การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

DEVELOPMENT OF TUTORIAL COMPUTER ASSISTED INSTUCTION IN MICROWAVE ENGINEERING ENTITLED MICROWAVE ANTENNA FOR UNDERGRADUATES FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

อรทัย กลางณรงค์

ORRATHAI KLANGNARONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์)
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 974-8308-03-0

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

DEVELOPMENT OF TUTORIAL COMPUTER ASSISTED INSTUCTION IN MICROWAVE ENGINEERING ENTITLED MICROWAVE ANTENNA FOR UNDERGRADUATES FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

อรทัย กลางณรงค์

ORRATHAI KLANGNARONG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....69066
วัน,เดือน,ปี.....- 7 ก.พ. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์)
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 974-8308-03-0

DEVELOPMENT OF TUTORIAL COMPUTER ASSISTED INSTUCTION IN MICROWAVE ENGINEERING ENTITLED MICROWAVE ANTENNA FOR UNDERGRADUATES FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ORRATHAI KLANGNARONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN SCIENCE EDUCATION (COMPUTER)
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2006

SIBN 974-8308-03-0

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
นักศึกษา	นางสาวอรทัย กลางณรงค์
รหัสประจำตัว	46065801
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	การศึกษาวิทยาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์)
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. วิไลพร วรจิตตานนท์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนที่มีประสิทธิภาพ วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ จำนวน 20 คน โดยใช้เกรดเฉลี่ยสะสมในชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2548 เป็นชั้นภูมิ และการสุ่มแบบแบ่งชั้น นำนักศึกษาที่เป็นประชากรที่แบ่งตามชั้นภูมิมาทำการสุ่มอย่างง่ายโดยการจับฉลากตามสัดส่วนเพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ และแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนจำนวน 20 ข้อ มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.17-0.63 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.00-0.47 และค่าความเที่ยงเป็น 0.51

การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในการวิจัยครั้งนี้ ใช้เกณฑ์ E_1/E_2 ไม่ต่ำกว่า 80/80

ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ มีประสิทธิภาพ 81.75/80.25 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

Thesis	Development of Tutorial Computer Assisted Instruction in Microwave Engineering Entitled Microwave Antenna for Undergraduates Faculty of Industrial Education King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Student	Miss. Orrathai Klangnarong
Student ID	46065801
Degree	Master of Science
Program	Science Education (Computer)
Year	2006
Thesis Advisor	Associate Professor Dr.Wilaiporn Worrachittanont
Thesis Co-Advisor	Associate Professor Peerawut Suwanjan

ABSTRACT

Purpose of this research was to develop the efficient Computer Assisted Instruction by using the developed Computer Assisted Instruction for tutorial in Microwave Engineering entitled Microwave Antenna for undergraduate students of Industrial Education Faculty, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

The samples consisted of 20 undergraduate students of Industrial Education Faculty, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, during the 1st semester, 2006 academic year who had learned Microwave Engineering entitled Microwave Antenna. The samples were selected employing by stratified random sampling technique using GPA as the strata.

Research instruments were the Microwave Engineering Computer Assisted Instruction in Microwave Antenna and the achievement test. The achievement test comprised 20 items possessing the degree of difficulty ranging from 0.17-0.63, the degree of discrimination between 0.00-0.47 and the reliability coefficient of 0.51.

To examine the efficiency of the Computer Assisted Instruction, not less than 80/80 standard criterion was used.

The results of the research revealed that the efficiency of the Computer Assisted Instruction was 81.75/80.25, which reached the standard criterion.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร. วิไลพร วรจิตตานนท์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ รศ. พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และช่วยตรวจสอบแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยตลอดจนการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. รวีวรรณ ชินะตระกูล ผศ.ดร. รวิวรรณ เทนอิสสระ รศ. วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ. วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ อาจารย์พิมพ์ชนก ตอพรหม ลำไย ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาที่ให้คำปรึกษา และรายละเอียดด้านเนื้อหาเรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ประเมินและตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ทั้งให้คำแนะนำในการปรับปรุงเครื่องมือให้มีความเหมาะสมเพื่อการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณธนันต์ชัย บรรเทิงจิตร และคุณนวรัตน์ ลิมาภิรักษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ที่ประเมิน ตรวจสอบและให้คำแนะนำในการปรับปรุงเครื่องมือให้มีความเหมาะสมในด้านเทคนิคการผลิตสื่อเพื่อการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณแม่อารี คุณพ่ออารมย์ กลางณรงค์ ที่เป็นผู้ให้กำเนิด ให้ความรักและเอาใจใส่ผู้วิจัยอย่างหาที่เปรียบมิได้ ตลอดจนส่งเสริมด้านการศึกษาแก่ผู้วิจัยตลอดมา และขอขอบคุณน้องๆ และญาติทุกๆ คน ที่ได้ให้ความรัก ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุน และช่วยเหลือทุกๆ ด้านตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณสมเจตน์ กุณาศล และเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2549 ที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์ใดๆ ที่เป็นผลจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บิดา มารดา ครู-อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ด้วยความเคารพยิ่ง

อรทัย กลางณรงค์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	2
1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 หลักสูตรวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ	7
2.2 การทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม	9
2.3 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	11
2.4 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	26
2.5 การวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน	27
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 38
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง..... 38
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 39
3.3 การดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 47
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 48

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 50

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ..... 51
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 51
5.2 การอภิปรายผล..... 52
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 54

บรรณานุกรม..... 55

ภาคผนวก..... 58
ภาคผนวก ก เนื้อหาวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ..... 59
ภาคผนวก ข ตัวอย่างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ..... 88
ภาคผนวก ค แบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ..... 95
ภาคผนวก ง แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ (ด้านเนื้อหา)..... 101
ภาคผนวก จ แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)..... 104

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ฉ ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ด้านเนื้อหาและเทคนิคการผลิตสื่อ..... 107

ภาคผนวก ช ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบ วัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟจำแนกตามรายข้อ..... 112

ภาคผนวก ซ คะแนนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ ไมโครเวฟ ระหว่างเรียนและหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ ช่วยสอนเพื่อการทบทวน..... 114

ประวัติผู้เขียน..... 116

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 รายละเอียดจำนวนข้อของแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน ที่ใช้จริงและออกเกินจำนวนตามระดับของขอบเขตด้านปัญญาและบทเรียน..... 44

4.1 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ..... 50

ก.1 การแบ่งช่วงความถี่ของคลื่นวิทยุ..... 70

ก.2 การแบ่งช่วงความถี่ในย่านไมโครเวฟ..... 71

ก.3 ความหนาแน่นกำลังงานของคลื่นวิทยุตามมาตรฐานความปลอดภัยของ ANSI (American National Standard Institute)..... 72

ก.4 สายอากาศไมโครเวฟแบบจานสะท้อนอันเดียว..... 74

ก.5 สายอากาศไมโครเวฟแบบจานสะท้อนสองอัน..... 74

ฉ.1 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรม ไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ (ด้านเนื้อหา)..... 108

ฉ.2 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรม ไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)..... 110

ช.1 ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ ของบทเรียนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ จำแนกตามรายข้อ..... 113

ซ.1 คะแนนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ระหว่างเรียน และหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน..... 115

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แผนภาพแสดงบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอย่างง่าย	11
2.2	ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเส้นทางเดียว	18
2.3	ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบย้อนกรอบ	19
2.4	ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบก่อนข้ามกรอบ	19
2.5	ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบข้ามและย้อนกลับ	19
2.6	ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบทางเดินหลายเส้น	20
2.7	ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบกรอบซ่อมเสริมเดี่ยว	20
2.8	ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบมีห่วงกรอบซ่อมเสริม	21
2.9	ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบกรอบซ่อมเสริมหลายกิ่ง	21
2.10	ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบแตกกิ่งคู่	22
2.11	ลักษณะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบกิ่งประกอบ	22
2.12	การจำแนกจุดมุ่งหมายทางการเรียน	28
3.1	การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบ	47
ก.1	การแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศ	60
ก.2	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	61
ก.3	การแพร่กระจายของกระแสและแรงดันบนลวดตัวนำขนาด $1/2\lambda$	62
ก.4	สายอากาศที่มีจุดฟีด (feed point) ตรงกลาง	62
ก.5	ระนาบเมอริเดียนและอิเควโทเรียลของสายอากาศ	63
ก.6	อัตราส่วนฟรอนต์ทูแบคของสายอากาศ	63
ก.7	บีมวิดท์ของสายอากาศ	64
ก.8	แกนโคโอดิเนตในการวิเคราะห์สายอากาศ	66
ก.9	ตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเร็คชั่นแนล	66
ก.10	รูปแบบระนาบ E และ H ของสายอากาศแบบ pyramidal horn	67
ก.11(ก)	โลบและบีมวิดท์ (แบบ 3 มิติ)	68
ก.11(ข)	ระดับกำลังคลื่นและโลบต่างๆ (แบบ 2 มิติ)	68
ก.12	สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	69
ก.13	สายอากาศแบบสล็อต	73
ก.14	สายอากาศแบบฮอร์น	73

