแม่นยำในการผ่าตัดของผู้ป่วย โดยรวมแล้ว การผสานรวมความสามารถของเครือข่าย 6G และเทคโนโลยี AI ในการผ่าตัดทางไกลจะช่วยพัฒนาการผ่าตัดโดยการปรับปรุงการเข้าถึงการรักษา ยกระดับผลลัพธ์การผ่าตัด และรับรองความปลอดภัยของผู้ป่วย

10.6.4 สมาร์ทกริด

เนื่องจากการผสานรวมของ 6G และปัญญาประดิษฐ์ ทำให้เกิดการปฏิวัติครั้งสำคัญในการพัฒนาและการทำงานของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ คาดว่าเครือข่าย 6G จะให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่รวดเร็วเป็นพิเศษ ความหน่วงต่ำเป็นพิเศษ และการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ครอบคลุม ซึ่งจะช่วยปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะอย่างมีนัยสำคัญ สิ่งนี้จะช่วยให้สามารถตรวจสอบ ควบคุม และเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายและการใช้พลังงานภายในโครงข่ายไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ ช่วยให้การจัดการพลังงานและการตอบสนองต่อรูปแบบความต้องการพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีประสิทธิภาพ เทคโนโลยี AI เมื่อผสานรวมเข้ากับเครือข่าย 6G จะช่วยยกระดับความสามารถของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะให้ดียิ่งขึ้น โดยการเปิดใช้งานการวิเคราะห์ขั้นสูง การสร้างแบบจำลองเชิงทำนาย และการตัดสินใจแบบอัตโนมัติ อัลกอริทึม AI สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจำนวน

มหาศาลที่รวบรวมจากเซนเซอร์ มิเตอร์ และส่วนประกอบอื่น ๆ ของโครงข่ายไฟฟ้า เพื่อระบุรูปแบบคาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ การทำงานร่วมกันระหว่าง 6G และ AI นี้จะปฏิวัติประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ และความยืดหยุ่นของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ นำทางไปสู่โครงสร้างพื้นฐานด้านพลังงานที่ยั่งยืนและชาญฉลาดยิ่งขึ้น

10.6.5 อินเตอร์เฟซระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์

อินเตอร์เฟซสมอง-คอมพิวเตอร์ (Brain Computer Interfaces: BCI) มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างการเชื่อมโยงโดยตรงระหว่างสมองและคอมพิวเตอร์ ทำให้บุคคลสามารถควบคุมเครื่องจักรผ่านความคิดได้ ต่างจากอุปกรณ์รับข้อมูลแบบดั้งเดิม เช่น เมาส์หรือแป้นพิมพ์ BCI จะถอดรหัสและตีความสัญญาณสมอง และแปลงสัญญาณเหล่านั้นเป็นคำสั่งควบคุมที่คอมพิวเตอร์สามารถดำเนินการได้ วัตถุประสงค์ของ BCI คือการเสริมศักยภาพให้บุคคลสามารถควบคุมเครื่องจักรด้วยความคิดเพียงอย่างเดียว เช่น การควบคุมแขนขาเทียมหรือรถเข็น

การเกิดขึ้นของ 6G ทำให้ BCI อาจได้รับประโยชน์จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการสื่อสาร คาดการณ์ว่าเครือข่าย 6G จะมีอัตราการถ่ายโอนข้อมูลที่สูงขึ้นและเวลาแฝงที่สั้นลง ทำให้สามารถประมวลผลสัญญาณสมองแบบเรียลไทม์ได้ สิ่งนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพของ BCI เนื่องจากการประมวลผลและวิเคราะห์สัญญาณสมองแบบเรียลไทม์มีความสำคัญอย่างยิ่ง เทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น การสื่อสารเทราเฮิรตซ์และการประมวลผลแบบเอดจ์ที่มีอยู่ใน 6G อาจนำไปสู่การสร้างอุปกรณ์ BCI ที่ทันสมัยและกะทัดรัดพร้อมความแม่นยำและความน่าเชื่อถือที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การผสานรวม BCI เข้ากับเทคโนโลยีล้ำสมัยอื่น ๆ เช่น IoT และ AI อาจเปิดโอกาสใหม่ ๆ ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน BCI รวมถึงโซลูชัน BCI ที่คำนึงถึงบริบทและปรับให้เหมาะกับแต่ละบุคคล สิ่งสำคัญที่ต้องทราบคือ แม้ว่า 6G จะมีศักยภาพที่ยอดเยี่ยมสำหรับ BCI แต่ยังคงต้องมีการวิจัยและพัฒนาอีกมากเพื่อให้บรรลุศักยภาพเหล่านี้อย่างเต็มที่

10.6.6 บล็อกเชน

บล็อกเชนเป็นระบบที่ช่วยให้สามารถบันทึกธุรกรรมดิจิทัลได้อย่างปลอดภัยและโปร่งใสในรูปแบบกระจายศูนย์ การผสานรวมเครือข่าย 6G เข้ากับเทคโนโลยีบล็อกเชนให้ประโยชน์และศักยภาพในการประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย 6G ซึ่งคาดว่าจะมีอัตราการถ่ายโอนข้อมูลที่ดีขึ้น ความหน่วงที่ลดลง และความจุเครือข่ายที่เพิ่มขึ้น สามารถรองรับการประมวลผลธุรกรรมและแอปพลิเคชันที่ซับซ้อนแบบเรียลไทม์ได้

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนใน 6G ที่มีศักยภาพอย่างหนึ่งคือการปรับปรุงความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวในการสื่อสารและการทำธุรกรรม ความเร็วและความจุที่เพิ่มขึ้นของเครือข่าย 6G อาจช่วยให้สามารถนำโซลูชันที่ใช้บล็อกเชนมาใช้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูลและป้องกันการโจมตีทางไซเบอร์และการละเมิดข้อมูลได้ การประยุกต์ใช้อีกหนึ่งอย่างคือการพัฒนาแพลตฟอร์มและเครือข่ายแบบกระจายศูนย์โดยการผสานรวมเทคโนโลยีบล็อกเชนเข้ากับ 6G ความเร็วและความจุที่เพิ่มขึ้นของ 6G อาจสนับสนุนการสร้างเครือข่ายแบบกระจายศูนย์ที่จัดเก็บและจัดการข้อมูลสำคัญจำนวนมากอย่างปลอดภัย เช่น ธุรกรรมทางการเงินหรือบันทึกทางการแพทย์ ระบบแบบกระจายศูนย์เหล่านี้อาจให้ความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวที่ดีกว่าระบบแบบรวมศูนย์

และอาจผลักดันการพัฒนาบริการและแอปพลิเคชันใหม่ ๆ แม้ว่า 6G จะยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนา แต่ศักยภาพในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชนใน 6G ยังมีอีกมากและมีศักยภาพที่จะเปลี่ยนแปลงวิธีการสื่อสาร จัดเก็บ และจัดการข้อมูลต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญ

10.6.7 การเดินทางในอวกาศ

การสำรวจอวกาศเป็นสาขาหนึ่งที่อาจได้รับประโยชน์อย่างมากจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยี 6G ด้วยความเร็วและความจุที่เพิ่มขึ้น 6G สามารถอำนวยความสะดวกในการสื่อสารแบบเรียลไทม์ระหว่างยานอวกาศและภาคพื้นดิน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพภารกิจและช่วยให้การตัดสินใจเป็นไปอย่างคล่องตัว ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลที่รวดเร็วของ 6G ช่วยให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลการสำรวจระยะไกลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่ข้อมูลที่แม่นยำและมีรายละเอียดมากขึ้น และศักยภาพในการค้นพบทางวิทยาศาสตร์ใหม่ ๆ นอกจากนี้ เครือข่ายการสื่อสารที่แข็งแกร่งและปลอดภัยของ 6G ยังเชื่อมต่อยานอวกาศและภาคพื้นดินเข้าด้วยกัน ทำให้มั่นใจได้ว่าการสื่อสารจะเชื่อถือได้และไม่สะดุด นอกจากนี้ ความจุเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นและความหน่วงต่ำของ 6G ยังสามารถรองรับการส่งข้อมูลเสมือนจริงและความเป็นจริงเสริมความละเอียดสูง ซึ่งให้ประสบการณ์ที่ดียิ่งขึ้นสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจอวกาศ

