สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเกี่ยวกับสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น

Computer Aid Instruction for Half - Wave Dipole Antenna

T037136

โดย

นาย นาเคนทร์ ปิเลี่ยน รหัส 41012058

นาย ภราดร วิไลรัตน์ รหัส 41012067

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 37136
วัน, เดือน, ปี 4 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเกี่ยวกับสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น
	Computer Aid Instruction for Half- Wave Dipole Antenna
โดย	นายนาเคนทร์ ปีเลี่ยน
	นายภราดร วิไลรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. สมภพ แก้วมีชัย
	อ. นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย
ปีการศึกษา	2542

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ
( )

_____กรรมการ
( )

_____กรรมการ
( )

_____กรรมการ
( )

_____กรรมการ
( )

_____กรรมการ
( )

_____กรรมการ
( )

_____กรรมการ
( )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเกี่ยวกับสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น

Computer Aid Instruction for Half - Wave dipole Antenna

โดย นายนาเคนทร์ ปีเลี่ยน เลขประจำตัว 41012058

นายภราดร วิไลรัตน์ เลขประจำตัว 41012067

ที่ปรึกษา

อ. สมภพ แก้วมีชัย

อ. นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้อธิบายถึงคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) เกี่ยวกับสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น โดยจุดมุ่งหมายของปริญญานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการออกแบบพื้นฐานของ สายอากาศชนิดเส้นลวด , สายอากาศไดโพลและสาอากาศยากิ ซึ่งโปรแกรม CAI นี้สามารถใช้ในการศึกษา ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสายอากาศ โดยโปรแกรมนี้จะแสดงในส่วนของเนื้อหาและกราฟฟิก ซึ่งจะนำเสนอเป็นรูปภาพเคลื่อนไหวรวมทั้งเสียงประกอบ ซึ่งจุดประสงค์หลักจะนำความรู้ในเรื่องของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่นไปใช้ในการปฏิบัติและสำหรับศึกษาสายอากาศที่มีลักษณะรูปร่างอื่น ๆ แตกต่างกันออกไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Computer Aid Instruction for Half - Wave Dipole Antenna

Name Mr. Naken Pilian 41012058

Mr. Paradorn Wilairat 41012067

Advisor Mr. Sompop Kaewmeechai

Miss. Noppin Anantrasirichai

Level of study Bachelor's Degree in Industrial (Telecommunication Technology)

Academic Year 1999

Abstract

This project deseribes Computer Aided Instruction (CAI) for half - wave dipole antenna . The aim of this project is to designed the basic wire antenna , dipole antenna and Yagi antenna . Therefore CAI program can use to study the introductory of antenna . This program shows the text mode and graphic mode with animation pictures and sound . The propose CAI program will bring knowledge of half - wave dipole antenna for practice and for further study to other antenna configuration .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมการประกาศ

โครงงานและปริญญานิพนธ์ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับคำแนะนำจากท่าน อาจารย์ สมภพ แก้วมีชัย และ อาจารย์นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย ซึ่งท่านเป็นที่ปรึกษาโครงงาน และได้รับข้อมูล หลักการออกแบบการสร้างบทเรียนด้วยคอมพิวเตอร์จากเพื่อนๆในห้อง 2M รวมทั้งคำแนะนำเพิ่มเติมต่างๆ คณะผู้จัดทำโครงงานจึงขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

นายนาเคนทร์ ปีเลี่ยน
นายภราดร วิไลรัตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง			หน้า
บทคัดย่อ			
กิตติกรรมประกาศ			
บทที่ 1	บทนำ		1
	1.1	วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
	1.2	ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
	1.3	ประโยชน์ที่จะได้รับ	1
บทที่ 2	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ		2
	2.1	หลักการพื้นฐานของสายอากาศ	2
	2.2	การแพร่กระจายสัญญาณจากสายอากาศ	4
	2.3	พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ	5
	2.4	ชนิดของสายอากาศ	16
บทที่ 3	สายอากาศชนิดครึ่งคลื่น		21
	3.1	วิธีการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	21
	3.2	การกระจายของกระแสบนสายอากาศ	28
	3.3	สายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น	32
บทที่ 4	คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI)		48
	4.1	คอมพิวเตอร์ช่วยสอนคืออะไร	48
	4.2	คุณลักษณะของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	49
	4.3	ประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	52
	4.4	ขั้นตอนการออกแบบคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5	โปรแกรม Authorware 4		55
	5.1	ระบบฮาร์ดแวร์ที่ Authorware เวอร์ชัน 4 ต้องการ	56
	5.2	การใช้งานโปรแกรม Authorware 4	57
	5.3	การสร้าง Application ใหม่	60
บทที่ 6	ผลการดำเนินงาน		78
	คู่มือการใช้งาน		86
สรุปผลของปริญญานิพนธ์			89
เอกสารอ้างอิง			90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูป		หน้า
รูปที่ 2.1	สายอากาศทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างอากาศกับ guiding wave	2
รูปที่ 2.2	การลู่ออกของคลื่น	3
รูปที่ 2.3	แสดงการแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศ	4
รูปที่ 2.4	แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5
รูปที่ 2.5	แสดงระบบโคออดิเนทสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	6
รูปที่ 2.6	แสดงลักษณะแพทเทอร์ของสายอากาศแบบออมนิไดเรคชันแนล	7
รูปที่ 2.7	แสดงโหลบและบีบวิดท์แบบ 3 มิติ ของสายอากาศ	8
รูปที่ 2.8	แสดงการแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ	9
รูปที่ 2.9	โพลาไรเซชั่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	10
รูปที่ 2.10	การวัดความกว้างของลำคลื่นในแบบการแผ่คลื่น	11
รูปที่ 2.11	แสดงอัตราส่วน Front to back ของสายอากาศ	13
รูปที่ 2.12	แสดงสายอากาศในโหมดการส่ง	14
รูปที่ 2.13	Wire Antennas แบบต่างๆ	16
รูปที่ 2.14	Aperture Antennas แบบต่างๆ	17
รูปที่ 2.15	Microstrip Antennas แบบต่างๆ	18
รูปที่ 2.16	Array Antennas แบบต่างๆ	18
รูปที่ 2.17	Reflector Antennas แบบต่างๆ	19
รูปที่ 2.18	Lens Antennas แบบต่างๆ	20
รูปที่ 3.1	รูปแบบการกระจายของประจุบนส่วนตัดวงกลมของทรงกระบอก	22
รูปที่ 3.2	การเกิด Voltage และ Current ที่ปลายสายอากาศยาว $\lambda/2$	23
รูปที่ 3.3	รูปทรงของเส้นลวดที่มีการแพร่กระจายเกิดขึ้น	24
รูปที่ 3.4	แสดงแหล่งกำเนิด สายส่งสัญญาณ สายอากาศ และการดันเส้นสนามไฟฟ้าออกไป	25
รูปที่ 3.5	เส้นสนามไฟฟ้าของคลื่นในสายอากาศของสายอากาศ $\lambda/2$ ที่เวลา T=0	26
รูปที่ 3.6	รูปแบบและการดันของเส้นสนามไฟฟ้าของ dipole ขนาดสั้น	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	รูป	หน้า
รูปที่ 3.7	การกระจายกระแสบนสายส่ง ชนิดเส้นลวด 2 เส้น ที่ไม่มีการสูญเสียใดๆ สายส่งที่ถ่างออกและบน linear dipole	30
รูปที่ 3.8	การกระจายกระแสบน linear dipole	31
รูปที่ 3.9	การแจงรูปกระแสในสายอากาศ dipole ที่ความยาวต่างๆ	31
รูปที่ 3.10	การกระจายแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญาณยาว $\lambda/2$ ซึ่งมีโหลดเป็นวงจรเปิด	32
รูปที่ 3.11	ไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ	33
รูปที่ 3.12	รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ ซึ่งวางตัวในแนวราบ	33
รูปที่ 3.13	รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ ซึ่งวางตัวในดิ่ง	34
รูปที่ 3.14	สายอากาศไดโพลชนิดฟูลเวฟ	35
รูปที่ 3.15	สายอากาศไดโพลชนิด 1.5 λ	35
รูปที่ 3.16	การติดตั้งสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ	37
รูปที่ 3.17	แสดงบาลันชนิด 1:1	38
รูปที่ 3.18	สายอากาศแนวดิ่งชนิดควอเตอร์เวฟ $(\lambda/4)$	39
รูปที่ 3.19	รูปแบบการแพร่คลื่นสายอากาศชนิดควอเตอร์เวฟที่วางตัวในแนวดิ่ง	40
รูปที่ 3.20	การวัดบีมวิดท์ของสายอากาศทิศทาง	41
รูปที่ 3.21	สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ (ใช้เป็นตัวถูกขับ) ต่อเรียงกับตัวพาราซิติกเป็นแอเรย์	42
รูปที่ 3.22	รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศยากิ แบบ 3 อีลิเมนต์	44
รูปที่ 3.23	สายอากาศ ยากิแบบ 6 อิลิเมนต์ ความถี่ใช้งาน 440 MH_z	44
รูปที่ 3.24	สายอากาศที่ตั้งถูกขับต่อเรียงเป็นแอเรย์	45
รูปที่ 3.25	สายอากาศคอลลิเนียร์ 4 อิลิเมนต์	46
รูปที่ 3.26	สายอากาศลอกพีริออดิก	47
รูปที่ 4.1	Flowchart ขั้นตอนดำเนินงาน	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	รูป	หน้า
รูปที่ 5.1	หน้าจอของโปรแกรม Authorware 4	57
รูปที่ 5.2	Design Window ของ Application ใหม่	61
รูปที่ 5.3	ปุ่มต่าง ๆ บน Control panal	63
รูปที่ 5.4	Tool Box	64
รูปที่ 5.5	(a) Lines pallete (b) Fills pallete (c) Model pallete (d) Colors pallete	66
รูปที่ 6.1	หน้าจอ Main Menu	78
รูปที่ 6.2	หน้าจอ ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ	79
รูปที่ 6.3	หน้าจอ ชนิดของสายอากาศ	79
รูปที่ 6.4	หน้าจอ Menu การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	80
รูปที่ 6.5	หน้าจอ การเกิดคลื่นนิ่ง(Standing Wave)	80
รูปที่ 6.6	หน้าจอ การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	81
รูปที่ 6.7	หน้าจอ การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวดเดี่ยว	81
รูปที่ 6.8	หน้าจอ การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวด 2 เส้น	82
รูปที่ 6.9	หน้าจอ การแพร่กระจายคลื่นจากไดโพล	82
รูปที่ 6.10	หน้าจอ Menu สายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น	83
รูปที่ 6.11	หน้าจอ หลักการของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น	83
รูปที่ 6.12	หน้าจอ การแพร่กระจายของคลื่นขอสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น	84
รูปที่ 6.13	หน้าจอ การกระจายของกระแสและแรงดันของสายอากาศ	84
รูปที่ 6.14	หน้าจอ การนำไปประยุกต์ใช้งานของสายอากาศ	85
รูปที่ 6.15	หน้าจอ แบบทดสอบความรู้	85
รูปที่ 6.16	หน้าจอ Main Menu	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบัน เครื่องคอมพิวเตอร์ได้มามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์เราทั้งในด้านการงาน การดำรงชีพความเป็นอยู่ ซึ่งแต่ก่อนนั้น การใช้งานของคอมพิวเตอร์จะใช้งานในงานเฉพาะทางเท่านั้น แต่เมื่อมีการใช้งานคอมพิวเตอร์มากขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้ได้มีการพัฒนาการใช้งานหลายรูปแบบเพิ่มมากขึ้น เช่น การควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม การติดต่อสื่อสาร และได้รวมไปถึงสื่อการเรียนการสอนอีกด้วย

ดังนั้นในปริญญานิพนธ์นี้ จึงเป็นปริญญานิพนธ์ที่นำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานในด้านการเรียนการสอน หรือเรียกว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer Aid Instruction) ซึ่งจะเป็นเรื่องเกี่ยวกับ สายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น และในเนื้อหาจะได้อธิบายให้เข้าใจถึงพื้นฐานของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น การแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศไดโพล ไว้ในระดับหนึ่งให้เหมาะสมกับผู้ที่กำลังจะเริ่มศึกษาสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น

1.1 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์
1. เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนในเรื่องสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น
2. เพื่อศึกษาคุณลักษณะและคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น
3. เพื่อศึกษาโปรแกรมที่นำมาใช้ในการสร้างคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
4. เพื่อฝึกหัดการเขียนโปรแกรมช่วยสอน

1.2 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์
1. ให้ผู้ที่ใช้งานได้เข้าใจถึงพื้นฐานของสายอากาศ
2. ให้ผู้ที่ใช้งานได้เข้าใจถึงการแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น
3. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างสื่อการสอนโดยนำเสนอด้วยคอมพิวเตอร์

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ
1. ได้รับความรู้ในเรื่องพื้นฐานของสายอากาศทั้งผู้สร้างและผู้ใช้งาน
2. ได้รับความรู้ในเรื่องสายอากศไดโพลชนิดครึ่งคลื่นทั้งผู้สร้างและผู้ใช้งาน
3. ได้รับความรู้ในการใช้โปรแกรมในการสร้างคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
4. ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโปรแกรมช่วยสอน
5. ทำให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ได้รับไปทดลองสร้างสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่นแบบง่าย ๆ ได้

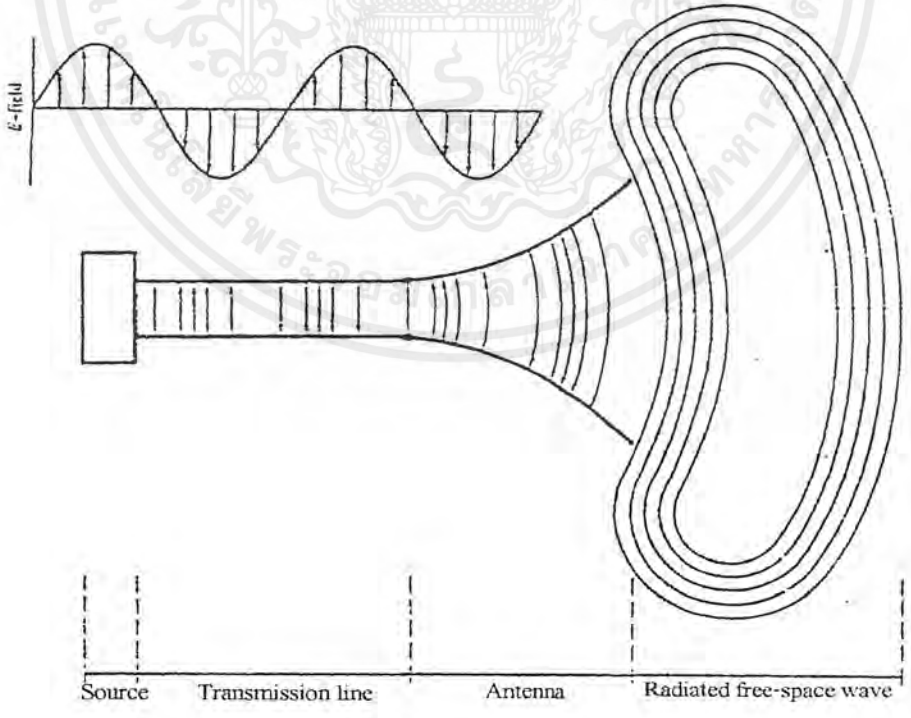
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ

2.1 หลักการพื้นฐานของสายอากาศ

สายอากาศเป็นส่วนสำคัญของเครื่องรับและเครื่องส่งทำหน้าที่แผ่คลื่นจากเครื่องส่งให้ออกอากาศและรับคลื่นวิทยุเข้าสู่เครื่องรับ สายอากาศก็เหมือนกับวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ สายอากาศส่วนใหญ่จึงทำด้วยลวดตัวนำเป็นท่อตันหรือกลวงเป็นเส้นตรงหรือโค้งงอแล้วแต่ชนิดของสายอากาศ สายอากาศโดยทั่วไปจะมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เราสามารถให้สายอากาศทำหน้าที่เป็นได้ทั้งสายอากาศส่งหรือสายอากาศรับ เนื่องจากในทางทฤษฎีจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน

สายอากาศเป็นโครงสร้างที่จำเป็นจะต้องสร้างจากวัสดุที่เป็นตัวนำที่ดี ออกแบบมาเพื่อให้มีรูปร่างและขนาดที่จะทำให้สามารถแพร่กระจายคลื่นและสามารถรับคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรืออีกนัยหนึ่งสายอากาศ คือ อุปกรณ์ที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างอากาศกับ Guiding device ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.1 โดย Guiding device หรือ สายส่งอาจจะใช้สาย Coaxial หรือ Wave-guide ซึ่งใช้ในการส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศ หรือจากสายอากาศไปยังเครื่องรับ

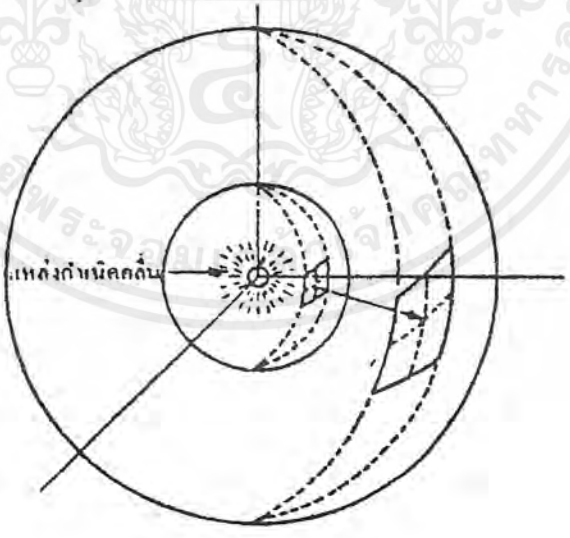


รูปที่ 2.1 สายอากาศทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างอากาศกับ guiding wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแพร่กระจายคลื่นนั้น ความเร็วของการส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเท่ากับความเร็วแสงคือ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3×10^{8} เมตร/วินาที การที่ การส่งสัญญาณเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขนาดนี้เป็นประโยชน์อย่างมากกล่าวคือ ทำให้การสื่อสารเป็นไปอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าทางเครื่องส่งและเครื่องรับจะมีการเคลื่อนที่ขณะใช้งานไปด้วย ก็ยังสามารถสื่อสารได้อย่างต่อเนื่อง

อุปสรรคในการสื่อสารที่ทำให้สัญญาณมีกำลังอ่อนลง ก่อนที่จะไปถึงทางด้านเครื่องรับคือ สัญญาณรบกวนต่าง ๆ ในตัวกลางที่สัญญาณเดินทางผ่านไปในกรณีที่ส่งสัญญาณไปตามสายส่ง สัญญาณส่วนมากจะสูญเสียไปในรูปของความร้อนในสายส่ง ซึ่งเกิดจากความต้านทานของลวดตัวนำ และฉนวนที่นำมาใช้ผลิตสายส่งไม่ใช่ฉนวนที่สมบูรณ์จริง สำหรับการสูญเสียของสัญญาณที่อยู่ในรูปคลื่น โดยแพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น สัญญาณที่สูญเสียไปนั้นเกิดจากหลาย ๆ สาเหตุ เช่น ความต้านทานของตัวกลางที่คลื่นเดินทางผ่าน ได้แก่ ความต้านทานของ ดิน น้ำ อากาศ เป็นต้น แต่ยังมีการสูญเสียอีกชนิดหนึ่งที่ไม่มีในการสื่อสารแบบใช้สายส่ง นั่นก็คือการลดทอนความแรงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากการลู่ออกของคลื่น เนื่องจากโครงสร้างทางเรขาคณิตของคลื่นทำให้ความเข้มของกำลังของคลื่นที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศแปรผกผัน กับกำลังสองของระยะทาง $\left(P \propto S^{2}\right)$ สามารถอธิบายได้ว่าทุก ๆ ครั้งที่ระยะทางเพิ่มเป็น 2 เท่า จะทำให้ความเข้มของกำลังของคลื่นลดลง 4 เท่า แสดงลักษณะการลู่ออกของคลื่น ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การลู่ออกของคลื่น

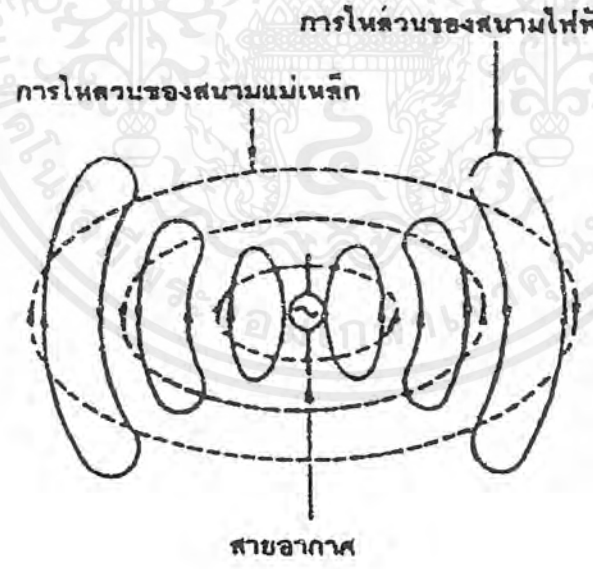
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศจึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการสื่อสารระบบนี้ เพราะถ้าหากสายอากาศได้รับการออกแบบที่ถูกต้องจะทำให้มีประสิทธิภาพสูง และสามารถติดต่อกันได้ระยะทางไกล จึงเป็นการประหยัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องส่งด้วย

2.2 การแพร่กระจายสัญญาณจากสายอากาศ

เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำที่มีทิศทางตามทิศทางของกระแส ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของกระแสเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนตามไปด้วยและจากการทดลองพบว่าสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงจะสร้างสนามไฟฟ้าให้มีขึ้นมา (ซึ่งถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในสนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้าจะไม่เกิดขึ้น)

ส่วนทิศทางของสนามไฟฟ้า พิจารณาจากกฎของเลนซ์ (**Lenz is Law**) หรือกฎมือขวานั่นเอง ทำนองเดียวกันการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ทำให้พิจารณาได้ว่า ถ้าป้อนกระแสไฟสลับ (A.C) ผ่านลวดตัวนำจะทำให้เกิดทั้งสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กขึ้น

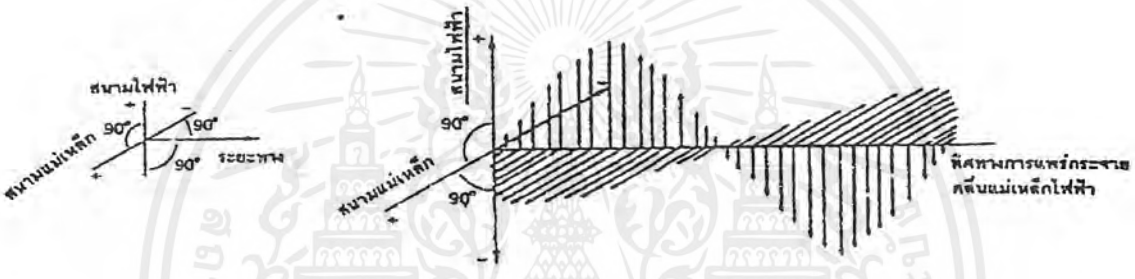


รูปที่ 2.3 แสดงการแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ใช้กระแสรูปสัญญาณไซน์ผ่านเข้าลวดตัวนำ พบว่าทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามคลื่นไซน์ด้วย โดยทั้งสองสนามแพร่ออกจากลวดตัวนำด้วยความเร็วแสง (ประมาณ 3×10^8 เมตร/วินาที) ดังรูปที่ 2.3

พลังงานที่แพร่กระจายไปมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มในค่าความถี่เราเรียกพลังงานส่วนนี้ว่าสนามพลังงานที่แพร่กระจ่าย ซึ่งอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อวิเคราะห์แล้วพบว่าสนามแม่-เหล็กและสนามไฟฟ้าทำมุมฉากซึ่งกันและกัน รวมทั้งยังทำมุมฉากกับทิศทางการแพร่กระจายดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

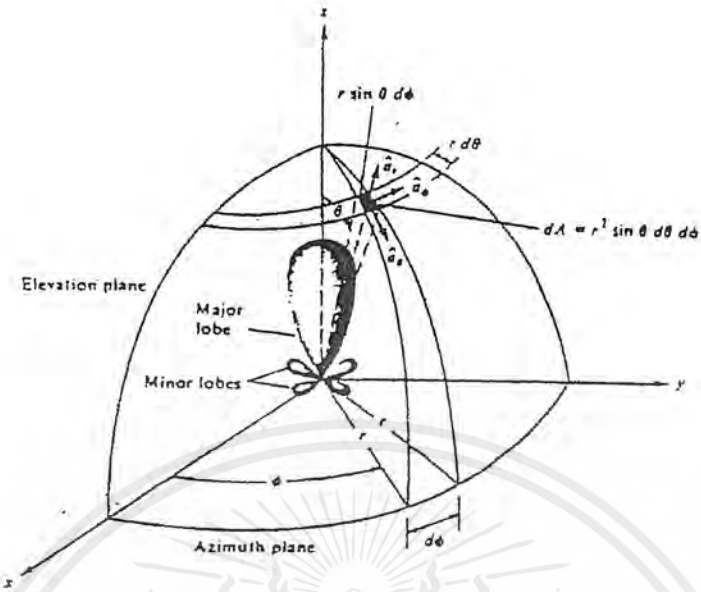
ระนาบที่มีสนามไฟฟ้าและมีทิศตามการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียกว่าระนาบโพลาไรเซชั่นของคลื่น ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อพารามิเตอร์ของสายอากาศ

2.3 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ

2.3.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นคือ รูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งสามารถแสดงถึงค่าของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น, ความเข้มของสนาม, เฟส หรือโพลาไรเซชั่น ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีการกระจายค่าแบบ 3 มิติ สามารถแสดงได้ด้วย ระบบโคออดิ-เนทแบบ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และโดยทั่วไปรูปแบบการแพร่กระจ่ายคลื่นนี้ มักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



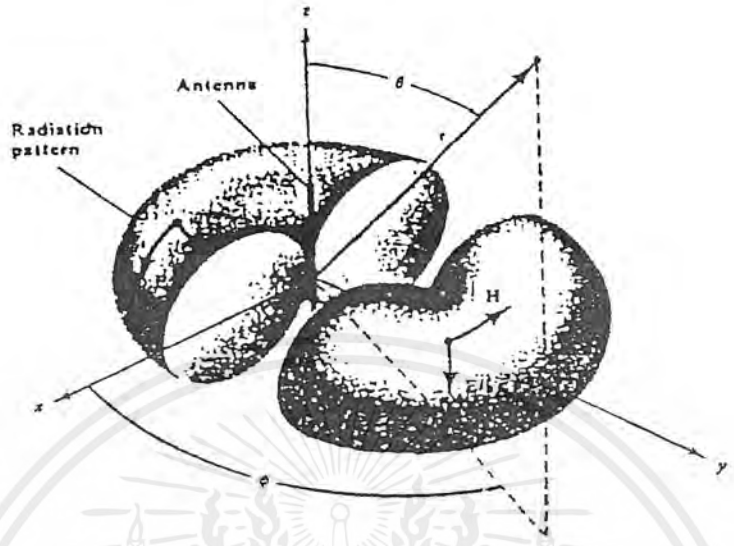
รูปที่ 2.5 แสดงระบบโคออดิเนทสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

2.3.1.1 รูปแบบไอโซโทรปิค ไดเรคชันแนล และออมนิไดเรคชันแนล

ตัวแพร่คลื่นไอโซโทรปิค (Isotropic Radiator) คือ สายอากาศในทางทฤษฎีที่ถูกสมมุติขึ้นที่มีคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น ในทุกทิศทางด้วยความเข้มสนามที่เท่ากัน เป็นสายอากาศที่ไม่สามารถสร้างได้จริง แต่จะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริง เกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติแสดงทิศทางของสายอากาศ

ไดเรคชันแนล (Directional) คือคุณสมบัติในการแพร่คลื่นหรือรับคลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งได้ดีกว่าทิศทางอื่น ตัวอย่างหนึ่งของสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือสายอากาศแบบออม - นิไดเรคชันแนล (Omnidirectional Antenna) คุณสมบัติของสายอากาศแบบนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



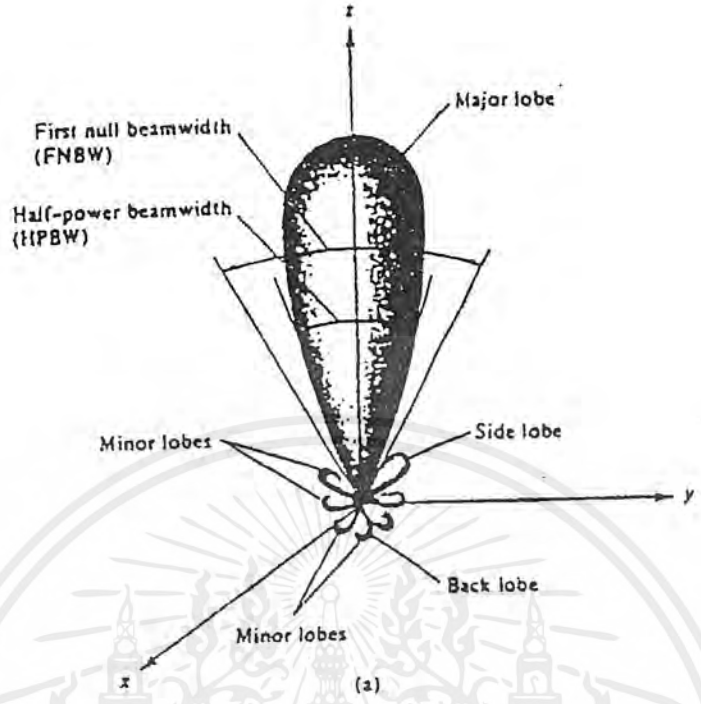
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะแพทเทอร์นของสายอากาศแบบออมนิไดเรคชันแนล

จากรูปที่ 2.6 วิเคราะห์ได้ว่าไม่มีการไดเรคชันแนลในระนาบแนวตั้ง มีแต่ไดเรคชันแนลในระนาบแนวนอน เราเรียกรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบนี้ว่าออมนิไดเรคชันแนล (Omnidirectonnal)

2.3.1.2 โหลบของรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น

โหลบของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Lobe) เป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดเป็นบริเวณโดยการปิดล้อมของส่วนที่มีความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นต่ำดังแสดงรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงในแกนโพลาร์ 3 มิติ มีโหลบต่าง ๆ ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงโหลบและบีมวิดท์แบบ 3 มิติของสายอากาศ

โหลบหลัก (Major Lobe) เป็นโหลบของการแพร่กระจ่ายคลื่นแรงที่สุด ในรูปที่ 2.7 โหลบหลักมีทิศตามจุด $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางแบบมีลำคลื่นมากกว่าหนึ่งจะมีโหลบหลักมากกว่าหนึ่งโหลบได้

โหลบรอง (Minor Lobe) เป็นโหลบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โหลบหลักและโหลบหลัง

