

COMMUNICATION TECHNOLOGY

เทคโนโลยีการสื่อสาร



สุวัฒน์ สกลชาติ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ตำรา วิชาเทคโนโลยีการสื่อสาร
Communication Technology

พิมพ์ครั้งที่ 1 กรกฎาคม 2568
สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์
ห้ามลอกเลียนแบบไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของตำราเล่มนี้
นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เรียบเรียงเท่านั้น

จัดทำโดย สุวัฒน์ สกุลชาติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

ดร.สุวัฒน์ สกุลชาติ.

ตำรา วิชาเทคโนโลยีการสื่อสาร = Communication Technology.-- พระนครศรีอยุธยา :
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, 2568.

244 หน้า.

1. การสื่อสารกับเทคโนโลยี. 2. เทคโนโลยีสารสนเทศ. I. ชื่อเรื่อง.

302.23

ISBN 978-616-626-324-4

จัดพิมพ์โดย สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (RUS Digital Publishing)
เลขที่ 60 หมู่ 3 อาคารสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ ถนนสายเอเชีย
(กรุงเทพฯ - นครสวรรค์) ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัด
พระนครศรีอยุธยา 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 โทรศัพท์และระบบกระจายเสียง ระบบโทรศัพท์วงจรปิด 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 ระบบโทรศัพท์และกล่องวงจรปิด จะได้กล่าวถึงการพัฒนากระบบโทรศัพท์จากอดีตจนถึงปัจจุบันและการใช้งานระบบกล่องวงจรปิด บทที่ 4 สายอากาศ จะได้กล่าวถึงคุณลักษณะของสายอากาศและการนำสายอากาศไปใช้งาน บทที่ 5 สายอากาศประยุกต์ ซึ่งจะได้กล่าวถึงแนวทางของการพัฒนาสายอากาศจากวัสดุที่แตกต่างไปจากเดิม ให้สามารถนำไปใช้กับงานด้านการสื่อสารไร้สาย บทที่ 6 เส้นใยแก้วนำแสง จะได้กล่าวถึงโครงสร้างและส่วนประกอบที่สำคัญ พร้อมทั้งการนำไปใช้งานกับอุปกรณ์ประเภทต่าง ๆ บทที่ 7 เครือข่ายเทคโนโลยีระบบอินเตอร์เน็ต จะได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของระบบอินเตอร์เน็ตและการนำไปใช้งานในปัจจุบัน บทที่ 8 ระบบเซลลูลาร์ ไมโครเวฟและดาวเทียม จะได้กล่าวถึงพื้นฐานของระบบสื่อสารสัญญาณในระบบเซลลูลาร์ ไมโครเวฟและดาวเทียม รวมถึงการนำมาใช้งานในปัจจุบัน บทที่ 9 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี จะได้กล่าวถึงเทคโนโลยีประเภทอาร์เอฟไอดีที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ในปัจจุบันและอนาคต สุดท้ายจะเป็นบทที่ 10 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ จะได้กล่าวถึงเทคโนโลยีประเภทวิทยุและเทคโนโลยีในยุคที่ 5 ที่มีบทบาทสำคัญกับชีวิตประจำวันในปัจจุบันและอนาคต

สุวัฒน์ สกูลชาติ

20 มิถุนายน 2567

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 หลักการสื่อสารและโทรคมนาคมเบื้องต้น	
1.1 ระบบนิเวศการสื่อสาร	1
1.2 สื่อกลางในการสื่อสาร	2
1.3 สายส่งสัญญาณ	4
1.4 การกำเนิดคลื่น	8
1.5 คลื่นเสียงและคลื่นความถี่	9
1.6 ชั้นบรรยากาศ	11
1.7 การแพร่กระจายคลื่นความถี่	12
1.8 สรุป	17
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	18
บรรณานุกรม	19
บทที่ 2 ระบบวิทยุ เครื่องรับ-ส่งวิทยุสื่อสาร	
2.1 เครื่องสื่อสารประเภทวิทยุ	21
2.2 การผสมคลื่น	22
2.3 การส่งและรับคลื่นวิทยุ	28
2.4 เครื่องส่งวิทยุ	31
2.5 เครื่องรับวิทยุ	38
2.6 สรุป	41
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2	42
บรรณานุกรม	43
บทที่ 3 ระบบโทรทัศน์และกล้องวงจรปิด	
3.1 การส่งภาพและเสียงในระบบโทรทัศน์	46
3.2 การส่งภาพระบบโทรทัศน์สี	47
3.3 หลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี	48
3.4 หลักการรับสัญญาณโทรทัศน์สี	49
3.5 โทรทัศน์ทางสาย	51
3.6 โทรทัศน์ผ่านไมโครเวฟและดาวเทียม	51
3.7 ความเป็นมาของโทรทัศน์ในประเทศไทย	52
3.8 ระบบกล้องวงจรปิด	53
3.9 สรุป	61
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	63
บทที่ 4 สายอากาศ	
4.1 นิยามสายอากาศ	65
4.2 ชนิดของสายอากาศ	66
4.3 กลไกของการแพร่กระจายคลื่น	68
4.4 พารามิเตอร์พื้นฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับสายอากาศ	70
4.5 ความหนาแน่นกำลังและความเข้มในการแพร่กระจาย	73
4.6 โพลาริเซชันและไดเรกทิวิตี	74
4.7 อัตราขยายและประสิทธิภาพของสายอากาศ	76
4.8 อินพุตอิมพีแดนซ์	77
4.9 สายอากาศในโหมดการรับ	78
4.10 การนำสายอากาศไปใช้ประโยชน์	79
4.11 สรุป	86
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	87
บรรณานุกรม	88
บทที่ 5 สายอากาศประยุกต์	
5.1 คุณสมบัติของกราไฟต์	89
5.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุประเภทต่าง ๆ	90
5.3 การพัฒนาโครงสร้างสายอากาศจากวัสดุกราไฟต์	91
5.4 การออกแบบและสร้างสายอากาศจากวัสดุกราไฟต์	94
5.5 การทดสอบสายอากาศจากวัสดุกราไฟต์	104
5.6 การประยุกต์ใช้งานสายอากาศจากวัสดุกราไฟต์	111
5.7 สรุป	114
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5	115
บรรณานุกรม	116
บทที่ 6 เส้นใยแก้วนำแสง	
6.1 นิยามเส้นใยแก้วนำแสง	117
6.2 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	118
6.3 อุปกรณ์ต่อร่วมกับเส้นใยแก้วนำแสง	123
6.4 ระบบอุปกรณ์สื่อสารสัญญาณ	128
6.5 ระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง	138

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.6 สรุป	144
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6	145
บรรณานุกรม	146
บทที่ 7 เครือข่ายเทคโนโลยีระบบอินเทอร์เน็ต	
7.1 ระบบการสื่อสารข้อมูล	147
7.2 คุณสมบัติของสายสัญญาณอินเทอร์เน็ต	148
7.3 ไอพีแอดเดรส	152
7.4 เครือข่ายและแบบจำลองของเครือข่าย	154
7.5 ประเภทและอุปกรณ์ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์	163
7.6 ระบบแลนคอมพิวเตอร์	167
7.7 มาตรฐานของระบบเครือข่ายแลน	169
7.8 อินเทอร์เน็ต	170
7.9 ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ต	172
7.10 ระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์	173
7.11 สรุป	176
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 7	177
บรรณานุกรม	178
บทที่ 8 ระบบเซลลูลาร์ ไมโครเวฟและดาวเทียม	
8.1 ลักษณะการส่งข้อมูลในระบบสื่อสารสัญญาณ	179
8.2 วิวัฒนาการของระบบเซลลูลาร์	180
8.3 เทคโนโลยีระบบเซลลูลาร์	182
8.4 โครงสร้างพื้นฐานระบบเซลลูลาร์	185
8.5 อุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่	187
8.6 ระบบไมโครเวฟ	189
8.6 การสื่อสารด้วยดาวเทียม	194
8.7 สรุป	199
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8	200
บรรณานุกรม	201
บทที่ 9 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี	
9.1 ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี	203
9.2 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีกับชีวิตประจำวัน	204

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
9.3 การพัฒนางานทางด้านอาร์เอฟไอดี	212
9.4 สรุป	214
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9	215
บรรณานุกรม	216
บทที่ 10 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่	
10.1 เทคโนโลยีโครงข่ายแบบไร้สาย	219
10.2 การเชื่อมต่อใช้งานระบบวายฟาย	222
10.3 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายยุคที่ 5	226
10.4 เทคโนโลยีเครือข่ายยุคที่ 5 กับการประยุกต์ใช้งาน	227
10.5 สรุป	232
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10	233
บรรณานุกรม	234
ดัชนี	235

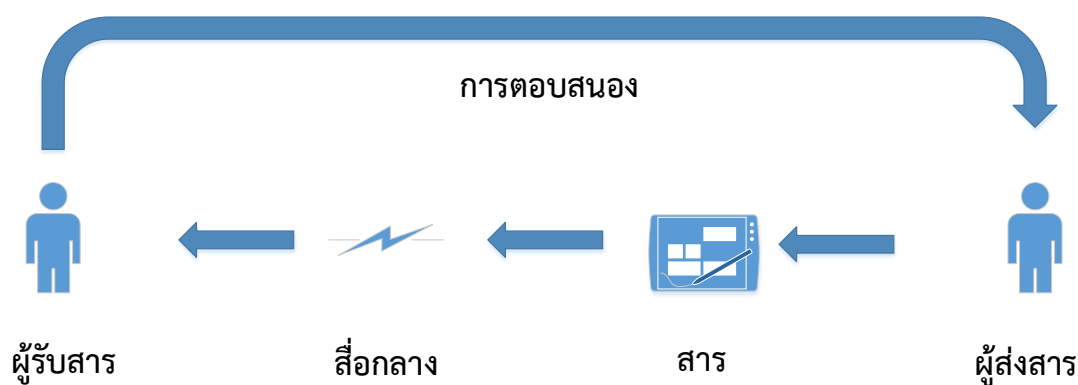
บทที่ 1

หลักการสื่อสารและโทรคมนาคมเบื้องต้น

วิชาเทคโนโลยีการสื่อสาร เป็นวิชาที่มีความสำคัญที่จะเป็นพื้นฐานทางด้านเทคโนโลยีเกี่ยวกับการสื่อสารให้กับนักศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการสื่อสารมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและใช้อยู่ในชีวิตประจำวันรวมถึงในการทำงานและการประกอบธุรกิจต่าง 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)

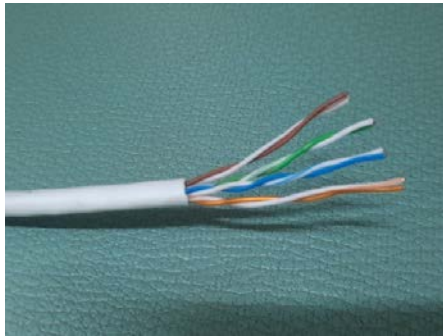
โดยการสื่อสารในลักษณะนี้เริ่มต้นจากการสื่อสารระยะใกล้โดยการพูดคุยกันระหว่างบุคคลเพียง 2 คน ซึ่งจะมีสื่อกลางหรือตัวกลางคืออากาศ ระยะของการสื่อสารหรือพูดคุยนั้นจะมีระยะไม่มากนัก อาจจะมีระยะไม่เกิน 20 เมตร หรือถ้าไกลกว่านั้นอาจทำให้สารหรือคำพูดเกิดความคลาดเคลื่อน ไม่ชัดเจน ไม่ได้ความหมายที่ถูกต้องได้

1.2 สื่อกลางในการสื่อสาร

เมื่อต้องการการสื่อสารที่ไกลขึ้น จึงได้มีการพัฒนาสื่อกลางที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลเข้ามาช่วยให้สามารถสื่อสารกันได้ไกลขึ้นรวมถึงการนำไปใช้ในการสื่อสารข้อมูลด้านต่าง 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 จะเห็นว่าแม่สีแรกที่น่ามาใช้คือสีขาว ส่วนลูกสีรองที่น่ามาใช้คือสีน้ำเงิน สีส้ม สีเขียว และสีน้ำตาล โดยขนาดของสายตัวนำทองแดงจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.4, 0.5, 0.65 มิลลิเมตร เป็นต้น โดยจะมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายอยู่ที่ 120 โอห์ม สายประเภทนี้นิยมนำไปใช้งานเป็นสายโทรศัพท์ (Fixed Line) สายอินเทอร์เน็ต สายแลน (LAN) เป็นต้น ซึ่งก็จะนิยมเรียกสายประเภทนี้บ่อยครั้งว่าสายแลนนั่นเอง

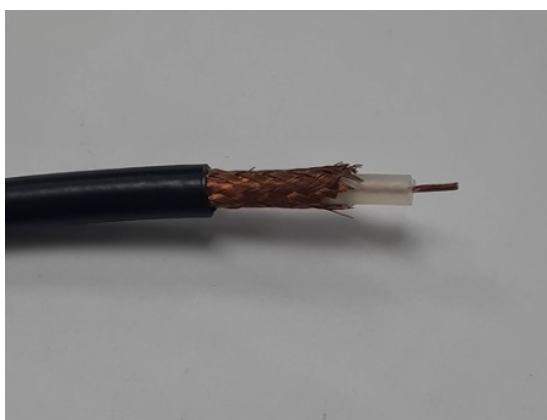
1.2.1.2 สายทองแดงแบบหุ้มฉนวน (Shield Twisted Pair) หรือที่รู้จักกันในชื่อของสายประเภท STP โดยลักษณะของสายประเภทนี้จะมี 4 คู่ รวม 8 เส้น มีแม่สีเป็นสีหลักและมีลูกสีเป็นสีรอง พันตีเกลียวกันไปตลอดความยาวของแต่ละคู่สี เช่นเดียวกับสายประเภท UTP แต่ที่แตกต่างกันคือการเพิ่มแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์บาง ๆ ห่อหุ้มสายไว้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

สายประเภทนี้นิยมนำไปใช้งานเป็นสายอินเทอร์เน็ตหรือสายแลนที่ต้องการความเสถียรของสัญญาณสูง หรือหากต้องมีการพาดวางสายไปตามแนวเดียวกับสายไฟฟ้าแรงสูง ก็จะใช้สายประเภทนี้ในการเดินสายแทน แต่ก็จะมีราคาที่สูงกว่าสายประเภท UTP ตามไปด้วย



รูปที่ 1.3 สายทองแดงแบบหุ้มฉนวน (STP)

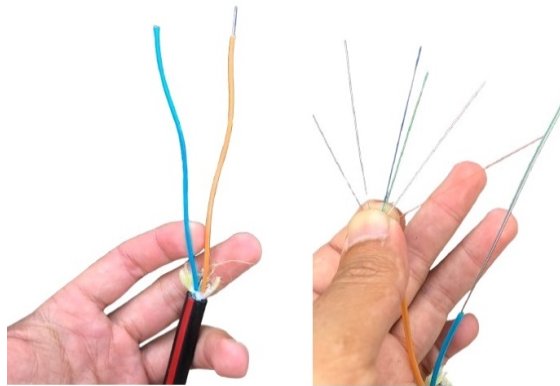
1.2.1.3 สายโคแอกเชียล (Coaxial) จะมีลักษณะเป็นสายเส้นเดี่ยวที่ประกอบไปด้วยสายทองแดงตัวนำอยู่ตรงกลางที่ถูกห่อหุ้มด้วยฉนวน 1 ชั้น ก่อนที่จะนำเส้นทองแดงฝอยขัดสานกันเป็นแพ มาห่อพันไว้โดยรอบและจะถูกห่อหุ้มด้วยเปลือกสายไว้ภายนอก แสดงได้ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 สายโคแอกเชียล

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 ระบบวิทยุ เป็นต้น

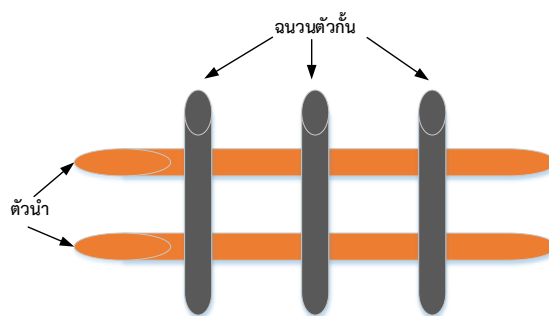
1.3 สายส่งสัญญาณ

สำหรับสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลประเภทมีสายนั้นยังสามารถแบ่งออกได้ตามชนิดของสายส่งสัญญาณได้ 2 ชนิด คือ

1.3.1 สายส่งสัญญาณชนิดโลหะตัวนำ

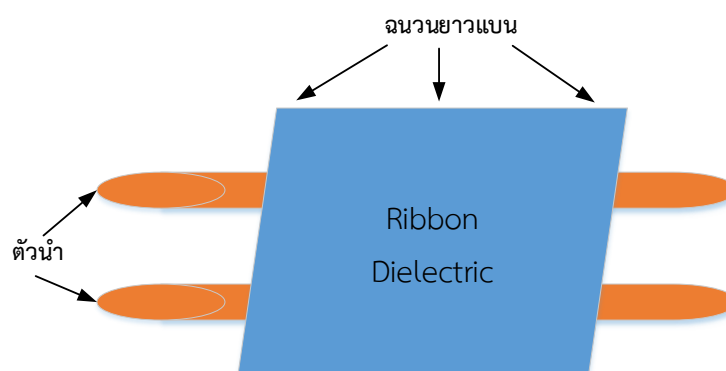
1.3.1.1 แบบสายคู่ (Two Wires)

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



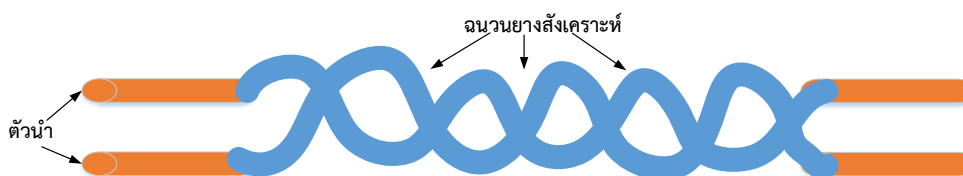
รูปที่ 1.6 โครงสร้างของสายคู่ขนานช่องเปิด

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



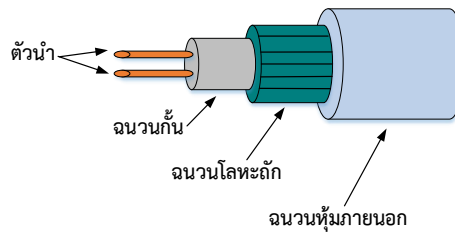
รูปที่ 1.7 โครงสร้างของสายคู่ขนานช่องปิด

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



รูปที่ 1.8 โครงสร้างของสายตีเกลียวคู่

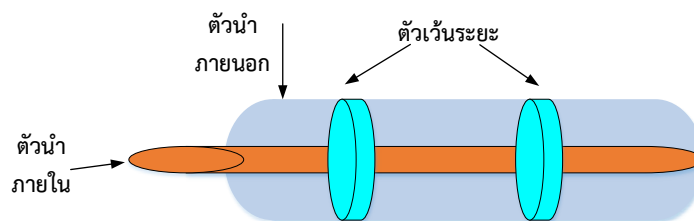
1.3.1.1.4 สายคู่หุ้มด้วยฉนวน (Shielded Pairs) มีโครงสร้างของสายเป็นสายตัวนำ 2 เส้นวางคู่ขนานกันตลอดความยาวสาย และหุ้มด้วยฉนวนกันมีเส้นโลหะพอยึดติดสานกันเป็นแพ เพื่อช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนจากภายนอก และด้านนอกสุดจะหุ้มด้วยฉนวนอีกชั้นหนึ่ง แสดงได้ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 โครงสร้างของสายตีเกลียวคู่

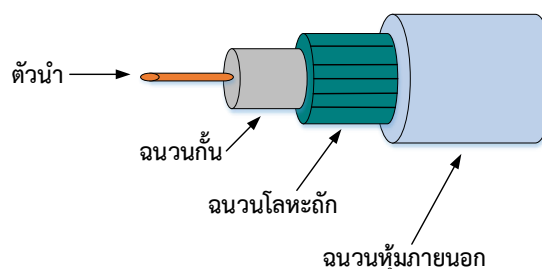
1.3.1.2 แบบสายแกนร่วมหรือสายโคแอกเซียล (Coaxial Cable)

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



รูปที่ 1.10 โครงสร้างของสายโคแอกเซียลชนิดแข็ง

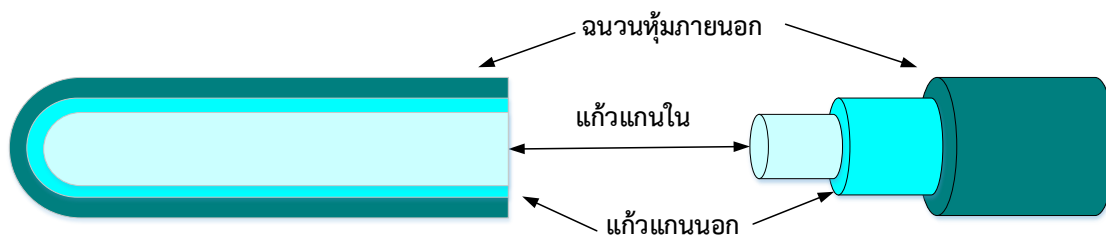
1.3.1.2.2 สายโคแอกเซียลชนิดอ่อน มีโครงสร้างของสายเป็นสายตัวนำอยู่ภายใน (Inner Conductor) และมีฉนวนหุ้มครอบกันอยู่รอบนอก 1 ชั้น ตามด้วยฉนวนที่เป็นโลหะถัก จากนั้นจะห่อหุ้มด้วยฉนวนภายนอกอีกชั้นหนึ่ง แสดงได้ดังรูปที่ 1.11



รูปที่ 1.11 โครงสร้างของสายโคแอกเซียลชนิดอ่อน

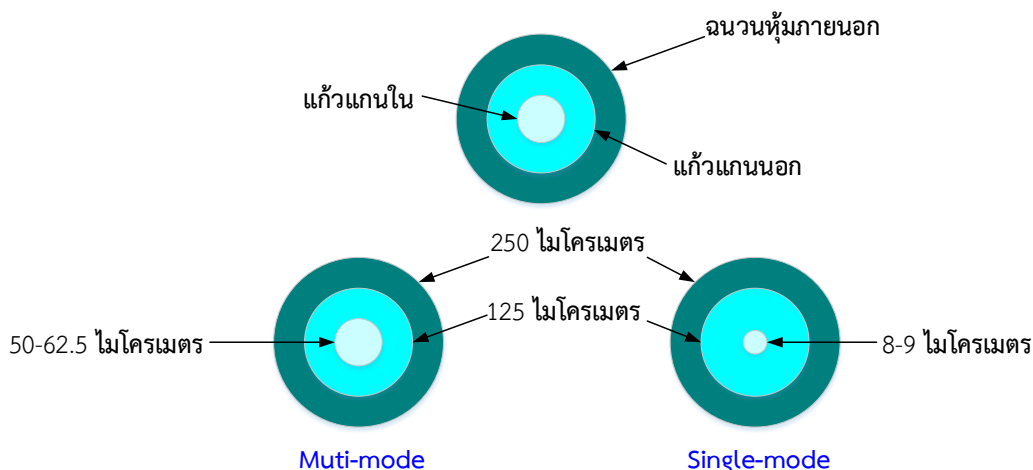
1.3.2 สายส่งสัญญาณชนิดอโลหะ

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

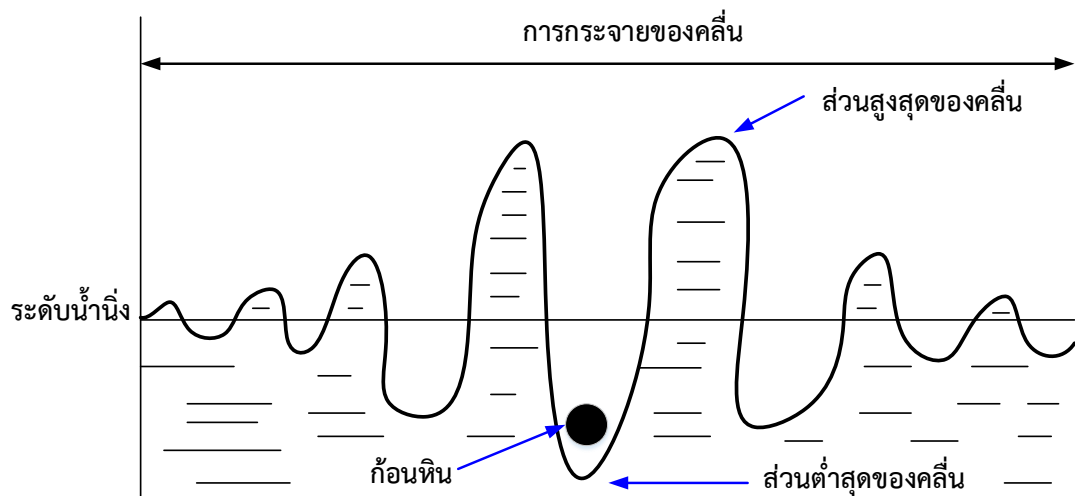
โดยที่สายใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวจะมีขนาดของแก้วแกนในอยู่ที่ประมาณ 8-9 ไมโครเมตร ส่วนชนิดหลายโหมดจะมีขนาดของแก้วแกนในอยู่ที่ประมาณ 50-62.5 ไมโครเมตร โดยมีขนาดของแก้วแกนนอกเท่ากันที่ 125 ไมโครเมตร และฉนวนหุ้มภายนอกจะมีขนาด 250 ไมโครเมตร ลักษณะโครงสร้างของสายทั้ง 2 ชนิด แสดงได้ดังรูปที่ 1.13



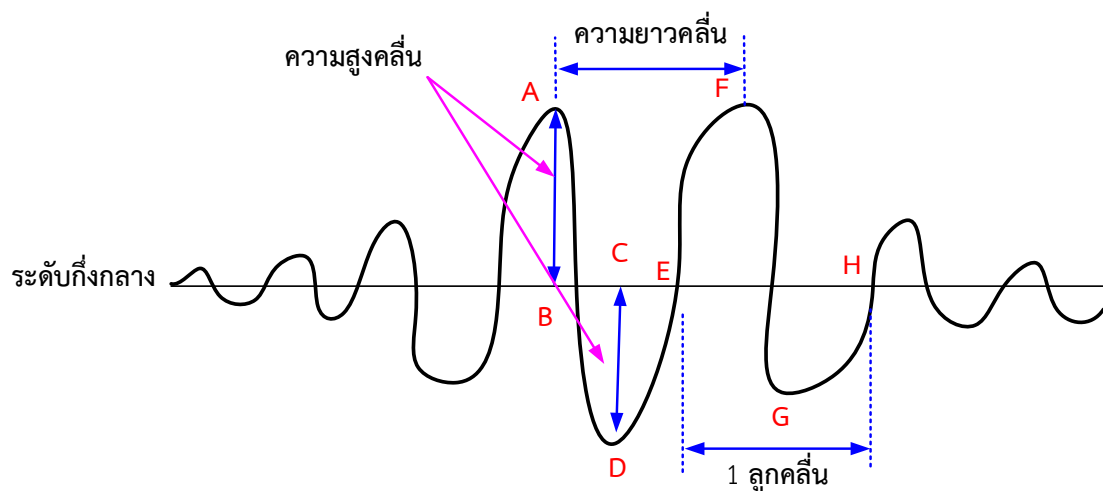
รูปที่ 1.13 โครงสร้างของสายใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวและชนิดหลายโหมด

1.4 การกำเนิดคลื่น

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



รูปที่ 1.14 ตัวอย่างการเกิดคลื่นบนผิวน้ำ



รูปที่ 1.15 ส่วนประกอบของคลื่นบนผิวน้ำ

ส่วนประกอบต่าง ๆ ของคลื่นแสดงได้ดังรูปที่ 1.15 จะมีชื่อเรียกต่างกันอย่างอธิบายได้ดังนี้

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 ไซเคิล (Cycle)
4. รูปคลื่นในลักษณะนี้จะมีลักษณะคล้ายคลื่นไซน์ (Sine Wave)
5. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น จะเรียกเป็นจำนวนไซเคิลต่อ 1 วินาที (Cycle/Sec) และถูกเรียกว่าความถี่ (Frequency) ถ้าหากคลื่นเคลื่อนที่ได้ 100 ไซเคิลต่อ 1 วินาที จะเรียกว่าเป็นคลื่นที่มีความถี่ 100 ไซเคิล ต่อวินาที (100 c/s) โดยความถี่ของคลื่นจะมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz) ใช้ตัวย่อเป็น Hz แทนการใช้ไซเคิลต่อวินาที (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 μ m
5. คลื่นแสง	375 THz - 750 THz	0.8 μ m - 0.4 μ m
6. คลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต	750 THz - 3×10^4 THz	0.4 μ m - 100 nm
7. คลื่นรังสีเอ็กซ์	3×10^3 THz - 3×10^7 THz	100 nm - 10 pm
8. คลื่นรังสีแกมมา	3×10^6 THz - 3×10^9 THz	100 pm - 0.1 pm
9. คลื่นรังสีคอสมิก	3×10^8 THz เป็นต้นไป	0.5 pm ลงมา

1.5 คลื่นเสียงและคลื่นความถี่

คลื่นเสียงหรือความถี่เสียง (Audio Wave or Audio Frequency) คือความถี่ที่อยู่ในช่วงที่มนุษย์สามารถเปล่งเสียงออกมาได้และสามารถรับฟังได้ โดยจะมีความถี่อยู่ในช่วง 20-20,000 Hz ซึ่งช่วงความถี่นี้คลื่นเสียงจะไม่สามารถเดินทางไปได้ไกลมากนัก เพราะเป็นคลื่นที่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำจะ

เกิดการจางหายไปในอากาศได้ง่าย ซึ่งเสียงพูดของมนุษย์ที่พูดและฟังกันรู้เรื่อง เข้าใจความหมายจากการพูดคุยในภาษาเดียวกันหรือภาษาที่สื่อสารกันได้จะมีความถี่อยู่ที่ประมาณ 20-3,400 Hz โดยเสียงที่หูของมนุษย์ได้ยินดีที่สุดจะอยู่ประมาณ 2,000 Hz และที่ความถี่เสียงสูงขึ้นไปประมาณ 15,000 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, เรดาร์, ไมโครเวฟ
7. Super High Frequency (SHF)	3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm	เรดาร์, 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 โดยมีความเร็วคงที่ที่อยู่ในช่วงความถี่ 10 KHz ถึง 300 GHz และเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว (Velocity) ประมาณ 3×10^8 เมตร/วินาที โดยความยาวคลื่นจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วและความถี่ ดังสมการที่ (1.1)

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1)$$

โดยที่

λ คือ ความยาวคลื่น (Wavelength) มีหน่วยเป็นเมตร

C คือ ความเร็วของคลื่นวิทยุ (Velocity) มีหน่วยเป็นเมตร/วินาที

f คือ ความถี่ (Frequency) มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) คือคลื่นที่สร้างขึ้นมาจากการผสมกันระหว่าง กระแสภายในสายอากาศวิทยุทำให้เกิดเป็นสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) และแรงดันที่ตกคร่อม สายอากาศวิทยุทำให้เกิดเป็นสนามไฟฟ้า (Electric Field) เมื่อนำสนามทั้งสองมารวมเข้าด้วยกันจะได้ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งช่วงความถี่ออกได้ดังตารางที่ 1.1 และสามารถแบ่งช่วงของ คลื่นความถี่วิทยุตามลักษณะการนำไปใช้งานได้ดังตารางที่ 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

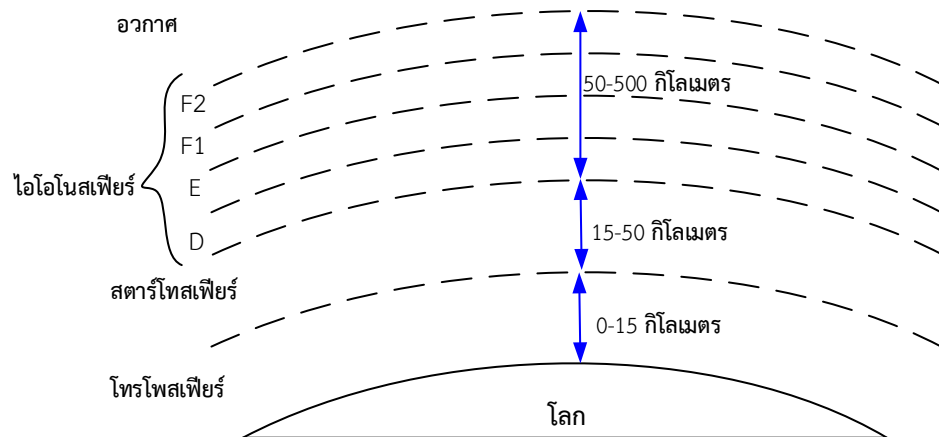
1 ไมโครเมตร (Micrometer: μ m) $= 10^{-6}$ m

1 นาโนเมตร (Nanometer: nm) $= 10^{-9}$ m

1 พิโกเมตร (Picometer: pm) $= 10^{-12}$ m

1.6 ชั้นบรรยากาศ

ชั้นบรรยากาศ (Atmosphere) เป็นชั้นของอากาศที่ระดับความสูงจากพื้นดินที่แตกต่างกัน ก่อนจะถึงชั้นอวกาศ โดยจะแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับชั้นคือ 1. ชั้นโทรโพสเฟียร์ 2. ชั้นสตราโทสเฟียร์ และ 3. ชั้นไอโอโนสเฟียร์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.16



รูปที่ 1.16 การแบ่งชั้นบรรยากาศ

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

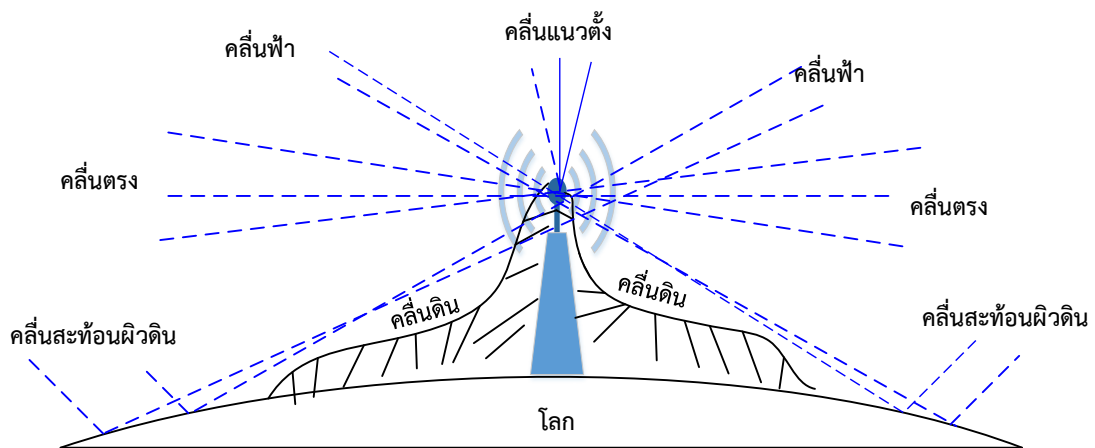
ชั้น E (E-Layer) มีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 110 กิโลเมตร มีคุณสมบัติในการสะท้อนกลับของคลื่นวิทยุสู่ผิวโลก

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

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

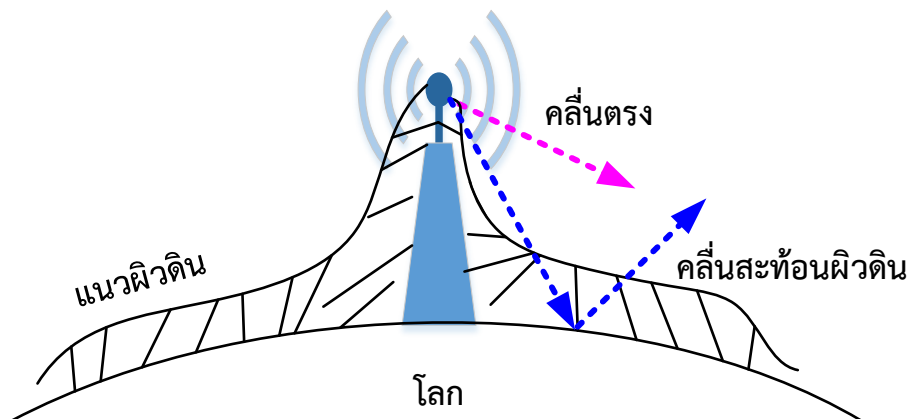
1.7 การแพร่กระจายคลื่นความถี่

จากการศึกษาเรื่องชั้นบรรยากาศทำให้สามารถคาดการณ์และประเมินแนวทางวิธีการแพร่กระจายคลื่นวิทยุไปในชั้นบรรยากาศได้ โดยสามารถแบ่งการแพร่กระจายคลื่นออกได้เป็น 4 ประเภท คือคลื่นดิน คลื่นฟ้า คลื่นโทรโพสเฟียร์ และคลื่นตรง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

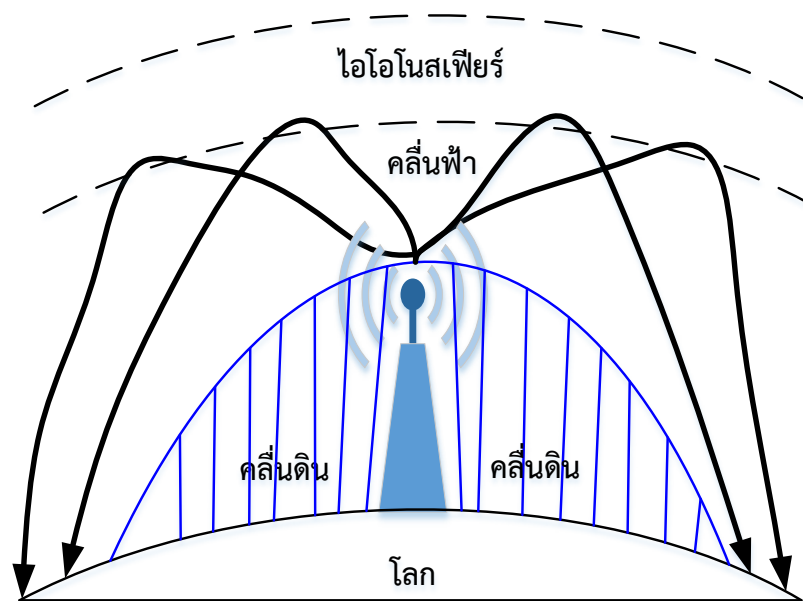
1.7.1 คลื่นดิน (Ground Wave) หรือคลื่นผิว (Surface Wave) คลื่นดินยังแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ คลื่นผิว (Surface Wave) คลื่นตรง (Direct Wave) คลื่นสะท้อนผิวดิน (Ground Reflected Wave) แสดงได้ดังรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 การแพร่กระจายของคลื่นดิน

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

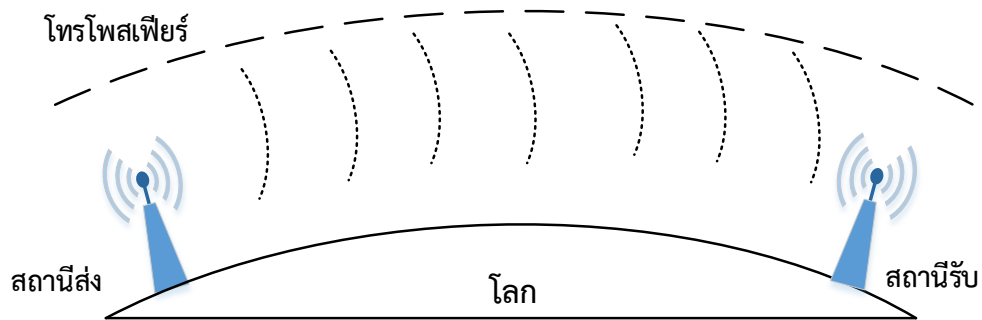
1.7.2 คลื่นฟ้า (Sky Wave) หรือคลื่นไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Wave) การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะที่ความถี่ในย่าน HF เท่านั้น การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในลักษณะนี้จะเดินทางแบบเส้นตรงจนถึงชั้นไอโอโนสเฟียร์ แล้วจึงสะท้อนกลับมายังพื้นดินอีกครั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 1.19 ทำให้ระยะของการสื่อสารในลักษณะนี้ออกไปได้ไกลกว่าคลื่นดิน จนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสื่อสารระหว่างประเทศได้



รูปที่ 1.19 การแพร่กระจายของคลื่นฟ้า

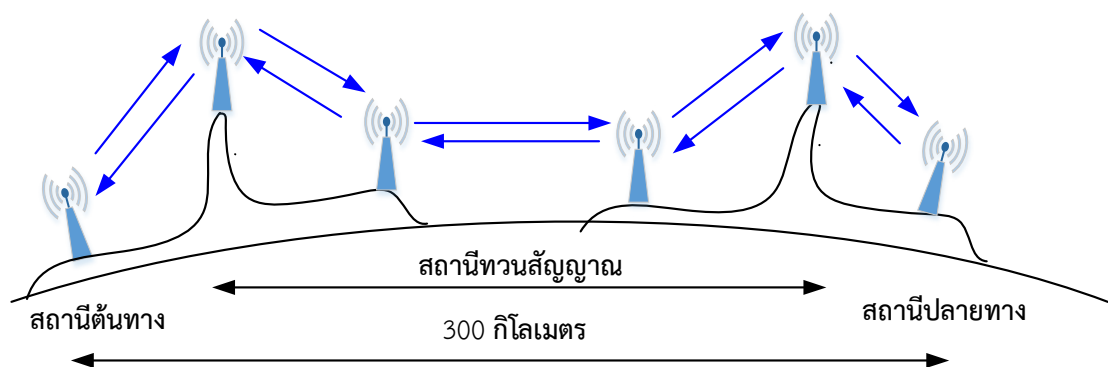
การใช้งานความถี่ในย่าน HF โดยการแพร่กระจายคลื่นวิทยุแบบคลื่นฟ้านิยมนำมาใช้ในการทางด้านการวิทยุโทรศัพท์และวิทยุโทรเลข ระบบวิทยุกระจายเสียงคลื่นสั้น (Short Wave) ที่มีระยะทางไกล ๆ เช่น การติดต่อสื่อสารภายในประเทศและระหว่างประเทศ

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



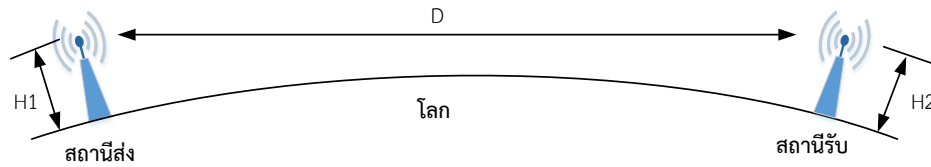
รูปที่ 1.20 การแพร่กระจายของคลื่นโทรโพสเฟียร์

ดังนั้นหากต้องการแก้ปัญหาข้างต้นหรือการเพิ่มระยะทางการรับส่งสัญญาณ สามารถทำได้ โดยการติดตั้งเสาให้สูง และติดตั้งสถานีทวนสัญญาณตามจุดต่าง ๆ เพื่อขยายระยะทางให้กับสถานีรับได้ในบริเวณที่กว้างมากขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 1.21



รูปที่ 1.21 การติดตั้งสถานีทวนสัญญาณตามจุดต่าง ๆ

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



รูปที่ 1.22 การแพร่กระจายของคลื่นตรง

การสื่อสารโดยใช้คลื่นตรงหรือการสื่อสารในระดับสายตาจะถูกระบุการสื่อสารในลักษณะนี้ว่าเป็นการสื่อสารไมโครเวฟ (Microwave Communication) ซึ่งจากรูปที่ 1.22 ในการส่งสัญญาณในลักษณะนี้ ส่วนโค้งของผิวโลกจะนำมาซึ่งปัญหาต่อระยะทางในการส่งสัญญาณการสื่อสาร โดยสามารถคำนวณระยะทางการสื่อสารไมโครเวฟได้จากสมการที่ (1.2)

$$D = 4.12 (H_1 + H_2) \quad (1.2)$$

โดยที่ D คือ ระยะทางของการสื่อสารไมโครเวฟ มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

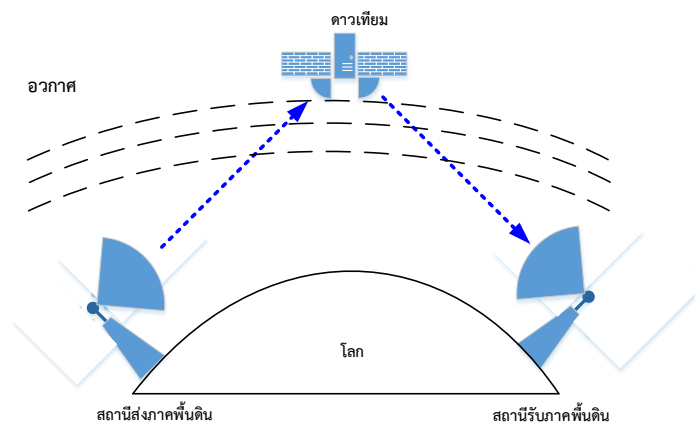
H_1 คือ ความสูงของเสาส่งสัญญาณ มีหน่วยเป็นเมตร

H_2 คือ ความสูงของเสารับสัญญาณ มีหน่วยเป็นเมตร

ทั้งนี้สามารถที่จะแก้ปัญหาในเรื่องส่วนโค้งของผิวโลกที่มีผลต่อการรับส่งสัญญาณด้วยการสื่อสารไมโครเวฟคือ

1. ทำการยกระดับของเสาส่งสัญญาณให้สูงขึ้นกว่าปกติหรือการตั้งสถานีไว้บนยอดเขา
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

หลักการสื่อสารโดยทั่วไปเพื่อใช้ในการติดต่อกันระหว่างบุคคลกับบุคคล หรือบุคคลกับกลุ่มคน เพื่อให้เกิดความเข้าใจในวัตถุประสงค์ ความต้องการหรือการปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน จากอดีตที่ใช้การสื่อสารด้วยการพูดคุยเมื่อพบปะเจอหน้ากันในระยะที่ได้ยินเสียงหรือถ้อยคำได้อย่างชัดเจน จนพัฒนามาสู่การสื่อสารระยะไกลด้วยการใช้คลื่นความถี่หรือสายนำสัญญาณ ทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีเพื่อมาตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย เพื่อทำให้เกิดความสะดวกสบายต่อการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ในปัจจุบันและอนาคต ในบทนี้ได้กล่าวนำไว้เกี่ยวกับการส่งสัญญาณผ่านอากาศ คลื่นความถี่วิทยุ เส้นใยแก้วนำแสง ระบบไมโครเวฟและระบบดาวเทียม ซึ่งจะได้อธิบายเนื้อหาโดยละเอียดในบทต่อ ๆ ไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1

- ข้อ 1 จงบอกความหมายเกี่ยวกับระบบนิเวศการสื่อสาร
- ข้อ 2 จงบอกวิธีการเรียงลำดับสีของสายประเภท UTP
- ข้อ 3 จงเขียนลักษณะโครงสร้างของสายโคแอกเชียล
- 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=ก ร สื่ อ ส า ร _ \(Communication\)](http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php?title=ก ร สื่ อ ส า ร _ (Communication)), 11 พฤศจิกายน 2565.
2. อภิษฎา ทองรักษ. (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 เกลิมวัฒน์. (2557). ระบบสื่อสารสัญญาณเคเบิลใยแก้ว [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. องค์กรลักษณะ อาจมั่งกร, หนังสือเรียนวิชา โทรคมนาคมเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2565.
7. ลัญฉกร วุฒิสถิตกุลกิจ, หลักการวิศวกรรมโทรคมนาคม, พิมพ์ครั้งที่ 2: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.
8. พันธศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, โทรคมนาคมเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 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 คำพูดหรือข้อความนั้นก็เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาด้านเทคโนโลยีและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อที่จะทำให้การติดต่อสื่อสารในระยะที่ไกลมากขึ้นแต่ยังคงสามารถรับรู้ข้อมูลข่าวสารได้ตามปกติ โดยในบทนี้จะได้กล่าวถึงการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่ในระบบวิทยุเพื่อให้เข้าใจถึงแนวคิดและวิธีการในการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้การรับส่งสัญญาณผ่านอากาศในเบื้องต้น

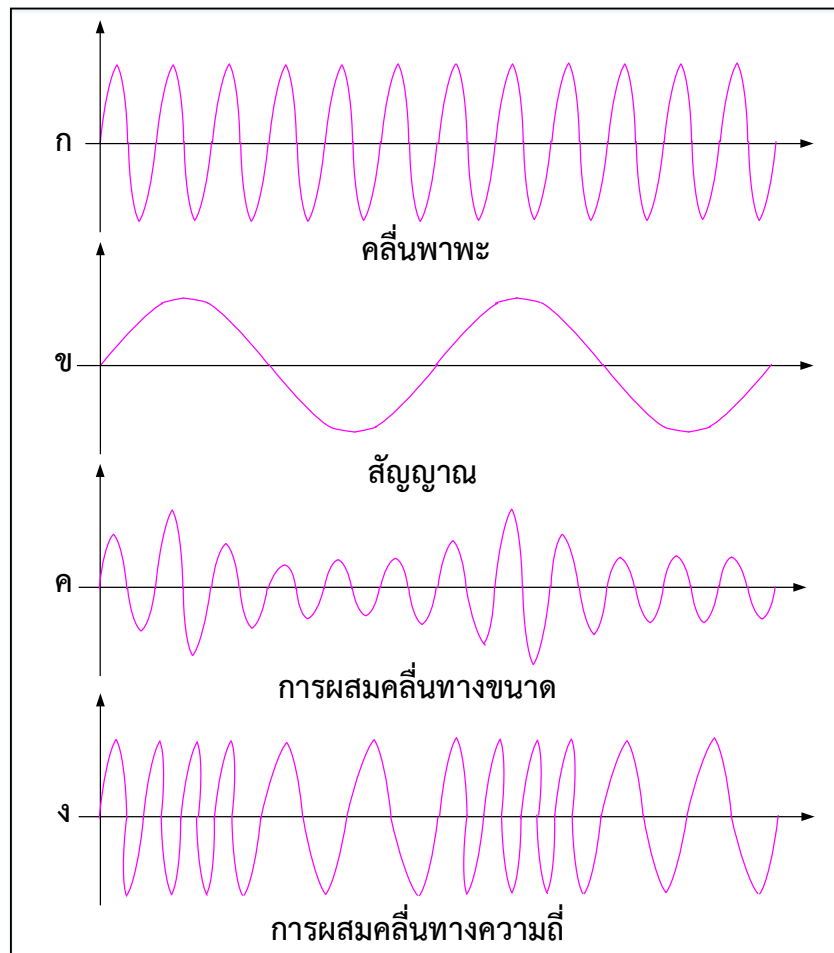
2.1 เครื่องสื่อสารประเภทวิทยุ

เครื่องสื่อสารประเภทวิทยุที่มีใช้งานกันอยู่โดยปกติจะนำมาใช้ในการส่งข่าวสารด้วยคำพูดหรือประมวลเลขสัญญาณ (Telegraphic Code) จากความรู้สึกที่เกิดขึ้นต่อระบบประสาทการได้ยินเสียงของมนุษย์ โดยเมื่อหูได้รับการสัมผัสเตือนต่อความถี่เสียงที่เรียกว่าเสียงนั่นเอง ซึ่งพลังงานเสียงนี้สามารถเคลื่อนที่ผ่านอากาศด้วยความเร็วประมาณ 330 เมตรต่อวินาที ถึงแม้ว่าจะสามารถทำการเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าทางความถี่เสียงได้ แต่ในทางปฏิบัติยังไม่สามารถส่งผ่านออกไปในบรรยากาศรอบโลกได้ด้วยการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น การส่งสัญญาณเสียงขนาด 20 ไซเคิล ต้องใช้สายอากาศยาวเกือบ 8,000 กิโลเมตร 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)

หากนำความถี่เสียงเชิงซ้อนมาผสมคลื่นแทนการใช้สัญญาณเสียงอย่างเดียวจะเกิดความถี่ใหม่ ขึ้น 2 ความถี่ ตามความถี่ของสัญญาณเสียงแต่ละความถี่ ความถี่ที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะถูกเรียกว่าแถบความถี่ข้าง (Side Band)



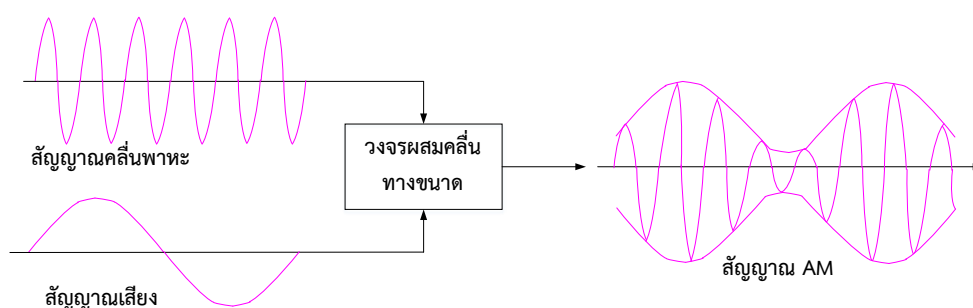
รูปที่ 2.1 ลักษณะของสัญญาณและคลื่นพาหะ

2.2 การผสมคลื่น

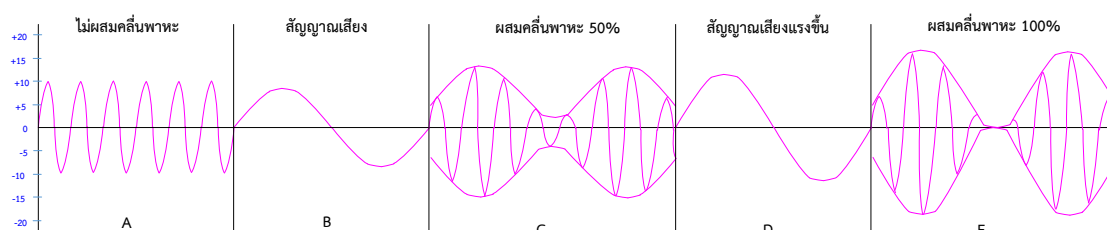
จากที่ได้กล่าวถึงคลื่นที่ส่งผ่านไปในอากาศหรือชั้นบรรยากาศไปแล้วนั้น การที่จะทำให้สามารถส่งสัญญาณข้อมูลข่าวสารผ่านอากาศไปได้นั้นจึงต้องมีการผสมคลื่นเพื่อที่จะนำพาสัญญาณนั้นออกไปได้ไกลยิ่งขึ้น โดยการผสมคลื่นที่ใช้ในย่านวิทยุกระจายเสียงจะมีอยู่ 3 แบบ คือ

1. การผสมคลื่นทางขนาด โดยสามารถแบ่งออกเป็น แบบไซด์แบนด์ด้านเดียวและแบบไซด์แบนด์สองด้าน
2. การผสมคลื่นทางความถี่
3. การผสมคลื่นทางเฟส

2.2.1 การผสมคลื่นทางขนาด (Amplitude Modulation: AM) ซึ่งวิธีการผสมคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงกับความถี่วิทยุ นั้น จะใช้วงจรผสมคลื่นทางขนาด ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ผสมสัญญาณทั้ง 2 นั้น โดยมีอุปกรณ์หลักคือไดโอดหรือทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะ ซึ่งจะทำให้คลื่นพาหะนั้นถูกควบคุมระดับความแรงด้วยสัญญาณเสียงและจะเปลี่ยนแปลงระดับสูงหรือต่ำไปตามระดับความแรงของสัญญาณเสียงนั้น ซึ่งหลักการของการผสมคลื่นวิทยุแบบ AM แสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การผสมคลื่นทางขนาด



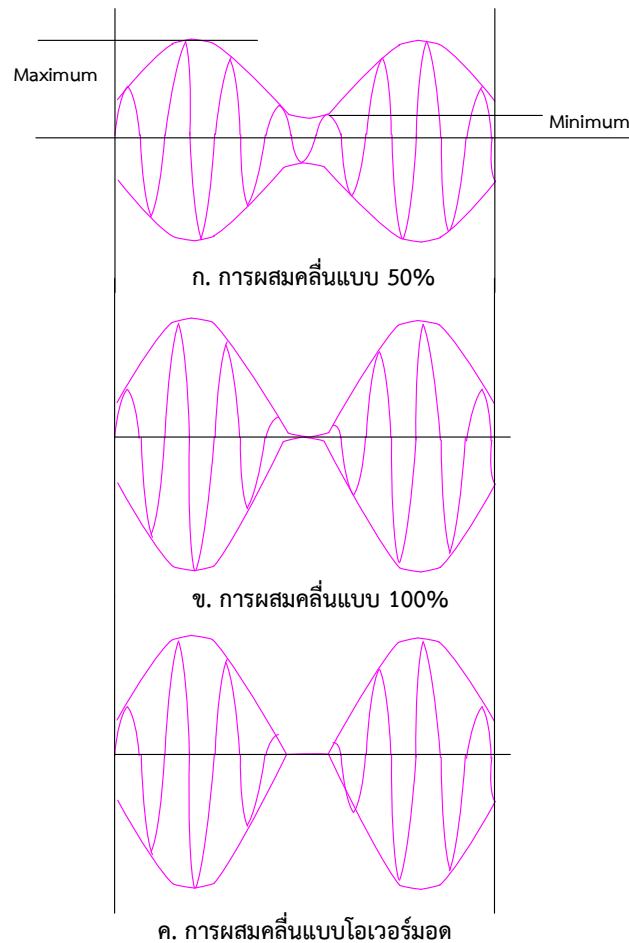
รูปที่ 2.3 การผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะแบบ AM

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 ซึ่งจะถูกรู้จักว่าการผสมคลื่นแบบ 50 % และถ้านำส่วน A ไปทำการผสมกับส่วน D จะทำให้ได้สัญญาณระบบวิทยุแบบ AM ตามส่วน E ซึ่งจะถูกรู้จักว่าการผสมคลื่นแบบ 100 %

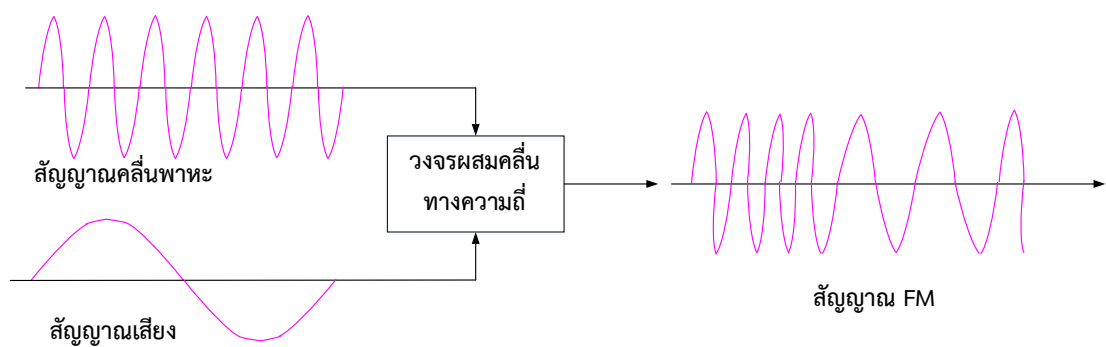
โดยการผสมสัญญาณระบบวิทยุแบบ AM นั้น สามารถผสมได้ 3 แบบคือ การผสมคลื่นแบบ 50 % การผสมคลื่นแบบ 100 % และการผสมคลื่นแบบโอเวอร์มอด แสดงได้ดังรูปที่ 2.4

2.2.2 การผสมคลื่นทางความถี่ (Frequency Modulation: FM) ซึ่งวิธีการผสมคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงกับความถี่วิทยุ โดยจะให้สัญญาณเสียงนั้นไปควบคุมความถี่วิทยุ (คลื่นพาหะ) ให้

เปลี่ยนแปลงความถี่นั้นไปตามระดับสัญญาณเสียงที่ถูกส่งเข้ามาควบคุม โดยจะมีวงจรผสมคลื่นทางความถี่ ที่จะทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงความถี่ให้สูงหรือต่ำตามสัญญาณเสียง ซึ่งหลักการของการผสมคลื่นวิทยุแบบ FM แสดงได้ดังรูปที่ 2.5