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ก.15 โครงสร้างของสายอากาศแบบพาราโบลา..... 75

ก.16 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์..... 76

ก.17 สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์..... 77

ก.18 สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน..... 78

ก.19 สายอากาศแบบเกรโกเรียน..... 79

ก.20 แกนประสานของสายอากาศแบบพาราโบลา..... 80

ก.21 ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของช่องเปิด..... 81

ก.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_1 กับมุมเงยของจาน..... 82

ก.23 อัตราขยายและบีมวิดท์ของสายอากาศแบบพาราโบลา..... 83

ก.24 โครงสร้างของฟีดฮอร์นและวงจรสมมูล..... 83

ก.25 ค่า r_a และ d ที่เหมาะสมของแผ่นแมตชิง..... 84

ก.26 ฟีดฮอร์นที่ใช้กับท่อนำคลื่น..... 85

ก.27 ตัวกระจายคลื่นขั้นต้นที่ใช้กับสายโคแอกเชียล..... 85

ก.28 ฟีดฮอร์นที่ใช้ในกรณีที่มีทั้งคลื่นแนวตั้งและคลื่นแนวนอน..... 85

ก.29 ฮอร์นแบบกรวยกลมแบบสองโหมด..... 87

ก.30 ฮอร์นแบบลูกฟูก..... 87

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสำคัญกับการศึกษาเป็นอย่างยิ่ง มีการพัฒนาทั้งหลักสูตรและบุคลากรด้านการศึกษาเป็นอย่างมาก โดยการจัดการศึกษาในปัจจุบันจะเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง มีการพัฒนาและปรับปรุงการเรียนการสอนให้ทันสมัยยิ่งขึ้น มีการนำเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ซึ่งคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หรือ CAI หมายถึง สื่อการเรียนการสอนทางคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการนำเสนอสื่อประสมอันได้แก่ ข้อความ ภาพนิ่ง กราฟิก แผนภูมิ กราฟ ภาพเคลื่อนไหว วีดิทัศน์และเสียง เพื่อถ่ายทอดเนื้อหาบทเรียนหรือองค์ความรู้ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับการสอนจริงในห้องเรียนมากที่สุด (ถนอมพร เลาหจรัสแสง. 2541 : 7)

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นสื่อที่เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบัน ซึ่งเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง คำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล โดยผู้เรียนสามารถศึกษาด้วยตนเองได้มากหรือน้อย เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้เรียนแต่ละคน นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนยังสามารถที่จะประเมินและตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียนได้ตลอดเวลา ดังนั้นผู้สอนจะสามารถนำคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้ในการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกันผู้เรียนก็สามารถนำคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปใช้ในการทบทวนบทเรียนของตนเองได้ด้วย โดยปราศจากข้อจำกัดทางเวลาและสถานที่ที่ใช้ในการศึกษา

การจัดสภาพการเรียนการสอนและการจัดห้องเรียนในปัจจุบัน จะจัดผู้เรียนในชั้นคละกัน ผู้เรียนทุกคนต้องทำกิจกรรมการเรียนการสอนตามที่ผู้สอนจัดให้เหมือนกัน คุณภาพการเรียนการสอนขึ้นอยู่กับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมุ่งเน้นให้ผู้เรียนทุกคนมีความรู้ความสามารถตามเกณฑ์ที่ผู้สอนกำหนดไว้ในวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม แต่เนื่องจากผู้เรียนแต่ละคนมีความรู้ความสามารถไม่เท่ากัน จึงต้องมีการทบทวนความรู้ที่ได้เรียนมา ซึ่งผู้สอนไม่สามารถที่จะทบทวนบทเรียนให้กับผู้เรียนเป็นรายคนได้ สื่อการสอนที่นับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการทบทวนบทเรียนนั้นก็คือคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

สำหรับวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เป็นวิชาหลักในกลุ่มวิชาชีพวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นวิชาที่ศึกษาเรื่องความรู้

เบื้องต้นทฤษฎีสายส่งกำลัง กราฟสมิธ สายแกนร่วม สายส่งกำลังความถี่ไมโครเวฟ ท่อนำคลื่นกลมและสี่เหลี่ยม ตัวต่อปลายสาย ตัวทอนกำลังและตัวเปลี่ยนเฟส ตัวเปลี่ยนโหมด ตัวถ่ายคลื่นวงจรกำธร และวงจรกรอง ตัวสร้างความถี่แบบหลอดรีเฟล็ค แบบ BWO แบบ Gunn ตัวขยายความถี่แบบ TWT แบบไคลสตรอน FETSLNAMASER พารามิเตอร์แอมปลิไฟเออร์ สายอากาศไมโครเวฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นพื้นฐานความรู้ที่จะนำไปศึกษาในเรื่องของการสื่อสารไมโครเวฟได้ต่อไป ซึ่งสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟเป็นเรื่องที่เป็นนามธรรม ถ้ามีสื่อที่เป็นรูปธรรมก็จะทำให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยตระหนักถึงความสามารถที่แตกต่างกันของผู้เรียนแต่ละคน ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถนำเสนอในลักษณะสื่อประสม (Multimedia) จึงเป็นการเพิ่มแรงจูงใจให้ผู้เรียนอยากเรียนรู้ไม่เบื่อหน่าย มีความต่อเนื่องในการเรียนและคอมพิวเตอร์สามารถโต้ตอบกับผู้เรียนได้ เป็นผลให้เกิดการเรียนรู้ได้ง่ายและเกิดความเข้าใจได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งการทบทวนความรู้โดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นวิธีการที่จะช่วยให้ผู้เรียนที่เรียนไม่เข้าใจหรือไม่สามารถทำความเข้าใจในเนื้อหาด้วยตัวเอง ซึ่งเกิดจากสื่อที่มีอยู่ในปัจจุบันอยู่ในรูปของหนังสือ การแสดงภาพสื่อจากหนังสือไม่ชัดเจน ยากต่อการทำความเข้าใจ ถ้าได้มีการทบทวนด้วยสื่อที่มีความชัดเจนจะทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและทำให้สนใจบทเรียนมากยิ่งขึ้น และผู้เรียนสามารถทบทวนบทเรียนในเวลาและสถานที่ใดก็ได้ที่มีคอมพิวเตอร์และสามารถศึกษาจนกว่าจะเข้าใจโดยไม่มีข้อจำกัด

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ที่มีประสิทธิภาพและตรงตามวัตถุประสงค์ของหลักสูตร โดยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้จะใช้ในการทบทวนบทเรียนได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนที่มีประสิทธิภาพ วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 2 (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3 สมมติฐานการวิจัย

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ มีประสิทธิภาพ E_1/E_2 ไม่ต่ำกว่า 80/80

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนครั้งนี้ ได้นำขั้นตอนการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนของพรเทพ เมืองแมน (2544 : 30-31) มาเป็นกรอบแนวคิดในการสร้างดังนี้

1. การวางแผน
   - 1.1 การวิเคราะห์หลักสูตร
   - 1.2 การกำหนดวัตถุประสงค์ของบทเรียน
   - 1.3 การกำหนดกิจกรรมการเรียน
2. การออกแบบบทเรียน
   - 2.1 การจัดแบ่งเนื้อหาออกเป็นหน่วยย่อยๆ และจัดลำดับของเนื้อหา
   - 2.2 การสร้างสตอรี่บอร์ด
3. การสร้างบทเรียน
4. การประเมินและแก้ไขบทเรียน

1.4.2 การวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ผู้วิจัยได้นำแนวคิดของ Bloom (1985) (อ้างในบุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์. ม.ป.ป. : 45-49) มาใช้เป็นกรอบแนวคิดในการสร้างแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนจากการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่มุ่งเน้นทางด้าน Cognitive domain ซึ่งเป็นจุดประสงค์ที่เกี่ยวกับความสามารถทางสติปัญญาของบุคคลจำแนกออกเป็น 6 ส่วน คือ ด้านความรู้ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การวิเคราะห์ การสังเคราะห์และการประเมินผล ซึ่งกรอบแนวคิดใน การสร้างแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนในครั้งนี้ผู้วิจัยเน้นเพียง 3 ส่วน คือ ความรู้ความจำ ความเข้าใจ และการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ประชากร

ประชากรในการวิจัย คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549 จำนวน 77 คน

1.5.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ลงทะเบียนเรียนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549 จำนวน 20 คน โดยการสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) โดยใช้เกรดเฉลี่ยสะสมเป็นชั้นภูมิ

1.5.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ การใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

1.5.4 ระยะเวลาในการทดลอง

ทำการทดลองในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549

1.5.5 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ประกอบไปด้วย 3 หน่วยการเรียน คือ