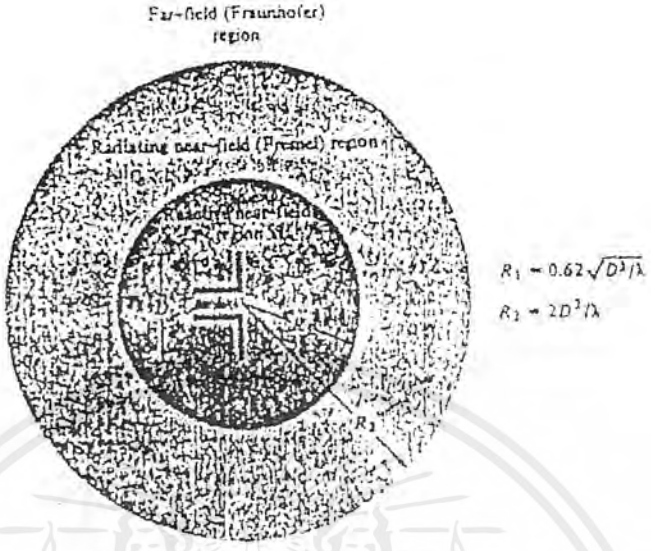
โหลบข้าง (Side Lobe) เป็นโหลบที่ติดอยู่กับโหลบหลักและอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมซีกเดียวกับโหลบหลัก

โหลบหลัง (Back Lobe) เป็นโหลบรองที่มีทิศตรงข้ามกับโหลบหลัก

2.3.1.3 บริเวณต่าง ๆ ของสนามจากสายอากาศ

โดยทั่วไปมักจะแบ่งบริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศออกเป็น 3 ส่วน คือ สนามรีแอคทีฟระยะใกล้ (Reactive Near Field) สนามกระจายระยะใกล้ (Radiating Near Field) สนามระยะไกล(Far-Fieid) ดังแสดงในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการแบ่งบริเวณของสนามจากสายอากาศ

บริเวณสนามรีแอคทีฟ ระยะใกล้เป็นบริเวณสนามที่ล้อมรอบใกล้สายอากาศมากที่สุด บริเวณนี้มีระยะทาง $R < 0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ จากผิวของสายอากาศ

บริเวณสนามกระจายระยะใกล้จะมีสนามที่กระจายอยู่เป็นส่วนใหญ่ และการกระจายของสนามตามมุมต่าง ๆ จะแปรผันตามระยะทางจากสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น สนามในบริเวณนี้อาจจะไม่เกิดขึ้น บริเวณนี้จะมีระยะทางเป็น $0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \le R \le \frac{2D^2}{\lambda}$ และขอบเป็นอนันต์

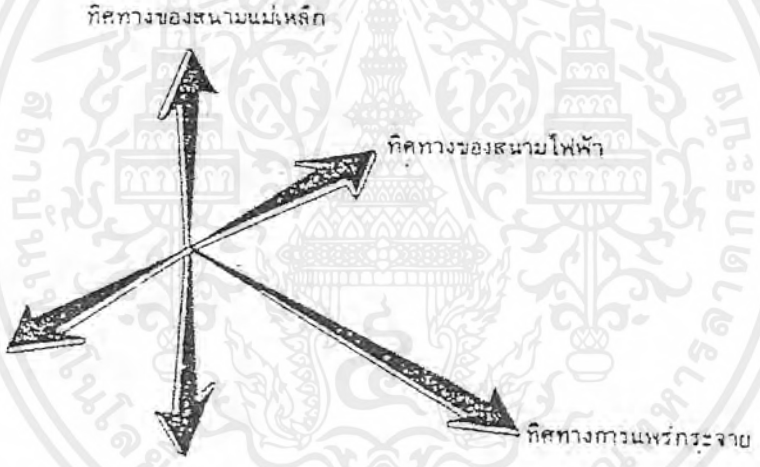
บริเวณสนามระยะไกล เป็นบริเวณสนามของสายอากาศซึ่งการแพร่สนามของสายอากาศตามมุมต่างๆ ไม่ขึ้นกับระยะทางจากสายอากาศในบริเวณนี้ สนามมีลักษณะเป็นสนามตัดขวาง (Transverse Field) ขอบในของบริเวณดังกล่าวเป็น $R = \frac{2D^2}{\lambda}$ และขอบนอกเป็นอนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 โพลาไรเซชั่น (Polarization)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากสายอากาศ ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สนามทั้งสองนี้จะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทั้งคู่ก็ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย ตามรูปที่ 2.9 ในที่นี้ สนามไฟฟ้าจะอยู่ในแนวราบ เราเรียกว่าคลื่นนี้มีโพลาไรเซชั่นแนวราบ (ถ้าสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวดิ่งเราเรียกว่า คลื่นนี้มีโพลาไรเซชั่นแนวดิ่ง) ทิศทางของสนามไฟฟ้า เป็นตัวกำหนดทิศทางโพลาไรเซชั่น (pllanization)

สายอากาศที่วางตัวในแนวราบจะเกิดโพลาไรเซชั่นในแนวราบ และสายอากาศที่วางตัวในแนวดิ่งจะเกิดโพลาเซชั่นในแนวดิ่ง และความสำคัญของโพลาไรเซชั่นนั้น อยู่ตรงที่คลื่นที่ส่งมาแบบโพลาไรเซชั่นแนวตรง จะรับด้วยสายอากาศที่วางตัวในแนวราบได้ดีกว่าสายอากาศที่วางตัวในแนวดิ่ง



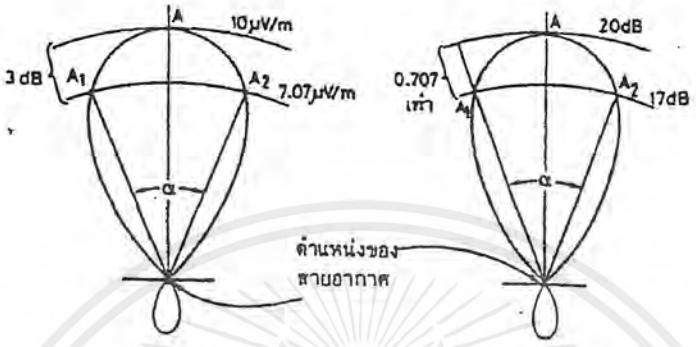
รูปที่ 2.9 โพลาไรเซชั่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3.3 บีมวิดท์ (Beam width)

สายอากาศชนิดต่าง ๆ นั้นก็มีรูปแบบการแพร่คลื่นต่าง ๆ กัน วิธีหนึ่งที่เราจะเปรียบเทียบรูปแบบของการแพร่คลื่นก็คือ ดูจากลักษณะของรูปแบบว่าทิศทางการแพร่คลื่นออกไปในลักษณะใดแทนที่เราจะต้องเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่คลื่นทุก ๆ จุด ความกว้างของลำคลื่นหรือบีมวิดท์ เป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น โดยคิดจากมุมของลำคลื่นในทิศทางที่พุ่งไปแรงมากที่สุด ในรูปที่ 2.10 แสดงการวัดความกว้างของลำคลื่น สังเกตุว่าเราพิจารณาเฉพาะลำคลื่นในทิศทางที่แรงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ OA แล้วอ่านค่าความกว้างของมุมระหว่างแนว OA_1 และ OA_2 มีความยาวลดลงเหลือ 0.707 เท่าของ OA หรือ OA_1 ส่วน OA_2 สั้นกว่า OA อยู่ 3 เดซิเบล นั่นคือความกว้างลำดับคลื่นเท่ากับ α



รูปที่ 2.10 การจัดความกว้างของลำคลื่นในรูปแบบการแผ่คลื่น

2.3.4 ไดเรคติวิตี้ (Directivity)

ไดเรคติวิตี้ คือ อัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นที่มากที่สุด ต่อความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของ Isotropic Point Source เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$D_g = \frac{U}{U_o} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \qquad (2.1)$$

$$D_o = \frac{U_{\max}}{U_o} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{rad}} \qquad (2.2)$$

D_g = ไดเรคทีฟเกน

D_o = ไดเรคติวิตี้

U = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

$U_{\max}$ = ค่าสูงสุดของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (W/หน่วยมุมตัน)

U_o = ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นของไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์ส (W/หน่วยมุมตัน)

P_{rad} = กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดเรคติวิตี้ของไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์ส จะมีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอเพราะว่า มันแพร่กระจายกำลังงานออกไปในทุกทิศทางด้วยค่าที่เท่าๆกัน แต่สำหรับสายอากาศโดยทั่วไปแล้วย่อมมี ไดเรคติวิตี้มากกว่าหนึ่งเสมอ

2.3.5 อัตราการขยาย (Gain)

อัตราการขยายกำลังของสายอากาศในทิศทางที่กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้น ต่อกำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากขั้วต่อของเครื่องส่งสามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\text{อัตราการขยาย} = 4\pi \times \frac{U(\theta,\phi)}{P_{in}} \qquad (2.3)$$

โดยทั่วไปแล้วเรามักจะพูดถึงเกนสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเพาเวอร์เกนในทิศทางที่กำหนดให้ต่อเพาเวอร์เกนของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น เมื่อกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสองต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบอาจจะเป็นสายอากาศไดโพล หรือสายอากาศอื่น ๆ ซึ่งคำนวณอัตราการขยายได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่แล้ว สายอากาศที่นำมาใช้เปรียบเทียบจะเป็น ไอโซโทรปิคพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta,\phi)}{P_{in}} \qquad (2.4)$$

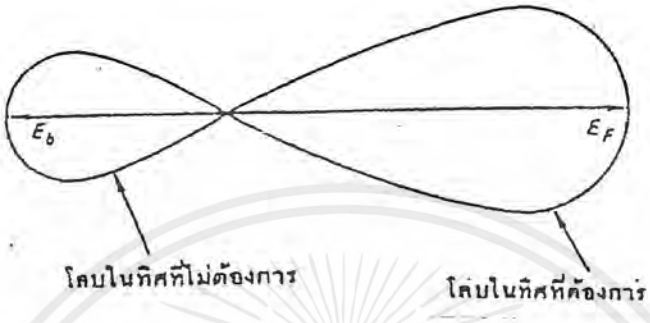
2.3.6 แถบความถี่ (Bandwidth)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดให้เป็นช่วงของความถี่ ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ อินพุทอิมพิแดนซ์ , แพทเทอร์น , บีมวิดท์ ,โพลาไรเซชั่น , ระดับของไซด์โหลบ , อัตราการขยาย , ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้คือ ไม่ต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลาง ที่ออกแบบจนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนด หรือ มาตรฐานปกติแล้ว คุณสมบัติ แพทเทิร์นกับอิมพิแดนซ์แบบวิดท์ มักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนวิดท์ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 อัตราส่วนโหลบหน้าต่อโหลบหลัง (Front to Back Ratio)

เป็นอัตราส่วนของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศ โดยคิดจากทิศที่ต้องการกับทิศที่ไม่ต้องการ (ตรงข้ามกัน) ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงอัตราส่วนของ Front to back ของสายอากาศ

2.3.8 อิมพิแดนซ์ (Impedance)

อิมพิแดนซ์ของสายอากาศ คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายผ่านขั้วต่อหารด้วยปริมาณกระแสที่ไหลผ่านขั้วต่ออันเดียวกัน หรือเป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใด ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 a-b เป็นขั้วของสายอากาศ อัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าที่ขั้วนี้ เมื่อไม่ได้ต่อโหลด (Load) จะเป็นอิมพิแดนซ์ของสายอากาศซึ่งมีค่า

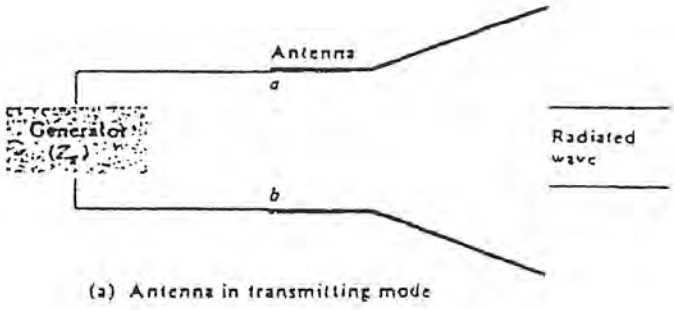
$$Z_A = R_A + jX_A \qquad (2.5)$$

เมื่อ Z_A = อิมพิแดนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

R_A = ความต้านทานที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

X_A = รีแอคแตนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Antenna in transmitting mode

รูปที่ 2.12. แสดงสายอากาศในโหมดการส่ง

2.3.9 ความหนาแน่นของกำลังงานที่แพร่กระจาย

สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งข่าวสารผ่านตัวกลาง ถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับพลังงานและกำลังงานไฟฟ้า โดยใช้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\psi = \varepsilon \times \mathrm{H} \qquad (2.6)$$

เมื่อ ψ = พอยต์ติ้งเวคเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (w/m^2)

ε = ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วขณะเวลานั้น (V/m)

H = ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะเวลานั้น (A/m)

ซึ่ง ψ มีความหมายแสดงถึงความหนาแน่นของกำลังงาน ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่พุ่งตัดผ่านพื้นผิวปิดสามารถหาได้โดยการอินทิเกรทส่วนของพอยติงเวคเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวปิดทั้งหมด เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$P_t = \iint_S \psi . \overline{ds} = \iint_S \psi . \bar{n} da \qquad (2.7)$$

เมื่อ P_t = กำลังทั้งหมดชั่วขณะนั้น (W)

da = พื้นที่เล็ก ๆ บนพื้นที่ผิวปิด (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีของสนามที่แปรผันกับเวลามักจะหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของกำลังงานได้ดังสมการ

$$P_{rad} = P_{av} = \oiint_S \overline{W_{rad}}.ds \qquad (2.8)$$
$$= \frac{1}{2}\oiint_S R_e\left(\overline{E}\times\overline{H}\right)\overline{ds}$$

2.3.10 ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น

ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นหมายถึง กำลังงานที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศต่อหน่วยมุมตัน เป็นพารามิเตอร์ในการแสดงคุณสมบัติของสายอากาศเกี่ยวกับสนามระยะไกล ซึ่งสามารถหาได้จากผลคูณของความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่นกับระยะทางกำลังสอง สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$U = r^2 W_{rad} \qquad (2.9)$$

เมื่อ U = ความเข้มข้นของการแพร่กระจายคลื่น (w)/หน่วยมุมตัน

W_{rad} = ความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น (w/m^2)

r = ระยะทาง (m)

2.3.11 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ (e_t) จะใช้เมื่อเราคำนึงถึงการสูญเสียต่าง ๆ ที่ขั้วและภายในโครงสร้างของสายอากาศอันเนื่องมาจากการสะท้อนกลับเนื่องจากความไม่เข้ากัน (Mismatch) ระหว่างสายส่งกับสายอากาศ และจากการสูญเสียในตัวนำและฉนวน โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพทั้งหมดคำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_c e_d \qquad (2.10)$$

เมื่อ e_t = ประสิทธิภาพทั้งหมด

e_t = ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ = $\left[1-|\Gamma|^2\right]$

e_c = ประสิทธิภาพของตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e_d = ประสิทธิภาพของฉนวน

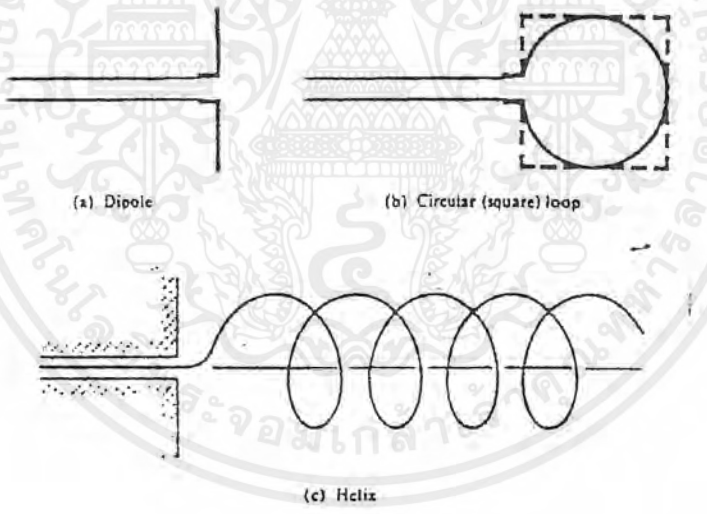
Γ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนของศักย์ดาไฟฟ้าของสายอากาศ

2.4 ชนิดของสายอากาศ

สายอากาศมีมากมายหลายชนิดในที่นี้จะกล่าวถึงสายอากาศบางชนิดที่ยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

2.4.1 Wire Antennas

เป็นสายอากาศที่พบเห็นได้โดยทั่วไปตามอาคารบ้านเรือน, เรือเดินทะเล, เครื่องบินเป็นต้น โดยมีลักษณะรูปร่างต่าง ๆ หลายแบบ เช่น เป็นสายตรง (dipole) , loop และ helix แสดง ๆ ไว้ดัง - รูปที่ 2.13 สายอากาศแบบ loop นั้น ไม่จำเป็นต้องเป็นวงกลมเสมอไป อาจจะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า, สี่เหลี่ยมจัตุรัส, รูปแบบรีอย่างไข่ (ellipse) และรูปร่างอื่น ๆ อีกก็ได้ แต่รูปร่างวงกลมนิยมใช้กันมาก เพราะว่าสามารถสร้างได้ง่าย



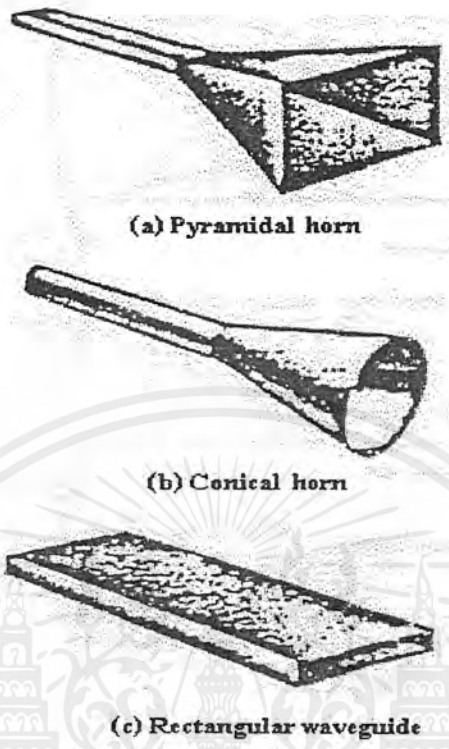
รูปที่ 2.13 Wire Antennas แบบต่าง ๆ

2.4.2 Aperture Antennas

สายอากาศแบบนี้เป็นที่นิยมใช้มากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะความต้องการที่จะใช้คลื่นความถี่ที่สูงขึ้นซึ่งสายอากาศแบบนี้มีประโยชน์มาก ในการติดตั้งบนเครื่องบินหรือยานอวกาศ เพราะสามารถที่จะใช้ฉนวนหุ้มเพื่อป้องกันความเสียหายจากสภาพแวดล้อม รูปแบบของ Aperture Antennas แสดงไว้ดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.14 Aperture Antennas แบบต่าง ๆ

2.4.3 Microstrip Antenna

สายอากาศแบบนี้กำลังเป็นที่นิยมกันมาก ปัจจุบันถูกนำมาใช้ประโยชน์ในภาครัฐบาลและภาคเอกชน สายอากาศชนิดนี้ประกอบด้วย โลหะเป็นแผ่น (patch) วางอยู่บนฐานที่เรียกว่า grounded substrate รูปทรงของ patch สามารถแตกต่างกันไปได้หลายรูปแบบ แสดงดังรูปที่ 2.15 ซึ่งเป็นรูปร่างที่กำลังอยู่ในความนิยมมากที่สุด เพราะสร้างและวิเคราะห์ได้ง่าย และมีคุณสมบัติในด้านการแพร่กระจายคลื่นที่ดึงดูดความสนใจได้ดีเพราะมี cross-polarization radiation ต่ำ สายอากาศ Microstip เป็น low-profile ที่เหมาะกับผิวที่เป็นแผ่นระนาบ (planar) และ ไม่ระนาบ (noplanar) การสร้างง่ายและราคาไม่แพงมาก สามารถสร้างโดยใช้เทคโนโลยี printed-circuit ที่ทันสมัย สายอากาศชนิดนี้สามารถติดให้เสมอกับผิวของเครื่องบิน,ยานอวกาศ,ดาวเทียม,จรวด,รถยนต์ และแม้แต่โทรศัพท์มือถือก็ได้

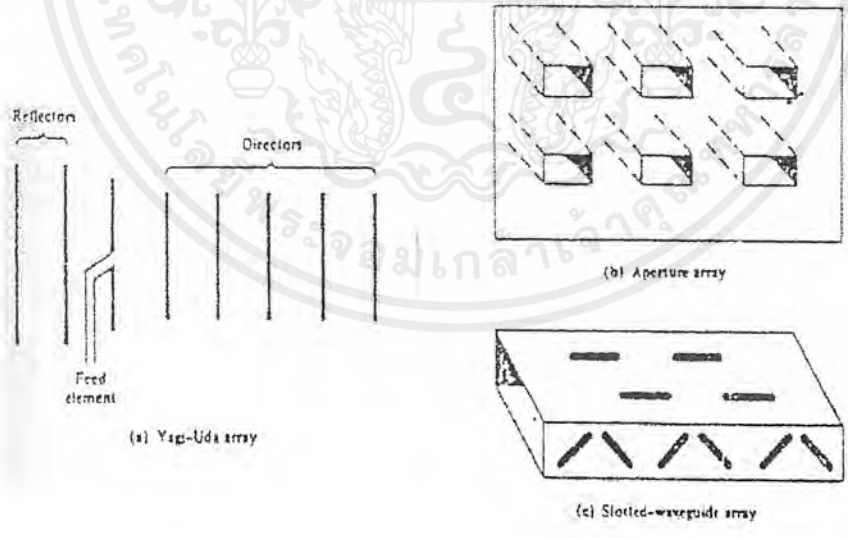
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
37136

(a) Rectangular (b) Circular

รูปที่ 2.15 Microstrip Antennas แบบต่าง ๆ

2.4.4 Array Antennas

ในบางครั้งต้องการลักษณะการทำงานแบบแพร่กระจายคลื่น ซึ่งไม่สามารถที่จะทำงานได้โดยใช้สายอากาศที่มีส่วนประกอบเพียงตัวเดียว ดังนั้นจึงต้องใช้หลาย ๆ ส่วนมาติดตั้งเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นตามต้องการ โดยแพร่กระจายในทิศทางที่ต้องการมากที่สุด และขจัดทิศทางอื่นที่ไม่ต้องการออกไปแสดงได้ดังรูปที่ 2.16

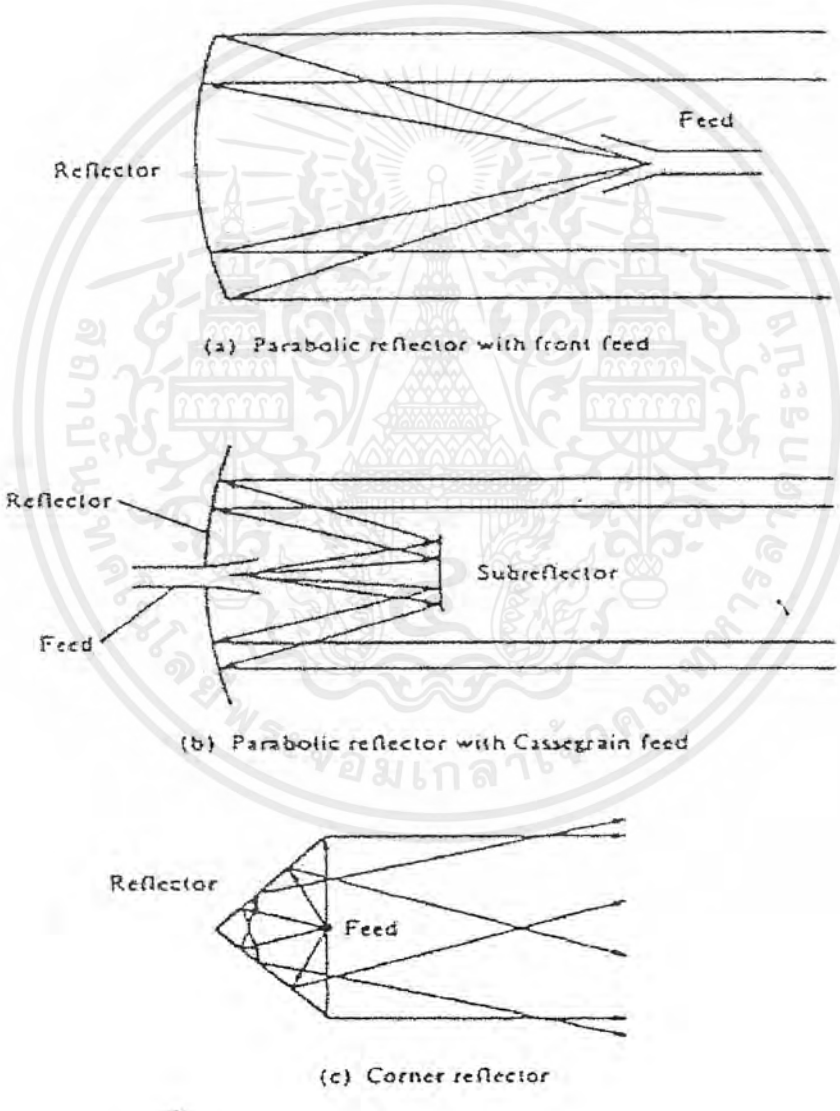


รูปที่ 2.16 Array Antennas แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 Reflector Antennas

ในปัจจุบันนี้มีความต้องการในการสื่อสารในระยะทางไกล ๆ จึงต้องมีสายอากาศที่ใช้ส่งและรับสัญญาณในระยะทางไกล ๆ เป็นล้านไมล์ได้ จึงมีการสร้างสายอากาศแบบ Parabolic reflector ขึ้นมา ดังรูปที่ 2.17 (a) และ (b) สายอากาศประเภทนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 305 เมตร เพื่อต้องการรับ gain สูง ๆ ในการรับหรือส่งในระยะทางไกล ๆ ได้ นอกจากนี้ยังมีสายอากาศแบบ Corner reflector อีกดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.17 (c)

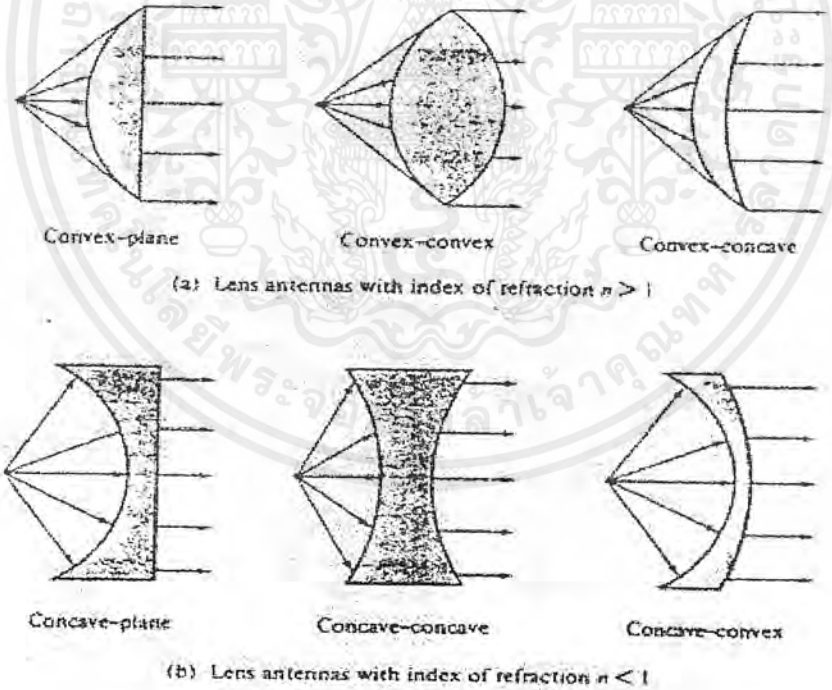


รูปที่ 2.17 Reflector Antennas แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 Lens Antennas

เป็นสายอากาศที่ไม่ทำให้สัญญาณแตกกระจายไปในทิศทางที่ไม่ต้องการรูปร่างเป็นแบบ lens สายอากาศชนิดนี้มีการใช้น้อยกว่าสายอากาศชนิดอื่น ๆ เนื่องจากคุณสมบัติของรูปทรงทางเรขาคณิต รวมทั้งการใช้วัสดุที่จะนำมาทำเป็นเลนซ์ให้เหมาะสม การที่ใช้รูปร่างแบบเลนซ์ก็เพื่อให้สามารถแปรรูปทรงต่าง ๆ ของพลังงานที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงสายอากาศให้หักเฉเข้ามาเป็นคลื่นระนาบ (plan wave) สายอากาศชนิดนี้ใช้เหมือน สายอากาศแบบ parabolic reflectors ซึ่งใช้ได้ดีในย่านความถี่สูง ๆ ขึ้นไป เนื่องจากขนาดความกว้างและน้ำหนักซึ่งใหญ่มากเกินไป จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับความถี่ต่ำนั่นคือเหมาะที่จะใช้ในย่านความถี่ High Frequency สายอากาศแบบนี้ในอุดมคติคือ ต้องให้สามารถแพร่กระจายพลังงานทั้งหมดออกไปในทิศที่ต้องการทิศเดียว หรือหลายทิศ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ สิ่งที่ทำได้คือ พยายามให้ใกล้เคียงกับความต้องการให้มากที่สุด ดังนี้จึงจำเป็นต้องการให้มากที่สุดดังนั้นจึงจำเป็นต้องการมีการออกแบบสายอากาศแต่ละชนิดให้มีรูปร่างต่าง ๆ เพื่อช่วยให้มีการแพร่กระจายคลื่นไปในทิศทางที่ต้องการ



รูปที่ 2.18 lens Antennas แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
สายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น

3.1 วิธีการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกสร้างด้วยแหล่งกำเนิด ซึ่งภายในแหล่งกำเนิดมีท่อนำคลื่น ซึ่งเป็นสายส่งและสายอากาศ โดยคลื่นจะถูกส่งแพร่กระจายออกจากสายอากาศไปยัง free space

3.1.1 การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวดเดี่ยว

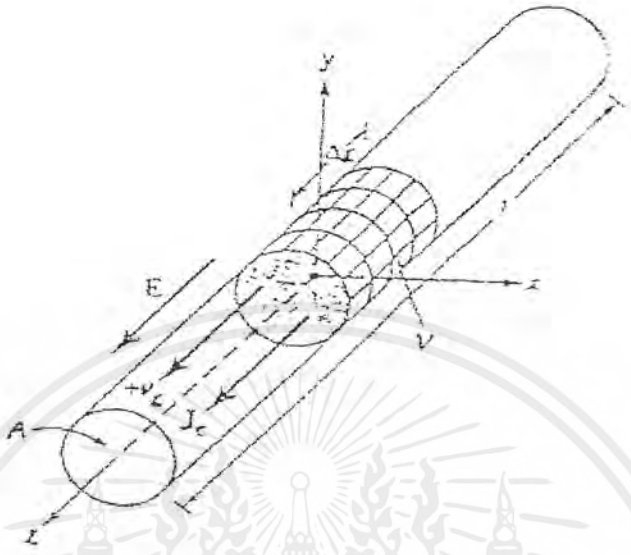
ลวดตัวนำจะเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องที่สามารถทำให้ประจุไฟฟ้าเกิดการเคลื่อนที่บนตัวนำได้ นั่นคือทำให้เกิดเป็นกระแสไหลในลวดตัวนำ ถ้าสมมุติให้ $q_v \left(coulombs/m^2\right)$ เป็นความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าในหน่วยปริมาตร ซึ่งความหนาแน่นนี้กระจายอยู่ทั่วลวดกลมที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็น A และมีปริมาตรเป็น Vดังรูปที่ 3.1 ปรุจุรวมทั้งหมดภายในปริมาตร V จะเคลื่อนที่ในทิศทาง Z ด้วยความเร็ว $V_z \left(meters/m^2\right)$ โดยมีความหนาแน่นของกระแสเป็น J_z $\left(Ampares/m^2\right)$ อยู่ที่บริเวณส่วนตัดของลวด ตามสมการ ดังนี้

$$J_z = q_v V_z \qquad (3.1)$$

ถ้าลวดทำจากตัวนำไฟฟ้าที่เป็นอุดมคติ ความหนาแน่นของกระแส จะอยู่ตามบริเวณผิวของเส้นลวดตามสมการดังนี้

$$J_s = q_v V_z \qquad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 รูปแบบการกระจายของประจุบนส่วนตัดวงกลมของทรงกระบอก