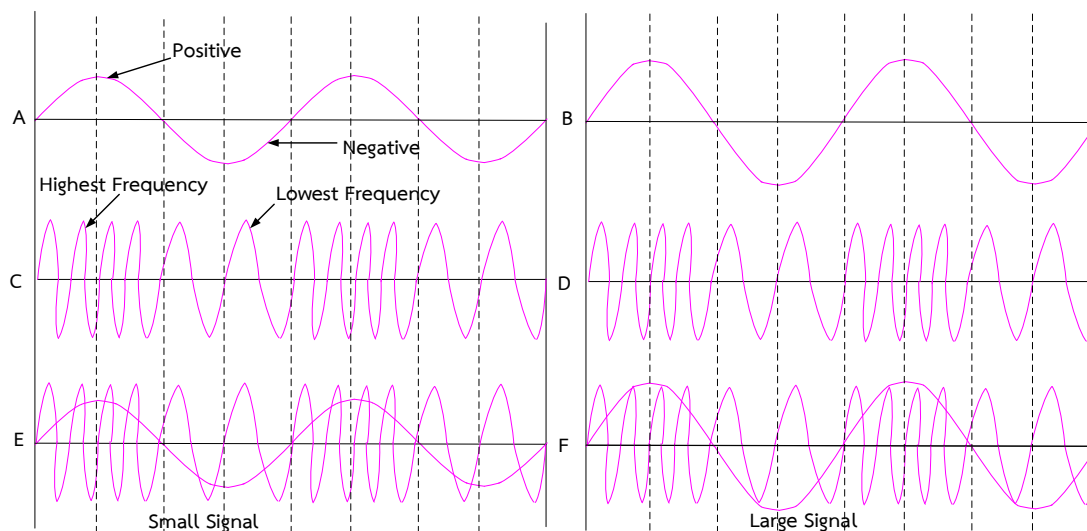


รูปที่ 2.4 การผสมสัญญาณระบบวิทยุแบบ AM



รูปที่ 2.5 การผสมคลื่นทางความถี่

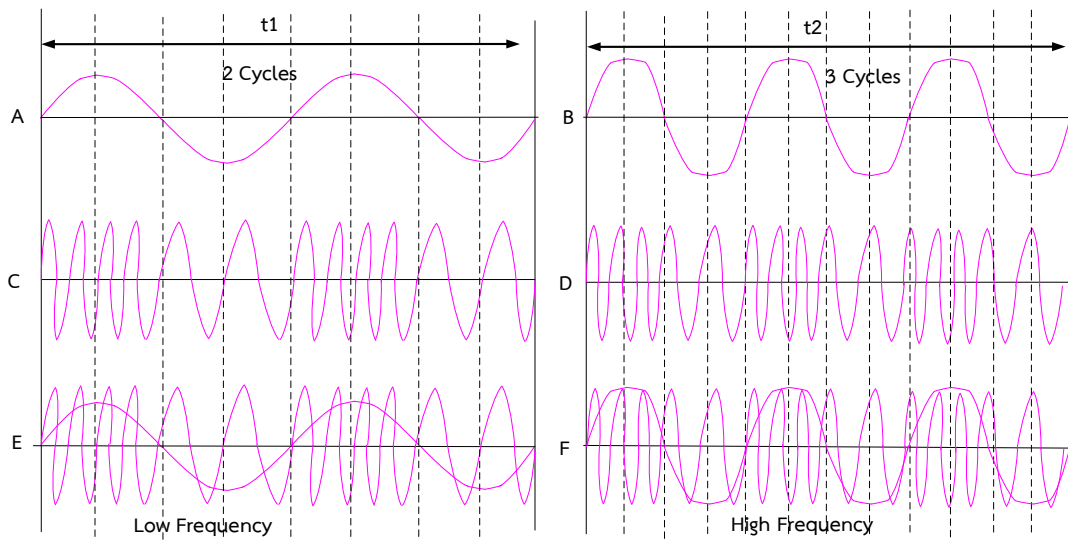
โดยเมื่อมีสัญญาณเสียงช่วงบวกเข้ามาผสม ความถี่ของคลื่นพาหะนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าสัญญาณปกติ และเมื่อมีสัญญาณเสียงช่วงลบเข้ามาผสม ความถี่ของคลื่นพาหะนั้นก็จะลดต่ำกว่าสัญญาณปกติ แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



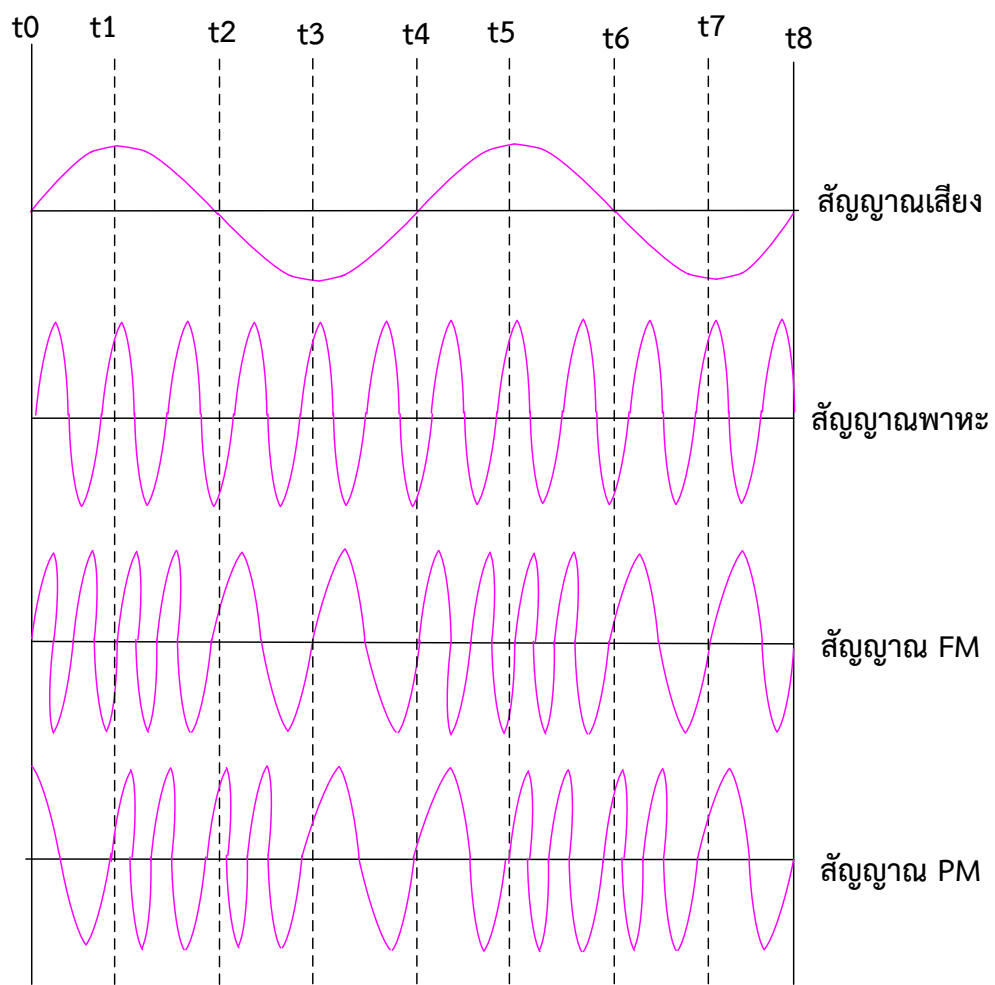
รูปที่ 2.6 การผสมสัญญาณเสียงเข้ากับคลื่นพาหะแบบ FM

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

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



รูปที่ 2.7 การผสมสัญญาณเสียงกับคลื่นพาหะแบบ FM ตามระดับความแรงของสัญญาณ



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบการผสมสัญญาณแบบ FM กับ PM

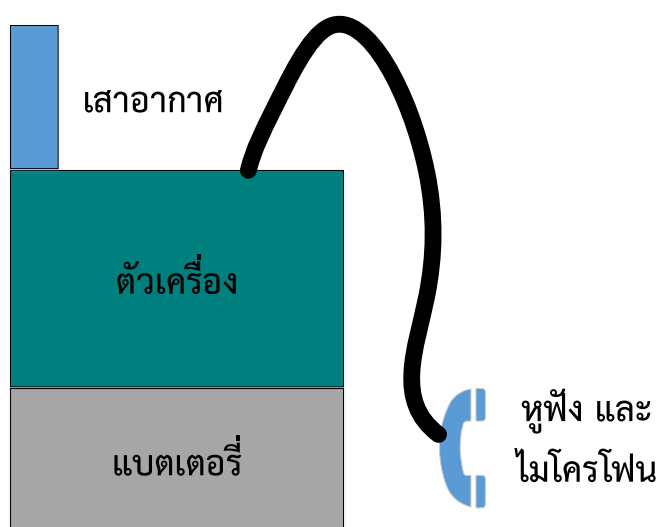
2.2.3 การผสมคลื่นทางเฟส (Phase Modulation: PM) ซึ่งวิธีการผสมคลื่นทางเฟสนั้น จะทำให้เฟสของคลื่นพาหะนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณเสียงที่ผสมเข้ามา เมื่อเฟสของคลื่นพาหะเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยที่การผสมคลื่นทางเฟสนั้นก็จะส่งผลทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยนั่นเอง

ข้อแตกต่างระหว่างสัญญาณ PM กับ FM แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 และสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. สัญญาณ PM มีความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนโดยตรงทั้งกับความถี่และทั้งกับแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่นำเข้ามาผสม

2. สัญญาณ FM มีความถี่เบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนโดยตรงแค่กับแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงที่นำเข้ามาผสมเพียงอย่างเดียว

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



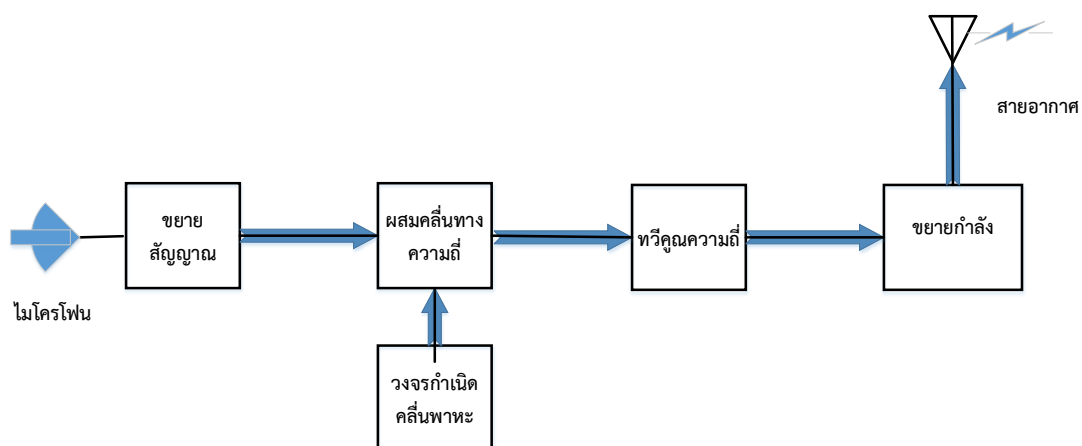
รูปที่ 2.9 เครื่องวิทยุสื่อสาร

2.3 การส่งและรับคลื่นวิทยุ

2.3.1 เครื่องวิทยุสื่อสาร

เครื่องวิทยุสื่อสารจะมีส่วนประกอบหลักคือเครื่องส่งซึ่งจะทำหน้าที่ส่งออกความถี่วิทยุแบบเตอรี คั่นเคาะ หูฟังและไมโครโฟน โดยสายอากาศด้านส่งเป็นส่วนที่ใช้ในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ สายอากาศด้านรับเป็นส่วนที่รับคลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกมา เครื่องรับจะใช้หลักการเปลี่ยนคลื่นความถี่วิทยุที่รับมาได้ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่นำไปใช้งานได้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.9

2.3.2 การทำงานของเครื่องส่งวิทยุสื่อสาร



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบการทำงานของเครื่องส่งวิทยุสื่อสาร

พื้นฐานการทำงานของเครื่องส่งวิทยุสื่อสารจะประกอบด้วยภาครับเสียงหรือไมโครโฟน ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อส่งต่อไปยังภาคขยายสัญญาณ ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ แล้วส่งต่อไปยังภาคผสมสัญญาณซึ่งจะนำสัญญาณที่ได้มาผสมกับสัญญาณที่มาจากภาคกำเนิดคลื่นพาหะ เพื่อส่งต่อไปยังภาคทวีคูณความถี่ เพื่อทำให้สัญญาณมีความแรงสูงมากขึ้น จนเหมาะสมกับระบบ แล้วจึงส่งต่อไปยังภาคขยายกำลังของคลื่นความถี่วิทยุเพื่อขยายกำลังให้แรงมากขึ้น ก่อนส่งออกไปยังสายอากาศ เพื่อส่งออกอากาศต่อไป แสดงได้ดังรูปที่ 2.10

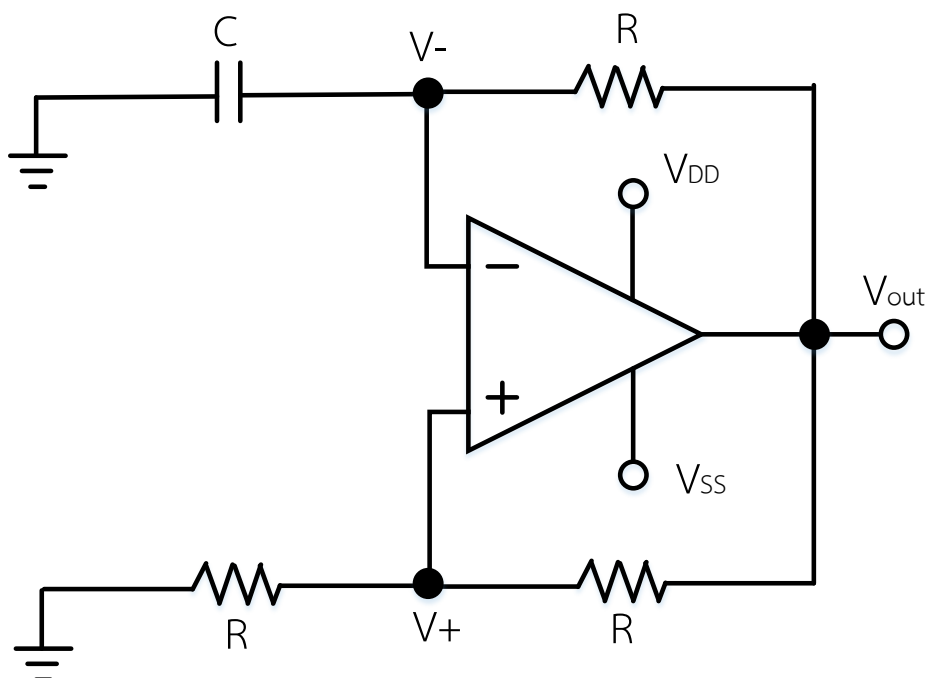
2.3.3 วงจรกำเนิดความถี่วิทยุ

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

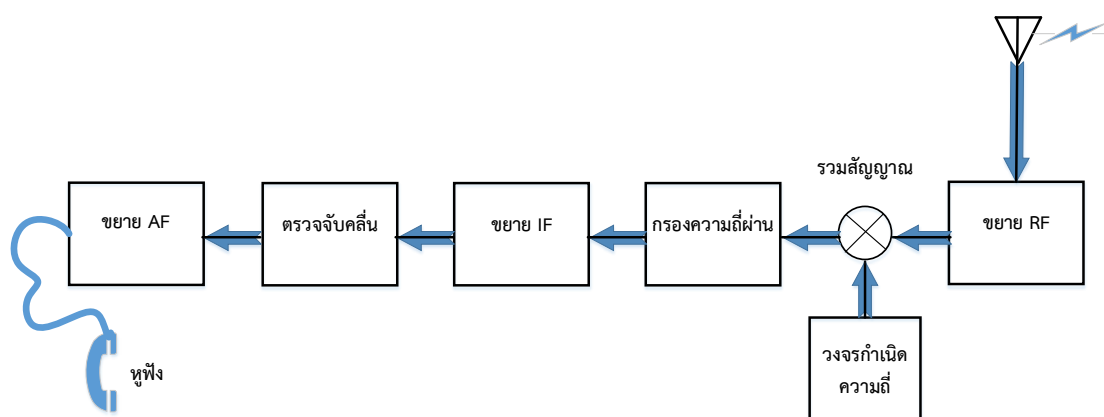
2.3.4 สายอากาศ

สายอากาศ (Antenna) สายอากาศภาคส่งจะทำหน้าที่ส่งพลังงานของสัญญาณความถี่ออกไปในอากาศโดยการแพร่กระจายพลังงานออกไปเป็นรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและถูกดักจับพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นด้วยสายอากาศภาครับที่ปลายทาง โดยที่เครื่องรับวิทยุจะทำ

การปรับเปลี่ยนความถี่ตั้งค่าให้ตรงกับความถี่ของเครื่องส่งสัญญาณความถี่แล้วจะทำให้ได้รับสัญญาณและข่าวสารที่สามารถสื่อสารกันได้



รูปที่ 2.11 วงจรกำเนิดความถี่



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบการทำงานของเครื่องรับวิทยุสื่อสาร

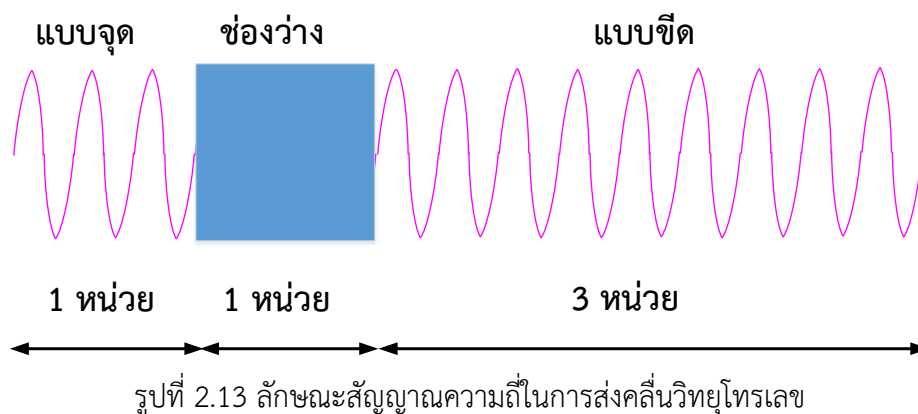
2.3.5 เครื่องรับวิทยุ

เครื่องรับวิทยุ จะอยู่ที่ภาครับสัญญาณโดยส่วนประกอบหลัก ๆ จะประกอบด้วย สายอากาศด้านรับ จะรับสัญญาณคลื่นความถี่ที่แพร่กระจายอยู่ในอากาศ วงจรขยายความถี่ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่รับมาได้ทั้งหมด ส่งต่อไปยังภาควงจรตรวจจับคลื่นแล้วทำการขยายสัญญาณที่ได้อีกครั้งก่อนส่งออกไปยังลำโพงหรือหูฟัง แสดงได้ดังรูปที่ 2.12 โดยสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

1. ภาควิทยุขยายความถี่วิทยุ (RF Amplifier) ซึ่งเครื่องขยายความถี่วิทยุจะมีวงจรปรับแต่งอย่างน้อย 1 วงจรหรือมากกว่าก็ได้ เพื่อให้สัญญาณความถี่วิทยุที่ต้องการได้รับการขยายมากกว่าสัญญาณความถี่อื่นที่ปะปนสอดแทรกเข้ามา

2. ภาควิทยุตรวจจับคลื่น (Detector) โดยสัญญาณความถี่วิทยุที่สามารถรับมาได้จากเครื่องรับวิทยุจะมีลักษณะเป็นสัญญาณความถี่วิทยุที่ผสมคลื่น (Modulate RF Signal) ซึ่งจะนำสัญญาณเสียงหรือสัญญาณความถี่เสียงอื่น ๆ ไปด้วยพร้อมกับสัญญาณคลื่นพาหะ ซึ่งสัญญาณความถี่วิทยุที่ส่งออกมาพร้อมข้อมูลข่าวสารนั้น จะถูกประมวลผลสัญญาณแบบจุด (Dot) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ข้อมูลข่าวสารที่สัญญาณความถี่วิทยุนำมาด้วยนั้นถูกถอดออกมาเรียกว่าการตรวจจับคลื่น (Detector)

3. ภาควิทยุขยายความถี่เสียง (AF Amplifier) ซึ่งระดับความแรงของสัญญาณที่ได้จากภาควิทยุตรวจจับคลื่น (Detector) นั้นตามปกติจะมีกำลังที่อ่อนมาก ไม่สามารถที่จะนำไปใช้งานได้ทันที จึงต้องเพิ่มภาควิทยุขยายความถี่เสียงขึ้นอีกหนึ่งภาคหรือหลาย ๆ ภาคก็ได้ เพื่อทำให้กำลังความถี่เสียงแรงขึ้นถึงระดับที่ลำโพงหรือหูฟังสามารถทำงานได้



2.3.6 วิทยุโทรเลข

การส่งข้อมูลข่าวสารด้วยวิทยุโทรเลข เป็นการสื่อสารในช่วงแรก ๆ ที่เป็นจุดเริ่มต้นของระบบโทรศัพทในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นการส่งสัญญาณด้วยความถี่เป็นช่วง ๆ ตามคำและความหมายที่ต้องการสื่อสารกัน แสดงได้ดังรูปที่ 2.13 และสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

1. ข่าวสารจากวิทยุโทรเลขสามารถส่งไปได้จากการผสมคลื่นพาหะและหยุดส่งด้วยคันไกวไฟฟ้าหรือคันเคาะตัวเลข โดยตัวอักษรแต่ละตัวจะถูกกำหนดขึ้นโดยการประกอบห่วงไฟฟ้า (Pulse) สั้นและยาวเป็นกลุ่ม ๆ ตามการประมวลผลสัญญาณ เช่น การส่งตัวอักษร A ในรูปการประมวลผลสัญญาณ โดยการกดคันเคาะจะใช้เวลาไม่ถึงหนึ่งวินาทีและปล่อยคันเคาะที่เวลาเท่าเดิมแล้วทำการกดคันเคาะอีกครั้งเป็นเวลานานเท่ากับ 3 เท่า ของการกดครั้งแรก

2. ขาวสารวิทยุโทรเลขสามารถส่งไปได้โดยใช้คลื่นผสมเสียง (Tone Modulated Wave) โดยที่คลื่นพาหะจะถูกผสมเสียงที่มีความถี่ที่ซึ่งมีความถี่ระหว่าง 500 ถึง 1,000 Hz ต่อวินาที เนื่องจากการปล่อยคลื่นผสมเสียง (Tone Emission) นั้น มีย่านความถี่ที่กว้างจึงช่วยต้านทานการรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์บางอย่างได้ และจากสัญญาณมีย่านความถี่กว้าง จึงทำให้วิทยุหาทิศทาง (Radio Direction Finder) หรือหาเป้าหมายได้ง่ายขึ้น

3. การส่งวิทยุโทรเลขด้วยมือของมนุษย์นั้นจะมีข้อจำกัดจากความสามารถในการใช้มือรับ - ส่งข้อมูลขาวสาร ของแต่ละบุคคล

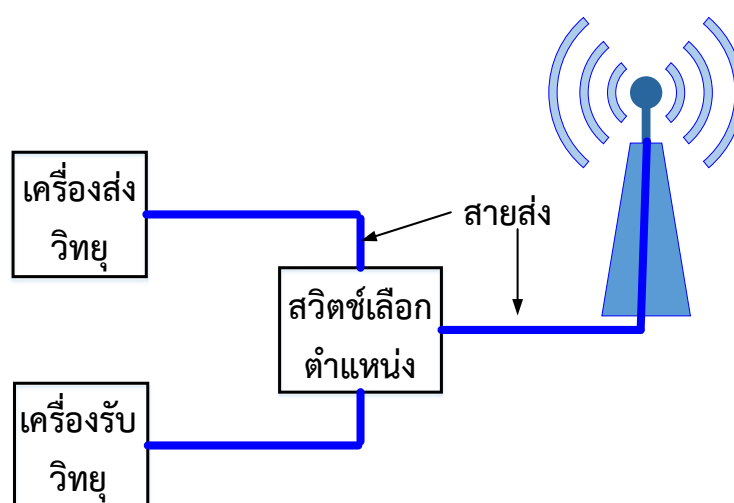
3.1 การสื่อสารด้วยวิทยุโทรเลขสามารถใช้งานได้ในทุกสภาพอากาศ ในขณะที่การสื่อสารประเภทอื่น ๆ จะใช้ไม่ได้ผลเมื่ออยู่ในสภาพบรรยากาศที่ไม่เหมาะสมหรือมีสัญญาณรบกวน

3.2 เครื่องส่งวิทยุโทรเลขมีรัศมีทำการที่ไกลกว่าเครื่องส่งวิทยุโทรศัพท์ หากมีกำลังส่งออกอากาศเท่ากัน เนื่องจากกำลังส่งออกอากาศของสัญญาณจะแรงขึ้นเมื่อมีความกว้างแถบที่น้อยลง

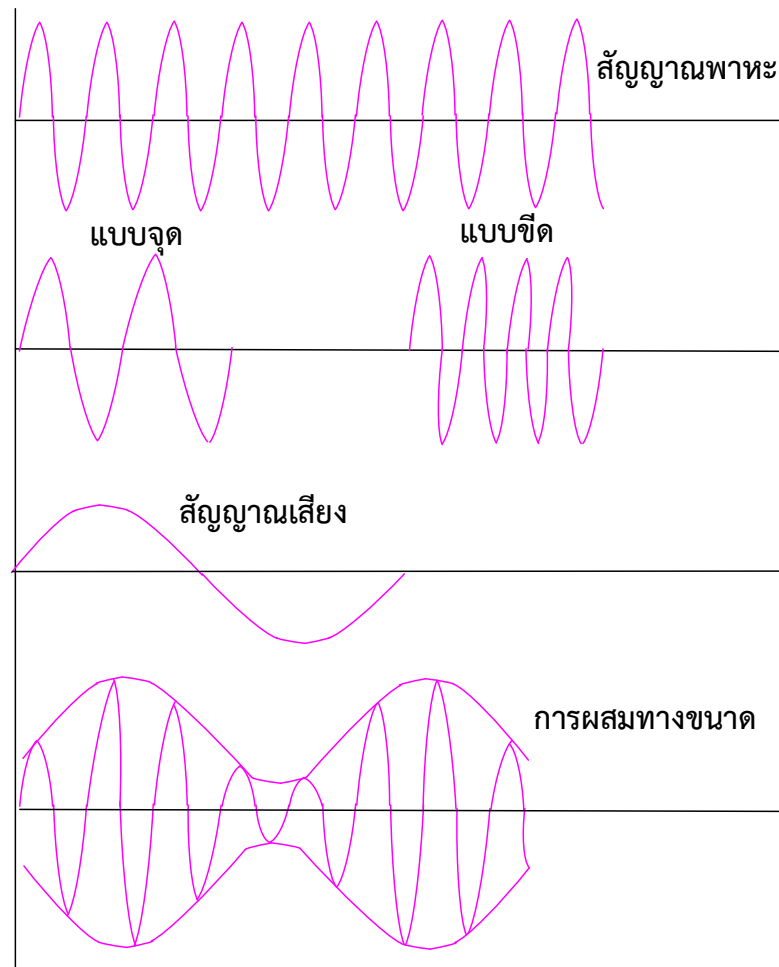
3.3 แถบความถี่ของวิทยุโทรเลขที่ถูกกำหนดมาให้ใช้งานได้นั้นจะสามารถใช้งานได้มากกว่าสถานีวิทยุโทรศัพท์โดยจะไม่มีมารบกวนซึ่งกันและกัน

2.4 เครื่องส่งวิทยุ

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



รูปที่ 2.14 ระบบเครื่องส่งวิทยุ



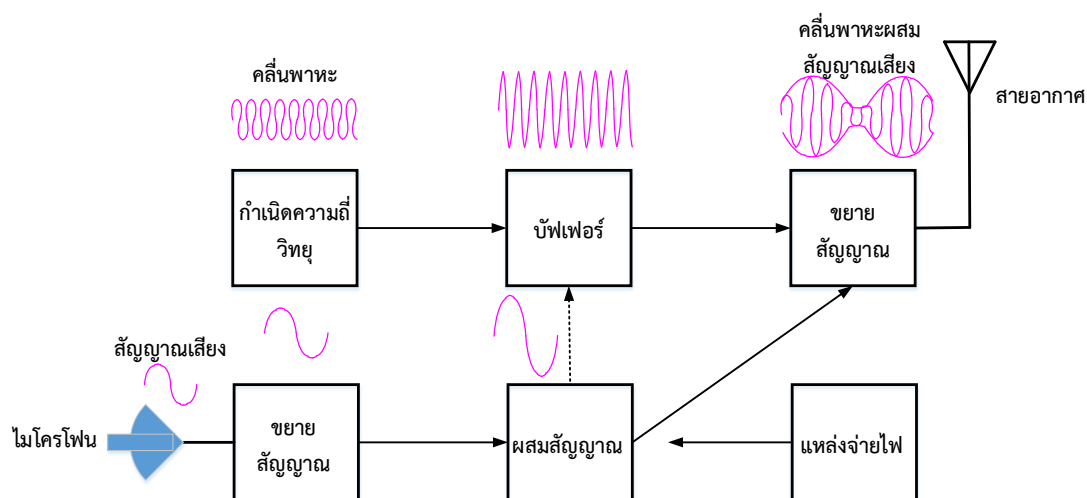
รูปที่ 2.15 ระบบของการส่งสัญญาณวิทยุ

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

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 โดยจะทำการขยายสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีการผสมเรียบร้อยแล้วให้มีกำลังส่งที่สูงมากขึ้นก่อนที่จะนำส่งต่อไปยังสายอากาศ

ถัดมาเป็นภาคผสมคลื่น จะทำหน้าที่ผสมสัญญาณเสียงเข้ากับความถี่ของคลื่นพาหะในระบบแบบ AM โดยที่สัญญาณเสียงจะถูกนำไปควบคุมความแรงของความถี่ของคลื่นพาหะให้มีระดับที่สูงเพิ่มขึ้นหรือลดต่ำลง

ถัดมาเป็นภาคขยายเสียง จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่สร้างขึ้นด้วยไมโครโฟนให้มีระดับความแรงของสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นก่อนที่จะนำส่งเข้าไปยังภาคผสมคลื่น

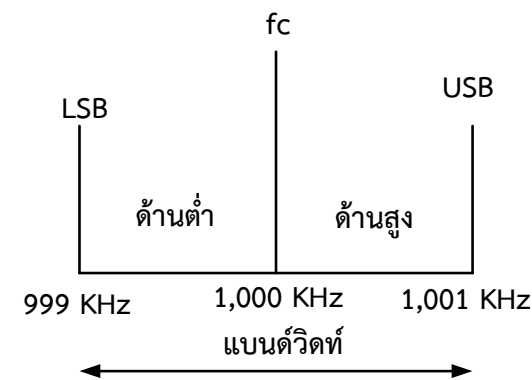
สุดท้ายจะเป็นภาคแหล่งจ่ายไฟ จะจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงตามขนาดแรงดันที่เหมาะสมไปยังภาคต่าง ๆ ของเครื่องส่ง

2.4.3 ไซด์แบนด์คลื่นวิทยุแบบ AM (AM Side Bands)

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างของคลื่นพาหะ (f_c) ที่มีความถี่เท่ากับ 1,000 Hz และความถี่เสียง (f_a) มีความถี่เท่ากับ 1 Hz

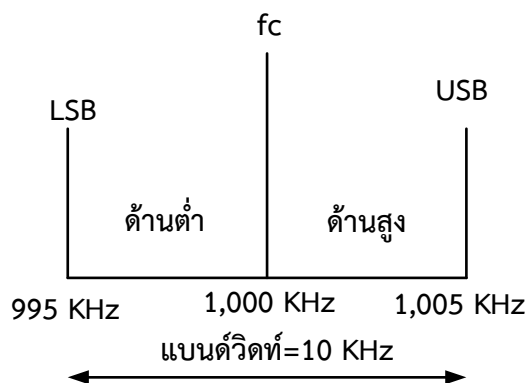
เมื่อทำการผสมคลื่นเข้าด้วยกันก็จะเกิดเป็นความถี่ต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.17 และสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ความถี่พาหะ (Carrier Frequency: f_c) = 1,000 Hz ซึ่งจะถูกเรียกว่าความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency)
2. ความถี่ทวีคูณของคลื่นพาหะ ($2f_c$) = 2,000 Hz ซึ่งจะถูกเรียกว่าความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2 (2^{nd} Harmonic Frequency)
3. ความถี่ผลบวกของคลื่นพาหะกับความถี่เสียง ($f_c + f_a$) = 1,000 Hz + 1 Hz = 1,001 Hz ซึ่งจะถูกเรียกว่าไซด์แบนด์ด้านสูง (Upper Side Band: USB)
4. ความถี่ผลต่างของคลื่นพาหะกับความถี่เสียง ($f_c - f_a$) = 1,000 Hz - 1 Hz = 999 Hz ซึ่งจะถูกเรียกว่าไซด์แบนด์ด้านต่ำ (Lower Side Band: LSB)



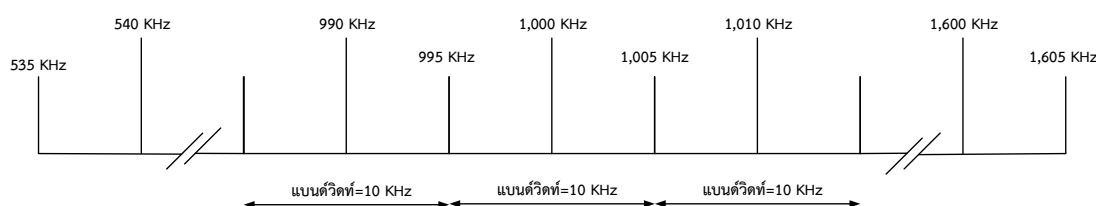
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างไซด์แบนด์คลื่นวิทยุแบบ AM

โดยที่สเปกตรัมความถี่ จะมีความถี่ที่ถูกส่งออกทั้งหมดครอบคลุมตั้งแต่ช่วงความถี่ของ 999 Hz ถึง 1,001 Hz ซึ่งค่าความกว้างนี้จะถูกเรียกว่าแบนด์วิดท์ (Bandwidth)



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างไซด์แบนด์การส่งคลื่นวิทยุระบบ AM

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



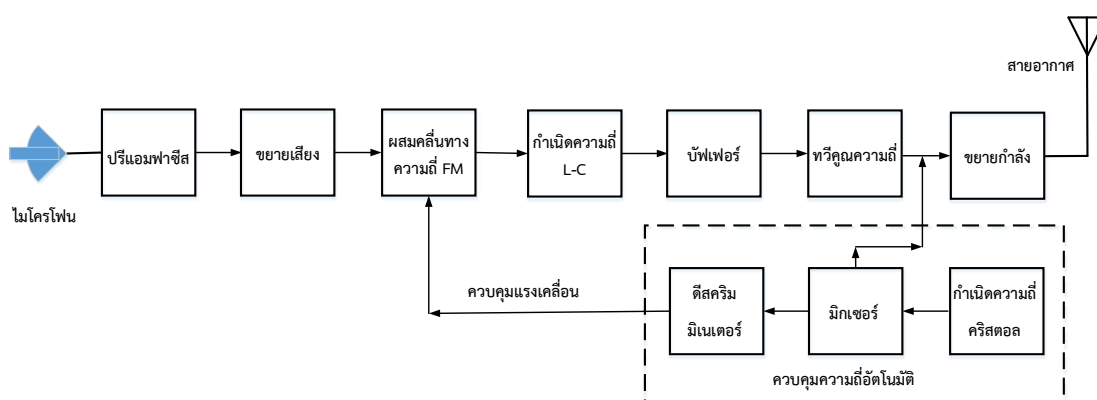
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างไซด์แบนด์การส่งคลื่นวิทยุกระจายเสียงในระบบ AM

โดยในการส่งวิทยุกระจายเสียงของระบบ AM ตามมาตรฐานของ FCC จะอยู่ในช่วงความถี่ 535 KHz ถึง 1,605 KHz ซึ่งสัญญาณเสียงนี้จะทำการผสมกับความถี่ของคลื่นพาหะซึ่งจะได้ความถี่สูงสุดอยู่ที่ 5 KHz ความถี่ของคลื่นพาหะของสถานีจะมีความถี่อยู่ที่ 540 KHz และในแต่ละสถานีจะมีช่วงความถี่ที่ห่างกันอยู่ที่ 10 KHz นั้นหมายถึงจะมีไซด์แบนด์อยู่ที่ สถานีละ 5 KHz สถานีสุดท้ายจะมีความถี่อยู่ที่ 1,600 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

เริ่มจากภาคปริแอมฟาซิส รับสัญญาณเสียงที่ผ่านไมโครโฟนมาแล้วก็จะถูกส่งเข้ามายัง ภาคปริแอมฟาซิส เพื่อทำหน้าที่ยกระดับความแรงของสัญญาณเสียงที่ความถี่สูงในขั้นแรกให้แรงเพิ่มมากขึ้น

ถัดมาเป็นภาคขยายสัญญาณเสียง จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงในขั้นที่ 2 ให้มีระดับความแรงที่เพิ่มมากขึ้นไปอีก โดยเป็นการขยายสัญญาณแบบไม่มีความผิดเพี้ยนอีกด้วย

ถัดมาเป็นภาคผสมคลื่นทางความถี่ จะทำหน้าที่รับสัญญาณเสียงเข้ามาเพื่อควบคุมให้ภาคผสมคลื่นคงคุณสมบัติการทำงานให้ค่าความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นหรือลดต่ำลงไปตามสัญญาณเสียงที่ส่งเข้ามาควบคุม

ถัดมาเป็นภาคกำเนิดความถี่แบบ LC จะทำหน้าที่รับค่าความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณเสียงของภาคผสมคลื่นเข้ามาเพื่อทำการควบคุมการสร้างความถี่ ของวงจรกำเนิดความถี่แบบ LC

ถัดมาเป็นภาคบัฟเฟอร์ จะทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่น FM มาจากภาคกำเนิดความถี่แบบ LC เพื่อมาทำการขยายความแรงของสัญญาณให้เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังทำหน้าที่ช่วยป้องกันสัญญาณรบกวนซึ่งกันและกัน

ถัดมาเป็นภาคทวีคูณความถี่ จะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความถี่ของสัญญาณคลื่น FM ให้มีความถี่ที่เพิ่มสูงขึ้นจนถึงย่านที่เหมาะสมของสถานี FM

ถัดมาเป็นภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณของความถี่ FM ที่มีกำลังลดต่ำลงให้มีกำลังที่สูงขึ้น จนเพียงพอสำหรับการส่งต่อเข้าไปยังสายอากาศด้านส่ง

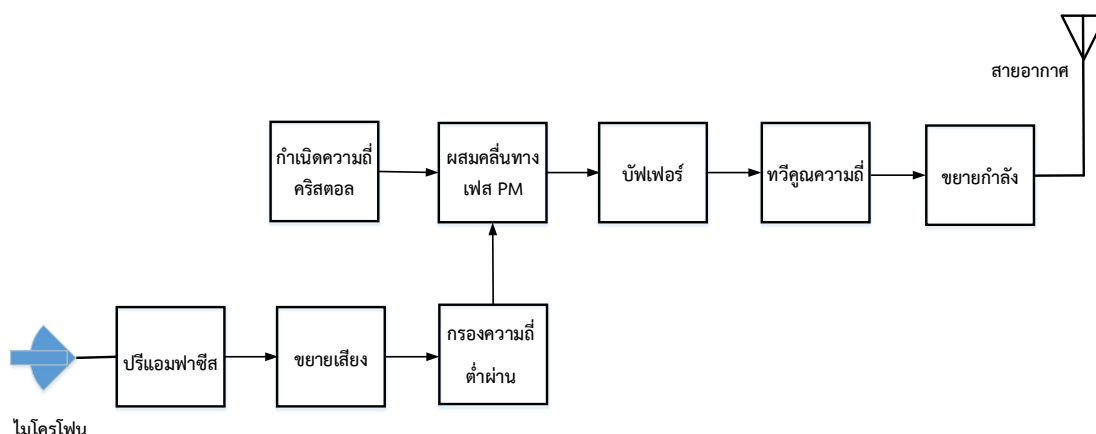
ถัดมาเป็นภาคควบคุมความถี่โดยอัตโนมัติ ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมศูนย์กลางของค่าความถี่ของวงจรกำเนิดความถี่ไว้ให้คงที่ตลอดเวลา

ถัดมาเป็นภาคกำเนิดความถี่คริสตอล จะทำหน้าที่สร้างความถี่วิทยุขึ้นมาโดยจะมีความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นพาหะของสถานี FM

ถัดมาเป็นภาคมิกเซอร์ จะทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นความถี่เข้ามา 2 สัญญาณคือ สัญญาณความถี่วิทยุ FM ที่ได้มาจากภาคทวีคูณความถี่และสัญญาณความถี่วิทยุที่ได้มาจากภาคกำเนิดความถี่คริสตอล แล้วนำ 2 สัญญาณนี้มาหักล้างซึ่งกันและกัน

ถัดมาเป็นภาคดีสคริมิเนเตอร์ จะทำหน้าที่รับความถี่ที่ได้จากการหักล้างกันจากภาคมิกเซอร์มาทำการแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

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



รูปที่ 2.21 ระบบเครื่องส่งแบบ FM ทางอ้อม

เริ่มจากภาคปรีแอมฟายซิส จะทำหน้าที่ยกระดับความแรงของสัญญาณเสียงที่ความถี่สูงในขั้นแรกให้แรงเพิ่มมากขึ้น

ถัดมาเป็นภาคขยายสัญญาณเสียง จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงในขั้นที่ 2 ให้มีระดับความแรงที่เพิ่มมากขึ้นไปอีก โดยเป็นการขยายสัญญาณแบบไม่มีความผิดเพี้ยนอีกด้วย

ถัดมาเป็นภาครองความถี่ต่ำผ่าน จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณเสียงให้เลื่อนเฟสไป 90 องศา แล้วส่งต่อเข้าไปยังภาคผสมคลื่นทางเฟส

ถัดไปเป็นภาคกำเนิดความถี่คริสตอล จะทำหน้าที่สร้างความถี่ของคลื่นพาหะขึ้นมา โดยจะมีความถี่ที่คงที่ค่าใดค่าหนึ่ง แล้วส่งต่อเข้าไปยังภาคผสมคลื่นทางเฟส

ถัดมาเป็นภาคผสมคลื่นทางเฟส จะทำหน้าที่ในการผสมคลื่นระหว่างสัญญาณเสียงที่ผ่านภาครองความถี่ต่ำผ่านกับสัญญาณความถี่ของคลื่นพาหะ

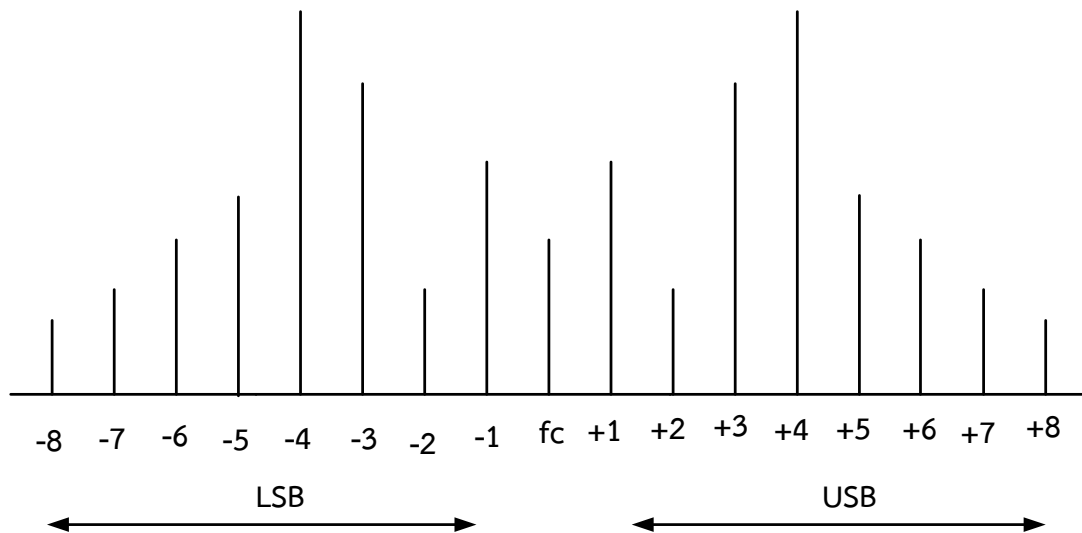
ถัดมาเป็นภาคบัฟเฟอร์ จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่ FM ที่ได้จากภาคผสมคลื่นทางเฟส เพื่อทำให้มีระดับความแรงที่เพิ่มมากขึ้น

ถัดมาเป็นภาคทวีคูณความถี่ จะทำหน้าที่เพิ่มความถี่ของสัญญาณ FM เพื่อให้มีค่าความถี่ที่เพิ่มสูงขึ้นจนเหมาะสมกับย่านของสถานี FM

สุดท้ายภาคขยายกำลังความถี่วิทยุ จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณของความถี่ FM ที่มีกำลังลดต่ำลงให้มีกำลังที่สูงขึ้น จนเพียงพอสำหรับการส่งต่อเข้าไปยังสายอากาศด้านส่ง

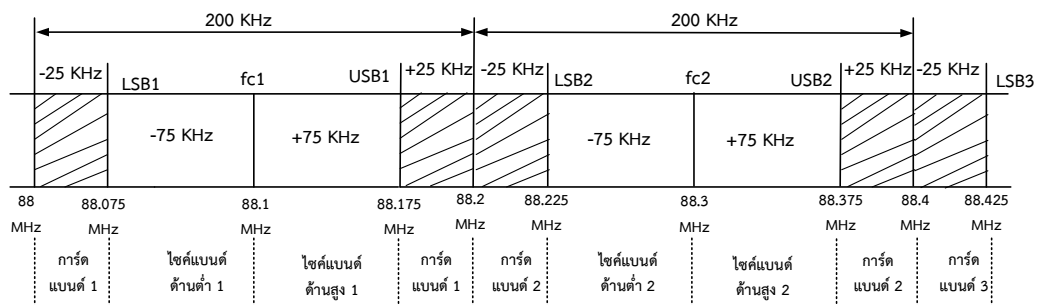
2.4.5 ไซด์แบนด์วิทยุ FM (FM Side Bands)

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 ($200 \text{ KHz} - 150 \text{ KHz} = 50 \text{ KHz}$) จะมีค่า 25 KHz รวมด้านสูงและด้านต่ำเพื่อใช้ในการป้องกันสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อนกันของแต่ละสถานี แสดงได้ดังรูปที่ 2.23



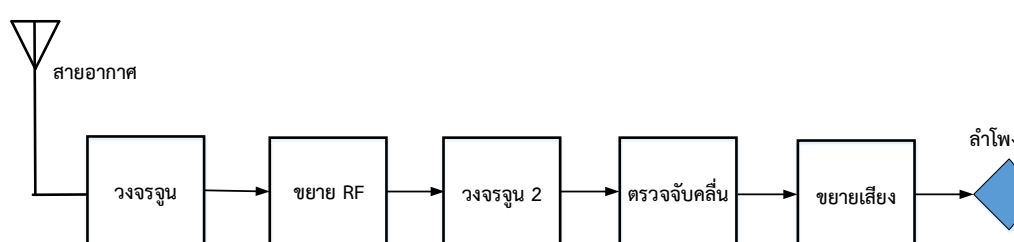
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างไซด์แบนด์การส่งคลื่นวิทยุกระจายเสียงในระบบ FM

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

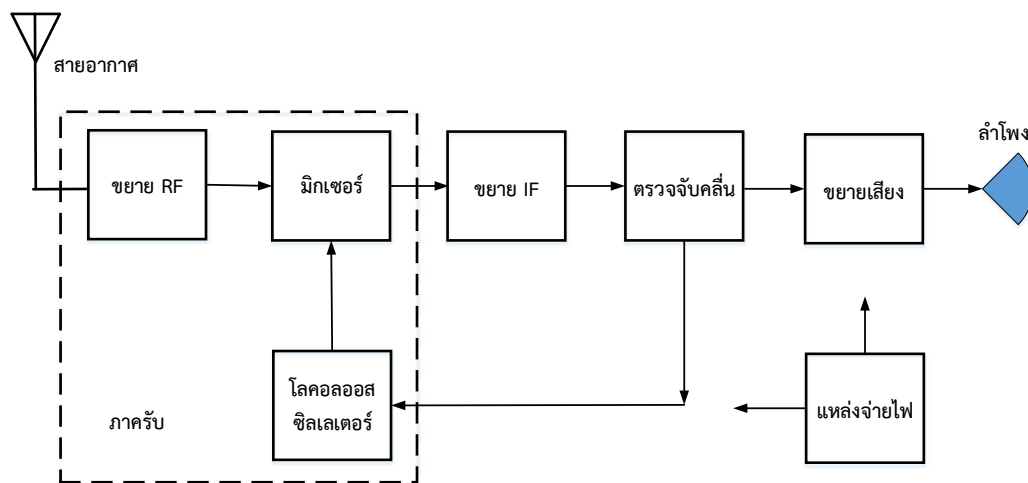


รูปที่ 2.24 ระบบเครื่องรับวิทยุ AM แบบจูนความถี่วิทยุ TRF

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 แบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ โดยเครื่องรับวิทยุ FM นั้น มีการพัฒนามาจากอดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อลดปัญหาในการรับสัญญาณด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะเครื่องรับวิทยุ FM แบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.25 และสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้



รูปที่ 2.25 ระบบเครื่องรับวิทยุ FM แบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์

เริ่มจากสายอากาศ จะทำหน้าที่ รับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ปล่อยออกมาจากทุกสถานี

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

ถัดมาเป็นภาคมิกเซอร์ จะทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเข้ามาทั้งสัญญาณที่ได้จากภาคขยาย RF และสัญญาณ OSC ที่ได้จากภาคโลคอลลออสซิลเลเตอร์ เพื่อที่จะทำการผสมสัญญาณนั้นส่งออกไปยังเอาต์พุตต่อไป

ถัดมาเป็นภาคโลคอลลออสซิลเลเตอร์ จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณความถี่ที่มีระดับความแรงคงที่ขึ้นมา โดยจะเป็นความถี่ที่สูงกว่าความถี่ที่วงจรขยาย RF รับเข้ามาซึ่งจะเท่ากับความถี่ IF คือ 10.7 MHz

ถัดมาเป็นภาคขยาย IF จะทำหน้าที่ขยายความถี่ปานกลางที่เกิดจากผลการหักล้างของสัญญาณภาคโลคอลลออสซิลเลเตอร์กับภาคขยาย RF

ถัดมาเป็นภาคตรวจจับคลื่น จะทำหน้าที่แยกสัญญาณเสียงออกจากความถี่ IF ที่เกิดจากการผสมสัญญาณเสียงกับสัญญาณของคลื่นพาหะ ให้เหลือเฉพาะสัญญาณคลื่นความถี่เสียงที่ต้องการ

ถัดมาเป็นภาคขยายเสียง จะทำหน้าที่ขยายเสียงที่ได้รับมาจากภาคตรวจจับคลื่น ให้มีระดับความแรงที่เพิ่มมากขึ้นที่มีความชัดเจนไม่ผิดเพี้ยน เพื่อที่จะได้ส่งต่อไปยังลำโพงให้ปล่อยสัญญาณเสียงนั้นออกมา

สุดท้ายเป็นภาคจ่ายกำลังไฟ จะทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟกระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรของเครื่องรับวิทยุ FM ทั้งหมด โดยจะประกอบด้วยวงจรเรกกูเลเตอร์ในการควบคุมแรงดันไฟกระแสตรงให้คงที่เพื่อให้คุณภาพการทำงานของอุปกรณ์เครื่องรับวิทยุมีประสิทธิภาพ

2.6 สรุป

การสื่อสารทางไกลในช่วงแรก ๆ ที่มีการพัฒนาขึ้นมาจะเป็นการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุที่ส่งผ่านไปสู่อากาศและชั้นบรรยากาศด้วยการนำสัญญาณเสียงผสมรวมกับคลื่นพาหะ เพื่อให้สัญญาณเดินทางผ่านอากาศออกไปได้ไกลขึ้น ซึ่งแบ่งการผสมคลื่นออกเป็น 3 แบบ คือการผสมคลื่นทางขนาด การผสมคลื่นทางความถี่ และการผสมคลื่นทางเฟส ซึ่งเครื่องรับวิทยุก็จะมี การรับสัญญาณที่ผสมแล้วแตกต่างกันไป โดยเครื่องรับวิทยุแบบ AM จะรับสัญญาณที่มีการผสมคลื่นทางขนาด เครื่องรับวิทยุแบบ FM จะรับสัญญาณที่มีการผสมคลื่นทางความถี่ ซึ่งต้องผ่านภาคการทำงานอีกหลาย ๆ ภาคการทำงาน จึงจะได้สัญญาณเสียงที่ชัดเจนขึ้น แต่เครื่องรับวิทยุนี้ จะสามารถรับฟังได้เฉพาะเสียงเพียงเท่านั้น 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://kromcholid.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. พันธศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, เครื่องรับวิทยุ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2566.
5. พันคำ ช่อวงศ์, เครื่องส่งวิทยุ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2562.
6. สายัญต์ ชื่นอารมย์, เครื่องส่งวิทยุ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2562.
7. อนงค์ลักษณ์ อาจมั่งกร, 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. ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง, สู่โลกไฟฟ้าสื่อสาร, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ สมาร์ตเลิร์นนิ่ง, 2555.

บทที่ 3

ระบบโทรทัศน์และกล้องวงจรปิด

จากการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุกระจายเสียงที่ทำให้สามารถรับฟังข้อมูลข่าวสารที่เป็นเสียงได้เพียงอย่างเดียว ทำให้มีการพัฒนาระบบอุปกรณ์ที่สามารถรับส่งข้อมูลข่าวสารที่เป็นได้ทั้งภาพและเสียงพร้อม ๆ กัน จึงได้เกิดเป็นระบบโทรทัศน์ขึ้นมา (ระบบโทรทัศน์วงจรเปิด)

โทรทัศน์ (Television: TV) เป็นการส่งและรับภาพกับเสียงได้พร้อม ๆ กัน โดยอาศัยเครื่องส่งและเครื่องรับ ซึ่งออกอากาศกระจายสัญญาณด้วยความถี่ของคลื่นวิทยุที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแปลงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งออกจากเครื่องส่งสัญญาณไปตามอากาศออกไปยังเครื่องรับสัญญาณที่อยู่ห่างไกล หรือจะใช้วิธีการส่งและรับด้วยสายเคเบิลนำสัญญาณก็ได้

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

1. ระบบ NTSC จะนิยมใช้กันในประเทศอเมริกา ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน เป็นต้น
2. ระบบ PAL จะนิยมใช้ในทวีปยุโรป ฮองกง ออสเตรเลีย สิงคโปร์และประเทศไทย 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 นั้นเป็นช่วงความถี่ต่ำจึงไม่ถูกนำมาใช้เพื่อออกอากาศ และจะเริ่มออกอากาศตั้งแต่ช่องที่ 2 เป็นต้นไป โดยความถี่ที่ใช้ออกอากาศนั้นจะอยู่ที่ช่วงความถี่ 48-300 MHz ซึ่งเป็นระบบที่สามารถแพร่ภาพออกไปได้ไกลและมีความชัดเจน

2. ระบบย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency: UHF) เป็นระบบที่แบ่งช่วงสัญญาณของคลื่นได้ตั้งแต่ 14-83 ช่อง รวมมีจำนวนทั้งหมดเป็น 70 ช่อง ซึ่งจะใช้ช่วงคลื่นตั้งแต่ความถี่ 300-3,000 MHz โดยจะนำไปใช้เพื่อการศึกษาทางไกล ซึ่งหากมีสิ่งกีดขวางเข้ามาปิดกั้นสัญญาณแล้ว คุณภาพของภาพที่รับได้นั้นจะไม่ค่อยชัดเจนมากนัก

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

4. ระบบย่านไอทีเอฟเอส (Instructional Television Fixed Service: ITFS) โดยจะเป็นการส่งภาพระหว่างสถานีต่อสถานี โดยใช้ความถี่ไมโครเวฟในช่วงความถี่ 2,500-2,560 MHz เพื่อนำไปใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น โดยจะทำการส่งสัญญาณภาพไปในทางเดียวแต่จะส่งสัญญาณเสียงออกไปเป็น 2 ทาง ส่งไปยังเครื่องรับของแต่ละโรงเรียน

5. ระบบย่านความถี่สูงสุด (Super High Frequency: SHF) จะเป็นระบบโทรทัศน์ที่ส่งสัญญาณภาพด้วยความถี่ที่สูงมาก โดยจะอยู่ในช่วงความถี่ 4,000-6,000 MHz ซึ่งจะส่งกระจายสัญญาณภาพมาจากสถานีออกอากาศบนดาวเทียม ซึ่งจะส่งสัญญาณโดยตรงไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ โดยที่เครื่องรับโทรทัศน์นั้นจะแปลงสัญญาณจาก SHF ลงมาเป็นย่าน VHF หรือย่าน UHF เพื่อให้เครื่องรับโทรทัศน์สามารถแสดงภาพได้ตามปกติ

6. ระบบโทรทัศน์ดิจิทัล (Digital Television) จะเป็นการส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบใหม่ด้วยระบบดิจิทัล โดยระบบดิจิทัลนี้จะมีจุดเด่นกว่าระบบอนาล็อกแบบเดิม ซึ่งจะมีคุณภาพของภาพและเสียงที่ต่ำกว่ามาก 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 เป็นช่องช่อง 3 ที่ช่องความถี่ 174-181 MHz เป็นช่องช่อง 5 เป็นต้น

3.1.2 การส่งสัญญาณเสียง สามารถทำได้ด้วยการใช้ไมโครโฟนซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะมีช่วงความถี่ที่แตกต่างกันไปคือ ระดับเสียงสูง เสียงต่ำ โดยที่ค่าความถี่จะอยู่ในช่วง 20-20,000 Hz จากนั้นทำการขยายสัญญาณให้มีกำลังแรงขึ้น แล้วจึงนำไปผสมกับความถี่ของคลื่นวิทยุในระบบ FM เพื่อส่งแพร่กระจายออกอากาศต่อไป

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

3.2 การส่งภาพระบบโทรทัศน์สี

สำหรับการมองเห็นภาพและสีต่าง ๆ ด้วยตาของมนุษย์นั้น สามารถที่จะแยกการรับสีของสายตามนุษย์ ด้วยจอประสาทตาที่อยู่ 3 ลักษณะคือ

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

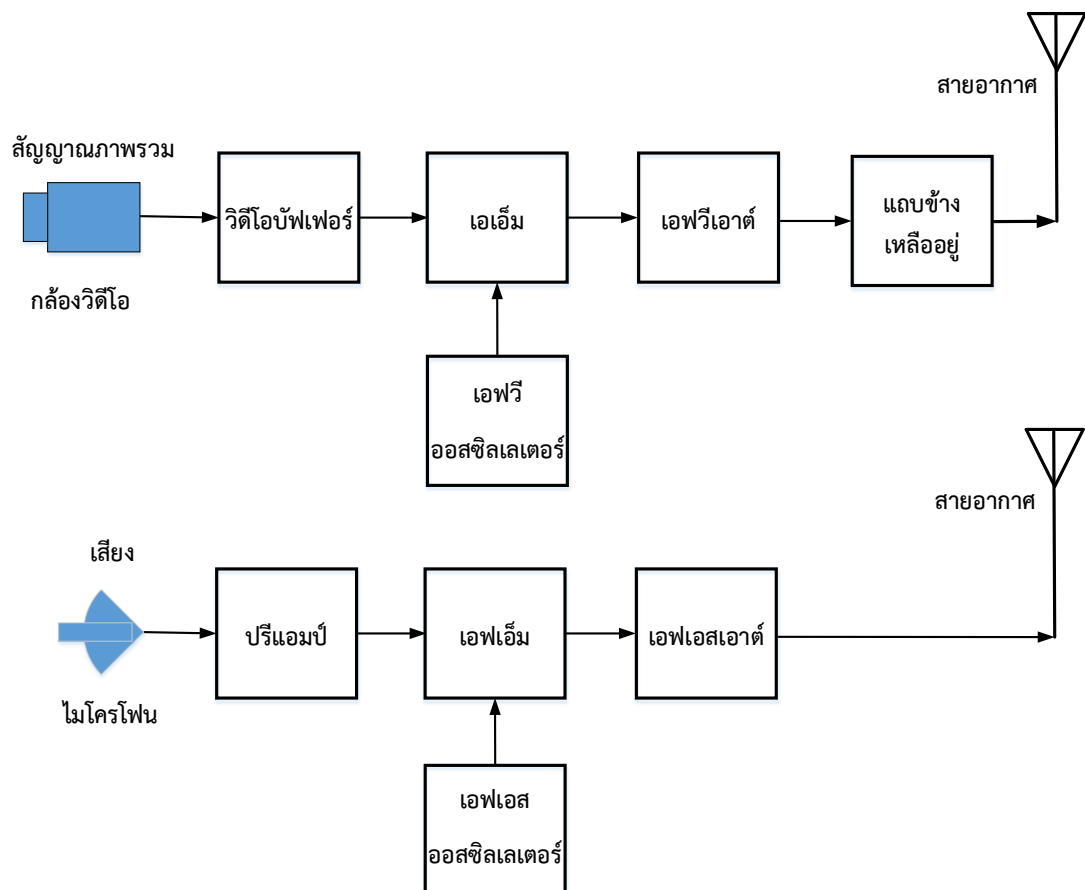
ในการได้รับแสงสีม่วง ประสาทตาที่ไวต่อแสงสีแดงกับสีน้ำเงินก็จะรับรู้ได้พร้อม ๆ กันว่าเป็นแสงสีแดงและสีน้ำเงินผสมรวมกันเข้ามา ซึ่งก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนของสมอง สมองก็จะรับรู้ว่าเป็นการผสมรวมกันของแสงสีแดงและสีน้ำเงินและรับรู้ได้ว่าเป็นแสงสีม่วง

และหากได้รับแสงสีเหลือง ประสาทตาที่ไวต่อแสงสีแดงกับสีเขียวก็จะรับรู้พร้อม ๆ กันว่าเป็นแสงสีแดงและสีเขียวผสมรวมกันเข้ามา ซึ่งก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนของสมอง สมองก็จะรับรู้ว่าเป็นการผสมกันของแสงสีแดงและสีเขียวและรับรู้ได้ว่าเป็นแสงสีเหลืองนั่นเอง

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

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

3.3 หลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี



รูปที่ 3.1 หลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สี

โดยหลักการส่งสัญญาณโทรทัศน์สีสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และสามารถอธิบายได้ดังนี้

โดยจะเริ่มจากกล้องวิดีโอ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณภาพทางแสงให้เป็นสัญญาณภาพทางไฟฟ้า

ภาควิดีโอแอมป์เฟอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายแรงดันของสัญญาณภาพรวม ทำให้มีแรงดันเพิ่มสูงขึ้นก่อนส่งไปยังภาคเอเอ็ม

ภาคเอฟวีเอสซิลเลเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ตามความถี่ที่ต้องการ กลายเป็นสัญญาณพาหะภาพหรือสัญญาณเอฟวี-เอสแล้วส่งต่อไปยังภาคเอเอ็ม

ภาคเอเอ็ม ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนค่าแอมพลิจูดของสัญญาณเอฟวี-เอส โดยจะแปรเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของสัญญาณภาพรวม ได้เป็นสัญญาณเอฟวี