หน่วยการเรียนที่ 1 เรื่องความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศและคลื่นไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 2 เรื่องโครงสร้างของสายอากาศแบบต่างๆ ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 3 เรื่องสายอากาศแบบพาราโบลาและสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน หมายถึง บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ผู้วิจัยสร้างขึ้นจากโปรแกรมสำเร็จรูป Authorware Version 7 และโปรแกรมสำเร็จรูปที่เกี่ยวข้อง โดยนำเสนอบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนแบบเส้นทางเดียว (Linear Program) เป็นลักษณะโปรแกรมช่วยสอนเนื้อหารายละเอียด (Tutorial) ประกอบด้วยกรอบนำเข้าสู่บทเรียน กรอบ

แนะนำวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม กรอบเนื้อหาบทเรียนและกรอบแบบทดสอบหลังเรียน ซึ่งเนื้อหาวิชาในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน ประกอบด้วย 3 หน่วยการเรียน คือ

หน่วยการเรียนที่ 1 เรื่องความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศและคลื่นไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 2 เรื่องโครงสร้างของสายอากาศแบบต่างๆ ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 3 เรื่องสายอากาศแบบพาราโบลาและสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

2. ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน หมายถึง อัตราส่วนของคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละที่ได้จากการทำแบบทดสอบในแต่ละหน่วยการเรียนรวมกัน ซึ่งเป็นประสิทธิภาพของกระบวนการกับคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์หลังเรียน ซึ่งเป็นประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์ไว้ คือ E_1/E_2 ไม่ต่ำกว่า 80/80 โดย

E_1 หมายถึง ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ เป็นค่าคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนตอบถูกต้อง จากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียนในแต่ละหน่วยการเรียนรวมกัน

E_2 หมายถึง ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ เป็นค่าคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนตอบถูกต้องจากการทำแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนหลังเรียน

3. แบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน หมายถึง แบบทดสอบหลังเรียนเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ โดยใช้สำหรับการหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

4. วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ หมายถึง วิชาที่อยู่ในกลุ่มวิชาชีพทางวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ซึ่งเป็นวิชาที่ศึกษาเรื่องความรู้เบื้องต้นทฤษฎีสายส่งกำลัง กราฟสมิธ สายส่งกำลังความถี่ไมโครเวฟ สายแกนร่วม ท่อนำคลื่นกลมและสี่เหลี่ยม ตัวต่อปลายสาย ตัวทอนกำลังและตัวเปลี่ยนเฟส ตัวเปลี่ยนโหมด ตัวถ่ายคลื่นวงจรกำธร และวงจรกรอง ตัวสร้างความถี่แบบหลอดรีเฟล็คแบบ BWO แบบ Gunn ตัวขยายความถี่แบบ TWT แบบไคลสตรอน FETSLNAMASER พารามิเตอร์แอมปลิ ไฟเออร์ สายอากาศไมโครเวฟ

5. การทบทวน หมายถึง การศึกษาเพื่อหาความรู้หลังจากการศึกษาตามปกติในชั้นเรียนโดยการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

6. นักศึกษา หมายถึง นักศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรต่อเนื่อง 2 ปี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาตำรา เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยขอนำเสนอในรายละเอียดดังนี้

2.1 หลักสูตรวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ

2.2 การสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม

2.3 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.4 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.5 การวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักสูตรวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ

วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีรายละเอียดดังนี้

ชื่อวิชา	วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
รหัสวิชา	03312109
หมวดวิชา	กลุ่มวิชาชีพวิศวกรรมโทรคมนาคม
ระดับ	ปริญญาตรี
หน่วยกิต	3 หน่วยกิต
เวลาเรียน	48 คาบ (3 คาบ ต่อ 1 สัปดาห์)

คำอธิบายรายวิชา ความรู้เบื้องต้นทฤษฎีสายส่งกำลัง กราฟสมิธ สายส่งกำลังความถี่ไมโครเวฟ สายแกนร่วม ท่อนำคลื่นกลมและสี่เหลี่ยม ตัวต่อปลายสาย ตัวทอนกำลังและตัวเปลี่ยนเฟส ตัวเปลี่ยนโหมด ตัวถ่ายคลื่นวงจรกำธร และวงจรกรอง ตัวสร้างความถี่แบบหลอดรีเฟล็ค แบบ BWO แบบ Gunn ตัวขยายความถี่แบบ TWT แบบไคลสตรอน FETSLNAMASER พารามิเตอร์แอมปลิไฟเออร์ สายอากาศไมโครเวฟ

วัตถุประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความรู้เบื้องต้นของระบบไมโครเวฟ
2. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีสายนำสัญญาณ
3. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานกราฟสมิธ
4. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสายนำสัญญาณสำหรับย่านความถี่ไมโครเวฟ
5. เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับไมโครเวฟคอมโพแนนท์
6. เพื่อให้มีความรู้เชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ
7. เพื่อให้มีความรู้เชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับหลอดไมโครเวฟ
8. เพื่อให้มีความรู้เชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำและการใช้งานในย่านไมโครเวฟ
9. เพื่อให้มีความรู้เชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟไปในชั้นบรรยากาศ
10. เพื่อให้มีความรู้เชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับการออกแบบระบบไมโครเวฟ
11. เพื่อให้มีทัศนคติที่ดีต่อรายวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
12. เพื่อให้นำความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นพื้นฐานการศึกษาในรายวิชาชีพที่เกี่ยวข้อง
13. เพื่อให้นำความรู้ที่ได้ไปปรับใช้ได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. บอกคุณสมบัติของสายอากาศได้
2. บอกคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟได้
3. บอกชนิดของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
4. บอกข้อแตกต่างระหว่างสายอากาศแบบจานสะท้อนอันเดียวและแบบจานสะท้อนสองอันได้
5. บอกโครงสร้างของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
6. อธิบายการทำงานของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
7. คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยนำเฉพาะเนื้อหาวิชา เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟมาใช้ในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 หน่วยการเรียน ดังนี้

หน่วยการเรียนที่ 1 เรื่องความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศและคลื่นไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 2 เรื่องโครงสร้างของสายอากาศแบบต่างๆ ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 3 เรื่องสายอากาศแบบพาราโบลาและสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

2.2 การสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม

ความหมายและหลักการต่างๆ การสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม (อ้างในอัจฉราพร พงษาปาน. 2545 : 11-13) ดังนี้

2.2.1 ความหมายของการสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม

การสอนทบทวนความรู้หรือการซ่อมเสริม หมายถึง การสอนเพื่อแก้ปัญหานักเรียนที่มีข้อบกพร่องในการเรียนรู้และสอนซ่อมเสริมให้แก่นักเรียนที่มีความรู้ความสามารถ ให้พัฒนาขีดความสามารถในการเรียนรู้ได้อย่างเต็มที่ โดยคำนึงถึงความเหมาะสมของผู้เรียนแต่ละคน

2.2.2 จุดมุ่งหมายของการสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม

การสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริมนั้นถ้าจะให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น จะต้องมีจุดมุ่งหมายแล้วจัดดำเนินการเพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ จุดมุ่งหมายของการสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริมสรุปได้ดังนี้

1. เพื่อแก้ไขนักเรียนที่มีข้อบกพร่องทางร่างกาย สติปัญญา การเรียนรู้และอารมณ์
2. เพื่อให้นักเรียนแข่งขันกับตนเอง จนสามารถเรียนได้ดีขึ้นกว่าเดิม
3. เพื่อให้นักเรียนเรียนทันเพื่อนและเรียนเก่งจนเต็มความสามารถของตน
4. เพื่อช่วยให้นักเรียนประสบผลสำเร็จในการเรียนมากขึ้น

2.2.3 หลักการสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม

การสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม เป็นการสอนที่นอกเหนือจากการสอนตามแผนปกติ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องทางการเรียนของนักเรียน ดังนั้น การสอนซ่อมเสริมจึงควรใช้หลักการสอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาสาเหตุของปัญหา ที่ทำให้นักเรียนไม่สามารถเรียนได้ตามสติปัญญาและความสามารถ โดยใช้วิธีต่างๆ เช่น การสังเกต การศึกษาเป็นรายบุคคล การใช้แบบทดสอบมาตรฐานเพื่อวัดความสามารถด้านใดด้านหนึ่งโดยเฉพาะ เป็นต้น
2. ให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการจัดการเรียนการสอนซ่อมเสริม นักเรียนจะได้เห็นว่าการสอนนี้เป็นไปตามความต้องการของนักเรียน อันก่อให้เกิดประโยชน์แก่นักเรียนเอง
3. สอนให้เหมาะสมกับระดับความสามารถของนักเรียน โดยคำนึงถึงความสามารถของนักเรียนเป็นเกณฑ์
4. สอนทีละขั้น การดำเนินการต้องค่อยๆ ไปทีละน้อยตามลำดับ ต้องฝึกทักษะย่อยๆ เพื่อนำไปสู่ทักษะที่ต้องการ

5. ผู้สอนสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม ต้องรวบรวมข้อบกพร่องของผู้เรียนแต่ละคนแล้วจัดการสอนเพื่อแก้ไขทีละอย่าง