10.6.8 การเที่ยวชมทะเลลึก

การประยุกต์ใช้ 6G ในการเที่ยวชมทะเลลึกอาจช่วยยกระดับประสบการณ์ใต้น้ำของแต่ละบุคคล ด้วยอัตราการถ่ายโอนข้อมูลที่เพิ่มขึ้นและความหน่วงที่ลดลงของ 6G จึงสามารถสร้างการสื่อสารแบบเรียลไทม์ระหว่างทะเลลึกและพื้นผิวน้ำได้ ซึ่งช่วยให้สามารถส่งภาพ วิดีโอ และข้อมูลจากส่วนลึกของมหาสมุทรได้แบบเรียลไทม์ มอบประสบการณ์ที่สมจริงยิ่งขึ้นสำหรับผู้สังเกตการณ์ใต้ทะเลลึก นอกจากนี้ ความจุเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นและความเร็วที่เพิ่มขึ้นของ 6G ยังสามารถรองรับการใช้งานโดรนใต้น้ำและยานยนต์ไร้คนขับอื่น ๆ สำหรับการสำรวจใต้ทะเลลึก ยานพาหนะเหล่านี้สามารถติดตั้งกล้องความละเอียดสูงและอุปกรณ์ตรวจจับอื่น ๆ เพื่อรวบรวมและส่งข้อมูล ทำให้สามารถรวบรวมข้อมูลที่แม่นยำและละเอียดมากขึ้นเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมใต้ทะเลลึก การนำ 6G มาใช้ในการเที่ยวชมทะเลลึกมีแนวโน้มที่ดี แต่ยังคงต้องมีการวิจัยและพัฒนาอีกมากเพื่อให้บรรลุศักยภาพสูงสุด

10.6.9 อินเตอร์เน็ตแบบสัมผัส

อินเตอร์เน็ตแบบสัมผัส (Tactile Internet) เป็นเรื่องใหม่ที่กำลังพัฒนาเพื่อสร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักรรูปแบบใหม่ผ่านการสัมผัส การนำเทคโนโลยี 6G มาใช้กับอินเตอร์เน็ตแบบสัมผัสสามารถยกระดับความสามารถและศักยภาพการใช้งานได้อย่างมาก 6G ทำให้สามารถส่งข้อมูลแบบสัมผัสได้แบบเรียลไทม์และมีความเที่ยงตรงสูง 6G อาจสามารถสร้างระบบสัมผัสที่ล้ำหน้าและตอบสนองได้ดีขึ้น ซึ่งสามารถจำลองการสัมผัสได้อย่างสมจริง ช่วยให้สามารถควบคุมและจัดการวัตถุจากระยะไกลได้ รวมถึงแอปพลิเคชันเสมือนจริงและเสริมความเป็นจริง 6G ยังสามารถให้การเชื่อมต่อความเร็วสูงและความหน่วงต่ำ ซึ่งจำเป็นต่อการรองรับการทำงานของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ควบคุมระยะไกลอื่น ๆ แบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ เทคโนโลยีการสื่อสารขั้นสูงของ 6G เช่น เอดจ์คอมพิวติง (Edge Computing) และการสื่อสารเทราเฮิรตซ์ (Terahertz Communication) อาจช่วยให้สามารถพัฒนา

อุปกรณ์สัมผัสที่มีขนาดกะทัดรัดและมีความแม่นยำสูง การบูรณาการเทคโนโลยี 6G เข้ากับอินเตอร์เน็ตแบบสัมผัสอาจเปิดโอกาสใหม่ ๆ สำหรับการโต้ตอบระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร และอาจส่งผลกระทบในวงกว้างต่ออุตสาหกรรมการดูแลสุขภาพ เกม และการผลิต

10.6.10 อินเตอร์เน็ตอุตสาหกรรมของทุกสรรพสิ่ง

การผสมผสานระหว่าง 6G และศักยภาพในการเปลี่ยนแปลงนั้นอยู่ในการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมของอินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IIoT) ความสามารถในการสื่อสารแบบเรียลไทม์ของ 6G ส่งผลให้กระบวนการต่าง ๆ มีความคล่องตัวและมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ ความเร็วในการประมวลผลข้อมูลที่สูงของ 6G ยังนำไปสู่การตัดสินใจที่ดีขึ้นและความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการทางอุตสาหกรรม คุณสมบัติด้านความปลอดภัยขั้นสูงของ 6G สามารถป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์และการละเมิดข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรมได้ดียิ่งขึ้น การผสานรวม 6G และ IIoT ยังสามารถเปิดประตูสู่โซลูชันใหม่ ๆ ที่ใช้ IoT เช่น การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์และการควบคุมระบบอุตสาหกรรมจากระยะไกลด้วยความสามารถในการขับเคลื่อนการสร้างระบบอุตสาหกรรมอัจฉริยะและอัตโนมัติ 6G จึงมีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิต ประสิทธิภาพ และลดต้นทุน

10.6.11 ความจริงแบบผสมและแบบเสริม

เทคโนโลยี 6G นำเสนอโอกาสอันน่าประทับใจในการยกระดับประสบการณ์แบบผสมผสานและแบบเสมือนจริง (MAR) ความสามารถแบบเรียลไทม์ของ 6G ช่วยให้สามารถผสานรวมโลกเสมือนจริงและโลกกายภาพเข้าด้วยกันได้อย่างราบรื่น ให้ประสบการณ์ที่สมจริงและโต้ตอบได้มากขึ้นแก่ผู้ใช้ การส่งข้อมูลเสมือนจริงและแบบเสมือนจริงความละเอียดสูงที่ 6G สามารถให้ประสบการณ์ด้านภาพและประสาทสัมผัสที่ดีขึ้นในแอปพลิเคชัน MAR ซึ่งเปิดโอกาสใหม่ ๆ ให้กับการศึกษา ความบันเทิง และการแสดงภาพผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ความสามารถของ 6G ในการเชื่อมต่อผู้คนในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงยังนำไปสู่วิธีการใหม่ ๆ สำหรับการทำงานทางไกล การมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม และการเล่นเกม มาตรการรักษาความปลอดภัยเครือข่ายขั้นสูงของ 6G มอบความอุ่นใจ ปกป้องข้อมูลสำคัญและข้อมูลผู้ใช้จากภัยคุกคามทางไซเบอร์ การผสมผสานระหว่างเทคโนโลยี 6G และ MAR มีศักยภาพอย่างมากในการสร้างประสบการณ์ที่สร้างสรรค์อย่างอิ่มเอมใจ ซึ่งทำให้กลายเป็นแอปพลิเคชันหลักของเทคโนโลยี 6G

10.6.12 AI และหุ่นยนต์

คาดว่าการประยุกต์ใช้ 6G กับ AI และหุ่นยนต์จะมีนัยสำคัญและส่งผลอย่างมาก เนื่องจากความสามารถที่เพิ่มขึ้นและการเชื่อมต่อที่ดีขึ้นของเครือข่าย 6G ซึ่งจะทำให้อัลกอริทึม AI มีความแม่นยำและความเร็วเพิ่มขึ้น ขณะที่หุ่นยนต์และโดรนอัตโนมัติจะมาพร้อมกับคุณสมบัติการสื่อสารและการควบคุมแบบเรียลไทม์ ระบบที่ขับเคลื่อนด้วย AI ขั้นสูง เช่น รถยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ โรงงานอัจฉริยะ และบ้านอัจฉริยะ จะมีความซับซ้อนมากขึ้น ด้วยความสามารถในการประมวลผลข้อมูลพื้นฐานที่เพิ่มขึ้นและแอปพลิเคชันที่ครอบคลุมมากขึ้น ผู้ช่วยเสมือนก็จะได้รับการพัฒนาเช่นกัน 6G จะช่วยให้สามารถควบคุมและตรวจสอบ AI และระบบหุ่นยนต์จากระยะไกลในสภาพแวดล้อมอันตรายได้ และ AI จะถูกใช้สำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์และการตรวจสอบในโรงงาน