ซึ่ง q_s $(coulombs/m^2)$ เป็นความหนาแน่นของประจุที่ผิวลวด ถ้าเส้นลวดผอมบางมาก ๆ ในอุดมคติถือว่ามีรัศมีเป็นศูนย์ ดังนั้นกระแสในเส้นลวดจะสามารถแทนได้ด้วย

$$I_s = q_v V_z \qquad (3.3)$$

ซึ่ง q_1 $(coulombs/m)$ เป็นความหนาแน่นของประจุต่อหน่วยความยาว

จากความหนาแน่นของกระแสทั้ง 3 แบบ เราจะพิจารณาเฉพาะลวดที่ผอมบางมาก ๆ เท่านั้นถ้ากระแสเปลี่ยนแปลงตามเวลาแล้ว กระแสจากสมการที่ 3.3 สามารถเขียนใหม่เป็น ดังนี้

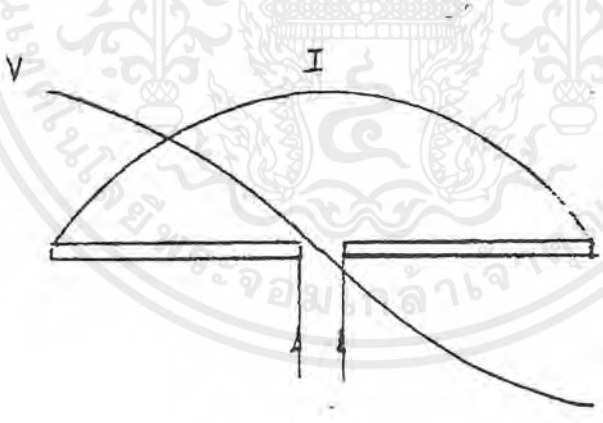
$$\frac{dI_z}{dt} = q_1 \frac{dV_z}{dt} = q_1 a_z \qquad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง $dV_z/dt\left(meters/m^2\right)$ เป็นอัตราเร่ง ถ้าลวดยาวจะเขียนสมการที่ 3.4 ใหม่เป็น ดังนี้

$$l\frac{dI_z}{dt} = lq_1\frac{dV_z}{dt} = lq_1a_z \qquad (3.5)$$

สมการที่ 3.5 เป็นความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างประจุกับกระแส ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ขั้นมูลฐานที่สำคัญที่จะนำไปใช้กับการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตัวอย่างง่าย ๆ ก็คือ การสร้างการแพร่กระจายคลื่นซึ่งต้องเป็นกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือ ก็คืออัตราเร่ง (หรืออัตราลดลง) ของประจุ โดยปกติเราจะอ้างถึงกระแสที่อยู่ในช่วง time harmonics ไปใช้ประโยชน์ โดยที่ประจุมักจะเป็นการเคลื่อนที่แบบชั่วประเดี๋ยวเดียว การสร้างอัตราเร่งของประจุ (หรืออัตราลดลง) มักจะใช้เส้นลวดโค้ง หรือหักงอ หรือไม่สม่ำเสมอ หรือมีการต่อลวดข้างหนึ่งลงดิน อัตราเร่งของประจุที่เป็นรูปคลื่น หรือกระแสที่เปลี่ยนตามเวลามักจะถูกสร้างขึ้นมาเมื่อประจุถูก oscillate ในช่วงเวลาที่มีการเคลื่อนที่ในช่วง harmonics time ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งใช้กับสายอากาศ dipole ที่ยาว $\lambda/2$ ฉะนั้นจะได้ว่า



รูปที่ 3.2 การเกิด volt และ current ของสายอากาศ dipole ที่ยาว $\lambda/2$

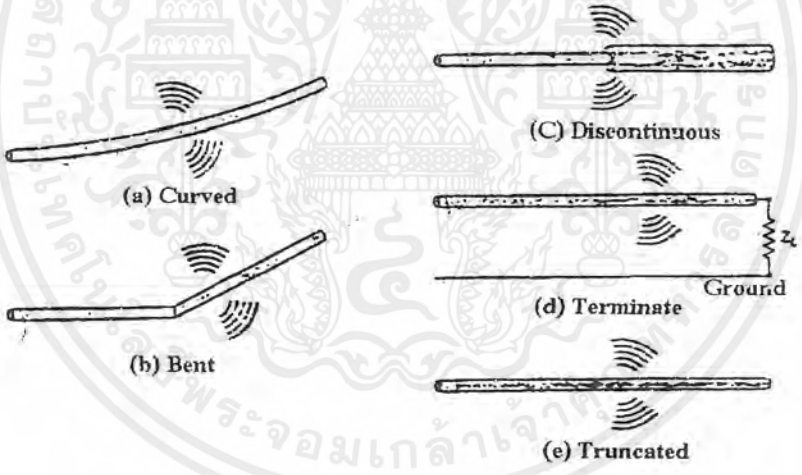
1. ถ้าประจุไม่มีการเคลื่อนที่ กระแสก็จะไม่ถูกสร้างขึ้นมาดังนั้นจึงไม่มีการแพร่กระจายเกิด
2. ถ้าประจุมีการเคลื่อนที่ด้วย ความเร็วแบบเดียวกัน จะได้ว่า

- ไม่มีการแพร่กระจายเกิดขึ้น ถ้าเส้นลวดเป็นเส้นตรงยาวมาก ๆ (infinity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีการแพร่กระจายเกิดขึ้น ถ้าเส้นลวดโค้ง หรือหักงอ หรือขนาดไม่เท่ากัน หรือต่อข้างหนึ่งลงดิน หรือเป็นเส้นกุด (ด้วย) ดังแสดงในรูปที่ 3.3
- ถ้าประจุถูก oscillate ในช่วงเวลาที่มีการเคลื่อนที่ ก็จะเกิดการแพร่กระจายขึ้นแม้ว่าเส้นลวดนั้นจะเป็นเส้นตรง

การทำความเข้าใจในวิธีการแพร่กระจายอาจจะสังเกตได้จากการพิจารณา pulse source ที่ถูกดันไปยังด้านปลายเปิดของลวดตัวนำ ซึ่งอาจจะต่อลงดินผ่าน load ที่ปลายเปิดลวด แสดงดังรูปที่ 3.3 (d) เมื่อเส้นลวดนั้นมีพลังงานเริ่มต้นเกิดขึ้น ประจุ (อิเล็กตรอนอิสระ) ในเส้นลวดจะถูกกำหนดให้มีการเคลื่อนที่ ซึ่งประจุนั้นเกิดจากเส้นแรงไฟฟ้าที่สร้างมาจากแหล่งกำเนิด (Source) เมื่อประจุถูกเร่งให้มีความเร็วขึ้นที่ปลายเส้นลวดที่ต่อกับแหล่งกำเนิด และลดอัตราเร่งลง (เป็นอัตราเร่งลบเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่แรก) ระหว่างที่มีการสะท้อนกลับจากปลายที่ไปถึง ซึ่งจะเป็นการบอกว่าสนามที่แพร่กระจายถูกสร้างที่แต่ละปลายและไปตามเส้นลวด



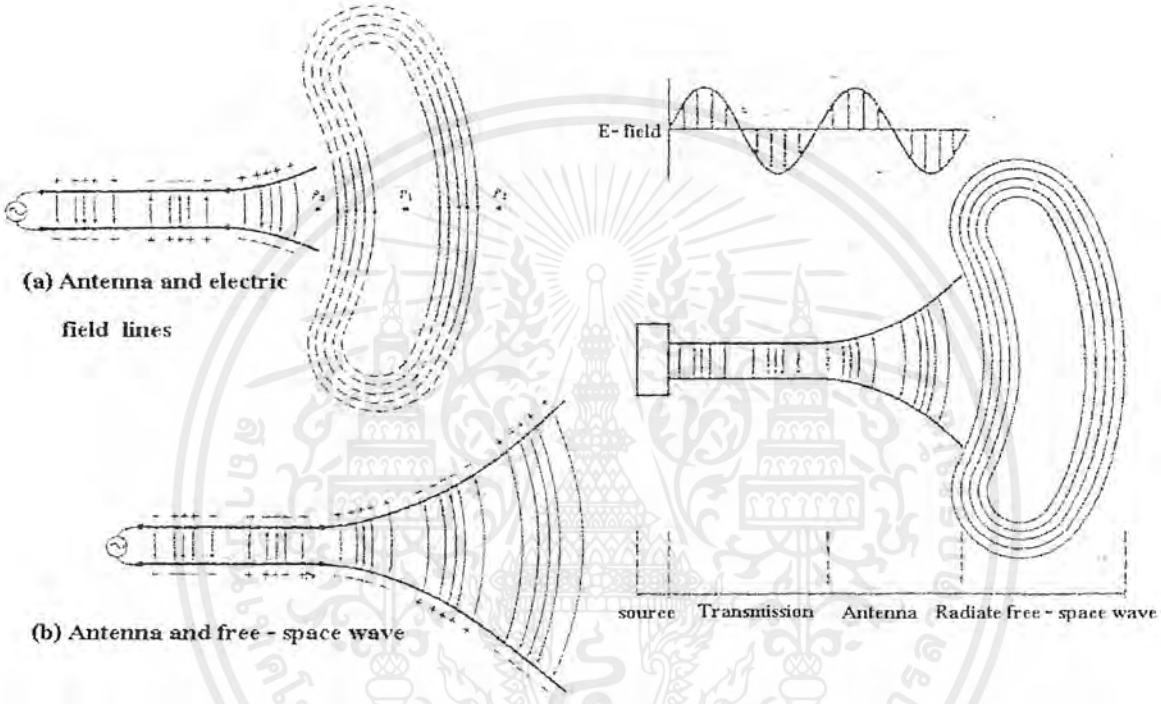
รูปที่ 3.3 รูปทรงของเส้นลวดที่มีการแพร่กระจายเกิดขึ้น

3.1.2 การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวด 2 เส้น

เมื่อพิจารณาดูการต่อ voltage source เข้ากับสายส่งสัญญาณ (transmission line) ชนิดตัวนำสองเส้น ซึ่งต่อกับสายอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.3 (a) เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า (voltage) ตกคล่อมตัวนำ 2 เส้น ในสายส่ง จะทำให้เกิดการสร้างสนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำขึ้น สนามไฟฟ้าจะสัมพันธ์กับเส้นแรงไฟฟ้าโดยสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าในแต่ละจุดและ ความแรงของสนามไฟฟ้าก็จะเป็นสัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับความเข้มสนามไฟฟ้า เส้นแรงไฟฟ้าจะมีความโอนเอียงตามการกระทำของ free electrons และสัมพันธ์กับแต่ละตัวนำและผลักดันให้เกิดการแทนที่ขึ้น นั่นคือการเคลื่อนที่ของประจุจะไปสร้างกระแสที่เป็นผลให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กส่งที่สัมพันธ์กับความเข้มสนามแม่เหล็กก็คือ เส้นแรงแม่เหล็กซึ่งสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็ก



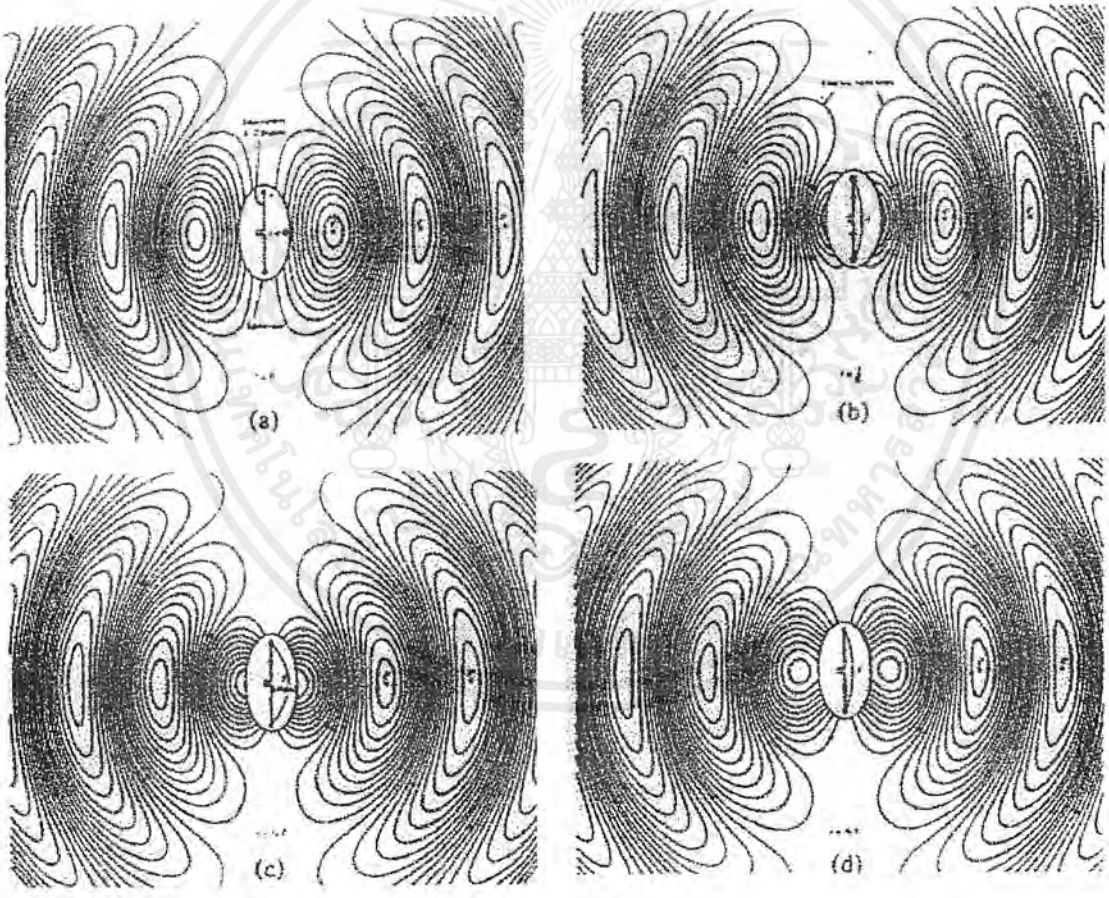
รูปที่ 3.4 แสดงแหล่งกำเนิด สายส่งสัญญาณ สายอากาศ และการดันเส้นสนามไฟฟ้าออกไป

เราจะได้ว่าเส้นแรงไฟฟ้าเริ่มต้นที่ประจุบวกและจบลงด้วยประจุลบ โดยอาจเริ่มต้นด้วยประจุบวกและปลายข้างหนึ่งเป็นอินฟินิตี หรือเริ่มต้นหรือปิดท้ายด้วยประจุใดๆเส้นสนามแม่เหล็กมักจะอยู่ในรูปของ closed loop ที่เป็นวงกลมที่มีกระแสอยู่บนตัวนำ เพราะว่าไม่มีประจุแม่เหล็ก

เส้นแรงไฟฟ้าที่วาดอยู่ระหว่างตัวนำ 2 ตัว เป็นการอธิบายถึงการกระจายของประจุ ถ้าสมมุติว่า voltage source เป็น sinusoidal ก็จะได้ว่าสนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำก็จะเป็น sinusoidal ที่มีช่วงเวลา (period) เท่ากับของ source ที่ป้อนให้ ขนาด (magnitude) ของความเข้มสนามไฟฟ้าจะดูได้จากความหนาแน่นของเส้นแรง ที่มีลูกศรเป็นตัวบอกทิศทางว่า เป็น + หรือเป็น - การสร้างสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กและไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาระหว่างตัวนำที่มีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางไฟตามสายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (a) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเข้าไปยังสายอากาศและสัมพันธ์กับประจุไฟฟ้าและมีลักษณะเดียวกันกับกระแส ถ้าเราเปลี่ยนแปลงส่วนของโครงสร้างสายอากาศ ดังรูปที่ 3.4 (b) คลื่นในอากาศ (free space waves) ก็จะอยู่ในรูปของการต่อปลายเปิดของเส้นไฟฟ้า(แสดงด้วยเส้นประ) คลื่นในอากาศนี้จะออกมาเป็นระยะ ๆ แต่ phase คงที่ที่จุด p0 ก็จะเคลื่อนออกมาข้างหน้าด้วยความเร็วเท่ากับแสงและเดินทางในระยะทาง $\lambda/2$ (ไปยัง P1) ในเวลาครึ่ง period รูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นภาพการสร้างและเดินทางของคลื่นในอากาศที่มีรูปทรงเป็นวงกลมรี ที่มีจุดศูนย์กลางภายในเป็นระยะทาง $\lambda/2$ ซึ่ง λ ก็คือความยาวคลื่น (wavelength) คลื่นในอากาศของสายอากาศ dipole ที่ยาว $\lambda/2$ ซึ่งมีจุดป้อนอยู่ตรงกึ่งกลางสายอากาศจะเป็นที่ยอมรับกัน



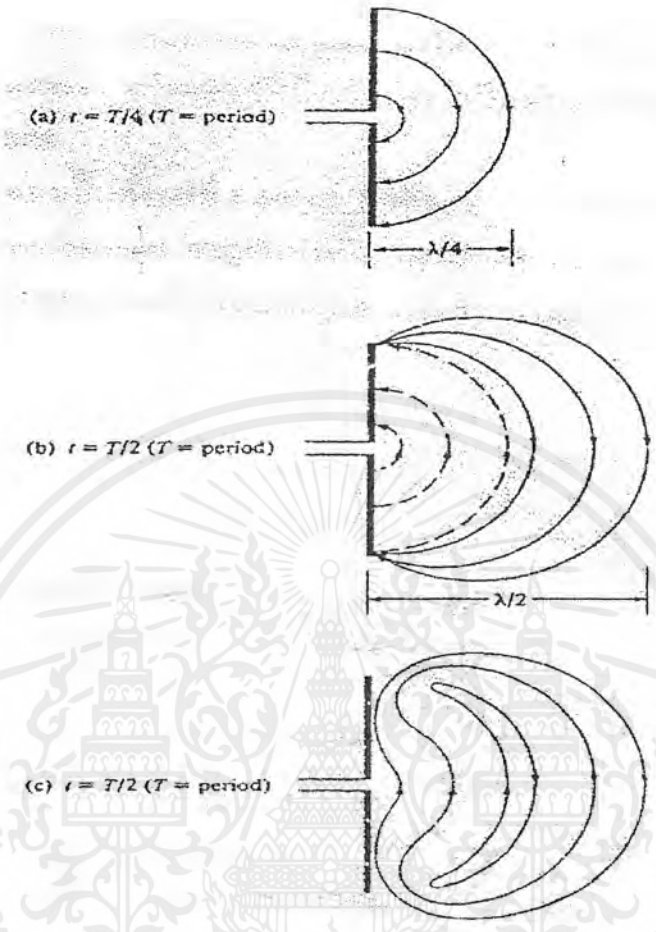
รูปที่ 3.5 เส้นสนามไฟฟ้าของคลื่นในอากาศของสายอากาศที่ยาว $\lambda/2$ ที่เวลา $t = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การแพร่กระจายคลื่นจาก *diploe*

ในการอธิบายเกี่ยวกับวิธีที่เส้นแรงไฟฟ้าที่ถูกดันออกไปจากสายอากาศในรูปของคลื่นในอากาศ (free space wave) จะอาศัยตัวอย่างของสายอากาศ dipole เล็ก ๆ ที่ไม่นำเอาเวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง (ไม่นำมาคิดให้ตัดทิ้งไป) เพราะเวลาที่ใช้นั้นเป็นเพียงการแสดงให้เห็นการเกิดซ้ำ ๆ กันของการปล่อยเส้นแรงออกมา วิธีการคิดแบบง่าย ๆ ก็คือยอมให้อันหนึ่งออกไปในอากาศก่อน ดังรูปที่ 3.6 (a) ซึ่งแสดงเส้นแรงที่ถูกสร้างระหว่างแขนของ dipole เล็ก ๆ ที่มีจุดป้อนอยู่ตรงกลางซึ่งเกิดขึ้นใน 1 period และเกิดในระหว่างเวลาที่ประจุไปถึงค่าสูงสุด (สมมุติว่า-เป็นการเปลี่ยนแปลงของ sinusoidal time) และเส้นมีการเดินทางออกมาข้างหน้าในรัศมีระยะ $\lambda/4$ สำหรับตัวอย่างนี้ สมมุติจำนวนเส้นที่แสดง มี 3 เส้น ระหว่าง $1/4$ period ถัดไปเส้นเดิมทั้ง 3 เส้นจะเดินทางไปในระยะบวกอีก $\lambda/4$ (รวมเป็นระยะ $\lambda/2$ จากจุดเริ่มต้น) และความหนาแน่นของประจุ บนตัวนำจะเริ่มน้อยลง นั่นคือจะเกิดประจุตรงกันข้ามขึ้น ซึ่งที่ปลายของ $1/2$ period แรกมีการลบล้างประจุบนตัวนำ ในระหว่าง $1/4$ period ที่สองของครึ่งแรกเส้นแรงถูกสร้างโดยประจุตรงกันข้ามมี 3 เส้น และเดินทางเป็นระยะ $\lambda/4$ ซึ่งแสดงด้วยเส้นประในรูป 3.6 (b) ผลลัพธ์ ที่ได้คือมี 3 เส้นแรงที่อยู่ข้างหน้าในระยะทาง $\lambda/4$ แรกและอีก 3 เส้นในทิศทางที่ถัดมาในระยะ $\lambda/4$ ที่สอง เนื่องจากไม่มีการรวมประจุทั้งหมดไว้บนสายอากาศดังนั้นเส้นแรงจึงต้องเป็นแรงที่ดันตัวเองออกจากตัวนำและเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันในรูป closed loops ดังแสดงในรูปที่ 3.6 (c) สำหรับส่วน $1/2$ period ที่สองที่เหลืออยู่ก็จะเหมือนกับส่วนแรก แต่มีทิศทางตรงกันข้ามโดยมีกระบวนการซ้ำเดิมและต่อเนื่องกันไปซึ่งก็คือ pattern ของสนามไฟฟ้า คล้ายรับรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 รูปแบบและการดันของเส้นสนามไฟฟ้าของ dipole ขนาดสั้น

3.2 การกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพล

การเคลื่อนที่ของ free electrons บนตัวนำที่เป็นสายส่งและสายอากาศ จะทำให้เกิดกระแสบนตัวนำนั้น กระแสที่เกิดขึ้นจะมีการกระจายไปบน linear dipole และต่อมาก็จะแพร่กระจายออกไป ครั้งแรกเราเริ่มต้นด้วยทรงเลขาคณิตของสายส่งที่เป็นลวดตัวนำ 2 เส้น ที่ไม่มีการสูญเสียใด ๆ แสดงดังรูปที่ 3.7 (a) การเคลื่อนที่ของประจุจะไปสร้างกระแสคลื่นเดินทาง (traveling wave current) ขนาด (magnitude) ของกระแสคลื่นเดินทางจะเป็น $I_0/2$ และอยู่ในแต่ละเส้นลวด เมื่อกระแสไปถึงแต่ละปลายของเส้นลวดก็จะมีการสะท้อนกลับ (ขนาดเท่ากันและมี phase กลับกัน 180°) คลื่นเดินทางสะท้อนกลับ (reflected traveling wave) เมื่อไปรวมกับคลื่นเดินทางตกกระทบ (incident traveling wave) ที่เข้ามาจะเกิดเป็นคลื่นนิ่ง (standing wave) โดยที่ pattern ของคลื่นอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

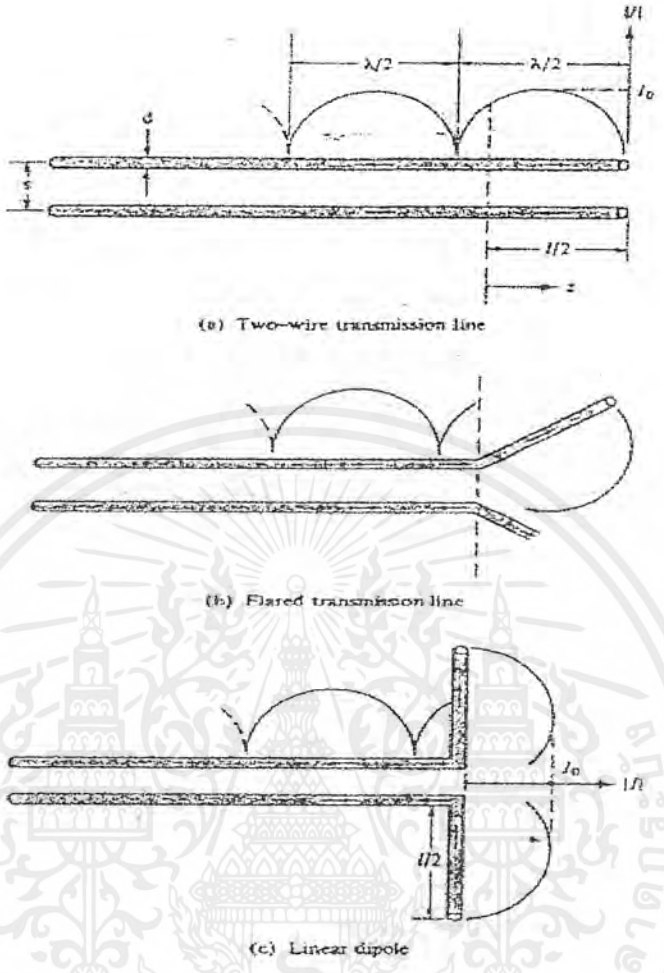
รูปของ sinusoidal แสดงดังรูปที่ 3.7 (a) กระแสในแต่ละเส้นลวดจะมี phase กลับกัน 180° กับครึ่ง cycles ที่อยู่ติดกัน การแพร่กระจายจากแต่ละเส้นลวดเดี่ยว ๆ จะเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเวลาของกระแสและเนื่องจากการต่อสายของเส้นลวดด้วย

สำหรับสายส่งชนิดเส้นลวด 2 เส้นที่สมดุลกัน (ได้สัดส่วนกัน) กระแสในครึ่ง cycle ของเส้นลวดเส้นหนึ่งจะมีขนาดเดียวกันแต่ ต่าง phase กัน 180° กับครึ่ง cycle ของเส้นลวดอีกเส้น ถ้าระยะห่างระหว่างลวด 2 เส้นสั้นมาก ๆ $(s << \lambda)$ สนาม ที่แพร่กระจายที่เกิดจากกระแสในแต่ละเส้นลวดก็จะไม่มีเพราะเกิดการหักล้างกัน ผลลัพธ์ที่ได้คือทั้งหมดเป็นเพียงสายส่งในอุดมคติที่ไม่มีการแพร่กระจาย

ในส่วนของสายส่งที่ $0 \le z \le l/2$ ให้ทำการถ่างเส้นลวดทั้งสองออก แสดงดังรูปที่ 3.7 (b) ในลักษณะเช่นนี้ สมมุติว่าการกระจายของกระแสในแต่ละเส้นลวดไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เลย ซึ่งส่วนที่ถ่างออกของเส้นลวดทั้งสองนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องต่อปลายติดกัน สนามที่แพร่กระจายโดยลวดหนึ่งเส้นก็จะไม่ไปหักล้างกับอีกเส้นหนึ่ง ฉะนั้นในอุดมคติจึงมีการแพร่กระจายทั้งหมดเกิดขึ้นในระบบสายส่ง

ถ้าเราถ่างส่วนของเส้นลวดทั้งสองเป็นดังรูปที่ 3.7 (c) ซึ่งก็จะได้รูปร่างทางเรขาคณิตเป็นสายอากาศ dipole ซึ่ง pattern ของกระแสคลื่นนิ่ง (standing wave current) จะถูกแบ่งเป็นประเภทเดียวกับคลื่นนิ่งในสายอากาศ ฉะนั้นถ้าให้ $l < \lambda$ phase ของ pattern ของกระแสคลื่นนิ่งในแขนแต่ละข้างจะเหมือนกันและก็จะผ่านออกไปตามความยาวของแขนนั้นโดยมีทิศทางเหมือนกัน คือไปทางด้านปลาย

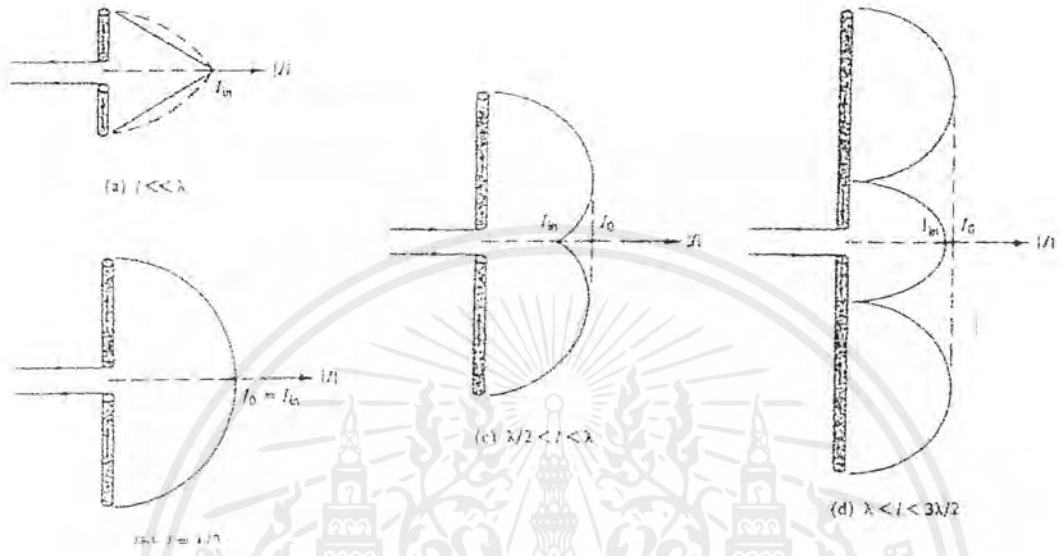
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การกระจายกระแสบนสายส่ง ชนิดเส้นลวด 2 เส้น ที่ไม่มีการสูญเสียใดๆ สายส่งที่ถ่างออก และบน linear dipole