6. ควรสอนให้ผ่านประสาทรับรู้ให้มากที่สุด ผู้เรียนอาจมีข้อบกพร่องในทักษะการรับรู้อย่างหนึ่งแต่อาจมีจุดเด่นในทักษะการรับรู้อีกอย่างหนึ่ง ควรสอนให้ตามประสาทการรับรู้ที่เป็นจุดเด่น

7. ไม่ควรสอนซ้ำในสิ่งที่ผู้เรียนรู้แล้ว ถ้าจำเป็นต้องทบทวนควรใช้เวลาสั้นๆ

8. วิธีสอนควรใช้วิธีใหม่ๆ ไม่ซ้ำวิธีเดิม ผู้เรียนจะได้ตื่นเต้นและสนุกกับวิธีเรียนแบบใหม่ ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ก็ควรจะเป็นสิ่งใหม่ด้วย

9. ควรเสริมกำลังใจให้ผู้เรียน ในสิ่งที่ผู้เรียนทำได้สำเร็จ ผู้เรียนจะได้มีความเชื่อมั่นในตนเองและสามารถแก้ปัญหาเองได้ในที่สุด

10. ทำสิ่งที่เรียนให้น่าจำและจำได้ง่ายขึ้น ให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมหรือให้เป็นความคิดของผู้เรียนเองในการทำสิ่งที่เรียนให้น่าจำ ผู้เรียนจะได้จำได้นาน

11. ช่วงเวลาในการสอนเสริม อาจสอนในเวลาเรียนขณะเรียนรวมกับเพื่อนในชั้นก่อนเรียนตอนเช้า ขณะพักกลางวันหรือหลังโรงเรียนเลิก ควรจัดให้ตามความเหมาะสมและความพร้อมของผู้เรียนด้วย การเรียนแต่ละครั้งไม่ควรใช้เวลานานเกินไป

12. ควรแจ้งผลการเรียนและปัญหาของผู้เรียนให้ผู้ปกครองทราบด้วย เพื่อจะได้ช่วยกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

13. หลังการสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม ควรติดตามผลอย่างใกล้ชิดและสม่ำเสมอ

2.2.4 การประเมินผลการสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม

ในการประเมินผลการเรียนการสอนนั้นมีเกณฑ์ 2 แบบ ดังนี้

1. การประเมินผลโดยอิงเกณฑ์ คือ การประเมินผลโดยใช้พฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดกับผู้เรียนหรือจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดกับผู้เรียนเป็นเกณฑ์ การกำหนดเกณฑ์ในแต่ละวิชาจะแตกต่างกันไป

2. การประเมินผลโดยการอิงกลุ่ม คือ การประเมินผลโดยใช้กลุ่มเป็นเกณฑ์ ทำให้ทราบได้ว่าผู้เรียนคนหนึ่งมีผลสัมฤทธิ์เท่าใดเมื่อเทียบกับกลุ่ม

2.2.5 ข้อควรคำนึงในการสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม

ในการสอนทบทวนความรู้หรือซ่อมเสริม แต่ละครั้งควรคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ คือ

1. ผู้สอนต้องถือเป็นหน้าที่และความรับผิดชอบในการสอนซ่อมเสริม

2. การสอนซ่อมเสริมควรยึดจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์เป็นหลัก

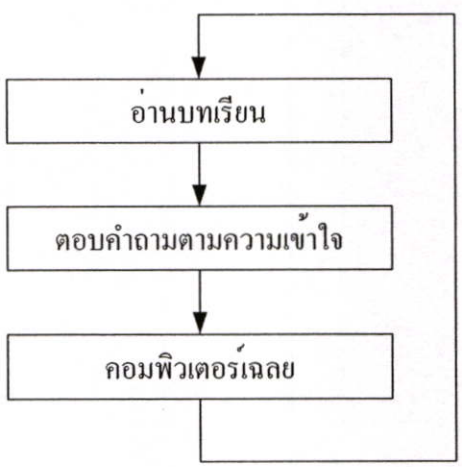
3. ควรใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยี เพื่อช่วยเหลือผู้เรียนมากกว่าการสอนด้วยการบรรยายหรือเหมือนกับการสอนในชั้นเรียนปกติ เช่น ใช้สื่อการเรียนที่ให้เรียนตามลำพัง เป็นต้น

4. ขจัดปัญหาและสาเหตุ พร้อมทั้งสมรรถภาพทางการเรียนและความเชื่อมั่นในตนเองให้กับผู้เรียน

จากหลักการสอนทบทวนความรู้ที่ได้กล่าวมานั้น ผู้วิจัยได้ใช้หลักการสอนทบทวนความรู้สอนทีละขั้น เป็นการฝึกทักษะย่อยๆ เพื่อนำไปสู่ทักษะที่ต้องการ ที่มีการปูพื้นฐานก่อนเข้าสู่บทเรียนที่ต้องการให้ผู้เรียนเกิดทักษะตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งไว้ ให้ผู้เรียนพัฒนาความรู้จนเต็มความสามารถของตนเองและให้ประสบความสำเร็จในการเรียนมากยิ่งขึ้น ระยะเวลาในการเรียนนั้นก็ขึ้นอยู่กับผู้เรียนเอง เพราะผู้เรียนสามารถเรียนได้ไม่จำกัดเวลาในการเรียน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ สำหรับผู้เรียนได้เรียนรู้ให้มีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

2.3 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของบทเรียนสำเร็จรูป โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกลางแทนสิ่งพิมพ์หรือสื่อประเภทอื่นๆ ได้แก่ รูปแบบการกำหนดบทเรียน แบบฝึกหัดและปฏิบัติ (ยืน ภู่วรวรรณ และประภาส วงสถิตย์วัฒนา. 2529 : 567) รูปแบบดังกล่าวมีแผนผัง (diagram) ดังนี้



ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอย่างง่าย

2.3.1 ความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า Computer Assisted Instruction หรือ Computer Aid Instruction นักวิชาการหลายท่านได้กล่าวถึงความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ดังนี้

ผดุง อารยะวิญญู (2527 : 41) กล่าวว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง การนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นเครื่องช่วยครูในการเรียนการสอน โปรแกรมสำหรับการเรียนการสอนมักบรรจุเนื้อหาเกี่ยวกับที่ครูจะสอน แต่แทนที่ครูจะสอนเนื้อหาวิชาด้วยตนเอง ครูก็บรรจุเนื้อหาเหล่านั้นไว้ในโปรแกรมและผู้เรียนสามารถเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นผู้ถ่ายทอดวิชาแทนครู

ยืน ภู่วรวรรณ (2531 : 121) กล่าวว่า เป็นการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการเรียนการสอน การทบทวน การทำแบบฝึกหัดหรือการวัดผล โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะนำเนื้อหาวิชาและลำดับวิธีการสอนที่บันทึกเก็บไว้มาเสนอในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับผู้เรียนแต่ละคน

ขนิษฐา ชานนท์ (2532 : 8) กล่าวว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง การนำคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอน โดยที่เนื้อหาวิชา แบบฝึกหัดและการทดสอบ จะถูกพัฒนาขึ้นในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งมักเรียกว่า Courseware ผู้เรียนจะเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะสามารถเสนอเนื้อหาวิชาซึ่งอาจจะเป็นทั้งในรูปตัวหนังสือและภาพกราฟิก มีการตั้งคำถาม รับคำตอบจากผู้เรียน ตรวจคำตอบและแสดงผลการเรียนในรูปของข้อมูลย้อนกลับ (feedback) ให้แก่ผู้เรียน

สุนันท์ สังข์อ่อง (2536 : 220) สรุปความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ดังนี้

1. การนำไมโครคอมพิวเตอร์มาใช้ในการเรียนการสอนเนื้อหาวิชา โดยผู้เรียนสามารถเรียนได้ด้วยตนเองในลักษณะเดียวกันกับบทเรียนสำเร็จรูป สามารถศึกษาบทเรียนและทบทวนเรื่องที่กำลังเรียนได้ตลอดเวลา

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้นำเนื้อหาวิชาและลำดับวิธีการสอนมาบันทึกเก็บไว้ และนำเสนอในรูปแบบที่เหมาะสมกับผู้เรียนแต่ละคน

3. การนำคอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องมือในการเรียนการสอน โดยที่เนื้อหาวิชาแบบฝึกหัด และแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และเสนอเนื้อหารายวิชาในรูปตัวหนังสือและกราฟิก ถามคำถาม และรับคำตอบจากผู้เรียน ตรวจคำตอบและแสดงผลการเรียนในรูปของข้อมูลย้อนกลับ (Feedback) ให้แก่ผู้เรียน

ถนอมพร เลาหจรัสแสง (2541 : 7) กล่าวว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง สื่อการเรียนการสอนทางคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้ความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการนำเสนอสื่อผสม อันได้แก่ ข้อความ ภาพนิ่ง กราฟิก แผนภูมิ กราฟ ภาพเคลื่อนไหว วีดิทัศน์ และเสียง เพื่อถ่ายทอดเนื้อหาบทเรียน หรือองค์ความรู้ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับการสอนจริงในห้องเรียนมากที่สุด โดย