อุตสาหกรรม การเชื่อมต่อและความสามารถที่เพิ่มขึ้นของเครือข่าย 6G จะเป็นแรงผลักดันให้เกิดแอปพลิเคชันและบริการที่ขับเคลื่อนด้วย AI ใหม่ ๆ ที่เป็นนวัตกรรม

10.6.13 ยานยนต์ไร้คนขับและระบบขนส่งอัจฉริยะ

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี 6G ในยานยนต์ไร้คนขับและระบบขนส่งอัจฉริยะมีแนวโน้มที่จะนำมาซึ่งความก้าวหน้าและการปรับปรุงที่สำคัญ เครือข่าย 6G จะเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญสำหรับการทำงานของยานยนต์ไร้คนขับอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ อำนวยความสะดวกในการสื่อสารและการควบคุมแบบเรียลไทม์ระหว่างยานยนต์ ระบบการจัดการจราจรส่วนกลาง และโครงสร้างพื้นฐานโดยรอบ การนำ 6G มาใช้จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือของยานยนต์ไร้คนขับผ่านการตัดสินใจที่รวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบเรียลไทม์ระหว่างยานยนต์และโครงสร้างพื้นฐานจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการจราจรและการไหลลื่น เพิ่มประสิทธิภาพและลดความแออัด การเชื่อมต่อและคุณสมบัติที่เหนือกว่าของเครือข่าย 6G จะส่งเสริมการเติบโตของระบบและบริการขนส่งอัจฉริยะที่ทันสมัย ในขณะเดียวกันก็พัฒนาเทคโนโลยียานยนต์ไร้คนขับที่มีอยู่ เช่น เซนเซอร์และความสามารถในการทำแผนที่ เป็นต้น

10.6.14 บริการที่สำคัญต่อภารกิจ

เครือข่าย 6G นำเสนอแพลตฟอร์มที่พลิกโฉมเพื่อยกระดับบริการสำคัญ ผ่านการสื่อสารที่มีความน่าเชื่อถือสูงและมีความหน่วงต่ำ การตรวจสอบและควบคุมโครงสร้างพื้นฐานสำคัญแบบเรียลไทม์ การผสานรวมกับเอดจ์คอมพิวติงและปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์และการตัดสินใจ แอปพลิเคชันด้านความปลอดภัยสาธารณะขั้นสูงและการตอบสนองต่อเหตุฉุกเฉิน การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอัจฉริยะและสาธารณูปโภคเพื่อประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น การสนับสนุนบริการการแพทย์ทางไกลและบริการสุขภาพทางไกล และมาตรการรักษาความปลอดภัยทางไซเบอร์ที่แข็งแกร่งเพื่อปกป้องข้อมูลและโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญจากภัยคุกคามทางไซเบอร์ ความสามารถเหล่านี้ช่วยให้สามารถตัดสินใจได้อย่างทันท่วงที การประสานงานระหว่างหน่วยบริการฉุกเฉินได้อย่างราบรื่น ความน่าเชื่อถือที่เพิ่มขึ้นของบริการที่จำเป็น และการเข้าถึงบริการดูแลผู้ป่วยวิกฤตที่ดีขึ้น ซึ่งท้ายที่สุดแล้วจะช่วยรับประกันความน่าเชื่อถือ การตอบสนอง และประสิทธิภาพของการให้บริการในภาคส่วนต่าง ๆ

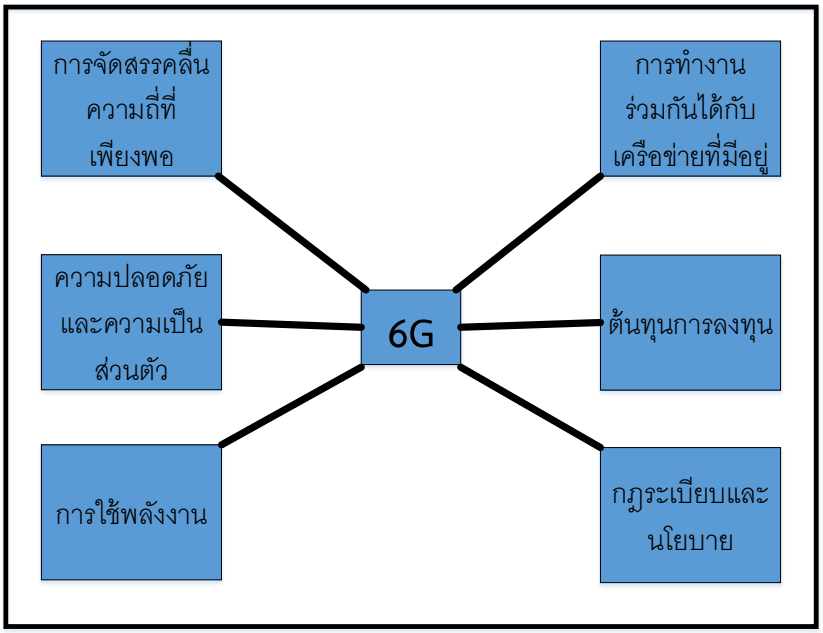
10.6.15 การป้องกันสาธารณะภัยและการบรรเทาภัยพิบัติ

การถือกำเนิดของเครือข่าย 6G นำมาซึ่งการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายเพื่อการปกป้องสาธารณะภัยและบรรเทาภัยพิบัติ ด้วยการสื่อสารความเร็วสูงพิเศษและความหน่วงต่ำ 6G ช่วยอำนวยความสะดวกในการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ ซึ่งจำเป็นต่อการตัดสินใจและการประสานงานอย่างรวดเร็วระหว่างเจ้าหน้าที่รับมือเหตุฉุกเฉินในช่วงวิกฤต การผสานรวมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม (AR) และความจริงเสมือน (VR) ช่วยยกระดับการรับรู้สถานการณ์และการนำทางในเขตภัยพิบัติ ขณะเดียวกัน การวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ที่ขับเคลื่อนด้วย AI ช่วยให้สามารถดำเนินกลยุทธ์การป้องกันสาธารณะภัยเชิงรุกได้โดยการวิเคราะห์ชุดข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อคาดการณ์ความเสี่ยงและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากร การผสานรวมกับโดรนและอากาศยานไร้คนขับ (UAV) อย่างราบรื่นช่วยให้สามารถปฏิบัติการเฝ้าระวังทางอากาศและภารกิจค้นหาและกู้ภัยได้ ในขณะที่เทคโนโลยี

การระบุตัวตนทางชีวภาพและเทคโนโลยีแบบสวมใส่ช่วยรับประกันความปลอดภัยและความรับผิดชอบของบุคลากรในพื้นที่ภัยพิบัติ มาตรการรักษาความปลอดภัยขั้นสูงช่วยปกป้องข้อมูลการป้องกันสาธารณะภัยที่ละเอียดอ่อนและโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสาร ขณะที่แพลตฟอร์มการมีส่วนร่วมของชุมชนช่วยให้ประชาชนสามารถมีส่วนร่วมอย่างแข็งขันในการเตรียมความพร้อมและรับมือกับภัยพิบัติ โดยรวมแล้ว เครือข่าย 6G มีศักยภาพมหาศาลในการเพิ่มประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นของการป้องกันสาธารณะภัย ท้ายที่สุดแล้วสามารถช่วยชีวิตและลดผลกระทบของภัยพิบัติต่อชุมชนได้

10.7 ความท้าทายในการปรับใช้ 6G

การปรับใช้เทคโนโลยี 6G ต้องเผชิญกับความท้าทายหลายประการในการปรับใช้ บางส่วนจะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ และสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10.16



รูปที่ 10.16 ความท้าทายในการปรับใช้เทคโนโลยี 6G

นวัตกรรมและการกำหนดมาตรฐานเทคโนโลยี ซึ่งปัญหาทางเทคนิคเป็นความท้าทายในการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ เช่น การสื่อสารคลื่นมิลลิเมตรและเทราเฮิรตซ์ MIMO แบบมวลมากและมวลพิเศษ, AI, ML, การสื่อสารควอนตัม และการสื่อสารที่มีความหน่วงต่ำที่เชื่อถือได้เป็นพิเศษ