ภาคเอฟวีเอตต์ ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายกำลังของสัญญาณเอฟวี เพื่อให้มีกำลังที่เพิ่มสูงขึ้นส่งต่อไปยังภาคเวสติเจียลไซด์แบนด์

ภาคเวสติเจียลไซด์แบนด์ ซึ่งจะทำหน้าที่กรองสัญญาณโดยจะยอมให้แถบข้างบนในช่วงความถี่ 0-5 MHz ผ่านได้ และสัญญาณแถบข้างล่างในช่วงความถี่ 0 - (- 0.75) MHz ผ่านได้ แต่สัญญาณแถบข้างล่าง ตั้งแต่ช่วงความถี่ (- 0.75) - (- 1.25) MHz จะถูกลดระดับความแรงของสัญญาณลงให้เหลือเป็นศูนย์

สายอากาศ ซึ่งจะทำหน้าที่ เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าของสัญญาณเอฟวีให้กลายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งแพร่กระจายออกไปในอากาศ

ภาคปริแอมป์ ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายแรงดันของสัญญาณเสียงเพื่อให้มีระดับแรงดันที่เพิ่มสูงขึ้น ก่อนส่งต่อไปยังภาคเอฟเอ็ม

ภาคเอฟเอสเอสซิลเลเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์ตามความถี่ที่ต้องการ กลายเป็นสัญญาณพาหะเสียงหรือสัญญาณเอฟเอส-เอสเพื่อนำส่งต่อไปยังภาคเอฟเอ็ม

ภาคเอฟเอ็ม ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงความถี่สัญญาณเอฟเอส-เอส แปรเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของสัญญาณเสียง กลายเป็นสัญญาณเอฟเอส ± 50 KHz

ภาคเอฟเอสเอตต์ จะทำหน้าที่ในการขยายกำลังของสัญญาณเอฟเอส ± 50 KHz ให้มีกำลังที่เพิ่มสูงขึ้น ก่อนส่งออกไปยังสายอากาศ

และสายอากาศ ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเอฟเอสให้กลายเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกไปในอากาศ

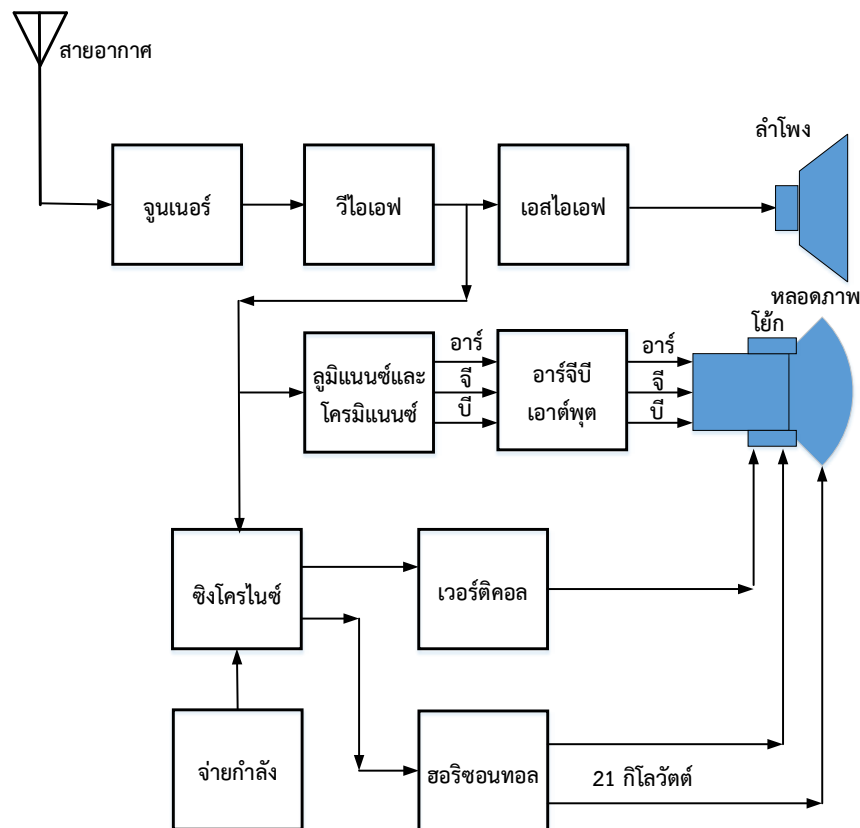
3.4 หลักการรับสัญญาณโทรทัศน์

โดยหลักการรับสัญญาณโทรทัศน์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 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 $\pm$ 50 MHz



รูปที่ 3.2 หลักการรับสัญญาณโทรทัศน์

ภาคเอสไอเอฟ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการกรองสัญญาณเอสไอเอฟ 5.5 MHz $\pm$ 50 KHz ผ่าน และทำการดีมอดูเลตแบบ FM ได้เป็นสัญญาณเสียงและขยายสัญญาณนั้นให้มีกำลังเพิ่มสูงขึ้นก่อนนำส่งต่อออกลำโพงให้ได้ยินเป็นเสียง

ภาคซิงโครไนซ์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการตัดสัญญาณซิงค์รวมออกจากสัญญาณภาพรวม โดยสัญญาณซิงค์รวม ประกอบด้วยสัญญาณฮอว์-ซิงค์ (สัญญาณแนวนอน) และสัญญาณเวอร์-ซิงค์ (สัญญาณแนวตั้ง) และสัญญาณอิกวไลซิงค์

ภาคฮอริซอนทอล ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณฮอริซอนทอลที่มีความถี่และเฟสที่ถูกต้อง ตรงตามสัญญาณฮอว์-ซิงค์และทำการขยายให้มีกำลังเพิ่มสูงขึ้น

ภาคเวอร์ติคอลล ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณเวอร์ติคอลลที่มีความถี่และเฟสที่ถูกต้อง ตรงตามสัญญาณเวอร์ติคอลลทริกเพิลส์และทำการขยายให้มีกำลังเพิ่มสูงขึ้น

ภาคจ่ายกำลัง ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันและกระแสไฟฟ้าคงที่ เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจร

ภาคลูมิแนนซ์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการขยายแรงดันของสัญญาณวายให้เพิ่มสูงขึ้น และเติมสัญญาณเวอร์-แบล็กกิง และฮอร์-แบล็กกิง ลงในสัญญาณวาย

ภาคโครมิแนนซ์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแยกสัญญาณอาร์-วาย กับบี-วาย ออกจากสัญญาณโครมิแนนซ์

ภาคอาร์จีบีเอ๊าต์พุต ซึ่งจะทำหน้าที่ในการขยายแรงดันของสัญญาณอาร์ จี และบี ให้มีแรงดันเพิ่มสูงขึ้น ก่อนส่งต่อไปยังขาแคโทดของหลอดภาพ

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

3.5 โทรทัศน์ทางสาย

ระบบโทรทัศน์ที่มีการส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณประเภทต่าง ๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

3.5.1 ซีซีทีวี (Close-Circuit Television: CCTV) จะเป็นโทรทัศน์ที่ส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณประเภทโคแอกเชียลในระยะสั้น ๆ ไม่ไกลมากนัก เพื่อใช้ทางการศึกษาหรือทางการแพทย์ โดยในปัจจุบันจะนำไปใช้ในด้านการรักษาความปลอดภัยในสถานที่ต่าง ๆ

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

3.5.3 เคเบิลโทรทัศน์ (Cable Television: Cable TV) โดยจะนำมาใช้เพื่อการบันเทิงและทางการค้า ใช้การส่งสัญญาณผ่านสายโคแอกเชียลในระยะทางที่ห่างไกลไปตามเส้นทางทั่วทั้งเขตชุมชนและตัวเมือง ซึ่งจะมีค่าบริการจากการรับสัญญาณไปชมด้วย

3.6 โทรทัศน์ผ่านไมโครเวฟและดาวเทียม

จากการนำระบบโทรทัศน์ที่แพร่กระจายสัญญาณด้วยคลื่นวิทยุและผ่านสายนำสัญญาณนั้น ก็ยังมีข้อจำกัดสำหรับการรับสัญญาณในพื้นที่ห่างไกลและทุรกันดาร จึงมีการนำระบบโทรทัศน์ผ่านไมโครเวฟและดาวเทียมมาใช้งานดังนี้

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

3.6.2 โทรทัศน์ผ่านดาวเทียม จะเป็นการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม 3 ดวง ที่โคจรรอบโลก ซึ่งเพียงพอที่จะสามารถส่งสัญญาณกระจายออกไปได้ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ทั่วทั้งโลก โดยที่จะต้องมีการรับสัญญาณขนาดใหญ่มาก เพราะวาระยะทางจากดาวเทียมมายังพื้นโลกมีระยะทางที่ไกลมากเช่นกัน โดยวิธีนี้จะนำมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหามาจากการส่งด้วยระบบไมโครเวฟนั่นเอง

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 มาใช้เป็นระบบแพลง ซึ่งเป็นรายการที่ส่งสัญญาณภาพสี แพร่กระจายสัญญาณออกอากาศเฉพาะกรุงเทพฯ และปริมณฑลใกล้ ๆ โดยต่อมาสถานีโทรทัศน์ทุกสถานีจึงเปลี่ยนมาใช้ระบบแพลงทั้งหมด แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ประเทศไทยมีสถานีแม่ 6 สถานี ระบบแพลง ปี 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 ในรูปแบบของอินเทอร์เน็ตโปรโตคอล สามารถส่งสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ของทวีปเอเชียและแปซิฟิก

3.8 ระบบกล้องวงจรปิด

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

3.8.1 ประเภทของกล้องวงจรปิด

ในปัจจุบันระบบกล้องวงจรปิดนั้นได้มีการพัฒนาไปมาก ซึ่งพัฒนาจากระบบกล้องวงจรปิดที่แสดงภาพแบบขาวดำมาเป็นกล้องวงจรปิดที่แสดงภาพสีได้ ทั้งยังมีระบบกล้องวงจรปิดแบบดิจิทัลที่ให้สัญญาณภาพที่มีความละเอียดสูงมาก อีกทั้งในส่วนของการบันทึกและอุปกรณ์ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่รองรับกับระบบก็มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน โดยที่กล้องวงจรปิดนั้นจะมีลักษณะและการใช้งานต่าง ๆ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. กล้องวงจรปิดแบ่งตามประเภท

1.1 แบ่งตามประเภทการแสดงผลของกล้อง

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 สายโคแอกเชียล

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 ซึ่งภาพที่แสดงออกมาจาก

กล้องจับความร้อนนั้นจะเห็นเพียงรูปร่างเค้าโครงเท่านั้นไม่สามารถเห็นรายละเอียดของวัตถุนั้นได้ 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 กล้องที่มีรูปร่างเลียนแบบอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น กล้องที่มีรูปร่างคล้ายกับอุปกรณ์ตรวจจับควันหรือเหมือนป้ายทางออก ทำมาในรูปร่างของนาฬิกาหรือโคมไฟ เป็นต้น

1.7 แบ่งตามประเภทรูปร่างลักษณะของกล้อง

1.7.1 กล้องทรงกระบอก แสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กล้องทรงกระบอก

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 กล้องวงจรปิดแบบหมุนปรับมุมและควบคุมได้ ซึ่งกล้องวงจรปิดชนิดนี้สามารถหมุนปรับทิศทางซ้าย-ขวา ก้ม-เงยและซูมภาพเข้า-ออกได้ ด้วยเครื่องควบคุม ซึ่งในปัจจุบันมีการติดตั้งใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กล้องวงจรปิดแบบหมุนปรับมุมและควบคุมได้

3.8.2 คุณสมบัติของกล้องวงจรปิดที่ดีและเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในปัจจุบัน มีดังนี้

1. ให้ความคมชัดของภาพสูง สามารถจับได้ทั้งภาพนิ่งและภาพที่มีการเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็ว
2. สามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้ทุกสภาพแสง เนื่องจากการใช้งานตลอดเวลา 24 ชั่วโมง

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

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

4. ไดนามิกเรนจ์ (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. ระบบเอเอชดี (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 เครื่องบันทึกภาพกล่องวงจรปิดแบบ DVR นี้ยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1.1 เครื่องบันทึกภาพระบบดิจิทัลสำเร็จรูป จะออกแบบมาเพื่อบันทึกภาพที่ได้จากกล่องวงจรปิดมาเก็บลงไว้ในฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเครื่องบันทึกภาพกล่องวงจรปิดแบบสำเร็จรูปนี้จะมีแบบที่สามารถต่อกล่องวงจรปิดได้จำนวนสูงสุด 4 กล้อง 8 กล้อง และ 16 กล้อง แสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เครื่องบันทึกภาพระบบดิจิทัลสำเร็จรูป

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

2. ไฮบริดดีไฮเอชอาร์ (Hybrid DVR) จะเป็นเครื่องบันทึกที่สามารถทำการบันทึกข้อมูลได้ทั้งระบบที่เป็นแบบ Analog และแบบ IP

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

3.8.5 กล่องครอบกล่องวงจรปิด

กล่องครอบกล่องวงจรปิด (Housing) จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันตัวกล้องและตัวเลนส์จากแสงแดดและหยดน้ำรวมถึงไอน้ำ ไอน้ำมันด้วย ซึ่งจะช่วยในการทำให้ตัวกล้องและเลนส์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากยิ่งขึ้นและยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของตัวกล้องและเลนส์ได้อีกด้วย แสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 กล้องวงจรปิด

3.8.6 สายสัญญาณอาร์จีซี (RG-6)

สายอาร์จีซี (RG-6) จะเป็นสายที่ใช้สำหรับนำสัญญาณภาพของระบบเคเบิลโทรทัศน์ ดาวเทียมหรือระบบ Audio/Video โดยที่สาย RG-6 ที่จะมีคุณภาพสูงนั้นจะต้องมีชีลด์ป้องกัน สัญญาณสูงระดับ 95% โดยถ้าหากนำสายที่มีคุณภาพต่ำหรือมีค่าการซิดในระดับ 60-80% มาใช้งาน ก็อาจทำให้คุณภาพของภาพจากกล้องวงจรปิดออกมาไม่ดีได้ ซึ่งสาย RG-6 จะมีชีลด์ที่ทำจาก อลูมิเนียมหรือทำจากทองแดง โดยสายที่มีชีลด์ทำจากอะลูมิเนียมจะใช้ในการเดินสายไกลได้ไม่เกิน 400 เมตร ส่วนสายที่มีชีลด์ทำจากทองแดงจะใช้ในการเดินสายในระยะไกลได้ประมาณ 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 เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อสายนำสัญญาณกับตัวกล้อง และเครื่องบันทึก DVR โดยจะใช้ในการต่อกับส่วนปลายของสายนำสัญญาณทั้ง 2 ข้าง ซึ่งหัวต่อที่ได้รับความนิยมนำมาใช้งาน ได้แก่ BNC, F-Type, F-Type Coupling, BNC to RCA เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 3.12



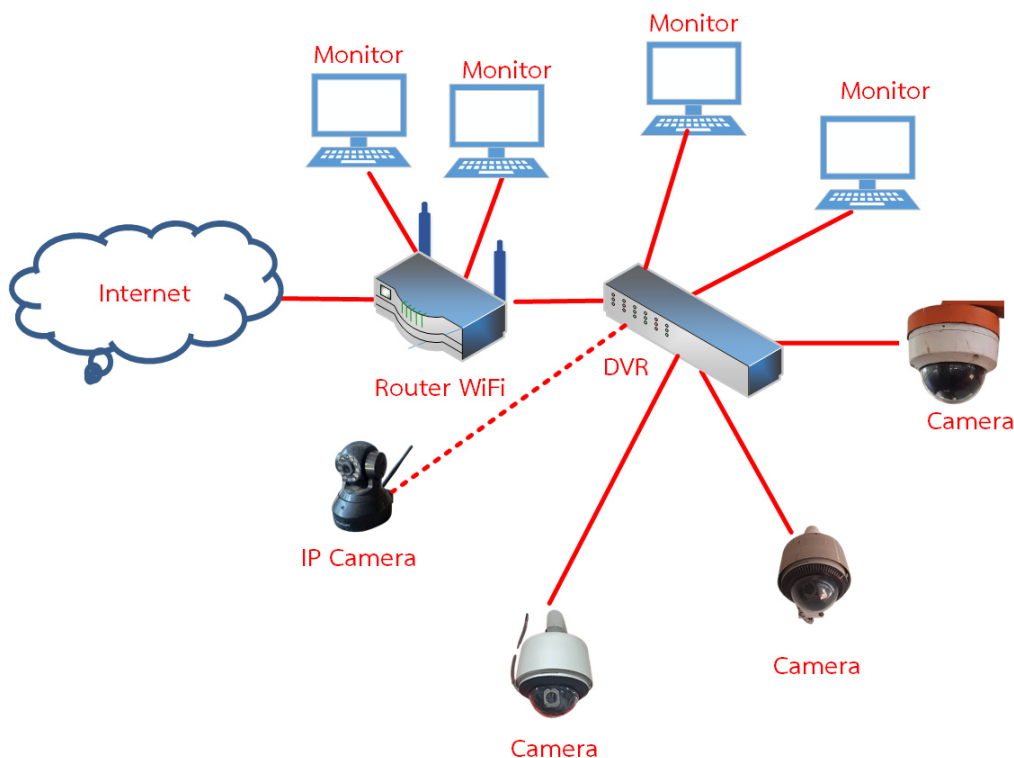
รูปที่ 3.12 หัวต่อแบบต่าง ๆ

2. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Converter) จะเป็นอุปกรณ์ที่จะช่วยในการแปลงสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณแบบต่าง ๆ โดยจะช่วยให้สัญญาณที่ได้จากกล้องวงจรปิดส่งไปได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ

โดยสามารถเขียนไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของการต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ กล้องวงจรปิด แสดงได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ไดอะแกรมความสัมพันธ์ในระบบกล้องวงจรปิด

3.9 สรุป

ระบบโทรทัศน์วงจรปิด (TV) เป็นการสื่อสารในยุคต่อจากระบบวิทยุ โดยระบบโทรทัศน์นั้นจะสามารถได้ยินทั้งเสียงและได้เห็นภาพ ทำให้เกิดความสมจริงของเรื่องราวหรือเหตุการณ์ที่ถ่ายทอดออกมา โดยยังคงใช้หลักการส่งผ่านสัญญาณเสียงและสัญญาณภาพมาที่คลื่นพาหะ ด้วยการผสมคลื่นเหมือนกับในระบบวิทยุ ซึ่งในอดีตยังคงให้ภาพที่เป็นเพียงขาวดำเท่านั้น และพัฒนามาเป็นภาพสี และพัฒนาต่อมาเป็นภาพสีที่คมชัดมากยิ่งขึ้นในปัจจุบัน ส่วนระบบโทรทัศน์วงจรปิด (CCTV) หรือกล้องวงจรปิดนั้นก็ได้พัฒนาให้เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะด้านในเรื่องของการดูแลความปลอดภัย มีการพัฒนาคุณภาพของกล้องที่ใช้บันทึกภาพและเสียงที่มีความคมชัดและสามารถใช้งานได้ทั้งกลางวันและกลางคืน มีระบบการส่งผ่านข้อมูลต่าง ๆ จากการนำสัญญาณมาเป็นการส่งข้อมูลผ่านสัญญาณคลื่นความถี่ไร้สายที่ได้มีการพัฒนาให้ทันกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ โดยการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่รับส่งสัญญาณผ่านอากาศของระบบวิทยุ โทรทัศน์และกล้องวงจรปิดนั้น จะมีอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ส่งและรับคลื่นความถี่นั้นก็คือนำอากาศ 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 จงอธิบายเกี่ยวกับระบบกล่องวงจรปิด
- ข้อ 8 จงอธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีของกล่องวงจรปิดแบบมีสาย
- ข้อ 9 จงอธิบายเกี่ยวกับ Dynamic Range
- ข้อ 10 จงอธิบายถึงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบกล่องวงจรปิด

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://kromcholarid.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 โพธิ์วงศ์ และอนุสรณ์ เรียงสา, เครื่องรับโทรทัศน์, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2555.
9. บุญชัย เนติศักดิ์, ทฤษฎีและปฏิบัติ เครื่องรับโทรทัศน์ เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2556.
10. ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, สู่โลกไฟฟ้าสื่อสาร, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2555.

บทที่ 4

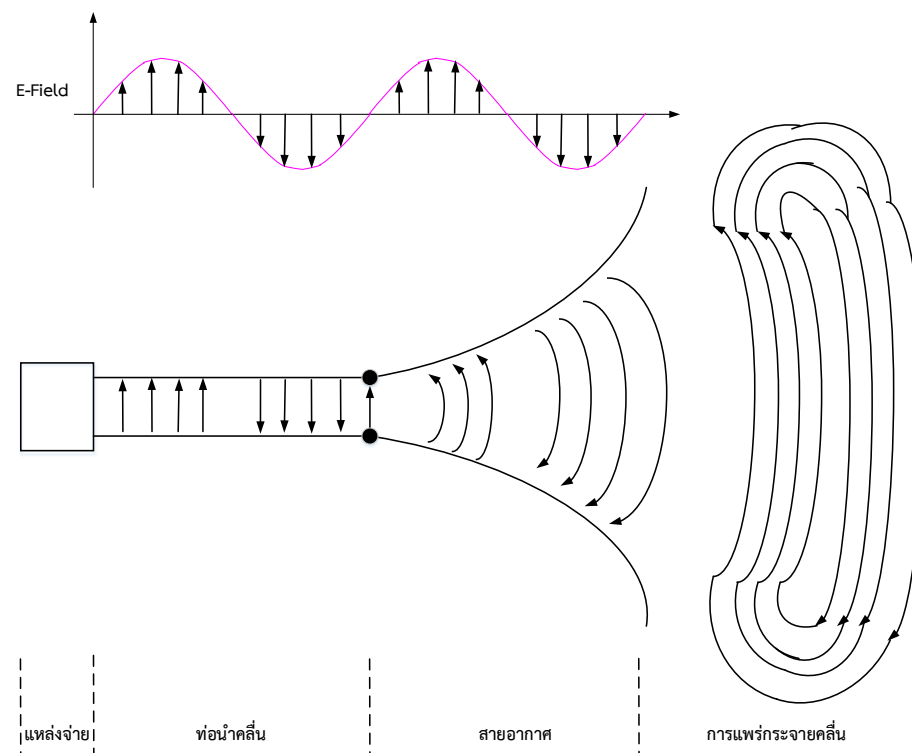
สายอากาศ

อุปกรณ์สำคัญสำหรับการส่งและรับคลื่นความถี่นั้นก็คือสายอากาศ โดยสายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเพื่อที่จะส่งและรับสัญญาณคลื่นความถี่ในรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปในอากาศ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการสื่อสารไร้สายทุกประเภท

4.1 นิยามสายอากาศ

สายอากาศหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำจากโลหะเช่น เส้นลวดอลูมิเนียม แผ่นทองแดง จานสังกะสี เป็นต้น ที่สามารถทำการแพร่กระจายหรือรับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุได้

โดยจะมีลักษณะการส่งคลื่นความถี่ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1



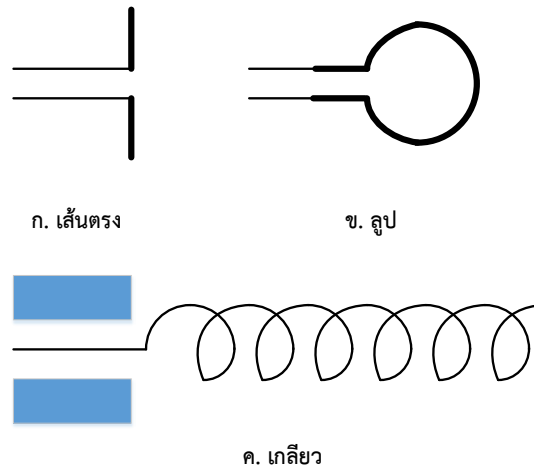
รูปที่ 4.1 ลักษณะการส่งคลื่นความถี่ของสายอากาศ

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าสัญญาณคลื่นความถี่จากเครื่องส่งหรืออุปกรณ์ส่งสัญญาณนั้นจะเป็นลักษณะของคลื่นไซน์ เมื่อส่งผ่านท่อนำคลื่นเข้ามายังสายอากาศจะมีการปรับเปลี่ยนรูปคลื่นไปตามความยาวของสายอากาศจนสุดปลายของสายอากาศ

รูปของสัญญาณก็จะเปลี่ยนจนกลายเป็นรูปลักษณะคล้ายกับโดนัทวงรีกระจายแบบต่อเนื่องออกไปในอากาศไปตามทิศทางของปลายสายอากาศนั้น

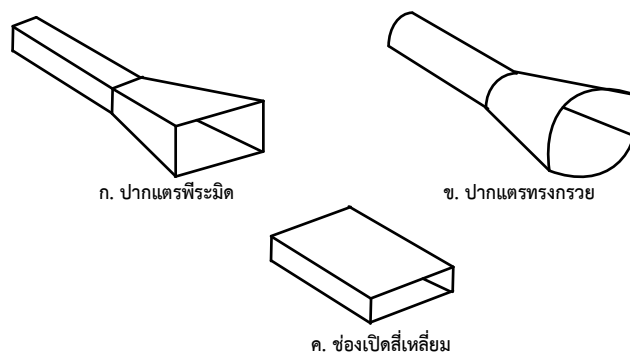
4.2 ชนิดของสายอากาศ

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



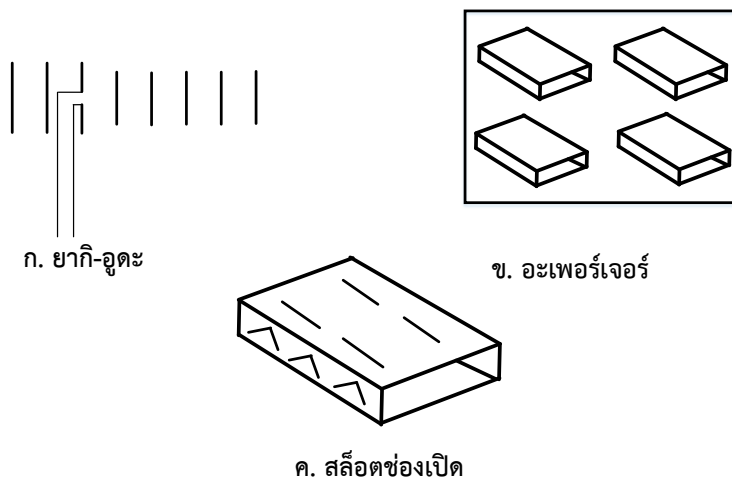
รูปที่ 4.2 รูปร่างของสายอากาศแบบเส้นลวด

4.2.2 สายอากาศแบบอะพอร์เจอร์ (Aperture Antenna) จะเป็นสายอากาศที่ทำจากโลหะที่มีรูปทรงคล้ายท่อหรือกรวย เพื่อใช้ในการแพร่กระจายสัญญาณออกไปในทิศทางที่กำหนดไว้ ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องบินและอากาศยานต่าง ๆ เนื่องจากสามารถติดตั้งบนพื้นผิวของเครื่องบินหรืออากาศยานได้ โดยจะมีวัสดุที่เป็นไดอิเล็กทริกปิดทับไว้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.3



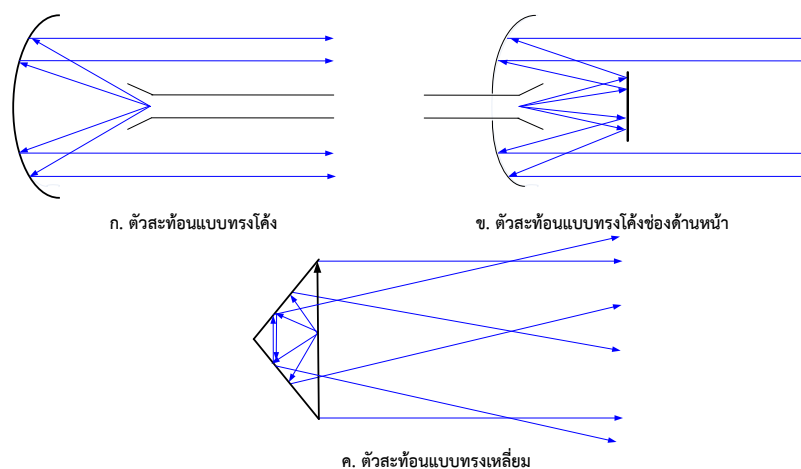
รูปที่ 4.3 รูปร่างของสายอากาศแบบอะพอร์เจอร์

4.2.3 สายอากาศแบบอาร์เรย์ (Array Antenna) จะเป็นสายอากาศที่มีลักษณะการนำมาจัดวางเรียงกันเป็นแถวหรือหลาย ๆ แถว โดยลักษณะการจัดวางที่คำนึงถึงหลักการทางไฟฟ้าและทางเรขาคณิต เพื่อให้การแพร่กระจายคลื่นเป็นไปตามที่ต้องการ แสดงได้ดังรูปที่ 4.4



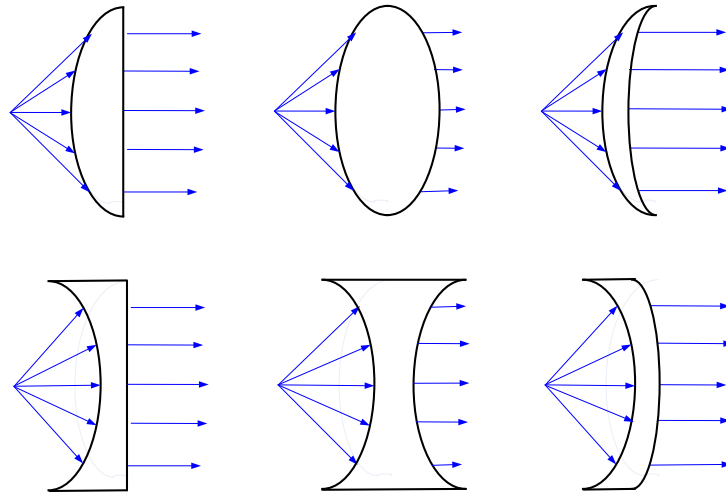
รูปที่ 4.4 รูปร่างของสายอากาศแบบอาร์เรย์

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



รูปที่ 4.5 รูปร่างของสายอากาศที่มีตัวสะท้อนแบบต่าง ๆ

4.2.5 สายอากาศแบบเลนส์ (Lens Antenna) จะเป็นสายอากาศที่อาศัยเลนส์ในการรวมพลังงานที่แพร่กระจายอยู่ทั่วทุกทิศทางโดยรอบให้ไปในทิศทางที่ต้องการด้วยการดกกระทบ การแบ่งลักษณะสายอากาศแบบเลนส์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.6

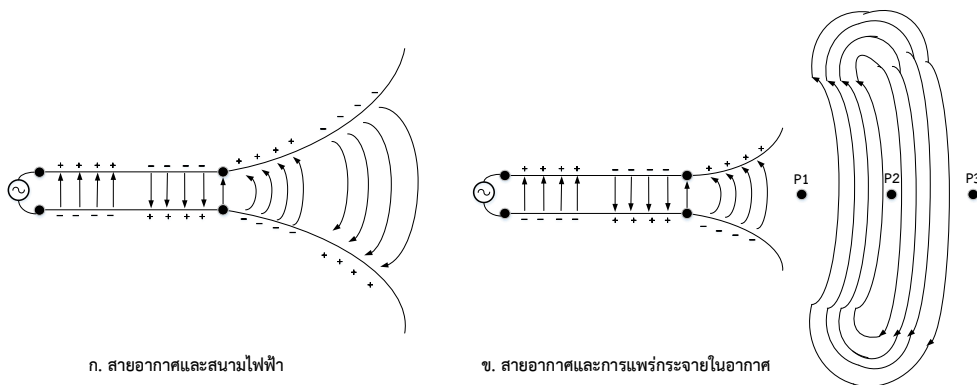


รูปที่ 4.6 รูปร่างของสายอากาศแบบเลนส์ในรูปแบบต่าง ๆ

4.3 กลไกของการแพร่กระจายคลื่น

โดยการแพร่กระจายของคลื่นในรูปสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกสร้างโดยแหล่งกำเนิดสัญญาณ แล้วนำส่งออกไปตามสายอากาศและเมื่อคลื่นนั้นออกไปจนสุดปลายของสายอากาศก็จะกลายเป็นคลื่นแพร่กระจายออกไปในอากาศ

ซึ่งสนามไฟฟ้านั้นจะเริ่มจากประจุบวกและไปสิ้นสุดที่ประจุลบ หรือสามารถที่จะเริ่มจากประจุบวกแล้วไปสิ้นสุดที่อนันต์ หรือจะเริ่มจากอนันต์แล้วไปสิ้นสุดที่ประจุลบหรือจะเป็นแบบวงรอบปิดก็ได้



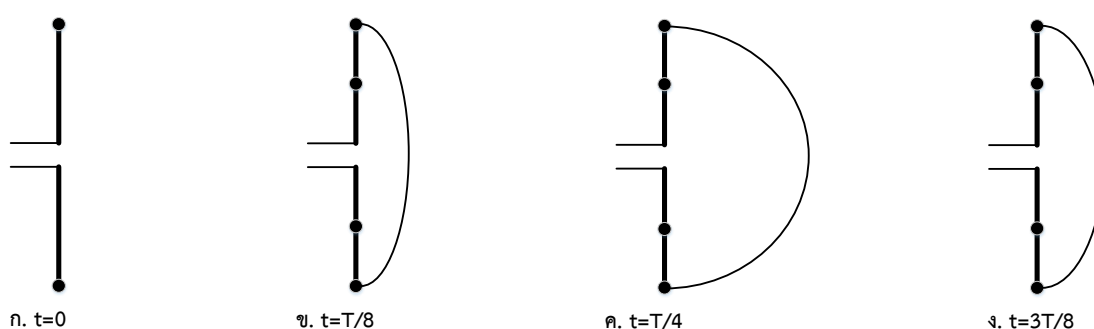
ก. สายอากาศและสนามไฟฟ้า

ข. สายอากาศและการแพร่กระจายในอากาศ

รูปที่ 4.7 ลักษณะการแพร่กระจายของประจุ

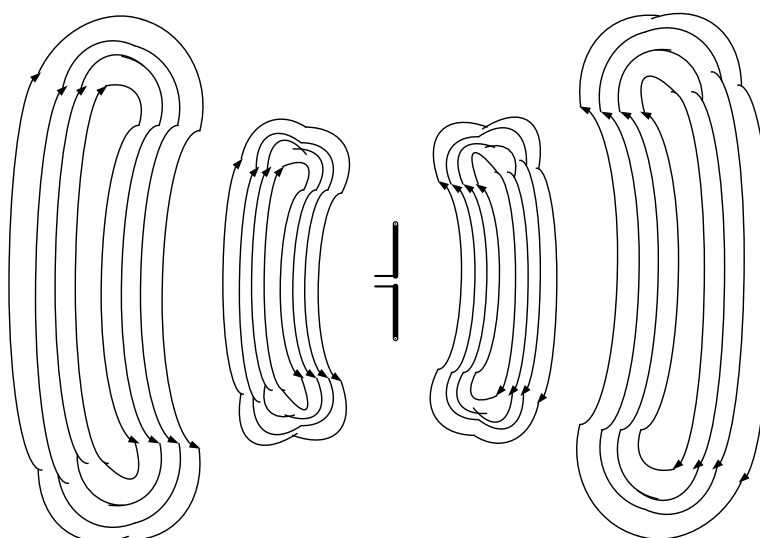
โดยเส้นสนามไฟฟ้าที่ลากผ่านจากเส้นลวดตัวนำทั้ง 2 เส้นนี้ จะเกิดเป็นรูปแบบลักษณะการแพร่กระจายของประจุ ซึ่งหากแหล่งกำเนิดนั้นมีศักย์เป็นแบบคลื่นไซน์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.7

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



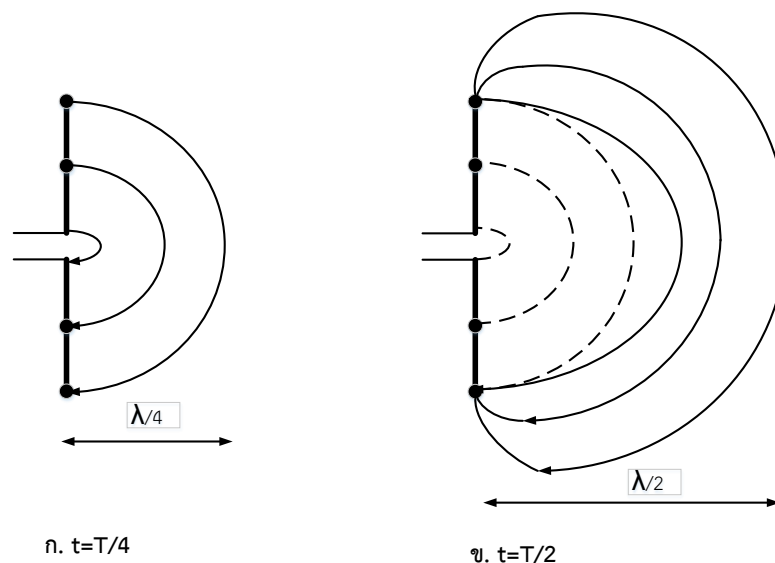
รูปที่ 4.8 ลักษณะของคลื่นที่แพร่กระจายออกไปในอากาศด้วยคาบเวลาที่แตกต่างกัน

การส่งสัญญาณคลื่นความถี่จากสายอากาศออกไปเป็นคลื่นอากาศนั้น โดยหากมีการปล่อยสัญญาณคลื่นความถี่ทางไฟฟ้าออกไปอย่างต่อเนื่อง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นก็จะยังคงมีและคงอยู่อย่างต่อเนื่องที่เป็นไปในลักษณะการเคลื่อนที่ตามหลังกันไปตลอดเวลา สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 คลื่นที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ตามหลังกันไปตลอดเวลา

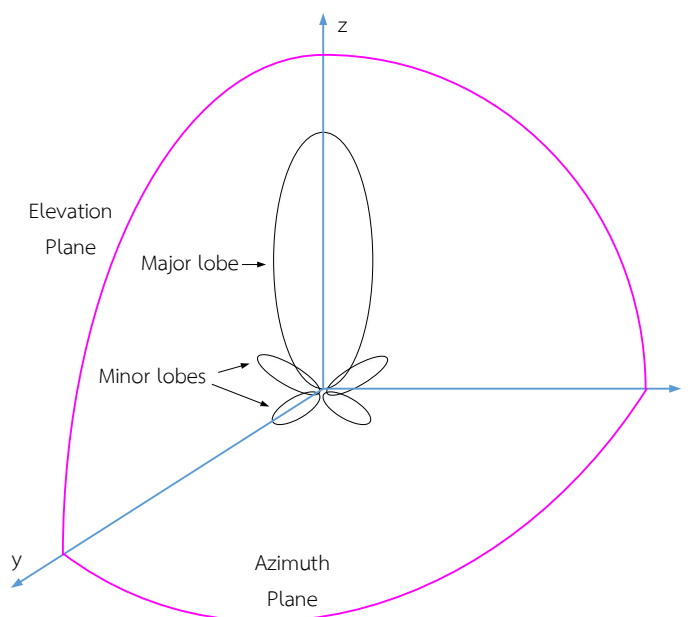
สายอากาศแบบเส้นลวดที่มี 2 เส้นนั้น จะสามารถแสดงเส้นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นลวดทั้ง 2 เส้นในลักษณะของสายอากาศไดโพล (Dipole) ที่ปล่อยสัญญาณออกตรงกลาง (Center-fed) ขนาดของสัญญาณจะเป็นวงขนาดเล็กที่มีสัดส่วน $1/4$ ของคาบแรก ระหว่างเวลาที่ประจุมีค่าสูงสุด จากแหล่งกำเนิดที่เป็นแบบคลื่นไซน์ และค่อย ๆ เคลื่อนห่างออกไปที่ระยะ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



รูปที่ 4.10 ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นจากสายอากาศไดโพล

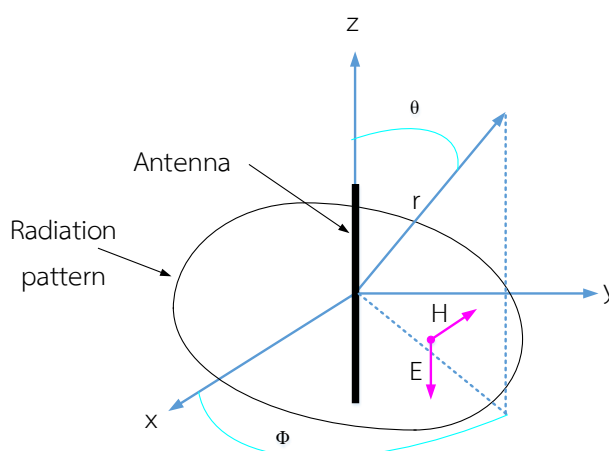
4.4 พารามิเตอร์พื้นฐานต่าง ๆ เกี่ยวกับสายอากาศ

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



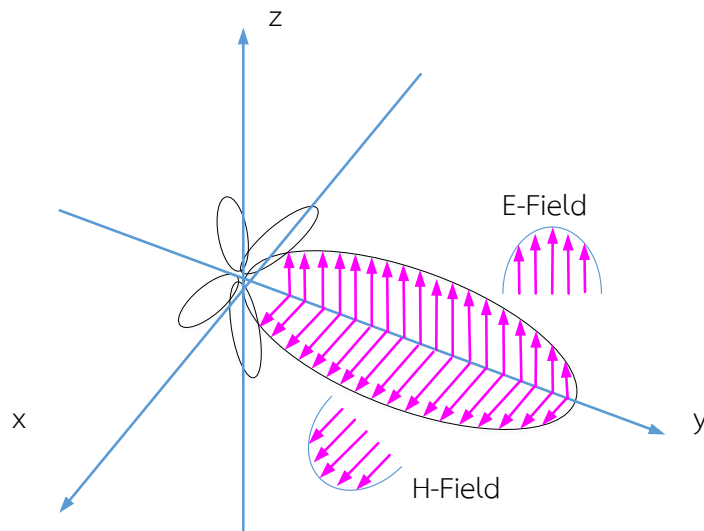
รูปที่ 4.11 รูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นความถี่

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

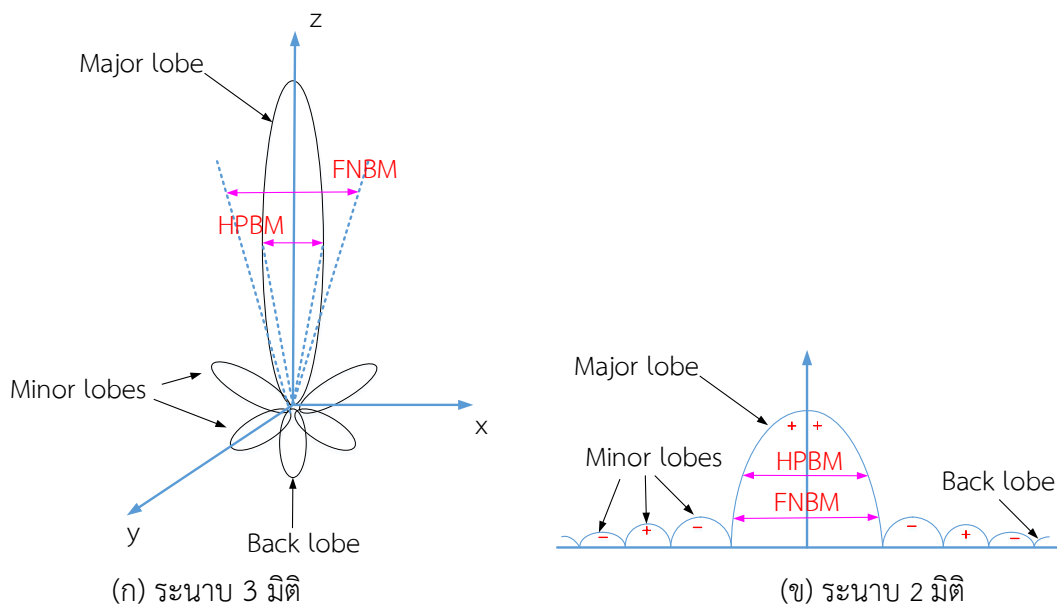


รูปที่ 4.12 สายอากาศแบบไม่ขึ้นกับทิศทาง

4.4.3 ระนาบของการแพร่กระจาย โดยรูปแบบของระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศแบบโพลาริซ์เชิงเส้น จะมี 2 ระนาบคือระนาบ E-Plane ซึ่งจะหมายถึงพื้นราบที่บรรจุเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและทิศทางการแพร่กระจายสูงสุด และระนาบ H-Plane ซึ่งจะหมายถึงพื้นราบที่บรรจุเวกเตอร์สนามแม่เหล็กและทิศทางการแพร่กระจายสูงสุด แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งระนาบ XZ (พื้นราบกับแนวตั้ง) คือระนาบ E-Plane และระนาบ XY (พื้นราบกับแนวนอน) คือระนาบ H-Plane



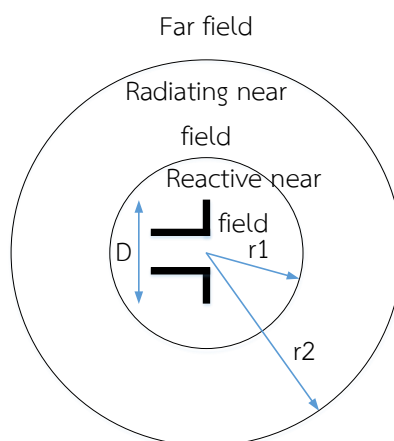
รูปที่ 4.13 ระนาบของการแพร่กระจาย



รูปที่ 4.14 โหลบการแพร่กระจาย

4.4.4 โหลดการแพร่กระจาย โดยส่วนต่าง ๆ ของรูปแบบการแพร่กระจายจะถูกเรียกว่า โหลด (Lobe) ซึ่งจะแบ่งแยกย่อยได้เป็น โหลดหลัก (Major Lobe) โหลดย่อย (Minor Lobe) โหลดข้าง (Side Lobe) และโหลดหลัง (Back Lobe) โดยโหลดเหล่านี้จะเป็นส่วนของรูปแบบการแพร่กระจายที่จะล้อมรอบบริเวณของความเข้มข้นการแพร่กระจาย แสดงได้ดังรูปที่ 4.14(ก) จะเป็นรูปแบบโพลาร์ในระนาบ 3 มิติที่มีความสมมาตรกัน พร้อมกับโหลดที่แพร่กระจายในแบบต่าง ๆ ส่วนรูป 4.14(ข) จะเป็นรูปแบบในระนาบ 2 มิติเชิงเส้นพื้นราบ ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบลักษณะของโหลดต่าง ๆ ให้เห็นได้อย่างชัดเจนขึ้น

4.4.5 ขอบเขตสนามการแพร่กระจาย ซึ่งจะสามารถแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศได้ 3 บริเวณคือ สนามกระทำระยะใกล้ (Reactive Near-Field) สนามระยะใกล้ (Radiating Near-Field) และสนามระยะไกล (Far-Field) โดยที่ $r_1 = 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ และ $r_2 = 2D^2/\lambda$ แสดงได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ขอบเขตสนามการแพร่กระจาย

4.5 ความหนาแน่นกำลังและความเข้มในการแพร่กระจาย

คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกนำมาใช้ในการส่งข้อมูลผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศซึ่งจะแผ่ไปด้วยกำลังและพลังงานทางไฟฟ้า โดยจะมีปริมาณทางกำลังซึ่งจะถูกเรียกว่าพอยติงเวกเตอร์ชั่วขณะ โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (4.1)

$$\vec{W} = \vec{\epsilon} \times \vec{K} \quad (4.1)$$

เมื่อ

$\vec{W}$ คือ พอยติงเวกเตอร์ชั่วขณะ

$\vec{\epsilon}$ คือ ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วขณะ

$\vec{K}$ คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะ

ความเข้มในการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นกำลังที่แพร่กระจายจากสายอากาศต่อมุมแบบ 3 มิติ หนึ่งหน่วย โดยความเข้มการแพร่กระจายจะเป็นพารามิเตอร์ของการแพร่กระจายสนามระยะไกล โดยกำหนดให้

U คือ ความเข้มการแพร่กระจาย

W_{rad} คือ ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วขณะ

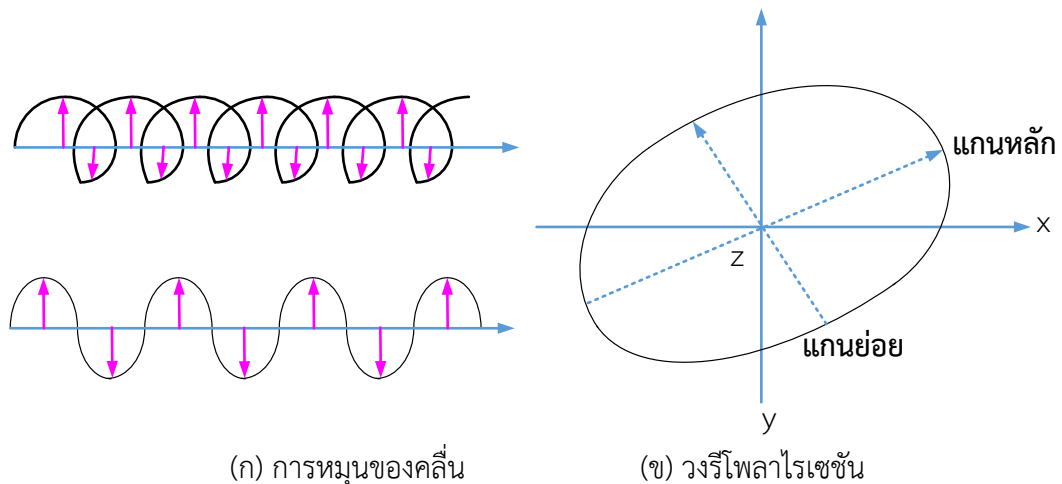
ความเข้มในการแพร่กระจายจะมีความสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าระยะไกลของสายอากาศโดยสามารถหาได้จากสมการที่ (4.2)

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

เมื่อ

E คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศที่ Far-Field

E_θ, E_ϕ คือ องค์ประกอบสนามไฟฟ้าจากสายอากาศที่ Far-Field



รูปที่ 4.16 ลักษณะของโพลาไรเซชัน

4.6 โพลาไรเซชันและไดเรกทิวิตี

โพลาไรเซชัน จะหมายถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของลำคลื่นที่แพร่กระจายออกเมื่อสายอากาศได้รับการกระตุ้น โดยหากลำคลื่นนั้นพุ่งออกไปในทิศทางที่กำหนดก็จะเกิดเป็นพลังงานสูงสุดที่ตรงบริเวณปลายสายอากาศ โดยที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกมาจากสายอากาศนั้นจะมีทิศทางที่แปรเปลี่ยนไปตามเวลาและขนาดของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าสัมพันธ์ ออกไปตามตำแหน่งที่มีความแน่นอนในการเคลื่อนที่ด้วยการพุ่งหมุนออกไป โดยจะมีการพุ่งหมุนออกไปได้ 3 ลักษณะคือแบบเส้นตรง แบบก้นหอยและแบบวงรี แสดงได้ดังรูปที่ 4.16

ไดเรกทิวิตี้ (Directivity: D_0) จะเป็นทิศทางของการแพร่กระจายพลังงานของสายอากาศ ซึ่งจะสามารถหาทิศทางของการแพร่กระจายพลังงานได้ด้วยไดเรกทิวิตี้เกน (Directivity Gain: D_g) โดยจะบ่งบอกได้ถึงอัตราความเข้มของการแพร่กระจายพลังงานไปในทิศทางนั้นต่อความเข้มของการแพร่กระจายพลังงานทั้งหมดของสายอากาศ โดยที่ค่า Directivity Gain จะพิจารณาจากค่าสูงสุดของความเข้มในการแพร่กระจายพลังงานของสายอากาศเท่านั้น โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (4.3) และสมการที่ (4.4)

$$D_g = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (4.3)$$

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

เมื่อ

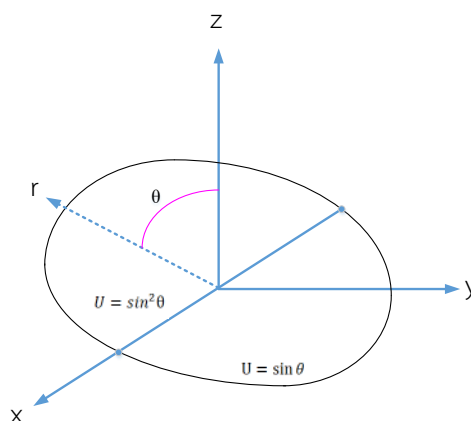
U_0 คือ ความเข้มการแพร่กระจายของสายอากาศ

U_{Max} คือ ความเข้มการแพร่กระจายสูงสุด

P_{rad} คือ กำลังการแพร่กระจายทั้งหมด

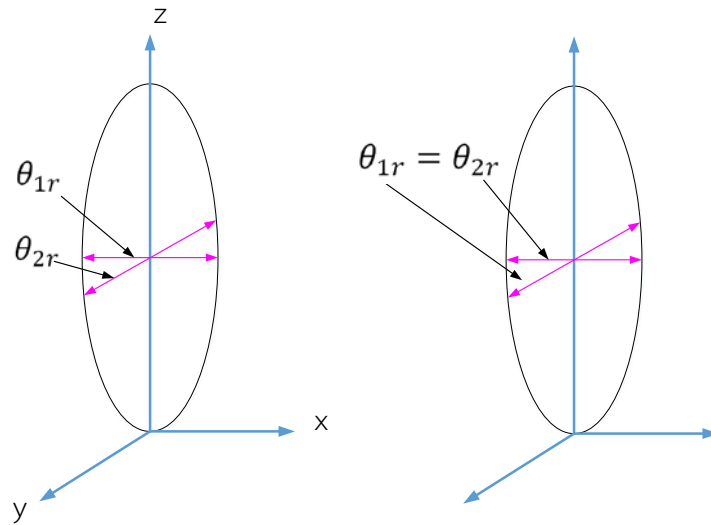
โดยตัวอย่างรูปแบบของการแพร่กระจายพลังงานแบบ 3 มิติของสายอากาศ แสดงได้ดังรูปที่

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 ในรูปแบบอัตราของการขยาย กำลังในทิศทางที่เฉพาะเจาะจงต่อการขยายกำลังทั้งหมดของสายอากาศ โดยที่ กำลังทางด้านอินพุต ของสายอากาศนั้นต้องเท่ากันทั้ง 2 ด้าน ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (4.5)

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

เมื่อ

G_g	คือ อัตราขยายของสายอากาศ
$U_{(\theta,\phi)}$	คือ ความเข้มการแพร่กระจายสูงสุด
P_{in}	คือ กำลังทางด้านอินพุต

ประสิทธิภาพของสายอากาศ (e_t) จะหมายถึงสายอากาศที่มีความสามารถในการรับพลังงาน ได้ครบทั้งหมดจากพลังงานที่ส่งออกมาจากสายอากาศที่ด้านส่งเข้ามายังสายอากาศที่ด้านรับ ซึ่ง ในทางปฏิบัตินั้นจะยังมีพลังงานส่วนที่สูญเสียไปจากหลาย ๆ ปัจจัยในหลาย ๆ ด้านได้แก่ การสูญเสีย เนื่องจากการย้อนกลับ การสูญเสียด้านปลายอินพุต การสูญเสียจากการนำสัญญาณ การสูญเสียทาง คุณสมบัติจากวัสดุฐานรอง เป็นต้น ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (4.6)

$$e_t = e_r e_d e_c \quad (4.6)$$

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)

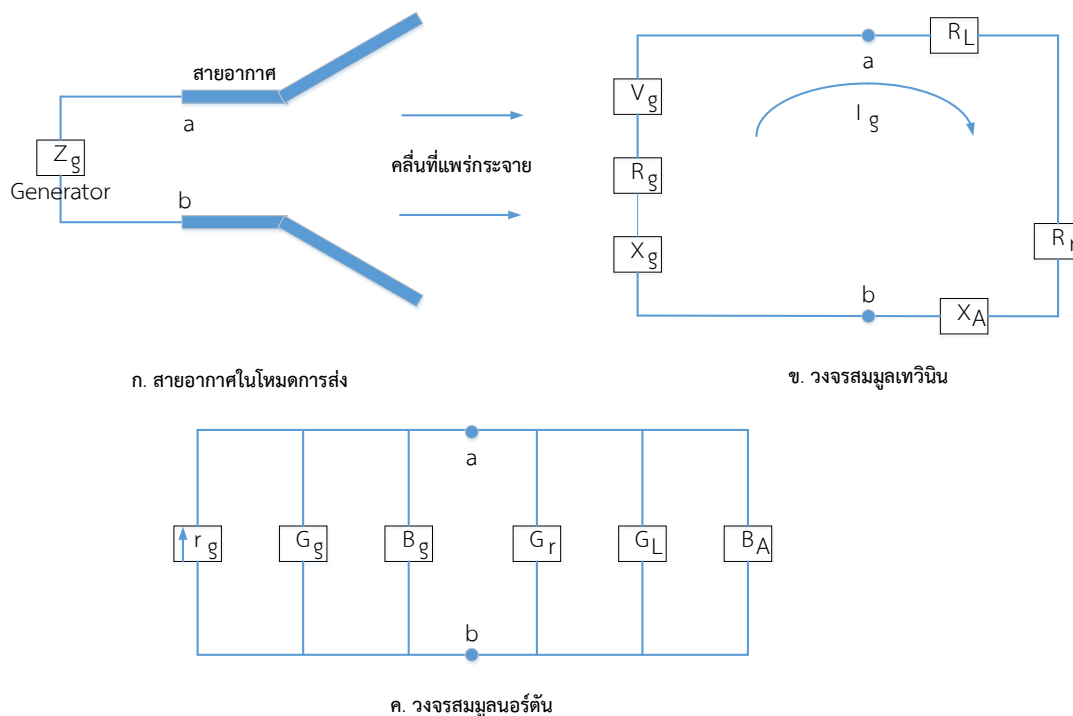
$$Z_A = R_A + jX_A \quad (4.7)$$

เมื่อ

Z_A คือ อิมพีแดนซ์ที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b

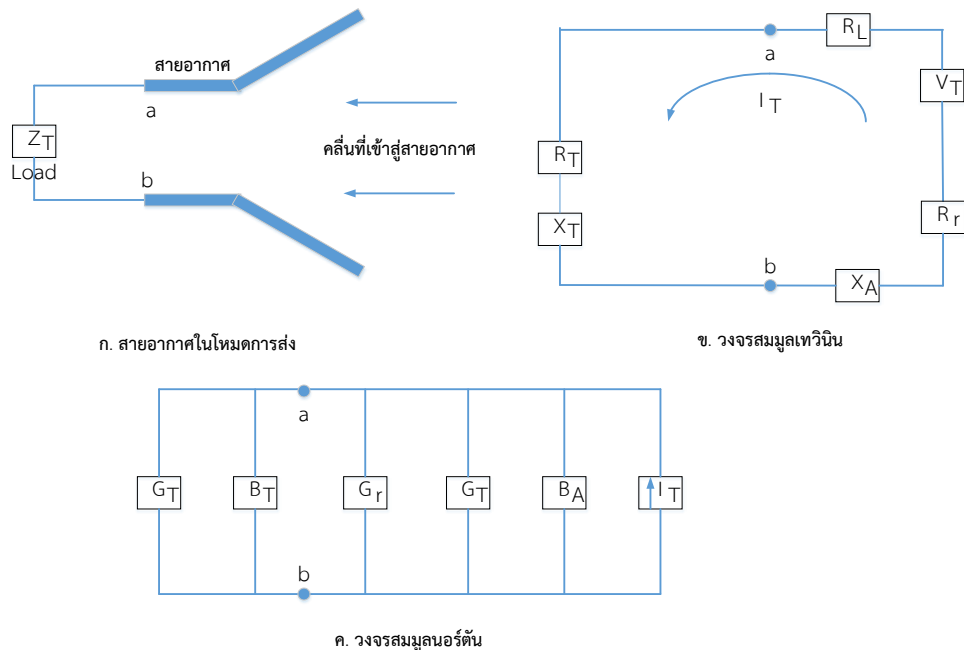
R_A คือ ความต้านทานที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b ($R_a = R_L + R_r$)

X_A คือ รีแอกแตนซ์ที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b

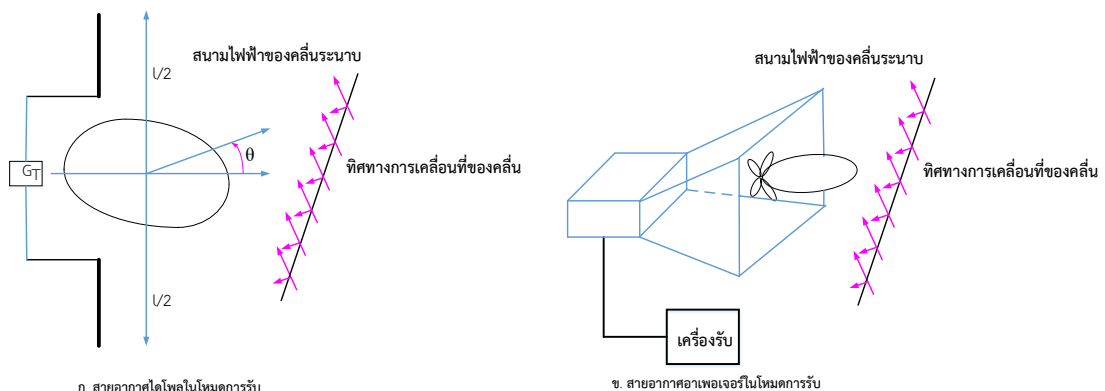


รูปที่ 4.19 ลักษณะของอิมพีแดนซ์ที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b แบบส่ง