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะนำเสนอเนื้อหาทีละหน้าจอภาพ โดยเนื้อหาความรู้ในคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะได้รับการถ่ายทอดในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติและโครงสร้างของเนื้อหา โดยมีเป้าหมายสำคัญก็คือการได้มาซึ่งคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สามารถดึงดูดความสนใจของผู้เรียนและกระตุ้นให้เกิดความต้องการที่จะเรียนรู้ คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นตัวอย่างที่ดีของสื่อการศึกษาในลักษณะตัวต่อตัว ซึ่งผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ จากการปฏิสัมพันธ์หรือการโต้ตอบพร้อมทั้งการได้รับผลป้อนกลับ (Feedback) อย่างสม่ำเสมอกับเนื้อหาและกิจกรรมต่างๆ ของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่เกี่ยวเนื่องกับการเรียน

จากความหมายของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่กล่าวมาข้างต้นอาจสรุปได้ว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอน หมายถึง การนำคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอน โดยมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อถ่ายทอดเนื้อหาของบทเรียนในรูปของ ข้อความ ภาพนิ่ง กราฟิก แผนภูมิ ภาพเคลื่อนไหว วีดิทัศน์ และเสียง โดยจะนำเสนอเนื้อหาทีละหน้าจอภาพ ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองในลักษณะเดียวกันกับบทเรียนสำเร็จรูป มีการถามคำถามและรับคำตอบจากผู้เรียน ตรวจคำตอบและแสดงผลการเรียนในรูปของข้อมูลย้อนกลับ (Feedback) ให้แก่ผู้เรียน

2.3.2 ประเภทของคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ถนอมพร เลาหจรัสแสง (2541 : 11-12) กล่าวไว้ว่า คอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท คือ

1. คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทติวเตอร์ (Tutorial) คือบทเรียนทางคอมพิวเตอร์ซึ่งนำเสนอเนื้อหาแก่ผู้เรียน ไม่ว่าจะเป็นเนื้อหาใหม่หรือการทบทวนเนื้อหาเดิมก็ตาม ส่วนใหญ่คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทติวเตอร์จะมีแบบทดสอบหรือแบบฝึกหัด เพื่อทดสอบความเข้าใจของผู้เรียนอยู่ด้วย อย่างไรก็ตาม ผู้เรียนมีอิสระพอที่จะเลือกตัดสินใจว่าจะทำแบบทดสอบหรือแบบฝึกหัดหรือไม่/อย่างไรหรือจะเลือกเรียนเนื้อหาส่วนไหน เรียงลำดับในรูปแบบใด เพราะการเรียนโดยคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้นผู้เรียนจะสามารถควบคุมการเรียนของตนได้ตามความต้องการของตนเอง

2. คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทแบบฝึกหัด (Drill and Practice) คือบทเรียนทางคอมพิวเตอร์ซึ่งมุ่งเน้นให้ผู้ใช้ทำแบบฝึกหัดจนสามารถเข้าใจเนื้อหาในบทเรียนนั้นๆ ได้ คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทแบบฝึกหัดเป็นคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทที่ได้รับความนิยมมาก โดยเฉพาะในระดับอุดมศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนที่เรียนอ่อนหรือเรียนไม่ทันคนอื่นๆ ได้มีโอกาสทำความเข้าใจบทเรียนสำคัญๆ ได้โดยที่ครูผู้สอนไม่ต้องเสียเวลาในชั้นเรียนอธิบายเนื้อหาเดิมซ้ำแล้วซ้ำอีก

3. คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทการจำลอง (Simulation) คือบทเรียนทางคอมพิวเตอร์ที่มีการนำเสนอบทเรียนในรูปของการจำลองแบบ (Simulation) โดยการจำลอง

สถานการณ์ที่เหมือนจริงขึ้นและบังคับให้ผู้เรียนต้องตัดสินใจแก้ปัญหา (Problem-Solving) ในตัวบทเรียนจะมีคำแนะนำเพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้เรียนและแสดงผลลัพธ์ในการตัดสินใจนั้นๆ ข้อดีของการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทการจำลอง คือ การลดค่าใช้จ่ายและลดอันตรายอันอาจเกิดขึ้นได้จากการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์จริง

4. คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทเกม (Instruction Game) คือบทเรียนทางคอมพิวเตอร์ที่ทำให้ผู้ใช้มีความสนุกสนาน เพลิดเพลิน จนลืมไปว่ากำลังเรียนอยู่ เกมคอมพิวเตอร์ทางการศึกษาเป็นคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทที่สำคัญประเภทหนึ่ง เนื่องจากเป็นคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่กระตุ้นให้เกิดความสนใจในการเรียน คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทนี้นิยมใช้กับเด็กตั้งแต่ระดับประถมศึกษาไปจนถึงระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้กับผู้เรียนในระดับอุดมศึกษา เพื่อเป็นการปูทางให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึกที่ดีกับการเรียนทางคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย

5. คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทแบบทดสอบ (Testing) คือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างแบบทดสอบ การจัดการการสอบ การตรวจให้คะแนน การคำนวณผลสอบ ข้อดีของการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทแบบทดสอบคือ การที่ผู้เรียนได้รับผลป้อนกลับโดยทันที (Immediate Feedback) ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการทดสอบที่ใช้กันอยู่ทั่วๆ ไป นอกจากนี้การใช้โปรแกรมทางด้านคอมพิวเตอร์ในการคำนวณผลสอบก็ยังมีความแม่นยำและรวดเร็วอีกด้วย

2.3.3 การออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

พรเทพ เมืองแมน (2544 : 23) กล่าวว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีประสิทธิภาพนั้น ต้องได้รับการออกแบบโดยอาศัยหลักการเรียนรู้และกระบวนการพัฒนาอย่างเป็นระบบ หลักการพื้นฐานสำคัญที่ผู้ออกแบบบทเรียนควรคำนึงถึง และนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้แก่ หลักการเกี่ยวกับกระบวนการเรียนรู้ (Learning Process) ซึ่ง Gagne ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเรียนรู้ของมนุษย์ และได้สรุปองค์ประกอบของการเรียนรู้ประกอบไปด้วยเหตุการณ์ 9 เหตุการณ์ ดังต่อไปนี้ (ถนอมพร เลาหจรัสแสง. 2541 : 42-48)

1. ดึงดูดความสนใจ เพื่อเป็นการกระตุ้นและจูงใจให้ผู้เรียนมีความต้องการที่จะเรียน ผู้เรียนที่มีแรงจูงใจในการเรียนสูงย่อมจะเรียนได้ดีกว่าผู้ที่มีแรงจูงใจน้อยหรือไม่มีแรงจูงใจเลย ตามหลักจิตวิทยาแล้วการจูงใจถือเป็นกระบวนการที่นำไปสู่พฤติกรรมที่มีเป้าหมาย (Motivated behavior) และเป้าหมาย (Goal) ในที่สุด ดังนั้นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงควรเริ่มด้วยหน้านำเรื่อง (Title Page) ซึ่งมีการใช้ภาพ สีหรือภาพเคลื่อนไหวต่างๆ เพื่อดึงดูดความสนใจจากผู้เรียน

2. บอกวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นการให้ผู้เรียนได้ทราบถึงเป้าหมายในการเรียนโดยรวมหรือสิ่งต่างๆ ที่ผู้เรียนจะสามารถทำได้หลังจากที่เรียนจบบทเรียน การบอกวัตถุประสงค์นี้อาจจะอยู่ในรูปของวัตถุประสงค์กว้างๆ จนถึงวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม จากหลักฐานทางการวิจัย

พบว่า การบอกวัตถุประสงค์แก่ผู้เรียนเป็นสิ่งสำคัญซึ่งช่วยให้ผู้เรียนทำความเข้าใจเนื้อหาได้ดีขึ้น การบอกวัตถุประสงค์ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้นควรที่จะสั้น กระชับ ได้ใจความและใช้ข้อความซึ่งเหมาะสมกับระดับของกลุ่มเป้าหมาย

3. ทวนความรู้เดิม ตามทฤษฎีโครงสร้างความรู้ (Schema Theory) การรับรู้ (Perception) เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดการเรียนรู้ เนื่องจากไม่มีการเรียนรู้ใดเกิดขึ้นได้โดยปราศจากการรับรู้ นอกจากนี้การรับรู้ข้อมูลนั้นเป็นการสร้างความหมายโดยการเชื่อมโยงความรู้ใหม่เข้ากับความรู้เดิมภายในกรอบความรู้เดิมที่มีอยู่และจากการกระตุ้นให้เกิดการเชื่อมโยงความรู้นั้นเข้าด้วยกัน ดังนั้นการปูความรู้พื้นฐานที่จำเป็นในการรับรู้ใหม่ให้แก่ผู้เรียนจึงเป็นสิ่งจำเป็น