ความขาดแคลนแบนด์วิดท์ โดยการระบุและจัดสรรคลื่นความถี่ที่เพียงพอในช่วงความถี่เทราเฮิรตซ์ (THz) สำหรับ 6G ถือเป็นความท้าทายที่สำคัญ ความถี่ THz มีศักยภาพในการรับส่งข้อมูลในอัตราสูง แต่มาพร้อมกับความท้าทายในการแพร่กระจายและจำเป็นต้องมีกรอบการกำกับดูแลใหม่

การทำงานร่วมกันได้กับเครือข่ายที่มีอยู่ โดยการรับรองการทำงานร่วมกันได้ระหว่างเทคโนโลยีต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมและกรณีการใช้งานต่าง ๆ ถือเป็นความท้าทายที่ซับซ้อน เนื่องจากเครือข่ายอื่น ๆ จำนวนมากใช้มาตรฐานและโปรโตคอลที่แตกต่างกัน

ต้นทุนการลงทุน โดยคาดว่าการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐาน 6G จะต้องใช้ต้นทุนสูง โดยต้องลงทุนอย่างมากในเทคโนโลยีขั้นสูง อุปกรณ์ และโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งอาจก่อให้เกิดความท้าทายทางการเงินสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายและผู้ใช้ปลายทาง ต้นทุนทางการเงินนี้อาจเป็นอุปสรรคในการนำ 6G มาใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคที่พัฒนาทางเศรษฐกิจน้อยกว่าและพื้นที่ชนบทห่างไกล

กฎระเบียบและนโยบาย โดยปัญหาด้านกฎระเบียบอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้สเปกตรัมและเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งจำเป็นต้องมีการพัฒนาและดำเนินการนโยบายและกฎระเบียบใหม่ตามไปด้วย

การใช้พลังงาน โดยการใช้พลังงานเป็นอีกหนึ่งประเด็นที่น่ากังวล เนื่องจากอัตราข้อมูลที่เพิ่มขึ้นและจำนวนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายจะส่งผลให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้น การแบ่งปันคลื่นความถี่และโครงสร้างพื้นฐาน การนำเทคโนโลยี Massive MIMO มาใช้ และการบูรณาการการสื่อสารและการตรวจจับ ล้วนเป็นประเด็นสำคัญ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุดของ 6G อยู่ที่การเปลี่ยนไปใช้ความถี่ที่สูงขึ้น ซึ่งสูงกว่า 100 GHz

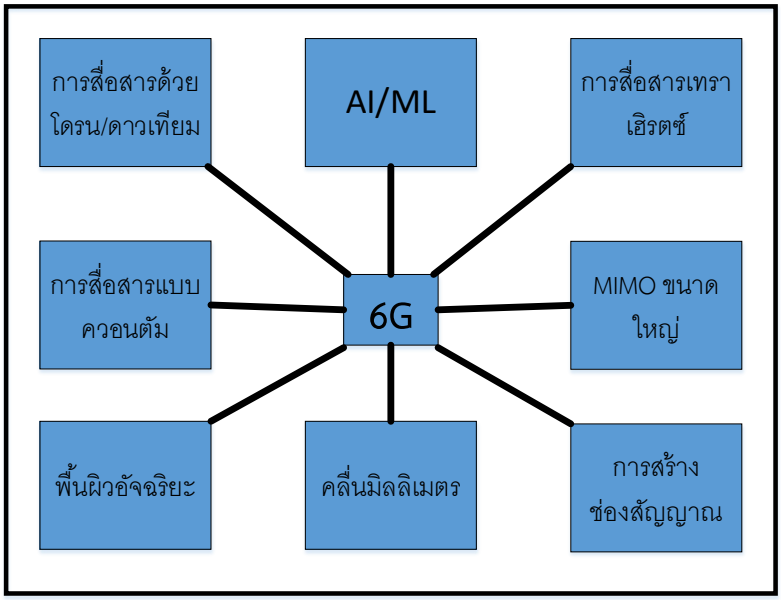
ความร่วมมือและการประสานความร่วมมือระหว่างประเทศ โดยการแข่งขันที่บริษัทและประเทศต่าง ๆ มากมายต่างแข่งขันกันเพื่อเป็นผู้นำในการเปิดตัวและใช้งาน 6G ถือเป็นความท้าทาย การส่งเสริมความร่วมมือและการประสานมาตรฐานและกฎระเบียบ 6G ในระดับโลกเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จและการนำเทคโนโลยี 6G ไปใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างมาก

ความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัว ซึ่งจะมีข้อกังวลด้านความปลอดภัยใหม่ ๆ เกิดขึ้นเนื่องจากเครือข่ายจะส่งข้อมูลสำคัญจำนวนมาก นอกจากการเพิ่มการเชื่อมต่อและการบูรณาการอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ แล้ว ความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวจะเป็นความท้าทายที่สำคัญ

ข้อกังวลด้านสิ่งแวดล้อม โดยการผลิตโครงสร้างพื้นฐาน 6G จำเป็นต้องใช้วัตถุดิบหลากหลายชนิด รวมถึงโลหะและแร่ธาตุหายาก กระบวนการสกัดอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม ส่งผลให้เกิดการทำลายถิ่นที่อยู่อาศัย มลพิษ และการสูญเสียทรัพยากร

10.8 เทคโนโลยีหลักสำหรับการใช้งาน 6G

เทคโนโลยีสำคัญหลายประการกำลังถูกสำรวจและพิจารณาให้เป็นองค์ประกอบที่มีศักยภาพของเครือข่าย 6G สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10.17 ซึ่งจะอธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีสำคัญบางประการที่เอื้อต่อเครือข่าย 6G โดยแสดงให้เห็นถึงเสาหลักทางเทคโนโลยีขั้นสูงที่จำเป็นสำหรับการใช้งานเครือข่าย 6G ซึ่งรวมถึงการสื่อสารควอนตัม MIMO ขนาดใหญ่ พื้นผิวอัจฉริยะที่ปรับเปลี่ยนได้ AI/ML คลื่นมิลลิเมตร การสื่อสารด้วยโดรนหรือดาวเทียม และคลื่นเทราเฮิรตซ์ แต่ละเทคโนโลยีมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอัตราข้อมูล ความน่าเชื่อถือ และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสื่อสารไร้สายในอนาคต



รูปที่ 10.17 ภาพรวมของเทคโนโลยีสำคัญที่เอื้อต่อการใช้งานเครือข่าย 6G

10.8.1 การสื่อสารเทราเฮิรตซ์

คาดว่าการสื่อสารแบบเทราเฮิรตซ์จะส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการพัฒนาเครือข่าย 6G โดยจะทำให้เกิดความสามารถในการส่งข้อมูลที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น การสื่อสารแบบเทราเฮิรตซ์ให้อัตราข้อมูลที่สูงกว่าเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการดาวน์โหลดและอัปโหลดรวดเร็วยิ่งขึ้น และยกระดับประสบการณ์การใช้งานโดยรวม นอกจากนี้ ความถี่เทราเฮิรตซ์ยังให้แบนด์วิดท์ที่พร้อมใช้งานมากขึ้น ช่วยให้สามารถใช้คลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความแออัดของเครือข่าย และปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่ายโดยรวม การสื่อสารแบบเทราเฮิรตซ์สามารถนำไปสู่การใช้งานรูปแบบใหม่ ๆ เช่น การถ่ายภาพความละเอียดสูง การสำรวจทางไกล และการถ่ายภาพทางการแพทย์ขั้นสูง ซึ่งต้องการอัตราข้อมูลที่สูงกว่าและความหน่วงต่ำ การสื่อสารแบบเทราเฮิรตซ์ใช้ความยาวคลื่นสั้นที่ยากต่อการดักจับหรือตรวจจับ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพความปลอดภัยในการสื่อสารไร้สาย ลดความเสี่ยงจากการโจมตีทางไซเบอร์และการเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต