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



รูปที่ 4.20 ลักษณะของอิมพีแดนซ์ที่ปลายสายอากาศ ขั้ว a-b แบบรับ



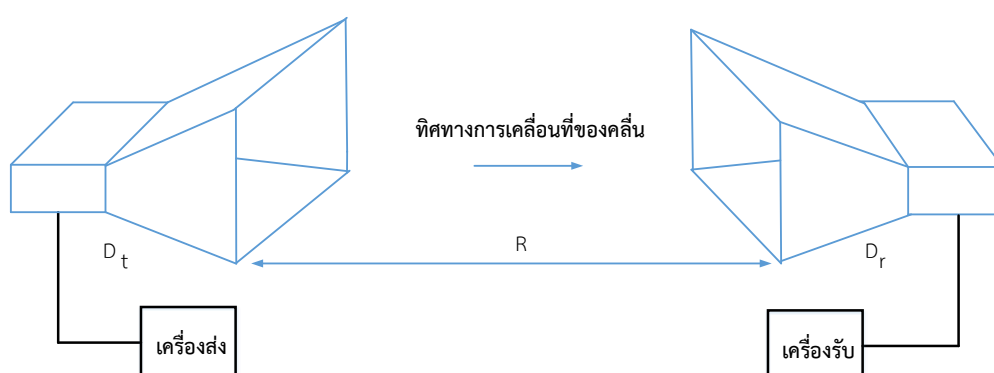
รูปที่ 4.21 ลักษณะการรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศ

4.9 สายอากาศในโหมดการรับ

สายอากาศในโหมดการรับนั้น โดยที่สายอากาศทุกชนิดตั้งแต่สายอากาศแบบไดโพล แบบอะเพอร์เจอร์ แบบแท่งไดอิเล็กทริก แบบอาร์เรย์ 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 จะสามารถ

แสดงได้ตามตารางที่ 4.1 หรือหากแบ่งตามลักษณะการใช้งานในย่านการสื่อสารไร้สายสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.2 และหากแบ่งตามลักษณะการใช้งานในย่านความถี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.3 ซึ่งจะเป็นช่วงความถี่ที่นำมาใช้งานในชีวิตประจำวันของมนุษย์กัน อย่างแพร่หลาย

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 ที่

เป็นคุณสมบัติของสายอากาศ เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถประเมินและนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบและปรับปรุงสายอากาศให้มีความสามารถตามคุณสมบัติที่ดีที่สุดก่อนนำไปใช้งานจริง

ตารางที่ 4.3 ช่วงความถี่ของการใช้งานในย่านความถี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่

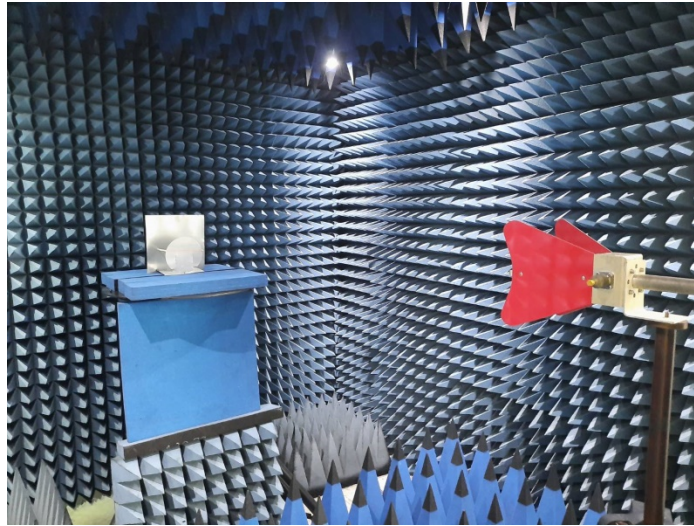
ระบบ	2G	3G
900 MHz (AIS)	12.5 MHz	5 MHz
850 MHz (CAT)	-	15 MHz
850 MHz (DTAC)	-	10 MHz
1800 MHz (TruemoveH)	12.5 MHz	-
1800 MHz (DPC)	12.5 MHz	-
1800 MHz (DTAC)	50 MHz	-
2100 MHz (TOT)	-	15 MHz
2100 MHz (ประมูลใหม่)	-	45 MHz
รวม	87.5 MHz	90 MHz



รูปที่ 4.23 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

ในการวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศที่สำคัญอีกอย่างคือการวัดคุณสมบัติการแพร่กระจายสัญญาณและค่าอัตราขยายของสัญญาณ ซึ่งจะต้องทำการวัดสายอากาศในห้องที่สามารถป้องกันคลื่นหรือสัญญาณรบกวนการส่งคลื่นในการทดสอบได้ดีอีกทั้งยังต้องป้องกันการแพร่กระจายคลื่นที่จะทดสอบไม่ให้แพร่กระจายออกมาภายนอกได้ดีด้วยเช่นกัน ซึ่งต้องมีห้องทดสอบเฉพาะทางที่มี

วัสดุอุปกรณ์ในการดูดซับคลื่นความถี่ได้ดีโดยห้องปฏิบัติการนี้จะถูกเรียกว่าห้อง Chamber Room แสดงได้ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ห้อง Chamber Room

หลังจากที่ทำการออกแบบ สร้างและทดสอบสายอากาศจนได้สายอากาศที่มีประสิทธิภาพมาได้แล้วนั้น ก็สามารถนำไปใช้งานได้ โดยส่วนใหญ่ที่จะเห็นกันได้โดยทั่วไปจะเป็นสายอากาศทางด้านรับซึ่งตั้งแต่อดีตสายอากาศหรือเสาอากาศที่จะพบเจอได้ใกล้ตัวจะเป็นการนำไปใช้งานกับวิทยุ ทรานซิสเตอร์และโทรทัศน์ แสดงดังรูปที่ 4.25 ซึ่งจะเรียกสายอากาศแบบนี้ว่าสายอากาศแบบเส้นลวดหรือภาษาพูดทั่วไปจะเรียกว่าเสาอากาศหนวดกุ้งนั่นเอง ซึ่งก็จะมีทั้งแบบเส้นเดี่ยวและแบบเส้นคู่



รูปที่ 4.25 เสาอากาศหนวดกุ้ง

ในการส่งสัญญาณหรือรับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุสื่อสารในย่านความถี่เฉพาะนั้น ก็จะมีพบเห็นการนำสายอากาศแบบเส้นลวดมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งจะติดตั้งอยู่บนเสาสูง ๆ หรือบริเวณหน้ารถยนต์หรือหลังรถจักรยานยนต์ของตำรวจจราจร เป็นต้น โดยมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 เสาอากาศแบบเส้นลวด

เสาอากาศแบบเส้นลวดที่มีขนาดเล็กและใช้รับความถี่ที่สูงขึ้นนั้นก็จะพบเห็นได้จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นเก่า ๆ ที่จะมีเสาอากาศดัดเลื้อนขึ้นเลื้อนลงได้เพื่อใช้ในการรับสัญญาณคลื่นความถี่ในย่านที่ให้บริการอยู่นั่นเอง แสดงได้ดังรูปที่ 4.27 หรือแม้แต่ในปัจจุบันก็สามารถพบเห็นได้จากกล้องวงจรปิดแบบไร้สาย แสดงได้ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.27 เสาอากาศโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเก่า



รูปที่ 4.28 เสาอากาศกล้องวงจรปิดแบบไร้สาย

ส่วนของการนำสายอากาศแบบเส้นลวดไปพัฒนาต่อจนกลายเป็นสายอากาศแบบอาร์เรย์นั้น จะพบเห็นการนำไปใช้งานบนเสาสูงที่ยังมีอีกหลายรูปแบบที่จะพบเห็นได้อยู่บ่อย ๆ ในอดีต ซึ่งจะติดตั้งอยู่บนเสากายและเสาทาวเวอร์บนหลังคาบ้านเรือนหรือบนหลังคาตาดฟ้าของอาคารต่าง ๆ เพื่อใช้รับสัญญาณโทรทัศน์ในยุคแรก ๆ หรือวิทยุสื่อสารย่าน 470 MHz แสดงได้ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 เสาอากาศโทรทัศน์ในยุคแรก ๆ

สายอากาศแบบเส้นลวดสามารถนำมาดัดโค้งจนกลายเป็นวงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น วงกลม วงรี สี่เหลี่ยม เป็นต้น ซึ่งจะเรียกสายอากาศแบบนี้ว่าสายอากาศแบบลูป (Loop Antenna) เพื่อใช้ในการรับสัญญาณที่มีความถี่ไม่สูงมากนักในช่วงความถี่ระดับเมกะเฮิรตซ์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 สายอากาศแบบลูป

สายอากาศที่ต้องการกำลังส่งและรับที่สูงมากขึ้นในระยะทางการส่งที่ไม่ไกลกันมากนัก เช่น จากที่ทำงานมายังบ้านพักหรือจากอาคาร A ไปยังอาคาร B จะสามารถพบเห็นสายอากาศแบบท่อนำคลื่น แสดงได้ดังรูปที่ 4.31 ได้ถูกนำมาใช้งาน ซึ่งจะต้องมีการส่งและรับสัญญาณเป็นแบบเส้นตรง แบบเฉพาะเจาะจงทิศทาง เพื่อให้สัญญาณที่ได้รับมีค่าแรงมากที่สุด โดยระยะระหว่างสายอากาศ ด้านส่งและด้านรับไม่เกิน 2 กิโลเมตร



รูปที่ 4.31 สายอากาศแบบท่อนำคลื่น

ในส่วนของสายอากาศแบบท่อนำคลื่นที่ออกแบบมาใช้ในการส่งและรับสัญญาณในลักษณะการสะท้อนคลื่นสัญญาณเพื่อนำไปใช้ในการหาวัตถุหรือหาระยะของวัตถุในรูปแบบการทำงานของเรดาร์จะออกแบบสายอากาศให้สามารถส่งและรับสัญญาณโดยที่ด้านปลายของสายอากาศจะมีความกว้างมากเพื่อรวบรวมสัญญาณเข้ามายังท่อนำสัญญาณ แสดงได้ดังรูปที่ 4.32 ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ใช้ทางการทหารในการตรวจจับโลหะแปลกปลอมใต้พื้นดินได้ หรือสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาโลหะมีค่าใต้ดินได้เช่นกัน



รูปที่ 4.32 สายอากาศแบบท่อนำคลื่นในการตรวจวัดโลหะในผนังปูน

ส่วนสายอากาศแบบแผ่นสะท้อนที่จะพบเห็นนำมาใช้งานกันอยู่ได้ตามปกติในปัจจุบันจะเป็นลักษณะของจานรับสัญญาณดาวเทียม แสดงได้ดังรูปที่ 4.33 โดยจะใช้รับสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัล ซึ่งจะมีทั้งแบบจานทิบและจานตะแกรง โดยจะรับสัญญาณมาจากดาวเทียมที่อยู่บนชั้นอวกาศ และจะมีการส่งสัญญาณขึ้นไปจากจานส่งสัญญาณขนาดใหญ่ที่อยู่ภาคพื้นดิน



รูปที่ 4.33 จานรับสัญญาณดาวเทียม

4.11 สรุป

สายอากาศหรือเสาอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการส่งและรับคลื่นความถี่ สำหรับการสื่อสารไร้สายที่มีใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สายอากาศจะมีอยู่หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน โดยยังคงมีหลักการพื้นฐาน คุณสมบัติและพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ที่สอดคล้องตามทฤษฎีสายอากาศ อีกทั้งยังสามารถนำคุณสมบัติของสายอากาศไปพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบอีกด้วย แต่จากความต้องการด้านการสื่อสารไร้สายที่มีรูปแบบความแตกต่างหลากหลายมากขึ้น อาจยังมีข้อจำกัดทางด้านโครงสร้างของสายอากาศในรูปแบบเดิม จึงได้มีการพัฒนาโครงสร้างสายอากาศจากวัสดุชนิดอื่นขึ้นมาทดแทน โดยจะได้ยกตัวอย่างมากล่าวถึงในบทถัดไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4

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

บรรณานุกรม

1. วิทวัส สິฏกุล, วิศวกรรมสายอากาศ (Antenna Engineering), พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2563.
2. สายัณต์ ชื่นอารมย์และอนงค์ลักษณ์ อัจฉมั่งกร, สายส่งและสายอากาศ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์วังอักษร, 2562.
3. โมไนย ไกรฤกษ์, ทฤษฎีสายอากาศ (Antenna theory), พิมพ์ครั้งที่ 1: พิสิกส์เซ็นเตอร์, 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 สกายบุ๊กส์, 2567.
6. ฉัตรชัย ไวยาพัฒน์กร, การวิเคราะห์สายอากาศ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
7. C. Randy and P. Bancroft, Microstrip and Antenna Design. United States 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 รวมถึงการนำสายอากาศไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ไปแล้วนั้น ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการประยุกต์ทางด้านวัสดุเพื่อนำมาพัฒนาสายอากาศให้สอดคล้องกับโครงสร้างฐานรองที่แตกต่างออกไป เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่เหมาะสมในอนาคต

5.1 คุณสมบัติของวัสดุกราฟไฟต์

กราฟไฟต์ เป็นชื่อที่ถูกตั้งขึ้นโดย ABRAHAM GOTTLOB WERNER เมื่อปี พ.ศ. 2332 ซึ่งมีความหมายตามภาษากรีกโบราณว่า การวาดหรือการเขียน ที่มาจากการนำกราฟไฟต์นี้ไปใช้ทำไส้ของดินสอนั่นเอง

กราฟไฟต์หรือแร่กราฟไฟต์จะเป็นธาตุคาร์บอนที่มีการจัดเรียงตัวอีกรูปแบบหนึ่งที่มีความเสถียรในสภาวะมาตรฐาน ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้จึงสามารถเป็นตัวนำทางไฟฟ้าหรือกึ่งตัวนำทางไฟฟ้าได้เช่นกัน โดยแร่กราฟไฟต์จะมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ สั้น ๆ ที่มีหน้าตัดในลักษณะของรูป 6 เหลี่ยม หรืออาจอยู่ในรูปลักษณะอสัณฐาน ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเม็ด ๆ ละเอียด ๆ หรืออาจมีลักษณะเป็นก้อน ๆ ซึ่งจะถูกเรียกว่าแร่กราฟไฟต์ก็ได้ ซึ่งจะมีแร่ที่เกิดร่วมกันกับแร่กราฟไฟต์จำพวก เหล็ก ไมก้า แคลไซต์ ทัวร์มาลีน และควอตซ์ โดยแร่กราฟไฟต์จะมีสีดำหรือเทาเข้มที่มีความอ่อนนุ่มและมีความมันวาว

แร่กราฟไฟต์ที่มีการเรียงตัวกันของคาร์บอนเป็นชั้น ๆ แบบแอลฟาหรือในรูปของผลึก 6 ด้าน และการจัดเรียงตัวในรูปแบบเบตาหรือขนมเปียกปูน ซึ่งลักษณะทางกายภาพของทั้ง 2 แบบนี้สามารถที่จะปรับเปลี่ยนรูปแบบไปมาซึ่งกันและกันได้ด้วยกระบวนการที่แตกต่างกัน โดยการปรับเปลี่ยนจากรูปแบบแอลฟาเป็นเบตาทำได้โดยใช้แรงในการกดทับ ส่วนการปรับเปลี่ยนรูปแบบจากเบตาเป็นแอลฟาทำได้โดยการใช้ความร้อนสูง ซึ่งโดยทั่วไปจะพบการนำแร่กราฟไฟต์ไปใช้ในการทำไส้ดินสอดำ ไส้ไฟอาร์ค ไส้ถ่านไฟฉาย เป็นต้น

ในส่วนของการนำแร่กราฟไฟต์หรือธาตุกราฟไฟต์มาประยุกต์ใช้ทำเป็นวัสดุตัวนำทางไฟฟ้าในกระบวนการสร้างสายอากาศนั้น จะอ้างอิงหรือเลียนแบบลักษณะโครงสร้างของแผ่นวงจรพิมพ์ (Print Circuit Board: PCB) ซึ่งจะมีแผ่นตัวนำที่ใช้วัสดุทองแดงวางอยู่บนวัสดุฐานรองประเภท FR4 โดยโครงสร้างในลักษณะนี้จะมีรูปทรงลักษณะเป็นแผ่นแข็งที่ไม่สามารถโค้งงอได้ จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้กับงานที่วางอยู่บนพื้นระนาบราบเรียบหรือยกพื้นในระนาบราบเรียบ แต่จะไม่เหมาะกับงานที่ต้องการการโค้งงอ ยึดหยุ่นได้ หรือบนพื้นระนาบโค้งเล็กน้อย เช่น กระงะก้นารถยนต์ หรืองานที่มีพื้นโค้งงอได้ เช่น เสื้อผ้าผู้ป่วย เป็นต้น

การนำแผ่นกราฟต์มาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นแผ่นตัวนำที่วางอยู่บนวัสดุฐานรองที่สามารถโค้งงอได้จึงเป็นทางแนวในการทดแทนข้อจำกัดของ FR4 ที่จะนำมาใช้งานในพื้นที่ราบโค้งได้

กราฟต์ที่ผลิตออกมาจำหน่ายในปัจจุบันจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ ลักษณะเป็นแผ่นเรียกว่าแผ่นกราฟีนหรือแผ่นกราฟต์ ซึ่งจะวางติดอยู่บนแผ่นวัสดุฐานรองประเภทโพลีเอสเตอร์ (PET) แสดงได้ดังรูปที่ 5.1 และในลักษณะที่เป็นผงกราฟต์ ซึ่งจะทำเป็นผงละเอียดที่มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 20 ไมโครเมตรแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 แผ่นกราฟีน/แผ่นกราฟต์



รูปที่ 5.2 กราฟต์แบบผง

5.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุประเภทต่าง ๆ

วัสดุชนิดต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปทั้งรูปร่างทางกายภาพและคุณสมบัติเฉพาะภายในของวัสดุแต่ละชนิด โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะคุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดและบ่งชี้ถึงความสามารถในการนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งจะมีอยู่ 2 ประเด็นได้แก่

5.2.1 ความต้านทานทางไฟฟ้า

ความต้านทานทางไฟฟ้า เป็นคุณสมบัติที่วัสดุนั้นทำการต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายผ่านเข้าไปยังวัสดุนั้น ๆ ซึ่งค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของวัสดุสามารถคำนวณได้เมื่อมีการจ่ายกระแสให้ไหลไปตามวัสดุที่มีความยาวและพื้นที่หน้าตัดซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม-เมตร โดยสามารถสรุปและแสดงได้ดังตารางที่ 5.1 โดยค่าความต้านทานจะผกผันกับค่าความนำ ซึ่งค่าวัสดุที่มีค่าความต้านทานต่ำมาก ๆ ก็จะมีค่าความนำทางไฟฟ้าสูงมาก ๆ

ตารางที่ 5.1 ค่าความต้านทานของวัสดุประเภทต่าง ๆ

ลำดับที่	ธาตุ	ความต้านทานที่อุณหภูมิ 20 °C โอห์ม-เมตร
1	เงิน	1.59×10^{-8}
2	ทองแดง	1.7×10^{-8}
3	ทอง	2.44×10^{-8}
4	อลูมิเนียม	2.82×10^{-8}
5	ทังสเทน	5.6×10^{-8}
6	เหล็ก	1.0×10^{-7}
7	แพทตินัม	1.1×10^{-7}
8	ตะกั่ว	2.2×10^{-7}
9	ปรอท	9.8×10^{-7}
10	คาร์บอน (กราไฟต์)	3.5×10^{-5}
11	เจอร์เมเนียม	4.6×10^{-1}
12	ซิลิกอน	6.4×10^2
13	กระจก	1.0×10^{10} ถึง 1.0×10^{14}

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าวัสดุประเภทเงินจะมีค่าความต้านทานน้อยที่สุดคือ 1.59×10^{-8} โอห์ม-เมตร รองลงมาจะเป็นวัสดุทองแดงมีค่า 1.7×10^{-8} โอห์ม-เมตร ส่วนคาร์บอน (กราไฟต์) จะมีค่าอยู่ที่ 3.5×10^{-5} โอห์ม-เมตร และกระจกจะมีค่ามากที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ 1.0×10^{10} ถึง 1.0×10^{14} โอห์ม-เมตร

5.2.2 การนำไฟฟ้า

การนำไฟฟ้า (ความนำไฟฟ้า) เป็นคุณสมบัติที่วัสดุนั้นยอมให้มีการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายผ่านเข้าไปยังวัสดุนั้น ๆ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุสามารถคำนวณได้เมื่อมีการจ่ายกระแสให้ไหลไปตามวัสดุที่มีความยาวและพื้นที่หน้าตัดซึ่งมีหน่วยเป็นโอห์ม⁻¹-เมตร หรือ ซีเมนต์-เมตร (S/m) โดยค่าการนำไฟฟ้าจะผกผันกับค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ซึ่งค่าวัสดุที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงมาก ๆ ก็จะมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าต่ำมาก ๆ

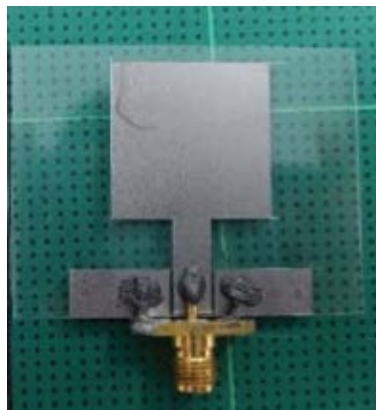
5.3 การพัฒนาโครงสร้างสายอากาศจากวัสดุกราไฟต์

การพัฒนาโครงสร้างสายอากาศจากวัสดุกราไฟต์นั้นสามารถทำได้ 2 ลักษณะตามกายภาพของกราไฟต์ที่มีการผลิตออกจำหน่ายคือในลักษณะแรกนั้นสามารถออกแบบและสร้างสายอากาศจากแผ่นกราไฟต์สำเร็จรูป โดยวิธีการตัดเซาะแผ่นกราไฟต์ออกจากแผ่นวัสดุฐานรอง PET จนได้รูปร่างรูปทรงตามที่ออกแบบไว้ ส่วนใหญ่จะเป็นสายอากาศโมโนโพลแบบระบายร่วมที่มีระนาบกราวด์อยู่ใน

ระนาบเดียวกับระนาบตัวแผ่กระจายสัญญาณ ในรูปแบบสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมแบบต่าง ๆ เนื่องจากสามารถใช้การตัดเซาะแผ่นกราฟไฟต์ได้ง่ายและสะดวกกว่ารูปแบบที่โค้งเป็นวงกลมหรือวงรีแบบต่าง ๆ ซึ่งมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 5.3-5.4



รูปที่ 5.3 สายอากาศจากแผ่นกราฟไฟต์รูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 5.4 สายอากาศจากแผ่นกราฟไฟต์รูปสี่เหลี่ยม

ในลักษณะที่สองจะนำผงกราฟไฟต์มาผสมร่วมกับกาวเอนกประสงค์และน้ำบริสุทธิ์ตามสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะคำนึงถึงความหนืด การแตกกระด้างเมื่อทิ้งไว้ให้แห้ง การยึดเกาะติดกัน และค่าความนำไฟฟ้า ซึ่งเมื่อผสมผงกราฟไฟต์กับกาวเอนกประสงค์เสร็จแล้ว จะเรียกว่ากาวกราฟไฟต์ แสดงได้ดังรูปที่ 5.5-5.7 โดยจะสามารถนำไปใช้เทลงบนแบบพิมพ์รูปต่าง ๆ ที่ออกแบบไว้ ซึ่งวางอยู่บนวัสดุฐานรองประเภท PET แล้วปาดสกรีนด้วยยางปาดสกรีน ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 6 ชั่วโมง ก็จะได้แผ่นกราฟไฟต์ตามรูปแบบที่ต้องการ หลังจากนั้นจะนำไปตรวจสอบพื้นผิวด้านบนด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อวิเคราะห์สภาพการกระจายและยึดเกาะตัวของผงกราฟไฟต์ ซึ่งพบว่าการกระจายและยึดเกาะตัวที่เหมาะสม แล้วจึงนำไปตรวจสอบค่าความนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง Hall Effect Measurement System ซึ่งให้ค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 156 S/m ที่ความหนา 150 ไมโครเมตร และนำวัสดุฐานรอง PET ไปวัดค่าไดอิเล็กตริกด้วยเครื่อง Split Cylinder Resonator ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.8

โดยสายอากาศในรูปแบบต่าง ๆ นั้น จะเกิดจากการออกแบบสายอากาศให้มีขนาดและรูปร่างที่สามารถรองรับความถี่ตามที่ต้องการ แล้วจึงสร้างพิมพ์สายอากาศ การเทและปาดกาวกราฟิต์ตามขั้นตอนเหมือนการสร้างแผ่นกราฟิต์นั่นเอง ซึ่งมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 5.8 และจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ ในหัวข้อถัดไป



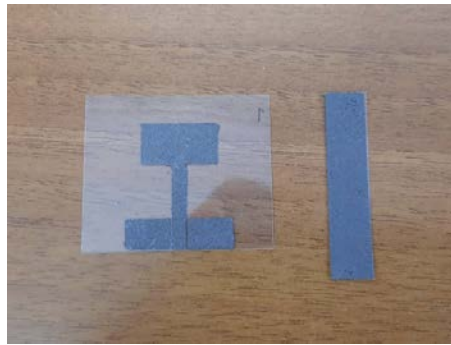
รูปที่ 5.5 กาวเอนกประสงค์



รูปที่ 5.6 ผงกราฟิต์



รูปที่ 5.7 กาวกราฟิต์

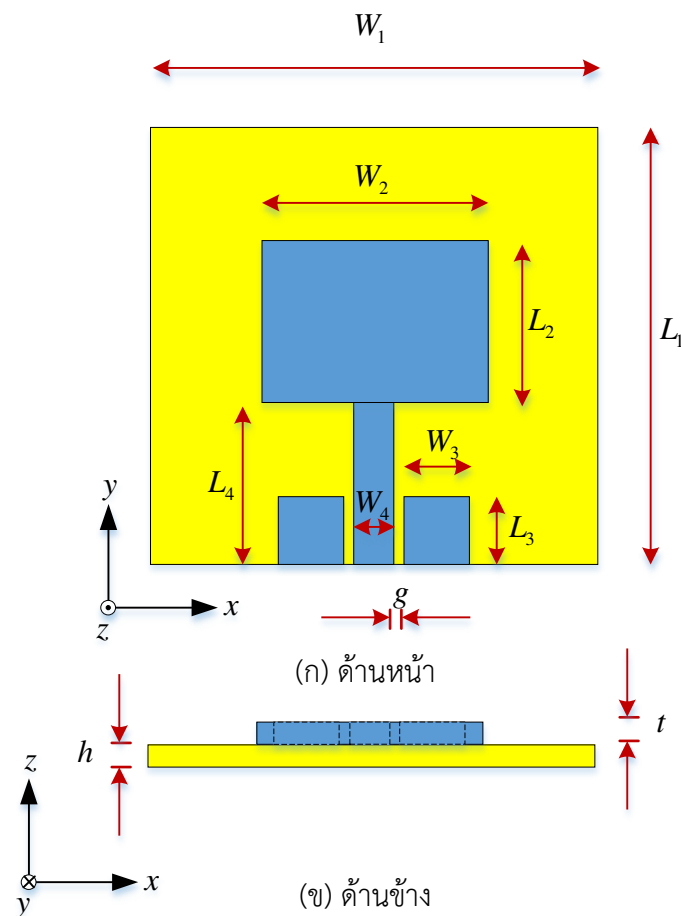


รูปที่ 5.8 สายอากาศจากกาวกราฟิตรีบรูปสี่เหลี่ยม

5.4 การออกแบบและสร้างสายอากาศจากวัสดุกราฟิตรีบ

5.4.1 การออกแบบสายอากาศย่านความถี่ 5.2 GHz

โดยในการออกแบบสายอากาศนั้นจะเลือกความถี่ที่ 5.2 GHz มาเป็นตัวอย่าง ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ของโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศโมโนโพลแบบระนาบร่วมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า นั้นมีโครงสร้างแสดงได้ดังรูปที่ 5.9 โดยมีค่าคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศที่ได้จากกาวกราฟิตรีบวัสดุฐานรอง PET ที่สามารถหาค่าได้จากสมการดังนี้



รูปที่ 5.9 สายอากาศโมโนโพลแบบระนาบร่วมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุตัวนำ (กาวกราไฟต์)	$\sigma = 156 \text{ S/m}$
ค่าความหนาของวัสดุตัวนำ	$t = 0.15 \text{ มิลลิเมตร}$
ค่าความหนาของวัสดุฐานรองโพลีเอสเตอร์	$h = 0.135 \text{ มิลลิเมตร}$
ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง	$\epsilon_r = 2.8$

1. ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศที่ได้จากแผ่นกราไฟต์ที่สร้างขึ้นมาจากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่าความถี่เรโซแนนซ์กราไฟต์ f_{gs} ที่หาได้จากสมการที่ (5.1)

$$f_{gs} = \frac{f_r}{2.16} \quad (5.1)$$

2. ค่าความยาวคลื่นของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า λ_{gs} ที่หาได้จากสมการที่ (5.2)

$$\lambda_{gs} = \frac{c}{f_{gs}} \quad (5.2)$$

3. ค่าความกว้างของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า W ที่หาได้จากสมการที่ (5.3)

$$W = \frac{\lambda_{gs}}{2\sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (5.3)$$

4. ค่าไดอิเล็กตริกประสิทธิภาพของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า ϵ_{eff} ที่หาได้จากสมการที่ (5.4)

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-1}, \quad \frac{W}{h} > 1 \quad (5.4)$$

5. ค่าความกว้างประสิทธิภาพของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า L_{eff} ที่หาได้จากสมการที่ (5.5)

$$L_{eff} = \frac{\lambda_{gs}}{2\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (5.5)$$

6. ค่าความยาวการกระจายคลื่นในแนวเส้นสนามไฟฟ้า ΔL ของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET หาได้จากสมการที่ (5.6)

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\varepsilon_{eff} + 0.3)(\frac{W}{h} + 0.264)}{(\varepsilon_{eff} - 0.258)(\frac{W}{h} + 0.8)} \quad (5.6)$$

7. ค่าความยาวของวัสดุฐานรองของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า L_1 ที่หาได้จากสมการที่ (5.7)

$$L_1 = L_{eff} - 2\Delta L \quad (5.7)$$

8. ค่าความกว้างของวัสดุฐานรองของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า W_1 ที่หาได้จากสมการที่ (5.8)

$$W_1 = 6h + W \quad (5.8)$$

9. ค่าความกว้างของตัวแผ่สัญญาณของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า W_2 ที่หาได้จากสมการที่ (5.9)

$$W_2 = 0.24\lambda_{gs} \left[\frac{\varepsilon_r + 1}{2} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (5.9)$$

10. ค่าความยาวของตัวแผ่สัญญาณของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า L_2 ที่หาได้จากสมการที่ (5.10)

$$L_2 = \frac{0.32\lambda_{gs}}{2\sqrt{\varepsilon_r}} - 2\Delta L \quad (5.10)$$

11. ค่าความกว้างของระนาบกรวดของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า W_3 ที่หาได้จากสมการที่ (5.11)

$$W_3 = \frac{0.16\lambda_{gs}}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \quad (5.11)$$

12. ค่าความยาวของระนาบกรวดของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า L_3 ที่หาได้จากสมการที่ (5.12)

$$L_3 = \frac{0.068\lambda_{gs}}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \quad (5.12)$$

13. ค่าความกว้างของสายนำสัญญาณของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า W_4 ที่หาได้จากสมการที่ (5.13)

$$W_4 = \frac{0.05\lambda_{gs}}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (5.13)$$

14. ค่าความยาวของสายนำสัญญาณของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า L_4 ที่หาได้จากสมการที่ (5.14)

$$L_4 = \frac{0.33\lambda_{gs}}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (5.14)$$

15. ช่องว่างระหว่างสายนำสัญญาณกับระนาบกราวด์ของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จะได้ค่า g ที่หาได้จากสมการที่ (5.15) – (5.26)

$$a = \frac{W_4}{2} \quad (5.15)$$

$$b = \frac{2g + W_4}{2} \quad (5.16)$$

$$k_1 = \frac{a}{b} \quad (5.17)$$

$$k_2 = \frac{\sinh\left(\frac{\pi a}{2h}\right)}{\sinh\left(\frac{\pi b}{2h}\right)} \quad (5.18)$$

$$k_1' = \sqrt{1 - (k_1)^2} \quad (5.19)$$

$$k_2' = \sqrt{1 - (k_2)^2} \quad (5.20)$$

ที่ $k_1 = 0.757$ ตามเงื่อนไข $0.707 < k < 1$

$$\frac{K(k_1)}{K'(k_1)} = \frac{1}{\pi} \ln \left[2 \frac{(1 + \sqrt{k_1})}{(1 - \sqrt{k_1})} \right] \quad (5.21)$$

$$K'(k_1) = K(k_1) \quad (5.22)$$

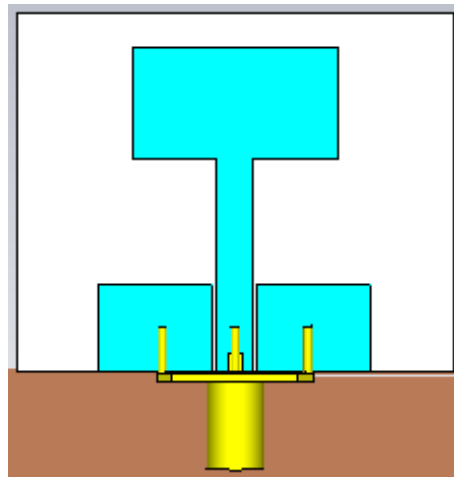
ที่ $k_2 = 0.00092$ ตามเงื่อนไข $0 < k < 0.707$

$$\frac{K(k_2)}{K'(k_2)} = \frac{\pi}{\ln \left[2 \frac{(1 + \sqrt{k_2'})}{(1 - \sqrt{k_2'})} \right]} \quad (5.23)$$

$$q = \frac{1}{2} \left(\frac{K(k_2)K'(k_1)}{K'(k_2)K(k_1)} \right) \quad (5.24)$$

$$\varepsilon_{re} = 1 + q(\varepsilon_r - 1) \quad (5.25)$$

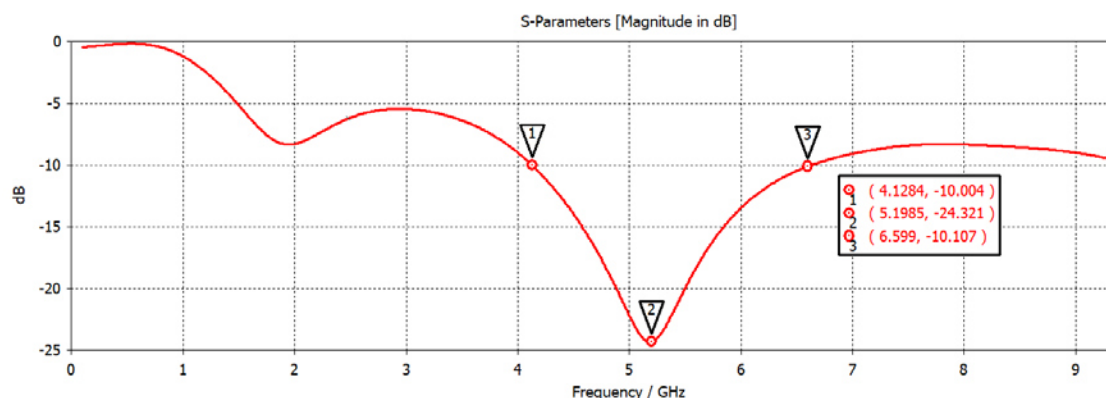
$$Z_0 = \frac{30\pi}{\sqrt{\varepsilon_{re}}} \frac{K'(k_1)}{K(k_1)} \quad (5.26)$$



รูปที่ 5.10 โครงสร้างของสายอากาศที่ได้จากกาวกราฟต์บนวัสดุฐานรอง PET จากโปรแกรม CST

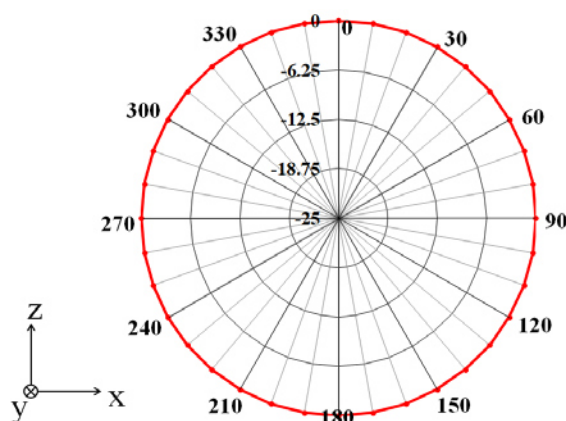
5.4.2 การจำลองแบบสายอากาศย่านความถี่ 5.2 GHz

จากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่คำนวณไว้แล้วนั้น จึงนำไปทำการจำลองแบบของสายอากาศด้วยโปรแกรม CST แสดงได้ดังรูปที่ 5.10 โดยอาศัยวิธีการเชิงประสบการณ์ในการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) และค่าแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ ที่ครอบคลุมการใช้งานตลอดย่านตามมาตรฐาน แสดงได้ดังรูปที่ 5.11

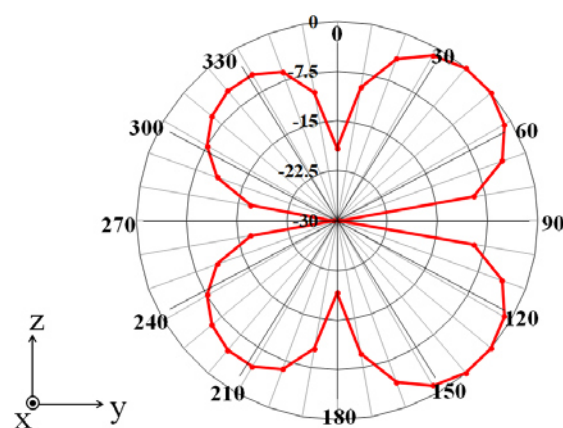


รูปที่ 5.11 ผลการจำลองแบบของค่า S_{11} จากโปรแกรม CST

ในส่วนของการพิจารณาแบบรูปการแผ่พลังงานตามระนาบ XZ จะเป็นการแผ่พลังงานในแบบรอบทิศทางและตามระนาบ YZ จะเป็นการแผ่พลังงานในแบบสองทิศทาง แสดงได้ดังรูปที่ 5.12-5.13 โดยมีค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่เรโซแนนซ์เป็น 4.36 dBi

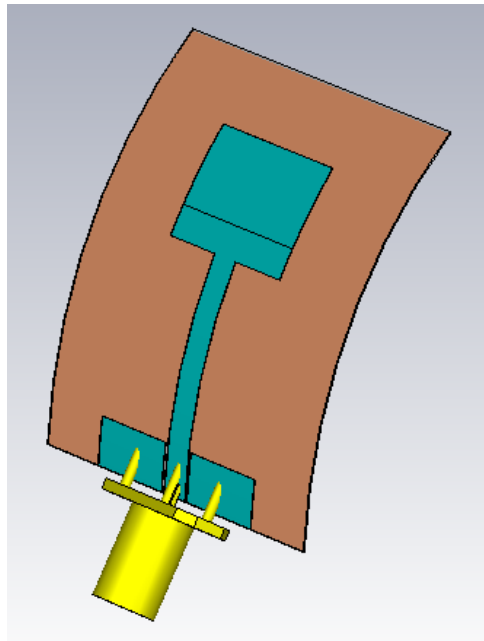


รูปที่ 5.12 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ระนาบ XZ จากโปรแกรม CST

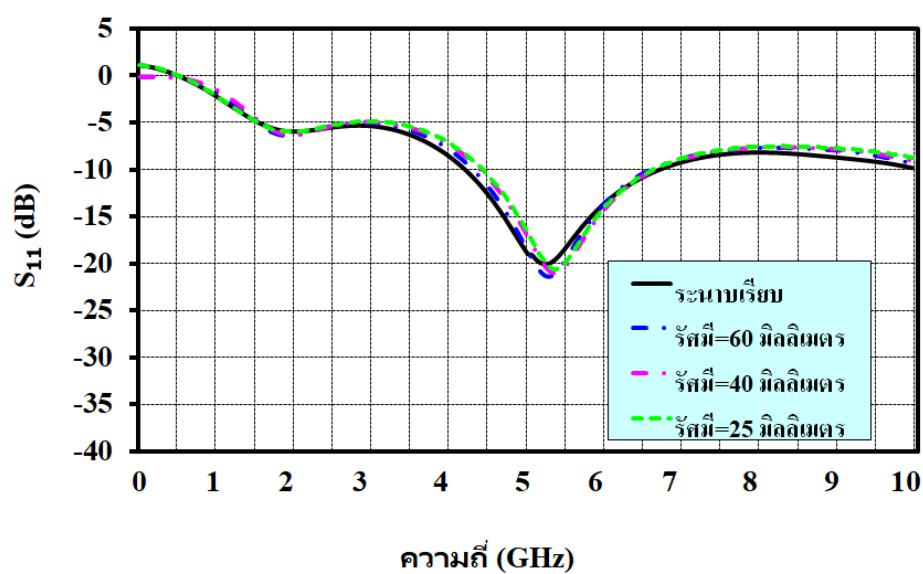


รูปที่ 5.13 แบบรูปการแผ่พลังงานที่ระนาบ YZ จากโปรแกรม CST

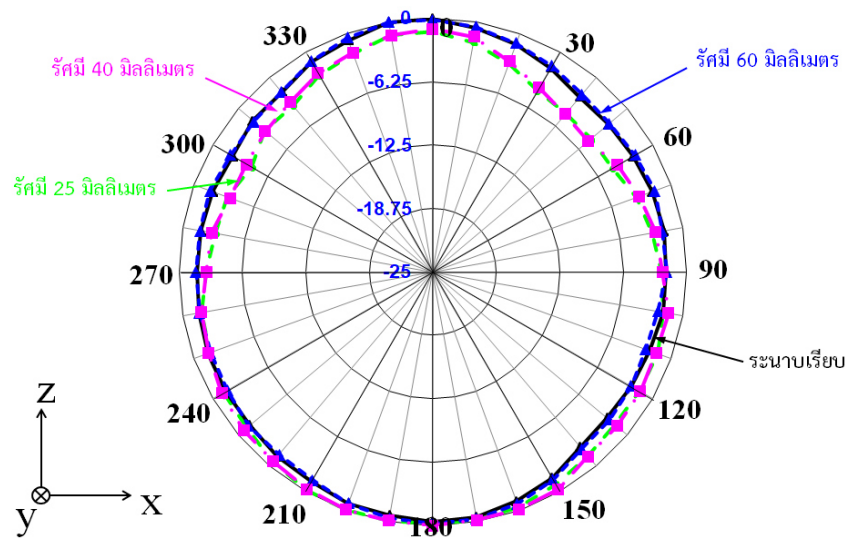
ลำดับสุดท้ายจะทำการจำลองแบบการโค้งงอโครงสร้างของสายอากาศที่ได้จากกาวกราไฟต์บนวัสดุฐานรอง PET ด้วยรัศมี 3 ระดับคือ 60, 40 และ 25 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5.14 และผลของการเปรียบเทียบค่า S_{11} ที่เกิดขึ้นทั้ง 3 ระดับ แสดงได้ดังรูปที่ 5.15 ส่วนแบบรูปการแผ่พลังงาน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.16 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่า S_{11} และแบบรูปการแผ่พลังงานนั้นมีแนวโน้มของทิศทางที่ใกล้เคียงกันกับสายอากาศที่อยู่ในระนาบเรียบ



รูปที่ 5.14 ตัวอย่างการโค้งงอโครงสร้างสายอากาศที่รัศมี 60 มิลลิเมตร จากโปรแกรม CST



รูปที่ 5.15 ผลการจำลองแบบของค่า S_{11} บนโครงสร้างสายอากาศที่โค้งงอที่รัศมี 60, 40 และ 25 มิลลิเมตร จากโปรแกรม CST



รูปที่ 5.16 ผลการจำลองแบบของแบบรูปการแผ่พลังงานบนโครงสร้างสายอากาศที่โค้งงอด้วยรัศมี 60, 40 และ 25 มิลลิเมตร ที่ระนาบ XZ จากโปรแกรม CST

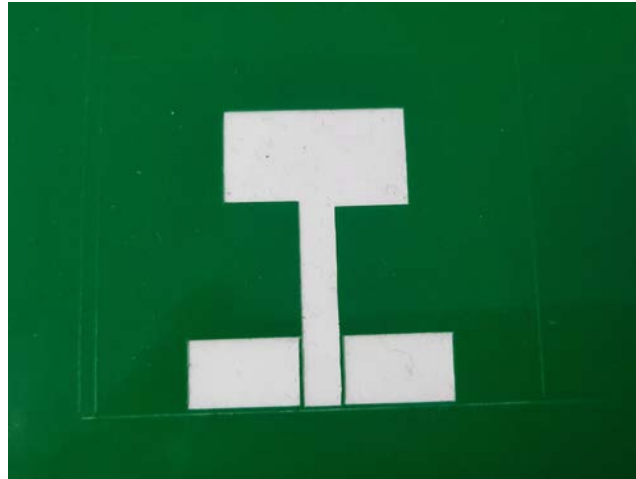
ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ จากโปรแกรม CST

พารามิเตอร์	ขนาด (มิลลิเมตร)
W_1 : ค่าความกว้างของวัสดุฐานรอง	45
W_2 : ค่าความกว้างของตัวแผ่พลังงาน	21
W_3 : ค่าความกว้างของกราวด์	11.6
W_4 : ค่าความกว้างของสายนำสัญญาณ	3.8
g : ค่าความกว้างของแกป	0.4
L_1 : ค่าความยาวของวัสดุฐานรอง	37
L_2 : ค่าความยาวของตัวแผ่พลังงาน	11.5
L_3 : ค่าความยาวของกราวด์	5
L_4 : ค่าความยาวของสายนำสัญญาณ	22
t_1 : ค่าความหนาของแผ่นกราฟไฟต์	0.15
h : ค่าความสูงของวัสดุฐานรอง	0.135

10.4.3 การสร้างสายอากาศย่านความถี่ 5.2 GHz

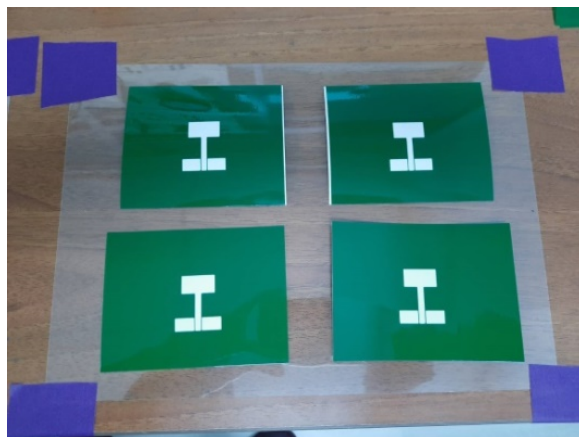
หลังจากที่ได้ทำการออกแบบสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz และทำการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST โดยที่สายอากาศโมโนโพลแบบระนาบร่วมรูปสี่เหลี่ยมพื้นฐานนี้ แสดงได้ดังรูปที่

5.9 และขนาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามตารางที่ 5.2 เรียบร้อยแล้วนั้น จะใช้กระดาษสติ๊กเกอร์สีเขียวแบบกระดาษมัน (Kodak Digital Paper) ที่มีความหนาประมาณ 100 ไมโครเมตร มาทำการตัดขึ้นรูปตามขนาดที่ออกแบบไว้ด้วยเครื่องตัดแผ่นสติ๊กเกอร์ แสดงดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 แผ่นสติ๊กเกอร์รูปโครงสร้างสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz

หลังจากนั้นทำการตัดแผ่นสติ๊กเกอร์สีเขียวให้มีขนาดที่เหมาะสมมีความกว้างกับความยาวประมาณ 8x8 เซนติเมตร แล้วลอกแผ่นกระดาษรองสติ๊กเกอร์ออก นำเฉพาะแผ่นสติ๊กเกอร์ไปติดแนบลงบนแผ่นวัสดุฐานรอง แสดงได้ดังรูปที่ 5.18



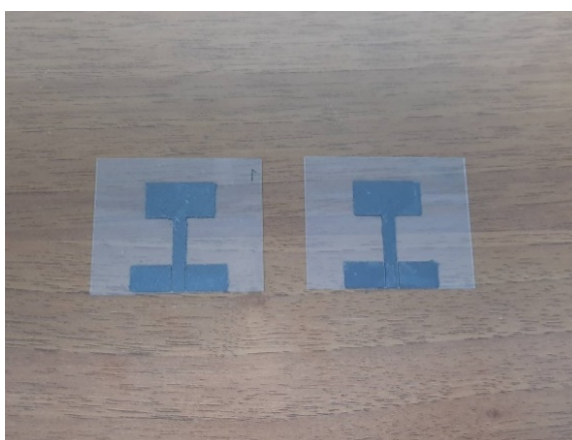
รูปที่ 5.18 แบบพิมพ์สติ๊กเกอร์ ที่เตรียมวางลงบนแผ่นวัสดุฐานรอง PET

จากนั้นทำการเทกาวกราไฟต์ ลงไปบนแบบพิมพ์สติ๊กเกอร์ แล้วปาดสกรีนด้วยยางปาดสกรีนให้เรียบเสมอกัน แสดงได้ดังรูปที่ 5.19



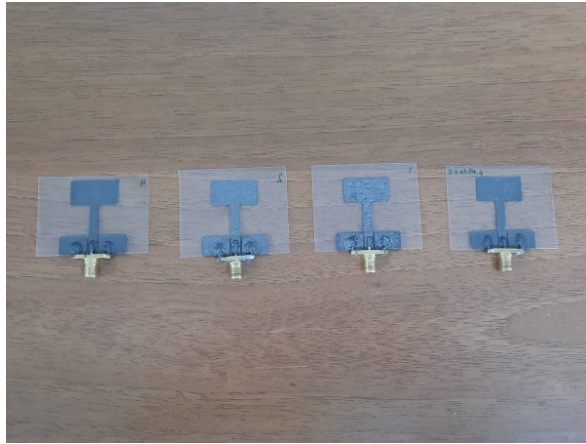
รูปที่ 5.19 การปาดสกรีนกาวกราฟิต์ลงบนแบบพิมพ์สติกเกอร์

หลังจากที่ทำการเท-ปาดสกรีนกาวกราฟิต์เรียบร้อยแล้ว ก็จะปล่อยให้แห้งประมาณ 6 ชั่วโมง แล้วจึงทำการลอกแบบพิมพ์สติกเกอร์ออก แล้วจึงทำการตัดแผ่นวัสดุฐานรองตามขนาดความกว้างและความยาวตามตารางที่ 5.2 ก็จะได้เป็นแผ่นสายอากาศจากกาวกราฟิต์ที่เสร็จสมบูรณ์ แสดงได้ดังรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 แผ่นสายอากาศกราฟิต์ที่ได้จากกาวกราฟิต์

หลังจากที่ได้ตัดแผ่นสายอากาศตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้แล้วนั้น จะทำการตรวจสอบสภาพทางกายภาพทั้งรูปร่าง ขนาดและความราบเรียบของระนาบกาวกราฟิต์ที่ยึดติดบนวัสดุฐานรอง PET แล้วจึงนำหัว SMA มายึดติดกับแผ่นสายอากาศ โดยใช้กาวกราฟิต์ในการยึดติด แสดงได้ดังรูปที่ 5.21



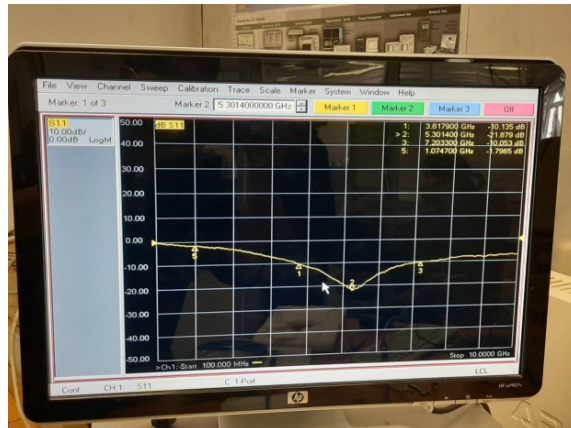
รูปที่ 5.21 แผ่นสายอากาศกราฟไฟต์ที่ใส่หัว SMA แล้ว

5.5 การทดสอบสายอากาศจากวัสดุกราฟไฟต์

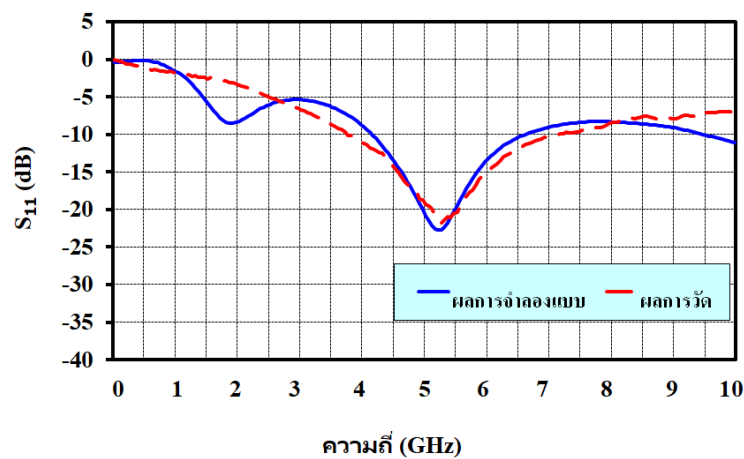
การทดสอบสายอากาศจะใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) โดยจะทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) ค่าแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ แบบรูปการแผ่พลังงานและอัตราขยายของสายอากาศ โดยเริ่มจากการแคลลิเบรตเครื่องวัดก่อน ซึ่งจะเริ่มจากการเลือกช่วงความถี่ที่ความถี่ 100 MHz ถึง 10 GHz และเลือกใช้ค่าอิมพีแดนซ์ที่ 50 โอห์ม โดยสั่งทำการแคลลิเบรตแบบอัตโนมัติ แล้วจึงทำการเริ่มวัดผลของค่า S_{11} กับค่าแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศในระนาบเรียบ แสดงได้ดังรูปที่ 5.22 และนำผลการวัดที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองแบบ แสดงได้ดังรูปที่ 5.23-5.24 ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แสดงได้ตามตารางที่ 5.3



รูปที่ 5.22 สายอากาศในระนาบเรียบ



รูปที่ 5.23 ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศในระนาบเรียบ

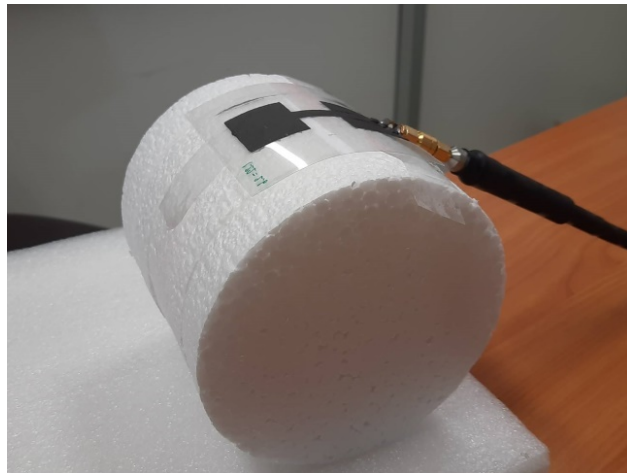


รูปที่ 5.24 ค่า S_{11} ของผลการวัดกับผลการจำลองแบบ ที่ความถี่ 5.2 GHz

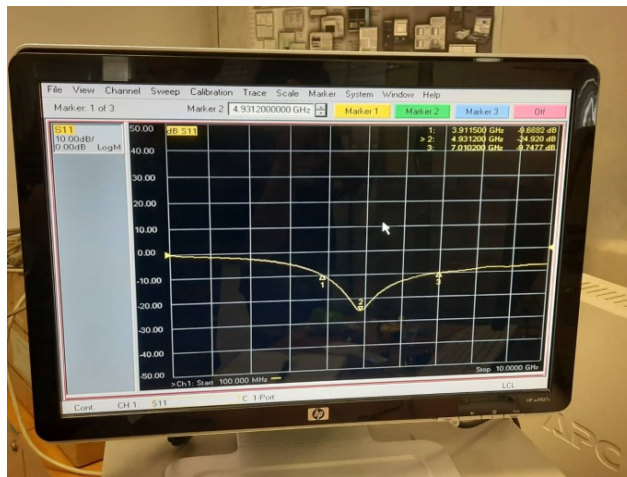
ตารางที่ 5.3 ค่า S_{11} และแบนด์วิธที่อิมพีแดนซ์ของผลการวัดกับผลการจำลองแบบ

ความถี่ (GHz)	ผลการจำลองแบบ			ผลการวัด		
	แบนด์วิธ (GHz)	ความถี่ เรโซแนนซ์ (GHz)	S_{11} (dB)	แบนด์วิธ (GHz)	ความถี่ เรโซแนนซ์ (GHz)	S_{11} (dB)
5.2	4.15 – 6.58	5.20	-22.77	3.75 – 7.29	5.29	-21.83

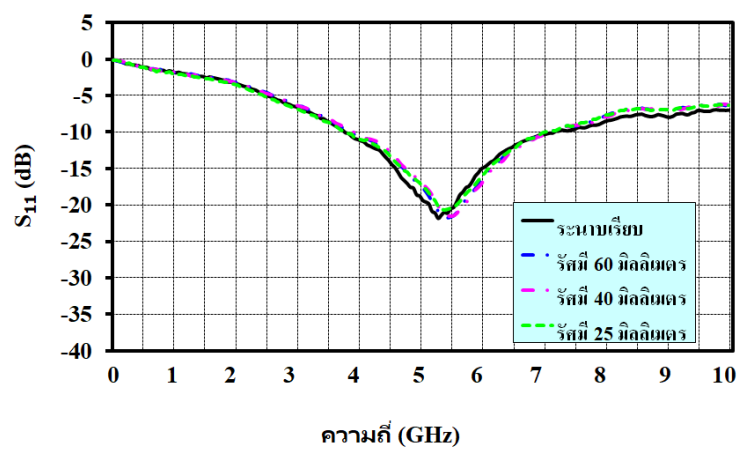
จากนั้นทำการวัดผลการโค้งงอสายอากาศบนโพททรงกระบอกที่มีรัศมี 60, 40 และ 25 มิลลิเมตร แล้วจึงทำการวัดผลของค่า S_{11} กับค่าแบนด์วิธที่อิมพีแดนซ์ และนำผลการวัดที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองแบบ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 5.25-5.27 ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แสดงได้ตามตารางที่ 5.4



รูปที่ 5.25 สายอากาศที่รัศมีโค้งงอ 60 มิลลิเมตร บนโฟม



รูปที่ 5.26 ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศที่รัศมีโค้งงอ 60 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.27 ผลการวัดค่า S_{11} ของสายอากาศที่รัศมีโค้งงอ 60, 40 และ 25 มิลลิเมตร

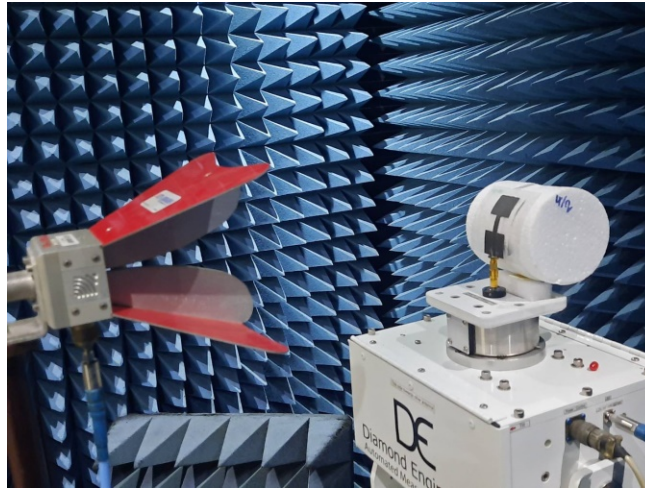
ตารางที่ 5.4 ค่า S_{11} และแบนด์วิดท์อิมพีแดนซ์ของผลการวัดกับผลการจำลองแบบที่รัศมีโค้งงอ 60, 40 และ 25 มิลลิเมตร

ความถี่ เรโซแนนซ์ (GHz)	ระนาบเรียบ		การโค้งงอ					
			รัศมี 60 มิลลิเมตร		รัศมี 40 มิลลิเมตร		รัศมี 25 มิลลิเมตร	
	แบนด์วิดท์ ₁ (GHz)	f_{r1} (GHz)	แบนด์วิดท์ ₂ (GHz)	f_{r2} (GHz)	แบนด์วิดท์ ₃ (GHz)	f_{r3} (GHz)	แบนด์วิดท์ ₄ (GHz)	f_{r4} (GHz)
5.2	3.75 – 7.29	5.29	3.96 – 7.03	5.39	3.91 – 7.03	5.44	3.81 – 6.98	5.39

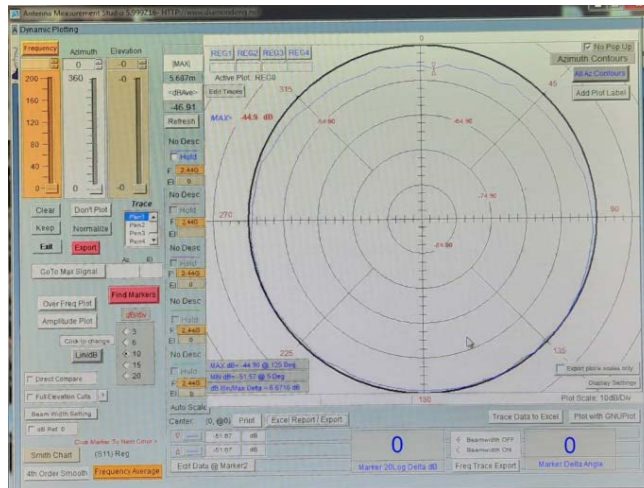
ถัดมาจะทำการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน ซึ่งจะทำในห้องทดสอบ (Chamber Room) โดยจะทำการวัด 2 ระนาบคือระนาบ XZ กับระนาบ YZ โดยจะใช้ตัวส่งสัญญาณเป็นสายอากาศแบบฮอว์น (Double Ridged Model 3117) และนำสายอากาศที่สร้างขึ้นมาจากกาวกราไฟต์เป็นตัวรับสัญญาณ โดยวางสูงจากพื้นประมาณ 1.2 เมตร ซึ่งมีระยะห่างระหว่างตัวส่งกับตัวรับประมาณ 2 เมตร โดยจะวัดผลทั้งระนาบเรียบและระนาบโค้งตามรัศมีต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 5.28-5.30 และนำผลการวัดที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองแบบ แสดงได้ดังรูปที่ 5.31-5.33 โดยจะเห็นว่าผลที่ได้มีแนวโน้มที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน



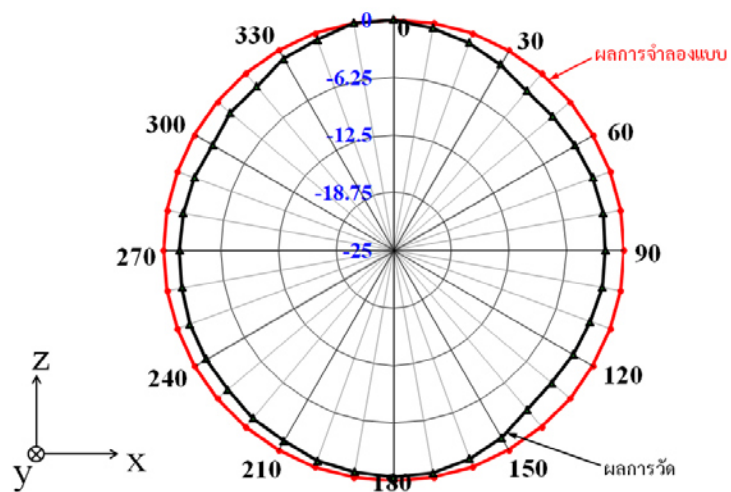
รูปที่ 5.28 ห้องทดสอบแบบรูปการแผ่พลังงาน



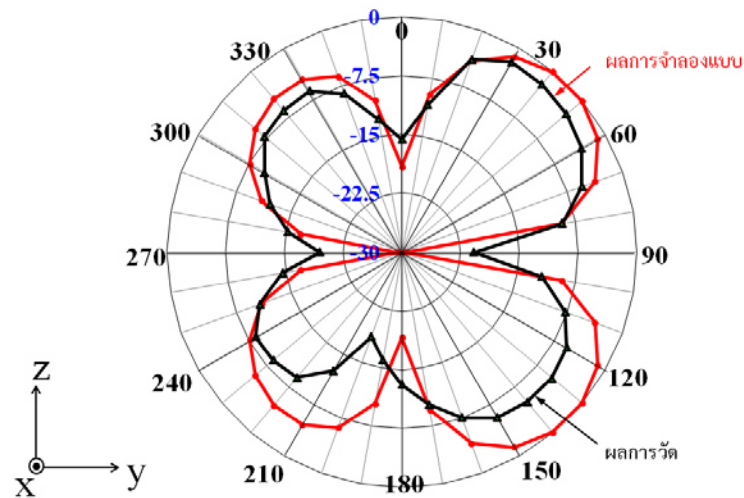
รูปที่ 5.29 การจัดเตรียมตำแหน่งการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน



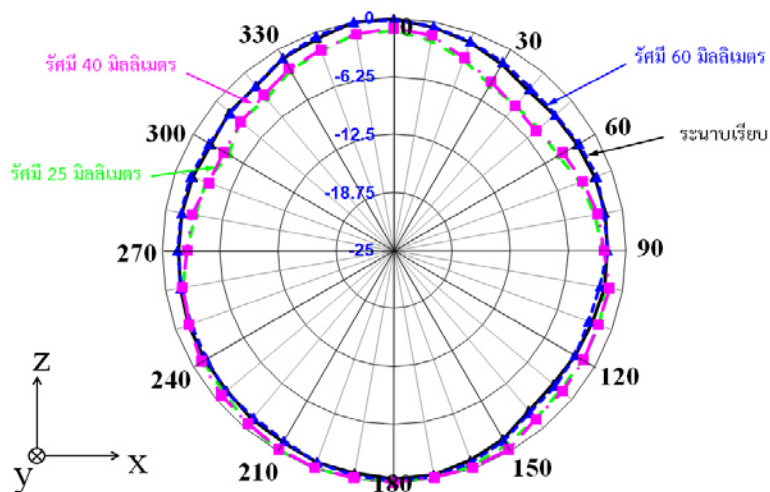
รูปที่ 5.30 หน้าจอคอมพิวเตอร์แสดงผลการวัดแบบรูปการแผ่พลังงาน



รูปที่ 5.31 แบบรูปการแผ่พลังงานของผลการวัดกับผลการจำลองแบบ ระนาบ XZ



รูปที่ 5.32 แบบรูปการแผ่พลังงานของผลการวัดกับผลการจำลองแบบ ระนาบ YZ



รูปที่ 5.33 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศที่รัศมีโค้งงอ 60, 40 และ 25 มิลลิเมตร ระนาบ XZ

ในส่วนของอัตราขยายของสายอากาศนั้น ที่สายอากาศตัวส่งเป็นแบบฮอว์น (Double Ridged Model 3117) ที่ใช้ส่งความถี่เข้าไปยังสายอากาศตัวรับที่ทำจากกาวกราไฟต์ โดยสามารถคำนวณอัตราขยายของสายอากาศ ได้จากสมการที่ (5.27)

$$G_r = P_r - P_t + L_f + L_{line} - G_t \quad (5.27)$$

P_t คือ กำลังงานของภาคส่ง (dBm)

P_r คือ กำลังงานของภาครับ (dBm)

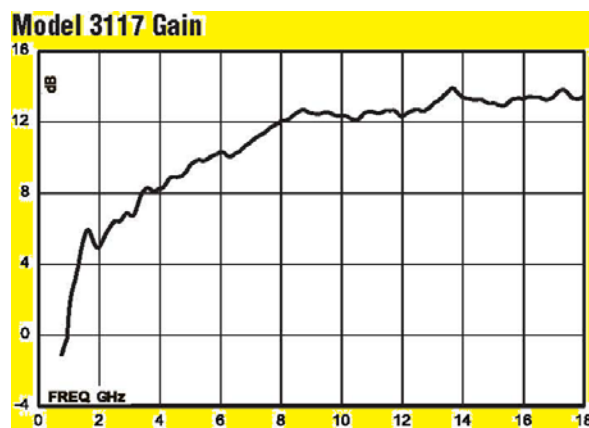
L_{line} คือ กำลังงานที่สูญเสียจากสายส่งที่ด้านส่งและด้านรับ

L_f คือ กำลังงานที่สูญเสียจากอากาศเท่ากับ $20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)$

G_t คือ อัตราขยายสายอากาศของภาคส่ง

G_r คือ อัตราขยายสายอากาศของภาครับ

โดยดูค่ากำลังการส่งของสายอากาศที่ภาคส่งที่ความถี่ 5.2 GHz จากกราฟที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.34 ซึ่งมีค่าประมาณ 9.9 dB



รูปที่ 5.34 กราฟค่ากำลังการส่งของสายอากาศภาคส่งแบบฮอร์น (Double Ridged Model 3117)

ดังนั้นค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz สามารถคำนวณได้ดังนี้

อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง (G_t)	=	9.9	dB
กำลังที่ถูกส่งออก (P_t) กำหนดไว้ที่	=	0	dBm
ระยะห่างของสายอากาศภาครับและภาคส่ง d	=	2	เมตร
ค่าการสูญเสียของสายอากาศ (L_f)	=	52.15	dB
ค่าการสูญเสียของสายนำสัญญาณที่ด้านส่งและด้านรับ L_{line}	=	8.5	dB
ค่ากำลังงานสูงสุดที่ได้รับ (P_r)	=	-48.77	dBm

นำมาแทนค่าได้เป็น

$$G_r = P_r - P_t + L_f + L_{line} - G_t$$

$$G_r = -48.77 - 0 + 52.15 + 8.5 - 9.9$$

$$G_r = 1.98 \text{ dB}$$

จะได้ค่าอัตราขยายของสายอากาศที่ความถี่ 5.2 GHz เท่ากับ 1.98 dB

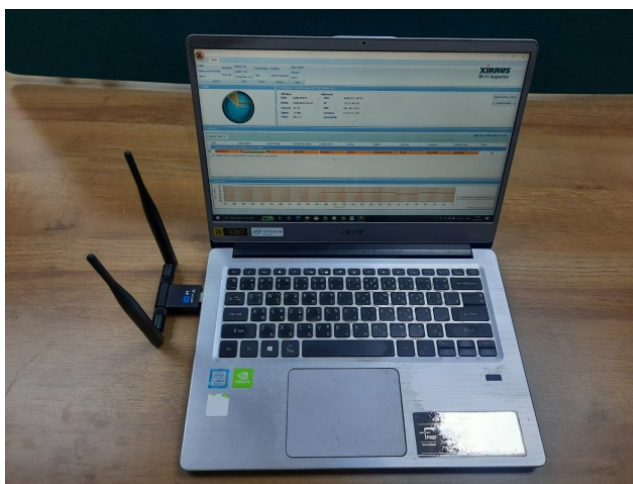
5.6 การประยุกต์ใช้งานสายอากาศจากวัสดุกราฟไฟต์

5.6.1 ด้านการรับสัญญาณ

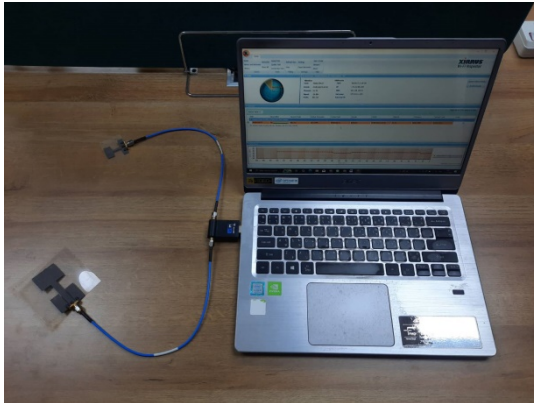
การประยุกต์ใช้สายอากาศจากวัสดุกราฟไฟต์กับงานด้านการรับสัญญาณ โดยจะนำไปทดสอบใช้งานจริงด้วยการต่อร่วมกับอุปกรณ์ WiFi 11AC USB Adapter 2.4G/5.8G (AC1200) แสดงได้ดังรูปที่ 5.35 โดยจะเริ่มจากการสลับสายอากาศเดิมออกแล้วนำสายอากาศกราฟไฟต์ที่สร้างขึ้นมาใส่แทน แสดงได้ดังรูปที่ 5.36 จากนั้นนำแล็ปท็อปยี่ห้อ Acer รุ่น Swift3 แสดงได้ดังรูปที่ 5.37 ที่มีการติดตั้งโปรแกรมตรวจสอบสัญญาณความถี่ Xirrus WiFi Inspector ไว้แล้วนั้น โดยใช้ อุปกรณ์ Access Point ยี่ห้อ Alcatel เป็นตัวปล่อยสัญญาณความถี่ แสดงได้ดังรูปที่ 5.38 ซึ่งจะดูผลการรับสัญญาณจากโปรแกรมบนหน้าจอของแล็ปท็อป เพื่อทำการเปรียบเทียบการรับสัญญาณจากสายอากาศเดิมที่อยู่ภายในแล็ปท็อป แสดงได้ตามตารางที่ 5.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศเดิมภายในแล็ปท็อปกับอุปกรณ์ WiFi AC1200 และสายอากาศกราฟไฟต์ที่สร้างขึ้นนั้น มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะสามารถนำมาใช้ทดแทนในการใช้งานกันได้จริง

ตารางที่ 5.5 ผลการวัดระดับสัญญาณที่ได้รับจากสายอากาศแบบต่าง ๆ

สายอากาศ		ความถี่ (GHz)	ค่าสัญญาณ (dBm)	ช่องสัญญาณ
Acer Swift3	ภายในเครื่อง	5.300, 5.320	-51	60, 64
AC1200	ภายนอก	5.300, 5.320	-48	60, 64
สายอากาศ กราฟไฟต์	ระนาบเรียบ	5.300, 5.320	-49	60, 64
	โค้งงอ	5.300, 5.320	-49	60, 64



รูปที่ 5.35 อุปกรณ์ WiFi AC1200

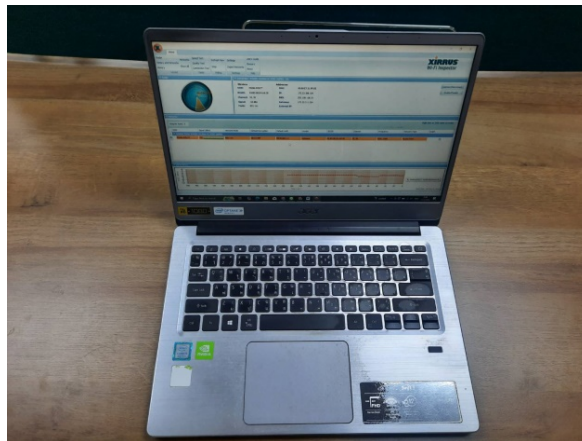


(ก) ระนาบเรียบ



(ข) ระนาบโค้งงอ

รูปที่ 5.36 สายอากาศทาวเวอร์ไฟต์ทั้ง 2 ระนาบ



รูปที่ 5.37 Acer รุ่น Swift3



รูปที่ 5.38 Access Point ยี่ห้อ Alcatel

5.6.2 ด้านการส่งสัญญาณ

การประยุกต์ใช้สายอากาศจากวัสดุกราฟาไฟต์กับงานด้านการส่งสัญญาณ โดยจะนำไปทดสอบใช้งานจริงด้วยการต่อร่วมกับอุปกรณ์ Access Point ยี่ห้อ TP-Link รุ่น TPWDR7400 ซึ่งจะใช้เป็นตัวปล่อยสัญญาณ แสดงได้ดังรูปที่ 5.39 โดยจะเริ่มจากการสลัดสายอากาศเดิมออกแล้วนำสายอากาศกราฟาไฟต์ที่สร้างขึ้นมาสวมแทนโดยจะนำใส่กล่องพลาสติกไว้ แสดงได้ดังรูปที่ 5.40 แล้วใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ยี่ห้อซัมซุงรุ่น A50s ที่ติดตั้งโปรแกรม WiFi Monitor ไว้แล้ว เป็นตัวรับสัญญาณและทำการวัดระดับสัญญาณคลื่นความถี่ แสดงได้ดังรูปที่ 5.41 จากนั้นจะนำผลที่วัดได้ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน แสดงได้ดังตารางที่ 5.6 โดยจะเห็นได้ว่าค่าสัญญาณที่วัดได้จากสายอากาศของอุปกรณ์ Access Point และสายอากาศกราฟาไฟต์นั้น มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะสามารถนำมาใช้ทดแทนในการใช้งานกันได้จริง



รูปที่ 5.39 Access Point TP-Link รุ่น TPWDR7400



รูปที่ 5.40 สายอากาศกราฟาไฟต์ต้นแบบ



รูปที่ 5.41 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลจากโปรแกรม WiFi Monitor

ตารางที่ 5.6 ผลการวัดระดับสัญญาณที่ส่งจากสายอากาศแบบต่าง ๆ

สายอากาศ	ความถี่ (GHz)	ค่าสัญญาณ (dBm)	ช่องสัญญาณ
Access Point	5.745	-63	149
สายอากาศทาวเวอร์ไฟต์	5.745	-65	149

5.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการพัฒนาสายอากาศจากวัสดุที่แตกต่างกันออกไปจากวัสดุที่เคยมีมาก่อนหน้านี้ ด้วยการนำวัสดุกราฟไฟต์ที่อยู่ในรูปแบบของผงกราฟไฟต์มาผสมร่วมกับกาวเอนกประสงค์ตามสัดส่วนที่เหมาะสม จนกลายเป็นกาวกราฟไฟต์ที่มีความเหลวและหนืดเพียงพอที่จะนำไปสกรีนลงบนวัสดุฐานรอง PET ตามรูปแบบแม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้แล้ว จนกลายเป็นสายอากาศทาวเวอร์ไฟต์ที่สามารถรองรับความถี่ตามที่ต้องการได้ จากการวัดผลและนำไปทดสอบใช้งานจริงทั้งด้านส่งและด้านรับสัญญาณคลื่นความถี่ สายอากาศทาวเวอร์ไฟต์นี้ยังสามารถใช้งานทดแทนสายอากาศดั้งเดิมที่ติดมากับอุปกรณ์หลัก โดยที่สายอากาศทาวเวอร์ไฟต์มีข้อดีคือสามารถที่จะโค้งงอไปตามพื้นระนาบที่โค้งงอได้ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้งานเฉพาะด้านที่เกี่ยวข้องมากขึ้น แต่การสื่อสารไร้สายนั้นอาจยังมีข้อจำกัดทางด้านการส่งผ่านของข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งยังต้องอาศัยการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงแทน โดยจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 5

- ข้อ 1 จงบอกถึงคุณสมบัติของกราไฟต์
- ข้อ 2 จงบอกถึงคุณสมบัติการนำไฟฟ้า
- ข้อ 3 จงบอกถึงค่าความต้านทานของวัสดุประเภทต่าง ๆ
- ข้อ 4 จงบอกหลักการออกแบบโครงสร้างสายอากาศโมโนโพลเบื้องต้น
- ข้อ 5 จงอธิบายถึงการจำลองแบบโครงสร้างสายอากาศโมโนโพล
- ข้อ 6 จงอธิบายถึงคุณสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11})
- ข้อ 7 จงอธิบายถึงแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ
- ข้อ 8 จงอธิบายถึงขั้นตอนการทดสอบสายอากาศ
- ข้อ 9 จงบอกวิธีการหาค่าอัตราขยายของสายอากาศ
- ข้อ 10 จงอธิบายถึงการพัฒนสายอากาศด้วยวัสดุกราไฟต์

บรรณานุกรม

1. แกร์ไฟต์ [ออนไลน์], แหล่งที่มา <https://th.wikipedia.org/wiki/แกร์ไฟต์>, 29 ธันวาคม 2567.
2. สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุวิศวกรรม. [ออนไลน์] แหล่งที่มา <https://riverglennapt.com/th/properties-of-materials/682-electrical-properties-of-engineering-materials.html>, 29 ธันวาคม 2567.
3. ภาณุวิทย์ ทองบ่อ, “การพัฒนาสายอากาศโมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบคู่ด้วยเทคนิคการเซาะร่อง รูปลูกศรและลดปรากฏการณ์เชื่อมต่อร่วมเพื่อประยุกต์ใช้งานในระบบโมโม,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2559.
4. S. Sakulchat, A. Ruengwaree, V. Thongpool and W. Naktong, “Low-Cost Flexible Graphite Monopole Patch Antenna for Wireless Communication Applications,” CMC-Computers, Materials & Continua, vol. 71, no. 3, pp. 6069-6088, 2022.
5. สุวัฒน์ สกุลชาติ อำนวย เรืองวาริ วัชรพล นาคทอง และ วรณศย์ ทองพูล, “สายอากาศกราดไฟต์โมโนโพลแบบระนาบสองย่านความถี่ ที่โค้งงอได้และมีต้นทุนต่ำ สำหรับรองรับการใช้งานย่าน GSM/ITM/WLAN/WiMAX/LTE/X-band,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 34, ฉบับที่ 1, หน้า 1-14, 2567.
6. P. Asavanarakul, A. Ruengwaree and S. Sakulchat, “Graphene-based RFID tag antenna for vehicular smart border passings,” CMC-Computers, Materials & Continua, vol. 71, no. 3, pp. 4737-4748, 2022.
7. สุวัฒน์ สกุลชาติ, “สายอากาศแบบโมโนโพลระนาบร่วมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจากวัสดุกราดไฟต์,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2565.
8. C. Randy and P. Bancroft, Microstrip and Antenna Design. United States 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.

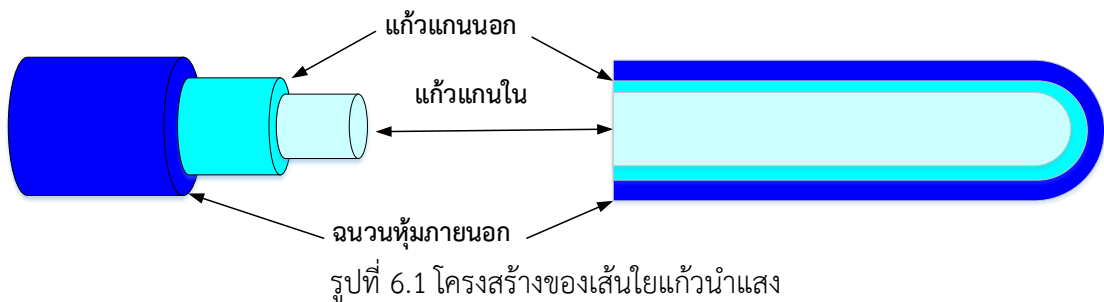
บทที่ 6

เส้นใยแก้วนำแสง

การสื่อสารผ่านสื่อกลางด้วยสายเคเบิลที่จะกล่าวถึงในบทนี้จะเป็นสายประเภทเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะสามารถนำมาเป็นสื่อกลางในการส่งผ่านข้อมูลขนาดใหญ่และมีความรวดเร็วที่สูงขึ้น

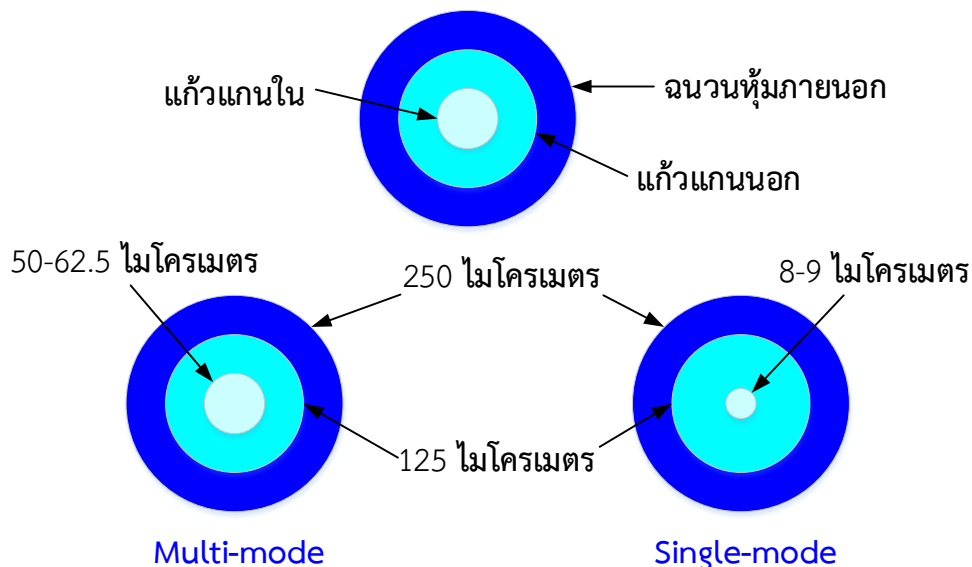
6.1 นิยามเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) จะเป็นสายนำสัญญาณที่ผลิตขึ้นมาจากเส้นใยแก้วบริสุทธิ์ โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณด้วยแสงไปในระยะทางที่ไกล ๆ ได้ ซึ่งจะมีการสูญเสียของสัญญาณต่ำมากและสามารถนำพาข้อมูลขนาดใหญ่มากไปได้ (Bandwidth) โดยที่จะไม่มีผลกระทบจากคลื่นสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าใด ๆ และจะไม่สามารถดักจับข้อมูลระหว่างทางได้ ซึ่งลักษณะโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง แสดงได้ดังรูปที่ 6.1



ข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสายทองแดงคือ

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



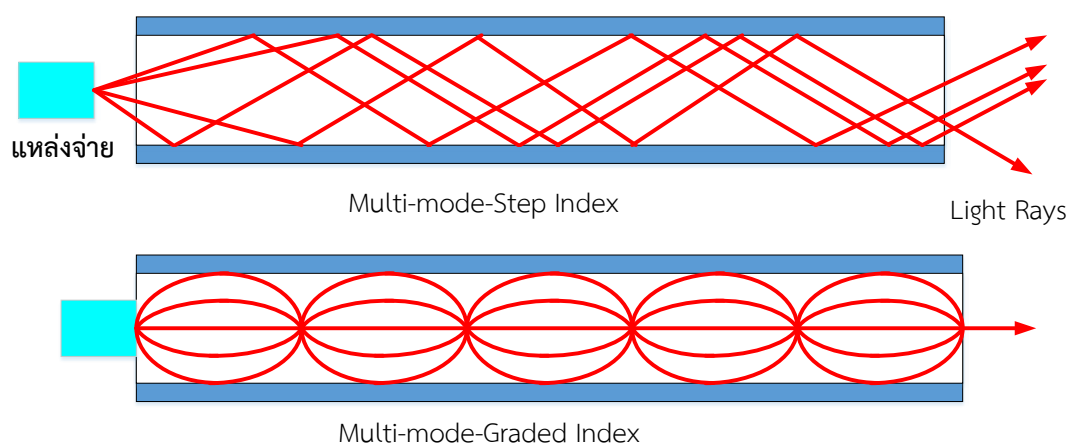
รูปที่ 6.2 ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงทั้ง 2 ชนิด

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 ไมโครเมตร แต่ในแก้วชนิดนี้จะมีการสูญเสียของแสงอยู่มาก ซึ่งจะนำไปใช้ส่งข้อมูลด้วยความเร็วไม่เกิน 100 Mbps ที่ความยาวคลื่น 850 nm สำหรับการส่งข้อมูลกันภายในอาคารหรือต่างอาคารที่มีระยะห่างกันไม่เกิน 2 กิโลเมตร และถ้าใช้ส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1,000 Mbps สำหรับการส่งข้อมูลกันภายในอาคารหรือต่างอาคารที่มีระยะห่างกันไม่เกิน 550 เมตร โดยข้อดีของการใช้สายชนิดนี้คือจะมีราคาของสายและอุปกรณ์ไม่แพงมากนัก

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



รูปที่ 6.3 ลักษณะของการส่งสัญญาณแสงผ่านสายชนิด Multi-mode

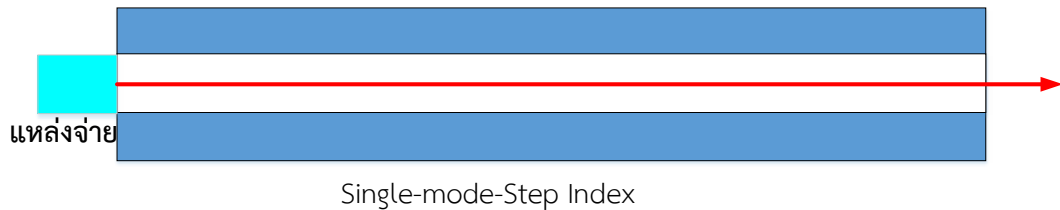
2. ชนิดซิงเกิ้ลโหมด (Single-mode Optical Fiber: SM) ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 8/125, 9/125 ไมโครเมตร มีการสูญเสียของแสงในสายน้อยมาก ซึ่งจะนำไปใช้ส่งข้อมูลด้วยความเร็วประมาณ 40 Gbps ในระยะทางไม่เกิน 20 กิโลเมตรและที่ความเร็วประมาณ 10 Gbps ในระยะทางไม่เกิน 100 กิโลเมตร สำหรับในการใช้ส่งข้อมูลสื่อสารโทรคมนาคม วงจรสื่อสาร โทรศัพท์เคลื่อนที่ เคเบิลทีวี 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

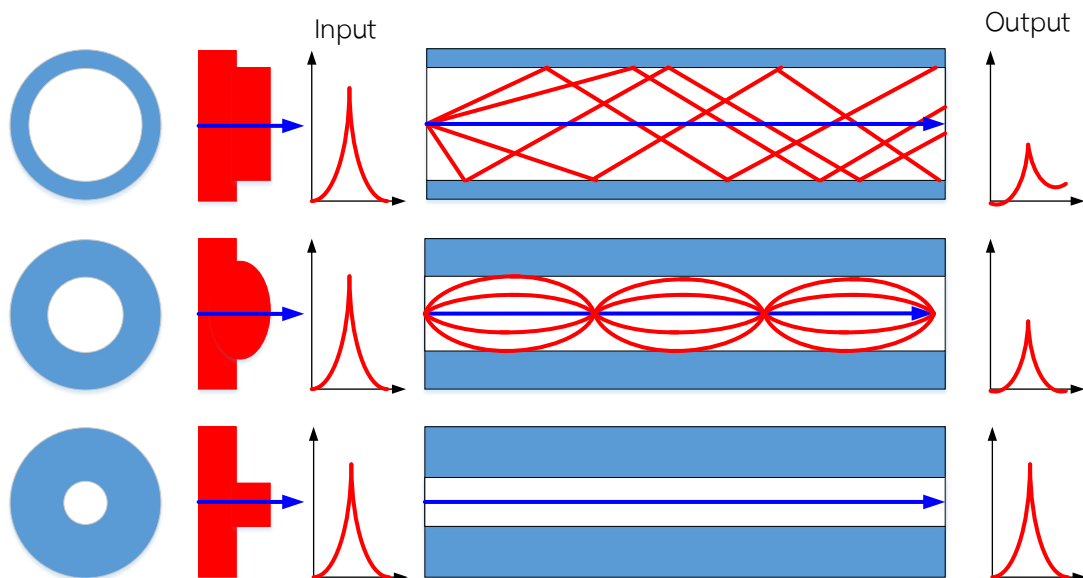
ข้อมูล	OS1	OS2
มาตรฐาน	ITU-T G.652A/B/C/D	ITU-T G.652C/D
โครงสร้างสายเคเบิล	Tight buffered	Loose tube
การใช้งาน	ภายใน	ภายนอก
อัตราการลดทอน	1.0dB/km	0.4dB/km
ระยะทาง	10 km	200 km
ราคา	ถูก	แพง

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



รูปที่ 6.4 ลักษณะของการส่งสัญญาณแสงผ่านสายชนิด Single-mode

คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงแบบ Step Index นั้นมีการสูญเสียทางแสงที่สูงกว่าแบบ Graded Index สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.5



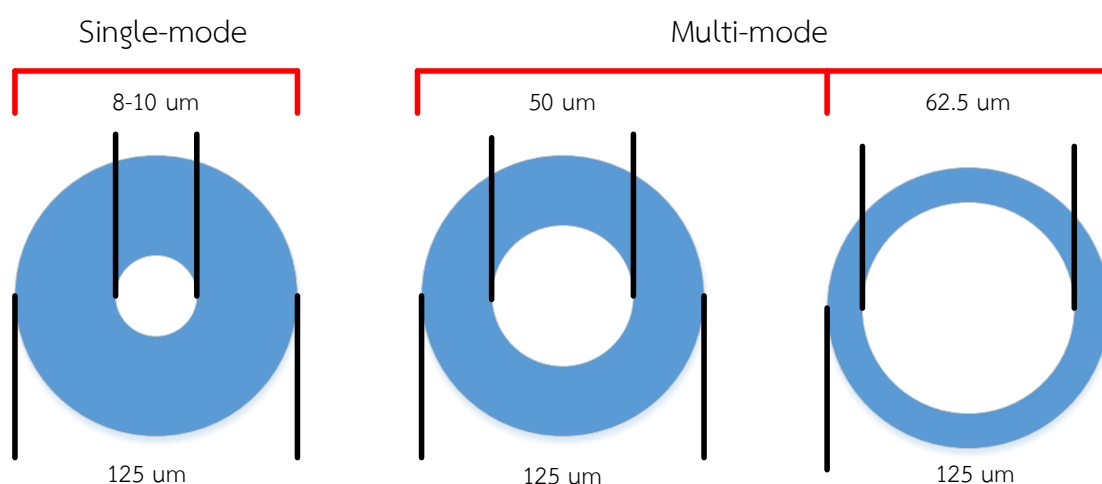
รูปที่ 6.5 การสูญเสียทางแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

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

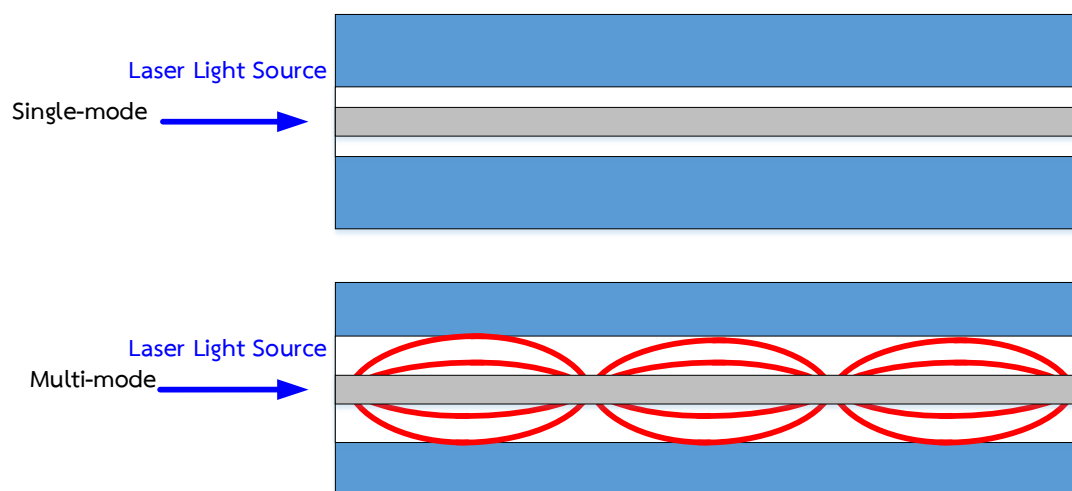
Multi-mode	เส้นผ่านศูนย์กลาง (um)	สีเคเบิล	แหล่งกำเนิดแสง	แบนด์วิธ
OM1	62.5/125	ส้ม	LED	2000 MHz*Km
OM2	50/125	ส้ม	LED	5000 MHz*Km
OM3	50/125	ฟ้า	VSCEL	2000 MHz*Km
OM4	50/125	ฟ้า	VSCEL	4700 MHz*Km
OM5	50/125	เขียวอ่อน	VSCEL	28000 MHz*Km

ตารางที่ 6.3 คุณสมบัติของสายประเภท Multi-mode

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

2. ด้านการรับส่งสัญญาณทางแสง

ตัวส่งสัญญาณทางแสงนั้นจะใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด LEDs กับสายชนิด Multi-mode ซึ่งเป็นลักษณะแหล่งกำเนิดแสงที่มีการกระจายกระจาย 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) ก็จะมีการกำหนดสีเป็นลำดับตามมาตรฐานไว้ด้วยกัน เพื่อให้ง่ายในการเชื่อมต่อ (Splice) เข้าด้วยกัน เพื่อสะดวกในการใช้งาน เนื่องจากสายไฟเบอร์ออปติกที่ใช้ภายนอกอาคารนั้นจะมีจำนวนหลายเส้นอยู่ภายในเปลือกหุ้มที่แข็งแรง โดยจะมีตั้งแต่ 8, 12, 24, 48, 96 เส้น เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 สายไฟเบอร์อปติกที่ใช้ภายนอก

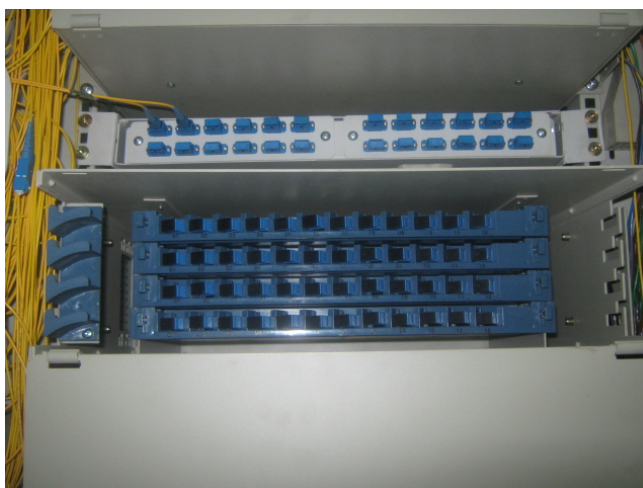
โดยการกำหนดสีเป็นลำดับตามมาตรฐานสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 6.4 และเมื่อนำไปเชื่อมต่อกับสาย Pigtail จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.10 ซึ่งในการเชื่อมต่อนี้จะเป็นการเชื่อมต่อเมื่อดึงสายเข้ามาอยู่ภายในอาคารแล้ว และเตรียมที่จะทำการเชื่อมต่อกัน เพื่อรอการใช้งานต่อไป โดยจะเชื่อมต่อแล้วเก็บสายส่วนที่เหลือไว้ในกล่องหรือตู้เก็บสาย 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 – 0.2 dB ซึ่งด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงโดยไม่มีค่าการสูญเสียเลย (Splice Loss = 0.00 dB) แสดงได้ดังรูปที่ 6.13



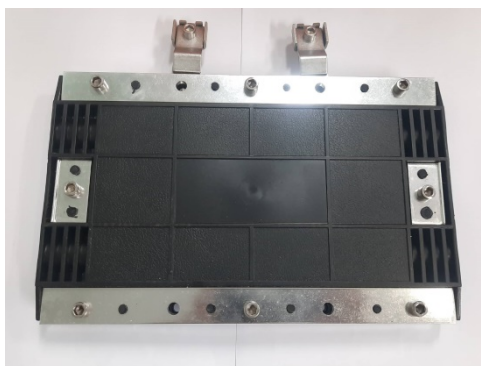
รูปที่ 6.13 Fiber Optic Fusion Splice ยี่ห้อ Fujikura รุ่น 90s+

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



รูปที่ 6.14 เครื่องปลอกเปลือกเส้นใยแก้ว (Cleaver)

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



รูปที่ 6.15 หัว Closure



รูปที่ 6.16 การนำหัว Closure ไปใช้งาน

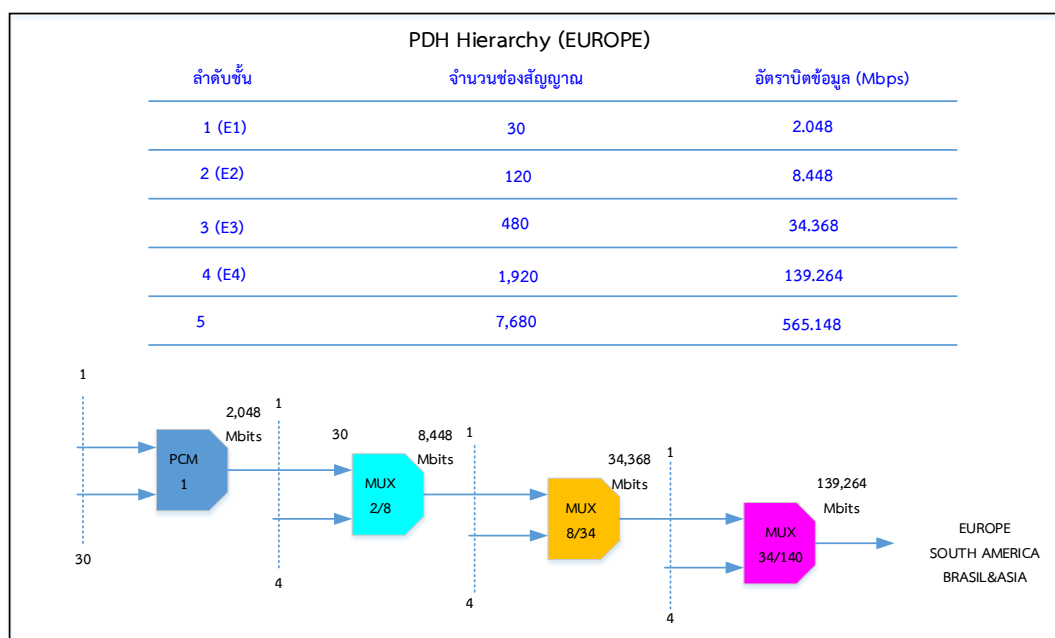
6.4 ระบบอุปกรณ์สื่อสารสัญญาณ

ระบบอุปกรณ์สื่อสารสัญญาณ ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบที่ยังมีการใช้งานอยู่ในปัจจุบันแต่อาจจะค่อย ๆ หายหายยกเลิกการใช้งานไปตามเทคโนโลยีสมัยใหม่ในปัจจุบันที่ทันสมัยกว่า เพื่อให้เห็นถึงวิวัฒนาการด้านเทคโนโลยีของระบบอุปกรณ์สื่อสารสัญญาณได้อย่างเข้าใจขึ้น โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงของเทคโนโลยีคือ

1. ระบบพีดีเอส (Plesiochronous Digital Hierarchy: PDH)
2. ระบบเอสดีเอส (Synchronous Digital Hierarchy: SDH)
3. ระบบดีดับเบิลยูดีเอ็ม (Dense Wavelength Division Multiplexing: DWDM)

6.4.1 ระบบพีดีเอส (Plesiochronous Digital Hierarchy: PDH)

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

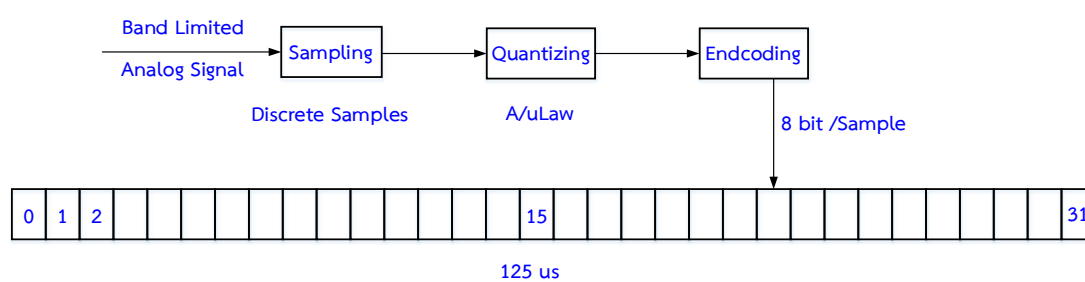


รูปที่ 6.17 โครงสร้างของระบบ PDH มาตรฐานยุโรป

โดยจะกล่าวถึงเฉพาะระบบ 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

$$\begin{aligned}
 1/0.000125 \text{ s} &= 8000 \\
 8000 \times 8 \text{ bit} &= 64000 \text{ bit/s} \\
 64000 \text{ bit} &= 64 \text{ Kbit/s} \\
 64000 \times 32 \text{ ts} &= 2048000 \text{ bit/s} \\
 2048000 \text{ bit/s} &= 2.048 \text{ Mbit/s}
 \end{aligned}$$

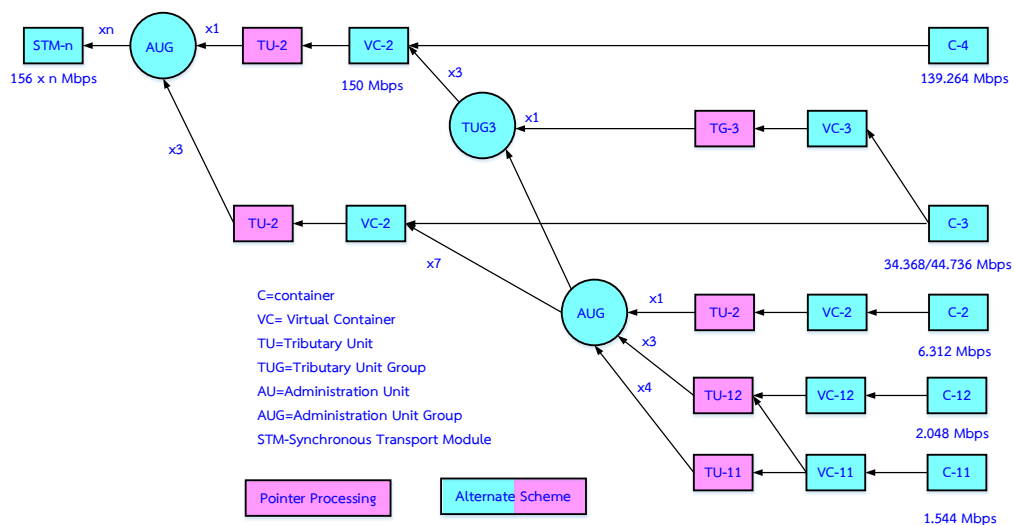
และข้อกำหนดการใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณย่อย ๆ เป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Unframe} &= 32 \text{ Time Slot} \\
 \text{PCM 31} &= 31 \text{ Time Slot} \\
 \text{PCM 30} &= 30 \text{ Time Slot} \\
 \text{Time slot 0} &= \text{Start Frame} \\
 \text{Time slot 15} &= \text{Signaling}
 \end{aligned}$$

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 ระบบเอสดีเอช (Synchronous Digital Hierarchy: SDH)

เป็นการนำเทคโนโลยีของการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ของสัญญาณรูปแบบใหม่ (ในสมัยนั้น) ถูกนำเข้ามาใช้ในประเทศไทยในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2540-2550 เพื่อเพิ่มความคล่องตัวในการรับเพิ่มลดระดับสัญญาณใช้งานด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์/ดีมัลติเพล็กซ์ (Multiplex/Demultiplex) ทำให้ง่ายขึ้นกว่าระบบ PDH แบบเดิม โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนแก้ไขในทุกระดับเป็นขั้น ๆ ไป ซึ่งในระบบ SDH นี้จะสามารถปรับเพิ่มลดระดับสัญญาณได้โดยตรงจากระดับต่ำสุด 2 Mb ไปเป็นระดับสูงสุด 155 Mb หรือจากระดับสูงสุด 155 Mb เป็นระดับต่ำสุด 2 Mb นั้นเอง 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), 2,488 Mb (STM-16) และ 9,953 Mb (STM-64) ไปบนสายใยแก้วนำแสงเพียงคู่เดียว ซึ่งเป็นความสะดวกและลดต้นทุนของสายใยแก้วนำแสงอีกด้วย โดยมีโครงสร้างของระบบ แสดงได้ดังรูปที่ 6.19



รูปที่ 6.19 โครงสร้างของระบบ SDH

จากรูปที่ 6.19 จะเห็นว่าระดับการมัลติเพล็กซ์/ดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณจะมีอยู่ 3 ชั้นคือ 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 ถัดไปจะเป็นชั้น 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 ถัดไป

สุดท้ายจะเป็นชั้น 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

$$155 \text{ Mb (STM-1)} = 1 \times 140 \text{ Mb (C-4)}$$

$$155 \text{ Mb (STM-1)} = 3 \times \text{VC-2} \times 1 \times 34 \text{ Mb/45 Mb (C-3)}$$

$$155 \text{ Mb (STM-1)} = 3 \times \text{VC-2} \times 7 \times \text{TUG-2} \times 1 \times \text{VC-2} \times 1 \times 6 \text{ Mb (C-2)}$$

$$155 \text{ Mb (STM-1)} = 3 \times \text{VC-2} \times 7 \times \text{TUG-2} \times 3 \times \text{VC-12} \times 1 \times 2 \text{ Mb (C-12)}$$

$$155 \text{ Mb (STM-1)} = 3 \times \text{VC-2} \times 7 \times \text{TUG-2} \times 4 \times \text{VC-11} \times 1 \times 1.5 \text{ Mb (C-11)}$$

ข้อดีของระบบ SDH สามารถสรุปได้ดังนี้

มีโครงสร้างการมัลติเพล็กซ์ที่ไม่ซับซ้อน

สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่างยี่ห้อได้

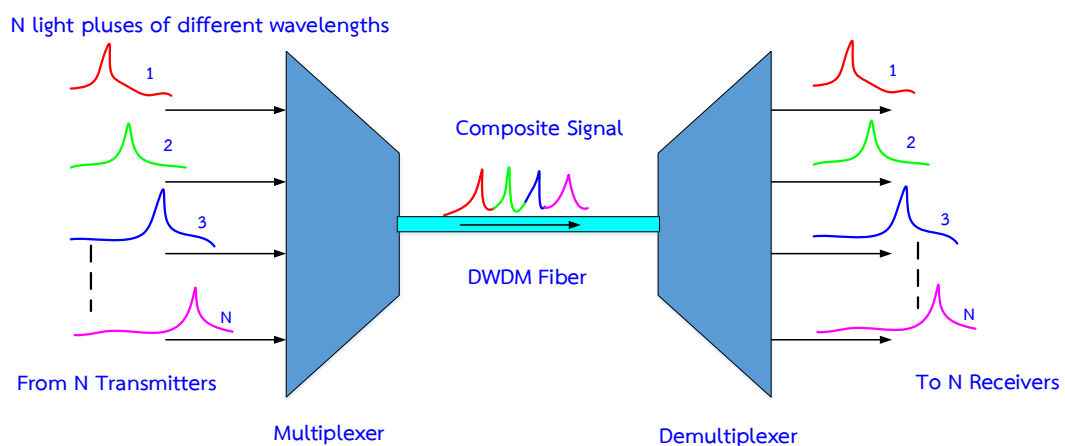
รองรับการใช้งานกับระบบสื่อสารสัญญาณทั้งแบบเก่าและแบบใหม่ได้

มีโครงสร้างที่รองรับการนำไปใช้งานกับเทคโนโลยีในอนาคตได้

สามารถบริหารจัดการโครงข่ายได้จากศูนย์กลางของระบบ

6.4.3 ระบบติตดับเบิ้ลยูดีเอ็ม (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 แล้วส่งออกไปในสายใยแก้วนำแสงจากสถานีต้นทางจนถึงสถานีปลายทางที่โมดูล Demultiplexer ซึ่งจะทำหน้าที่แยกสัญญาณความยาวคลื่นที่เรียงกันมานั้นออกมาเป็นสัญญาณของแต่ละความยาวคลื่นของแต่ละสัญญาณส่งต่อไปยังช่องสัญญาณที่จัดสรรไว้แล้วนำไปใช้งานต่อไป

Specifies of STM-1 Optical Interface

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

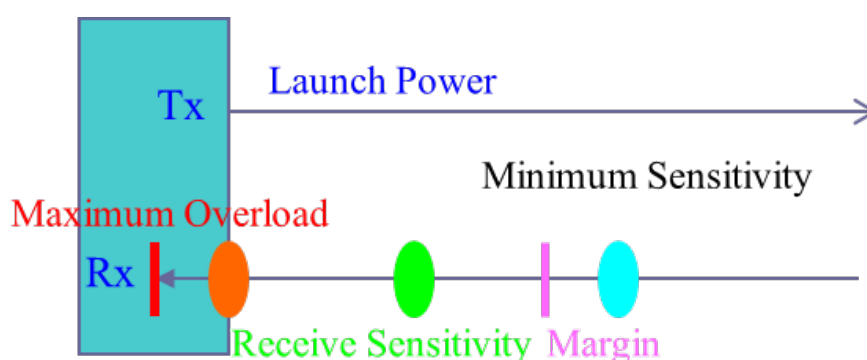
Type	Wavelength (nm)	Mean Launch Powers (dBm)	Receiver Sensitivity (dBm)	Receiver Overload (dBm)	Connector	Configuration
Double Fibers	1310	-8 to -12	-36	-3	LC	Standard (S1.1)
Two Direction	1310	0 to 5	-36	-3	LC	Optional (L1.1)
Single Fiber	1310/1550	-8 to -14	-30	-3	LC	Optional
One Direction	1310/1550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

รูปที่ 6.21 คุณสมบัติของโมดูล STM-1

ระยะทางหรือเส้นทาง (Route) ของการส่งสัญญาณด้วยแสงไปตามสายใยแก้วนำแสงจากสถานีส่งต้นทางไปยังสถานีรับปลายทางในทุกะบบของแต่ละช่วงนั้นมีระยะทางที่แตกต่างกันหรือ

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

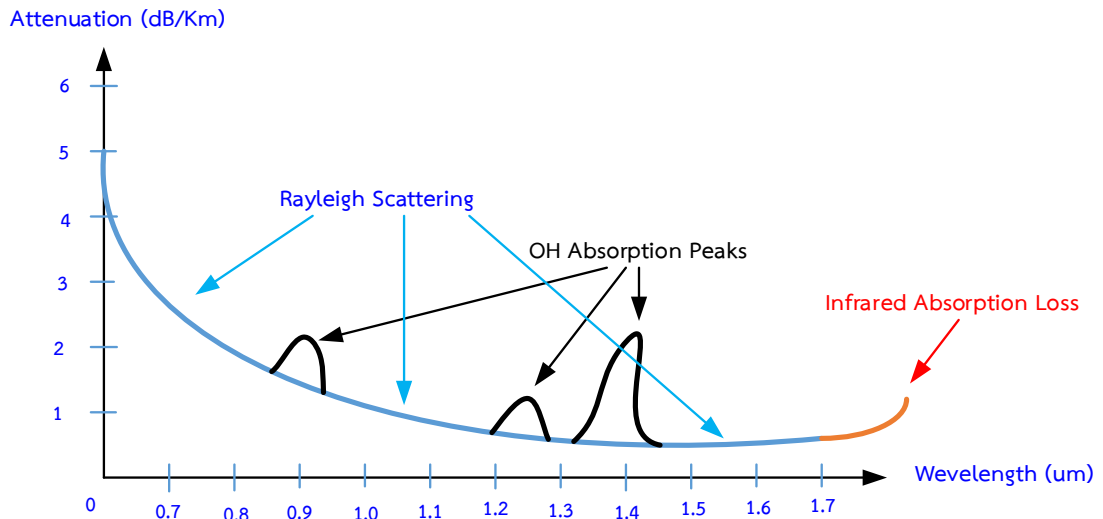
จากรูปที่ 6.21 เป็นค่าคุณลักษณะของโมดูล STM-1 (155 Mb) โดยค่าที่จะนำมาพิจารณาในการส่งและรับสัญญาณในแต่ละเส้นทางนั้น จะพิจารณาว่าสามารถใช้กับความยาวคลื่นใดได้บ้าง (ลำดับที่ 7: Wave Length: 850 nm/1310 nm/1550 nm) ค่ากำลังส่งสัญญาณ (ลำดับที่ 8: Transmit Power: S 1.1= -11 dBm และ L 1.1/L 1.2= -2.5 dBm โดยที่ตัวเลข 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 (คอลัมน์ที่ 5: Receiver Overload: -3 dBm) ซึ่งจะมีความสำคัญมาก โดยหากรับกำลังที่ใกล้เคียงหรือสูงเกินกว่าค่าที่ระบุนี้จะทำให้ภาครับสัญญาณรวนหรือพังเสียหายได้ ในการออกแบบจะต้องเผื่ออัตรากำลังที่จะรับไว้ประมาณ 3 dB ด้วยเช่นกัน หรือหากระยะทางไกลมาก ๆ ก็จะใช้อุปกรณ์เสริมที่เรียกว่า Fix Attenuator เข้ามาใส่ที่ภาครับสัญญาณแทน ซึ่งสามารถเขียนอธิบายระดับความสำคัญนี้ไว้โดยแสดงได้ดังรูปที่ 6.22



รูปที่ 6.22 ระดับความสำคัญจากค่าคุณลักษณะของโมดูล STM-1

โดยที่สายใยแก้วนำแสงจะถูกนำไปใช้เป็นตัวผ่านของแสงที่มีความเข้มสูง (กำลังส่งสูง) ของตัวส่งสัญญาณเพื่อให้แสงเดินทางไปตามสายได้ตามระยะทางที่ต้องการ โดยความเข้มแสงที่ใช้จะเรียกกันเป็นความยาวคลื่น (Wavelength) มีหน่วยเป็นนาโนเมตร (nm) ซึ่งในปัจจุบันจะนิยมใช้งานกัน 2 ย่านคือ 1310 nm กับ 1550 nm โดยมีสิ่งที่ต้องพิจารณาคือค่าการลดทอนในสาย (Attenuation) ไป

ตามระยะทาง เพื่อนำไปหาค่าการสูญเสียในสาย (Loss) ซึ่งค่าการลดทอนในสาย แสดงได้ดังรูปที่ 6.23



รูปที่ 6.23 กราฟการลดทอนในสายเทียบกับความยาวคลื่น

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

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

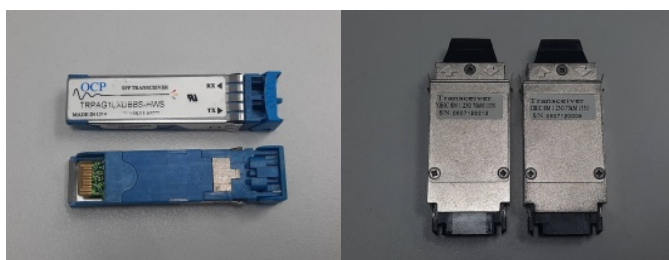
$$\begin{aligned}
 \text{ค่า Loss (dB)} &= (\text{ระยะทาง} \times \text{Attenuation}) + (\text{Splice Loss} \times \text{จำนวนจุดต่อสาย}) + \\
 &(\text{Connector Loss} \times \text{จำนวนหัวต่อ}) \\
 &= (10 \text{ km} \times 0.5 \text{ dB/km}) + (0.3 \times (2^* + 2^{**})) + (0.5 \times 2) \\
 &= 7.2 \text{ dB (ค่าโดยประมาณ)}
 \end{aligned}$$

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

6.4.4 อุปกรณ์เสริมในระบบ

ระบบอุปกรณ์สื่อสารสัญญาณทุกประเภทนั้นจะมีการออกแบบอุปกรณ์เสริมขึ้นมาเพื่อรองรับการเชื่อมต่อใช้งานหรือเพื่อการซ่อมบำรุงในเบื้องต้นได้ก่อนเพื่อความสะดวกและรวดเร็ว ในที่นี้จะขอกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งและซ่อมบำรุงของสายใยแก้วนำแสงที่ใช้ภายในอาคาร (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 มีทั้งการทำงานแบบพอร์ตเดียว (รับส่งในเส้นเดียวกัน) และพอร์ตคู่ (รับส่งแยกเส้นกัน) ตัวอย่างของ SFP แสดงได้ดังรูปที่ 6.24



รูปที่ 6.24 ตัวอย่างของ SFP

6.4.4.2 สายเชื่อมต่ออุปกรณ์ (Patch Cord) คือสายใยแก้วนำแสงแบบอ่อนระยะสั้นสั้น ๆ เช่น 3 เมตร 5 เมตร 10 เมตร เป็นต้น ในการเชื่อมต่อใช้งานจะเป็นแบบจุดต่อจุดภายในห้องควบคุมหรือห้องอุปกรณ์ โดยที่ปลายสายทั้ง 2 ด้าน จะเป็นหัวต่อชนิดเดียวกันก็ได้หรือต่างชนิดกันก็ได้ เช่น FC-FC, FC-LC, LC-SC เป็นต้น ขึ้นอยู่กับจุดเชื่อมต่อแต่ละจุด ส่วนใหญ่จะเป็นสายสีเหลืองกับสั้มที่จะเห็นได้อย่างเด่นชัด มีทั้งชนิดสายเส้นเดียว (Simplex) และสายชนิดสายเส้นคู่ (Duplex) โดยนิยมร้อยสายไว้ภายในท่อเพล็กซ์อ่อนหรืออาจมีการพันด้วยใส่ไเก่ที่ปลายหัวและท้ายของสายด้วยเพื่อให้เกิดความแข็งแรงและปลอดภัยขึ้น ตัวอย่างของ Patch Cord แสดงได้ดังรูปที่ 6.25



รูปที่ 6.25 ตัวอย่างของ Patch Cord

6.4.4.3 สายเชื่อมต่อหัวต่อ (Pigtail) คือสายใยแก้วนำแสงแบบอ่อนระยะสั้นสั้น 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

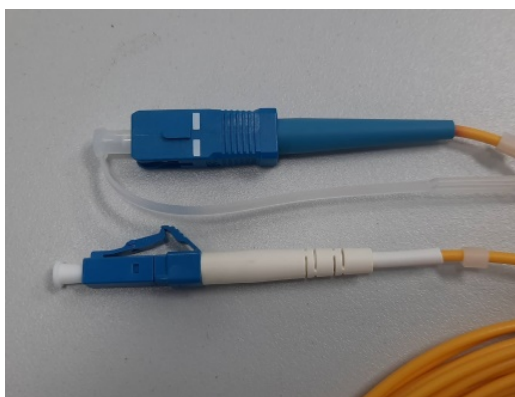
รูปที่ 6.26 ตัวอย่างของ Pigtail

6.4.4.4 กล่องกระจายสายใยแก้วนำแสง (Optical/Fiber Distribution Frame: ODF/FDF) คือกล่องหรือตู้สำหรับกระจายสายใยแก้วนำแสง จะถูกติดตั้งไว้ที่ต้นทางและปลายทางของสถานีส่งและสถานีรับเป็นจุดแรกๆ ที่เชื่อมต่อ (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 โดยการต่อแบบไม่ถาวรสามารถถอดตึงเข้าออกได้ (โดยปกติเมื่อใช้งานไปแล้วจะไม่ถอดเข้าออกอีกเลย) การเชื่อมต่อของหัวต่อนี้จะเกิดช่องว่าง (Gap) ระหว่างหัวต่อได้ซึ่งส่งผลให้เกิดเป็นการสูญเสียจากหัวต่อได้แต่จะมีค่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งหัวต่อจะมีผลิตรออกมาอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งานและเทคโนโลยีในแต่ละยุคสมัยเช่น 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) คืออุปกรณ์ที่ช่วยจำกัดหรือลดระดับความแรงของสัญญาณแสงที่มีมากเกินไปจนจำเป็นต้องใช้ระหว่างเส้นทางจากสถานีต้นทางกับสถานีปลายทาง เพื่อไม่ให้เกินกว่าค่าความทนต่อกำลังสูงสุดของภาครับสัญญาณ (Receiver Overload) นั้นเอง 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) โดยมีผลิติดอกมาตามชนิดของหัวต่อที่มีการใช้งาน เช่น FC, SC, LC, MU เป็นต้น ตัวอย่างของ Through Adapter แสดงได้ดังรูปที่ 6.30