4. การเสนอเนื้อหาใหม่ รูปแบบในการนำเสนอเนื้อหานั้นมีด้วยกันหลายลักษณะ ตั้งแต่การใช้ข้อความ ภาพนิ่ง ตารางข้อมูล กราฟ แผนภาพ กราฟิก ไปจนถึงการใช้ภาพเคลื่อนไหว จากหลักฐานงานวิจัยพบว่า การนำเสนอเนื้อหาโดยใช้สื่อหลายรูปแบบหรือที่รวมเรียกว่ามัลติมีเดียนั้น นับเป็นการนำเสนอที่มีประสิทธิภาพ เพราะนอกจากจะเร้าความสนใจของผู้เรียนแล้ว ยังช่วยในการเรียนรู้ของผู้เรียนให้ดีขึ้น กล่าวคือ ทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาง่ายขึ้นและทำให้ผู้เรียนมีความคงทนในการจำ (Retention) มากขึ้นอีกด้วย

5. ชี้แนวทางการเรียนรู้ ในการเรียนการสอนในชั้นเรียนตามปกตินั้น บ่อยครั้งที่เราจะสังเกตว่า ครูผู้สอนจะไม่บอกคำตอบหรือเสนอแนวคิดหรือเนื้อหาโดยตรงแก่ผู้เรียน แต่ในทางตรงข้ามครูผู้สอนจะใช้การสอนแบบค้นพบหรือการสอนแบบอุปมาน ตัวอย่างเช่น การยกตัวอย่างหรือตั้งคำถามชี้แนะกว้างๆ และแคบลงไปเรื่อยๆ เพื่อให้ผู้เรียนพยายามคิดวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบหรือค้นพบแนวคิดหรือเนื้อหาใหม่นั้นได้ด้วยตนเอง การสอนแบบค้นพบและการสอนแบบอุปมานนี้ถือว่าเป็นการชี้แนวทางการเรียนรู้ สำหรับการชี้แนวทางการเรียนรู้ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้น ผู้ออกแบบควรจะใช้เวลาในการสร้างสรรค์เทคนิคเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนค้นหาคำตอบด้วยตนเอง นอกจากนี้การชี้แนวทางการเรียนรู้ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอาจอยู่ในรูปของการให้คำแนะนำในการเรียนจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

6. กระตุ้นการตอบสนอง หลังจากผู้เรียนได้รับการชี้แนวทางการเรียนรู้แล้ว เหตุการณ์ต่อไปก็คือ การอนุญาตให้ผู้สอนได้มีโอกาสทดสอบว่าผู้เรียนเข้าใจในสิ่งที่ตนกำลังสอนอยู่หรือไม่และผู้เรียนก็จะได้มีโอกาสได้ทดสอบความเข้าใจของตนเองในเนื้อหาที่กำลังศึกษาอยู่ สำหรับการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้น การกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองนี้มักจะออกมาในรูปของกิจกรรมต่างๆ ผู้ออกแบบจึงควรจัดให้มีกิจกรรมที่สร้างสรรค์ต่างๆ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับเนื้อหาเพื่อให้มีการกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองจากผู้เรียน

7. ให้ผลป้อนกลับ หลังจากที่ผู้เรียนได้มีโอกาสได้ทดสอบความเข้าใจของตนเองในเนื้อหาที่กำลังศึกษาจากเหตุการณ์ของการกระตุ้นการตอบสนองแล้ว เหตุการณ์ที่เจ็ดของการสอนก็คือ การให้ผลป้อนกลับหรือการให้ข้อมูลย้อนกลับไปยังผู้เรียนเกี่ยวกับความถูกต้องและ

ระดับความถูกต้องของคำตอบนั้นๆ การให้ผลป้อนกลับนอกจากจะทำให้ผู้เรียนทราบว่าสิ่งที่ตนเข้าใจนั้นถูกต้องมากน้อยเพียงใดแล้ว ยังทำให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนอีกด้วย

8. ทดสอบความรู้ เป็นการประเมินว่าผู้เรียนนั้นได้เกิดการเรียนรู้ตามที่ได้ตั้งเป้าหมายหรือไม่อย่างไร การทดสอบความรู้นั้นอาจจะเป็นการทดสอบหลังจากผู้เรียนได้เรียนจบวัตถุประสงค์หนึ่ง หรืออาจจะเป็นการทดสอบหลังจากผู้เรียนได้เรียนจบทั้งบทแล้วก็ได้

9. การจำและนำไปใช้ สิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคงทนในการจำข้อมูลความรู้ใดข้อมูลความรู้หนึ่งนั้น ก็คือการให้เกิดบริบทที่มีความหมายต่อผู้เรียน (Meaningful context) การทำให้เกิดบริบทที่มีความหมายต่อผู้เรียนนั้นหมายถึงการทำให้ผู้เรียนตระหนักว่าข้อมูลความรู้ใหม่ที่ได้เรียนรู้ไปนั้นมีความสัมพันธ์กับข้อมูลความรู้เดิมหรือประสบการณ์ที่ผู้เรียนมีความคุ้นเคยอย่างไร ในขั้นตอนสุดท้ายนี้ ผู้ออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงควรที่จะนำเสนอการสรุปแนวคิดที่สำคัญซึ่งครอบคลุมถึงการเชื่อมโยงข้อมูลความรู้ใหม่กับข้อมูลความรู้เดิมของผู้เรียน รวมทั้งการยกตัวอย่างสถานการณ์หรือบริบทอื่นๆ ที่แตกต่างไปจากตัวอย่างที่ใช้ในบทเรียนด้วย และนอกจากนี้ยังควรจัดให้มีคำแนะนำเกี่ยวกับแหล่งความรู้เพิ่มเติมอีกด้วย

เหตุการณ์ทั้ง 9 เหตุการณ์นี้มีความยืดหยุ่นในตัวของมัน กล่าวคือ ผู้ออกแบบไม่ต้องเรียงลำดับตามที่ได้กำหนดไว้และไม่จำเป็นต้องใช้ทั้งหมด โดยผู้ออกแบบสามารถนำเหตุการณ์เหล่านี้ไปใช้เป็นหลักและดัดแปลงให้สอดคล้องกับปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเรียนรู้ในเนื้อหาหนึ่งๆ

พรเทพ เมืองแมน (2544 : 31-33) ได้สรุปขั้นตอนหลักในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไว้ 4 ขั้นตอน คือ

1. การวางแผน ในการวางแผนเพื่อผลิตบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้น มีส่วนต้องนำมาพิจารณา 3 ประการ ดังนี้

1.1 การวิเคราะห์หลักสูตรเนื้อหาและผู้เรียน เพื่อให้ได้มาซึ่งโครงสร้างเนื้อหาวัตถุประสงค์ของบทเรียนและความต้องการของผู้เรียน

1.2 การกำหนดวัตถุประสงค์ของบทเรียน เป็นการระบุสิ่งที่คาดหวังว่าผู้เรียนจะได้รับหลังจากการเรียนบทเรียน

1.3 การกำหนดเนื้อหากิจกรรมการเรียน โดยเลือกกิจกรรมที่เหมาะสมกับลักษณะของเนื้อหาบทเรียน ความรู้หรือทักษะที่ต้องการจะให้เกิดขึ้นกับผู้เรียน

2. การออกแบบบทเรียน หลังจากที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์หลักสูตร เนื้อหา ผู้เรียน และกำหนดวัตถุประสงค์ รวมทั้งกิจกรรมการเรียนแล้วจึงนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบบทเรียน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.1 การออกแบบบทเรียนขั้นแรก โดยการจัดแบ่งเนื้อหาของบทเรียนออกเป็นหน่วยย่อยๆ และจัดลำดับของเนื้อหา เพื่อให้สอดคล้องกับหลักการเรียนรู้ตามธรรมชาติของเนื้อหาบทเรียนแล้วจึงกำหนดเป็นโครงสร้างบทเรียน

2.2 การเขียนผังงาน โดยการเขียนผังแสดงความสัมพันธ์ของเนื้อหาบทเรียน กิจกรรม การฝึก การประเมินผลการเรียน เป็นต้น เพื่อแสดงให้เห็นโครงสร้าง รวมทั้งความสัมพันธ์ของกิจกรรมที่ต้องนำเสนอในบทเรียน เป็นการอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

2.3 การสร้างสตอรี่บอร์ด เป็นขั้นตอนการออกแบบการนำเสนอเนื้อหาทั้งที่เป็นข้อความ กราฟิก ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหวและเสียง โดยการออกแบบลักษณะของจอภาพที่ผู้เรียนจะได้เห็นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพียงแต่สตอรี่บอร์ดเป็นการออกแบบลงบนกระดาษ ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการสร้างสตอรี่บอร์ดสำหรับการผลิตสไลด์หรือโทรทัศน์นั้นเอง

3. การสร้างบทเรียน เป็นขั้นตอนของการดำเนินการสร้างบทเรียน โดยการแปลงบทหรือสตอรี่บอร์ดให้เป็นบทเรียนที่จะสามารถนำไปใช้งานจริง โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 การสร้างบทเรียน โดยใช้ภาษาหรือโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ซึ่งมีให้เลือกหลายโปรแกรม เช่น Authorware Professional, Multimedia Toolbook หรือ Director เป็นต้น