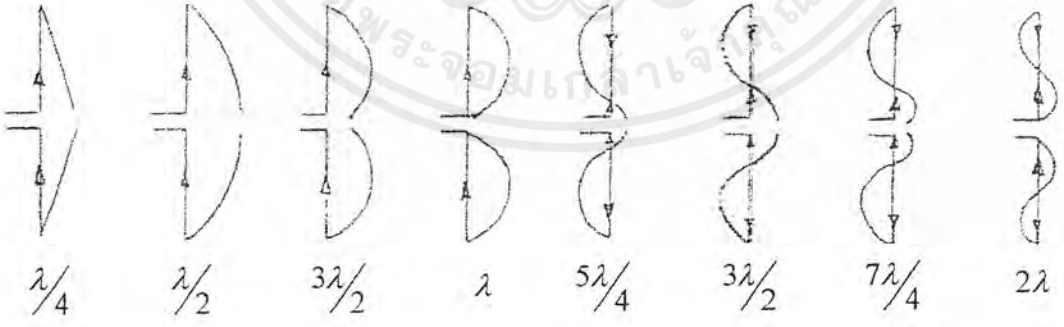
ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดมีขนาดเล็กมาก ๆ $(d << \lambda)$ pattern ของคลื่นนิ่งในอุดมคติของกระแสที่ไปตามแขนของ dipole จะเป็น sinusoidal ที่มีไม่มีค่าที่ปลาย เมื่อ $l << \lambda$, $l = \lambda/2$, $\lambda/2 < l < \lambda$ และ $\lambda < l < 3\lambda/2$ pattern ของกระแสแสดงดังรูปที่ 3.8 a - b ส่วน pattern ของกระแส dipole ที่มีขนาดเล็กมาก ๆ (ปกติ คือ $\lambda/50 < l < \lambda/10$) จะประมาณได้ว่าเป็นการกระจายแบบสามเหลี่ยม ที่ซึ่ง sin $(kl/2 = kl/2)$ มีขนาดเล็กมากๆ ดังรูปที่ 3.8 (a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การกระจายกระแสบน

การแจงรูปกระแสของสายอากาศ dipole ชนิดผอมบาง ที่ความยาวต่าง ๆ โดยมีจุดป้อนอยู่ตรงกลางสายอากาศ (center feeding) แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การแจงรูปกระแสในสายอากาศ dipole ที่ความยาวต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

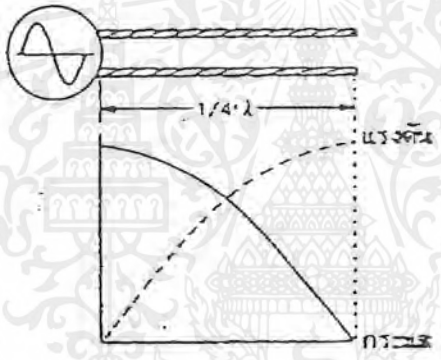
3.3 สายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น

3.3.1 หลักการของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น

รูปที่ 3.10 แสดงสายนำสัญญาณชนิดสมดุลความยาว $\lambda/4$ แบบวงจรเปิดจะเป็นว่าคลื่นที่ออกจากเครื่องส่งผสมกับคลื่นสะท้อนได้ผลลัพธ์เป็นคลื่นนิ่ง ความจริงแล้วพลังงานบางส่วนที่ออกไปยังปลายด้านเปิดวงจรจะแพร่กระจายคลื่นออกอากาศไปได้ในปริมาณที่น้อย เนื่องจาก

1. สภาพแวดล้อมซึ่งเป็นโหลดของสายนำสัญญาณไม่แมตช์ ทำให้พลังงานจ่ายให้โหลด (ส่งออกอากาศ) ได้น้อย

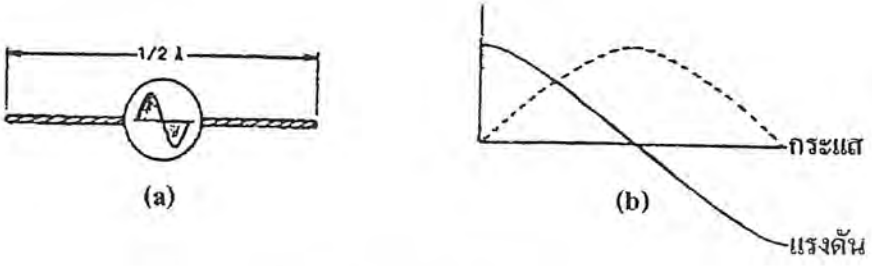
2. สายทั้ง 2 เส้นอยู่ใกล้กันมาก การแพร่กระจายจะน้อย เพราะสัญญาณที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นตัวนำต่าง phase กัน 180° ทำให้คลื่นนี้แพร่กระจายออกไปส่วนใหญ่จะหักล้างกันเอง



รูปที่ 3.10 การกระจายแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$ ซึ่งมีโหลดเป็นวงจรเปิด

ถ้าเราถ่างปลายสายนำสัญญาณให้ห่างเป็น 2 เส้น การแพร่คลื่นทั้งคู่ จะมีโอกาสหักล้างกันได้น้อยและนอกจากนี้ พลังงานที่จ่ายโหลด (ส่งออกอากาศ) จะได้จากการแพร่คลื่นจะเพิ่มขึ้นเต็มที่ เมื่อปลายสายอยู่ในแนวเดียวกันตามรูปที่ 3.11 (a) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะกระจายออกไปรอบ ๆ ทำให้การแพร่คลื่นออกได้เต็มที่ สายอากาศชนิดนี้เรียกว่า ไดโพล ความยาวของสายแต่ละข้างเท่ากับ $\lambda/4$ และความยาวรวมเท่ากับ $\lambda/2$ ไดโพลชนิดนี้จึงเรียกว่า ไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

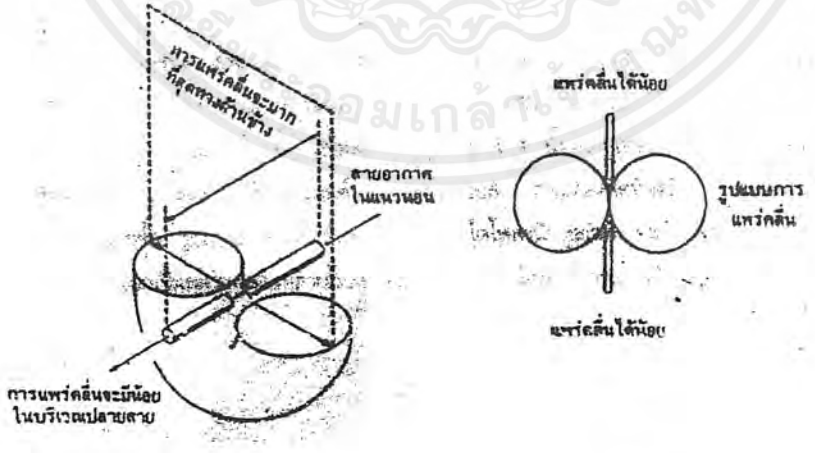
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

รูปคลื่นนิ่งของแรงดันและกระแสบนสายอากาศไดโพลจะเป็นดังรูปที่ 3.11(b) สังเกตว่าปลายทั้งสองของสายอากาศเหมือนเปิดวงจร แรงดันจึงมากที่สุด และมีกระแสไหลน้อยที่สุด จุดกึ่งกลางของสายอากาศซึ่งเรียกว่า จุดฟีด (feed point) มีกระแสไหลมากที่สุด และแรงดันต่ำที่สุด ดังนี้ อิมพิแดนซ์ของไดโพลชนิด ฮาล์ฟเวฟ น่าจะมีค่าศูนย์ แต่ความจริงค่าอิมพีแดนซ์จะเท่ากับ 73 โอห์ม ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานบางส่วนสูญเสียในการแผ่คลื่นออกไป และไม่สะท้อนกลับ

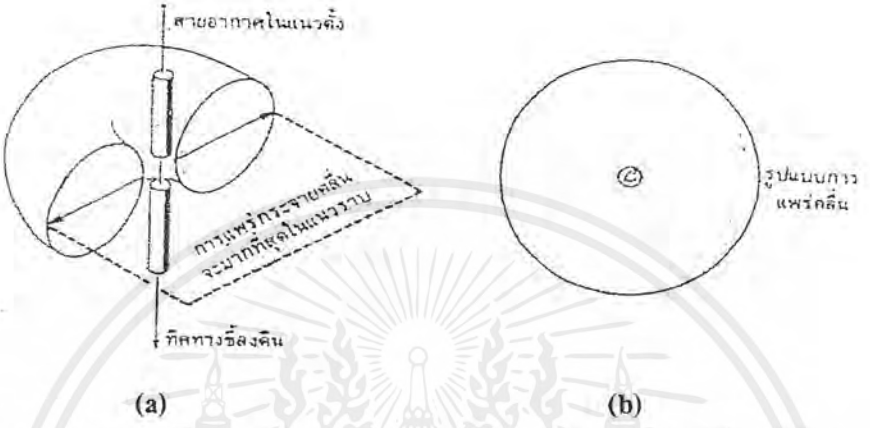
3.3.2 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น (Half wave dipole)



รูปที่ 3.12 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟซึ่งวางตัวในแนวราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.12 (a) แสดงให้เห็นรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟที่วางตัวในแนวราบ สังเกตว่าการแพร่คลื่นจะมากที่สุดด้านข้าง (broadside) และน้อยที่สุดทางปลายสาย รูปที่ 3.12 (b) แสดงการผลิต

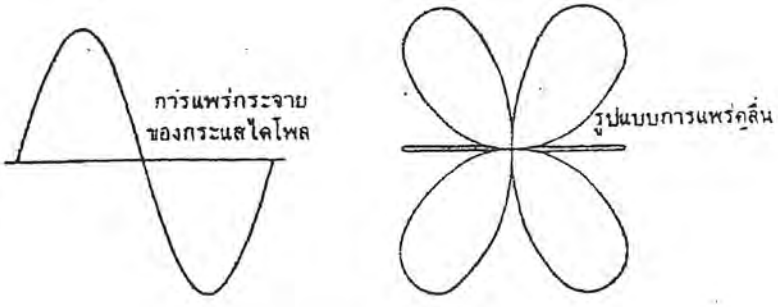


รูปที่ 3.13 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟที่วางตัวในแนวดิ่ง

สำหรับในรูปที่ 3.13 (a) เป็นรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศชนิดเดิม แต่วางตัวในแนวดิ่งสังเกตว่าในกรณีนี้ การแพร่คลื่นจะเท่ากันหมดในทิศทางรอบตัวของสายอากาศ ส่วนการแพร่คลื่นจะน้อยที่สุดในทิศทางชี้ขึ้นฟ้าและลงดินของสายอากาศ เมื่อเขียนกราฟแสดงรูปแบบการแพร่คลื่นลงบนระนาบในแนวราบจะได้เป็นวงกลม เพราะมีการแพร่คลื่นไปรอบ ๆ ตัวของสายอากาศเท่ากัน

สายอากาศไดโพลที่มีความยาว $\lambda/2$ จะทำงานเป็นสายอากาศชนิดฮาล์ฟเวฟ เมื่อความถี่สูงขึ้นสายอากาศจะทำงานเปลี่ยนไปเนื่องจากความยาวของสายอากาศเทียบกับความยาวคลื่น λ จะได้ค่ายาวขึ้น เช่น สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ จะทำงานเป็นสายอากาศไดโพลชนิดฟูลเวฟ (full - wave) เมื่อความถี่เพิ่มเป็น 2 เท่า (คือเป็นความถี่ฮาร์โมนิกที่ 2) การแพร่กระจายของกระแสบนไดโพลชนิดฟูลเวฟจะเป็น ดังรูปที่ 3.14 (a) สังเกตว่ากระแสจะไหลน้อยที่สุดที่ตรงกลาง นั้นคือ สายอากาศชนิดนี้จะมีอิมพีแดนซ์สูงที่จุดกลาง ถ้าเราต้องการให้อิมพีแดนซ์ ณ จุดฟีดน้อยลง เราจะต้องฟีดที่จุดอื่น โดยเลื่อนไปยังจุดที่มีกระแสไหลมากขึ้น รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดฟูลเวฟ จะเป็นดังรูปที่ 3.14 (b) สังเกตว่ารูปจะแตกออกเป็นหลายพูหรือหลายโหลบ (lobe) ทั้งนี้เนื่องจากการแพร่กระจายกระแสบนลวดไดโพลนั่นเอง

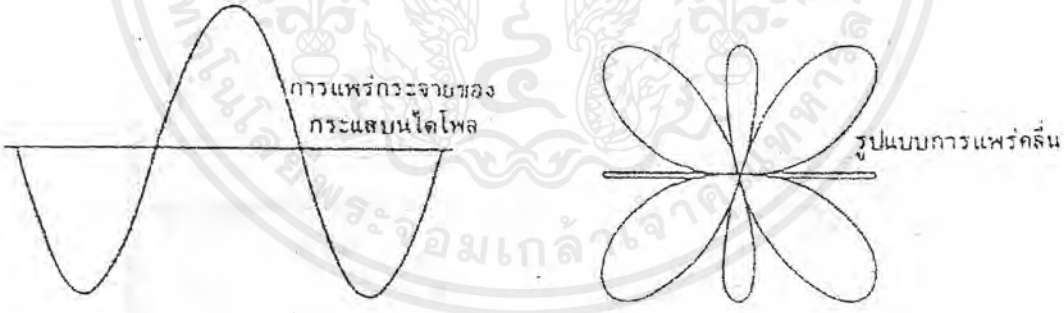
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) (b)

รูปที่ 3.14 สายอากาศไดโพลชนิดฟูลเวฟ

ถ้าเรานำสายอากาศชนิดฮาล์ฟเวฟมาใช้งานที่ความถี่ฮาร์มอนิกที่สาม ดังรูปที่ 3.14 การแพร่กระจายกระแสบนลวดไดโพลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (เนื่องจากความยาวของไดโพลจะเป็น $1\frac{1}{2}$ เท่าของความยาวคลื่น) ดูรูปที่ 3.15 (a) กระแสจะมากที่สุดบริเวณจุดกลางของสายอากาศ ฉะนั้น ณ จุดฟีด อิมพีแดนซ์จะมีค่าต่ำแต่ รูปแบบของการแพร่คลื่นจะมีจำนวนโหลบมากขึ้นไปอีกดังในรูปที่ 3.15(b) โดยเพิ่มเป็นโหลบเล็ก ๆ 2 โหลบ ทางด้านข้างของสายอากาศ



(a) (b)

รูปที่ 3.15 สายอากาศไดโพลชนิด 1.5 λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การนำไปใช้งานของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น (*Half-wave*)

สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟเป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ความยาวของสายอากาศเท่ากับ $\lambda/2$ ที่ความถี่ใช้งาน ซึ่งเราคำนวณความยาวได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\lambda = \frac{299{,}800{,}000}{f} \qquad \frac{m}{H_z} \qquad (3.6)$$

ในที่นี้ λ คือ ความยาวคลื่นหน่วยเป็น m

f คือ ความถี่ใช้งานมีหน่วยเป็น H_z

$\therefore$ ความยาวของสายอากาศจึงมีค่าเท่ากับ

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{299{,}800.000}{2f} = \frac{149.9}{f_{MHz}} \qquad m \quad (3.7)$$

หรือ

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{491.8}{f_{MHz}} \qquad feet \qquad (3.8)$$

สูตรนี้ใช้คำนวณในกรณีที่คลื่นเดินทางในอากาศ (free space) หรือในกรณีที่คลื่นเดินทางในเส้นลวดสายอากาศ ปลายของเส้นลวดเสมือนมีความยาวทางไฟฟ้ามากกว่าปกติ (ทั้งนี้เนื่องจากเสมือนมีตัวเก็บประจุต่อที่ปลายสาย) สูตรคำนวณความยาวสายอากาศจึงต้องแก้ไขเล็กน้อยจึงคูณด้วย factor k ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.95

$$\therefore \quad \frac{\lambda}{2} \cong \frac{142.4}{f_{MHz}} \qquad \text{มีหน่วยเป็น } m \qquad (3.9)$$

$$\text{หรือ} \qquad \frac{\lambda}{2} \cong \frac{467.2}{f_{MHz}} \qquad \text{มีหน่วยเป็น } feet \qquad (3.10)$$

สูตรข้างต้นเป็นสูตรที่แก้ไขความจุที่ปลายสายอากาศแล้ว ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นการคำนวณหาความยาวของสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ สำหรับใช้งานที่ความถี่ 7 เมกะเฮิรตซ์ โดยใช้สูตรดังกล่าวนี้

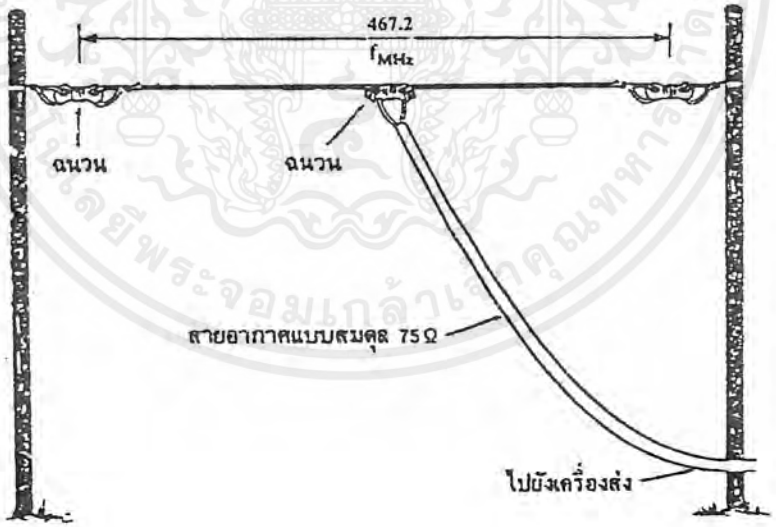
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความยาว } \frac{\lambda}{2} \text{ เป็นฟุต} = \frac{467.2}{f_{MHz}}$$

$$= \frac{467.2}{7} = 66.74 \; feet$$

ในรูปที่ 3.16 แสดงตัวอย่างการติดตั้งสายอากาศไดโพล สังเกตว่าจุดฟีดจะอยู่บริเวณตรงกลางในที่นี้ใช้สายนำสัญญาณแบบสมดุล 75 โอห์ม เพื่อให้เกิดการแมตช์กับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น 73 โอห์ม

เราอาจใช้สายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล ซึ่งมีสมดุลเป็นสายฟีดให้แก่ไดโพลก็ได้ โดยต่อเส้นกลางของโคแอกเซียลเข้ากับสายอากาศข้างหนึ่ง ส่วนเส้นชีลด์ต่อกับสายอากาศอีกข้างหนึ่ง อย่างไรก็ตามเนื่องจากสายโคแอกเซียลเป็นชนิดไม่สมดุลแต่ไดโพลเป็นชนิดสมดุล (เพราะสร้างจากสายนำสัญญาณชนิดสมดุลยาว $\lambda/4$) ประสิทธิภาพการแพร่คลื่นจะสูญเสียไปบ้าง การแพร่กระจายของแรงดันและกระแสบนสายอากาศจะผิดปกติ เพราะมีกระแส RF ไหลในเส้นชีลด์ของสายโคแอกเซียล ทำให้การแพร่คลื่นเกิดขึ้นบนสายโคแอกเซียลด้วย



รูปที่ 3.16 การติดตั้งสายอากาศไดไพลชนิดฮาล์ฟเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีแก้ไขทำได้โดยการแก้สมดุลให้เป็นแบบเดียวกัน อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่า บาลัน (balun) ย่อมาจาก balanced to unbalanced transformer) ดังในรูปที่ 3.17 ในที่นี้บาลันจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นกลางระหว่างสายอากาศไดโพล 2 ข้าง จะเห็นว่าลวดที่ต่อกับไดโพลจะแยกออก 2 ข้าง ส่วนสายโคแอกเซียลต่อกับขั้วต่อ (connector) ตรงกลาง

รูปที่ 3.17 แสดงบาลันชนิด 1:1

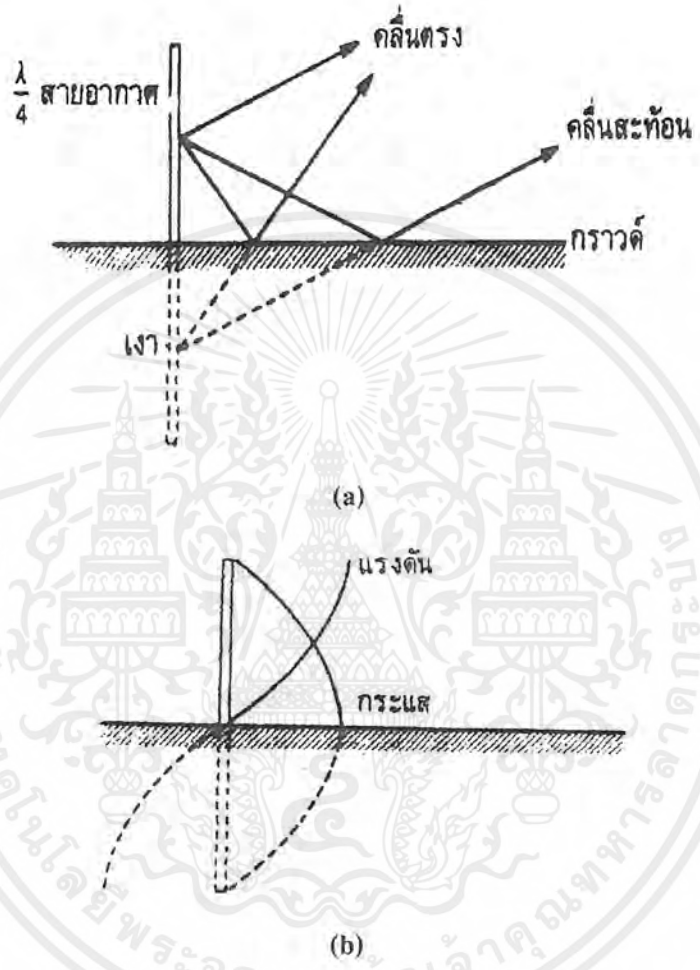
3.3.3.1 สายอากาศในแนวดิ่ง

ในกรณีที่ต้องการให้คลื่นมีโพลาไรเซชั่นในแนวดิ่ง เราจะต้องใช้สายอากาศที่วางตัวในแนวดิ่งอย่างไรก็ตาม การใช้งานที่ความถี่ต่ำ สายอากาศจะมีความยาวจนทำให้การติดตั้งลำบาก การจัดให้วางตัวในแนวดิ่งจะยุ่งยากขึ้น เช่น ที่ความถี่ 3.5 เมกะเฮิรตซ์ สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟจะยาวถึง 41 เมตร และที่ความถี่ 1.8 เมกะเฮิรตซ์ จะยาวเป็น 79 เมตร การติดตั้งจึงทำได้ลำบาก เพราะต้องยกสายอากาศให้ลอยสูงจากพื้นดินมาก

อย่างไรก็ตามถ้าหากเราวางเส้นลวด (สายอากาศ) ที่มีความยาวเท่ากับ $\lambda/4$ (วางในแนวดิ่ง) บนระนาบตัวนำเพื่อทำหน้าที่เป็นกราวด์ (perfect ground) ผลลัพธ์ที่ได้จะเสมือนกับใช้สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟวางตัวในแนวดิ่ง ทั้งนี้ก็เพราะว่าระนาบกราวด์ดังกล่าวเปรียบเสมือนกระจกที่ทำให้เกิดเป็นลวดสายอากาศอีกเส้นหนึ่งยาวเท่ากับ $\lambda/4$ รวมความยาวทั้ง 2 ข้างเป็น $\lambda/2$ ดังรูปที่ 3.18 (a) แรงดันและกระแสจะแพร่กระจายบนลวดตัวนำในลักษณะเดียวกับสายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ ในรูปที่ 3.18 (b) สายอากาศแนวดิ่งดังกล่าว จะทำงานได้ดีก็ต่อเมื่อพื้นกราวด์เป็นตัวนำ ถ้าหากเราติดตั้งสายอากาศแนวดิ่งบนพื้นดินที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำที่ไม่ดี เราอาจจะต้องสร้างพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

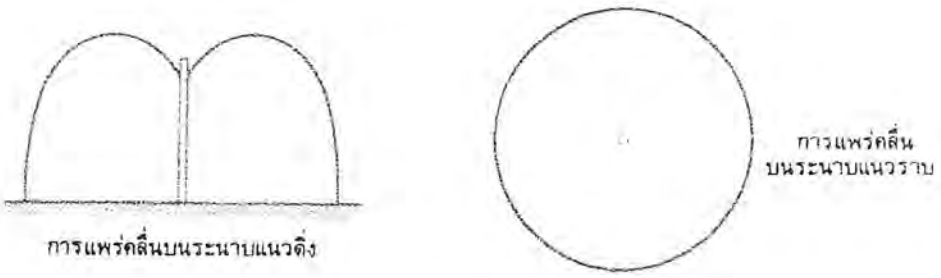
กราวด์พิเศษเพิ่มอีกโดยการต่อเส้นลวดทองแดงออกจากฐานของสายอากาศไปรอบทิศทาง(อย่างน้อย 4 ทิศทาง) ให้สมมาตรกัน เส้นลวด (radial) นี้จะทำหน้าที่เป็นเสมือนกราวด์ให้แก่สายอากาศ



รูปที่ 3.18 สายอากาศแนวดิ่งชนิดควอเตอร์เวฟ ($\lambda/4$)

รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศแนวดิ่งชนิดควอเตอร์เวฟ จะเป็นดังในรูปที่ 3.19 การแพร่คลื่นจะออกไปเท่า ๆ กันในแนวราบ เรียกว่า รอบตัว (omnidirection) ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ดี เราสามารถเขียนรูปแบบของการแพร่คลื่นบนระนาบแนวราบได้เป็นวงกลมดังรูปที่3.19(b) ส่วนการแพร่คลื่นที่มองบนระนาบในแนวดิ่งจะแผ่ออกทางด้านข้างดังในรูปที่ 3.19(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 รูปแบบการแพร่คลื่นสายอากาศชนิดควอเตอร์เวฟที่วางตัวในแนวดิ่ง

สายอากาศแนวดิ่งชนิดควอเตอร์เวฟจะมีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ประมาณ 36 โอห์ม เมื่อใช้กราวด์มีคุณภาพดี เนื่องจากสายอากาศเป็นแบบไม่สมดุล เพราะสายอีกข้างหนึ่งคือกราวด์ ฉะนั้นจึงใช้กับสายโคแอกเซียลได้โดยไม่ต้องมีบาลัน เส้นกลางของสายโคแอกเซียลนั้นต่อกับลวดสายอากาศ ส่วนเส้นชีลด์ต่อกับกราวด์ (หรือระบบสายดิน) ได้เลย

3.3.3.2 การต่อสายอากาศเป็นแผงแอเรย์ (Array)

ในบางครั้ง เราจำเป็นต้องจำกัดทิศทางการแพร่คลื่นของสายอากาศให้อยู่ในขอบเขตที่ต้องการทั้งนี้เพื่อไม่ให้รบกวนไปยังสถานีอื่นหรือถูกรบกวนจากสถานีอื่นได้ง่าย วิธีการจำกัดคลื่นให้แพร่ไปในทิศทางที่ต้องการนี้ เป็นการประหยัดกำลังงานเพราะไม่ต้องสิ้นเปลืองกำลังเพื่อส่งคลื่นไปยังบริเวณที่ไม่มีเครื่องรับ

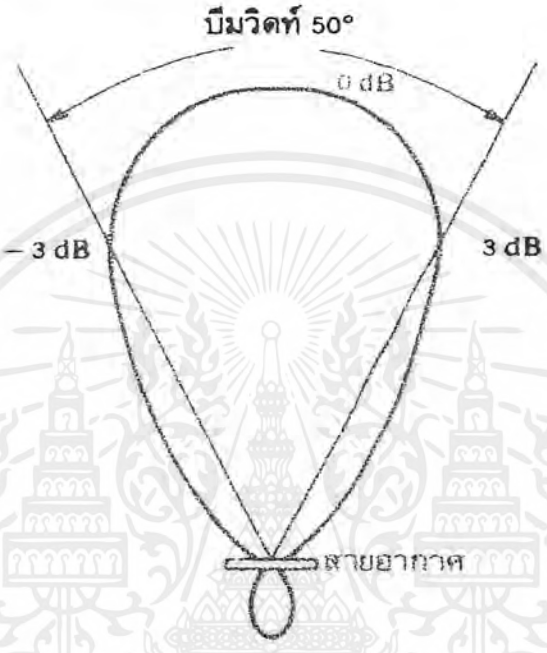
รูปแบบของการแพร่คลื่นไปในทิศทางเดียว เราเรียกว่า บีมทางเดียว (unidirectional) ส่วนรูปแบบการแพร่คลื่นออกไป 2 ทางเหมือนกับไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ เราเรียกว่า บีมสองทาง (bidirectional)และการแพร่คลื่นที่ออกไปรอบตัวแบบเดียวกับสายอากาศแนวดิ่ง เราเรียกว่าบีมรอบตัว

สำหรับสายอากาศแบบมีทิศทาง เราสามารถวัดความคมของบีมในทิศทางนั้น ๆ ได้โดยการวัดมุม เรียกว่า บีมวิดท์ ซึ่งเป็นค่าความกว้างของมุมระหว่างจุดที่รับสัญญาณได้ตกลง 3 เดซิเบล เทียบกับจุดที่รับ สัญญาณได้สูงสุด ดังรูปที่ 3.20 ในที่นี้เราวัดมุมได้ 50 องศา

ระบบสายอากาศที่มีบีมวิดท์แคบ ส่วนใหญ่จะมีเกนสูง เนื่องจากกำลังของคลื่นวิทยุอัดกันอยู่ในบีมแคบ ๆ ความแรงสัญญาณในแนวของบีมจึงมากกว่าเมื่อเทียบกับความเรงสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศรอบตัว ดังนั้นกำลังที่ส่งออกจากเครื่องส่งจึงเสมือนกับว่ามีกำลังแรงขึ้นเท่ากับอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายของสายอากาศอัตราขยายของสายอากาศคิดจากอัตราส่วนของกำลังที่ใช้ในการกระทำให้เกิดความแรงสัญญาณ ณ จุด ๆ หนึ่ง โดยใช้สายอากาศมาตรฐานกับกำลังที่ใช้ในการทำให้เกิดแรงสัญญาณ ณ จุดนั้น ๆ สายอากาศที่นิยมยึดถือเป็นมาตรฐานอ้างอิงก็คือ สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ (หรือสายอากาศแนวดิ่งชนิดควอเตอร์เวฟ)



รูปที่ 3.20 การวัดบีมวิดท์ของสายอากาศทิศทาง

ถ้าเราใช้สายอากาศชนิดที่มีเกน กำลังส่งของเครื่องส่งจึงเสมือนกับว่ามีค่ามากขึ้น ค่ากำลังส่งที่มากขึ้นนี้เรียกว่า กำลังส่งประสิทธิผล (effective radiated power หรือ ERP)เราสามารถคำนวณค่า ERP ได้เมื่อเราทราบค่ากำลังส่งของเครื่องส่ง การสูญเสียในสายนำคลื่นและเกนของสายอากาศ เช่น สมมติว่า เครื่องส่งมีกำลังส่ง 100 วัตต์ สายนำสัญญาณสูญเสียไป 10 วัตต์ และอัตราขยายของสายอากาศเท่ากับ 10 เท่า ค่า ERP จะเท่ากับ