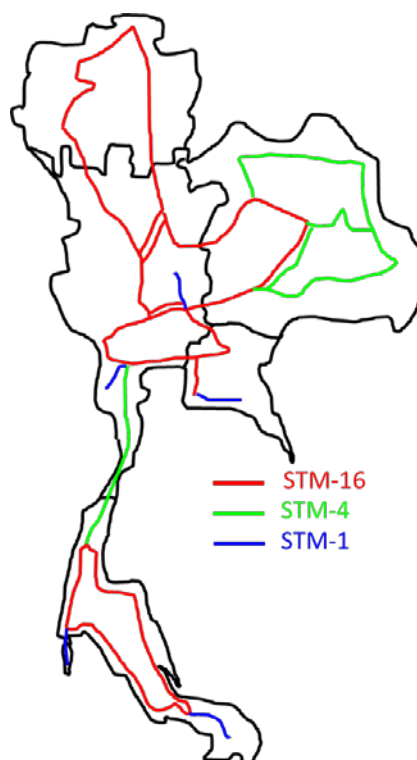


รูปที่ 6.30 ตัวอย่างของ Through Adapter ชนิด FC

6.5 ระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง

ในปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลในรูปแบบของอินเทอร์เน็ตมีบทบาทกับชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมากจนแยกแยะออกจากกันไม่ได้เลย ทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากการพัฒนาทางด้านสื่อกลางอย่างเส้นใยแก้วนำแสงที่สามารถผลิตออกมาได้ในราคาที่ถูกลงเป็นอย่างมากกว่าในอดีต รวมถึงอุปกรณ์ต่อร่วมประเภทต่าง ๆ ที่ก็สามารถพัฒนาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลายและตอบสนองต่อการใช้งานในราคาที่เข้าถึงได้ ทำให้สามารถวางระบบโครงข่ายที่กระจายออกไปได้ครอบคลุมทุกพื้นที่ในเวลาอันรวดเร็ว

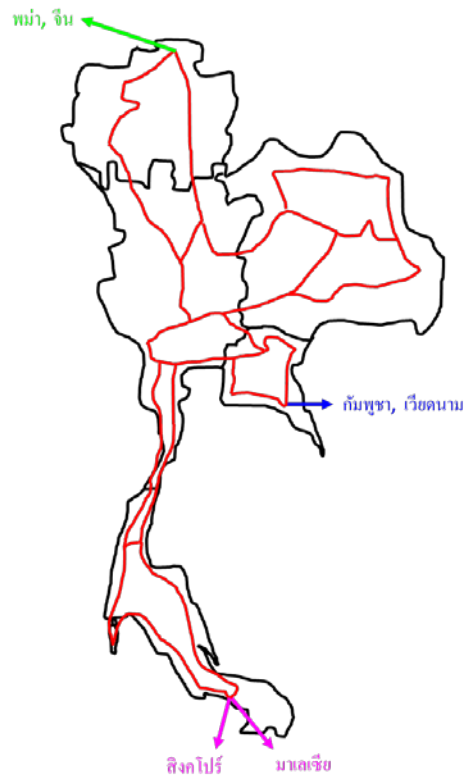
โดยในประเทศไทยจะมีการวางระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงเส้นทางหลักไว้เป็นแนวที่เปรียบเสมือนเส้นกระดูกสันหลัง (Back Bone) ของร่างกายมนุษย์ ไปตามแนวถนนสายหลักด้วยจำนวนคอร์ใช้งานที่มีการคิดคำนวณการใช้งานและคอร์สำรอง (Spare Part) สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณหลักในแต่ละสถานี แสดงได้ดังรูปที่ 6.31 ซึ่งจะเป็นการแสดงเส้นทาง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



รูปที่ 6.31 ตัวอย่างเส้นทางระบบโครงข่ายสายใยแก้วนำแสงในประเทศไทย

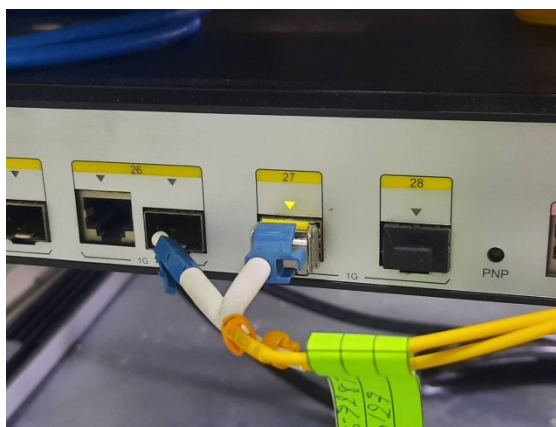
จากรูปที่ 6.31 จะเห็นว่าลักษณะของการเดินสายไฟเบอร์อปติกนั้นจะมีทั้งเป็นเส้นทางเดียว (Spur Route) และเป็นเส้นบรรจบกันคล้ายเป็นเส้นทางปิดหรือเป็นวงแหวน (Ring Route) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการวางแผนและสภาพเส้นทางตามความเป็นจริงจากงานอีกด้วย โดยเส้นทางที่เป็นแบบวงแหวนนั้นจะสามารถทำการป้องกัน (Protection) ข้อมูลขาดหายหรือระบบล่มได้ (Link Down) หากเกิดกรณีของสายไฟเบอร์อปติกขาดจากอุบัติเหตุต่าง ๆ ได้ ส่วนเส้นทางที่เป็นเส้นทางเดียวนั้น ก็มีความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง ซึ่งวิธีแก้ไขปัญหาลักษณะนี้สามารถทำได้โดยการเข้าคอร์อปติกจากผู้ให้บริการรายอื่นเข้ามาเป็นเส้นทางสำรอง (Protection Route) แทนชั่วคราว

จากการที่สายไฟเบอร์อปติกเริ่มมีราคาที่ถูกลง อีกทั้งยังมีการขยายถนนรวมถึงมีการเปิดเส้นทางถนนสายหลักเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถที่จะขยายเส้นทางของสายไฟเบอร์อปติกได้ครอบคลุมทั่วประเทศ รวมถึงยังขยายการให้บริการออกไปยังประเทศเพื่อนบ้านที่มีพรมแดนติดกับประเทศไทยเพิ่มเติมอีกด้วย แสดงได้ดังรูปที่ 6.32



รูปที่ 6.32 ตัวอย่างเส้นทางระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมต่อข้ามประเทศ

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



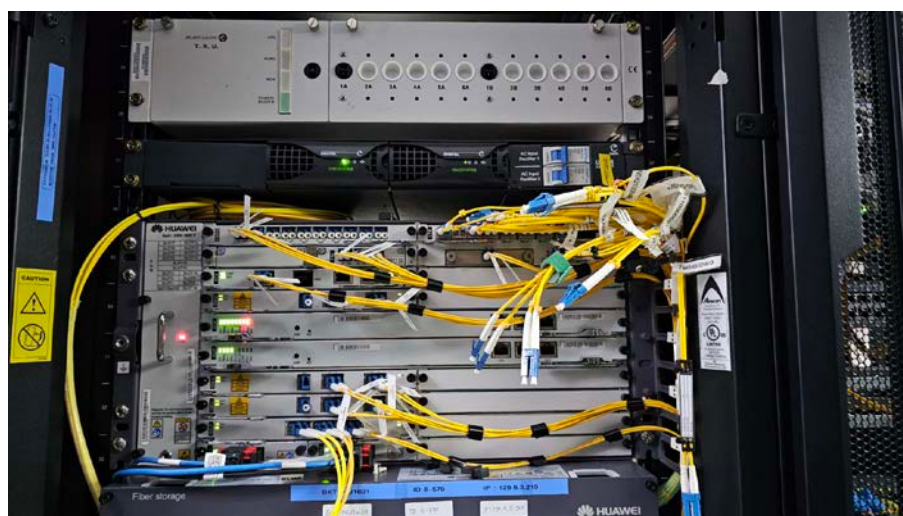
รูปที่ 6.33 อุปกรณ์ปล่อยสัญญาณแสง



รูปที่ 6.34 ช่องสล็อตของอุปกรณ์ FOM สำหรับเสียบ SFP



รูปที่ 6.35 ช่องสล็อตของอุปกรณ์ SDH สำหรับเสียบ SFP

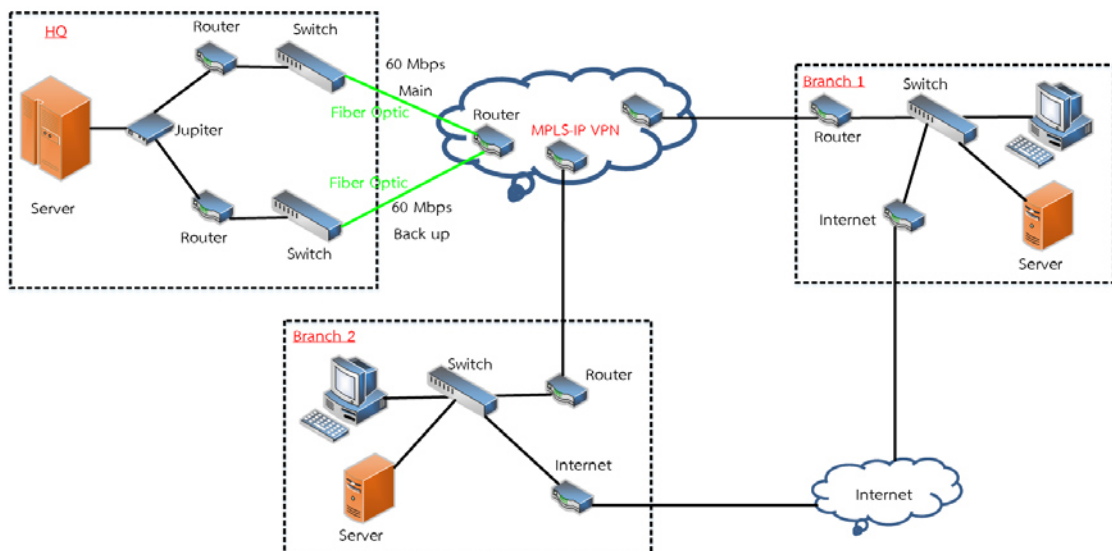


รูปที่ 6.36 ช่องสล็อตของอุปกรณ์ Metronet สำหรับเสียบ SFP

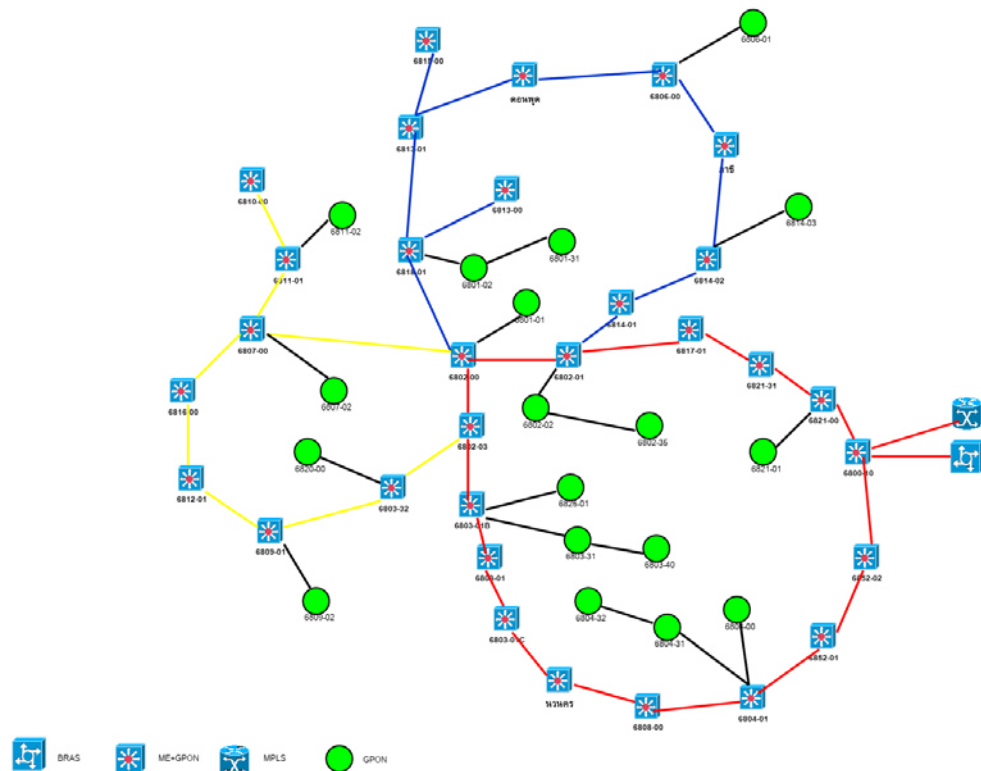


รูปที่ 6.37 ช่องสล็อตของหน้าโมดูลอุปกรณ์ DWDM สำหรับเสียบ SFP

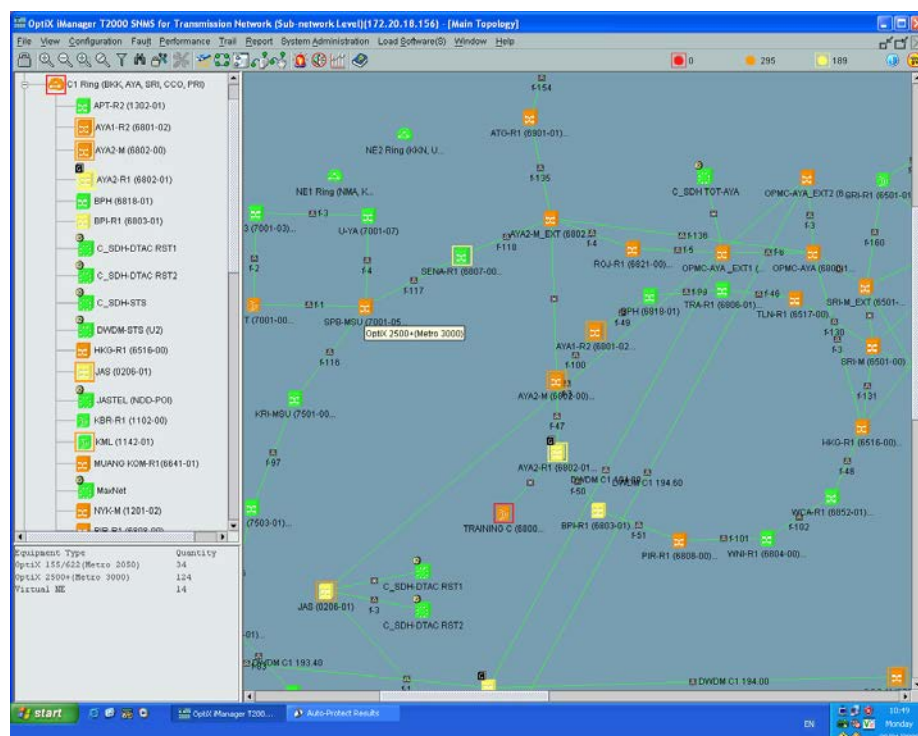
ตัวอย่างของการนำโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้งานในการให้บริการระบบอินเทอร์เน็ตสำหรับผู้ให้บริการที่มีสำนักงานใหญ่และสาขาย่อย ๆ ตามเขตเศรษฐกิจที่อยู่ห่างกัน โดยใช้การเชื่อมต่อผ่านโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงที่กระจายไปอย่างกว้างขวางครอบคลุมพื้นที่เศรษฐกิจตามภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ ซึ่งการให้บริการแบบนี้จะเป็นการให้บริการแบบเฉพาะราย ที่จะมีค่าบริการรายเดือนที่ค่อนข้างสูง แสดงได้ดังรูปที่ 6.38



รูปที่ 6.38 การให้บริการระบบอินเทอร์เน็ตผ่านโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสง

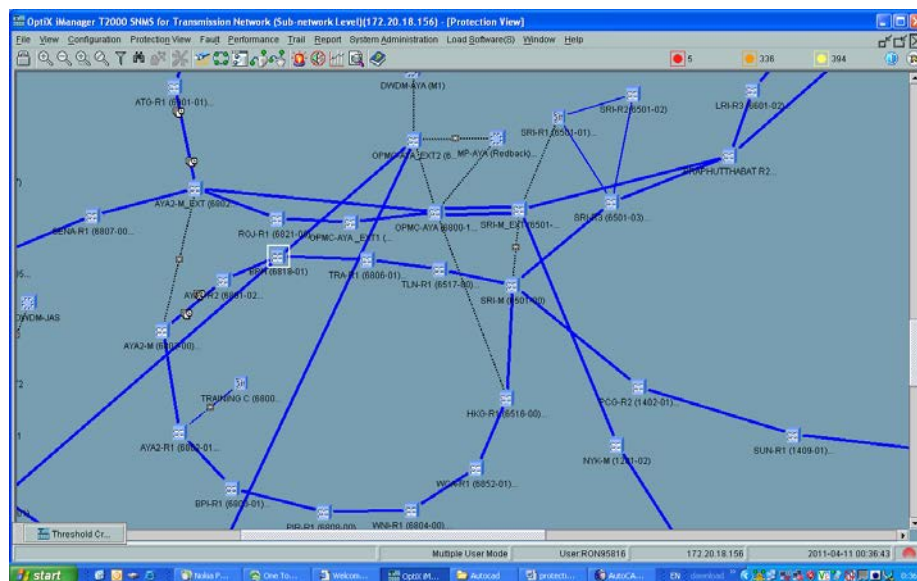


รูปที่ 6.39 ระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงแบบวงแหวนของอุปกรณ์ Metronet



รูปที่ 6.40 ระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงแบบวงแหวนของอุปกรณ์ SDH

โดยการวางโครงข่ายของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะพยายามออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ได้ทุกโหนดให้เป็นแบบวงแหวน (Ring) แสดงได้ตามรูปที่ 6.39-6.40 เพื่อที่จะได้เปิดฟังก์ชันการทำงานของโหมดป้องกัน (Protection) ให้กับข้อมูลซึ่งจะเป็นได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแบบไม่อัตโนมัติก็ตาม แสดงได้ตามรูปที่ 6.41 เพื่อช่วยลดระยะเวลาของการที่ผู้รับบริการจะไม่สามารถใช้งานได้ให้น้อยที่สุดหรือไม่มีผลกระทบใด ๆ เลย หากเกิดอุบัติเหตุใด ๆ ขึ้นกับสายไฟเบอร์อปติกที่เดินสายมาบนเสาไฟฟ้าตามแนวของถนนต่าง ๆ เช่น กรณีรถชนเสาไฟฟ้าหักโค่น รถบรรทุกเกี่ยวสายไฟฟ้าและสายไฟเบอร์อปติก ไฟไหม้ป้ายข้างถนน เป็นต้น



รูปที่ 6.41 การ Protection ของอุปกรณ์ SDH

6.6 สรุป

จากการสื่อสารด้วยสายนำสัญญาณที่มีโครงสร้างจากวัสดุทองแดงหรือการสื่อสารไร้สายนั้น จะไม่สามารถส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มาได้ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการรับส่งข้อมูลขนาดมหาศาล ตามการขยายตัวของผู้ใช้งานในปัจจุบันและอนาคตได้ สายใยแก้วนำแสงหรือเส้นใยแก้วนำแสงจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อรองรับต่อการขยายตัวอย่างรวดเร็วในการสื่อสารข้อมูล ทั้งโครงสร้าง น้ำหนัก การใช้งาน หรือความปลอดภัยต่อข้อมูล ซึ่งเป็นข้อดีของเส้นใยแก้วนำแสงทำให้การพัฒนาอุปกรณ์ต่อร่วม หรือแม้แต่อุปกรณ์ที่ต้องใช้เชื่อมต่อกันด้วยเส้นใยแก้วนำแสงก็ได้มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด ทำให้มีราคาที่ลดต่ำลงอย่างมาก ส่งผลให้การขยายตัวในการนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้รองรับเทคโนโลยีสมัยใหม่เป็นไปอย่างกว้างขวางในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ โดยเฉพาะการใช้งานทางด้านอินเทอร์เน็ตที่กลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ 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 ยูพาพิน, วิศวกรรมใยแก้วนำแสง, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท, 2543.
2. ปรีชา ยูพาพิน, เครือข่ายใยแก้วนำแสง, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท, 2541.
3. สมบูรณ์ อีริวิสิฐพงศ์, การสื่อสารใยแก้วนำแสง, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น, 2555.
4. เส้นใยแก้วนำแสง [ออนไลน์], แหล่งที่มา <https://www.hstn.co.th/เส้นใยแก้วนำแสง>, 11 พฤศจิกายน 2565.
5. วิทวัส สิริฐกุล, การสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น, 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

เครือข่ายเทคโนโลยีระบบอินเทอร์เน็ต

อินเทอร์เน็ตได้กลายมาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ที่มีการติดต่อสื่อสารด้วยข้อมูลจำนวนมากอย่างกว้างขวางไปทั่วโลกจนเกิดเป็นระบบโครงข่ายขนาดใหญ่ ในบทนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการสื่อสารข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต โดยจะเริ่มตั้งแต่พื้นฐานของการสื่อสาร ลักษณะการเชื่อมต่อเพื่อส่งผ่านข้อมูล ระบบเครือข่ายหรือโครงข่ายรวมถึงอุปกรณ์ต่อร่วมต่าง ๆ ด้วย

7.1 ระบบการสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูลหมายถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือข่าวสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารซึ่งกันและกัน โดยผ่านสื่อกลางในการโอนถ่ายข้อมูลข่าวสารนั้น ๆ ตัวอย่างเช่น ผ่านสายเคเบิลหรือผ่านอากาศ 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. โพรโตคอล (Protocol) หมายถึงวิธีการหรือข้อกำหนดที่จะทำให้ผู้ส่งและผู้รับสามารถเข้าใจกันได้หรือคุยกันได้อย่างรู้เรื่อง ซึ่งเป็นการตกลงกันไว้ก่อนล่วงหน้าแล้ว ตัวอย่างการใช้โปรโตคอลในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้แก่ X.25 และ TCP/IP เป็นต้น

5. ตัวรับ (Receiver) จะเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ปลายทางของการส่งข้อมูลข่าวสาร โดยจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูลข่าวสารที่ส่งมาแล้วส่งต่อไปยังจอแสดงผล เครื่องรับโทรศัพท์หรือเครื่องพิมพ์ เป็นต้น

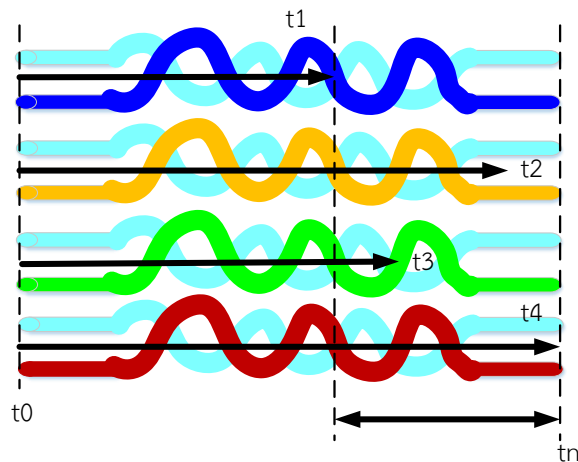
7.2 คุณสมบัติของสายสัญญาณอินเทอร์เน็ต

การสื่อสารในปัจจุบันมีความสะดวกสบายมากกว่าในอดีตเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะระบบอินเทอร์เน็ตที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันทั้งโดยส่วนบุคคล ภาคธุรกิจ และหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งระบบอินเทอร์เน็ตได้พัฒนาอย่างต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบัน หากเราย้อนกลับไปในช่วงที่ระบบอินเทอร์เน็ตยังคงเชื่อมต่อกันด้วยสาย LAN ก็จะมีพบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับสาย LAN ไว้อย่างมากมาย ในส่วนนี้จะนำมากล่าวถึงเฉพาะคุณสมบัติทางไฟฟ้า การต่อใช้งานและการนำไปใช้งานเบื้องต้น

7.2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

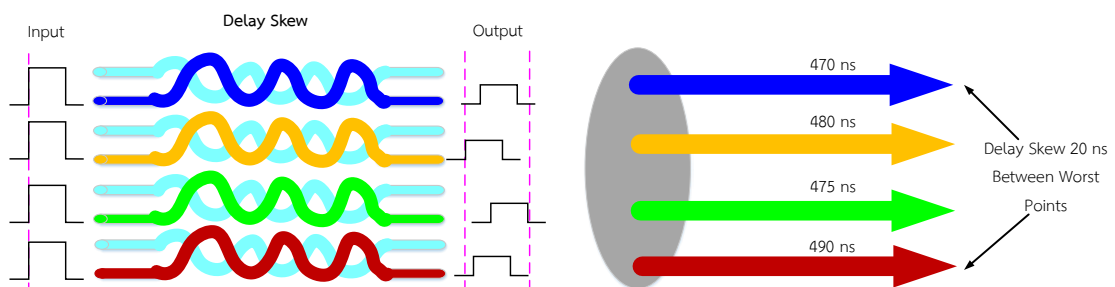
7.2.1.1 การหน่วงเวลา (Propagation Delay) เป็นค่าเวลาที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลที่ส่งสัญญาณจากต้นทางไปยังปลายทางของสายแต่ละคู่สาย มีหน่วยเป็นนาโนเซคัน (Nanosecond: ns) โดยไม่ควรมียาวเกินกว่า 555 ns แสดงได้ดังรูปที่ 7.2

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



รูปที่ 7.2 ตัวอย่างเวลาทั้งหมดในการส่งสัญญาณในคู่สาย

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

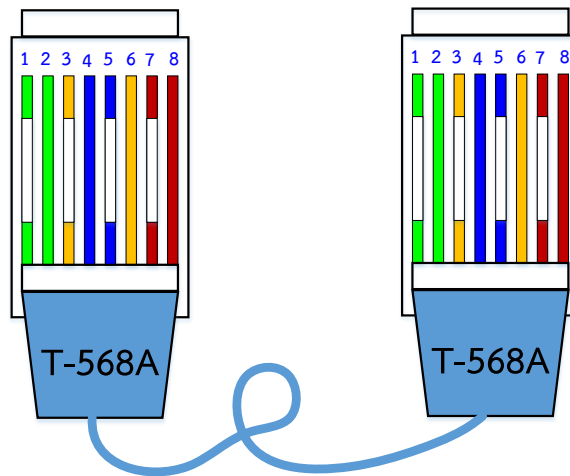


รูปที่ 7.3 ตัวอย่างเวลาที่แตกต่างกันในการส่งสัญญาณในคู่สาย

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

7.2.2 การต่อใช้งานด้วยสาย LAN มาตรฐาน CCNA

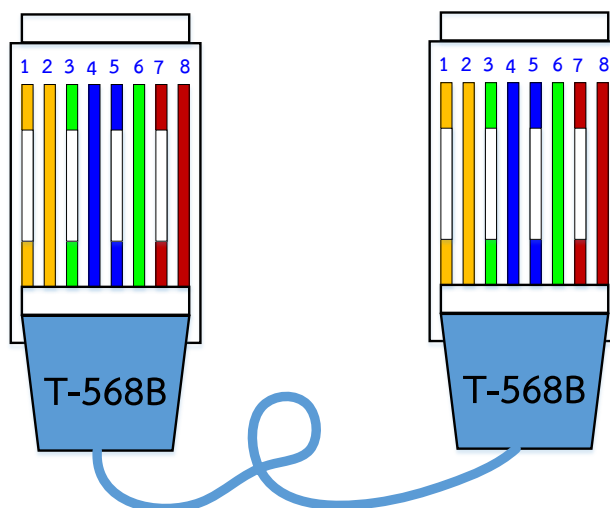
7.2.2.1 การเข้าหัว LAN สำหรับทำสายตรง (Straight-Through Cable) แบบที่ 1 การเข้าหัวทั้งสองฝั่งเป็นแบบ TIA/EIA 568A แสดงได้ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 การเข้าหัวทั้งสองฝั่งเป็นแบบ TIA/EIA 568A

จากรูป 7.4 จะเห็นว่าเมื่อทำการหยงหัวต่อชนิด 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

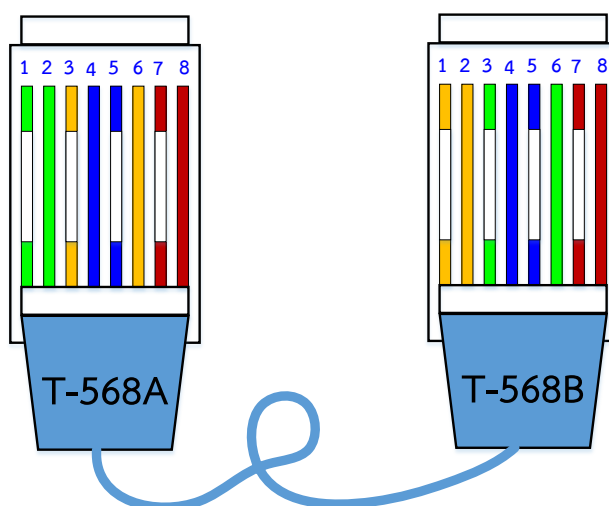
7.2.2.2 การเข้าหัว LAN สำหรับทำสายตรง (Straight-Through Cable) แบบที่ 2 การเข้าหัวทั้งสองฝั่งเป็นแบบ TIA/EIA 568B แสดงได้ดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 การเข้าหัวทั้งสองฝั่งเป็นแบบ TIA/EIA 568B

จากรูป 7.5 จะเห็นว่าเมื่อทำการหยงหัวต่อชนิด 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



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

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 แล้วทำการบิดด้วยคีมย้ำหัวทั้งสองด้าน ก็จะได้สาย LAN แบบสายครอสที่สมบูรณ์ไว้ใช้งาน

การเข้าหัวของสาย LAN ไม่ตรงตามมาตรฐาน จะให้ผลลัพธ์คือจะยังสามารถใช้งานได้ตามปกติแต่ถ้าต้องการต่อเข้ากับ Interface LAN ที่เป็นแบบ 100 Mbps ทั้งสองฝั่ง จะทำให้ได้ช่องการใช้งานเหลือแค่ 10 Mbps โดยที่ Card LAN จะทำการปรับลดระดับตัวเองให้เหลือเพียง 10 Mbps แบบอัตโนมัติ

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

7.3 ไอพีแอดเดรส

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

7.3.2 ไอพีวีโฟร์ (IPv4) จะประกอบด้วยจำนวนของเลขฐานสอง 32 bits (4 bytes, (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

<u>Rule</u>	<u>Minimums and Maximums</u>	<u>Decimal Range</u>
Class A:	00000000 = 0	1-126
First bit is always 0	01111111 = 127	0 and 127 are reserved
Class B:	10000000 = 128	128-191
First two bits are always 10	10111111 = 191	
Class C:	11000000 = 192	192-223
First three bits are always 110	11011111 = 223	
Class D:	11100000 = 224	224-239
First four bits are always 1110	11101111 = 239	
Class E:	11110000 = 240	224-255
First four bits are always 1111	11111111 = 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 11111111.11111111.11111111.11111111/00 = 255.255.255.252

/24 11111111.11111111.11111111.00000000 = 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

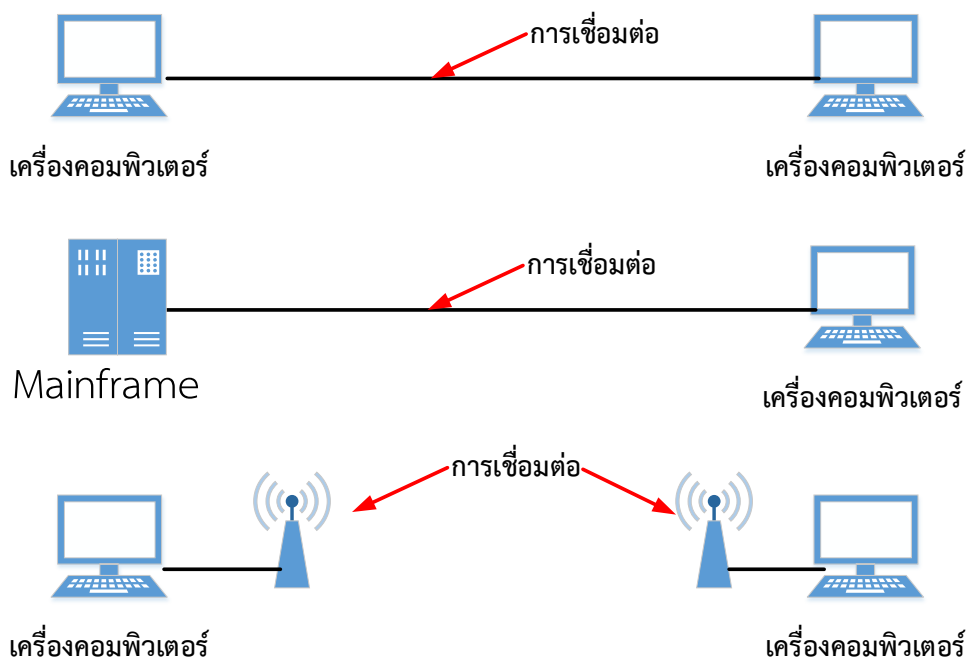
ดังนั้นจำนวน Subnet = $2^n = 2^6 = 64$

7.4 เครือข่ายและแบบจำลองของเครือข่าย

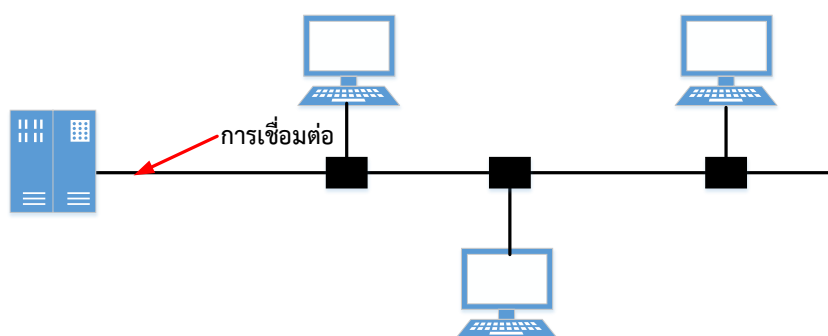
เครือข่ายหรือโครงข่าย (Network) จะหมายถึงคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสารชนิดต่าง ๆ ที่นำมาเชื่อมโยงหรือเชื่อมต่อเข้าหากันเพื่อวัตถุประสงค์ในการติดต่อสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสาร

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

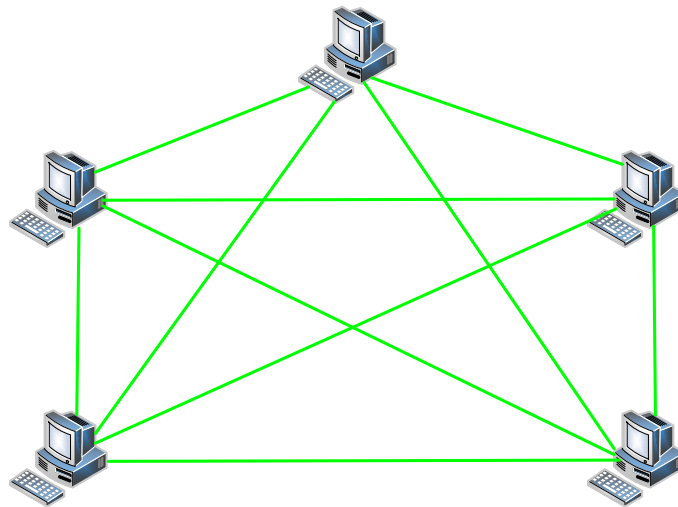


รูปที่ 7.8 การเชื่อมโยงแบบหลายจุด

7.4.2 แบบหลายจุด (Multidrop Line) หรือแบบบัส (Bus) เป็นวิธีการเชื่อมโยงข้อมูลของอุปกรณ์ หลาย ๆ อุปกรณ์ โดยใช้สายร่วมกันเพียงเส้นเดียว 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 โดยใช้สายเท่ากับจำนวนของอุปกรณ์ที่ต้องเชื่อมต่อกับทุกอุปกรณ์ เช่น ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะจำนวน 5 เครื่องเข้าด้วยกัน จะต้องใช้สายจำนวน 4 เส้นต่อ 1 จุด แสดงได้ดังรูปที่ 7.9 ซึ่งการต่อลักษณะนี้จะมีความสิ้นเปลืองสายเป็นจำนวนมากแต่ก็สามารถลดปัญหาได้อย่างดีที่สุดจากกรณีที่เกิดสายใดสายหนึ่งขาด

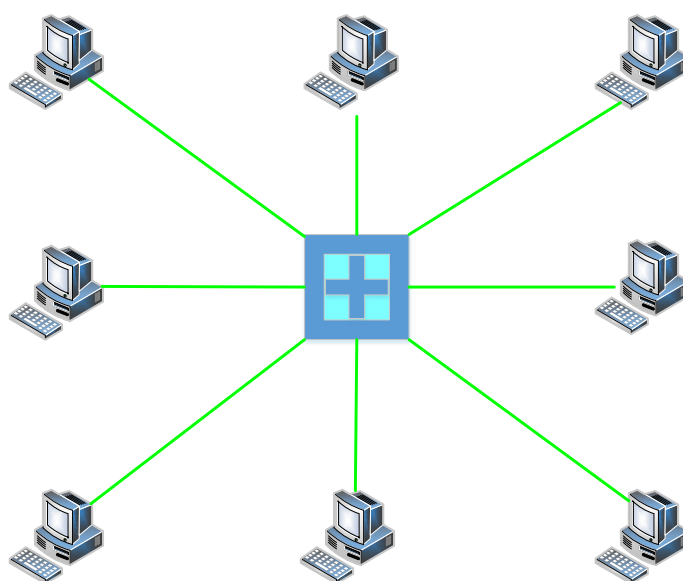


รูปที่ 7.9 การเชื่อมโยงแบบเมช

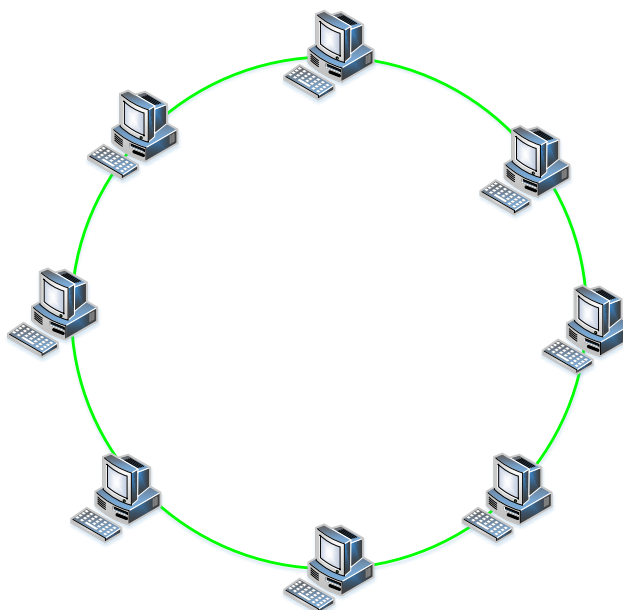
7.4.2.2 แบบสตาร์ (Star) จะเป็นวิธีการเชื่อมโยงข้อมูลของอุปกรณ์หลาย ๆ อุปกรณ์ โดยเชื่อมโยงเข้ามาที่อุปกรณ์ตัวกลางก่อนและใช้สายเพียง 1 เส้นจากอุปกรณ์ปลายทาง เช่น ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะจำนวน 8 เครื่องเข้าด้วยกันโดยเชื่อมต่อเข้ามาที่เร้าเตอร์ร่วมกันก่อน แสดงได้ดังรูปที่ 7.10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

7.4.2.3 แบบริง (Ring) จะเป็นวิธีการเชื่อมโยงข้อมูลของอุปกรณ์หลาย ๆ อุปกรณ์ โดยการเชื่อมโยงเข้ากับอุปกรณ์ที่อยู่ด้านข้างทั้งซ้ายและขวาต่อกันไปเรื่อย ๆ จนวนกลับมาครบทุก

อุปกรณ์ในลักษณะคล้ายรูปวงแหวนและใช้สายเพียง 1 เส้นระหว่างการเชื่อมต่อ 2 จุดของอุปกรณ์กับอุปกรณ์ เช่น ลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะจำนวน 8 เครื่องเข้าด้วยกันโดยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่อยู่ด้านซ้ายและขวาต่อกันไปเรื่อย ๆ จนครบทุกอุปกรณ์ แสดงได้ดังรูปที่ 7.11 ซึ่งการต่อลักษณะนี้จะลดความสิ้นเปลืองของสายต่อลงได้และหากเกิดกรณีที่เกิดสายใดสายหนึ่งขาดก็ จะไม่กระทบกับอุปกรณ์แม้แต่ตัวเดียวเลย



รูปที่ 7.10 การเชื่อมโยงแบบสตาร์

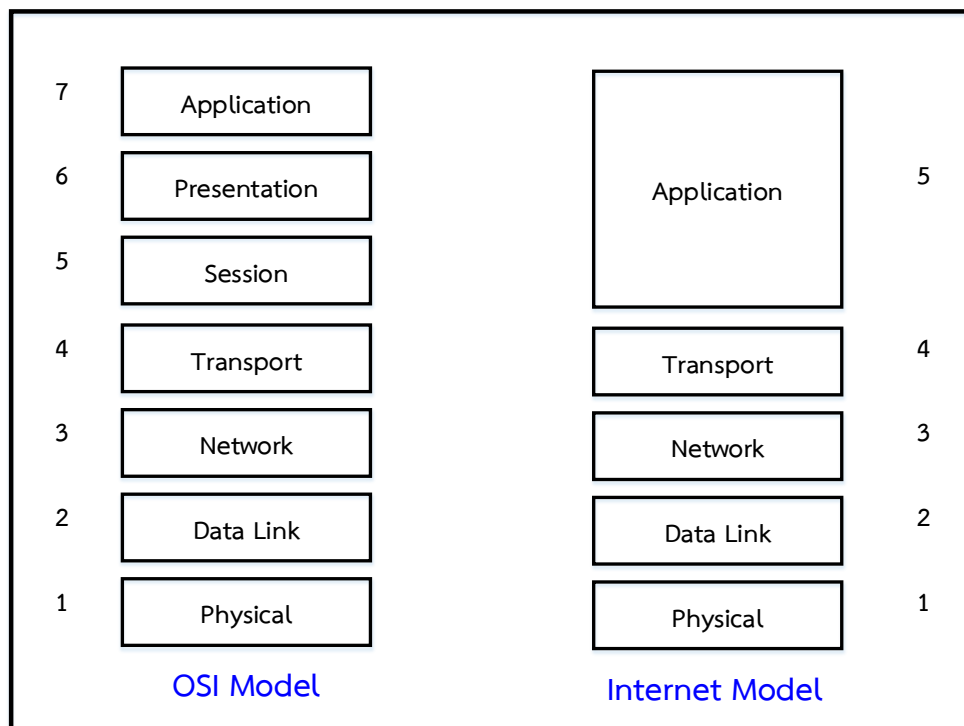


รูปที่ 7.11 การเชื่อมโยงแบบริง

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

7.4.3 แบบจำลองโอเอสไอ (Open Systems Interconnection: OSI) จะเป็นรูปแบบมาตรฐานของการสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ โดยคำว่า Open Systems จะหมายถึงระบบที่ยินยอมให้อุปกรณ์ที่มีรูปแบบทางสถาปัตยกรรมระบบที่แตกต่างกันสามารถทำการสื่อสารกันได้อย่างอิสระ ด้วยมาตรฐานการสื่อสารที่เป็นสากล โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงวิธีการใด ๆ ของอุปกรณ์ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์

แบบจำลอง OSI มีการแบ่งการทำงานออกเป็นชั้นการสื่อสารที่เรียกว่าเลเยอร์ (Layer) ซึ่งในแต่ละเลเยอร์นั้นก็จะกำหนดชื่อเรียกและมีฟังก์ชันหน้าที่การทำงานในแต่ละเลเยอร์นั้น โดยจะมีทั้งหมด 7 ชั้น ดังนี้



รูปที่ 7.12 แบบจำลองของเครือข่าย

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

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

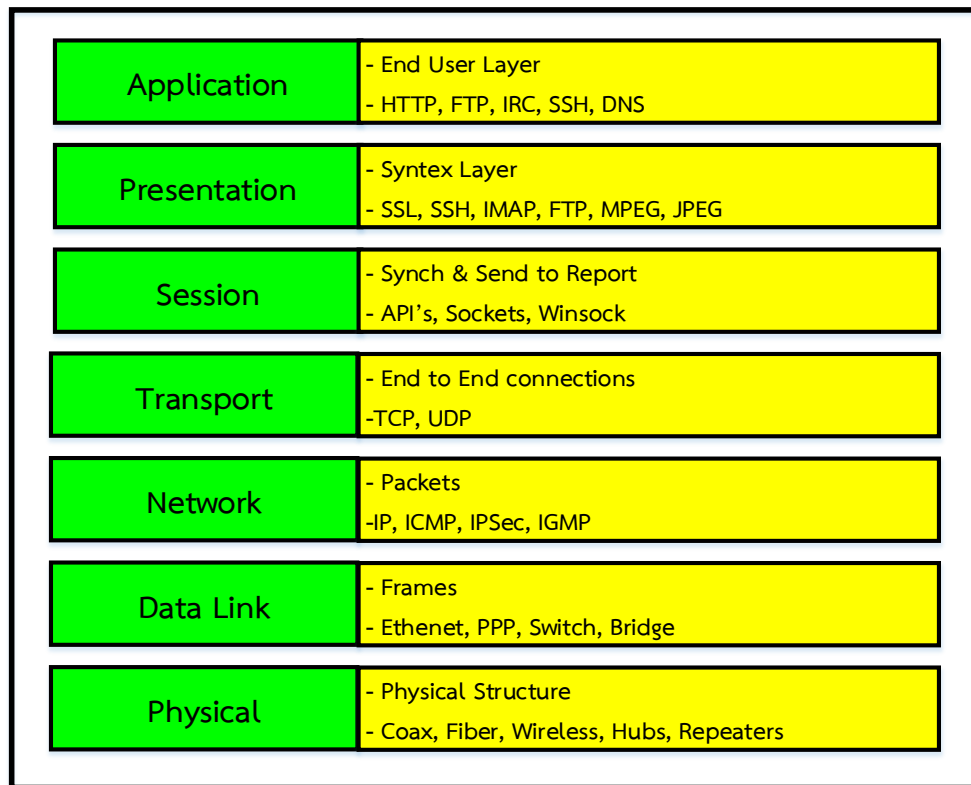
3. ชั้นสื่อสารเน็ตเวิร์ก (Network Layer) จะทำหน้าที่เกี่ยวกับการส่งแพ็กเก็ตเกิดจากต้นทางไปยังปลายทางผ่านเครือข่ายหลาย ๆ เครือข่าย ซึ่งจะนำส่งกันเป็นแพ็กเก็ต (Packet) แต่ละแพ็กเก็ตจะถูกส่งไปยังปลายทาง โดยในระหว่างทางนั้นอาจมีเครือข่ายย่อยที่เชื่อมต่อกันอยู่อีกมากมาย และมีการส่งข้ามเครือข่ายต่างชนิดกันไปมาได้

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

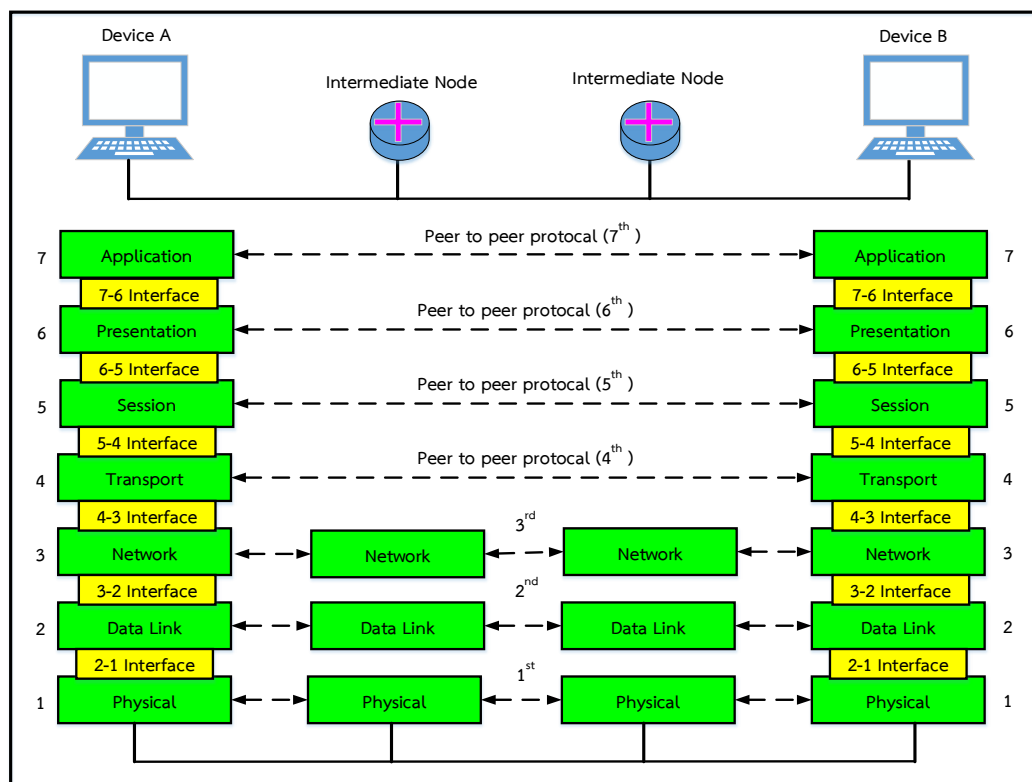
5. ชั้นสื่อสารเซสชัน (Session Layer) จะทำหน้าที่ควบคุมการสื่อสารและการจัดการในการแลกเปลี่ยนข่าวสารที่เกิดขึ้นระหว่างต้นทางและปลายทาง โดยการสื่อสารในช่วงเวลาใด ๆ นั้นจะเรียกว่า เซสชัน โดยในเซสชันหนึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ การล็อกอิน > การกรอกรหัสผ่าน > การใช้โฮสต์ > การออกจากระบบ หรือเซสชันของการสนทนาที่ประกอบด้วยขั้นตอน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

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

7. ชั้นสื่อสารแอปพลิเคชัน (Application Layer) จะทำหน้าที่ในการติดต่อกับผู้ใช้โดยจะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงเครือข่ายได้โดยจะมียูสเซอร์อินเตอร์เฟซเพื่อสนับสนุนงานบริการต่าง ๆ เช่น การส่งอีเมลล์ การสื่อสารแบบระยะไกล การแบ่งปันฐานข้อมูลและการบริการด้านอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้ง 7 เลเยอร์นี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.13-7.14



รูปที่ 7.13 เลเยอร์ของแบบจำลอง OSI



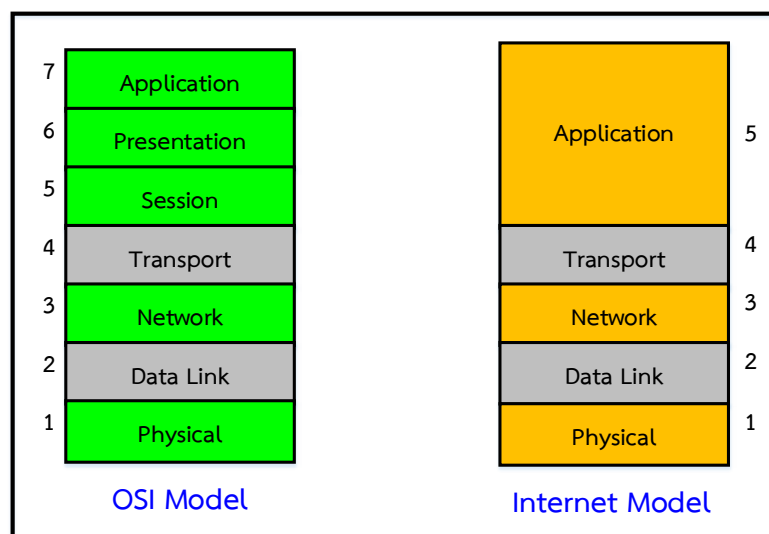
รูปที่ 7.14 การเชื่อมต่อทางอินเทอร์เน็ตเฟซของแบบจำลอง OSI

7.4.4 แบบจำลองอินเทอร์เน็ตหรือชุดโปรโตคอล TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) จะมีชั้นสื่อสารที่มีหลักการทำงานที่คล้ายคลึงกับแบบจำลอง OSI โดยที่แบบจำลองอินเทอร์เน็ตนั้นจะประกอบไปด้วย 5 ชั้นสื่อสาร ดังนี้

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

2. ชั้นสื่อสารดาต้าลิงก์ (Data Link Layer) จะเป็นการส่งข้อมูลขนาด Frame จากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่งที่อยู่ติดกัน ซึ่งในแต่ละโหนด IP จะทำการส่งข้อมูลลักษณะ Datagram เพื่อ ส่งไปให้โหนดถัดไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ภายในลิงค์เดียวกันเท่านั้น

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



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 นั้นจะทำการส่งข้อความไปยังปลายทางโดยจะรับรองความถูกต้อง

ครบถ้วนและตรงตามลำดับในการส่งด้วย 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

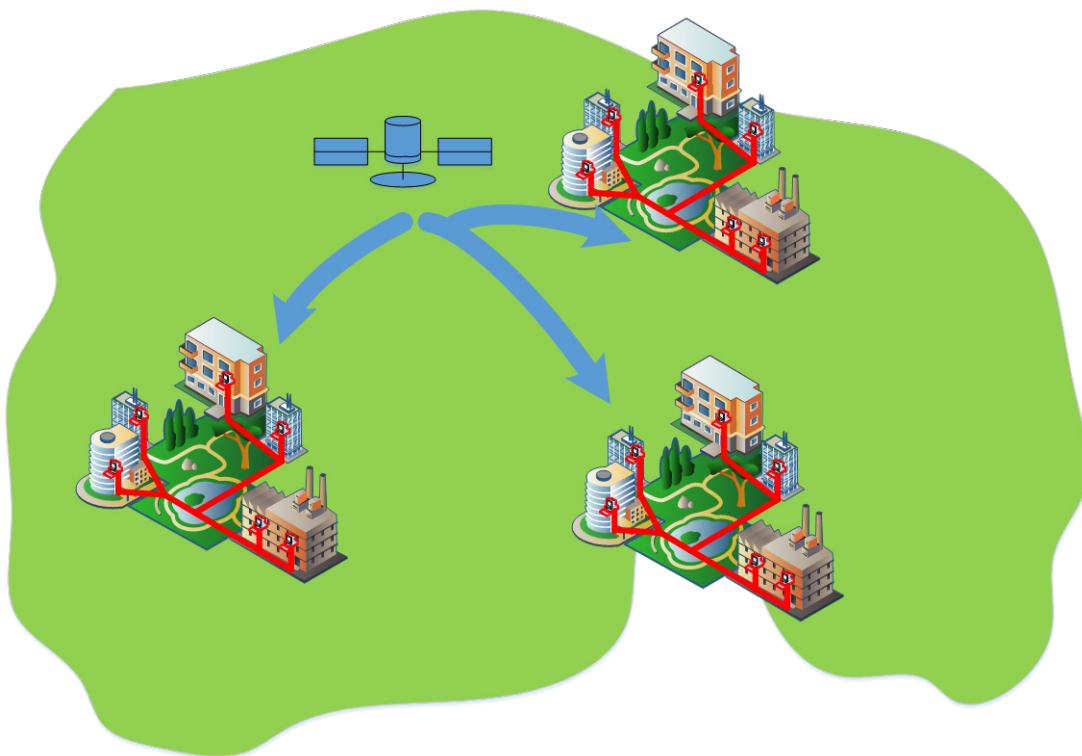
โดยจะสามารถแบ่งออกได้ตามขนาดของเครือข่ายเป็น 3 ประเภท ได้แก่

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 ระบบเคเบิลทีวี 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) จะเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณที่ใช้อยู่ในเครือข่ายระยะไกล อยู่ในบริเวณที่จำกัดระยะ ซึ่งจะอยู่ในอาคารเดียวกัน หรือใช้ในอาคารที่ไกลกันก็ได้ เช่น ภายในสำนักงาน ภายในโรงเรียนหรือภายในบริษัท แสดงได้ดังรูปที่ 7.19



รูปที่ 7.19 โมเด็ม

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



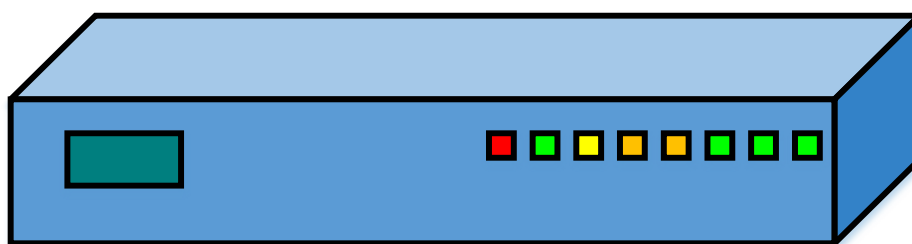
รูปที่ 7.20 การ์ด LAN

7.5.6 เราเตอร์ (Router) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงให้เครือข่ายหรือการรับส่งข้อมูลสามารถติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันได้ แสดงได้ดังรูปที่ 7.21



รูปที่ 7.21 เราเตอร์

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



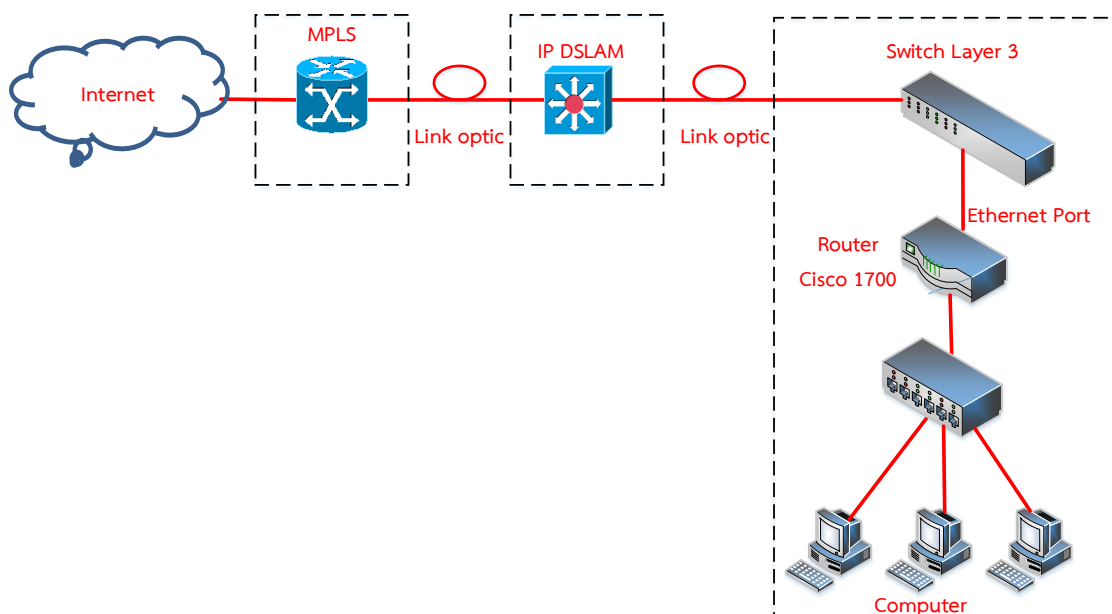
รูปที่ 7.23 ฮับ

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



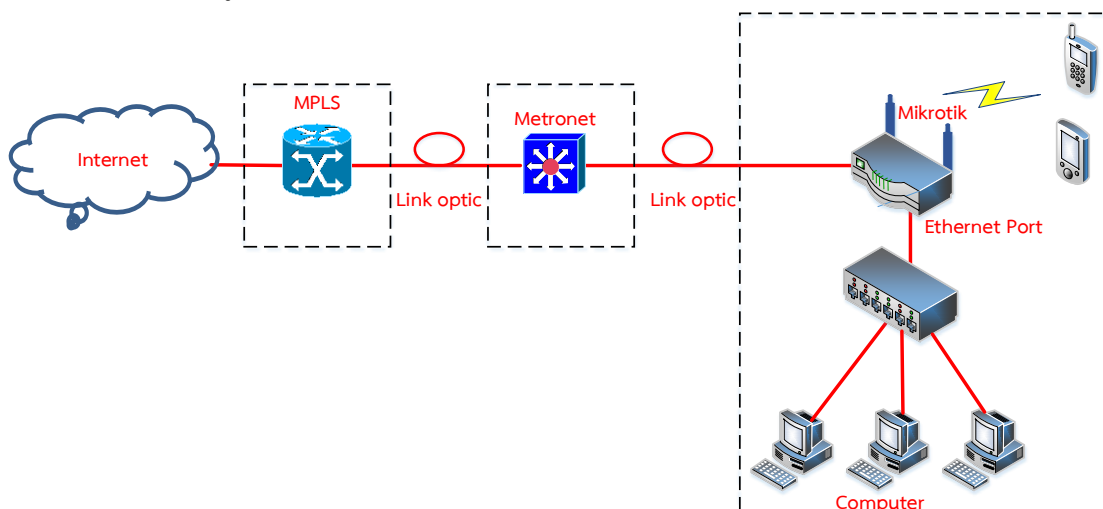
รูปที่ 7.24 สวิตช์

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



รูปที่ 7.25 ตัวอย่าง ILL 4M/4M

ตัวอย่างการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบส่วนตัว 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 เนื่องจากการใช้งานร่วมกันที่เครื่องเดียว ก็อปปีเดียว 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)

โดยจะยังมีข้อที่ควรต้องระวังกดังนี้

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. อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ (Network Interface Card) จะเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะทั่วไปให้กลายเป็นเครื่องลูกข่ายของเครือข่ายนั้น โดยอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณนั้นจะเป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นแผงวงจรสำหรับใช้ในการเสียบเข้าไปยังช่องต่อขยายช่องหนึ่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ เพื่อที่จะได้ทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณของเครือข่ายที่จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายได้

5. ระบบสายสัญญาณ (Cabling System) จะเป็นในส่วนของการเดินสายสัญญาณที่ใช้เป็นสื่อกลางในการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในเครือข่ายเข้าด้วยกัน ซึ่งสายสัญญาณที่นำมาใช้เป็นสื่อกลางแบบต่าง ๆ ได้แก่ UTP/STP, Coaxial, Fiber Optic หรือการเชื่อมต่อแบบไร้สาย เช่น Infrared หรือ WiFi ก็ได้