10.8.2 MIMO ขนาดใหญ่

เทคโนโลยี Ultra-massive MIMO ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพัฒนาเครือข่าย 6G นำเสนอความก้าวหน้าครั้งสำคัญในด้านความจุของเครือข่าย อัตราข้อมูล และความครอบคลุมของเครือข่าย เทคโนโลยีนี้ใช้สายอากาศจำนวนมากที่สามารถส่งและรับข้อมูลได้หลายสตรีมพร้อมกัน ความสามารถนี้ไม่เพียงแต่ช่วยเร่งความเร็วในการส่งข้อมูลเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มอัตราข้อมูลได้อย่างมาก ยิ่งไปกว่านั้น Ultra-massive MIMO ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลสัญญาณและปรับปรุงการสร้างช่องสัญญาณ (Beamforming) ซึ่งนำไปสู่ประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้นและการใช้คลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เทคโนโลยีนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่ เพิ่มความจุของเครือข่าย และขยายพื้นที่ครอบคลุม ความสามารถในการลดสัญญาณรบกวนช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่ายโดยรวมได้อย่างมาก นอกจากนี้ Ultra-massive MIMO ยังมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนแอปพลิเคชันใหม่ ๆ ที่ต้องการอัตราข้อมูลที่สูงขึ้นและความหน่วงต่ำ แอปพลิเคชันเหล่านี้รวมถึงเทคโนโลยีเสมือนจริง รถยนต์ไร้คนขับ และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเมืองอัจฉริยะ ด้วยเหตุนี้ Ultra-massive MIMO จึงเป็นเทคโนโลยีแห่งการเปลี่ยนแปลงที่พร้อมจะปฏิวัติความสามารถของเครือข่าย 6G และรองรับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีครั้งใหม่

10.8.3 การสร้างช่องสัญญาณ

Beamforming เป็นเทคโนโลยีสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของการสื่อสารไร้สาย และช่วยให้สามารถพัฒนาเครือข่าย 6G ได้ เทคโนโลยีนี้เกี่ยวข้องกับการนำคลื่นวิทยุไปในทิศทางที่เฉพาะเจาะจงเพื่อให้เกิดการใช้คลื่นความถี่และประสิทธิภาพของเครือข่ายที่ดีขึ้น ในเครือข่าย 6G Beamforming สามารถโฟกัสสัญญาณไร้สายไปยังตัวรับสัญญาณที่ต้องการ ส่งผลให้สัญญาณรบกวนลดลงและเพิ่มความแรงของสัญญาณ ส่งผลให้มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น ความหน่วงต่ำลง และความสามารถในการรองรับการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์สำหรับกรณีการใช้งานใหม่ ๆ เช่น เทคโนโลยีเสมือนจริง การผ่าตัดทางไกล และยานยนต์ไร้คนขับ เทคโนโลยี Beamforming ช่วยให้สามารถใช้คลื่นความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการนำคลื่นวิทยุไปยังพื้นที่เฉพาะ ซึ่งจะช่วยลดสัญญาณรบกวนและเพิ่มความจุของเครือข่าย ลดความแออัด และเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวม

10.8.4 MIMO ขนาดใหญ่แบบไร้เซลล์

เทคโนโลยี Massive MIMO แบบไร้เซลล์ (Cell-free Massive MIMO) เป็นเทคโนโลยีที่มีแนวโน้มดีสำหรับการพัฒนาเครือข่าย 6G ดังที่จะได้กล่าวถึง เทคโนโลยีนี้เกี่ยวข้องกับการติดตั้งเสาสัญญาณจำนวนมากทั่วพื้นที่ที่กำหนด ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารไร้สาย เมื่อเปรียบเทียบกับเครือข่ายเซลลูลาร์แบบดั้งเดิม เทคโนโลยี Massive MIMO แบบไร้เซลล์มีข้อดีหลายประการ รวมถึงการครอบคลุมเครือข่ายที่ดีขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในสภาพแวดล้อมของเมืองที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งช่วยให้สามารถใช้ทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นำไปสู่คุณภาพสัญญาณที่ดีขึ้นและช่องว่างการครอบคลุมที่น้อยลง เทคโนโลยี Massive MIMO แบบไร้เซลล์ใช้ประโยชน์จาก AI ในการจัดสรรทรัพยากร การประสานงานสัญญาณรบกวน และการกำหนดตารางเวลาผู้ใช้ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถของเครือข่ายให้สูงสุดและลดสัญญาณรบกวน

นอกจากนี้ Massive MIMO แบบไร้เซลล์ยังสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ต่อหน่วยพื้นที่ได้มากขึ้น จึงช่วยเพิ่มขีดความสามารถของเครือข่าย คุณสมบัตินี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีผู้ใช้หนาแน่น เช่น สนามกีฬา สนามบิน และพื้นที่สาธารณะอื่น ๆ ข้อดีที่สำคัญอีกประการหนึ่งของ Massive MIMO แบบไร้เซลล์คือการลดความหน่วงเวลา การที่ผู้ใช้หลายคนสามารถเข้าถึงช่องสัญญาณเดียวกันได้พร้อมกัน จะช่วยลดเวลาในการรอและยกระดับประสบการณ์การใช้งานโดยรวม

ยิ่งไปกว่านั้น Massive MIMO แบบไร้เซลล์ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอีกด้วย การลดความจำเป็นในการใช้อัลกอริทึมการประมวลผลสัญญาณที่ซับซ้อนและใช้พลังงานมาก ส่งผลให้การใช้พลังงานลดลงและอายุการใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนานขึ้นสำหรับอุปกรณ์พกพา ประโยชน์เหล่านี้ทำให้ Massive MIMO แบบไร้เซลล์เป็นเทคโนโลยีที่พลิกโฉมเครือข่ายเซลลูลาร์ในอนาคต

10.8.5 คลื่นมิลลิเมตร

คลื่นมิลลิเมตร (mmWaves) ทำงานในช่วงความถี่ 30 GHz ถึง 300 GHz และมีความยาวคลื่นสั้นกว่าย่านความถี่ไมโครเวฟแบบเดิมที่ใช้ในเครือข่าย 4G และ 5G ศักยภาพในการส่งข้อมูลที่เร็วขึ้น ความจุเครือข่ายที่สูงขึ้น และประสิทธิภาพเครือข่ายที่ดีขึ้น ทำให้เป็นปัจจัยสำคัญที่เอื้อต่อเครือข่าย 6G เทคโนโลยีคลื่นมิลลิเมตรมีประโยชน์หลายประการ เช่น การรับส่งข้อมูลความเร็วสูงหลายกิกะบิตต่อวินาที และรองรับการใช้งานรูปแบบใหม่ ๆ เช่น เทคโนโลยีความจริงเสริม (AR) และการสตรีมวิดีโอ 8K ที่ต้องการอัตราข้อมูลสูงและความหน่วงต่ำ คลื่นมิลลิเมตรสามารถเพิ่มความจุเครือข่ายได้ เนื่องจากความถี่ที่สูงขึ้นทำให้ใช้คลื่นความถี่ที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อัลกอริทึม AI จะปรับพารามิเตอร์การส่งสัญญาณแบบไดนามิกและคาดการณ์เหตุการณ์การปิดกั้นช่องสัญญาณ เพื่อให้มั่นใจถึงการเชื่อมต่อที่เชื่อถือได้และเพิ่มอัตราข้อมูลสูงสุดในการสื่อสารด้วยคลื่นมิลลิเมตร

อย่างไรก็ตาม การใช้เทคโนโลยีคลื่นมิลลิเมตรก็ก่อให้เกิดความท้าทายเช่นกัน หนึ่งในความท้าทายดังกล่าวคือช่วงสัญญาณคลื่นมิลลิเมตรที่สั้นกว่าเมื่อเทียบกับความถี่ไมโครเวฟแบบดั้งเดิม ทำให้สิ่งกีดขวาง เช่น อาคารและต้นไม้ ปิดกั้นสัญญาณได้ง่ายและส่งผลกระทบต่อพื้นที่ครอบคลุมของเครือข่าย นอกจากนี้ การปรับใช้เทคโนโลยีคลื่นมิลลิเมตรยังต้องใช้สายอากาศจำนวนมาก ส่งผลให้มีต้นทุนโครงสร้างพื้นฐานสูง ซึ่งต้องได้รับการแก้ไขเพื่อส่งเสริมการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้อย่างแพร่หลาย