กำลังส่งของเครื่องส่ง	100	วัตต์
หักสูญเสียในสายนำสัญญาณ	10	วัตต์
เหลือกำลังที่ป้อนให้สายอากาศ	90	วัตต์
อัตราขยายของสายอากาศ	10	เท่า
$\therefore$ ERP = (100 - 10) × 10 = 900		วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือกำลังส่งประสิทธิผลของระบบเท่ากับ 900 วัตต์ ซึ่งก็หมายความว่า ถ้าใช้สายอากาศไม่มีอัตราขยายเราต้องใช้กำลังส่งถึง 900 วัตต์ จึงจะรับสัญญาณ ณ จุดใด ๆ ได้เท่ากับใช้สายอากาศมีอัตราขยายกับเครื่องส่ง 100 วัตต์ (สมมติการสูญเสียในสายนำสัญญาณคงเดิม)

ถ้าเรานำสายอากาศหลาย ๆ ชุดมาต่อเรียงแถวเป็นแผง เรียกว่าเป็นแอเรย์ อัตราขยายของสายอากาศจะมากขึ้น และสามารถควบคุมทิศทางการแพร่คลื่นได้

3.3.3.3 พาราซิติกแอเรย์ (Parasitic element)

สายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้ากับสายนำสัญญาณ แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวมันได้ เรียกว่า ตัวพาราซิติก (parasitic element) ดังในรูปที่ 3.21 ตัวพาราซิติกวางห่างจากไดโพลเป็นระยะเท่ากับ $\lambda/4$ ไดโพลนี้เรียกว่า ตัวถูกขับ (driven element) ทั้งตัวพาราซิติกกับตัวถูกขับ มีความยาวเท่ากับ $\lambda/2$ จึงเรโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งาน รูปแบบการแพร่คลื่นของตัวถูกขับ(ไดโพล) จะเป็นแบบบีม 2 ทาง ออกทางด้านข้างของสายอากาศ สายอากาศที่ใช้งานร่วมกับตัวพาราซิติกเราเรียกว่าพาราซิติกแอเรย์

รูปที่ 3.21 สายอากาศไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟ (ใช้เป็นตัวถูกขับ) ต่อเรียงกับตัวพาราซิติกเป็นแอเรย์

พิจารณาการเดินทางของคลื่นเข้าสู่สายอากาศ สมมติว่าเข้ามาในทิศทางที่ถึงตัวไดโพลก่อน จะเห็นว่าคลื่นเดินทางถึงตัวพาราซิติกเป็นระยะทางแตกต่างเลยจากตัวถูกขับอยู่ $\lambda/4$ ฉะนั้นกว่าที่จะถึงตัวพาราซิติก เฟสของคลื่นจะเปลี่ยนไป 90° พอคลื่นไปถึงตัวพาราซิติกก็จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสบนตัวนำพาราซิติก ซึ่งมีเฟสกลับทางไปอีก 180° (ตรงข้ามกับคลื่นที่ไปเหนี่ยวนำตัวมัน) กระแสที่ไหลในตัวพาราซิติกจะแพร่คลื่นออก คลื่นส่วนหนึ่งจะแพร่กลับมาทางตัวถูกขับซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องเดินทางเป็นระยะทาง $\lambda/4$ อีก เฟสจะเลื่อนไปอีก 90° รวมทั้งสิ้นเฟสจะเลื่อนไป 90+180+90 เท่ากับ 360° คลื่นที่แพร่จากตัวพาราซิติกจึงเสริมกับคลื่นที่เดินทางมาทางด้านไดโพล ฉะนั้นการแพร่คลื่นในทิศทางที่เข้ามาทางตัวไดโพลจะดีที่สุด ทิศทางนี้เป็นด้านหน้าของสายอากาศ ตัวพารา - ซิติกในที่นี้ทำงานเหมือนตัวสะท้อนคลื่น จึงเรียกว่ารีเฟลกเตอร์ (reflector)

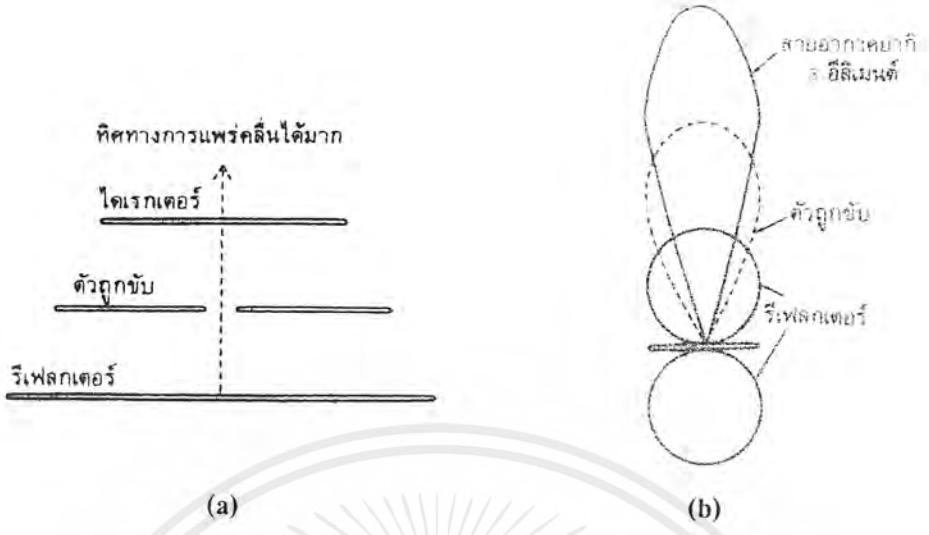
สำหรับทิศทางด้านหลังของสายอากาศ คลื่นจะถึงตัวรีเฟลกเตอร์ก่อนถึงไดโพล (ถูกขับ) ทำให้เฟสต่างกันอยู่ 90° แต่คลื่นที่เหนี่ยวนำบนรีเฟลกเตอร์แพร่ไปยังไดโพลจะมีการกลับเฟส 180° และ เฟสล้าหลังเนื่องจากการเดินทางไปทางไดโพลอีก 90° รวมแล้วเฟสของคลื่นที่เดินทางไปถึงตัวไดโพลกับคลื่นที่แพร่จากตัวรีเฟลกเตอร์จะต่างกันอยู่ –90+180+90 เท่ากับ 180° ทำให้เกิดการหักล้างกัน ฉะนั้นการแพร่คลื่นที่ทิศทางด้านหลังจะได้น้อยที่สุด

รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศที่ใช้ร่วมกับตัวพาราซิติก จะขึ้นอยู่กับปริมาณและเฟสของกระแสที่ไหลในตัวหารพาราซิติก กระแสที่จะได้รับการเหนี่ยวนำจากคลื่นที่มากระทบตัวพารา - ราซิติกนั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของตัวพาราซิติกและระยะห่างจากตัวถูกขับ โดยปกติแล้วการวัดระยะห่างของตัวรีเฟลกเตอร์มักจะอยู่ห่างจากตัวถูกขับอยู่ในช่วง 0.18λ ถึง 0.2λ ส่วนความยาวของตัวรีเฟลกเตอร์มักจะยาวกว่า $\lambda/2$ อีกประมาณ 5 %

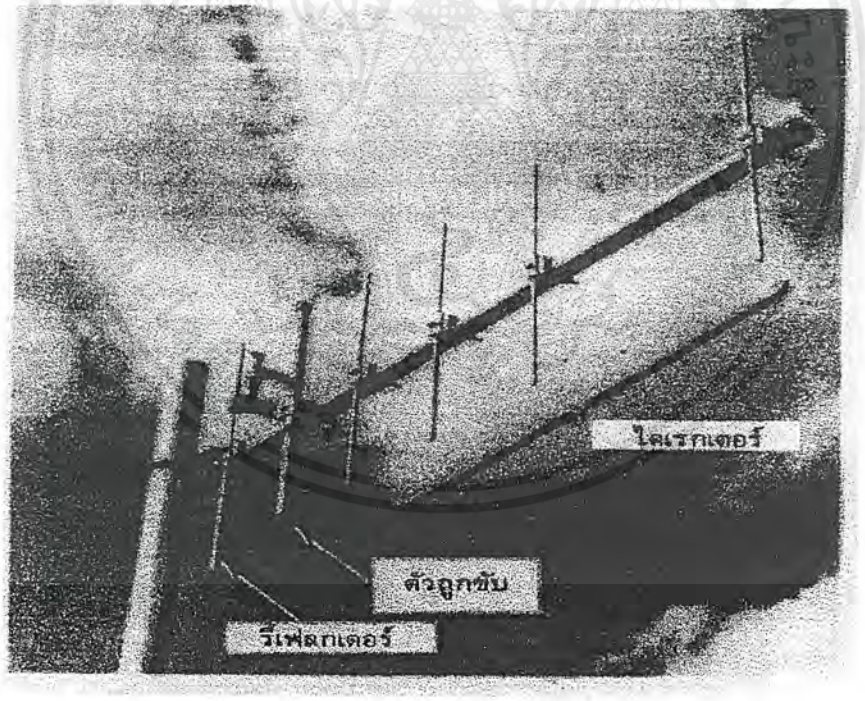
ตัวพาราซิติกอีกแบบหนึ่งซึ่งวางอยู่ทางด้านหน้าของสายอากาศ ทำงานคล้าย ๆ กับตัวรี - เฟลกเตอร์เรียกว่า ไดเรกเตอร์ (directer) ความยาวของ ไดเรกเตอร์จะสั้นกว่า $\lambda/2$ ประมาณ 5% และความยาวของไดเรกเตอร์จะอยู่ห่างจากตัวถูกขับประมาณ 0.1λ

สายอากาศยากิ (Yagi) แบบ 3 อีลิเมนต์ ในรูปที่ 3.22 ประกอบด้วยตัวถูกขับและตัวพารา - ซิติกอีก 2 ตัวคือ ไดเรกเตอร์กับรีเฟลกเตอร์ในรูปที่ 3.22 (b) แสดงให้เห็นรูปแบบการแพร่คลื่นของตัวถูกขับ (ไดโพล) อย่างเดียว และการเสริมของรูปแบบการแพร่คลื่นของตัวรีเฟลกเตอร์ กับไดเรก-เตอร์ ทำให้เราได้รูปแบบโดยรวมเป็นลักษณะบีมทางเดียว และบีมวิดท์แคบลงหรืออัตราขยายสูงขึ้น เราสามารถใช้ตัวพาราซิติกจำนวนมากขึ้น เพื่อให้อัตราขยายของสายอากาศเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 3.23 ซึ่งเป็นสายอากาศยากิแบบ 6 อีลิเมนต์ ความถี่ใช้งาน 440 MH_z วางตัวใช้โพลาไรเซชั่นแนวดิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศยากิ แบบ 3 อีลิเมนต์

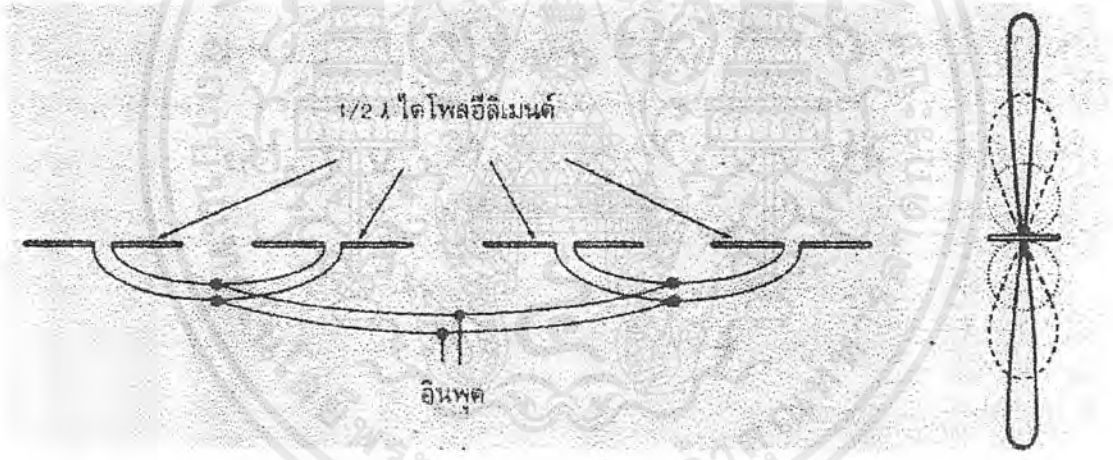


รูปที่ 3.23 สายอากาศ ยากิแบบ 6 อิลิเมนต์ ความถี่ใช้งาน 440 MH_z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

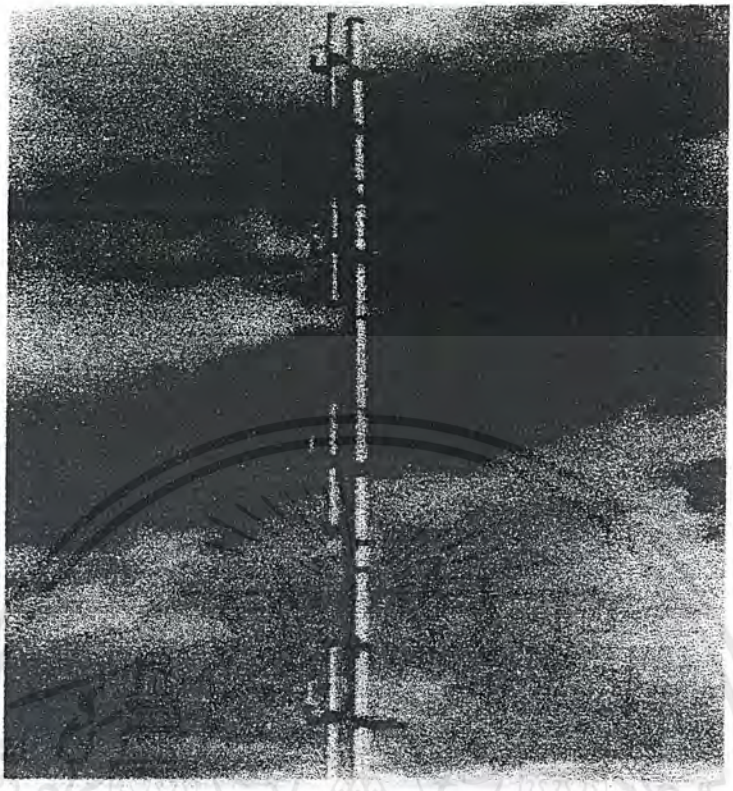
3.3.3.4 แอเรย์ของสายอากาศ

นอกจากเราจะใช้ตัวถูกขับตัวเดียวร่วมกับตัวพาราซิติกแล้ว เรายังอาจใช้ตัวสายอากาศถูกขับหลาย ๆ ตัวมาต่อร่วมเป็นแผงแอเรย์ได้ จากรูปที่ 3.24 เป็นสายอากาศชนิดคอลลิเนียร์ (collinear) หมายถึงชุดสายอากาศที่เอาสายอากาศมาเรียงแถวต่อในแนวเส้นร่วมกัน (in-line) สายอากาศทุกตัวถูกขับหรือฟีดโดยใช้สายส่งจากเครื่องส่ง 1 เส้น แล้วทำการจัดเฟสโดยใช้สายเฟส (phasing line) เพื่อให้คลื่นที่แพร่ออกจากสายอากาศแต่ละตัว (ในที่นี้ใช้ 4 ตัว) ไปยังเครื่องรับโดยมีเฟสเสริมกัน ในรูปที่ 3.24(b) แสดงให้เห็นลักษณะการเสริมกันของรูปแบบการแพร่คลื่น เส้นไข่ปลาเป็นของไดโพลชนิดฮาล์ฟเวฟตัวเดียว เส้นประ เป็นของไดโพล 2 ตัว และเส้นเต็ม เป็นของไดโพล 4 ตัวจากรูปที่ 3.25 เป็นตัวอย่างของสายอากาศคอลลิเนียร์ในย่านความถี่ VHF และ UHF ที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งให้รูปแบบแพร่คลื่นแบบรอบตัว มุมยิงคลื่นจะแพร่ออกไปทางข้างของแนวเส้นเรียงแถวกัน



รูปที่ 3.24 สายอากาศที่ตั้งถูกขับต่อเรียงเป็นแอเรย์

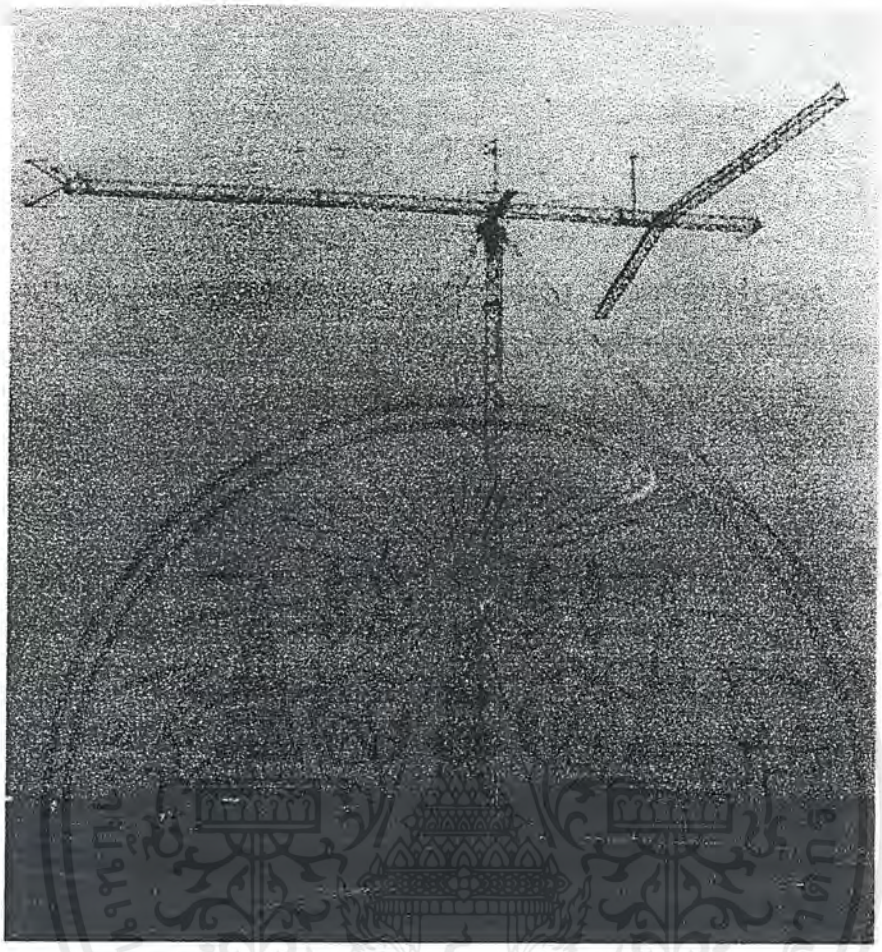
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 สายอากาศคอลลิเนียร์ 4 อิลิเมนต์

การจัดเรียงสายอากาศให้เป็นแผงแอเรย์ ทำให้เราสามารถควบคุมรูปแบบการแพร่คลื่นและเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้ตามต้องการ ในรูปที่ 3.26 เป็นการเรียงสายอากาศอีกแบบหนึ่ง เรียกว่า ลอกพีริออดิกแอเรย์ (logperiodic array) ความยาวของสายอากาศแต่ละตัวจะมีความสัมพันธ์แบบลอการิทึม (logarithmic) การขับหรือฟีดสายอากาศแต่ละตัวจะใช้วงจรจัดเฟสแบบพิเศษ ข้อดีของสายอากาศลอกพีริออดิกนี้ก็คือ มีบีมวิดท์แคบ อัตราขยายสูงและแบนด์วิดท์ (ย่านความถี่ใช้งาน) กว้างมาก สายอากาศยากิแม้ว่าจะมีอัตราขยายสูงแต่แบนด์วิดท์ค่อนข้างแคบเพียง 1 ถึง 2 MH_z ส่วนสายอากาศลอกพีริออดิกมีแบนด์วิดท์กว้างได้ประมาณ 7.5 ถึง 30 MH_z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 สายอากาศลอกพีริออดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
คอมพิวเตอร์ช่วยสอน

4.1 คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) คืออะไร

คนส่วนใหญ่มักรู้จักคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในชื่อของ CAI (อ่านว่า ซี-เอ-ไอ) ซึ่งย่อมาจากคำในภาษาอังกฤษว่า Computer-Assisted หรือ -Aided Instruction คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) หมายถึง สื่อการเรียนการสอนทางคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่งซึ่งใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการนำเสนอสื่อประสมอันได้แก่ ข้อความ ภาพนิ่ง กราฟิก แผนภูมิ กราฟ ภาพเคลื่อนไหว วีดิทัศน์ และเสียง เพื่อถ่ายทอดเนื้อหาบทเรียนหรือองค์ความรู้ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับการสอนจริงในห้องเรียนมากที่สุด โดยที่คอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะนำเสนอเนื้อหาทีละหน้าจอภาพ โดยเนื้อหาความรู้ในคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะได้รับการถ่ายทอดในลักษณะที่แตกต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและโครงสร้างของเนื้อหา โดยมีเป้าหมายสำคัญก็คือ การได้มาซึ่งคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สามารถดึงดูดความสนใจของผู้เรียนและกระตุ้นผู้เรียนให้เกิดความต้องการที่จะเรียนรู้ คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นตัวอย่างที่ดีของสื่อการศึกษาในลักษณะตัวต่อตัวซึ่งผู้เรียนเกิดการเรียนรู้จากการมีปฏิสัมพันธ์หรือการโต้ตอบพร้อมทั้งการได้รับผลป้อนกลับ (feedback) อย่างสม่ำเสมอกับเนื้อหาและกิจกรรมต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่เกี่ยวเนื่องกับการเรียนนอกจากนี้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนยังเป็นสื่อที่สามารถตอบสนองความแตกต่างระหว่างผู้เรียนได้เป็นอย่างดีรวมทั้งสามารถที่จะประเมินและตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนได้ตลอดเวลา ดังนั้นผู้สอนจะสามารถนำคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปช่วยการสอนของตนได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะมีงานวิจัยหลายชิ้นที่สนับสนุนว่า ผู้เรียนที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนในการเรียนจะใช้เวลาเพียงสองในสามของผู้เรียนที่เรียนด้วยวิธีที่สอนตามปกติ ในขณะเดียวกันผู้เรียนสามารถนำคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้ในการเรียนด้วยตนเองโดยปราศจากข้อจำกัดทางด้านเวลาและสถานที่ในการศึกษา โดยเฉพาะผู้เรียนที่เรียนอ่อนสามารถใช้ประโยชน์จากคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในการเรียนเพิ่มเติมนอกเวลาได้

เนื่องจากในขณะนี้ มีการผลิตสื่อการศึกษาทางคอมพิวเตอร์ซึ่งในมัลติมีเดียในการนำเสนอเนื้อหาออกมาเป็นจำนวนมากซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของมัลติมีเดียซีดี-รอม จนทำให้เกิดความสับสนว่า สื่อเหล่านั้นเป็นคอมพิวเตอร์ช่วยสอนหรือไม่อย่างไร สิ่งสำคัญก็คือ การเข้าใจว่า สื่อการศึกษาทางคอมพิวเตอร์ทั้งหมดไม่ใช่คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเนื่องจากหากพิจารณาอย่างละเอียดแล้วมีสื่อการศึกษาทางคอมพิวเตอร์อยู่จำนวนมากที่จัดว่าเป็นเพียงแค่สื่อที่ใช้ในการนำเสนอ (Presentation media) เนื่องจากสื่อ การศึกษาเหล่านั้นต่างขาดคุณลักษณะสำคัญ 4 ประการของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สมบูรณ์ ซึ่งคุณลักษณะสำคัญ 4 ประการของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สมบูรณ์ ได้แก่

Information (สารสนเทศ)

Individualization (ความแตกต่างระหว่างบุคคล)

Interaction (การโต้ตอบ)

Immediate Feedback (ผลป้อนกลับโดยทันที)

4.2 คุณลักษณะของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

คุณลักษณะที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 4 ประการ ได้แก่

4.2.1 สารสนเทศ (Information)

สารสนเทศ (Information) ในที่นี้หมายถึงเนื้อหาสาระ (content) ที่ได้รับการเรียบเรียงแล้วเป็นอย่างดีซึ่งทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้หรือได้รับทักษะอย่างหนึ่งอย่างใดตามที่ผู้สร้างได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้ โดยการนำเสนอเนื้อหานี้อาจจะเป็นการนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะทางตรงหรือทางอ้อมก็ได้ ตัวอย่างการนำเสนอเนื้อหาในลักษณะทางตรงก็ได้แก่การนำเสนอเนื้อหาในคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทติวเตอร์ ซึ่งเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ได้รับเนื้อหาสาระและทักษะต่าง ๆ อย่างตรงไปตรงมาจากการอ่าน จำ ทำความเข้าใจ และฝึกฝน ตัวอย่างการนำเสนอเนื้อหาในลักษณะทางอ้อมก็ได้แก่ การนำเสนอเนื้อหาในคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทเกมและการจำลองซึ่งเนื้อหาสาระหรือทักษะที่ผู้เรียนได้รับจะถูกแฝงเอาไว้ในรูปแบบของเกมต่างๆ เพื่อให้ผู้ได้ฝึกทักษะทางการคิด การจำ การสำรวจสิ่งต่างๆ รอบตัว และเพื่อสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่สนุกสนานเพลิดเพลินและจูงใจให้ผู้ใช้มีความต้องการที่จะเรียนมากขึ้น

สารสนเทศเป็นคุณลักษณะสำคัญประการหนึ่งของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ช่วยแยกความแตกต่างระหว่างคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทเกม ออกจากซอฟต์แวร์เกมซึ่งมุ่งเน้นแต่ความบันเทิงและเพลิดเพลินของผู้ใช้โดยไม่ได้คำนึงถึงการให้ความรู้หรือทักษะแก่ผู้เรียนแต่อย่างใด(บางโปรแกรมถึงกับใช้เรื่องราวที่สะท้อนภาพการต่อสู้และความรุนแรงเป็นส่วนประกอบสำคัญของเกม) เช่น ซอฟต์แวร์เกมสตรีทไฟท์เตอร์ (Street Fighter) เป็นต้น อย่างไรก็ดีซอฟต์แวร์เกมบางชิ้นก็อาจจัดว่าเป็นคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทหนึ่ง ได้แต่ทั้งนี้เกมเหล่านี้จะต้องมีคุณลักษณะสำคัญ กล่าวคือ จะต้องมีเป้าหมายรวมหรือวัตถุประสงค์ในการที่จะนำเสนอเนื้อหา สาระความรู้หรือทักษะอย่างใดอย่างหนึ่งแก่ผู้เรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความแตกต่างระหว่างบุคคล (Individualization)

การตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล คือ ลักษณะสำคัญของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน บุคคลแต่ละบุลคลมีความแตกต่างกันทางการเรียนรู้ซึ่งเกิดจากบุคลิกภาพ สติปัญญา ความสนใจ พื้นฐานความรู้ที่แตกต่างกันออกไป (Individualization) คอมพิวเตอร์ช่วยสอนซึ่งเป็นสื่อการเรียนการสอนรายบุคคลประเภทหนึ่งจึงต้องได้รับการออกแบบให้มีลักษณะที่ตอบสนองต่อความแตกต่างส่วนบุคคลให้มากที่สุด กล่าวคือ คอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะต้องมีความยืดหยุ่นมากพอที่ผู้เรียนจะมีอิสระในการควบคุมการเรียนของตน รวมทั้งการเลือกรูปแบบการเรียนที่เหมาะสมกับตนได้ การควบคุมการเรียนของตนนี้ก็มีอยู่หลายลักษณะด้วยกัน ลักษณะสำคัญ ๆ ได้แก่

<u>การควบคุมเนื้อหา</u> การเลือกที่จะเรียนส่วนใด ข้ามส่วนใด ออกจากบทเรียนเมื่อใดหรือย้อนกลับมาเรียนในส่วนที่ยังไม่ได้ศึกษา เช่น มีเมนูหรือรายการที่แยกเนื้อหาตามหัวข้ออย่างชัดเจนหรือปุ่มควบคุมต่าง ๆ ในการเข้าสู่บทเรียน

<u>การควบคุมลำดับของการเรียน</u> การเลือกที่จะเรียนส่วนใดก่อนหลังหรือการสร้างลำดับการเรียนด้วยตนเอง เช่น ในลักษณะการเรียนเนื้อหาแบบโยงใยหรือสื่อหลายมิติ (Hypermedia) ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมกันอยู่ในปัจจุบัน(ซึ่งอาจอยู่ในรูปของส่วนของการเชื่อมโยงแบบฮอตเวิร์ด (Hotword) หรือข้อความหลายมิติ (Hypertext) ก็ได้) ซึ่งผู้เรียนสามารถที่กดเลือกข้อมูลที่ต้องการเรียนตามความสนใจ ความถนัดหรือตามพื้นฐานความรู้ของตนได้

<u>การควบคุมการฝึกปฏิบัติหรือการทดสอบ</u> ความต้องการที่จะฝึกปฏิบัติหรือทำแบบทดสอบหรือไม่ หากทำจะทำมากน้อยเพียงใด เช่น การมีปุ่มควบคุมต่าง ๆ จัดหาไว้ทุกหน้าที่จำเป็น เช่น ปุ่มเลิกทำ ปุ่มกลับไปหน้าเดิม เป็นต้น

4.2.3 การโต้ตอบ (Interaction)

การโต้ตอบ (Interaction) ในที่นี้คือ การมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้เรียนกับคอมพิวเตอร์ช่วยสอนการเรียนการสอนรูปแบบที่ดีที่สุดก็คือการเรียนการสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับผู้สอนได้มากที่สุดนอกจากนี้การที่มนุษย์สามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นหาใช่เกิดขึ้นเพียงจากการสังเกตเท่านั้น หากจะต้องมีการโต้ตอบหรือปฏิสัมพันธ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการได้มีการปฏิสัมพันธ์กับผู้สอน ดังนั้นคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ได้รับการออกแบบมาอย่างดีจะต้องเอื้ออำนวยให้เกิดการโต้ตอบระหว่างผู้เรียนกับคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอย่างต่อเนื่องและตลอดทั้งบทเรียนการอนุญาตให้ผู้เรียนเพียงแค่การคลิกเปลี่ยนหน้าจอไปเรื่อยๆทีละหน้าไม่ถือว่าเป็นปฏิสัมพันธ์ที่เพียงพอสำหรับการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ดีมีซอฟต์แวร์มากมายที่โฆษณาตนเองว่าเป็นคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแต่เมื่อเปิดใช้กันจริง ๆ แล้ว ไม่น่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ช่วนสอนได้เลย ทั้งนี้ก็เพราะการที่ผู้สร้างไม่ได้นำคุณลักษณะสำคัญของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในส่วนของปฏิสัมพันธ์นี้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบซอฟต์แวร์ทางการศึกษาที่ได้รับการออกแบบให้ผู้ใช้กดเมาส์เพื่อพลิกเปลี่ยนหน้าไปเรื่อย ๆ นั้นไม่ถือว่าเป็นการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบระหว่างผู้เรียนและผู้สอนที่มีความหมาย (meaningful) การที่จะทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์โต้ตอบระหว่างผู้เรียนและผู้สอน ผู้สร้างซอฟต์แวร์จำเป็นต้องใช้เวลาในส่วนของการสร้างความคิด วิเคราะห์และสร้างสรรค์เพื่อให้ได้มาซึ่งกิจกรรมการเรียน (Activity) หรืองาน (task) ที่ก่อให้เกิดปฏิสัมพันธ์ซึ่งมีความเกี่ยวเนื่องกับบทเรียนและเอื้ออำนวยให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.4 การให้ผลป้อนกลับโดยทันที (Immediate Feedback)