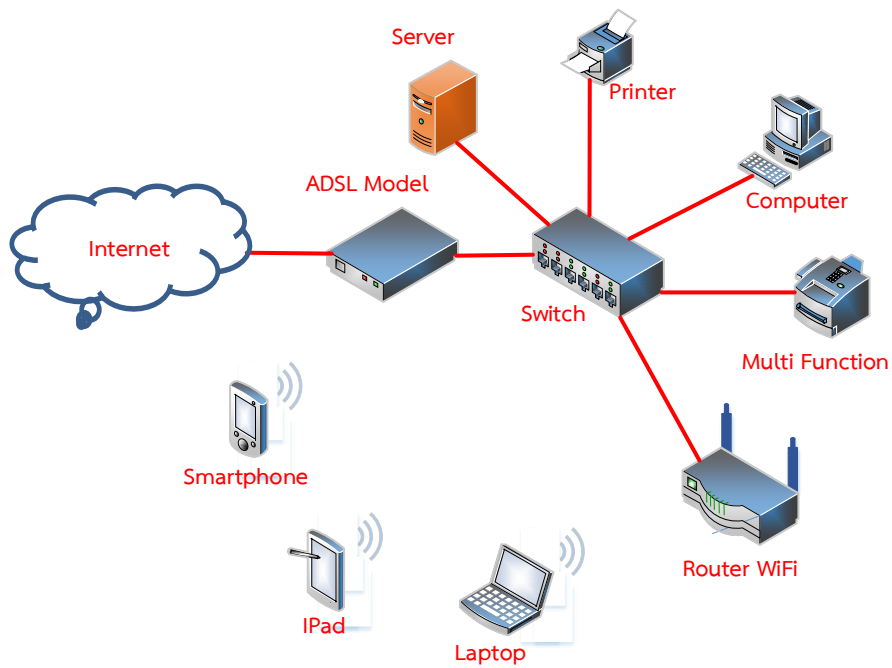
7.7 มาตรฐานของระบบเครือข่ายแลน

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

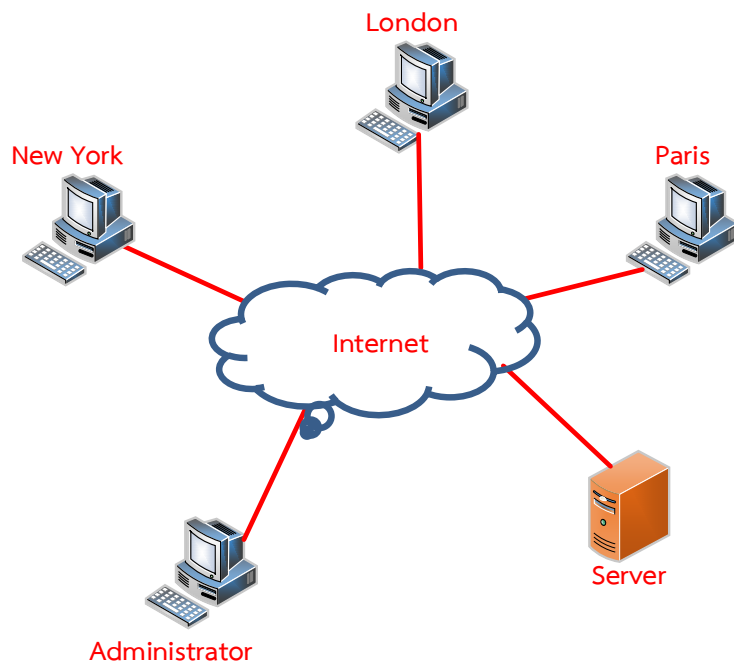
โดยที่ระบบเครือข่ายแบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงปลายทศวรรษ 1970 และได้พัฒนาต่อเนื่องมาจนในปี 1980 ได้ออกแบบเป็นระบบ Ethernet I โดยเชื่อมต่อกับสาย Coaxial และได้พัฒนาจนมาเป็น Ethernet II ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายที่นำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง หลังจากนั้นองค์กรมาตรฐาน IEEE ได้ออกข้อกำหนดมาตรฐาน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

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

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



รูปที่ 7.27 การเชื่อมต่อระบบเครือข่าย LAN



รูปที่ 7.28 การเชื่อมต่อระบบเครือข่าย SAN

7.8 อินเทอร์เน็ต

อินเทอร์เน็ต (Internet) เป็นระบบเครือข่ายของคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ เครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่เปิดใช้งานทั่วโลก จะสามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้หากมีการใช้มาตรฐานในการรับส่งข้อมูลในลักษณะเดียวกัน ซึ่งหมายถึงโปรโตคอล (Protocol) โดยโปรโตคอลที่นิยมนำมาใช้

กับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนี้จะถูกเรียกว่าทีซีพี/ไอพี (Transmission Control Protocol/Internet Protocol: TCP/IP) โดยปัจจุบันอินเทอร์เน็ตมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก อย่างเช่น

ทางด้านความบันเทิง โดยจะนำมาใช้เพื่อการพักผ่อนหย่อนใจ สันทนาการ การค้นหาวารสาร หนังสือพิมพ์และข่าวสารต่าง ๆ ซึ่งจะมีภาพประกอบ สามารถฟังวิทยุหรือดูวิดีโอผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ สามารถดึงข้อมูล (Download) ภาพยนตร์ต่าง ๆ ได้ เป็นต้น

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

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

7.8.1 อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย

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

ต่อมาในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2538 ได้เริ่มต้นการให้บริการอินเทอร์เน็ตในประเทศไทยขึ้นเป็นครั้งแรก จากความร่วมมือของการสื่อสารแห่งประเทศไทย องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย และสำนักงานส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยให้บริการในชื่อของ บริษัทอินเทอร์เน็ต ประเทศไทย (Internet Thailand) ซึ่งเป็นธุรกิจผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตรายแรกของประเทศไทย

7.8.2 ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต

ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (Internet Service Provider: ISP) จะเป็นบริษัทผู้ให้บริการการเข้าถึงอินเทอร์เน็ต โดยมีระบบที่จะเชื่อมโยงผู้ใช้บริการเข้ากับเทคโนโลยีรับส่งข้อมูลที่ส่งผ่านอุปกรณ์ด้วยโปรโตคอลอินเทอร์เน็ต เช่น Dial, โมเด็มหรือเราเตอร์ เป็นต้น โดยตัวอย่างบริษัทผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต เช่น

1. ศูนย์อินเทอร์เน็ตประเทศไทย (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 ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ต

1. อินเทอร์เน็ตโปรโตคอล (Internet Protocol หรือ IP) คือรูปแบบการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์เครือข่ายในอินเทอร์เน็ต

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

3. โดเมนเนม (Domain Name) หมายถึงชื่อเว็บไซต์ซึ่งเป็นชื่อที่กำหนดขึ้นเพื่อให้สามารถจดจำได้ง่ายเพื่อให้สามารถเข้าถึงผ่านบราวเซอร์ของผู้ใช้งานทั่วไป ซึ่งผู้ดูแลระบบโดเมนเนมจะนำไปผูกไว้กับไอพีแอดเดรสกับชื่อโดเมนเนมนั้น ๆ ทั้งนี้ผู้ใช้งานทั่วไปก็จะจดจำเฉพาะโดเมนเนมไปใช้งานโดยไม่จำเป็นต้องจดจำไอพีแอดเดรสซึ่งจดจำได้ยากกว่า ทั้งนี้โดเมนเนมนั้นเป็นชื่อเฉพาะที่จะไม่ซ้ำกันและจะมีต่อท้ายด้วยเช่น .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 ซึ่งเป็นบริการค้นหาหรือเรียกดูข้อมูลประเภทหนึ่งบนระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งข้อมูลจะเป็นแบบสื่อผสม (Multimedia) ที่เป็นทั้งตัวอักษร รูปภาพ เสียง และภาพเคลื่อนไหวแบบวิดีโอ โดยข้อมูลจะถูกแสดงขึ้นมาเป็นหน้า ๆ ซึ่งแต่ละหน้านั้นจะสามารถเชื่อมโยงถึงกันได้เป็นแบบเครือข่ายเหมือนใยแมงมุม จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อและกระจายกันอยู่ทั่วโลก

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

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

โปรแกรมที่ใช้เปิดดูเว็บเพจ คือ เว็บเบราว์เซอร์ ตัวอย่างเช่น กูเกิลโครม, อินเทอร์เน็ตเอกซ์พลอเรอร์, Netscape, ไฟร์ฟอกซ์, และซาฟารี เป็นต้น

7.10 ระบบคลาวด์คอมพิวติง

ปัจจุบันมีการนำระบบคลาวด์คอมพิวติง (Cloud Computing) มาใช้งานกันอย่างกว้างขวางในรูปแบบของการทำงานด้วยโปรแกรมต่าง ๆ หรือนำมาเป็นแหล่งจัดเก็บสำรองข้อมูลสำคัญ

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

ข้อดีของคลาวด์คอมพิวติง สามารถอธิบายได้เบื้องต้นดังนี้

มีต้นทุนที่ถูกกว่าการซื้อเซิร์ฟเวอร์มาติดตั้งเอง

ราคาค่าเช่าจ่ายตามบริการที่ใช้จริง

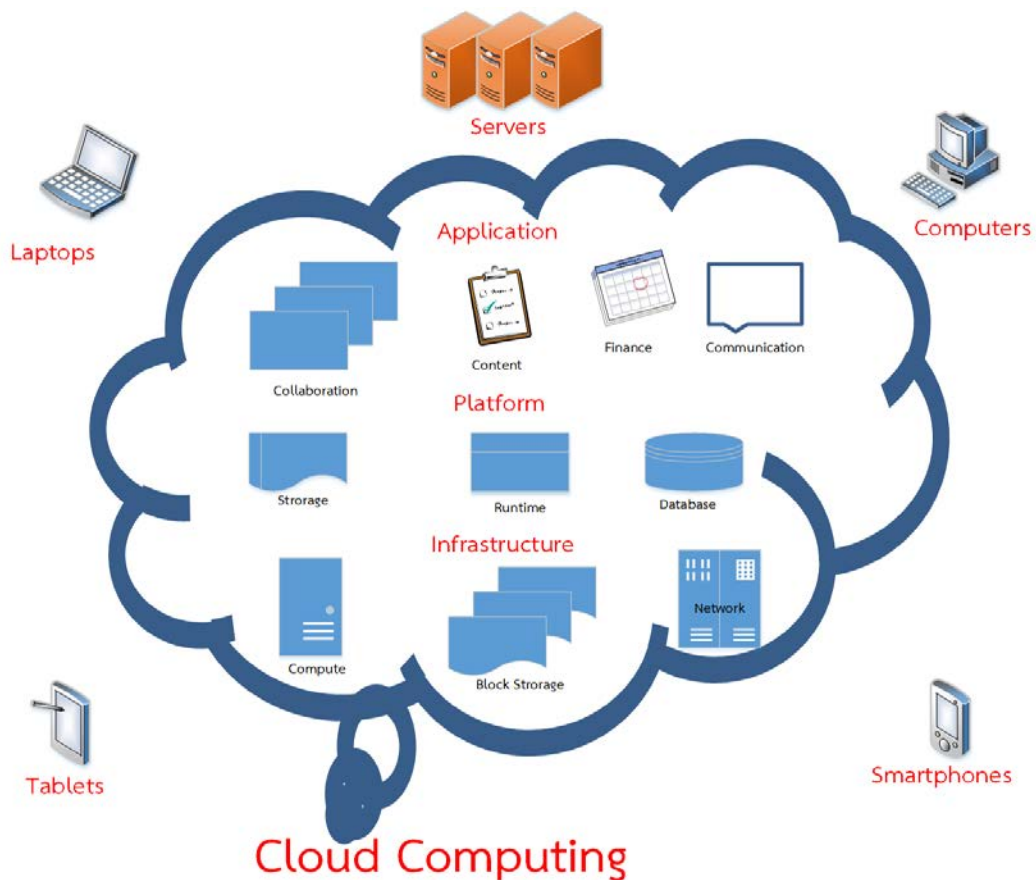
การใช้งานข้อมูลสามารถทำการประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

สามารถใช้งานได้ทุกที่ ทุกเวลา เมื่อเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต

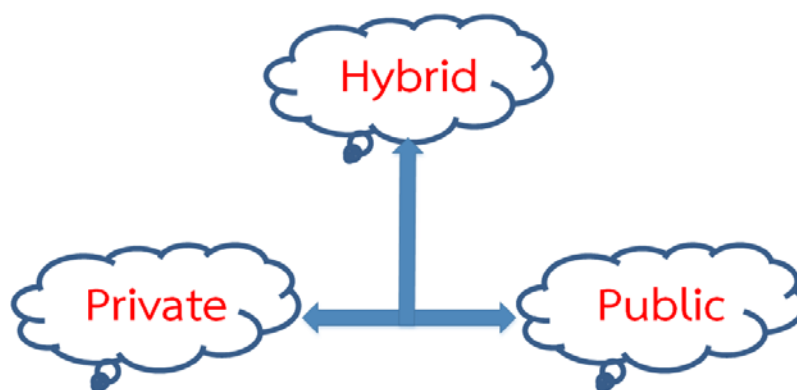
สามารถทำการแจ้งเพิ่มและลดขนาดพื้นที่จัดเก็บข้อมูลได้ตลอด

สามารถรองรับการใช้งานด้วยเทคโนโลยีที่หลากหลายได้

มีความปลอดภัยของระบบที่สูงมาก



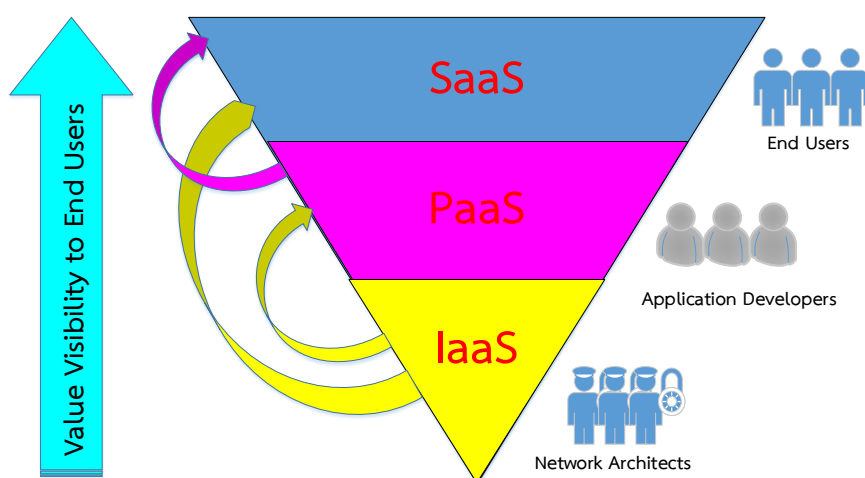
รูปที่ 7.29 ระบบ Cloud Computing



รูปที่ 7.30 ระบบ Cloud Computing

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

1. พับลิคคลาวด์ (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 พับลิคคลาวด์ 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

อินเทอร์เน็ต เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารผ่านคอมพิวเตอร์ในยุคแรก ๆ โดยใช้หลักการสื่อสารชั้นพื้นฐานแล้วมาเพิ่มในส่วนองวิธีการหรือข้อกำหนดในการเชื่อมต่อสื่อสารกันซึ่งเรียกว่าโปรโตคอลซึ่งจะทำให้ผู้ส่งและผู้รับเกิดความเข้าใจกันได้ โดยโปรโตคอลในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้งานได้แก่ X.25 และ TCP/IP การเชื่อมต่อหรือสื่อกลางระหว่างตัวรับและตัวส่งนั้นมีได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน ต้นทุนและองค์ประกอบที่เป็นข้อจำกัดด้านอื่น ๆ ของแต่ละองค์กรด้วย ปัจจุบันการให้บริการด้านอินเทอร์เน็ตมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วมีการเชื่อมต่อกันตั้งแต่ระดับหน่วยงาน องค์กร ด้วยเครือข่ายที่โยงใยกันไปได้ทั่วทุกมุมโลก ทั้งยังสามารถใช้ในทางธุรกิจที่มีให้บริการในหลายรูปแบบ โดยระบบอินเทอร์เน็ตยังคงถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานผ่านระบบเซลลูลาร์ 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 จงอธิบายเกี่ยวกับประโยชน์ของอินเทอร์เน็ต
- ข้อ 8 จงอธิบายและเปรียบเทียบชั้นของแบบจำลอง OSI กับแบบจำลองอินเทอร์เน็ต
- ข้อ 9 จงวาดรูปการต่ออุปกรณ์ใช้งานระบบแลนอินเทอร์เน็ตและอธิบายมาพอสังเขป
- ข้อ 10 จงอธิบายถึงรูปแบบของระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์

บรรณานุกรม

1. จักกริช พฤษการ, การสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์, พิมพ์ครั้งที่ 1: บริษัทสำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2549.
2. วาতিต 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 หิรัญยณิชากร, ระบบการสื่อสารข้อมูล และเครือข่ายคอมพิวเตอร์, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2562.
6. วิรุณศักดิ์ สันติเพ็ชร, วิศวกรรมโทรคมนาคมเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2559.
7. ภัควริศ เกื้อกุล, คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ชิมพลีฟาย, 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.similantechology.com/news&article/connecting-the-lan.html/>, 11 พฤศจิกายน 2565.
11. Sarawut Chamchoy. (2561). IP-Addressing and Subnetting [ออนไลน์], แหล่งที่มา <https://pubhtml5.com/kdvm/gstd/basic/>, 11 พฤศจิกายน 2565.

บทที่ 8

ระบบเซลลูลาร์ ไมโครเวฟและดาวเทียม

การพัฒนาทางด้านการสื่อสารจากอดีตจนถึงปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพนั้น ทำให้เกิดความสะดวกสบายในการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมากจนเรียกได้ว่ากลายมาเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตที่จะขาดไปเสียไม่ได้ ในบทนี้จึงจะได้กล่าวถึงการสื่อสารไร้สายที่มีบทบาทสำคัญและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ ซึ่งจะเริ่มอธิบายดังนี้

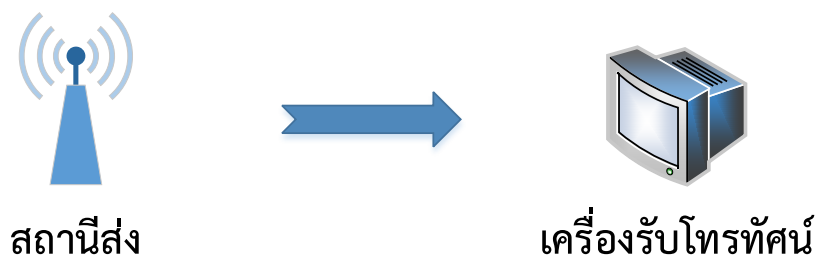
8.1 ลักษณะการส่งข้อมูลในระบบสื่อสารสัญญาณ

โดยที่ลักษณะทิศทางของการส่งข้อมูลนั้น จะมีทิศทางในการส่งข้อมูลที่แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. การส่งข้อมูลทิศทางเดียว
2. การส่งข้อมูลแบบสองทิศทางสลับกัน
3. การส่งข้อมูลแบบสองทิศทางพร้อมกัน

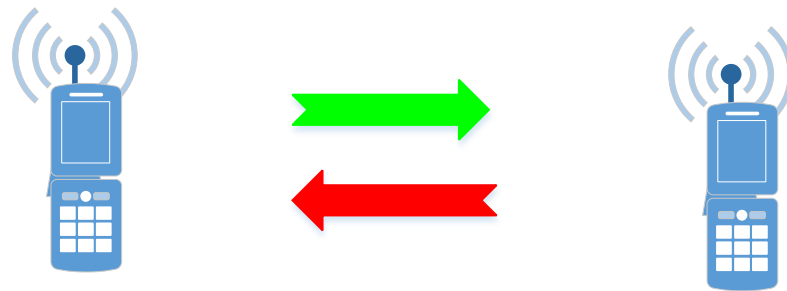
โดยสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

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



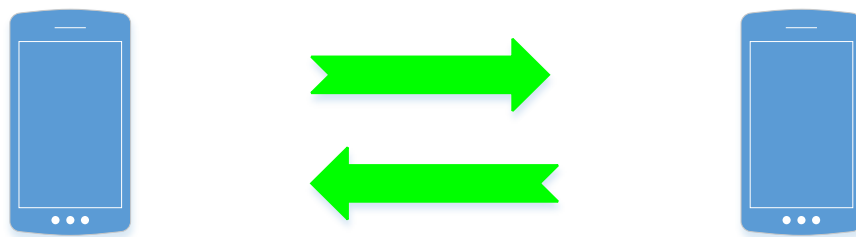
รูปที่ 8.1 การส่งข้อมูลทิศทางเดียว

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



รูปที่ 8.2 การส่งข้อมูลแบบสองทิศทางสลับกัน

8.1.3 การส่งข้อมูลแบบสองทิศทางพร้อมกัน (Half-Duplex Transmission) จะเป็นการสื่อสารข้อมูลที่ทำให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารของผู้ส่งกับผู้รับ โดยที่ผู้ส่งกับผู้รับจะสามารถส่งข้อมูลข่าวสาร ได้ต่อกันได้ในเวลาเดียวกัน 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 (Forth 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 สำหรับในประเทศไทยนั้นยังไม่ค่อยนำมาใช้งานน้อยมาก 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 เข้ามาใช้ โดยระบบที่อยู่ในยุคนี้เช่น GPRS และพัฒนาไปสู่การนำระบบ EDGE (ยุค 2.75G) โดยในยุคนี้เทคโนโลยีทางการสื่อสารบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้พัฒนาไปสู่ยุคของ 3G ควบคู่กันไปด้วย แต่ผู้ใช้บริการจำนวนมากยังคงชินกับการใช้งานในระบบสื่อสารยุค 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 สามารถส่งข้อมูลแบบมัลติมีเดียได้ สามารถรองรับการใช้งานประเภทดิจิทัลคอนเทนต์ต่าง ๆ ได้ สามารถให้บริการการประชุมทางไกลแบบเห็นหน้าได้ สามารถรับชมภาพยนตร์แบบสั้น ๆ ได้ สามารถเข้าถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ รวมถึงสามารถทำการเชื่อมต่อสัญญาณกันทั่วโลก

8.2.5 ยุค 4G (Forth Generation) ในยุค 4G นี้จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีความเร็วสูงกว่ายุค 3G เป็นอย่างมาก โดยสามารถมีความเร็วในการสื่อสารได้ถึงประมาณ 20-40 Mbps ซึ่งทำให้สามารถรับชมรายการโทรทัศน์ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือดาว์นโหลดภาพยนตร์มาชมบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ จากสาเหตุที่เทคโนโลยีก้าวกระโดดเข้าสู่ยุค 4G อย่างรวดเร็วเกิดมาจาก ดิจิทัลคอนเทนต์หรือการบริการด้านเนื้อหาในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เสียงเรียกเข้า ภาพหน้าจอ เสียงรอสาย รวมถึงข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ ที่มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดจึงเป็นแรงผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ยุค 4G เพื่อเตรียมพร้อมในการให้บริการต่าง ๆ หลายรูปแบบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะต้องอาศัยเครือข่ายที่มีความเร็วสูง สามารถรับส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก ซึ่งต่อมาได้พัฒนาเทคโนโลยี

จนทำให้ 4G LTE สามารถส่งข้อมูลอยู่ที่ 50 Mbps และสามารถรับข้อมูลได้ด้วยความเร็วถึง 100 Mbps โดยมีความเร็วกว่าเทคโนโลยี 3G ประมาณ 7 เท่า

สรุปเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายในระบบเซลลูลาร์ 1G - 4G

1G จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ Analog

2G จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ Digital

2.5G จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ GPRS

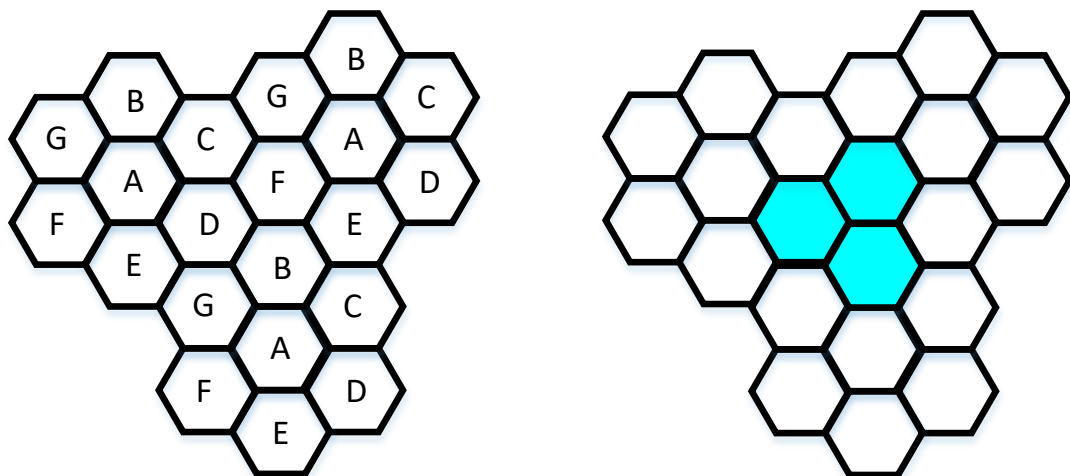
3G จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ Digital Multimedia

4G จะเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ Hybrid Network

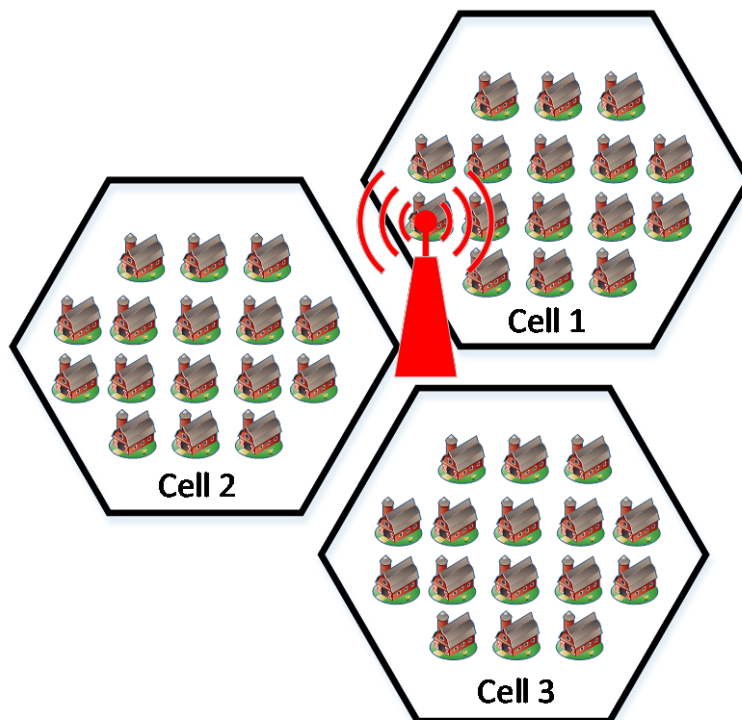
8.3 เทคโนโลยีระบบเซลลูลาร์

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

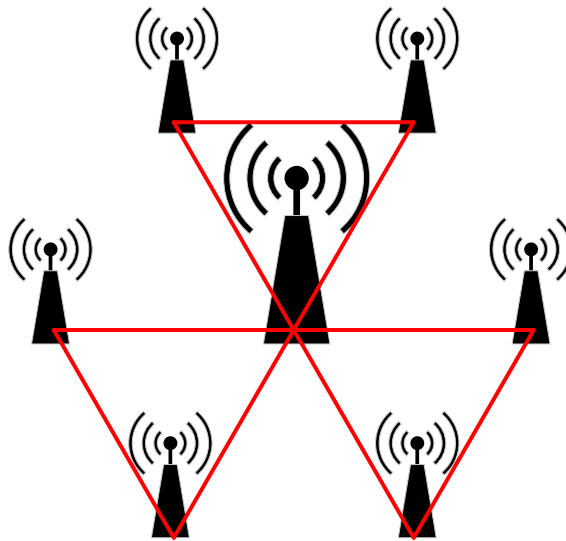


รูปที่ 8.5 รัศมีและการดูแลจัดสรรความถี่ใช้งานในแต่ละเซลล์

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

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

ในปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้มีการพัฒนาให้สอดคล้องกับการใช้งานได้อย่างครอบคลุมในพื้นที่ให้บริการทั่วไปให้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น สามารถที่จะทำการขยายอาณาเขตในการให้บริการได้อย่างทั่วถึงและต่อเนื่องตามความต้องการของผู้ใช้บริการ อย่างเช่นในเขตบริเวณพื้นที่ที่มีประชากรอาศัยกันอยู่อย่างหนาแน่นนั้น ก็จะมีความต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นจำนวนมากตามไปด้วยเช่นกัน ซึ่งก็จำเป็นต้องวางแผนให้มีจำนวนเซลล์ให้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้นด้วยเพื่อรองรับอัตราการใช้บริการ (Traffic) ที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

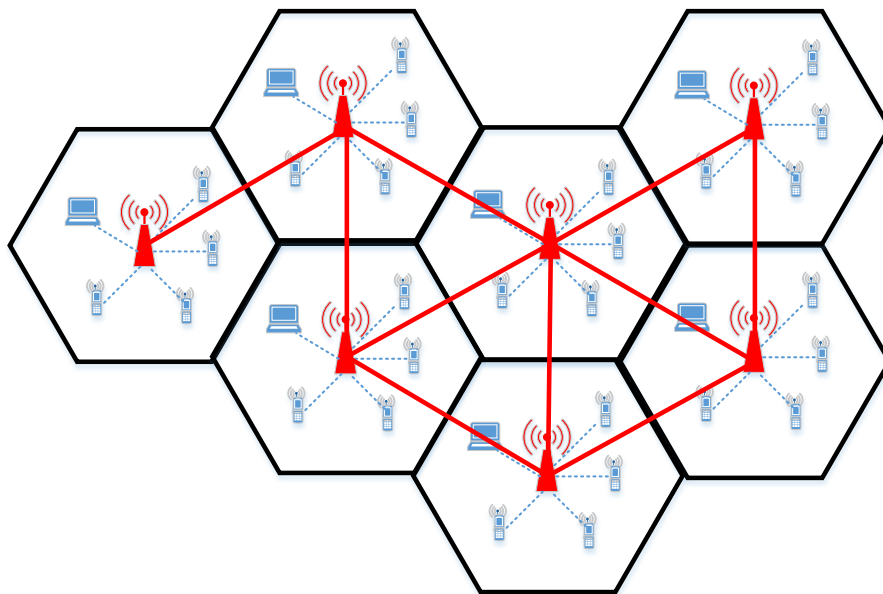


รูปที่ 8.6 สถานีฐานในพื้นที่ให้บริการ

ในทางกลับกันนั้นเขตพื้นที่ที่ไม่มีประชากรหนาแน่นมากนัก ก็จะมีความต้องการในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ลดน้อยลงก็ต้องออกแบบวางแผนให้ขนาดของเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยในแต่ละเซลล์ที่อยู่ชิดติดกันก็ต้องใช้ย่านความถี่ที่มีความแตกต่างกันเพื่อที่จะได้นำความถี่กลับมาใช้ใหม่ โดยที่จะไม่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนหรือสัญญาณแทรกเข้ามาในระบบ แต่หากต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นก็จะทำการแบ่งจำนวนเซลล์ออกเป็นเซลล์ย่อย ๆ จนมีจำนวนเซลล์ที่มากขึ้นตามความต้องการได้ ซึ่งจะทำให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถนำความถี่ที่ใช้ไปแล้วกลับมาใช้งานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

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

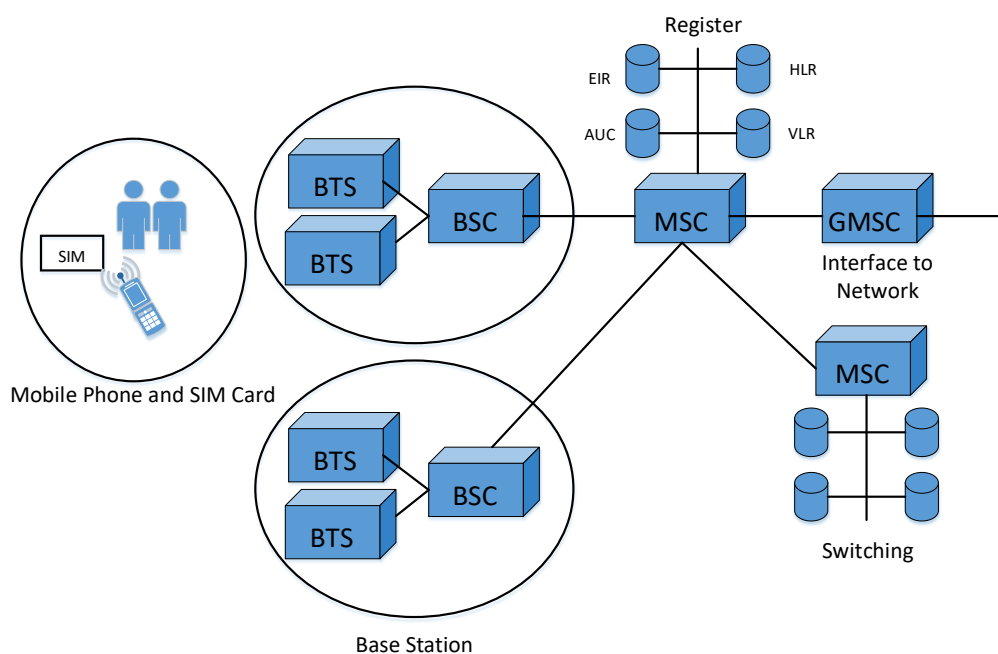
โดยลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในแต่ละเซลล์นั้นจะเป็นการเชื่อมต่อถึงกัน ซึ่งแต่ละเซลล์มีรัศมีครอบคลุมพื้นที่ให้บริการที่สอดคล้องกับจำนวนของผู้ใช้บริการ โดยขนาดของเซลล์ตามมาตรฐานทั่วไปจะมีรัศมีตั้งแต่ 250 เมตร จนถึง 30 กิโลเมตร ในกรณีที่ต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้การลดขนาดของเซลล์ลงเพื่อนำความถี่กลับมาใช้ซ้ำและต้องทำการเพิ่มสถานีฐานให้สอดคล้องกันด้วย 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 และยังคงควบคุมการกำหนดเส้นทางการเชื่อมต่อที่ใช้ในการสนทนาต่าง 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 โครงข่ายสวิตชิงย่อย (Network Switching Subsystem: NSS) ที่จะประกอบด้วยการทำงานหลัก ๆ ที่ทำหน้าที่ในการกำหนดและเชื่อมต่อเส้นทางให้กับระบบ ซึ่งจะมีการทำงานประสานกับสวิตชิงบริการเคลื่อนที่ (Mobile Service Switching Center: MSC) หรือที่เรียกกันในเรื่อง

ของชุมสายเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งจะเป็นส่วนที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่าง BSC กับเครือข่ายทั้งหมดของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่กับเครือข่ายอื่น ๆ ด้วย โดย MSC จะทำหน้าที่เป็นส่วนของการสวิตช์และเชื่อมต่อเส้นทางระหว่างเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าหากัน รวมถึงเส้นทางระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโทรศัพท์ประเภทอื่น ๆ ด้วย อีกทั้งยังทำหน้าที่ในการเลือกเซลล์ให้บริการพร้อมทั้งรายงานพิกัดของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อีกด้วย ซึ่งในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นๆ จะมี MSC หลาย ๆ ตัวที่ทำการเชื่อมต่อกัน และในส่วนของการทำงานเชื่อมต่อกับเครือข่ายของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน 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 ตารางนัดหมาย นาฬิกา เกม การใช้งานอินเทอร์เน็ต บลูทูธ อินฟราเรด กล้องถ่ายภาพ วิทยุ เครื่องเล่นเพลง การส่งข้อความมัลติมีเดีย และจีพีเอส

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

ต่อมาได้พัฒนาเป็นยุคของ 2.5G ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลที่เริ่มนำระบบแพ็กเกจสวิตชิง (Packet Switching) เข้ามาใช้งาน โดยระบบที่อยู่ในยุคนี้เช่น จีพีอาร์เอส (GPRS) ซึ่งทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้มากขึ้น ในส่วนของหน้าจอโทรศัพท์นั้นเริ่มปรับเปลี่ยนเป็นหน้าจอสี ในส่วนของเสียงเรียกเข้าก็ถูกพัฒนาให้เป็นเสียงเรียกเข้าเป็นแบบ MP3 และมีการพัฒนามาสู่ยุค 2.75G ซึ่งจะนำ

ระบบเอดจ์ (Enhanced Data rates for Global Evolution: EDGE) เข้ามาใช้งาน สามารถแสดงได้
ดังรูปที่ 8.10



รูปที่ 8.9 โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2G



รูปที่ 8.10 โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2.5G และ 2.75G



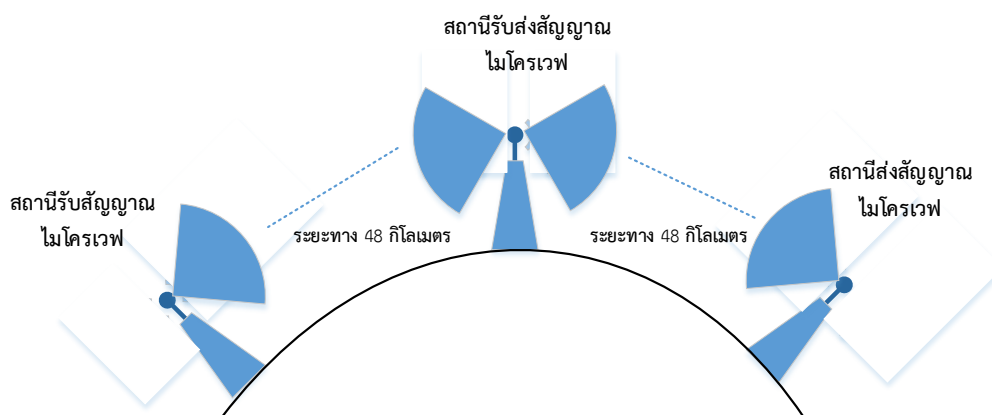
รูปที่ 8.11 โทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G

การสื่อสารข้อมูลทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้พัฒนาจนเข้าสู่ยุค 4G โดยเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลที่พัฒนาทางด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูลเร็วขึ้นถึงประมาณ 100 Mbps 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 จะเป็นเทคโนโลยีแบบลองเทอมอีวอลูชัน (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 ซึ่งการรับส่งสัญญาณนั้นสามารถมีระยะทางได้ไกลสุดที่ประมาณ 80 กิโลเมตรบนผิวโลก โดยความถี่ในช่วงนี้จะสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ออกไปยังนอกโลกได้ แสดงได้ดังรูปที่ 8.12



รูปที่ 8.12 สถานีรับส่งคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถสะท้อนกับผิวโลหะได้ดี จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจจับตำแหน่งทิศทางของอากาศยานได้ด้วย หรือที่รู้จักและเรียกกันว่า ระบบเรดาร์ โดยอาศัยหลักการส่งคลื่นความถี่ไมโครเวฟออกไปกระทบวัตถุที่เป็นโลหะในอากาศและรับคลื่นความถี่ที่จะสะท้อนกลับจากโลหะวัตถุนั้น แล้วนำมาคำนวณอัตราของระยะทางต่อความเร็วก็จะทำให้ทราบระยะห่างระหว่างโลหะวัตถุกับสถานีส่งคลื่นความถี่ไมโครเวฟได้

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

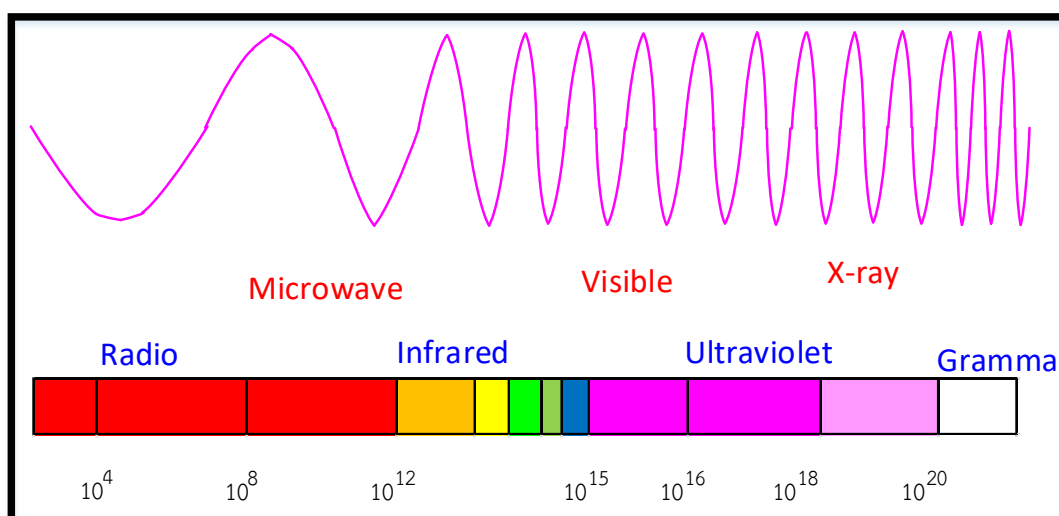


รูปที่ 8.13 จานไมโครเวฟบนเสาสัญญาณ



รูปที่ 8.14 จานไมโครเวฟภาคพื้นดิน

การรับส่งสัญญาณข้อมูลด้วยระบบคลื่นความถี่ไมโครเวฟยังคงใช้กันอย่างกว้างขวาง ในการสื่อสารข้อมูลที่มีระยะทางไกล ๆ หรือการนำไปใช้งานกันบนอาคารสูง โดยเฉพาะความไม่สะดวกในการเดินสายนำสัญญาณประเภทสายไฟเบอร์ออปติก ซึ่งการใช้ระบบไมโครเวฟยังมีราคาที่ถูกกว่าและทำการติดตั้งระบบได้ง่ายกว่า ซึ่งก็ยังสามารถส่งข้อมูลได้จำนวนมาก ๆ อยู่อีกด้วย



รูปที่ 8.15 คลื่นความถี่ไมโครเวฟ

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

คลื่นความถี่ไมโครเวฟจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร โดยที่จะมีความถี่ของช่วงคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 300 MHz ถึง 300 GHz ซึ่งจะมีความถี่คลื่นที่สูงที่สุดอยู่ที่ประมาณ 2,450 ล้านรอบ/วินาที โดยความถี่ในช่วง 915–2,450 MHz จะถูกนำมาใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ และคลื่นความถี่ไมโครเวฟในช่วงที่เหลืออยู่นั้นจะสงวนไว้ใช้ในงานทางด้านการวิจัย แสดงได้ดังรูปที่ 8.15

8.6.1 คุณสมบัติของคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

1. การสะท้อนกลับ (Reflection) โดยที่คลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นเมื่อปล่อยออกไปกระทบกับวัตถุที่เป็นโลหะหรือส่วนที่มีโครงสร้างทำจากโลหะ คลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นก็จะไม่สามารถทะลุทะลวงผ่านโลหะนั้นไปได้ ก็จะทำให้การสะท้อนคลื่นนั้นกลับมามีทั้งหมด ในกรณีที่น่าไปใช้กับเตาไมโครเวฟนั้นคลื่นไมโครเวฟจะสะท้อนไปมาอยู่ภายใน

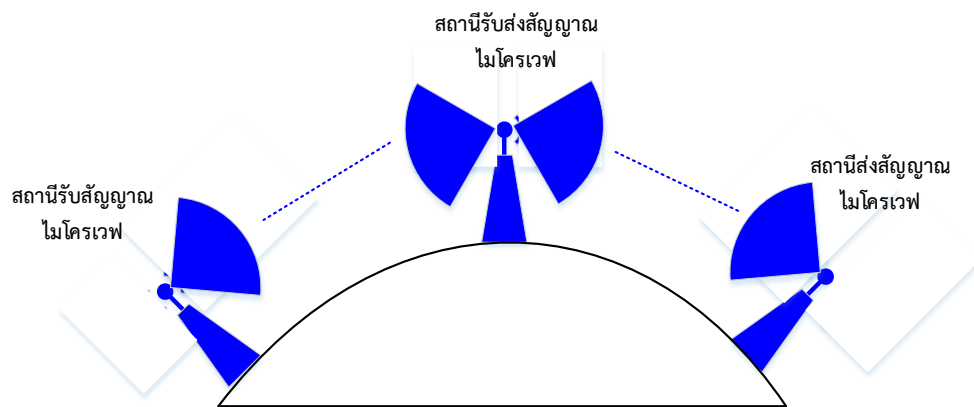
2. การส่งผ่าน (Transmission) โดยที่คลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นเมื่อปล่อยออกไปกระทบกับวัตถุที่ไม่เป็นโลหะหรือส่วนที่มีโครงสร้างไม่ได้ทำจากโลหะ เช่น พลาสติก เซรามิก กระดาษ แก้ว และไม้ เป็นต้น คลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นก็จะสามารถทะลุทะลวงผ่านไปได้ ในกรณีที่น่าไปใช้กับเตาไมโครเวฟนั้นคลื่นไมโครเวฟจะส่งผ่านภาชนะที่ใช้รองรับอาหารเข้าไปยังอาหารที่อยู่ภายในได้

3. การดูดซับ (Adsorption) โดยที่คลื่นความถี่ไมโครเวฟนั้นเมื่อปล่อยออกไปกระทบกับวัตถุที่มีน้ำหรือความชื้นภายใน ก็จะเกิดการดูดซับคลื่นความถี่นั้นไว้ จนส่งผลให้โมเลกุลของน้ำที่ดูดซับพลังงานคลื่นและจะแปรเปลี่ยนให้กลายเป็นพลังงานความร้อนจนเกิดเป็นความร้อนขึ้นในวัตถุนั้น อีกทั้งการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำเมื่อคลื่นวิ่งผ่านก็จะทำให้เกิดความร้อนได้ด้วยเช่นกัน ในกรณีของเตาไมโครเวฟนั้นคลื่นไมโครเวฟหลังจากถูกดูดซับไว้โดยน้ำแล้วนั้นก็จะทำการสลายตัวไปในทันทีจะไม่เกิดการตกค้างของคลื่นความถี่ในอาหารแต่อย่างใด

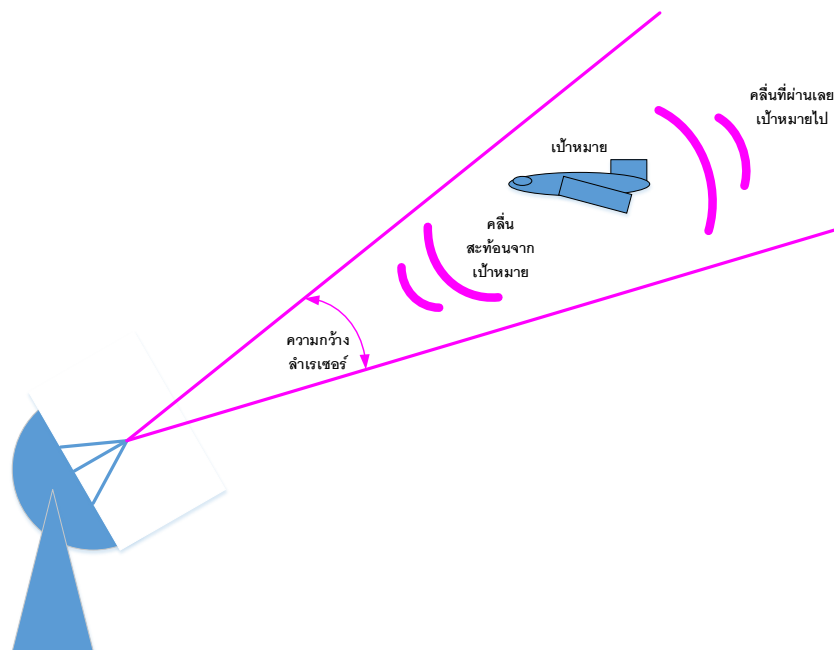
8.6.2 ประโยชน์ของคลื่นความถี่ไมโครเวฟ

1. นำมาใช้กับระบบการสื่อสารไมโครเวฟและการสื่อสารผ่านดาวเทียมได้ ตัวอย่างระบบสื่อสารไมโครเวฟ แสดงได้ดังรูปที่ 8.16

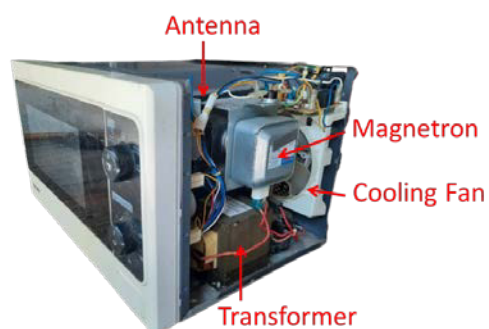
2. นำมาใช้กับระบบตรวจจับวัตถุทางอากาศ การนำร่องทางการบิน การเดินเรือ และยุทธโศปกรณ์เคลื่อนที่เรดาร์ แสดงได้ดังรูปที่ 8.17



รูปที่ 8.16 ระบบสื่อสารไมโครเวฟ



รูปที่ 8.17 ระบบตรวจจับวัตถุทางอากาศ



รูปที่ 8.18 เตาไมโครเวฟ

3. นำมาใช้ทางการแพทย์ ในการฆ่าเชื้อหรือการรักษาโดยใช้ความร้อน โดยใช้คลื่นไมโครเวฟความถี่ต่ำ ๆ ที่สามารถทำให้เกิดความร้อนแก่เนื้อ ๆ ในการรักษาอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อและการปวดบวมตามข้อ หรือการทำลายเซลล์มะเร็งในร่างกายมนุษย์ที่จะนำคลื่นไมโครเวฟความถี่ต่ำปานกลางเข้ามาช่วยในการรักษา

4. นำมาใช้ในการทำให้เกิดความร้อนกับอาหารหรือการประกอบอาหารในปัจจุบัน โดยที่จะเรียกกันในชื่อของ เตาไมโครเวฟ แสดงได้ดังรูปที่ 8.18 อีกทั้งยังสามารถนำคลื่นความถี่ในช่วง 915–2,450 MHz ไปใช้ทางด้านอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ความร้อนในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย

8.6.3 คลื่นไมโครเวฟกับผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์

ในกรณีที่ร่างกายของมนุษย์ได้สัมผัสใกล้ชิดกับคลื่นไมโครเวฟที่มีระดับความเข้มสูง ๆ เช่น ความเข้มขั้นที่ประมาณ 100 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร เป็นเวลานานก็จะเกิดปฏิกิริยาของการเสียดสีกันระหว่างโมเลกุลของน้ำกับกล้ามเนื้อที่เป็นโปรตีนหรือไขมันขึ้นภายในเซลล์ของร่างกายมนุษย์ จนเซลล์ร่างกายของมนุษย์นั้นเกิดความร้อนสะสมและจะทำการดูดกลืนเอาไวกายในเซลล์หรืออวัยวะต่าง ๆ โดยถ้าร่างกายของมนุษย์นั้นยังไม่สามารถถ่ายเทหรือระบายความร้อนออกไปจนกลับมาอยู่ในสภาวะอุณหภูมิร่างกายที่เป็นปกติได้ ก็จะส่งผลต่อเซลล์หรืออวัยวะนั้นเกิดความเสียหายจนเซลล์นั้นตายได้หากปล่อยไว้ให้อยู่ในระดับที่รุนแรง โดยเซลล์หรืออวัยวะในร่างกายที่มีผลกระทบเกิดขึ้นได้แก่

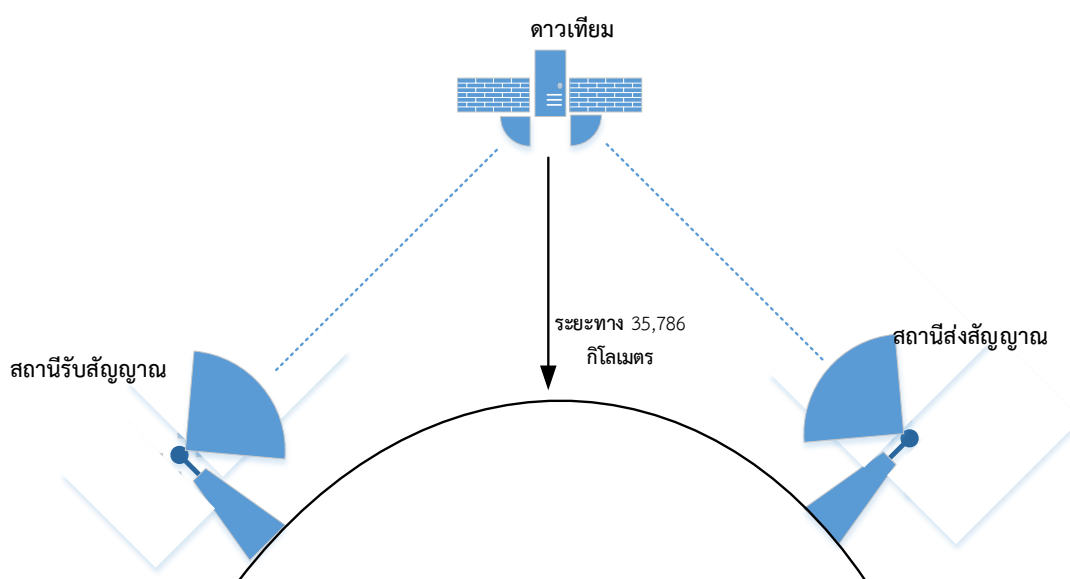
1. ผลต่อเลนส์ตา ทำให้เลนส์ตาระบายความร้อนได้ลดลง อาจทำให้เกิดเป็นต้อกระจกได้
2. ผลต่อหัวใจ ทำให้หัวใจเกิดอาการเต้นเร็วหรือเต้นผิดปกติได้
3. ผลต่อศีรษะ ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ มึนงง หรือเมื่อยลำได้
4. ผลต่อกระดูก ทำให้กระดูกที่กำลังมีการเจริญเติบโตเกิดการบิดผิดรูปร่างได้
5. ผลต่อเชื้ออสุจิ อาจส่งผลให้เชื้ออสุจิผิดปกติ เชื้ออสุจิตายจนกลายเป็นหมันแบบชั่วคราวได้

8.7 การสื่อสารด้วยดาวเทียม

ดาวเทียม (Satellite) เป็นสถานีไมโครเวฟลอยฟ้าที่จะคอยส่งและรับสัญญาณข้อมูลกับสถานีดาวเทียมที่อยู่บนพื้นโลก ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายและทวนสัญญาณข้อมูล โดยที่สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินนั้นจะทำการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยความถี่หนึ่ง (Up Link) ขึ้นไปยังดาวเทียมที่หมุนไปตามการหมุนของโลกซึ่งดาวเทียมนี้ก็จะมิตำแหน่งที่คงที่หากทำการเทียบกับตำแหน่งของสถานีดาวเทียมบนพื้นโลก ซึ่งดาวเทียมจะถูกส่งและปล่อยให้ลอยค้างฟ้าโดยจะอยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 35,786 กิโลเมตร โดยที่เครื่องทวนสัญญาณของดาวเทียม (Transponder) จะทำการรับสัญญาณข้อมูลจากสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินที่จะมีกำลังที่อ่อนลงมากแล้วมาทำการขยายให้มีความแรงเพิ่มขึ้น หลังจาก

นั้นจะทำการทวนสัญญาณและตรวจหาตำแหน่งของสถานีปลายทางบนพื้นโลก 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 แบนด์ โดยมีแบนด์วิดท์ของสัญญาณขาขึ้นอยู่ที่ 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-ขาของสัญญาณและในด้านของราคาก็จะมีราคาที่สูงในการลงทุนส่งผลต่อค่าบริการที่จะสูงตามไปด้วย

8.7.1 ดาวเทียมไทยคม

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

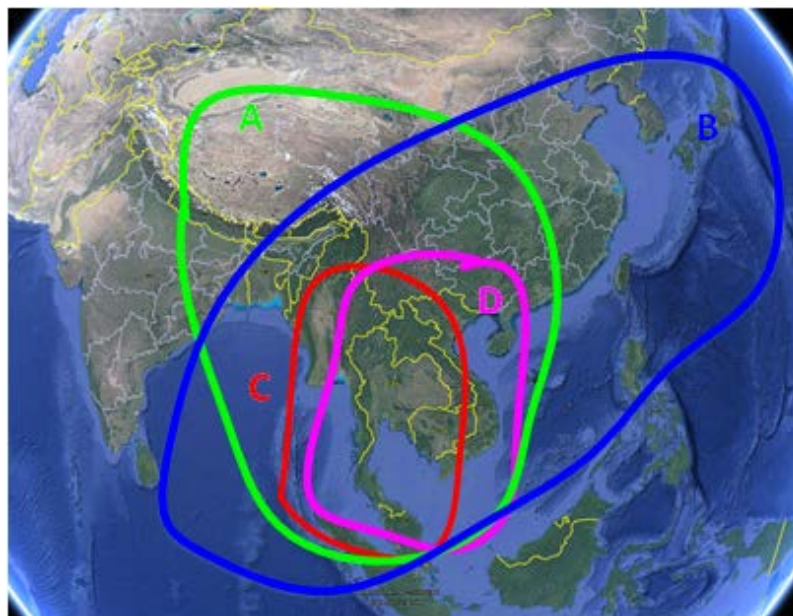
ดาวเทียมไทยคมเป็นดาวเทียมสื่อสารแห่งชาติ โดยมีบริษัทชินวัตรคอมพิวเตอร์ แอนด์ คอมมิวนิเคชั่นส์ จำกัด เป็นผู้ได้รับสัมปทานโครงการดาวเทียมสื่อสารภายในประเทศ ซึ่งจากอดีตจนถึงปัจจุบันดาวเทียมไทยคมนั้นมีการใช้งานไปแล้วทั้งหมดอยู่ 8 ดวง โดยที่ดาวเทียมไทยคม 1, 2, 3 และ 5 ถูกปลดระวางแล้ว ส่วนดาวเทียมไทยคม 4,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

ดาวเทียมไทยคม 1 ซึ่งเป็นดาวเทียมดวงแรกของประเทศไทย โดยเป็นดาวเทียมรุ่น HS-376 ที่สร้างขึ้นมาโดยบริษัท Hughes 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 สามารถทำการถ่ายทอด

สัญญาณโทรทัศน์ตรง (Direct-to-Home: DTH) ไปยังบ้านเรือนของผู้ใช้บริการภายในประเทศไทย และประเทศเพื่อนบ้านข้างเคียง โดยถูกส่งเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 16 เมษายน พ.ศ. 2540 เพื่อทดแทน การให้บริการจากดาวเทียมไทยคม 1A และได้ทำการปลดระวาง เมื่อปี พ.ศ. 2549 จากสาเหตุของ ปัญหาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอ รวมมีอายุการใช้งานประมาณ 9 ปี



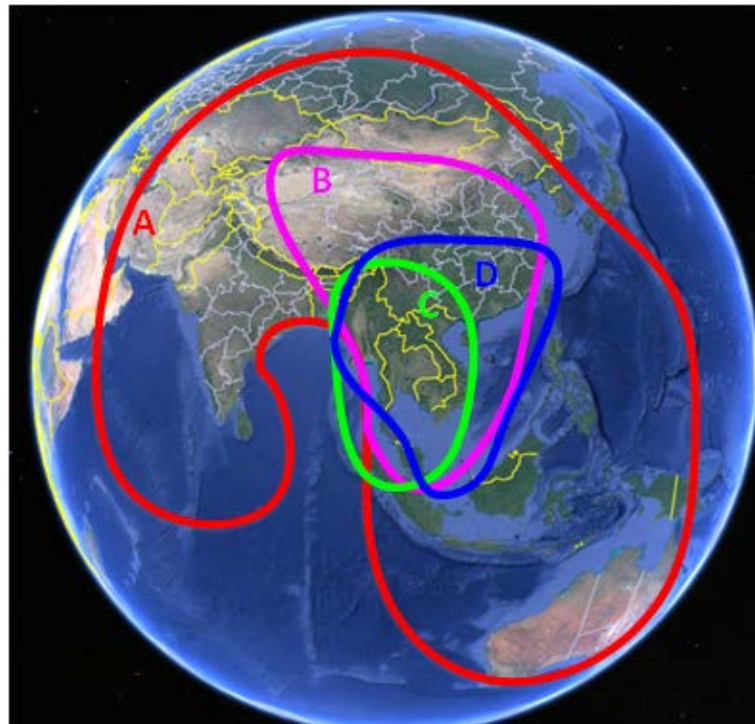
รูปที่ 8.20 พื้นที่ให้บริการของดาวเทียมไทยคม 3

ดาวเทียมไทยคม 4 หรือดาวเทียมไอพีสตาร์ จะเป็นดาวเทียมรุ่น LS-1300 SX ผลิต ออกมาโดยบริษัท Space System/Loral พาโล อัลโต ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยจะเป็นดาวเทียม ดวงแรกที่มีการออกแบบให้สามารถบริการเกี่ยวกับอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงที่ระดับความเร็ว 45 Gbps ได้ ซึ่งเป็นดาวเทียมขนาดใหญ่และมีน้ำหนักประมาณ 6,805 กิโลกรัม ที่เป็นดาวเทียมสื่อสารเชิง พาณิश्यที่มีความทันสมัยเป็นอย่างมาก ส่งเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2548 จนถึง ปัจจุบัน ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการทั่วภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก

ดาวเทียมไทยคม 5 จะเป็นดาวเทียมรุ่น Aerospatiale SpaceBus 3000A ที่ผลิตขึ้น โดยบริษัท Alcatel Alenia Space ประเทศฝรั่งเศส มีน้ำหนักประมาณ 2,800 กิโลกรัม ซึ่งนำมาใช้ในการ ถ่ายทอดสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมตรงไปยังบ้านเรือนของผู้ใช้บริการ (DTH6486) และการ ถ่ายทอดสัญญาณแบบโทรทัศน์ดิจิทัลความละเอียดสูง (High Definition TV: HDTV) ซึ่งเป็นการ ให้บริการที่ครอบคลุมพื้นที่ได้ถึง 4 ทวีป ทำการส่งเข้าสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 เพื่อเป็นการทดแทนดาวเทียมไทยคม 3 โดยดาวเทียมไทยคม 5 ได้ปลดระวางไปแล้วเมื่อ 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 ส่งเข้าสู่โคจรด้วยจรวดฟอลคอน 9 ของบริษัท สเปซ เอ็กซ์พลอเรชั่น เทคโนโลยี (SPACEX) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยดาวเทียมมีน้ำหนักประมาณ 3,700 กิโลกรัม โดยออกแบบให้มีอายุการใช้งานประมาณ 15 ปี โดยจะมีการให้บริการในย่านความถี่ C-Band จำนวน 14 ทรานสปอนเดอร์ ซึ่งสามารถให้บริการพื้นที่ครอบคลุมภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ไชนอินโดจีน รวมถึงทวีปออสเตรเลีย และประเทศนิวซีแลนด์ได้ภายในปีเดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้

ผู้ให้บริการสามารถติดต่อหากันแบบข้ามภูมิภาคได้ โดยทำการจัดส่งเข้าสู่วงโคจรที่บริเวณพิกัด 120 องศาตะวันออก เมื่อปี พ.ศ. 2557

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

8.7.2 ดาวเทียม THEOS-2

ดาวเทียม THEOS-2 เป็นดาวเทียมสำรวจโลกดวงแรกของประเทศไทยในระดับ Industrial Grade จากผลงานการวิจัยและพัฒนาของวิศวกรชาวไทย 20 คน ที่ได้ทำการพัฒนาร่วมกับองค์กรจากต่างประเทศที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีอวกาศ โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) โดยมีแผนที่จะส่งดาวเทียมเข้าสู่วงโคจรในปี พ.ศ. 2566

8.8 สรุป

ระบบเซลลูลาร์ เป็นการติดต่อสื่อสารกันด้วยเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาตามยุคสมัย โดยจากอดีตที่มุ่งเน้นให้สามารถพูดคุยกันได้เพียงอย่างเดียวก็ค่อย ๆ พัฒนาขึ้น โดยการเพิ่มการใช้งานทางด้านการส่งข้อความ ส่งรูปภาพ มาเป็นส่งมัลติมีเดีย ส่งวิดีโอสั้น จนถึงการพูดคุยแบบเห็นภาพแบบเรียลไทม์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพัฒนาที่เกิดขึ้นนี้เพื่อตอบสนองและรองรับต่อการใช้งานในชีวิตประจำวันของมนุษย์ให้เกิดความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านระบบไมโครเวฟเข้ามาช่วยขยายระยะทางให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการในเขตธุรกิจและชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือหากอยู่นอกเหนือจากข้อจำกัดด้านพื้นที่ก็ยังสามารถใช้เทคโนโลยีทางด้านระบบดาวเทียมเข้ามาช่วยในการติดต่อสื่อสารกันได้ ซึ่งระบบดาวเทียมนั้นยังสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างกว้างขวางทั่วทุกมุมโลก ซึ่งก็เป็นการขยายพื้นที่ให้บริการต่าง ๆ ได้อย่างทั่วถึง หากแต่ก็ต้องแลกมาด้วยค่าบริการที่อาจจะสูงมากขึ้น เพื่อให้ตอบรับกับการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลาย โดยจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 8

- ข้อ 1 จงบอกถึงลักษณะการส่งข้อมูลในระบบสื่อสาร
- ข้อ 2 จงบอกถึงวิวัฒนาการในระบบเซลล์ลาร์
- ข้อ 3 จงอธิบายเกี่ยวกับสถานีฐานในระบบเซลล์ลาร์
- ข้อ 4 จงบอกถึงลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของระบบเซลล์ลาร์
- 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 สติพิงศ์, 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 สันติเพ็ชร, 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.