10.8.6 พื้นผิวอัจฉริยะที่กำหนดค่าใหม่ได้

พื้นผิวอัจฉริยะที่ปรับเปลี่ยนได้ (Reconfigurable Intelligent Surfaces: RISs) ประกอบด้วยเทคโนโลยีใหม่ที่มีศักยภาพสูงในการขับเคลื่อนการพัฒนาเครือข่าย 6G RIS มีลักษณะเด่นคือพื้นผิวเรียบที่ฝังสายอากาศขนาดเล็กหรือตัวสะท้อนแสงจำนวนมากไว้ สามารถควบคุมคลื่นวิทยุด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสะท้อน ขยาย หรือดูดซับคลื่น ความสามารถนี้มีข้อดีหลายประการสำหรับโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายในอนาคต

โดยที่ประโยชน์หลักของเทคโนโลยี RIS คือความสามารถในการขยายการครอบคลุมของเครือข่าย การวาง RIS ในพื้นที่ที่โดยปกติแล้วมีพื้นที่ครอบคลุมต่ำหรือมีสัญญาณรบกวนสูง เช่น พื้นที่ภายในอาคาร สามารถสะท้อนและขยายสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ การปรับปรุงนี้ส่งผลให้ความแรงของสัญญาณดีขึ้นและครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างขึ้น นอกจากนี้ เทคโนโลยี RIS ยังช่วยเพิ่มขีดความสามารถของเครือข่ายด้วยการทำให้สามารถใช้ทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมุ่งเน้นคลื่นวิทยุไปยังทิศทางที่เฉพาะเจาะจง ลดการรบกวน และรองรับผู้ใช้งานพร้อมกันได้มากขึ้น

พื้นผิวอัจฉริยะที่ปรับเปลี่ยนได้ ได้รับการปรับให้เหมาะสมโดยอัลกอริทึม AI เพื่อการสะท้อนและขยายสัญญาณที่มีประสิทธิภาพ เพิ่มการครอบคลุมและความจุของเครือข่าย การกำหนดค่าพื้นผิวที่ขับเคลื่อนด้วย AI สามารถปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงและความต้องการของผู้ใช้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการใช้สเปกตรัมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่าย

ข้อดีที่สำคัญอีกประการหนึ่งของเทคโนโลยี RIS คือการมีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน RIS ช่วยลดการใช้พลังงานที่จำเป็นสำหรับการส่งสัญญาณในระยะทางไกล ด้วยการสะท้อนและโฟกัสคลื่นวิทยุแบบทิศทางเดียว ส่งผลให้การใช้พลังงานลดลง อายุการใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนานขึ้นสำหรับอุปกรณ์พกพา และลดการใช้พลังงานโดยรวมของเครือข่าย การนำเทคโนโลยี RIS มาใช้อย่างแพร่หลายจำเป็นต้องมีการลงทุนอย่างมากในโครงสร้างพื้นฐานและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี การตอบสนองความต้องการเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญเพื่อใช้ประโยชน์จากความสามารถของ RIS อย่างเต็มที่เพื่อพัฒนาระบบเครือข่ายในอนาคต

10.8.7 การสื่อสารแบบควอนตัม

การสื่อสารควอนตัมเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาเครือข่าย 6G การสื่อสารควอนตัมใช้โฟตอนในการส่งข้อมูล ซึ่งแตกต่างจากเทคโนโลยีการสื่อสารแบบดั้งเดิมที่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งข้อมูล คุณสมบัตินี้ช่วยให้การสื่อสารควอนตัมมีความปลอดภัยในระดับสูง จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการสื่อสารทางทหารและรัฐบาลที่ต้องการความปลอดภัยในระดับสูงสุด

การสื่อสารด้วยควอนตัมยังสามารถรองรับแอปพลิเคชันใหม่ ๆ ที่จำเป็นต้องมีการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ เช่น รถยนต์ไร้คนขับและเมืองอัจฉริยะ การสื่อสารด้วยควอนตัมสามารถช่วยลดความหน่วงและช่วยให้ตอบสนองได้เร็วขึ้นด้วยการสื่อสารแบบทันทีในระยะไกล อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งานต้องเผชิญกับความท้าทายหลายประการ เช่น ความจำเป็นในการใช้ฮาร์ดแวร์และโครงสร้างพื้นฐานเฉพาะทาง และต้นทุนการใช้งานที่สูง

10.8.8 การสื่อสารด้วยโดรน/ดาวเทียม

การสื่อสารด้วยโดรน/ดาวเทียมเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการพัฒนาเครือข่าย 6G เทคโนโลยีนี้ใช้อากาศยานไร้คนขับและดาวเทียมเพื่อเชื่อมต่อไร้สายไปยังพื้นที่ห่างไกลและพื้นที่ที่ขาดแคลน การใช้แพลตฟอร์มทางอากาศเหล่านี้ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลความเร็วสูงและเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตไปยังพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยากโดยใช้เครือข่ายภาคพื้นดินแบบดั้งเดิม มีศักยภาพในการขยายการครอบคลุมของเครือข่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ห่างไกลและชนบทที่มีโครงสร้างพื้นฐานดั้งเดิมที่จำกัด ซึ่งจะทำให้ผู้คนสามารถเข้าถึงอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงและบริการข้อมูลอื่น ๆ ได้มากขึ้น ปรับปรุงการเข้าถึงข้อมูลและเปิดใช้งานแอปพลิเคชันและบริการใหม่ ๆ การสื่อสารด้วยโดรน/ดาวเทียมยังสามารถรองรับกรณีการใช้งานใหม่ ๆ ที่ต้องการการส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ เช่น ขั้นตอนทางการแพทย์ทางไกลและการรับมือกับภัยพิบัติ การสื่อสารด้วยโดรน/ดาวเทียมสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของแอปพลิเคชันเหล่านี้ได้ ด้วยการทำให้สามารถสื่อสารได้ในระยะไกลและในพื้นที่ทุรกันดาร การปรับใช้เทคโนโลยีการสื่อสารด้วยโดรน/ดาวเทียมยังนำมาซึ่งความท้าทาย เช่น ความจำเป็นในการใช้ฮาร์ดแวร์และโครงสร้างพื้นฐานเฉพาะทาง รวมถึงปัญหาด้าน

กฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับการใช้น่านฟ้า เทคโนโลยีนี้จำเป็นต้องมีการลงทุนด้านการติดตั้งและบำรุงรักษาดาวเทียมและโดรนจำนวนมาก

10.9 ข้อเสนอแนะและทิศทางการวิจัยในอนาคต

เพื่อสนับสนุนการจัดตั้งศูนย์ทดสอบเฉพาะทางเพื่อตรวจสอบและเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารคลื่นมิลลิเมตรและเทราเฮิรตซ์ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย จึงสามารถนำอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบเสริมแรงมาปรับใช้เพื่อปรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของศูนย์ทดสอบให้เหมาะสมที่สุด เช่น ตำแหน่งของเสาสัญญาณ กำลังส่ง และการจัดสรรช่องสัญญาณ จำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับรูปแบบใหม่ ๆ ที่ปรับให้เหมาะกับย่านความถี่สูงและแบนด์วิดท์ที่กว้างขวางของ 6G ซึ่งรวมถึงการศึกษาเทคนิคต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้คลื่นความถี่และปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการสื่อสารที่เชื่อถือได้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน และการเรียนรู้ข้อมูลของอัลกอริทึม ML ให้ประมวลผลและวิเคราะห์สัญญาณที่ได้รับจากระบบสื่อสารคลื่นมิลลิเมตรและเทราเฮิรตซ์ อัลกอริทึมเหล่านี้สามารถปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้อย่างยืดหยุ่นเพื่อปรับคุณภาพสัญญาณให้เหมาะสมและลดสัญญาณรบกวนในสภาพแวดล้อมที่มีความหลากหลาย