ลักษณะที่ขาดไม่ได้อีกประการหนึ่งของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนก็คือ การให้ผลป้อนกลับโดยทันที ตามแนวคิดของสกินเนอร์ (Skinner)แล้ว ผลป้อนกลับหรือการให้คำตอบนี้ถือเป็นการเสริมแรง (reinforcement) อย่างหนึ่ง การให้ผลป้อนกลับแก่ผู้เรียนในทันทีหมายรวมไปถึงการที่คอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สมบูรณ์จะต้องมีการทดสอบหรือประเมินความเข้าใจของผู้เรียนในเนื้อหาหรือทักษะต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ด้วย ซึ่งการให้ผลป้อนกลับแก่ผู้เรียนเป็นวิธีที่อนุญาตให้ผู้เรียนสามารถตรวจสอบการเรียนของจนได้ ทั้งนี้มีงานวิจัยหลายชิ้นซึ่งสนับสนุนว่าการให้ผลป้อนกลับแก่ผู้เรียนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนได้เป็นอย่างดี ความสามารถในการให้ผลป้อนกลับโดยทันทีของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้เองที่ถือได้ว่าเป็นจุดเด่นหรือข้อได้เปรียบประการสำคัญของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับสื่อประเภทอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นสื่อสิ่งพิมพ์หรือสื่อโสตทัศนวัสดุแล้ว เนื่องจากสื่ออื่น ๆ นั้นไม่สามารถที่จะประเมินผลการเรียนของผู้เรียนพร้อมกับการให้ผลป้อนกลับโดยฉับพลันเช่นเดียวกับคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ลักษณะของการให้ผลป้อนกลับนี้เป็นสิ่งที่ทำให้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนแตกต่างไปจากมัลติมีเดียซีดีรอมส่วนใหญ่ ซึ่งได้มีการรวบรวมและนำเสนอเนื้อหาเกี่ยวกับเรื่องราวของสิ่งต่าง ๆ หรือเหตุการณ์สำคัญต่างๆ ฯลฯ แต่มัลติมีเดียซีดีรอมไม่ได้มีการประเมินความเข้าใจของผู้ใช้แต่อย่างใดไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบทดสอบแบบฝึกหัดหรือการตรวจสอบความเข้าใจในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งซึ่งทำให้มัลติมีเดีย-ซีดีรอมเหล่านั้นถูกจัดว่าเป็นสื่อสำหรับ การนำเสนอ (Presentation Media) ไม่ใช่คอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

4.3.1 คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเกิดจากความพยายามในการที่จะช่วงให้ผู้เรียนอ่อนสามารถใช้เวลานอกเวลาเรียนในการฝึกฝนทักษะและเพิ่มเติมความรู้เพื่อที่จะปรับปรุงการเรียนของตนให้ทันผู้เรียนอื่นได้ ดังนั้นผู้สอนจึงสามารถนำคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้ช่วยในการสอนเสริม หรือสอบทบทวนการสอนปกติในชั้นเรียนได้ โดยที่ผู้สอนไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการสอนซึ่งกับผู้เรียนที่ตามไม่ทันหรือจัดการสอนเพิ่มเติม

4.3.2 ผู้เรียนก็สามารถนำคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้ในการเรียนด้วยตนเองในเวลาและสถานที่ซึ่งผู้เรียนสะดวก เช่น แทนที่จะต้องเดินทางมายังชั้นเรียนตามปรกติ ผู้เรียนก็สามารถเรียนด้วยตนเองจากที่บ้านได้ นอกจากนั้นยังเรียนในเวลาใดก็ได้ที่ต้องการ

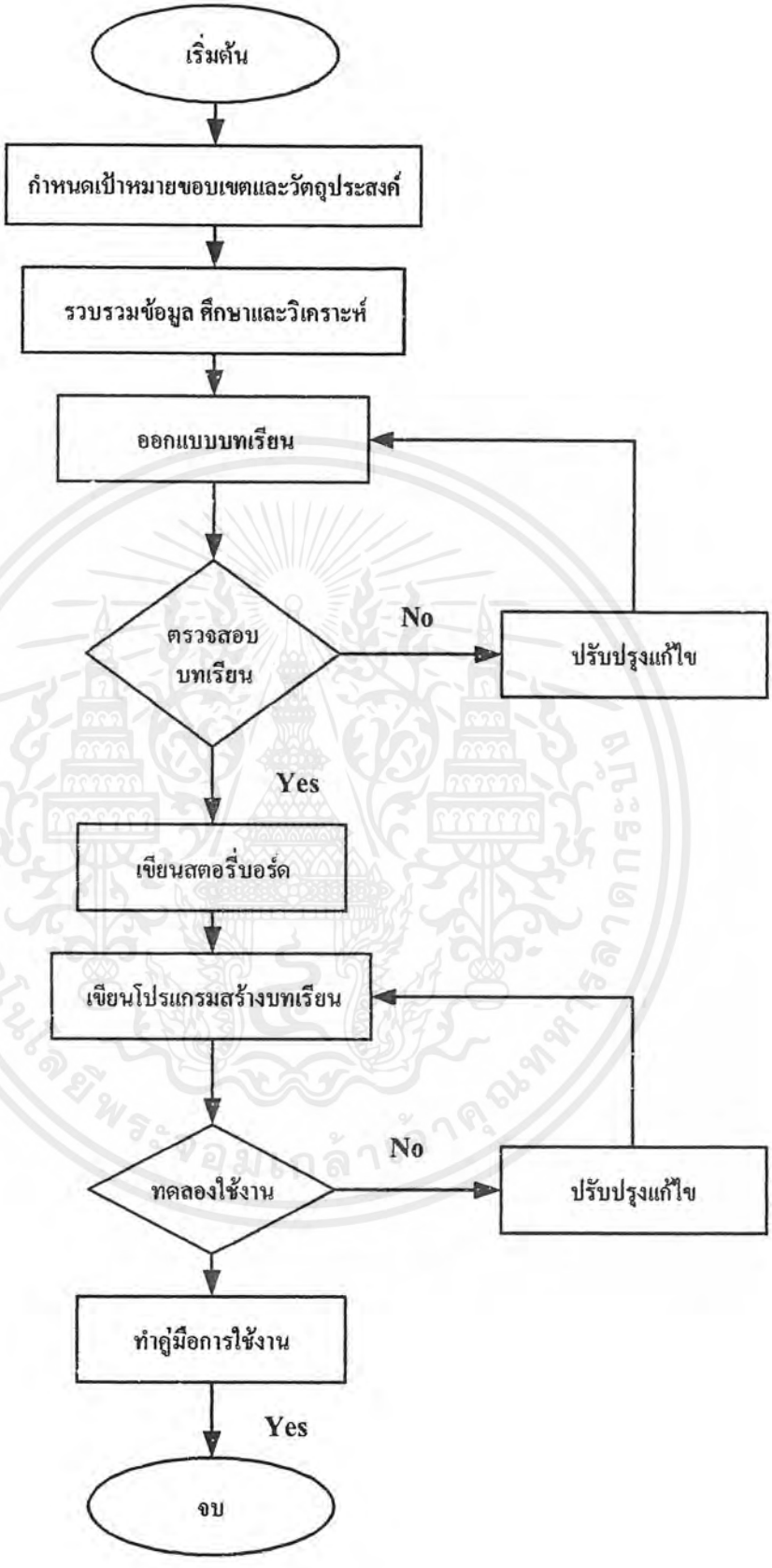
4.2.3 ข้อได้เปรียบที่สำคัญของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนก็คือคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ได้รับการออกแบบมาดีถูกต้องตามหลักของการออกแบบคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้นสามารถที่จะจูงใจผู้เรียนให้เกิดความกระตือรือร้น (motivated) ที่จะเรียนและสนุกสนานไปกับการเรียนตามแนวคิดของการเรียนรู้ในปัจจุบันที่ว่า "Learning Is Fun" ซึ่งหมายถึงการเรียนรู้เป็นเรื่องสนุก

4.4 ขั้นตอนการออกแบบคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

4.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ผู้จัดทำได้ออกแบบขั้นตอนวิธีทำไว้เป็น Flowchart ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 Flowchart ขั้นตอนดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอนแรกเป็นการกำหนดเป้าหมาย, ขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการสร้างคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในเรื่องสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น ว่าผู้เรียนจะได้ประโยชน์อะไรบ้างจากการใช้โปรแกรมช่วยสอน ตามด้วยการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ การสร้างคอมพิวเตอร์ช่วยสอนซึ่งจะเกี่ยวกับเนื้อหาที่เกี่ยวข้องในเรื่องของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น โปรแกรมที่จะใช้ในการสร้างคอมพิวเตอร์ช่วยสอนต่อจากนั้นทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมมาได้ โดยตัดสินใจว่าใช้โปรแกรม Authorware 4 มาสร้างบทเรียน แล้วทำการออกแบบบทเรียนว่าจะนำเสนอในลักษณะใด จากนั้น ทำการตรวจสอบบทเรียนว่าถูกต้องหรือไม่ ขั้นตอนต่อไปก็ทำการสร้างสตอรี่บอร์ด (Storyboard) ซึ่งสตอรี่บอร์ดนั้นจะเป็นการนำเสนอข้อความ ภาพรวมทั้งสิ่งต่าง ๆ ลงบนกระดาษซึ่งจะแทนหน้าจอแต่ละหน้าจอ จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมสร้างบทเรียน ทำการทดลองใช้งานบทเรียนที่เขียนมา จากนั้นก็ทำคู่มือใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

โปรแกรม Authorwave 4

Authorware เวอร์ชัน 4 เป็นโปรแกรมประเภท Authoring System ที่ใช้สำหรับการสร้างแอปพลิเคชั่นในระบบมัลติมีเดีย ไม่ว่าจะเป็นการนำเสนอผลงานต่าง ๆ การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วยคอมพิวเตอร์ (CAI) หรือแม้กระทั่งเกมก็ยังทำได้

ด้วยการออกแบบการทำงานโดยการวางไอคอน (Icon) บนโฟลว์ไลน์ (Flowline) ตามลำดับการทำงาน เหมือนกับการเขียนผังงาน (Flowchart) เพื่อที่จะออกแบบโปรแกรม หรือการวางแผนงานต่าง ๆ ทำให้ง่ายต่อการที่จะสร้างงานขึ้นมาได้โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับภาษาโปรแกรม

Authorware เวอร์ชัน 4 นี้มีคุณสมบัติในการออกแบบแอปพลิเคชั่นที่เด่น ได้แก่

- Object Authoring เป็นการออกแบบโปรแกรมด้วยเทคนิค Object Authoring ทำให้ผู้ใช้ที่ไม่คุ้นเคยกับการออกแบบโปรแกรม หรือผู้ที่มีประสบการณ์มาแล้วก็ตามสามารถทุ่มเทความสนใจไปยังรายละเอียดของเนื้อหา และวิธีการโต้ตอบของผู้ใช้โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม การใช้สัญลักษณ์หรือไอคอน (Icon) แทนคำสั่งทำให้ผู้ใช้สามารถสร้างโปรแกรมที่มีคุณภาพได้อย่างง่าย
- Multimedia Tools ในโปรแกรม Authorware เวอร์ชัน 4 ประกอบด้วยเครื่องมือด้านมัลติมีเดียที่จะทำให้ผู้ใช้สามารถสร้างแอปพลิเคชันที่ประกอบด้วย ข้อความ รูปภาพ เสียงภาพเคลื่อนไหว และวีดีโอเข้าด้วยกัน ทำให้เป็นแอปพลิเคชันที่มีประสิทธิภาพที่จะใช้ในการสร้างสื่อการเรียนการสอน การนำเสนอ จำลองการทำงาน

การออกแบบโปรแกรมให้สามารถใช้ได้หลายระบบทำให้ผู้ใช้ไม่ว่าจะเป็นบนเครื่องแมคอินทอชหรือภายใต้ระบบวินโดวส์ที่อยู่บนเครื่อง PC มีการทำงานที่เหมือนกัน และสามารถติดต่อไปยังทรัพยากรภายนอกระบบไม่ว่า การใช้ระบบฐานข้อมูลหรือระบบคอมพิวเตอร์เครือข่าย คำสั่งในการทำงานต่าง ๆ ไม่ว่าเป็นในเครื่องแมคอินทอช หรือเวอร์ชันที่ทำงานภายใต้วินโดวส์ ไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก ยกเว้นในส่วนของมัลติมีเดียและการทำงานของโปรแกรมในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

เราสามารถสร้างแอปพลิเคชั่นด้วย Authoware เวอร์ชัน 4 บนเครื่อง PC ที่มีระบบปฏิบัติการวินโดวส์ไม่ว่าจะเป็นวินโดวส์ 3.x หรือวินโดวส์ 95 หรือ 98 แล้ว Application Source Code บนเครื่อง PC ของเรานั้นสามารถนำไปใช้บนเครื่องแมคอินทอชได้ เพียงแค่หาวิธีให้เครื่องแมคอินทอชอ่าน ไฟล์ของเครื่อง PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ออกแบบคำสั่งต่างๆอยู่ในรูปของสัญลักษณ์ไอคอน เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้โปรแกรม Authorware เป็นโปรแกรมที่ใช้ง่าย การสร้างโปรแกรมทำได้ด้วยการวางไอคอนเรียงไว้บนเส้นโฟลว์ไลน์ (Flowline) จึงไม่มีความจำเป็นต้องเรียนรู้การใช้คำสั่งเป็นลักษณะภาษาโปรแกรม

5.1 ระบบฮาร์ดแวร์ที่ Authorware เวอร์ชัน 4 ต้องการ

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์

ระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการออกแบบแอปพลิเคชั่น (Authoring)

การออกแบบแอปพลิเคชั่นที่สร้างจาก Authorware เวอร์ชัน 4 ควรมีคุณสมบัติดังนี้

- ซีพียู 486/66 หรือสูงกว่า ขอแนะนำให้เป็นเพนเทียม (Pentium)
- ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 95 หรือวินโดวส์ NT (3.51 หรือ 4.0)
- หน่วยความจำ (RAM) อย่างต่ำ 16 MB
- ไดรฟ์ซีดีรอม
- การ์ดแสดงผล 640x480, 256-color display (higher resolution and color depth commended)
- พื้นที่ว่างบนฮาร์ดดิสก์ (free hard disk space) อย่างต่ำ 85 MB (minimum)
- ระบบเสียง (sound card) ควรเป็น Sound Blaster หรือคอมแพทิเบิล
- สนับสนุน AVI and Quick Time for Windows

การ Playback (ระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้กับแอปพลิเคชั่นที่สร้างจาก (Authorware)

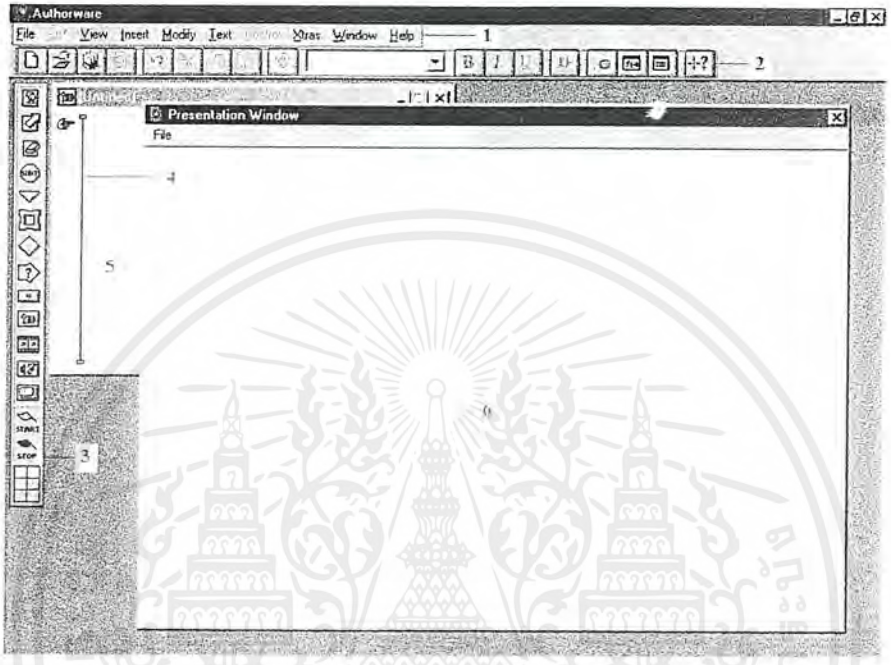
การ Run แอปพลิเคชั่น ที่สร้างจาก Authorware เวอร์ชัน 4 ควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

- ซีพียู 386/25, 486 or Pentium Processor
- ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 3.1x, วินโดวส์ 95 หรือ วินโดวส์ NT 3.51-4.0
- หน่วยความจำ (RAM) อย่างต่ำ 8 MB แต่ควรมีขนาด 12 MB ขึ้นไปจะให้ผลที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การใช้งานโปรแกรม Authorware 4

เมื่อเราทำการเรียกใช้โปรแกรม Authorware ขึ้นมานั้นจะปรากฏหน้าจอ ดังแสดงในรูป 5.1 ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 หน้าจอของโปรแกรม Authorware 4

1. เมนูบาร์ (Menu Bar) เป็นเมนูคำสั่งต่าง ๆ ที่มีให้เลือกใช้ ซึ่งมีลักษณะการใช้งานคล้ายกับเมนูคำสั่งของโปรแกรมทั่ว ๆ ไป หากใครเคยใช้โปรแกรมบน Windows ในปัจจุบันมาบ้างแล้ว ก็จะมีความคุ้นเคยทำให้สามารถให้ Authoware 4 ได้ไม่ยาก

2. ทูลบาร์ (Tool Bar) เป็นรูปภาพปุ่มคำสั่งที่มีการใช้งานบ่อย ๆ การใช้งานจะสื่อความหมายจากรูปภาพ ซึ่งถ้าเราไม่เข้าใจความหมายของ Tool Bar อันใดให้เลื่อนเมาส์มาวางค้างไว้ที่ Tool Bar ปุ่มนั้น จะมีข้อความบอกชื่อปุ่มคำสั่ง(Tool Tip) แสดงให้เราเห็น และข้อความนี้จะหายไปเมื่อเราเลื่อนเมาส์ออกจากปุ่มนั้น

3. ไอคอนพาเลตต์ (Icon Pallete) เป็นที่เก็บชุดคำสั่งรูปภาพหรือไอคอน (Icon) เพื่อให้เราเลือกหยิบมาใช้โดยการนำไอคอนที่ต้องการมาวางบนโฟลว์ไลน์โดยเรียนลำดับตามต้องการ

4. โฟลว์ไลน์ (Flowline) เป็นเส้นทางเดินของโปรแกรม ที่เกิดจากการนำไอคอนมาวางเรียงลำดับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หน้าต่างออกแบบ (Design Window) เป็นกรอบหน้าต่างที่ใช้สำหรับการออกแบบแอปพลิเคชั่น

6. หน้าต่างนำเสนอ (Presentation Window) เป็นกรอบหน้าต่างที่จะเกิดการนำเสนอ ข้อความ รูปภาพ (Object) ที่เกิดจากการวางไอคอนเรียงลำดับกันบนโฟลว์ไลน์ที่ Design Window

5.2.3 Icon Palette

ที่ไอคอนพาเลตต์นั้นจะมีสัญลักษณ์ที่เป็นรูปภาพคำสั่งให้เราเลือกใช้ โดยการลากมาวางไว้ที่โฟลว์ไลน์ตามต้องการ การทำงานของโปรแกรมนั้นจะทำไอคอนคำสั่งทีละคำสั่ง ตั้งแต่ข้างบนลงมาข้างล่างตามลำดับ

Display Icon

ใช้แสดงข้อความหรือกราฟิกส์บนจอภาพ จะมีเครื่องมือที่ใช้ในการวาดรูป รวมทั้งการแสดงภาพข้อความ โดยมีสเปเชียลเอฟเฟ็กต์ต่าง ๆ ที่จะทำให้การแสดงข้อความหรือกราฟิกส์บนจอมีลักษณะเหมาะสมกับงานที่จะนำเสนอ

Motion Icon

ใช้ทำให้ภาพ ข้อความ (object) ของ Display Interaction หรือ Movie Icons ให้เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ในเวลา ความเร็ว และรูปแบบที่กำหนดไว้

Erase Icon

ใช้สำหรับลบภาพ ข้อความ (object) ออกจากจอภาพ โดยสามารถกำหนดสเปเชียลเอฟเฟ็กต์ได้เช่นเดียวกับ Display Icon

Wait Icon

ใช้สำหรับหยุดการทำงานของโปรแกรม จนกว่าผู้ใช้จะกดคีย์บอร์ด หรือคลิกเม้าส์ หรือจนกว่าจะครบเวลาที่กำหนดไว้

Navigation icon

ใช้ในการนำไอคอนต่าง ๆ มาเชื่อมโยงเพื่อนำไปใช้ใน Framework Icon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Framework Icon

ภายใน Framework Icon จะมีส่วนประกอบ ของ Navigation Icon จะใช้สร้าง Condition ของ Hypermedia Interaction รวมถึง Interaction ต่าง ๆ และ Exit Conditions ทำให้การสร้างงานในลักษณะโต้ตอบ (Interaction) ทำได้ง่ายมากขึ้นกว่าใน Authorware เวอร์ชั่น 2

Decision Icon

ใช้ในการควบคุมการทำงานของโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมแยกทาง (Branching) การทำงานตามลำดับขั้น การทำงานแบบลุ่ม หรือกำหนดการทำงานโดยค่าของตัวแปร

Interaction Icon

เป็นไอคอนที่ใช้เพื่อกำหนดวิธีการติดต่อกับผู้ใช้ ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น ปุ่มกด ลากออบเจ็กต์มาวางตรงบริเวณที่ต้องการ Pull down menu ซึ่งเป็นความสามารถของ Authorware ที่ทำให้การใช้งานแอปพลิเคชั่นที่พัฒนาจาก Authorware เป็นแบบ Interactive

Calculation Icon

ใช้กำหนดค่าให้กับตัวแปร ใช้ฟังก์ชั่นพิเศษในการเขียนโปรแกรมระดับสูงขึ้น เช่นใช้เรียกโปรแกรมภายนอก การเขียนกราฟ หรือเรียกแอบพลิเคชั่นอื่น ๆ

Map Icon

ใช้ในการควบคุมการทำงานของโปรแกรม ใช้ทำโมดูลของไฟล์ ทำให้สามารถทำงานในลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้นกว่าหนึ่งระดับ ใน Map Icon แต่ละตัวสามารถใส่ไอคอนอื่น ๆ หรือแม้แต่ Map Icon ก็ได้ด้วย

Start Flag

ใช้ในการกำหนดจุดสิ้นสุดในการ Run โปรแกรมเป็นช่วง โดยใช้คำสั่ง Restart from Flag ในส่วนของ Control > Restart from Flag บนเมนูบาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stop Flag

ใช้ในการกำหนดจุดสิ้นสุดในการ Run โปรแกรมเป็นช่วง โดยใช้คำสั่ง Restart from Flag ในส่วนของ Control บนเมนูบาร์โดยใช้ร่วมกับ Start Flag

Movie Icon

ใช้ในการเรียกไฟล์ Animation ต่าง ๆ เช่น .AVI .MOV .FLI .MPG มาแสดงบนจอภาพได้

Sound icon

ใช้ในการเรียก แฟ้มข้อมูลเสียง (Digital Sound File) เช่นเสียงพูดที่บันทึกโดยโปรแกรมที่ใช้ร่วมกับการ์ดเสียงเพื่อนำมาใช้งานในโปรแกรม

Video Icon

ใช้ในการควบคุมการเล่นวิดีโอจากเครื่องเล่นวีดีโอ

Icon Color Pallete

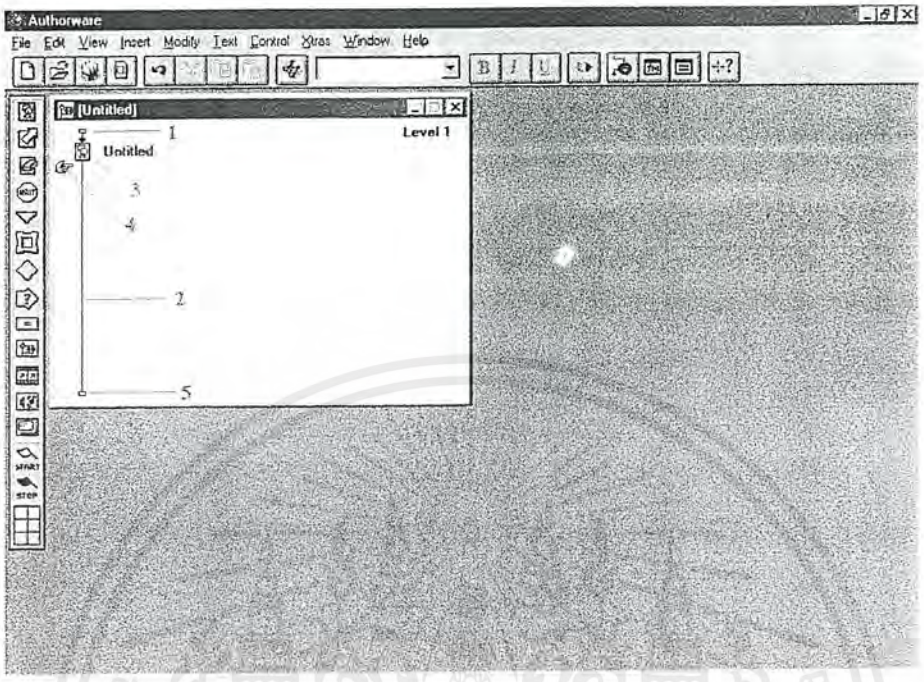
ใช้ในการกำหนดให้ไอคอนต่าง ๆ มีสีตามที่เราต้องการ ทำให้เราสังเกตได้ง่าย

5.3 การสร้าง Application ใหม่

1. ที่เมนู File เลือกคำสั่ง New
2. คลิกที่ File เพื่อเปิดไฟล์ใหม่

หลังจากที่ใช้เมนู File เพื่อสร้างแอปพลิเคชั่นใหม่จะพบ Design Window ที่มี Flow line เพื่อใช้วาง Icon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 Design Window ของ Application ใหม่

ส่วนต่างบน Design Window

1. Beginning of File ตำแหน่งเริ่มต้นของ File
2. Flow line เส้นลำดับการทำงาน
3. End of File ตำแหน่งจบ File
4. Paste Pointer ทั้งนี้ตำแหน่งในการนำ Icon Pallete มาวาง
5. Design Window หน้าต่างสำหรับออกแบบ

5.3.1 การสร้าง Application

1. การนำไอคอนมาวางที่ Flow line ทำได้โดยการเลื่อนตัวชี้หรือเมาส์พอยเตอร์ไปยังไอคอนพาเลตต์ แล้วเลือกไอคอนที่ต้องการ โดยกดปุ่มเมาส์ค้างไว้ที่ไอคอนนั้น จากนั้นลากไอคอนไปยัง โฟลว์ไลน์แล้วปล่อย ไอคอนก็จะถูกวางลงบนโฟลว์ไลน์ในตำแหน่ง นั้นทันที

2. การยกเลิกไอคอนบนโฟลว์ไลน์ ถ้าไอคอนยังถูกเลือกอยู่ ให้กดปุ่ม Backspace หรือปุ่ม Delete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การแทรกไอคอนเป็นการแทรกไอคอนระหว่างไอคอน เดิมทางด้านบนหรือด้านล่างที่กำหนดไว้แล้ว ทำได้โดยลาก Icon ใหม่ไปปล่อยลงในตำแหน่งที่ต้องการ (ตำแหน่งที่ Paste) พอยน์-เตอร์รูปมือชี้ตำแหน่งที่ต้องการวางไอคอนบนโฟลว์ไลน์ ไอคอนใหม่จะแทรกลงไปและไอคอนเดิมจะถอยลงไปข้างล่างไปโดยอัตโนมัติ

4. ย้ายตำแหน่งของไอคอนที่วางอยู่บนโฟลว์ไลน์ โดยลากไอคอนจากตำแหน่งเดิมแล้วนำไปปล่อยในตำแหน่งที่ต้องการบนโฟลว์ไลน์ ซึ่งอาจจะเลือกเพียงไอคอนเดียวหรือหลายไอคอน ก็ได้

5. การคัดเลือกไอคอนหรือกลุ่มไอคอนไปยังตำแหน่งใหม่

- เลือกไอคอนหรือกลุ่มไอคอน (การเลือกกลุ่มไอคอนทำได้โดยเลื่อนตัวชี้ไปที่ด้านบนของไอ-คอนที่ต้องการ จากนั้นลากเมาส์เพื่อตีกรอบสี่เหลี่ยมคลุมไอคอนที่ต้องการเลือกเป็นกลุ่ม)
- เลือกคำสั่ง Copy จากเมนู Edit
- เลื่อนตัวชี้ไปคลิกยังตำแหน่งใหม่ที่ต้องการวาง
- เลือกคำสั่ง Paste จากเมนู Edit

5.3.2 การ Run และหยุดโปรแกรม

5.3.2.1 การ Run โดยใช้ปุ่ม Restart

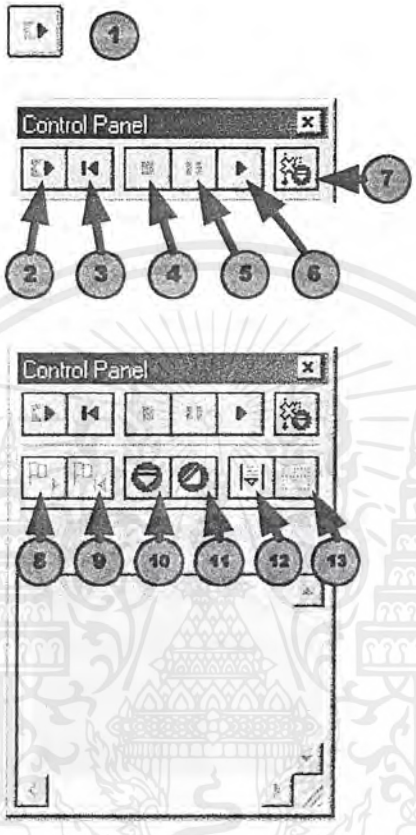
คลิก Restart จากทูลบาร์หรือเมนูบาร์ Control > Restart หรือกด Ctrl+R

และในการรันเฉพาะส่วนเราก็สามารถทำได้เช่นกันด้วยวิธีการดังนี้ คือ

1. ลากไอคอน Start วางยังตำแหน่งที่ต้องการให้เริ่มต้น
2. ลากไอคอน Stop วางยังตำแหน่งที่ต้องการให้สิ้นสุด
3. คลิก Restart from Flag จากทูลบาร์หรือเมนูบาร์ Control > Restart from Flag หรือกด Ctrl+Alt+R

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.2 การ RUN โดยใช้ Control Panel



รูปที่ 5.3 ปุ่มต่าง ๆ บน Control panal

หน้าที่ ความหมายของปุ่มต่าง ๆ บน Control panal

1. คลิก Control Panel จากทูลบาร์ก็จะพบกับสวิตช์ที่เกี่ยวข้องกับการรันโปรแกรม
2. Restart เริ่มเล่นโปรแกรมใหม่ตั้งแต่ต้น
3. Reset กลับไปยังจุดเริ่มต้น
4. Stop หยุดการเล่นโปรแกรม
5. Pause หยุดพักกลางคัน
6. Play เล่นโปรแกรมต่อไป
7. Show/Hide trace แสดงหรือซ่อนแผงสวิตช์เสริมและเมื่อคลิก Show trace จะพบแผงสวิตช์เสริมขึ้นมาอีกชุดหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1 หมายเลข 8 คือ Restart from Flag เริ่มเล่นโปรแกรมจากจุดที่กำหนด