3.2 การผลิตเอกสารประกอบการเรียน เอกสารประกอบการเรียนเป็นสิ่งจำเป็น เพราะจะช่วยให้ผู้สอนหรือผู้เรียนสามารถนำบทเรียนไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเอกสารอาจจะเป็นลักษณะของคำแนะนำการใช้บทเรียน คู่มือสำหรับผู้สอน คู่มือสำหรับผู้เรียน ใบงานหรือแบบฝึกหัด เป็นต้น เพื่อให้การใช้บทเรียนเกิดประสิทธิภาพสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

4. การประเมินและแก้ไขบทเรียน ทำเมื่อต้องการทราบประสิทธิภาพของบทเรียนที่ได้จัดทำขึ้นก่อนจะนำไปใช้งาน Price (1991 : 60) กล่าวว่า การประเมินบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้นต้องมีการกระทำทั้งในรูปแบบของการประเมินระหว่างการสร้างบทเรียน (Formative Evaluation) และการประเมินเพื่อสรุปรวบยอด (Summative Evaluation) เพื่อเผยแพร่ในวงกว้างหรือการตีพิมพ์เป็นรายงานการสร้างบทเรียนในเชิงการวิจัยและพัฒนา

การประเมินระหว่างการสร้างบทเรียนนั้น ควรเริ่มตั้งแต่ในระยะที่กำลังดำเนินการเขียนโครงร่างของเนื้อหาบทเรียน ออกแบบแนวทางการสอน สร้างบทฉบับร่าง โดยขอความร่วมมือจากผู้ที่มีความชำนาญด้านเนื้อหา ด้านการผลิตบทเรียนมาให้ความคิดเห็น ซึ่งอาจจะทำอย่างไม่เป็นทางการนัก แต่จะให้ผลดีอย่างมากต่อการสร้างบทเรียนอย่างมีคุณภาพ หลังจากได้แก้ไขปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิข้างต้นแล้ว ก็ต้องมีการทดลองใช้กับตัวอย่างที่เป็นกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งจะต้องเลือกสรรให้เป็นตัวแทนที่ดี กล่าวคือ มีผู้เรียน ทั้งในกลุ่มเก่ง ปานกลาง และอ่อน มีทั้งเพศหญิงและชาย เป็นต้น การสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียน ในขณะที่กำลังใช้บทเรียน

69066

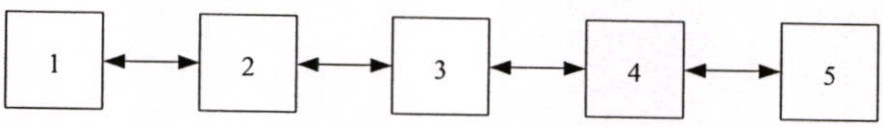
ก็เป็นสิ่งที่ควรกระทำ อีกทั้งข้อมูลย้อนกลับจากผู้เรียนทั้งในแง่ผลสัมฤทธิ์และเจตคติต่อบทเรียน จะต้องนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการพัฒนาบทเรียนก่อนจะนำไปเผยแพร่แก่สาธารณชน

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้วิจัยได้แนวคิดในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนของพรเทพ เมืองแมน ซึ่งขั้นตอนการพัฒนาเริ่มจากการวางแผน การออกแบบบทเรียน การสร้างบทเรียน และการประเมินและแก้ไขบทเรียน

2.3.4 การนำเสนอบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์ (อ้างใน อารีย์ มีมุ่งกิจ. 2541 : 15-21) ได้กล่าวถึงลักษณะของการนำเสนอบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีอยู่ 2 แบบ ได้แนวทางรูปแบบมาจากบทเรียนสำเร็จรูปหรือบทเรียนโปรแกรมที่เคยได้รับความสนใจและเป็นที่นิยมกันในอดีตแต่มีข้อจำกัดอยู่บางประการ และในปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์มีการพัฒนามากยิ่งขึ้น ทั้งมีราคาถูกลง จึงทำให้เกิดการตื่นตัวในการนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเส้นทางเดียว (Linear Program) ประกอบด้วยกรอบเนื้อหาหรือกรอบคำถามที่มีลำดับการตอบสนองอย่างต่อเนื่องไปในทิศทางเดียวกัน สร้างและใช้ได้ง่ายแต่ไม่นิยมมากนักในปัจจุบัน เพราะไม่เอื้อต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล เนื่องจากมีการจัดเรียงเนื้อหาตายตัว มีการแตกย่อยเป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างละเอียด ทำให้ผู้เรียนจะได้รับหรือต้องเรียนเนื้อหาเหมือนกันทำให้อาจเป็นที่น่าเบื่อหน่ายสำหรับผู้เรียนที่เรียนได้ไวที่ต้องเรียนผ่านทุกกรอบทีละกรอบ แสดงดังภาพที่ 2.2



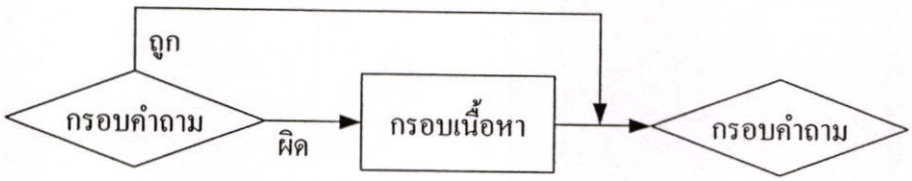
ภาพที่ 2.2 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเส้นทางเดียว

2. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบแตกกิ่งหรือแบบสาขา (Branching Program) ได้รับความนิยมจากผู้เรียนมากกว่าแบบเส้นทางเดียวเพราะมีลักษณะท้าทายและน่าสนใจ เหมาะกับการเรียนรู้ของผู้เรียนมีทางเลือกตามระดับความรู้ ความเข้าใจและความสามารถของผู้เรียน เนื่องจากจะประกอบด้วยกรอบย่อยๆ แตกออกมาจากกรอบหลัก ผู้เรียนไม่จำเป็นต้องเรียนทุกกรอบ เพราะสามารถเลือกเรียนได้ซึ่งมีหลายรูปแบบดังต่อไปนี้

2.1 แบบย้อนกรอบ (Linear Format with Repetition) มีลักษณะคล้ายกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเส้นทางเดียว ต่างกันตรงที่รูปแบบนี้มีคำถามแทรกระหว่างกรอบเนื้อหา โดยผู้เรียนตอบคำถามถูกต้องก็ผ่านไปยังกรอบเนื้อหาที่อยู่ถัดไป แต่ถ้าตอบไม่ถูกผู้เรียนจะต้องย้อนกลับมายังกรอบเนื้อหาเดิมใหม่และตอบคำถามเดิมอีก แสดงดังภาพที่ 2.3

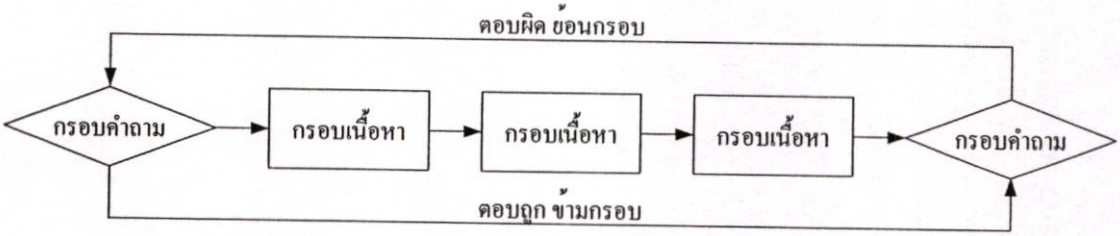
ภาพที่ 2.3 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบย้อนกรอบ

2.2 แบบสอบก่อนข้ามกรอบ (Pretest and Skip Format) ก่อนที่จะเรียนเนื้อหาจุดประสงค์ใด ต้องทดสอบผู้เรียนก่อนเรียนเนื้อหานั้น ถ้าทดสอบผ่านก็จะให้ข้ามกรอบเนื้อหาในจุดประสงค์อื่น ซึ่งแบบนี้เป็นการตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบก่อนข้ามกรอบ

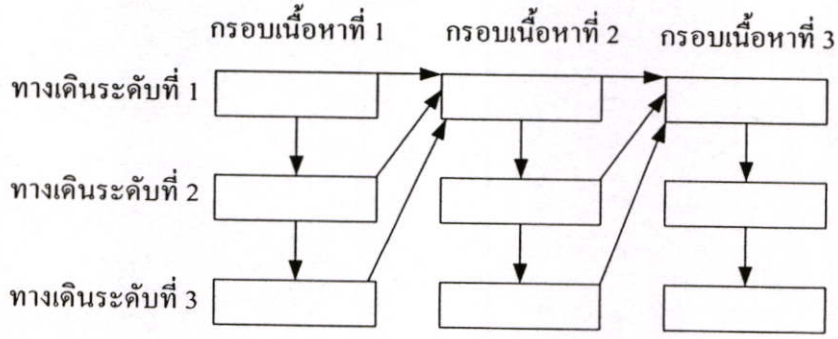
2.3 แบบข้ามและย้อนกลับ (Fates Frames) เป็นการกำหนดให้ผู้เรียนเรียนไปตามระดับความสามารถ ความรู้ความเข้าใจ ลักษณะของบทเรียนจะเป็นแบบเส้นตรงแต่ผู้เรียนอาจข้ามกรอบไปได้หลายกรอบหรือย้อนกลับมากรอบที่ผ่านมาแล้ว เพื่อทบทวนเนื้อหาบางส่วนใหม่ แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบข้ามและย้อนกลับ