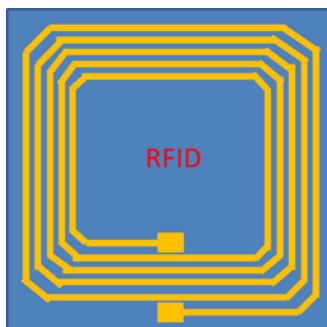
บทที่ 9

เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

จากพื้นฐานการสื่อสารที่ได้เรียนรู้ในบทเรียนก่อนหน้านี้ ทำให้สามารถเข้าใจถึงพัฒนาการของเทคโนโลยีการสื่อสารจากอดีตจนถึงปัจจุบันได้ และการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีนี้ยังส่งผลไปยังอนาคตที่จะทำให้เกิดความสะดวกรสสบายต่อชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้น การนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ก้าวหน้าทันสมัยมาใช้ในการปัจจุบันทำให้เกิดการพัฒนาในทุก 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 ชิพ ที่เก็บข้อมูล เช่น หมายเลข ID และ เสาอากาศ 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. แท็กส่งข้อมูลกลับไปเครื่องอ่าน
4. ข้อมูลจะถูกส่งไปยังระบบจัดการข้อมูลเพื่อประมวลผล

9.1.3 ประโยชน์ของ RFID สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

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

ข้อดีของ RFID

ไม่ต้องการสัมผัสโดยตรงเหมือนกับบาร์โค้ด
อ่านข้อมูลได้รวดเร็วและแม่นยำ
สามารถอ่านข้อมูลได้ในระยะไกล (ขึ้นอยู่กับประเภทของแท็ก)

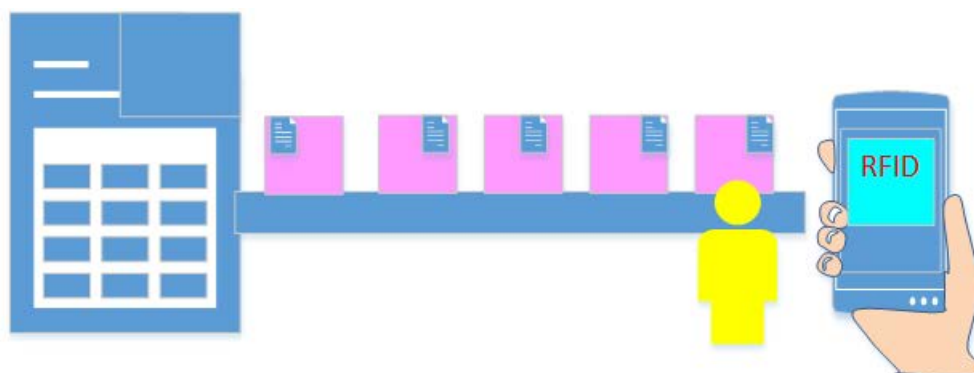
ข้อเสียของ RFID

ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบสูง
อาจมีปัญหาด้านความปลอดภัยข้อมูล (หากไม่มีการเข้ารหัส)
การรบกวนสัญญาณจากอุปกรณ์อื่น ๆ หรือโลหะ

เทคโนโลยี RFID เป็นส่วนหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญใน IoT ซึ่งช่วยในการเชื่อมต่ออุปกรณ์และการจัดการข้อมูลในโลกดิจิทัลยุคปัจจุบัน

9.2 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีกับชีวิตประจำวัน

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



รูปที่ 9.2 ระบบจัดการคลังสินค้า

9.2.1 การจัดการสินค้าและการซื้อปลีก

ระบบจัดการคลังสินค้าหรือร้านค้าปลีก เช่น ซูเปอร์มาร์เก็ต ใช้ RFID เพื่อติดตามสินค้าในสต็อกแบบเรียลไทม์ ทำให้เติมสินค้าได้ทันเวลาและลดปัญหาสินค้าหมดหรือสูญหาย แสดงได้ดังรูปที่ 9.2

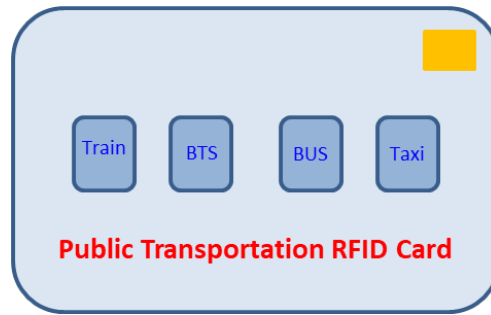
ระบบชำระเงินแบบอัตโนมัติโดย RFID ในห้างหรือร้านค้า ช่วยให้ลูกค้าสามารถสแกนสินค้าและจ่ายเงินได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านแคชเชียร์ (เช่น ระบบ Grab & Go) แสดงได้ดังรูปที่ 9.3



รูปที่ 9.3 ระบบชำระเงินแบบอัตโนมัติ

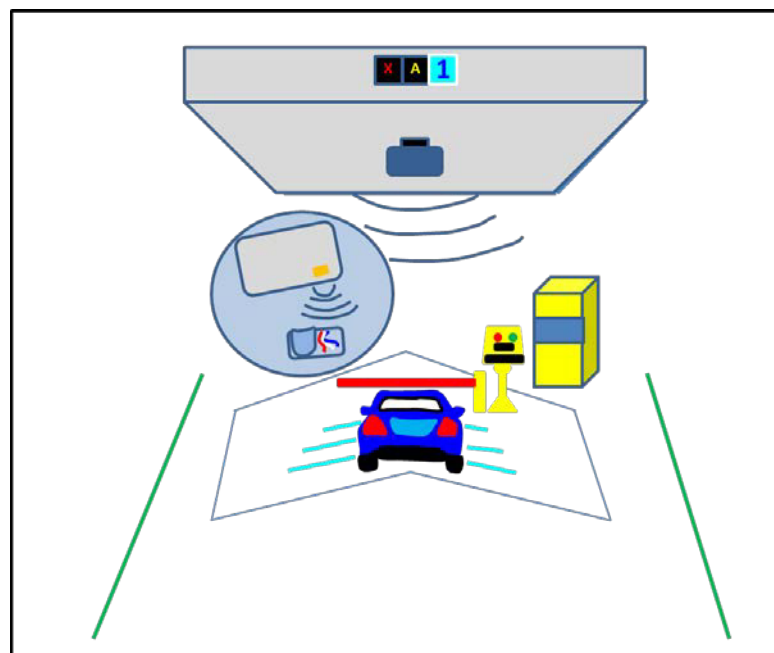
9.2.2 ระบบขนส่งและการเดินทาง

บัตรโดยสารอิเล็กทรอนิกส์ เช่น บัตรรถไฟฟ้า MRT, BTS และบัตรโดยสารรถประจำทาง ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้า-ออกสถานีหรือขึ้นรถได้สะดวกโดยไม่ต้องซื้อบัตรใหม่ทุกครั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 9.4



รูปที่ 9.4 บัตรโดยสารอิเล็กทรอนิกส์

ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ เช่น บัตร Easy Pass หรือ M-Pass ใช้ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางบนทางด่วนโดยไม่ต้องหยุดรถ แสดงได้ดังรูปที่ 9.5



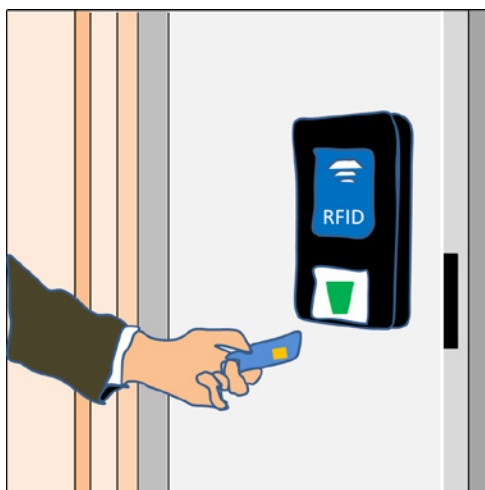
รูปที่ 9.5 ระบบเก็บค่าผ่านทางอัตโนมัติ

9.2.3 ความปลอดภัยและการตรวจสอบสิทธิ์

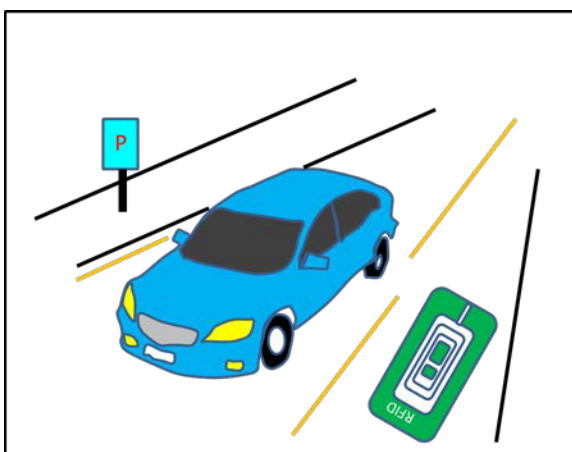
บัตรเข้า-ออกอาคารโดย บัตร RFID ใช้สำหรับเปิดประตูในสำนักงานหรือที่พัก ทำให้สามารถควบคุมการเข้าถึงพื้นที่เฉพาะได้ แสดงได้ดังรูปที่ 9.6

กุญแจรถแบบสมาร์ท (Smart Key) โดยกุญแจที่ใช้ RFID ในการปลดล็อกและสตาร์ทรถโดยไม่ต้องเสียบกุญแจ แสดงได้ดังรูปที่ 9.7

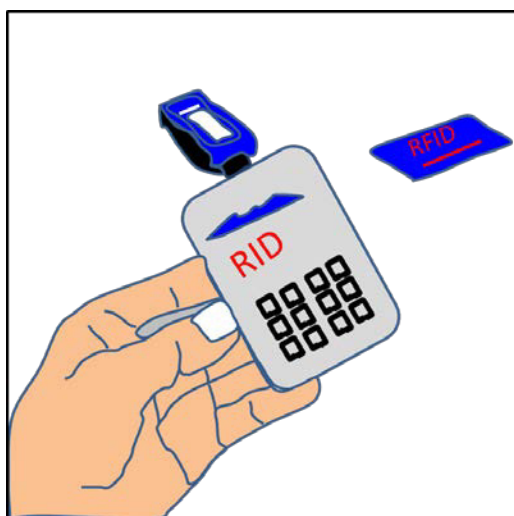
การยืนยันตัวตน โดยใช้ในบัตรประชาชน บัตรนักเรียน/นักศึกษา หรือบัตรพนักงาน แสดงได้ดังรูปที่ 9.8



รูปที่ 9.6 บัตรเข้า-ออกอาคาร



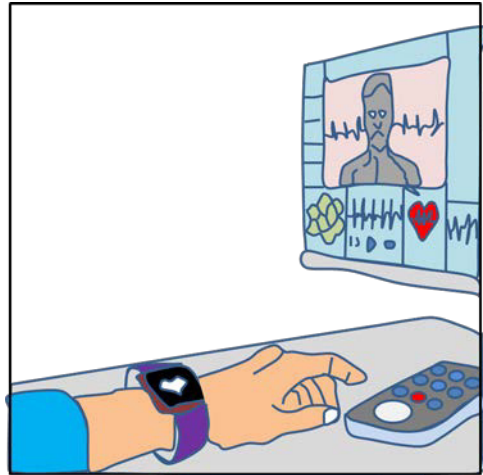
รูปที่ 9.7 กุญแจรถแบบสมาร์ท (Smart Key)



รูปที่ 9.8 การยืนยันตัวตนโดยใช้บัตรพนักงาน

9.2.4 การดูแลสุขภาพ

ติดตามข้อมูลผู้ป่วยโดย RFID ใช้ในโรงพยาบาลเพื่อติดตามข้อมูลคนไข้ เช่น ประวัติการรักษา การใช้ยา หรือการติดตามผู้ป่วยในพื้นที่ต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 9.9



รูปที่ 9.9 การติดตามข้อมูลผู้ป่วยด้วย RFID

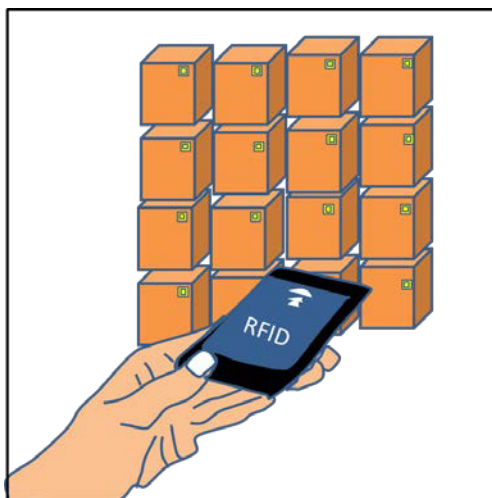
อุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยติดแท็ก RFID เพื่อระบุตำแหน่งและสถานะของอุปกรณ์ในโรงพยาบาล แสดงได้ดังรูปที่ 9.10



รูปที่ 9.10 การติดแท็ก RFID กับอุปกรณ์ทางการแพทย์

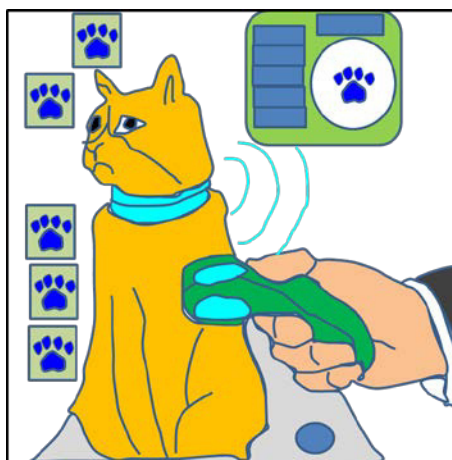
9.2.5 การติดตามสินค้าและพัสดุ

การขนส่งสินค้า โดยบริษัทขนส่ง เช่น DHL หรือ FedEx ใช้ RFID เพื่อติดตามตำแหน่งพัสดุแบบเรียลไทม์ และอัปเดตสถานะการจัดส่งให้ลูกค้า แสดงได้ดังรูปที่ 9.11



รูปที่ 9.11 ติดตามตำแหน่งพัสดุแบบเรียลไทม์

การระบุข้อมูลสัตว์เลี้ยง โดย RFID ใช้ไมโครชิปที่ฝังในสัตว์เลี้ยงเพื่อติดตามข้อมูล เช่น ชื่อเจ้าของและที่อยู่ในกรณีที่สัตว์เลี้ยงสูญหาย แสดงได้ดังรูปที่ 9.12



รูปที่ 9.12 การระบุข้อมูลสัตว์เลี้ยงด้วย RFID

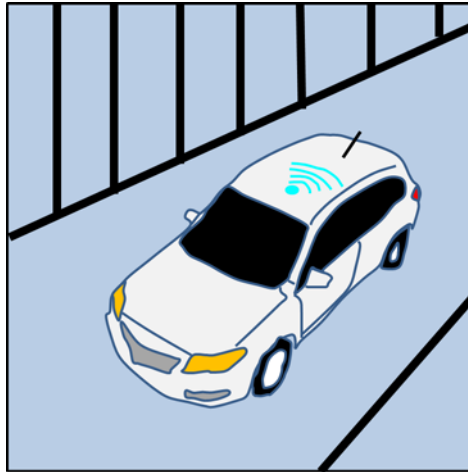
9.2.6 ความบันเทิงและการจัดการกิจกรรม

งานอีเวนต์หรือคอนเสิร์ต โดยบัตรเข้าชม RFID ช่วยให้สามารถเช็คอินได้อย่างรวดเร็ว และยังสามารถใช้เป็นระบบชำระเงินในงานได้

สวนสนุก เช่น บัตรผ่านที่ติดแท็ก RFID ใช้เพื่อเข้าถึงเครื่องเล่นต่าง ๆ และบันทึกประสบการณ์

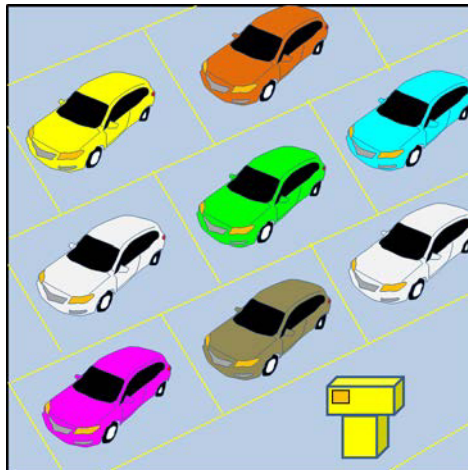
9.2.7 การจัดการยานพาหนะ

ระบบติดตามรถ โดยใช้ RFID เพื่อตรวจสอบประวัติการใช้งานรถยนต์ เช่น การตรวจสอบสภาพหรือการชำระภาษี แสดงได้ดังรูปที่ 9.13



รูปที่ 9.13 ระบบติดตามรถ

การบริหารที่จอดรถ โดยใช้ในการเปิด-ปิดประตูที่จอดรถอัตโนมัติสำหรับลูกค้าที่มีบัตร RFID แสดงได้ดังรูปที่ 9.14



รูปที่ 9.14 การบริหารที่จอดรถ

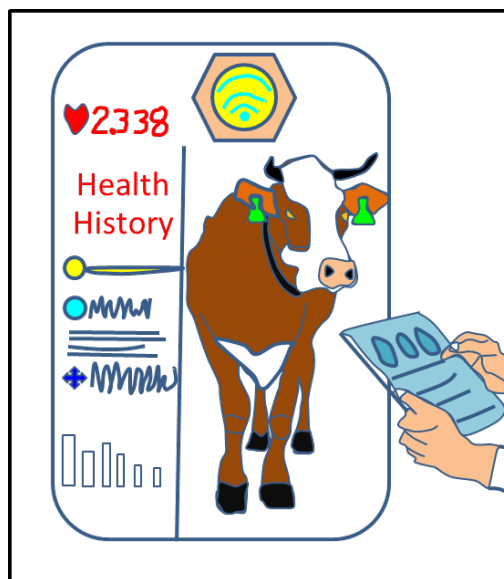
9.2.8 เกษตรกรรมและการผลิต

การติดตามสัตว์ โดยใช้ RFID ใช้ระบุสัตว์ในฟาร์ม เช่น การตรวจสอบประวัติสุขภาพ การให้อาหาร และการติดตามด้านอื่น ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 9.15

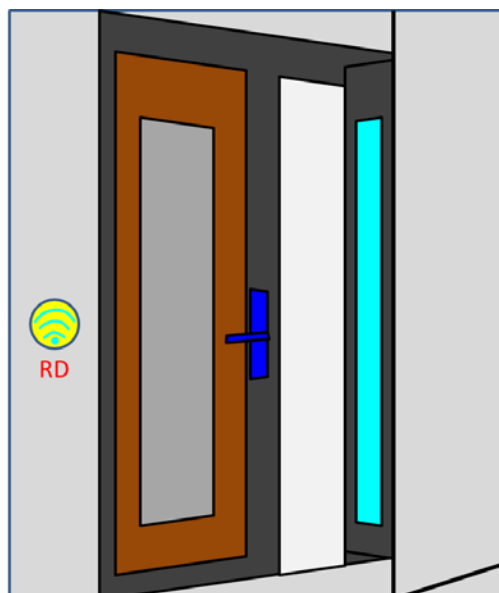
การจัดการห่วงโซ่อุปทาน โดย RFID ใช้เพื่อติดตามสินค้าเกษตร ตั้งแต่การผลิตจนถึงผู้บริโภค เพื่อรับประกันความสดใหม่และความปลอดภัยของอาหาร

9.2.9 บ้านอัจฉริยะ (Smart Home)

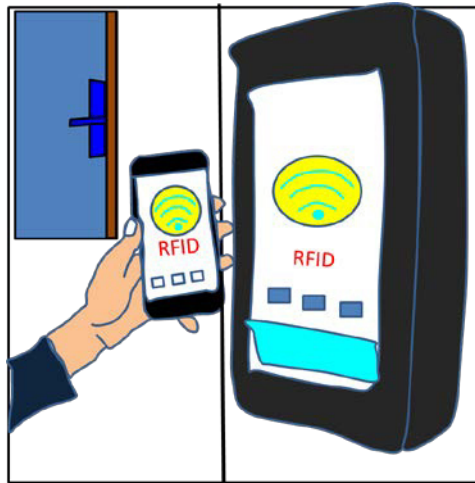
ประตูอัจฉริยะ โดยใช้ RFID ในการปลดล็อกประตูบ้าน แสดงได้ดังรูปที่ 9.16



รูปที่ 9.15 การติดตามตรวจสอบประวัติสุขภาพสัตว์



รูปที่ 9.16 ประตูอัจฉริยะ



รูปที่ 9.17 การควบคุมอุปกรณ์

การควบคุมอุปกรณ์ เช่น การตั้งค่าให้ระบบบ้านอัตโนมัติทำงานเมื่อคุณกลับถึงบ้าน โดยใช้แท็ก RFID ในกุญแจหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ แสดงได้ดังรูปที่ 9.17

ดังนั้นเทคโนโลยี RFID ช่วยเพิ่มความสะดวกสบายและประสิทธิภาพในชีวิตประจำวัน ทั้งในด้านการเดินทาง การชำระเงิน การจัดการสินค้า และความปลอดภัย อีกทั้งยังช่วยลดเวลาการทำงานในหลายกระบวนการ ทำให้เป็นเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในยุคปัจจุบัน

9.3 การพัฒนางานทางด้านอาร์เอฟไอดี

RFID เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกวันนี้ โดยสามารถนำมาสร้างความสะดวกสบายให้กับชีวิตประจำวันและสร้างความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินต่าง 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 ไปใช้ร่วมกับสิ่งของที่สามารถเคลื่อนที่ได้ นั้น จะสามารถเห็นได้จากตัวอย่างที่มีการนำไปใช้งานกับยานพาหนะในหลากหลายรูปแบบ เช่น การตรวจสอบการเข้าออกของรถในพื้นที่ส่วนบุคคลและสถานที่สำคัญ การตรวจสอบความเร็วของรถตามถนนหลวง การตรวจสอบเส้นทางการเดินทางของรถขนส่ง เป็นต้น จึงมีนักวิจัยและผู้สนใจทำการพัฒนาสายอากาศในลักษณะนี้อย่างต่อเนื่อง 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 นอกจากนี้ยังมีเสาอากาศ RFID ขนาดเล็กที่ถูกออกแบบโดยใช้แผ่นทองแดงบางที่ทำการเซาะร่องรูปสี่เหลี่ยมแล้ววางติดลงบนวัสดุฐานรองชนิดโพลีเอทิลีน 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 ที่ถูกสร้างขึ้นจากหมึกกราฟีนที่ทำการพิมพ์ลงบนวัสดุฐานรองประเภทกระดาษแข็ง ซึ่งทำให้ได้แบนด์วิดท์ใช้งานช่วง 800-965 MHz และมีระยะการอ่านประมาณ 5 เมตร สายอากาศแบบไดโพลที่เป็นเส้นลายโค้งงอถูกสร้างขึ้นจากหมึกกราฟีนที่ถูกพิมพ์ลงบนวัสดุฐานรองประเภทกระดาษ ทำให้มีช่วงแบนด์วิดท์ใช้งานตั้งแต่ 984-1,052 MHz โดยให้ประสิทธิภาพของการแผ่กระจายสัญญาณได้ดี และก็ยังพบว่ามีสายอากาศที่สร้างจากหมึกตัวนำเงิน โดยการพิมพ์เป็นลวดลายเส้นโค้งงอด้วยเครื่องพิมพ์เฉพาะทางที่มีราคาแพงลงบนวัสดุฐานรองประเภท PET สำหรับนำไปใช้เป็นแท็ก RFID ในย่านความถี่ 750-1,050 MHz และก็ยังมีการสร้างสายอากาศแท็ก RFID ที่พิมพ์ด้วยหมึกตัวนำเงิน โดยการพิมพ์แผ่นสายอากาศด้วยเครื่องพิมพ์แบบอิงค์เจ็ททั่วไปบนวัสดุฐานรองประเภท PET เพื่อรองรับการใช้งานในช่วงความถี่ 902-921 MHz ซึ่งออกแบบมาให้งานร่วมกับการตรวจจับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในพื้นที่ลานจอดรถ เพื่อหาตำแหน่งว่าง ด้วยระบบ IoT เป็นต้น

จากตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นภาพของการพัฒนางานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี RFID ที่มุ่งเน้นการตรวจจับ ติดตามและตรวจสอบได้อย่างแม่นยำและกว้างขวางมากขึ้น ซึ่งเป็นการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ทันกับเทคโนโลยีของโลกสมัยใหม่

9.4 สรุป

เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายสมัยใหม่อีกชนิดหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์ทั้งในด้านการติดต่อสื่อสารระยะใกล้และการตรวจติดตามสิ่งของต่าง ๆ นั่นก็คือเทคโนโลยี RFID ซึ่งมีการพัฒนาขึ้นมาตามเทคโนโลยีด้านอื่น ๆ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านอุตสาหกรรม การแพทย์ การเกษตร การขนส่ง สุขภาพ ยานยนต์อัจฉริยะต่าง ๆ ตลอดจนด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินได้อย่างอุ่นใจ การพัฒนานี้เป็นไปในมุมกว้างในทุกแขนงทุกสาขาที่เกี่ยวข้องทำให้มีนักวิจัยและนักนวัตกรรมร่วมกันคิดค้นเทคโนโลยีและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทันสมัยตามมาเป็นอย่างมากเพื่อตอบสนองต่อการขยายตัวทางด้านเทคโนโลยีไร้สายของโลกสมัยใหม่ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 9

- ข้อ 1 จงบอกนิยามของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี
- ข้อ 2 จงบอกถึงองค์ประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี
- ข้อ 3 จงบอกหลักการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดี
- ข้อ 4 จงบอกถึงประโยชน์ของระบบอาร์เอฟไอดี
- ข้อ 5 จงระบุถึงข้อดีข้อเสียของระบบอาร์เอฟไอดี
- ข้อ 6 จงอธิบายถึงการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้กับระบบขนส่งและการเดินทาง
- ข้อ 7 จงอธิบายถึงการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้ในการดูแลสุขภาพ
- ข้อ 8 จงอธิบายถึงการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้ในการติดตามสินค้าและพัสดุ
- ข้อ 9 จงอธิบายถึงการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้ในการจัดการยานพาหนะ
- 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. Minciarone, 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. Mazzearella, "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.

บทที่ 10

เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่

จากการนำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ก้าวหน้าและทันสมัยมาใช้ในการปัจจุบันทำให้เกิดการพัฒนาในหลาย ๆ ด้าน ทำให้สามารถเข้าใจถึงการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีที่ส่งผลไปยังอนาคตซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกสบายต่อชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้น ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ที่สอดคล้องกับวิถีชีวิตได้อย่างกลมกลืน

10.1 เทคโนโลยีโครงข่ายแบบไร้สาย

10.1.1 ประวัติความเป็นมา

ไวไฟ (Wireless Fidelity: WiFi) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีโครงข่ายแบบไร้สายที่อ้างอิงการใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งจะนำสัญญาณวิทยุ (Radio Frequencies: RF) มาใช้เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล 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 เนื่องจากเราเตอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้งานกันอยู่นั้นจะมีฟังก์ชันเหล่านี้รวมอยู่ด้วยแล้ว เช่น การจัดสรร DHCP หรือการทำ Private Network ผ่าน NAT อีกทั้งยังทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง Distribution System (DS) หรือ LAN กับตัว Wireless Client เช่น Laptop หรือสมาร์ทโฟน เป็นต้น 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 ซึ่งในช่วงเริ่มแรกนั้นจะยังมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ และยังพบปัญหาทางด้านความปลอดภัยของข้อมูล 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 แต่จะมีระยะการใช้งานที่สั้น ๆ และยังมีราคาที่ยังแพงอยู่จึงไม่ได้รับความนิยมมากนัก และสำหรับในประเทศไทยนั้นยังไม่ได้อนุญาตให้นำมาใช้งานเนื่องจากความถี่ช่วงนี้จะสงวนไว้สำหรับการใช้งานของดาวเทียมสื่อสาร แสดงได้ดังตารางที่ 10.1

ตารางที่ 10.1 ข้อมูลมาตรฐาน IEEE 802.11a

ออกใช้งาน พ.ศ.	ย่านความถี่	การรับส่งข้อมูลสูงสุด	ระยะทาง (ภายในอาคาร)
2542	5 GHz	54 Mbps	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 Mbps	40 m

10.1.5 มาตรฐาน IEEE 802.11g

ในปี พ.ศ. 2546 หลังจากนั้นจึงได้พัฒนาเทคโนโลยีโอเอฟดีเอ็ม (OFDM) ให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 54 Mbps กับการใช้งานในย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งจะทำให้ได้ระยะในการให้บริการที่ไกลขึ้น อุปกรณ์ที่นำมาใช้งานยังมีราคาถูก และมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้นได้อีกด้วย แสดงได้ดังตารางที่ 10.3

ตารางที่ 10.3 ข้อมูลมาตรฐาน IEEE 802.11g

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

10.1.6 มาตรฐาน IEEE 802.11n

ต่อมาในปี พ.ศ. 2552 ได้มีการพัฒนาโดยการนำเทคโนโลยีโมโม (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 Mbps	70 m

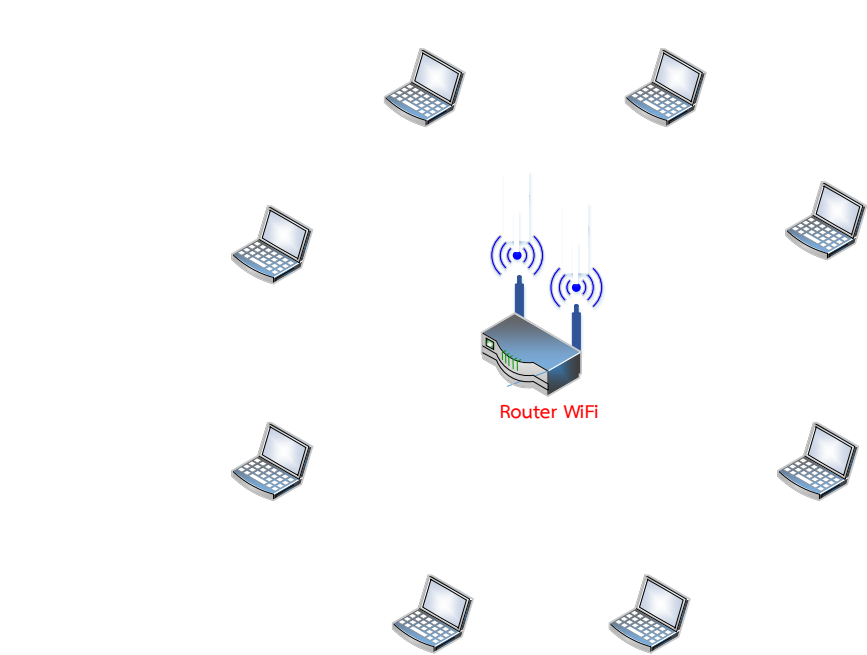
โดยที่เทคโนโลยีของระบบ WiFi มีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่องเพื่อมุ่งเน้นทางด้านการรับส่งข้อมูล (Data Rate) ให้มีขนาดที่สูงมากขึ้นเพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานขนาดใหญ่ในอนาคต ทั้งจากจำนวนของผู้ใช้บริการที่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้อย่างสะดวกง่ายดายและจากพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้บริการที่ต้องการความรวดเร็วและคมชัดของข้อมูลข่าวสารแบบเรียลไทม์มากขึ้น 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

ตารางที่ 10.5 วิวัฒนาการของเทคโนโลยีระบบ WiFi

Generation	IEEE Standard	Frequency	Data Rate (Max)	Year Released
WiFi-1	802.11a	5 GHz	11 Mbps	1999
WiFi-2	802.11b	2.4 GHz	54 Mbps	1999
WiFi-3	802.11g	2.4 GHz	54 Mbps	2003
WiFi-4	802.11n	2.4/5 GHz	600 Mbps	2009
WiFi-5	802.11ac	5 GHz	3.5 Gbps	2014
WiFi-6	802.11ax	2.4/5 GHz	9.6 Gbps	2019
WiFi-6E	802.11ax	6 GHz	9.6 Gbps	2021
WiFi-7	802.11be	2.4/5/6 GHz	46 Gbps	2024

10.2 การเชื่อมต่อใช้งานระบบสายพาย

การเชื่อมต่อใช้งานแบบโครงข่ายของระบบ WiFi จะสามารถทำได้ด้วยการเชื่อมต่อสัญญาณผ่านคลื่นความถี่โดยตรงกับเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 1 เครื่องหรือมากกว่านั้น ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ในแต่ละเครื่องนั้นจะมีความสามารถในการทำงานประจำแต่ละเครื่องได้และสามารถขอใช้บริการจากเครื่องที่อยู่ข้างเคียงได้เพื่อลดความยุ่งยากในการเดินสายเคเบิลในรูปแบบต่าง 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 โดยที่เครื่องผู้ใช้งานลูกข่ายนี้จะส่งข้อความที่ไม่มีการเข้ารหัสเพื่อขอรับการตรวจสอบไปยังเครื่องแม่ข่าย ซึ่งเครื่องแม่ข่ายก็จะทำการตอบกลับด้วยข้อความที่แสดงถึงการตอบรับหรือปฏิเสธกลับไป

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

ทั้งนี้ในการใช้เครือข่ายระบบ WiFi ได้อย่างปลอดภัยนั้นควรจะมีการกำหนดรหัสเฉพาะเพื่อใช้เรียกชื่อเครือข่าย หรือทำการปกปิดเครือข่ายไร้สายนั้นไว้ รวมถึงทำการเข้ารหัสโปรโตคอลในการรับส่งข้อมูล



รูปที่ 10.2 Adapter ไร้สาย

10.2.1 อุปกรณ์และการใช้งานในอดีต

จากยุคเริ่มต้นในการใช้งานระบบเครือข่าย WiFi ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เสริมที่มีพื้นฐานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาาร่วมด้วยเสมอซึ่งจะได้แก่ 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

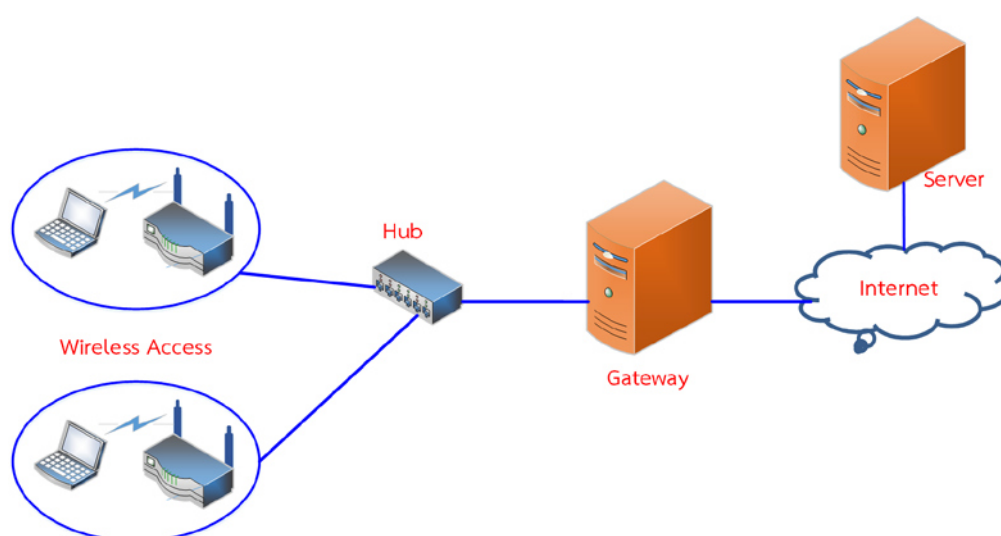
โดยเครื่องแม่ข่ายที่เป็นตัวปล่อยและรับสัญญาณนั้นจะนิยมใช้เป็น Router WiFi หรือ Wireless Access Point ที่สามารถปล่อยสัญญาณออกไปได้ในรัศมีที่กว้างหรือสามารถใช้ภายในอาคารที่มีผนังกำแพงปูนหลาย ๆ ชั้นได้ในระดับปานกลาง แสดงได้ดังรูปที่ 10.3 โดยสามารถจำลองรัศมีการให้บริการกับเครื่องลูกข่ายทั้งในพื้นที่โล่งแจ้งและในพื้นที่ภายในอาคารสำนักงาน 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 ที่มุ่งเน้นทางด้านความเร็วและระยะเวลาการใช้งานที่จะเพิ่มขึ้น 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

จากที่ได้ทราบถึงการพัฒนาการพัฒนาระบบการสื่อสารด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ตั้งแต่ยุคเริ่มแรก จนมาถึงปัจจุบันในยุคที่ 5 (5G) สามารถอธิบายได้เบื้องต้นดังนี้

10.3.1 ในยุค 5G (Fifth Generation) ได้เริ่มนำมาใช้งานในช่วงประมาณปี พ.ศ. 2564 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเซลลูลาร์ไร้สายที่ให้ความเร็วในการอัปโหลดและดาวน์โหลดข้อมูลที่สูงขึ้น มีประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อสัญญาณที่สม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้นและสามารถประยุกต์ใช้อินเตอร์เน็ตเพื่อเข้าถึงแอปพลิเคชัน เครือข่ายสังคม ข้อมูลและเทคโนโลยีต่าง ๆ ได้ เช่น รถยนต์ที่ขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเอง 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 จึงต้องรอมดสัมปทานและมีการเปิดประมูลเมื่อช่วงปลายปี 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

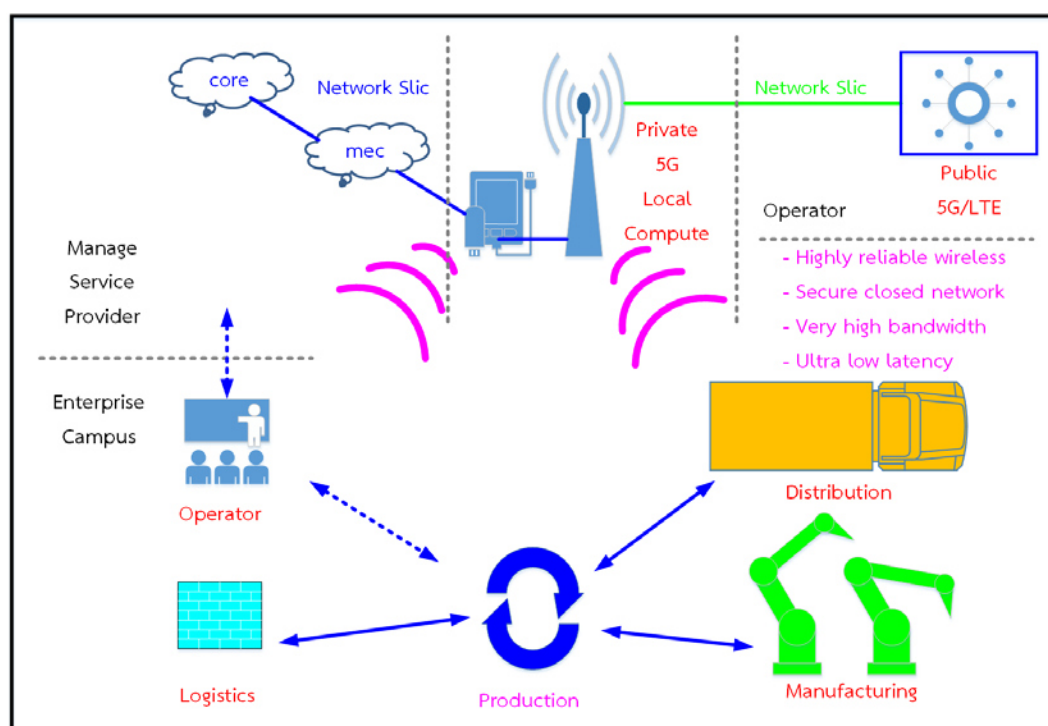
ด้านแบนด์วิดท์

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

10.4 เทคโนโลยีเครือข่ายยุคที่ 5 กับการประยุกต์ใช้งาน

การนำอินเทอร์เน็ตมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีไร้สายสมัยใหม่ต่าง ๆ เช่น อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (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

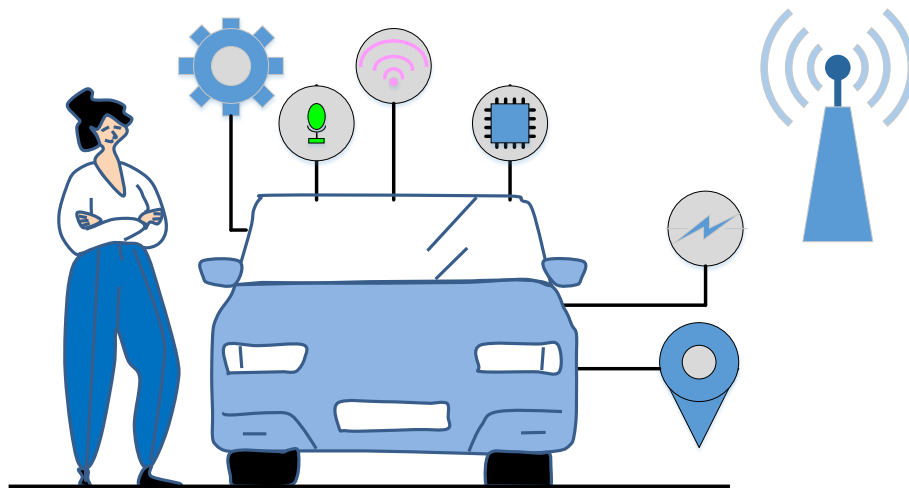


รูปที่ 10.6 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G

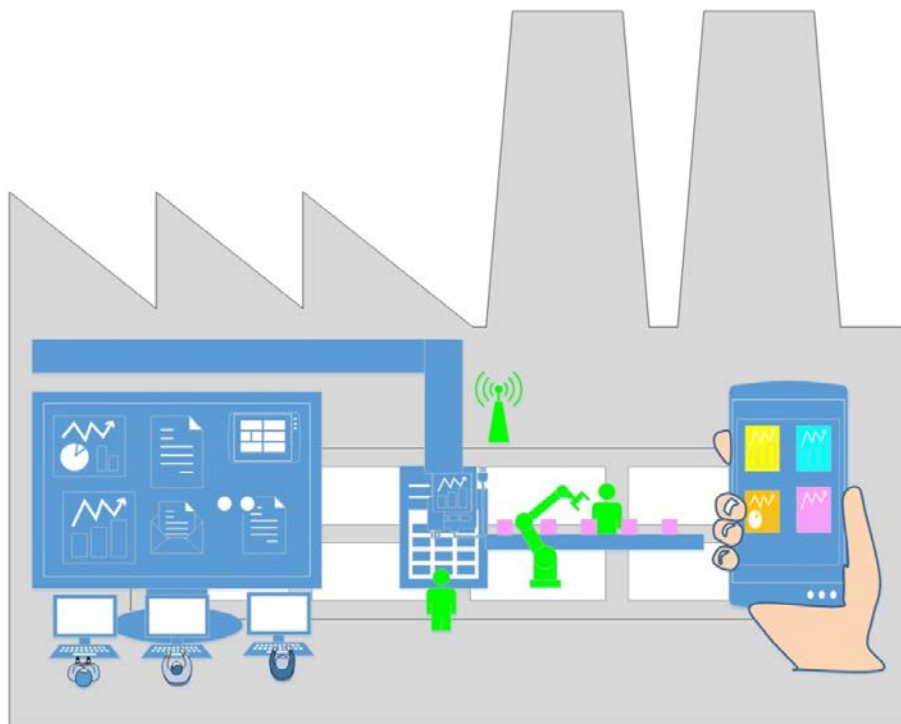
10.4.1 ยานยนต์อัจฉริยะ

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 10.7 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับยานยนต์อัจฉริยะ



รูปที่ 10.8 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับโรงงานอัจฉริยะ

10.4.2 โรงงานอัจฉริยะ

เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G ทำให้โอกาสที่ผู้ผลิตจะนำมาพัฒนาโรงงานอัจฉริยะ ด้วยการเชื่อมต่อสัญญาณ 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 โดยได้ถูกนำมาใช้งาน

อย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการบำรุงรักษาชิ้นส่วนอุปกรณ์ การซ่อมแซมเครื่องมือเครื่องจักร การดำเนินงานต่าง ๆ ในด้านอุตสาหกรรม การนำไปใช้กับงานฝึกอบรมในสถานที่ทำงาน การขายสินค้า และการโปรโมทสินค้า เป็นต้น โดยมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 10.9

10.4.4 การประมวลผล Edge

เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G สามารถเข้ามามีบทบาทพร้อมกับการใช้เทคโนโลยี Edge Computing ได้เป็นอย่างดี ด้วยการที่มีเวลาแฝงที่ต่ำมากสามารถตอบสนองแบบเรียลไทม์ได้อย่างดี ส่งผลให้กระบวนการสร้างแอปพลิเคชันที่มีประสิทธิภาพสูงที่สามารถประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลได้ใกล้กับแหล่งกำเนิดข้อมูลที่ใช้ต้องการได้อย่างอัจฉริยะ

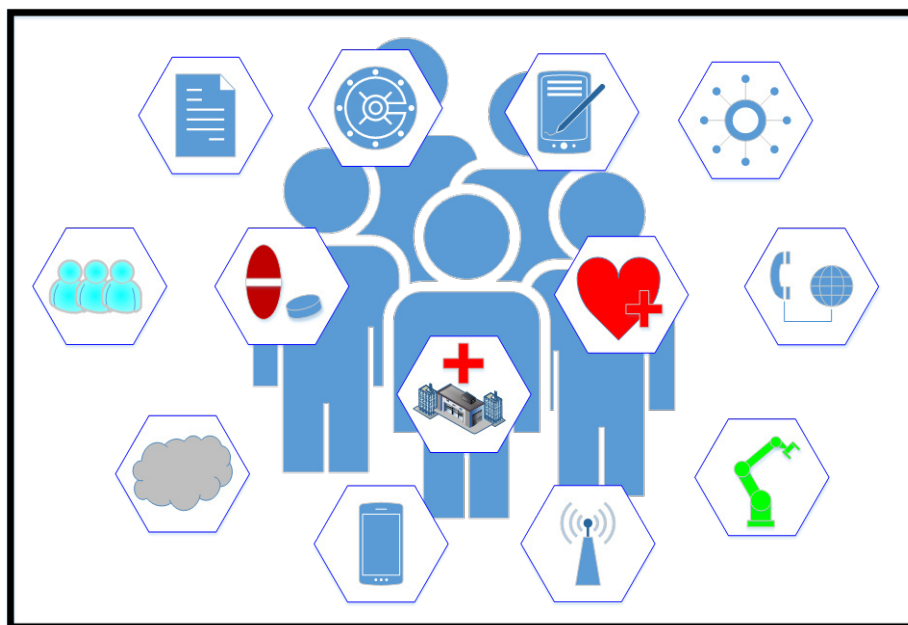


รูปที่ 10.10 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับเมืองอัจฉริยะ

10.4.5 เมืองอัจฉริยะ

เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G ทำให้การพัฒนาเมืองอัจฉริยะ ที่ใช้อุปกรณ์ IoT ร่วมกับเซนเซอร์ต่าง ๆ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการจราจร ผู้ใช้ถนนและสิ่งแวดล้อมพื้นฐาน

แบบเรียลไทม์ เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ การลดมลภาวะ การปรับปรุงบริการสาธารณะ การเลี้ยงและลดปัญหาจราจรต่าง ๆ รวมถึงการวางแผนปรับปรุงคุณภาพอากาศ เป็นต้น โดยมีตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 10.10



รูปที่ 10.11 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับการดูแลสุขภาพ

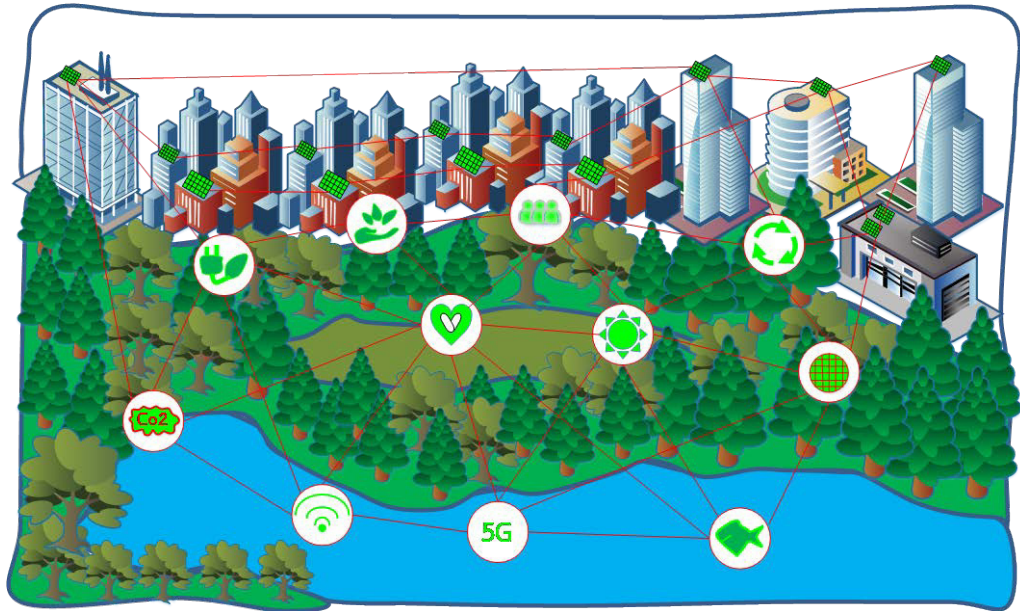
10.4.6 การดูแลสุขภาพ

เทคโนโลยีการสื่อสารในยุค 5G สามารถนำมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีด้านการดูแลสุขภาพได้อย่างมหัศจรรย์ 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 สรุป

การพัฒนาด้านเทคโนโลยีและอุปกรณ์ในโลกยุคอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างก้าวกระโดด ส่งผลให้เทคโนโลยีทางการสื่อสารไร้สายถูกพัฒนาอย่างรวดเร็วตามไปด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับการตอบสนองต่อความต้องการทางการสื่อสารข้อมูลที่รวดเร็วและทั่วถึง เทคโนโลยีด้าน WiFi และ 5G เป็นที่กล่าวถึงและใช้งานกันอย่างกว้างขวาง โดยแทรกซึมเข้าไปอยู่ในวิถีชีวิตประจำวันของมนุษย์ จนแยกกันไม่ออก ตั้งแต่เด็กเล็กไปจนถึงคนชรา ทุกคนมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านสมาร์ทโฟนได้ทุกที่ทุกเวลาอย่างไม่มีข้อจำกัดทางด้านสัญญาณภาพและเสียง โดยผ่านระบบ WiFi และระบบ 5G ที่มีให้บริการอย่างครบครัน ซึ่งเทคโนโลยีทางการสื่อสารไร้สายสมัยใหม่ทั้ง 2 รูปแบบนี้ยังคงถูกพัฒนาไปอีกร้อยอย่างต่อเนื่องทั้งในปัจจุบันและอนาคต

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 10

- ข้อ 1 จงบอกถึงประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีโครงข่ายแบบไร้สาย
- ข้อ 2 จงบอกถึงมาตรฐานโครงข่ายแบบไร้สาย
- ข้อ 3 จงบอกหลักการเชื่อมต่อใช้งานระบบวายฟาย
- ข้อ 4 จงบอกถึงอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบวายฟาย
- ข้อ 5 จงบอกลักษณะโครงสร้างของ WiFi Public Hotspot
- ข้อ 6 จงบอกถึงการพัฒนาการสื่อสารแบบไร้สายตั้งแต่ยุคเริ่มแรกถึงปัจจุบัน
- ข้อ 7 จงอธิบายถึงการเปรียบเทียบเทคโนโลยียุค 5G กับ 4G/3G
- ข้อ 8 จงอธิบายถึงการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับยานยนต์อัจฉริยะ
- ข้อ 9 จงอธิบายถึงการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับโรงงานอัจฉริยะ
- ข้อ 10 จงอธิบายถึงการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายยุค 5G กับเมืองอัจฉริยะ

บรรณานุกรม

1. วิรุณศักดิ์ สันติเพ็ชร, การสื่อสารไร้สายร่วมกับผลป้อนกลับที่จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2563.
2. สุขสันต์ เรือนแก้ว, เทคโนโลยีไร้สายทำงานอย่างไร, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548.
3. ศิริวิชญ์ กิตติวิชญกุล ญัฐณรงค์ นิลจันทร์ จตุพร ดั่งทอง อนุสรณ์ วงษ์ชา และ กฤติยาภรณ์ 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. ศรีญ ดวงสุวรรณ, เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2565.
8. ทีมงานสมาร์ทเลิร์นนิ่ง, สู่โลกไฟฟ้าสื่อสาร, พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ สมาร์ทเลิร์นนิ่ง, 2555.

ดัชนี

ก

กราไฟต์, 82
 กล้องกระจายสายใยแก้วนำแสง, 136
 กล้องอินฟราเรด, 53
 การเข้าหัว LAN, 149
 การขดเคยแสงด้านหลัง, 56
 การเชื่อมต่อแบบหลอมรวม, 126
 การดูดซับคลื่นความถี่, 82
 การติดต่อสื่อสาร, 31
 การผสมคลื่นทางขนาด, 23
 การผสมคลื่นทางความถี่, 23
 การผสมคลื่นทางเฟส, 27
 การแพร่กระจายของคลื่น, 68
 การแพร่กระจายคลื่น, 12
 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ, 12
 การแพร่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า, 31
 การส่งคลื่นความถี่, 83
 การสื่อสารด้วยดาวเทียม, 194
 การสื่อสารไร้สาย, 83
 การสื่อสารแห่งประเทศไทย, 171
 การสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ, 76
 กาวกราไฟต์, 92

ค

คลื่นความถี่, 8
 คลื่นความถี่วิทยุ, 10
 คลื่นตรง, 15
 คลื่นพาหะ, 31
 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, 11

คลื่นไมโครเวฟ, 190
 คลื่นเสียง, 9
 ความเข้มในการแพร่กระจายคลื่น, 74
 ความถี่เรโซแนนซ์, 99
 ความถี่วิทยุ, 10, 28
 ความถี่เสียง, 9
 ความยาวคลื่น, 11, 133
 ความละเอียดของภาพ, 56
 ความไวของซีดเตอร์, 57
 ค่าการลดทอนในสาย, 119, 134
 ค่าการสูญเสียในสาย, 134
 ค่าคงตัวไดอิเล็กตริก, 95
 ค่าความยาวคลื่น, 95
 ค่าพารามิเตอร์, 94
 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ, 104
 ค่าอิมพีแดนซ์, 5
 คุณสมบัติของสายอากาศ, 81
 คุณสมบัติทางไฟฟ้า, 148
 เครือข่าย, 154
 เครือข่ายคอมพิวเตอร์, 53
 เครื่องบันทึกภาพ, 58
 เครื่องรับโทรทัศน์, 30
 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย, 104

จ

จอประสาทตา, 47

ข

ชั้นบรรยากาศ, 11

ด	พ
ดาวเทียมไทยคม, 196	โพลาริแซชัน, 70
ไดเรคทีวีดี, 75	
ต	ภ
ตัวลดทอนสัญญาณ, 137	ภาคจูนเนอร์, 49
ตู้เก็บสาย, 124	
ถ	ย
ถาดเก็บสาย, 136	ย่านความถี่, 225
ท	ร
เทคโนโลยี OFDM, 220	ระบบ Cloud Computing, 174
เทคโนโลยีการสื่อสาร, 25	ระบบเคเบิลโทรทัศน์, 59
เทคโนโลยีโครงข่ายแบบไร้สาย, 153	ระบบจัดการคลังสินค้า, 205
โทรทัศน์ผ่านดาวเทียม, 52	ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่, 187
โทรทัศน์ผ่านไมโครเวฟ, 51	ระบบนิเวศการสื่อสาร, 25
โทรศัพท์เคลื่อนที่, 80	ระบบอินเทอร์เน็ต, 107
บ	ระบบอุปกรณ์สื่อสาร, 128
แบบจำลองของเครือข่าย, 158	เราเตอร์, 164
แบบจำลองอินเทอร์เน็ต, 161	โรงงานอัจฉริยะ, 228
แบบรูปการแผ่พลังงาน, 99	
ป	ล
โปรแกรม CST, 98	โลกเสมือนจริง, 228
โปรโตคอล, 170	
ผ	ว
ผงกราไฟต์, 92	วิทยุกระจายเสียง, 30
แผ่นวัสดุฐานรอง, 90	วิทยุโทรเลข, 30
	เวกเตอร์สนามไฟฟ้า, 72
	เว็บเบราว์เซอร์, 173
	ส
	สตีกเกอร์, 102
	สถานีฐาน, 186
	สถานีทวนสัญญาณ, 16

สถานีโทรทัศน์, 52
 สนามการแพร่กระจาย, 73
 สัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัล, 52
 สัญญาณภาพแบบขาวดำ, 52
 สัญญาณภาพสี, 52
 สายคู่ขนานช่องปิด, 5
 สายคู่ขนานช่องเปิด, 4
 สายคู่หุ้มด้วยฉนวน, 6
 สายเคเบิลนำสัญญาณ, 30
 สายโคแอกเชียล, 3
 สายโคแอกเชียลชนิดแข็ง, 6
 สายโคแอกเชียลชนิดอ่อน, 6
 สายตีเกลียวคู่, 5
 สายทองแดงแบบหุ้มฉนวน, 2
 สายโทรศัพท์, 2
 สายใยแก้วนำแสง, 3
 สายอากาศ, 28
 สายอากาศ RFID แบบพาสซีฟ, 213
 สายอากาศไดโพล, 70
 สายอากาศแบบพอนาคีลิน, 85

สายอากาศแบบมีทิศทาง, 71
 สายอากาศแบบอะพอร์เจอร์, 66
 สายอากาศแบบอาร์เรย์, 67
 เส้นใยแก้วนำแสง, 17
 เส้นใยแก้วบริสุทธิ์, 83
 เสาอากาศแบบเส้นลวด, 83

ท

หัวต่อ, 137
 หัวต่อตรง, 138
 แหล่งกำเนิดแสง, 122
 โหลบการแพร่กระจาย, 73

อ

องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย, 171
 อัตราขยาย, 76
 อุปกรณ์แปลงสัญญาณ, 60
 แอมพลิฟายด์, 9
 ไอพีแอดเดรส, 172