จึงต้องออกแบบโปรโตคอลและสถาปัตยกรรมที่ชาญฉลาดเพื่อการส่งต่อและเชื่อมต่อเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพในพื้นที่ห่างไกล โดยแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพเครือข่ายที่เปลี่ยนแปลงไปได้อย่างราบรื่น เช่น ความผันผวนของความแรงของสัญญาณและความแออัด ระบบเหล่านี้ควรแสดงให้เห็นถึงการรับรู้บริบทโดยการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงบริบท เช่น ตำแหน่งและความต้องการของผู้ใช้ เพื่อประกอบการตัดสินใจ ระบบเหล่านี้ควรใช้อัลกอริทึมเชิงคาดการณ์เพื่อคาดการณ์เหตุการณ์การถ่ายโอน ซึ่งช่วยให้สามารถเชื่อมต่อเชิงรุกและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากรได้อย่างเหมาะสม ด้วยการจัดสรรทรัพยากรแบบไดนามิก ระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครือข่ายได้โดยการจัดสรรแบนด์วิดท์และคลื่นความถี่ตามความต้องการแบบเรียลไทม์ ควรใช้อัลกอริทึมการกำหนดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดความหน่วงและเพิ่มปริมาณงานสูงสุดในระหว่างการถ่ายโอนและการสร้างการเชื่อมต่อ ด้วยกลไกการตัดสินใจที่ชาญฉลาด ซึ่งรวมถึงอัลกอริทึม ML ที่สามารถวิเคราะห์สภาพเครือข่ายโดยอัตโนมัติ เพื่อตัดสินใจเกี่ยวกับการเริ่มต้นการถ่ายโอนและการจัดสรรทรัพยากรอย่างเหมาะสมที่สุด

เทคนิคการประมวลผลข้อมูลพื้นฐานสามารถประมวลผลข้อมูลเครือข่ายที่ไม่มีโครงสร้าง เช่น ไฟล์บันทึกและรายงานประสิทธิภาพเครือข่าย เพื่อดึงข้อมูลเชิงลึกและระบุจุดที่อาจเกิดความแออัดหรือความผิดปกติ การจัดการความแออัดที่ขับเคลื่อนด้วย AI จะตรวจสอบปริมาณการใช้งานเครือข่ายแบบไดนามิกและระบุจุดที่เกิดความแออัด โดยใช้กระบวนการต่าง ๆ เช่น การกำหนดรูปแบบปริมาณการใช้งานและการเปลี่ยนเส้นทาง เพื่อบรรเทาความแออัดและรักษาประสิทธิภาพการทำงานให้เหมาะสมที่สุด อัลกอริทึม AI วิเคราะห์ข้อมูลเครือข่ายในอดีตผ่านการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ เพื่อคาดการณ์พฤติกรรมเครือข่ายในอนาคต ช่วยให้สามารถจัดสรรทรัพยากรและวางแผนความจุเชิงรุกเพื่อป้องกันความแออัดและการลดลงของบริการ

การปรับปรุงเพื่อรับมือกับความท้าทายที่เกิดจากจำนวนอุปกรณ์เชื่อมต่อที่เพิ่มขึ้นนั้นประกอบด้วยแนวทางสองประการ ได้แก่ การสร้างโซลูชันฮาร์ดแวร์พลังงานต่ำและการนำวิธีการ

ดำเนินการเครือข่ายอย่างยั่งยืนมาใช้ในเครือข่าย 6G โซลูชันฮาร์ดแวร์พลังงานต่ำประกอบด้วยการออกแบบส่วนประกอบที่ประหยัดพลังงาน การปรับปรุงการออกแบบวงจร การใช้โปรโตคอลการสื่อสารพลังงานต่ำ และการผสานรวมเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงาน เช่น เครื่องเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์ วัสดุเพียโซอิเล็กตริก การเก็บเกี่ยวพลังงานความถี่วิทยุ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กตริกเข้ากับอุปกรณ์ วิธีการดำเนินงานเครือข่ายอย่างยั่งยืนประกอบด้วยการจัดการพลังงานแบบไดนามิก การแบ่งปันและการจัดสรรทรัพยากร การใช้เทคโนโลยีเครือข่ายสีเขียว การพัฒนาอัลกอริทึมการกำหนดเส้นทางที่คำนึงถึงพลังงาน และการนำแนวปฏิบัติการจัดการวงจรชีวิตมาใช้

การลงทุนในการวิจัยและพัฒนาเทคนิคการเข้ารหัสที่ขับเคลื่อนด้วย AI เช่น การเข้ารหัสแบบโฮโมมอร์ฟิก ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการเข้ารหัสที่ช่วยให้สามารถประมวลผลข้อมูลที่เข้ารหัสได้โดยไม่ต้องถอดรหัสก่อน กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ช่วยให้สามารถดำเนินการต่าง ๆ เช่น การบวกและการคูณกับข้อความเข้ารหัสได้ ส่งผลให้การดำเนินการเดียวกันนี้เกิดขึ้นกับข้อความธรรมดาเมื่อถอดรหัสแล้ว คุณสมบัตินี้มีประโยชน์ในสถานการณ์ที่ความเป็นส่วนตัวของข้อมูลมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากช่วยให้สามารถประมวลผลข้อมูลสำคัญได้อย่างปลอดภัย ในขณะเดียวกันก็ยังคงเข้ารหัสข้อมูลเหล่านั้นไว้ตลอดกระบวนการ ตัวอย่างเช่น การเข้ารหัสแบบแลตทิซใช้ความยากของปัญหาแลตทิซเฉพาะ เช่น ปัญหาเวกเตอร์ที่สั้นที่สุด หรือปัญหาการเรียนรู้พร้อมข้อผิดพลาด เป็นพื้นฐานสำหรับแบบแผนการเข้ารหัส ปัญหาเหล่านี้เชื่อว่ายากต่อการแก้ไขในเชิงคำนวณ แม้แต่ในคอมพิวเตอร์ควอนตัม ทำให้การเข้ารหัสแบบแลตทิซมีความทนทานต่อการโจมตีจากทั้งฝ่ายคลาสสิกและฝ่ายควอนตัม เทคนิคเหล่านี้ใช้ประโยชน์จากอัลกอริทึม AI เพื่อยกระดับความปลอดภัยในการเข้ารหัสข้อมูล ช่วยให้สามารถจัดเก็บและส่งข้อมูลสำคัญในสภาพแวดล้อมที่เชื่อมต่อถึงกันอย่างปลอดภัย และสามารถปรับปรุงได้ด้วยการวิจัยขั้นสูง

การวิจัยควรมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบการกระจายควอนตัมหลักที่ใช้งานได้จริง ปรับขนาดได้ และสอดคล้องกับข้อกำหนดความเร็วสูงและแบนด์วิดท์สูงของเครือข่าย 6G จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้เอนแทงเกิลเมนต์เป็นทรัพยากรสำหรับการส่งข้อมูลที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในเครือข่าย 6G นักวิจัยควรศึกษาวิธีการสร้าง กระจาย และใช้ประโยชน์จากสถานะควอนตัมเอนแทงเกิล เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการสื่อสาร และเปิดใช้งานโปรโตคอลการสื่อสารใหม่ ๆ ที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่า

การวิจัยเครือข่าย 6G ควรมุ่งเน้นไปที่การใช้ประโยชน์จากความสามารถเฉพาะตัวของเครือข่าย 6G ซึ่งรวมถึงอัตราข้อมูลที่สูงเป็นพิเศษ การสื่อสารที่มีความหน่วงต่ำและเชื่อถือได้สูง การเชื่อมต่อขนาดใหญ่ การระบุตำแหน่งและการนำทางที่มีความแม่นยำสูง การประมวลผลแบบเอดจ์ และการแบ่งเครือข่าย เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันที่เปลี่ยนแปลงโลกได้ เช่น เทคโนโลยีเสมือนจริงและความเป็นจริงเสริม (VR/AR) ยานยนต์ไร้คนขับ โครงสร้างพื้นฐานเมืองอัจฉริยะ ดิจิทัลทวิน และการประมวลผลแบบเอดจ์ ด้วยการสำรวจศักยภาพของความสามารถเหล่านี้และการพัฒนาโซลูชันนวัตกรรมที่ใช้ประโยชน์จากศักยภาพเหล่านี้อย่างเต็มที่ เพื่อใช้ปูทางไปสู่อนาคตที่เชื่อมต่อกันอย่างชาญฉลาด และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งแอปพลิเคชันและบริการขั้นสูงจะช่วยยกระดับประสบการณ์ผู้ใช้และขับเคลื่อนผลประโยชน์ทางสังคมและเศรษฐกิจ

ในการวิจัยควรมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาการแบ่งส่วนเครือข่ายขั้นสูงในเครือข่าย 6G ที่ครอบคลุมสถาปัตยกรรม อัลกอริทึม และกรอบการจัดการที่ช่วยให้สามารถปรับแต่งและจัดสรรทรัพยากรเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับบริการและแอปพลิเคชันที่แตกต่างกัน สถาปัตยกรรมการแบ่งส่วนแบบลำดับชั้นจะจัดระเบียบส่วนเครือข่ายแบบลำดับชั้นเพื่อสร้างความสะดวกในการแบ่งปันและแยกทรัพยากร ในขณะที่สถาปัตยกรรมการแบ่งส่วนแบบคลาวด์เนทีฟใช้ประโยชน์จากหลักการคลาวด์เนทีฟสำหรับการสร้างและปรับใช้ส่วนเครือข่ายแบบไดนามิก อัลกอริทึมการจัดสรรทรัพยากรแบบไดนามิกจะจัดสรรทรัพยากรเครือข่ายระหว่างส่วนต่าง ๆ แบบไดนามิกตามความต้องการแบบเรียลไทม์ ในขณะที่อัลกอริทึมการกำหนดเส้นทางที่คำนึงถึง QoS จะกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการรับส่งข้อมูลภายในส่วนต่าง ๆ กรอบการจัดการการแบ่งส่วนแบบ SDN และ NFV สร้างความสะดวกในการควบคุมแบบรวมศูนย์และการจัดการวงจรการทำงานแบบอัตโนมัติของส่วนเครือข่าย ช่วยให้ผู้ให้บริการสามารถปรับแต่งบริการเครือข่ายให้ตรงกับความต้องการของแอปพลิเคชันที่หลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การมุ่งเน้นไปที่การสื่อสารที่มีความหน่วงต่ำและเชื่อถือได้สูง (URLLC) ในเครือข่าย 6G เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการสนับสนุนแอปพลิเคชันที่สำคัญ เช่น การดูแลสุขภาพทางไกลและระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม การสื่อสารที่มีความหน่วงต่ำและเชื่อถือได้สูง (URLLC) ในเครือข่าย 6G อาศัยมาตรฐาน โปรโตคอล และเทคโนโลยีเฉพาะที่ออกแบบมาเพื่อตอบสนองข้อกำหนดที่เข้มงวดของแอปพลิเคชันที่สำคัญ เช่น การดูแลสุขภาพทางไกลและระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม มาตรฐาน 5G NR URLLC ที่กำหนดโดย 3GPP กำหนดพารามิเตอร์สำหรับการสื่อสารที่มีความน่าเชื่อถือสูงและความหน่วงต่ำ ในขณะเดียวกัน IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking (TSN) มีกลไกสำหรับการสื่อสารแบบกำหนดได้และแบบหน่วงต่ำในระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม One-Pair Ethernet (OPE) นำเสนอการสื่อสารที่คุ้มค่าสำหรับการใช้งานในยานยนต์ และมาตรฐาน Time-Critical Networking (TCN) โดย Industrial Internet Consortium ช่วยให้มั่นใจได้ว่าการสื่อสารแบบกำหนดได้ในสภาพแวดล้อมทางอุตสาหกรรม นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาวิจัย Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีแนวโน้มดีสำหรับ URLLC ที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ในเครือข่ายที่มีความหนาแน่นสูง มาตรฐาน โปรโตคอล และเทคโนโลยีเหล่านี้ร่วมกันทำให้การสื่อสารมีความน่าเชื่อถือสูงและมีความหน่วงต่ำ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการสนับสนุนบริการสำคัญในเครือข่าย 6G

10.10 สรุป

การพัฒนาด้านเทคโนโลยีและอุปกรณ์ในโลกยุคอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างก้าวกระโดด ส่งผลให้เทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารไร้สายถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วตามไปด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับการตอบสนองต่อความต้องการทางด้านการสื่อสารข้อมูลที่รวดเร็วและทั่วถึง เทคโนโลยีด้าน WiFi และ 5G เป็นที่กล่าวถึงและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งได้ถูกพัฒนามาอย่างเป็นระบบตามยุคสมัย โดยแทรกซึมเข้าไปอยู่ในวิถีชีวิตประจำวันของมนุษย์จนแยกกันไม่ออก ตั้งแต่เด็กเล็กไปจนถึงคนชรา ทุกคนมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานอินเตอร์เน็ตผ่านสมาร์ทโฟนได้ทุกที่ทุกเวลาอย่างไม่มีข้อจำกัดทางด้านสัญญาณภาพและเสียง โดยผ่านระบบ WiFi และระบบ 5G ที่มีให้บริการอย่างครบ

ครันในปัจจุบัน รวมไปถึงการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบอุตสาหกรรม ระบบขนส่งอัจฉริยะ ระบบการแพทย์และสุขภาพ ระบบเกษตกรรม เป็นต้น รวมไปถึงทางด้านระบบสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการเริ่มปฏิวัติอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจของโลกสมัยใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิมอย่างสิ้นเชิง ซึ่งเทคโนโลยีทางด้านการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ทั้ง 2 รูปแบบนี้จะยังคงถูกพัฒนาไปอีกอย่างต่อเนื่องจนเข้าสู่เทคโนโลยี 6G ที่จะสามารถเชื่อมต่อใช้งานระบบ AI และ ML เข้ามาประยุกต์และจะถูกหลอมรวมให้ใช้งานร่วมกับระบบเทคโนโลยีอัจฉริยะต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันให้ก้าวล้ำไปอย่างก้าวกระโดดในอนาคตอันใกล้

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10

ข้อ 1 จงบอกถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีโครงข่ายแบบไร้สาย
ข้อ 2 จงบอกถึงมาตรฐานโครงข่ายแบบไร้สาย
ข้อ 3 จงบอกหลักการเชื่อมต่อใช้งานระบบวายฟาย
ข้อ 4 จงบอกถึงอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบวายฟาย
ข้อ 5 จงบอกลักษณะโครงสร้างของ WiFi Public Hotspot
ข้อ 6 จงบอกถึงการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบไร้สายตั้งแต่ยุคเริ่มแรกถึงปัจจุบัน
ข้อ 7 จงอธิบายถึงการเปรียบเทียบเทคโนโลยียุค 5G กับ 4G/3G
ข้อ 8 จงอธิบายถึงการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับเมืองอัจฉริยะ
ข้อ 9 จงอธิบายถึงการพัฒนาเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 6G
ข้อ 10 จงอธิบายถึงการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 6G ในอนาคต

บรรณานุกรม

1. วิรุณศักดิ์ สันติเพ็ชร์, การสื่อสารไร้สายร่วมกับผลป้อนกลับที่จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2563.

2. สุขสันต์ เรือนแก้ว, เทคโนโลยีไร้สายทำงานอย่างไร, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548.

3. ศิรวิชญ์ กิตติวิชญกุล ณัฏฐณรงค์ นิลจันทร์ จตุพร ด้วงทอง อนุสรณ์ วงษ์ษา และกฤติยาภรณ์ เหมือดขุนทด, เทคโนโลยีการสื่อสารยุค 5G, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์บริษัท สหมิตรพัฒนาการพิมพ์ (1992) จำกัด, 2563.

4. Wi-Fi คืออะไร [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.onehospitality.co.th/wi-fi/, 11 พฤศจิกายน 2565.

5. การสำรวจความก้าวหน้าของมาตรฐานระบบสื่อสารไร้สายยุค 5G [ออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.5g-thailand.org/wp-content/uploads/pdf, 11 พฤศจิกายน 2565.

6. อนันต์ ผลเพิ่ม, แลนไร้สาย (Wireless LAN), พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2550.

7. ศรัญ ดวงสุวรรณ, เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2565.

8. R. Chataut, M. Nankya and R. Akl, “6 G Networks and the AI Revolution-Exploring Technologies, Applications, and Emerging Challenges,” sensors, vol. 24, pp. 1888, March 2024.

ดัชนี