7.2 หมายเลข 9 คือ Reset to Flat กลับไปยังจุดเริ่มต้นที่กำหนด

7.3 หมายเลข 10 คือ Step over คลิกเล่นโปรแกรมทีละไอคอน

7.4 หมายเลข 11 คือ Step into คลิกเล่นโปรแกรมทีละไอคอนแต่เห็นข้อมูลรายละเอียดมากขึ้น

7.5 หมายเลข 12 คือ Trace on/off แสดงหรือซ่อนแผงรายการข้อมูลรายละเอียด

7.6 หมายเลข 13 คือ Show invisible Item แสดงส่วนที่ไม่อาจเห็นได้ในการเล่นปกติ เช่น Target Area ฯลฯ

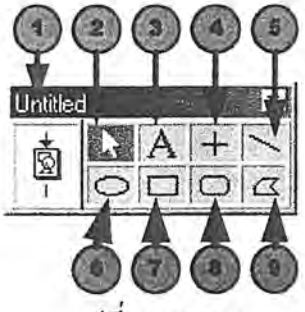
5.3.3 Display Icon

Display Icon ใช้สำหรับ

1. สร้างกราฟิกส์แสดงรายละเอียด อธิบายขั้นตอนสำคัญต่างๆ
2. นำเข้าข้อความหรือรูปภาพจาก โปรแกรมหรืออุปกรณ์อื่นๆ
3. กำหนดตำแหน่งในการแสดงข้อมูลบนจอภาพ
4. แสดงข้อความคงที่หรือเปลี่ยนแปลงบนจอภาพ กำหนดรูปแบบตัวอักษรและขนาดต่างๆ ชนิดของ Font
5. กำหนดมาตราส่วนของข้อความ และการกราฟิกส์โดยอัตโนมัติ
6. กำหนด Grid เพื่อสะดวกในการจัดข้อความ และกราฟิกส์โดยอัตโนมัติ
7. เคลื่อนย้ายข้อความและกราฟิกส์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการบนจอภาพ

การใช้ Display Icon

1. ลาก Display icon จาก Icon pallete มาวางบนโฟลว์ไลน์ในตำแหน่งที่ต้องการ
2. ดับเบิลคลิกที่ Display Icon บนโฟลว์ไลน์ ที่ Presentation window จะมีกล่องเครื่องมือ (Tool Box) เพื่อใช้วาดรูปหรือพิมพ์ข้อความต่าง ๆ



รูปที่ 5.4 Tool Box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ ความหมายของปุ่มต่าง ๆ บน Toll box

1. ชื่อของ Display ที่กำลังใช้งานอยู่
2. Pointer ใช้ย้ายข้อความหรือรูปภาพ
3. Text ใช้สร้างตัวอักษร
4. Straight line ใช้วาดเส้นแนวฉาก
5. Diagonal line ใช้วาดเส้นดิ่งทแยง
6. Ellipse ใช้วาดวงกลม วงรี
7. Rectangle ใช้วาดรูปสี่เหลี่ยม
8. Rounded Rectangle ใช้วาดสี่เหลี่ยมลบมุม
9. Polygon ใช้วาดรูปหลายเหลี่ยม

5.3.3.1 การใช้งาน Inspector

เราสามารถเลือกปรับแต่ง Display ด้วยการกำหนดเส้น (line) , สี (Color) และลวดลาย (Pattern fill) ของภาพ ให้เป็นไปตามความเหมาะสมด้วยกดตัวเลือก (Pallete) ชนิดต่าง, โดย

1. คลิกที่ Menu Bar ->Window
2. เลือกคำสั่ง Inspectors
3. เลือกกดตัวเลือกที่ต้องการ หรือใช้ Key คำสั่งลัดอื่น ๆ โดยวิธีต่อไปนี้

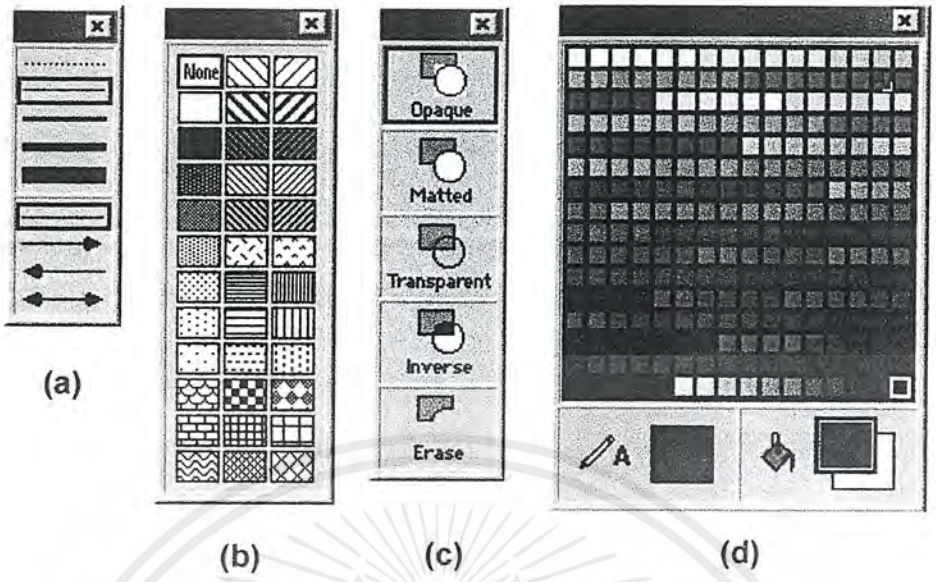
3.1 กด Ctrl+L หรือ ดับเบิลคลิกที่ช่อง Diagonal บน Tool Box เพื่อใช้งาน Lines Pallete

3.2 กด Ctrl+D หรือ ดับเบิลคลิกที่ช่อง Rectangle บน Tool Box เพื่อใช้งาน Fills Pallete

3.3 กด Ctrl+M หรือ ดับเบิลคลิกที่ช่อง Pointer บน Tool Box เพื่อใช้งาน Modes Pallete

3.4 กด Ctrl+K หรือ ดับเบิลคลิกที่ช่อง Ellipse บน Tool Box เพื่อใช้งาน Colors Pallete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 (a) Lines pallete

(b) Fills pallete

(c) Model pallete

(d) Colors pallete

5.3.3.2 Effects ในการแสดงภาพหรือข้อความ

List Box จะปรากฏทันทีที่เราเลือกเมนูย่อย Transition จากเมนูหลัก Modify / icon ประ กอบ ด้วย การแสดงภาพแบบต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น

แบบ None	ไม่มีเอฟเฟคใด ๆ เลย
แบบ Mosaic	แสดงภาพทีละชิ้นส่วนเล็ก ๆ
แบบ Pattern	แสดงทีละเฟรมทับกันจนชัด
แบบ Spiral	แสดงเป็นรูปบันไดเวียน
แบบ Build Up	แสดงจากล่างขึ้นบน
แบบ Build to Right	แสดงจากซ้ายไปขวา
แบบ Build to Left	แสดงจากขวาไปซ้าย
แบบ Iris in	แสดงจากกรอบนอกของภาพเข้าข้างใน
แบบ Iris out	แสดงจากรอบในของภาพออกข้างนอก
แบบ Venetian Blind	แสดงแบบบานเกร็ดจากบนลงล่าง
แบบ Vertical Blind	แสดงแบบบานเกร็ดจากด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Barn Door Close แสดงแบบปิดประตู

แบบ Barn Door Open แสดงแบบเปิดประตู

เอฟเฟคทุกแบบจะแสดงให้ดูทันทีที่มีการเลือก โดยการคลิกเมาส์ตรงช่องที่ปรากฏบน List Box แล้วคลิกที่ ปุ่ม OK

ใน List Box ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ให้เลือก โดยการคลิกเมาส์ที่ช่องหน้าข้อความ เช่น

Prevent automatic erase : เมื่อเลือกที่จะทำให้ไม่มีการลบภาพอัตโนมัติเกิดขึ้นนอกจากจะมีการใส่ Erase Icon ตามมาในลำดับต่อไป

Update embedded display variables perpetually : ควรเลือกเมื่อการกำหนดตัวแปร ที่ Icon เอาไว้ เช่น การแสดงเวลา การแสดงหน้า (Page) เป็นต้น

Calculate initial position : โดยทั่วไปจะเลือก no ยกเว้นเมื่อมีการกำหนดให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถเคลื่อนย้ายภาพ/ข้อความด้วยเมาส์ จะเลือก in area หรือ on path

Movable by user : จะสัมพันธ์กับการเลือก in area หรือ on path ในหัวข้อ Calculate initial position

5.3.3.3 Wait Icon

ใช้สำหรับหยุดการทำงานของโปรแกรมจนกว่าผู้ใช้จะกดปุ่ม Keyboard หรือคลิกซ้ายของ mouse หรือจนกระทั่งครบเวลาที่กำหนดไว้ ในการนำเสนออาจจะต้องมีบางช่วงที่หยุดการนำเสนอนั้น เช่นเมื่อเป็นการนำเสนอที่ต้องการหยุดรอรับการกด Keyboard รอการคลิก เมาส์ หรือหน่วยเวลาเพื่อให้เกิดการนำเสนอในลำดับต่อไป

การใช้ Wait Icon ทำโดยดับเบิลคลิกที่ตัว Wait Icon จะปรากฏ list Box ให้เรากำหนดคุณ-สมบัติ

Events - Mouse Click

- Key Press

โดยถ้าต้องการให้ Wait Icon กระทำในลักษณะใดก็คลิกเมาส์ภายในช่องเลือก

ในส่วนของ Time limit สามารถกำหนดค่าเวลาเป็นวินาที ได้โดยการป้อนค่าเวลาในช่อง โดยจะมี Option ให้เลือก คือ

- Show countdown แสดงนาฬิกาจับเวลาที่ตั้งไว้
- Show Button แสดงปุ่มสำหรับเวลาคลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.5 Erase Icon

ใช้สำหรับลบภาพข้อความ หรือ รูปภาพ (object) ออกจากจอภาพสามารถกำหนดเอฟเฟคได้เช่นเดียวกับ Display icon โดยถ้าจะทำการลบสิ่งใดก็ทำการคลิกสิ่งนั้น แล้วคลิก mouse ที่ OK เพื่อให้ออกจากการทำงานจาก Erase Icon

ใน Tab Erase จะมี Option คือ Prevent Cross Fade ใช้ป้องกันการทำงานของเอฟเฟค ที่ซึ่งซ้อนกันจากไอคอน อื่น

Tab Icon มี Option ใน list คือ

Icon to Erase เพื่อลบไอคอน ตามที่ระบุ

Icon to preserve เพื่อทำงานตรงกันข้ามกัน คือทิ้งค้างไว้เฉพาะไอคอนตามที่ระบุ

5.3.6 Motion Icon

ใช้ทำให้สิ่งที่ปรากฏบนจอภาพ (object) สามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในเวลาความเร็ว และรูปแบบที่กำหนดไว้ โดยการนำ Motion มาวางไว้หลังจาก Display Icon เท่านั้น รูปแบบของการเคลื่อนไหวของ Motion Icon มี 5 แบบ

1. Direct to Point จะเป็นการเคลื่อนย้ายออบเจ็กต์จากตำแหน่งเดิมไปยังตำแหน่งปลายทาง โดยจะเคลื่อนที่ไปเป็นเส้นตรงตามที่กำหนด
2. Path to End จะเป็นการเคลื่อนย้ายออบเจ็กต์จากตำแหน่งเดิมไปยังตำแหน่งปลายทางตามเส้นทางที่ประกอบด้วยเส้นตรงและเส้นโค้ง ที่ระบุเส้นทางเป็นจุดต่าง ๆ บนเส้นทางนั้น
3. Path to Point จะเป็นการเคลื่อนย้ายออบเจ็กต์จากตำแหน่งเดิม ไปตาม Scale Path ไปยังตำแหน่งตามค่าที่อยู่ในตัวแปร Expression
4. Direct to Line คล้ายกับ Path to Point แต่ไม่เคลื่อนออบเจ็กต์ไปตาม Scale path แต่เป็นการเคลื่อนออบเจ็กต์จากตำแหน่งใด ๆ ไปยังตำแหน่งบนเส้นตรง ที่ได้ทำ Scale ไว้แล้วที่อยู่ระหว่างปลายจุดทั้งสองด้านที่เรากำหนดเส้นทางไว้แล้ว
5. Direct to Grid คล้าย Path to Point แต่ว่าการเคลื่อนย้ายออบเจ็กต์จากตำแหน่งเดิม ไปยังตำแหน่งภายใน Scale Area ไม่ใช่ไปตามเส้นทาง ตำแหน่งดังกล่าวจะถูกกำหนดโดยค่าของตัวแปรหรือ Expression ตามแนวแกน x (แนวนอน) และตามแนวตั้ง (แกน- Y)

การเลือก Type ของการเคลื่อนไหวนั้น แล้วแต่เราจะต้องการแบบใดสำหรับการกำหนดคุณสมบัตินั้นมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำหนด Layer ถ้าจะให้เรียงลำดับอยู่ที่เท่าไร (หน้า-หลัง) จากกำหนดค่าให้มากกว่า 0 ยิ่งมากเท่าไร ก็อยู่ข้างหน้าเท่านั่น และหาก ไม่ได้กำหนดค่า Layer ไว้ จะถือว่า Layer มีค่าเท่ากับ 0
- Timing มี 2 แบบ คือ Time มีหน่วยเป็นวินาทีต่อระยะทางทั้งหมด Rate มีอัตราความเร็วเป็นวินาทีต่อระยะทาง 1 นิ้ว
- Concurrency เป็นการกำหนดการทำงานของ Icon ต่อไปบนเส้น Flow line มีให้เลือก 3 แบบ

1. Wait until Done คือ ให้รอจน Icon ตัวแรกเคลื่อนที่จนเสร็จก่อนแล้วจึงให้ Icon ตัวต่อไป บนเส้น Flow line เคลื่อนที่ได้
2. Concurrent คือ ให้ Icon ตัวอื่นสามารถทำงานไปพร้อม, กันกับ Icon ตัวแรก มักจะใช้ในกรณีที่ต้องการ ให้ Object 2 ตัว หรือหลายตัวทำงานพร้อม ๆ กัน
3. Perpetual คือ การตั้งกติกาให้นำงานต่อไปโดยอาศัยค่าตัวแปรหรือถ้อยความในการกำหนดการเคลื่อนที่ของ Object หลังจาก Object ได้เคลื่อนที่ไปเรียบร้อยแล้ว โดยถ้าในเวลาต่อมาค่าตัวแปรได้เปลี่ยนไป Object ก็จะเคลื่อนที่ไปยังที่ใหม่ต่อไปตามค่าที่เปลี่ยนไป และเมื่อเราเลือก Object แบบนี้ การเคลื่อนที่จะทำงานไปจนกว่าถูกลบทิ้งหรือการเคลื่อนที่ของไอคอนอื่น ๆ จะมาทำงานแทน
   - Beyond range เป็น Option ที่ใช้สั่งการควบคุมให้เกิดการทำงานโดยอาศัยผลที่ได้จาก ค่าตัวแปรหรือความมาเป็นตัวกำหนดจุดหมายปลายทาง (มีเฉพาะ-ในการเคลื่อนที่แบบ Direct to line, Direct to Grid and Path to point) มีให้เลือก 3 แบบ

1. Stop at Ends เคลื่อนที่วัตถุไปหยุดยังจุดบนเส้น Grid หรือ เส้นลากให้ใกล้เคียงกับค่าคำนวณ
2. Loop เคลื่อนที่วัตถุไปยังจุดบนเส้นกริด หรือเส้นลากโดยคำนวณระยะทางจากค่าของตัวแปร หรือค่าของถ้อยความ เพื่อเลื่อนวัตถุจากจุดเริ่มต้นสร้างการวนรอบ ของการทำงาน
3. Go Past Ends เคลื่อนที่วัตถุไปยังจุดที่กำหนด แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นกับเส้นหรือกริดที่สร้างไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.7 Navigation Icon

ทำหน้าที่กำหนดการดำเนินโปรแกรมว่าจะเดินหน้าหรือถอยหลังไปยังขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งในโปรแกรมตามที่เรากำหนด ซึ่งทำหน้าที่เสมือน เป็นการกำหนดทิศทาง ให้กับผู้ใช้โปรแกรม โดยสร้างปุ่มกดขึ้นมาบนจอเพื่อ ให้ผู้ใช้โปรแกรมได้สั่งการ แบ่งประเภทได้ 5 แบบด้วยกันคือ

1. Recent ถ้าเลือก แบบ Recent ก็จะมี Option ย่อยอีกคือ Go Back ในขั้นตอนนี้ก็จะพาถอยหลังกลับไปทีละก้าว แต่ถ้าเลือก List Recent Pages ก็จะมี Diablock list ของจำนวนก้าวที่เดินมาทั้งหมดมาให้เลือกว่าจะกลับไปตรงไหน
2. Nearby ถ้าเลือกแบบ Nearby ก็จะมี Option ย่อยอีกคือ ถ้าเลือก previous ก็จะค่อยที่จะก้าว แต่เรียงลำดับก่อนหลัง อย่างเป็นระเบียบ ถ้าเลือก Next ก็จะตรงข้ามกัน คือ จะเรียงลำดับเดินหน้าทีละก้าว ส่วนแบบ First และแบบ Last ก็จะพาไปยังจุดเริ่มต้นหรือจุดสุดท้ายได้ในก้าวเดียว และถ้าเลือกแบบ Exit Framework/Return ก็จะออกจากกรอบทางทำงานไปเลย
3. Anywhere ผลของการเลือกแบบนี้ คือ จะสามารถก้าวไปยังไอคอนใดก็ได้ โดยมี Type ให้เลือก คือ Jump to page เพื่อไปยังหน้าที่ต้องการอย่างเดียว หรือ Call and Return เพื่อไป-กลับ แต่เราต้องกำหนดใน list เลือกเอาเพียงหนึ่งตัวว่าจะให้ก้าวไปยังตำแหน่ง Icon ใด
4. Calculate ผลของการเลือก คือ สามารถก้าวไปยังตำแหน่งที่ตั้งเงื่อนไขด้วยถ้อยความ
5. Search ผลของการเลือกแบบนี้สามารถก้าวไปยังตำแหน่งที่ต้องการค้นหาโดยกำหนดจาก key words หรือ Words

5.3.8 Interaction Icon

ใช้ในการตอบสนองของผู้ใช้งาน เช่น อาจเป็นการตอบคำถาม หรือการเคลื่อนย้ายObject บนจอภาพ เมื่อผู้ใช้ได้ตอบสนองต่อ Interaction Display แล้ว (Object ที่แสดงผลบนจอภาพที่เกิดจาก Interaction) Authorware ก็จะรับรู้การตอบสนอง แล้วจะไปปฏิบัติตาม Icon ที่ผนวกอยู่ (Attached Icon) กับ Interaction นั้น เพื่อตรวจดูว่าการตอบสนองของผู้ใช้สอดคล้องกับการตอบสนองใด ๆ ที่เชื่อมโยงอยู่กับ Icon นั้น ๆ หรือไม่ถ้าสอดคล้องกัน Authorware จะแยกทางไปยัง Icon ที่ผนวกนั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.8.1 ชนิดของการตอบสนอง

1. Push Button Response เป็นการตอบสนองโดยการใช้ปุ่มกดโดยปกติเรามักจะใช้ปุ่มกดเพื่อการออกจากโปรแกรมในส่วนนั้น รวมทั้งเมนูคำสั่ง ๆ ต่าง ๆ
2. Hotspot Response เป็นการกำหนด Hotspot ใน Interaction ซึ่งคือพื้นที่บนจอภาพที่ผู้ใช้สามารถเรียกใช้ได้ โดยการคลิกหรือเลื่อนเคอร์เซอร์ไปบนบริเวณนั้น เป็นต้น
3. Hot object Response มีลักษณะเช่นเดียวกัน Hotspot คือเป็นบริเวณ Hotspots ซึ่งผู้ใช้สามารถคลิกได้ โดยเราสามารถสร้าง Hot object ได้โดยการเลือก Object ที่แสดงอยู่บนจอภาพ (จาก Display Icon, Movie Icon ก่อนที่จะถึง Interaction Icon เป็นต้น)
4. Target Area Response เป็นการตอบสนองการใช้งานโดยผู้ใช้ต้องเลื่อน Object ไปยังพื้นที่เป้าหมายปลายทาง เช่น ในการสร้าง Application แบบทดสอบชนิดจับคู่
5. Pull-Down-Menu Response จะเป็นการสร้าง Menu Bar ขึ้นบน Presentation Window และเมื่อเราเลือกตัวเลือกจากเมนูตัวใดตัวหนึ่ง Icon ที่อยู่กับเมนูตัวเลือกนั้นก็จะทำงาน
6. Conditional Response เป็นการตอบสนองชนิดมีเงื่อนไข มีประโยชน์เมื่อต้องการให้ Application ของเรานั้นแยกทางไปยัง Icon ที่ผนวกอยู่ โดยมีเงื่อนไขบางอย่างเป็นจริง
7. Text Entry Response เป็นการใช้ Interaction Icon เพื่อให้ผู้ใช้ตอบสนองต่อ Application โดยการป้อนข้อความผ่านทางแป้นพิมพ์ เมื่อเราใช้ Interaction ที่มี Response Type แบบ Text Entry Authorware จะสร้าง Text Entry Field เพื่อให้ผู้ใช้ได้ป้อนข้อความผ่านทางแป้นพิมพ์เข้ามา การที่ผู้ใช้จะป้อนข้อความผ่านทางแป้นพิมพ์ แล้วให้เกิด Response ที่ถูกต้องได้นั้น ข้อความที่ถูกใช้ป้อนผ่านทางแป้นพิมพ์เข้าไป จะต้องเป็นข้อความที่เหมือนกับชื่อของ Response Icon ที่ผนวกอยู่กับ Interaction Icon
8. Keypress Response เป็นการโต้ตอบของผู้ใช้กับ Application ที่ต้องการป้อนข้อมูลจากแป้นพิมพ์ โดยการกดปุ่มที่แป้น พิมพ์เพียงปุ่มเดียวโดยไม่ต้องกดปุ่ม Enter ตามนั้น เช่น การกดปุ่มลูกศรทั้ง 4 ทิศ function key commands เป็นต้น แล้วทำให้เกิด Response ที่ถูกต้องนั้น Authorware มีการตอบสนองต่อการกดแป้นพิมพ์ คือ การตอบสนองแบบ Keypress ซึ่งเมื่อผู้ใช้กดแป้นพิมพ์ปุ่มใดปุ่มหนึ่งที่กำหนดไว้ที่เป็นชื่อตรงกับชื่อ Response Icon แอปพลิเคชั่นของเราจะแยกทางไปยัง Response Icon ที่ผนวกไว้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Tries Limit Response การใช้ Tries Limit Response เพื่อกำหนดให้ผู้ใช้ทำการตอบสนองต่อ Interaction ได้กี่ครั้ง การสร้างแบบทดสอบที่ต้องการกำหนดให้ผู้ใช้เลือกคำตอบ (multiple choice)ได้ โดยสามารถเลือกปิดได้ตามจำนวนครั้งที่กำหนดให้ เช่น 2 ครั้ง เป็นต้น เราสามารถนำการตอบสนองแบบ Tries Limit มาใช้ร่วมกับการตอบสนองอื่นๆได้ ซึ่งจุดประสงค์ของการตอบสนองแบบนี้เพียงเพื่อการจำกัดจำนวนครั้งในการตอบสนองของผู้ใช้ application เช่นกำหนดให้การตอบข้อผิดใน Multiple choice ว่าสามารถตอบผิดได้ไม่เกิน 2 ครั้ง
10. Time Limit Response เช่นเดียวกับการตอบสนองแบบ TriesLimit ซึ่งจะจำกัดจำนวนครั้งการตอบสนองของผู้ใช้เราสามารถกำหนดเวลาการตอบสนองของผู้ใช้ได้ด้วยโดยการใช้การตอบสนองแบบ Time Limit เช่น การกำหนดเวลาให้กับการเลือกคำตอบที่ถูกต้องของแบบสอบถาม ชนิดเลือกตอบ (Multiple Choice) ถ้าเป็นแบบทดสอบก็จะเป็นการจำกัดเวลาการเลือกคำตอบ เช่นกำหนดให้การเลือกคำตอบใน Multiple choice ว่าสามารถเลือกคำตอบได้ภายในเวลา 30 วินาที ถ้าหมดเวลาจะหลุดจาก Interaction ออกไปทำไอคอนถัดไปทันที เป็นต้น

5.3.8.2 Erasing Judging และ Branching Response

เมื่อผู้ใช้โต้ตอบกับแอปพลิเคชั่น แล้วเกิดการตอบสนองของ Interaction จะมีรูปแบบของการตอบสนองดังนี้

1. การตอบสนองแบบลบออก (Erasing Response)
2. การตอบสนองที่มีการตัดสินถูกหรือผิด (Judging Response)
3. การแยกทาง (Branching)

5.3.8.1 การตอบสนองแบบลบออก (Erasing Response)

โดยปกติเราจะใช้ Erase Icon ในการลบการแสดงผลออกจากจอภาพ แต่ใน Interaction Icon ก็มีความสามารถในการลบ การแสดงผลที่เกิดจาก Display Interaction ได้ในตัว โดยไม่ต้องใช้ Erase Icon และในแต่ละไอคอนที่ผนวกอยู่ใน Interaction นั้น ก็ยังมี Erase Setting ให้เลือกรูปแบบการลบได้ด้วย และ Erase Setting ของInteraction ยังมีผลเหนือ Erase setting ของแต่ละไอคอนที่ผนวกอยู่ใน Interaction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Setting ในการลบจอภาพจะแบ่งเป็น

- After Next Entry ซึ่งเป็นค่า Setting โดยปกติ จะเป็นการลบจอภาพ หลังจากที่ได้รับการจับคู่จนเกิด Response แล้ว
- Don't Erase เป็นการทำให้ Object ติดตั้งอยู่ที่จอภาพ หลังจากที่ได้รับการจับคู่จนเกิด Response แล้ว
- Before Next Entry เป็นการลบ Object ออกไปจากจอภาพก่อนที่จะเกิดการจับคู่ที่จะทำให้เกิด Response

และในการใช้ Erase Setting แบบต่างๆ นั้น สามารถเลือกใช้ Special Erase Effect ร่วมด้วยได้

5.3.8.2 การตอบสนองที่มีการตัดสิน ถูก หรือ ผิด (Judging Response)

การตอบสนองแต่ละชุดนั้นจะมี Object เพื่อที่ให้เลือกการประเมินการตอบสนองของผู้ใช้ว่าการตอบคำถามนั้นถูกหรือผิด โดยออปชั่นจะอยู่ในส่วนของ Status ซึ่งจะมีให้เลือกดังนี้

- Not Judged เป็นค่าปกติ จะไม่มีเครื่องหมายใดๆ ที่หน้าชื่อของการตอบสนองนั้น จะไม่มีผลต่อตัวแปรของระบบ เช่น Total Correct
- Correct เป็นค่าของคำตอบที่ถูกต้อง จะมีเครื่องหมาย + อยู่ที่หน้าชื่อของการตอบสนองนั้น และเมื่อเกิด Response นั้น จะเป็นการเพิ่มค่าในตัวแปร Total Correct ขึ้นหนึ่งค่า
- Wrong เป็นค่าของคำตอบที่ผิด จะมีเครื่องหมาย - อยู่ที่หน้าชื่อของการตอบสนองนั้น และเมื่อเกิด Response ขึ้น จะเป็นการเพิ่มค่าในตัวแปร Total Wrong ขึ้น 1 ค่าซึ่งเป็นการนับจำนวนครั้งของการตอบผิด เป็นต้น

5.3.8.3 การแยกทาง (Branching)

การแยกทาง เป็นการกำหนดเส้นทาง ที่จะให้แยกไปปฏิบัติตามไอคอนใดในชุดของไอคอนที่มาผนวกไว้กับ Interaction หรือให้หลุดออกจาก Interaction ไปทำไอคอนถัดไป

ในการแยกทางจะมีรูปแบบการแยกทางดังนี้

- Try Again เป็นการพยายามเพื่อให้ได้ผลการตอบสนองที่ถูกต้อง
- Exit Interaction เป็นการตอบสนองที่เมื่อเกิดการจับคู่ได้แล้วจะออกจากการทำงานของ Interaction ทันที
- Continuเป็นการตอบสนองชนิดแทนที่จะกลับไปจุดเริ่มต้นของการโต้ตอบapplication ของเรา จะทำงานต่อไปตามเส้นโฟลว์ไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.9 Decision Icon

เป็น Icon ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกทางเดินของโปรแกรมว่าจะให้ค่าเป็นไปอย่างไร คุณสมบัติของ Decision Icon มี 2 อย่างคือ

1. กำหนดการแยกเส้นทาง (Branch) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดการแยกเส้นทางว่าไอคอนที่ผนวกอยู่กับ Decision นั้น ตัวใดจะถูกเลือกมากระทำ
2. กำหนดการกระทำซ้ำๆ (Repeat) ซึ่งเป็นตัวกำหนดจำนวนรอบหรือจำนวนครั้งที่ต้องกลับไปทำงานใน Decision และแยกไปยังไอคอนที่ผนวกไว้อีกกี่ครั้ง

5.3.9.1 คุณสมบัติการแยกทาง (Branching)

Sequentially

เป็นการทำไอคอนที่ผนวกไว้ตามลำดับ (Sequentially) เมื่อ Authorware ทำโปรแกรมมาจนพบ Decision Icon ที่มีการกำหนดการแยกทางไว้เป็น Sequential จะทำไอคอนที่ผนวกไว้ตัวแรกที่อยู่ติดกับ Decision Icon ก่อนแล้วจึงทำไอคอนที่ผนวกไว้ตัวที่ 2 และตัวต่อไปเรื่อยๆ จนหมด โดยจะต้องคำนึงถึงจำนวนการทำซ้ำ (Repeat) กับจำนวนไอคอนที่ผนวกไว้ด้วย

Randomly To Unused Path

เป็นการทำไอคอนที่ผนวกไว้กับ Decision Icon โดยการสุ่มทำไอคอนที่ผนวกไว้กับ Decision Icon โดยไม่มีการแทนที่ ซึ่งจะเป็นการสุ่มเลือกไอคอนที่ผนวกไว้กับ Decision Icon โดยเมื่อมีการสุมเลือกไอคอนมาทำแล้ว Authorware ก็จะไม่สุ่มเลือกเอาไอคอนที่สุ่มแล้วมาทำอีกจนกว่าจะสุ่มเลือกทำไอคอนที่ผนวกไว้ ทำจนครบทุกไอคอนจึงจะกลับมาเลือกไอคอนที่ถูกเลือกทำไปแล้วอีกครั้ง

Randomly To Any Path

เป็นการทำไอคอนที่ผนวกไว้กับ Decision Icon โดยการสุ่มไอคอนที่ผนวกไว้กับ Decision Icon โดย Authorware จะเลือกสุ่มไอคอนซ้ำกับไอคอนที่เลือกสุ่มไปแล้วอีก คือ อาจจะมีการเลือกสุ่มไอคอนที่ผนวกไว้ มาทำซ้ำกัน 2 ครั้งก็ได้

To Calculated Path

เป็นช่องว่าง (Text Box) ให้เติมข้อความ ตัวแปร หรือ Expression ซึ่งใช้คำนวณว่าไอคอนที่ผนวกไว้นั้น จะเลือกเอาตัวใดมาใช้งาน (นำเสนอ) ค่าตัวเลขที่จะได้ในช่อง Calculated Path ต้องเป็นเลขจำนวนเต็มของตัวแปร หรือ Expression จะเป็นการตัดสินใจว่าจะเลือกไอคอนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนวกไว้ตัวต่อไปออกมาใช้งาน โดยไอคอนที่ผนวกไว้ ที่อยู่ติดกับ Decision Icon ถือว่าเป็นตัวที่ 1 ตัวถัดไปคือตัวที่ 2 และต่อไปเรื่อยๆ

Reset Paths on Entry

เป็นเช็กบอกซ์ที่ใช้ในการ Reset การเลือกใช้ไอคอนที่ผนวกไว้ เป็นการเริ่มต้นใช้งาน Decision ใหม่ เหมือนกับว่ายังไม่เคยมีการเลือกใช้ไอคอนที่ผนวกไว้ มาใช้งานเลย

5.3.9.2 คุณสมบัติการกระทำซ้ำ (Repeat)

Fixed Number Of Time

ถ้าเราเลือกเงื่อนไข จะเป็นการใส่ตัวเลข ตัวแปร หรือ Expression ซึ่งจะเป็นการตัดสินใจของ Decision Icon นี้ว่าให้มีกี่ครั้ง และถ้าเรากำหนดให้ค่าของตัวเลขในช่องนี้มีค่าน้อยว่า 1 จะไม่เกิดการ Branching ขึ้น และการทำงานของโปรแกรมก็จะออกจากส่วน Decision Icon นี้ไป

Until All Path Used

เป็นการกำหนดให้ Decision Icon เลือกเอาไอคอนที่ผนวกไว้ มาทำงานก่อนอย่างน้อยไอคอนละครั้ง ก่อนที่จะออกจาก Decision Icon หรือเรียกง่ายๆ ว่า ถ้าเราเลือก Until All Path Used แล้วไอคอนที่ผนวกไว้ จะถูกเรียกมาใช้งานแน่นอน อย่างน้อยไอคอนละ 1 ครั้ง

Until Click / Keypress

จะเป็นการตัดสินใจซ้ำๆ จนกว่าจะมีการคลิกเมาส์หรือกดคีย์บอร์ด ใช้ในกรณีที่เราต้องการทำอะไรซ้ำหลายๆครั้ง จนกว่าจะมีการคลิกเมาส์หรือกดคีย์บอร์ดจึงจะออกจากส่วน Decision Icon นี้

Until True

จะเป็นการตรวจสอบค่าของตัวแปร หรือ Experssion ที่เราใส่ไว้ในช่องเติมข้อความ ซึ่งจะเป็นการทำการ Branching ไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าของตัวแปร หรือ Expression ที่เรากำหนดไว้จะเป็นจริง จึงจะออกจากส่วนของ Decision นี้

Don't Repeat

จะเป็นการทำการ Branching โดย Decision Icon เพียงรอบเดียว ตามวิธีการที่เรากำหนดในส่วนของ Branch แล้วจะออกจาก Decision Icon ไปทำไอคอนด้านล่างที่อยู่ต่อไปจาก Decision Icon

Time Limit

ในช่อง Time Limit นี้ เราจะใส่ตัวเลขเพื่อกำหนดเวลาทำงานของ Decision Icon ได้ ขณะที่กำลังทำในส่วนของ Decision นี้ ถ้าเวลาหมดลงจะออกจาก Decision ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.9.3 Decision Path

ถ้าเราดับเบิลคลิกที่ Decision Path จะเห็นหน้าต่างแสดงคุณสมบัติของ Decision Path ซึ่งเป็นการแสดงวิธีการลบข้อความ หรือรูปภาพก่อนที่จะแสดงข้อความหรือรูปภาพในไอคอนที่ผนวกไว้ตัวต่อไป ซึ่งจะมีตัวเลือกในช่อง Erase Contents ดังนี้

- **Before Next Selection**

เป็นการลบข้อความ รูปภาพ ที่แสดงอยู่ก่อน ที่จะทำไอคอนที่ผนวกไว้ตัวต่อไป

- **Upon Exit**

ไม่มีการลบข้อความ รูปภาพ ที่แสดงอยู่บนจอของไอคอนที่ผนวกไว้ แต่จะมีการลบข้อความหรือรูปภาพที่แสดงไว้ เมื่อออกจากส่วนของ Decision Icon นี้เท่านั้น

- **Don't Erase**

ไม่มีการลบข้อความรูปภาพที่เกิดจากไอคอนที่ผนวกไว้ แม้จะออกจาก Decision แล้วก็ตาม ซึ่งเราจะสามารถลบได้ ก็ต้องลบด้วย Erase Icon เท่านั้น

5.3.10 Framework Icon

เป็นไอคอนที่รวมเอาความสามารถของ Interaction Icon มาเป็นไอคอนที่สามารถสร้างโปรแกรมประยุกต์ในลักษณะของการนำเสนอเป็นหน้าๆ เช่นเดียวกับการเปิดหนังสือ แต่มีประสิทธิภาพมากกว่า คือ สามารถค้นหาข้อความต่างๆที่อยู่ในแต่ละหน้าได้ โดยในการนำเสนอนั้นจะมีการโต้ตอบที่มีประสิทธิภาพมาก เช่น

- **Next Page** เป็นการเปิดไปหน้าต่อไป
- **Last Page** เป็นการกระโดดไปหน้าสุดท้าย
- **Previous Page** เป็นการกลับไปหน้าที่แล้ว
- **First Page** เป็นการกระโดดไปหน้าแรกสุด
- **List Recent Page** เป็นการแสดงรายชื่อหน้า(Icon Title) ที่ผ่านมา
- **Search** ใช้ค้นหาข้อความต่างๆ เมื่อหาพบจะกระโดดไปยังข้อความที่หน้านั้นทันที
- **Exit Framework** .ใช้ในการออกจาก Framework

5.3.11 Calculation Icon

เป็นไอคอนที่บรรจุคำสั่งที่ใช้ในการคำนวณ กำหนดค่าตัวแปรเปรียบเทียบ หรือ เป็นการใช้งานฟังก์ชันต่างๆ สามารถทำคำสั่งต่างๆที่อยู่ใน Calculation Icon ได้ทุกๆตำแหน่งที่วาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.12 Map Icon

มีหน้าที่ในการสร้างผังลำดับการแสดงใหม่ เพื่อเป็นผังย่อย ในการรองรับการขยายกิ่งก้านสาขาของการออกแบบโปรแกรมไปได้ไม่มีที่สิ้นสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ผลการดำเนินงาน

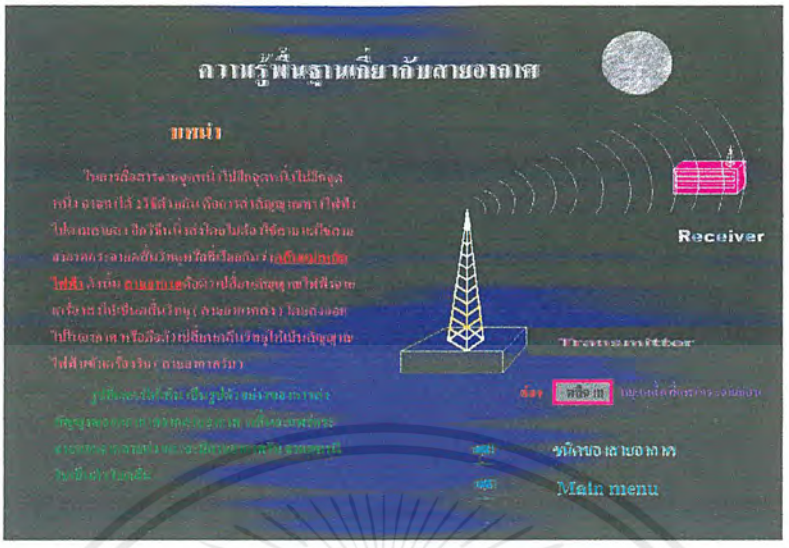
คณะผู้จัดทำเริ่มต้นด้วยการหาข้อมูลเกี่ยวกับ สายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น ต่อจากนั้นก็ทำการร่าง Story Board ว่าแต่ละหน้าจอของโครงงานจะให้แสดง อะไร อย่างไร และเริ่มเขียนโปรแกรมตามที่ร่างไว้ โปรแกรมที่ใช้ได้แก่ โปรแกรม Authorware 4 งานที่ทำ เป็นการแสดงทีละหน้าจอจากการร่าง Story Board มีดังนี้

รูปที่ 6.1 หน้าจอ Main Menu

หน้าจอนี้ จะเป็นหน้าเมนูหลัก มีหัวข้อสำคัญให้เลือกดังนี้

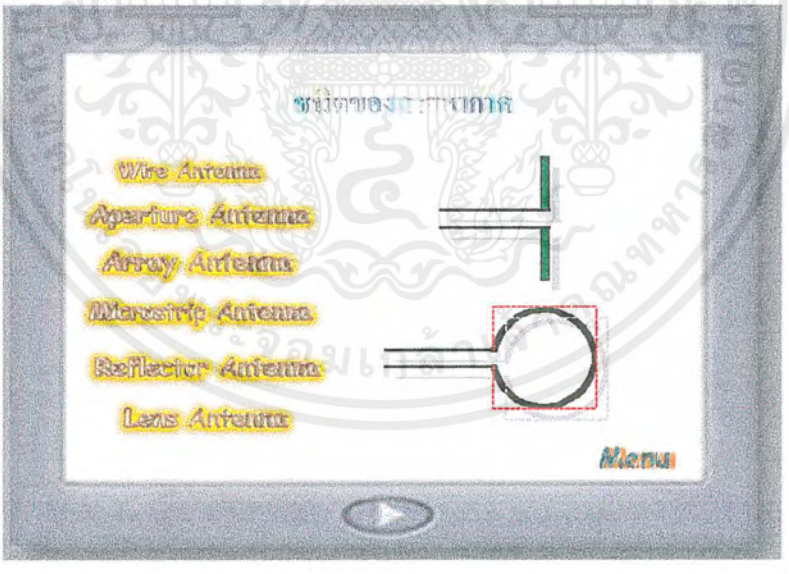
1. **ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ** ซึ่งกล่าวถึง ความหมายของสายอากาศ หลักการพื้นฐาน และชนิดของสายอากาศ
2. **การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ** ซึ่งกล่าวถึง การเกิดคลื่นนิ่ง กฎมือซ้าย การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวดเดี่ยว,เส้นลวด 2 เส้น , และจากไดโพล
3. **สายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น** ซึ่งกล่าวถึง หลักการ คุณสมบัติการแพร่กระจายของคลื่น การกระจายของกระแส และการประยุกต์ใช้งานสายอากาศ
4. **แบบทดสอบความรู้** จะเป็นส่วน ทดสอบความเข้าใจเนื้อหาทั้งหมดเกี่ยวกับสายอากาศในสื่อช่วยสอนนี้
5. **ออกจากโปรแกรม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 หน้าจอ ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ

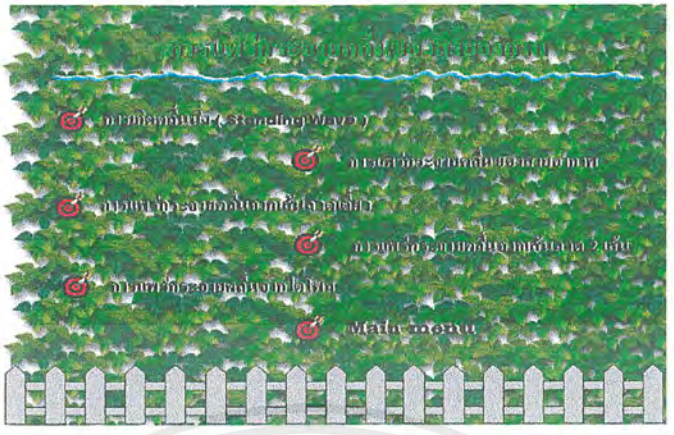
หน้าจอนี้จะกล่าวถึง ความหมายของสายอากาศ หลักการพื้นฐาน และชนิดของสายอากาศ โดยในหัวข้อของชนิดของสายอากาศ จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมในหน้าต่อไป



รูปที่ 6.3 หน้าจอ ชนิดของสายอากาศ

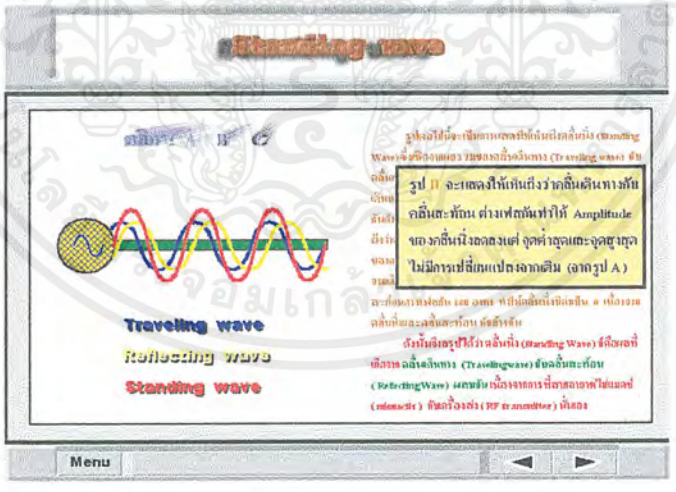
หน้าจอนี้ เป็นหน้าจอที่แสดงลักษณะของสายอากาศชนิดต่างๆ โดยแสดงด้วยรูปภาพ มีดังต่อไปนี้ Wire Antenna , Aperture Antenna , Array Antenna , Microstrip Antenna , Reflector Antenna , Lens Antenna โดยเนื้อหาอย่างละเอียดอยู่ในหน้าจอต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 หน้าจอ Menu การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

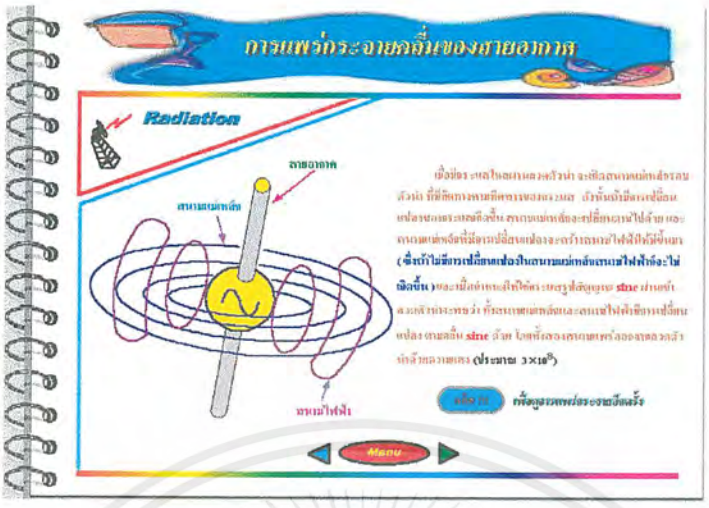
หน้าจอนี้ เป็น Menu เกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศชนิดต่างๆ มีหัวข้อดังต่อไปนี้ 1.การเกิดคลื่นนิ่ง(Standing Wave) 2.การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ 3.การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวดเดี่ยว 4.การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวด 2 เส้น 5.การแพร่กระจายคลื่นจากไดโพล 6.กลับสู่ Main Menu



รูปที่ 6.5 หน้าจอ การเกิดคลื่นนิ่ง(Standing Wave)

หน้าจอนี้ จะเป็นหน้าจอที่แสดงทั้งเนื้อหาโดยละเอียดและรูปภาพเคลื่อนไหวประกอบเนื้อหาเกี่ยวกับการเกิดคลื่นนิ่งโดยมีการใช้สีต่างๆเข้ามาช่วยเพื่อให้เห็นการเกิดคลื่นนิ่งชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 หน้าจอ การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

หน้าจอนี้ จะแสดงการเกิดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ โดยจะแสดงให้เห็นสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายออกมา โดยใช้รูปภาพและเนื้อหาประกอบ

รูปที่ 6.7 หน้าจอ การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวดเดี่ยว

หน้าจอนี้ จะเป็นการแสดงการเกิดการแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวดเดี่ยวในลักษณะต่างๆดังนี้ 1. Curved 2. Bent 3. Discontinuous 4. Terminated 5. Truncated โดยมีการแสดงเนื้อหาอย่างละเอียดและรูปภาพประกอบ อย่างชัดเจน ทำให้สามารถเข้าใจได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.8 หน้าจอ การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวด 2 เส้น

หน้าจอนี้ จะเป็นการแสดงถึงการแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวด 2 เส้น โดยมีการนำเสนอโดยใช้รูปภาพเคลื่อนไหว พร้อมทั้งมีเนื้อหาโดยละเอียดประกอบ

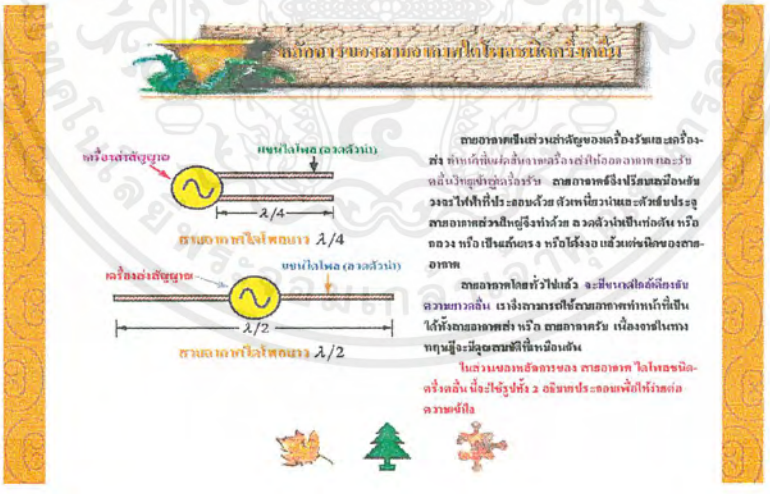
รูปที่ 6.9 หน้าจอ การแพร่กระจายคลื่นจากไดโพล

หน้าจอนี้ จะแสดงการเกิดการแพร่กระจายจากสายอากาศไดโพล โดยใช้ภาพเคลื่อนไหวมาประกอบการอธิบาย พร้อมทั้งมีเนื้อหาโดยละเอียดอธิบายอยู่ใต้ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.10 หน้าจอ Menu สายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น

หน้าจอนี้ จะเป็นหน้า Menu เกี่ยวกับสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น ซึ่งมีหัวข้อดังนี้ 1.หลักการของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น 2.การแพร่กระจายของคลื่นของสายอากาศ 3.การแพร่กระจายของกระแสและแรงดันของสายอากาศ 4.การนำไปประยุกต์ใช้งานของสายอากาศ



รูปที่ 6.11 หน้าจอ หลักการของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น

หน้าจอนี้ ก็จะแสดงหลักการของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น โดยใช้รูปภาพและเนื้อหาโดยละเอียดในการนำเสนอ ทำให้สามารถเข้าใจได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

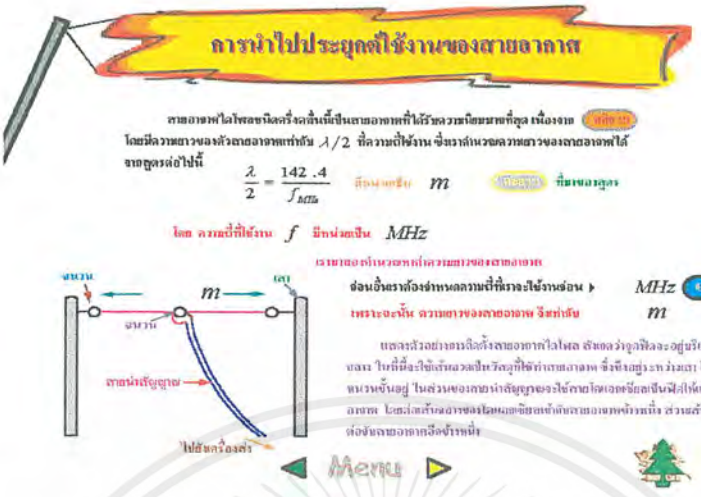
รูปที่ 6.12 หน้าจอ การแพร่กระจายของคลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น

หน้าจอนี้ จะแสดงให้เห็นถึงการแพร่กระจายของคลื่นของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น ใน 2 ลักษณะได้แก่ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อวางสายอากาศในแนวนอน และ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเมื่อวางสายอากาศในแนวดิ่ง โดยใช้รูปภาพและเนื้อหาในการอธิบาย

รูปที่ 6.13 หน้าจอ การกระจายของกระแสและแรงดันของสายอากาศ

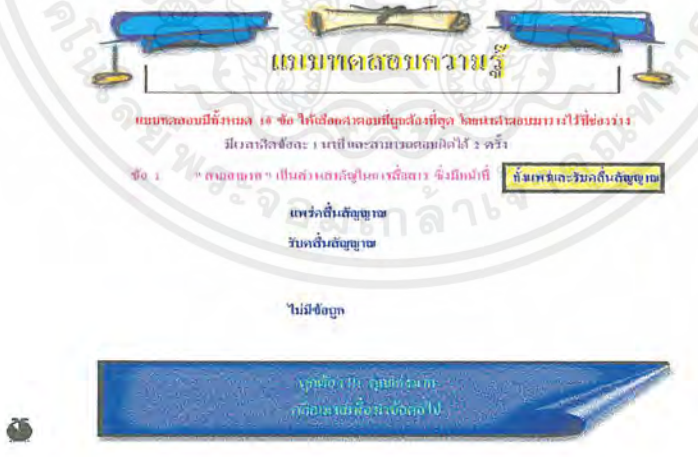
หน้าจอนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับการเกิดการกระจายของกระแสและแรงดันของสายอากาศที่ ณ เวลาต่างๆ โดยแสดงด้วยภาพเคลื่อนไหว พร้อมทั้งมีรายละเอียดบรรยายอยู่ใต้ภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.14 หน้าจอ การนำไปประยุกต์ใช้งานของสายอากาศ

หน้าจอนี้ จะมีเนื้อหารายละเอียดเกี่ยวกับการนำสายอากาศไปประยุกต์ใช้งาน โดยจะมีการใช้สูตรในการคำนวณหาค่าความยาวของสายอากาศที่จะนำมาใช้งาน โดยในหน้าจอนี้ก็จะมีสูตรสำเร็จรูปไว้ให้แล้ว เพียงแค่เราใส่ค่า ความถี่ที่ต้องการใช้ เราก็จะได้ค่าความยาวของสายอากาศที่ต้องการออกมา



รูปที่ 6.15 หน้าจอ แบบทดสอบความรู้

หน้าจอนี้ เป็นส่วนของแบบทดสอบความรู้ทั้งหมดเกี่ยวกับสายอากาศ ซึ่งมีเนื้อหาอยู่ในสื่อการสอนนี้ เพื่อเป็นการทดสอบความเข้าใจ และช่วยให้เราเข้าใจเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งานโปรแกรม

Computer Aid Instruction For Half Wave Dipole

โปรแกรมช่วยสอนเกี่ยวกับสายอากาศไดโพลนี้ จะอยู่ในรูปแบบของแผ่นซีดี ซึ่งในการใช้งานสามารถทำได้โดย ใส่แผ่นซีดีลงในซีดีรอมของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมจะทำงานโดยอัตโนมัติ

เมื่อเข้าสู่โปรแกรมครั้งแรกจะแสดง Title จากนั้นจะเข้าสู่หน้าจอ Main Menu ซึ่งมีลักษณะดังนี้

รูปที่ 6.16 หน้าจอ Main menu

จากนั้นเราสามารถเลือกหัวข้อจาก Main Menu ซึ่งมีทั้งหมด 5 หัวข้อ ดังนี้

- ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ ซึ่งจะกล่าวถึง ความหมายของสายอากาศ หลักการพื้นฐาน และชนิดของสายอากาศ
- การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ จะกล่าวถึง การเกิดคลื่นนิ่ง กฎมือซ้าย การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวดเดี่ยว การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวด 2 เส้น การแพร่กระจายคลื่นจากไดโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น กล่าวถึง หลักการ คุณสมบัติการแพร่กระจายของคลื่น การกระจายของกระแส การนำไปใช้ประยุกต์ใช้งานของสายอากาศ
- แบบทดสอบความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับเนื้อหาที่ได้จากการใช้โปรแกรมมี ทั้งหมด 10 ข้อ
- ออกจากโปรแกรมการใช้งาน

ซึ่งรายละเอียดของหัวข้อต่างๆ จะแสดงออกมาให้เห็นเมื่อผู้ใช้โปรแกรมเลื่อน Mouse ไปยังบริเวณหัวข้อ

เมื่อต้องการเข้าหัวข้อใด ก็ **คลิก!** ที่หัวข้อนั้น

คลิก! ที่หัวข้อ **ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ** ก็จะเข้าสู่หน้าจอหลัก ซึ่งเป็นบทนำเกี่ยวกับสายอากาศ แล้วจะมีหัวข้อย่อยให้เลือกดังนี้

- ชนิดของสายอากาศ เมื่อ **คลิก !** ก็จะแสดง หน้าจอให้เลือก ชนิดของสายอากาศแต่ชนิด เมื่อเลื่อน Mouse ไปที่ชนิดของสายอากาศชนิดใด ก็จะแสดงรูปของสายอากาศชนิดนั้น

เมื่อต้องการจะเข้าสู่รายละเอียดของชนิดสายอากาศแต่ละชนิด ก็คลิกที่ชื่อของสายอากาศชนิดนั้น หรือจะคลิกที่ปุ่ม Next ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเรียงตามชื่อชนิดของสายอากาศ

เมื่อต้องการจะกลับไปที่หน้าจอ **ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ** ก็ **คลิก!** ที่ Menu

- Main Menu เมื่อคลิกก็จะกลับไปยังหน้าจอ Main Menu

เมื่อจะเลือกเข้าหัวข้อใด ต้องทำการคลิกก่อนเพื่อหยุดการเคลื่อนไหวของรูป

คลิก! ที่หัวข้อ **การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ** ก็จะแสดงหัวข้อให้เลือกเข้าสู่รายละเอียด ซึ่งมีหัวข้อดังนี้

- การเกิดคลื่นนิ่ง
- การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
- การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวดเดี่ยว
- การแพร่กระจายคลื่นจากเส้นลวด 2 เส้น
- การแพร่กระจายคลื่นจากไดโพล
- Main Menu

เมื่อต้องการเข้าสู่หัวข้อใดก็ทำการ **คลิก !** ที่หัวข้อนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลิก! ที่หัวข้อ **สายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น** ก็จะแสดงหัวข้อให้เลือก เมื่อต้องการเข้าสู่หัวข้อใด ก็คลิกที่หัวข้อนั้น หัวข้อที่ให้เลือกมีดังนี้

- หลักการของสายอากาศไดโพลชนิดครึ่งคลื่น
- การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ
- การแพร่กระจายของกระแสและแรงดันของสายอากาศ
- การนำไปประยุกต์ใช้งานของสายอากาศ
- Main Menu

คลิก ! ที่หัวข้อ **แบบทดสอบความรู้** เป็นแบบทดสอบความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับเนื้อหาได้จากการใช้โปรแกรมมี ทั้งหมด 10 ข้อ เมื่อ **คลิก!** เข้าสู่หัวข้อนี้จะต้องทำแบบทดสอบทั้งหมดก่อนจึงสามารถกลับเข้าสู่ Main menu ได้

ผู้ทำแบบทดสอบนี้ จะต้องตอบคำถามโดยใช้เมาส์ลากคำตอบมาวางไว้ในช่องว่างที่กำหนดไว้ มีเวลาทำข้อละ 1 นาที สามารถเลือกคำตอบได้ 2 ครั้ง เมื่อทำแบบทดสอบครบทั้งหมด 10 ข้อแล้วจะแสดงจำนวนครั้งที่ทำผิดและคะแนนรวมข้อที่ทำถูก โดยข้อถูกจะได้ 1 คะแนน

คลิก! ที่หัวข้อ **ออกโปรแกรม** เมื่อคลิกก็จะออกจากโปรแกรม CAI

หมายเหตุ ในส่วนของการใช้งานปลีกย่อยจะมีสัญลักษณ์หรือข้อความบ่งบอกถึงการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลของปริญญานิพนธ์

1. สรุปการทำงาน

จากที่ได้ศึกษา ลองเขียนโปรแกรม ก็ได้พบว่าโปรแกรม Authorware เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป ที่ศึกษาได้ไม่ยาก เข้าใจง่าย แต่อาจมีปัญหาบ้างในการทำความเข้าใจในบางส่วน และชิ้นงานที่เราได้ทำ คือ การทำสื่อการสอน โดยใช้โปรแกรม Authorware โดยเริ่มจากการหาข้อมูล ซึ่งต้องหาข้อมูลมากพอสมควรและต้องทำความเข้าใจกับเนื้อหาก่อนที่จะลงมือร่าง Story-Board ซึ่งส่วนนี้ต้องใช้เวลา และในการเขียนโปรแกรม ก็อาจมีปัญหาบ้างในส่วนของการตกแต่ง เพราะต้องใช้โปรแกรมอื่นเข้ามาช่วย ผลสุดท้ายจะได้งานที่สมบูรณ์

2. ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น

เนื่องจาก คณะผู้จัดทำ project เพิ่งเริ่มเข้าสู่การใช้คอมพิวเตอร์ ไม่นาน จึงมีความรู้เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ไม่มากนัก ทำให้การศึกษาและเรียนรู้การใช้ การเขียน ภาษาคอมพิวเตอร์เป็นไปได้ช้า และในโปรเจ็ก เราไม่ได้ใช้เพียงโปรแกรม Authorware เท่านั้น ยังมีการใช้โปรแกรมอื่นๆ เข้ามาช่วยอีก เช่น Photoshop , Visio , 3D เพื่อช่วยในการตกแต่งชิ้นงานอีกด้วย ทำให้คณะผู้จัดทำต้องเรียนรู้โปรแกรมอื่นๆ ไปในเวลาเดียวกัน

3. แนวทางการแก้ไขและพัฒนา

จากการศึกษาเรียนรู้โปรแกรม Authorware ทำให้สามารถประยุกต์โปรแกรม Authorware ไปใช้ในการทำงานอื่นนอกจากการใช้เป็นสื่อการสอนได้ด้วย รวมทั้งยังสามารถใช้โปรแกรมอื่นๆ ที่เราได้ศึกษา มาช่วยในการตกแต่งชิ้นงานให้ดูสวยงามยิ่งขึ้น มีลูกเล่นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] K.D Prasad . **Antenna and wave propagation** . New Delhi : Satya Prakashan. 1985.

[2] Samuel Silver . **Microwawe antenna theory and design**. London : Institwtion of Electrieal engineer. 1987.

[3] Warren L. Stutzman. Gary A. Thiele, **Antenna Theory and desigh.**New York : John Wiley & Sons. 1981.

[4] **รวมบทความและโครงงาน วิทยุสมัครเล่น เล่ม 1.** กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. 2537

[5] สุชาติ กังวารจิตต์ . **เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร.** กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด . 2538.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้