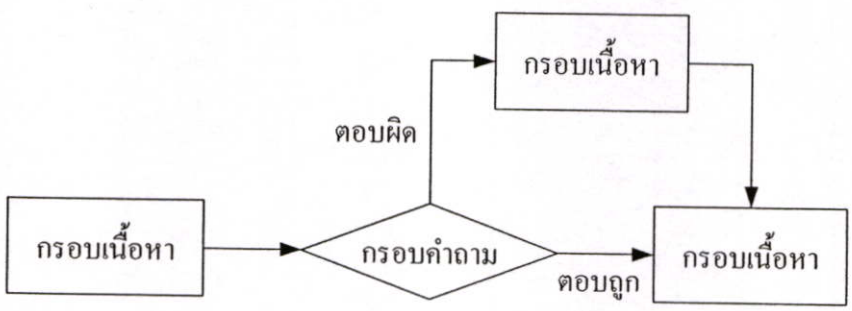
2.4 แบบทางเดินหลายเส้น (Secondary) ประกอบด้วยเส้นทางหลายระดับ หลายเส้นทาง ซึ่งทางเดินระดับที่ 1 เป็นเส้นทางเดินของกรอบเนื้อหาหลักที่ไม่มีคำอธิบายละเอียดมากนัก ส่วนทางเดินระดับที่ 2 และ 3 เป็นกรอบเนื้อหาที่เพิ่มเติมรายละเอียดมากกว่ากรอบที่อยู่ในทางเดินระดับที่ 2 และ 3 เส้นทางเดินของผู้เรียนจึงมีได้หลายเส้นทาง ขึ้นอยู่กับว่าผู้เรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาในกรอบทางเดินระดับที่ 1 มากน้อยเพียงใดหรือไม่ และกรอบในทางเดิน

ระดับที่ 2 และ 3 จะให้เนื้อหารายละเอียดน้อยไปสู่มากตามลำดับ โดยเนื้อหาในกรอบส่วนนี้จะเป็นเนื้อหาเรื่องเดียวกัน เพียงแต่ว่ามีการขยายความหมายของคำบางคำได้ชัดเจน แสดงดังภาพที่ 2.6



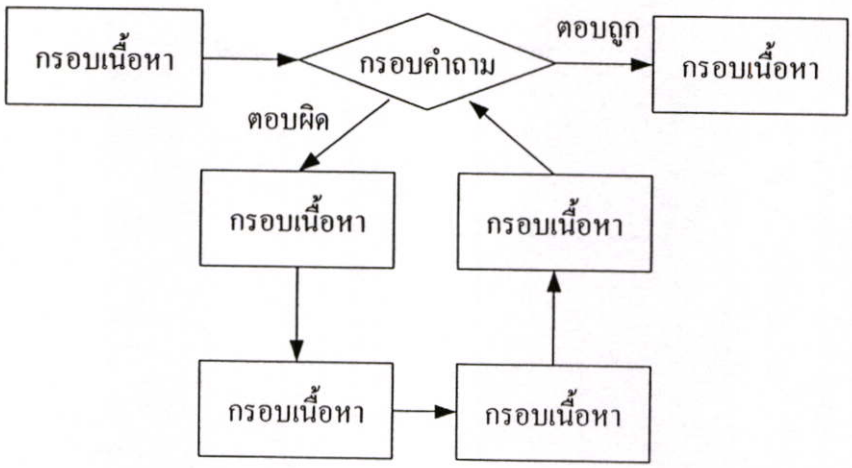
ภาพที่ 2.6 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบหลายเส้นทางเดิน

2.5 แบบกรอบซ่อมเสริมเดี่ยว (Single Remedial Branch) จะเริ่มด้วยกรอบเนื้อหาและตามด้วยกรอบคำถาม ถ้าผู้เรียนตอบถูกต้องจะได้รับข้อมูลป้อนกลับในทางบวกและเรียนเนื้อหาในกรอบต่อไป ถ้าตอบไม่ถูกผู้เรียนจะได้รับการสอนซ่อมเสริมก่อนไปสู่เนื้อหาในกรอบต่อไป แสดงดังภาพที่ 2.7



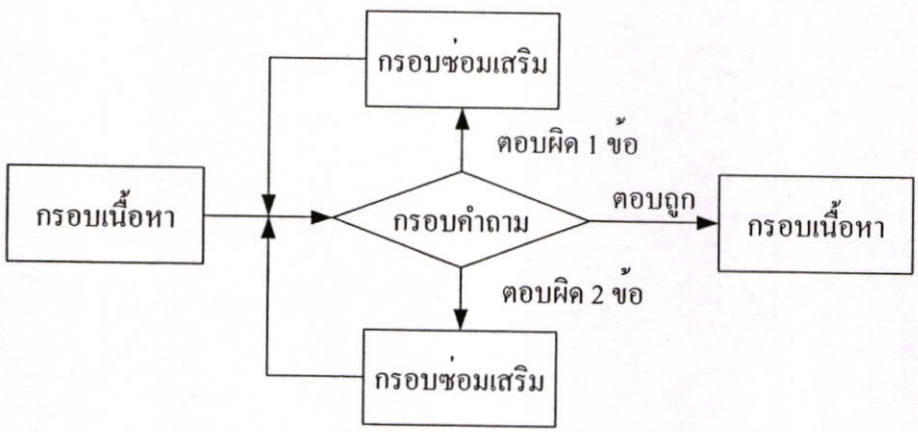
ภาพที่ 2.7 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบกรอบซ่อมเสริมเดี่ยว

2.6 แบบมีห่วงกรอบซ่อมเสริม (Remedial Loops) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบกรอบซ่อมเสริมเดี่ยวประกอบกันเป็นชุดบทเรียนย่อย 5-6 กรอบ เพื่อให้ความรู้และข้อมูลที่ผู้เรียนยังขาดอยู่ก่อนที่จะส่งผู้เรียนกลับสู่กรอบเนื้อหาเดิม แสดงดังภาพที่ 2.8



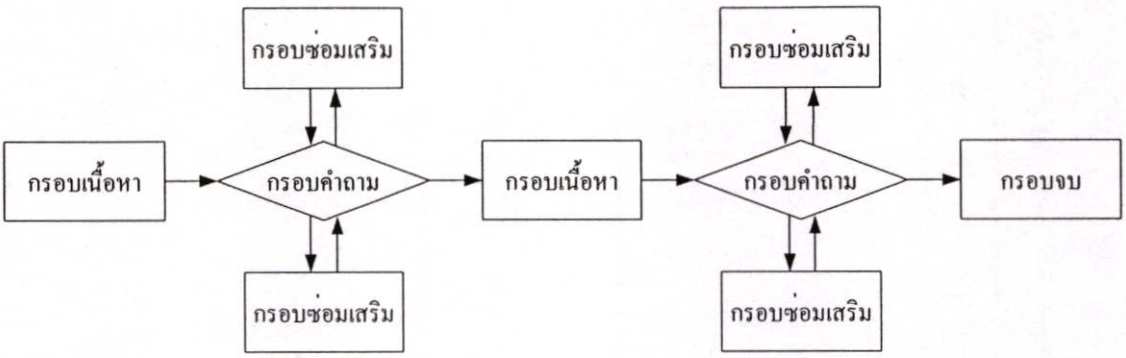
ภาพที่ 2.8 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบมีห่วงกรอบซ่อมเสริม

2.7 แบบกรอบซ่อมเสริมหลายกิ่ง (Multiple Remedial Branches) ประกอบด้วย กรอบเนื้อหาที่ให้ข้อมูลตามด้วยกรอบคำถาม ที่แตกออกเป็นกรอบซ่อมเสริมตั้งแต่ 2 กรอบขึ้นไป กรอบคำถามแต่ละกรอบจะมีกิ่งแยกออกมาตามจำนวนข้อของตัวเลือกในคำถามแบบเลือกตอบนั้น โดยแยกออกมาอย่างน้อย 2 กิ่ง เพื่อไปยังกรอบซ่อมเสริมแล้วจึงส่งผู้เรียนมายังกรอบคำถามเดิม เพื่อให้ผู้เรียนตอบคำถามนั้นใหม่และเลือกคำตอบอื่น ดังนั้นจะมีคำตอบเพียง 1 คำตอบ และคำตอบที่ผู้เรียนเลือกจะเป็นตัวกำหนดบทเรียนว่าจะไปกรอบใด แสดงดังภาพที่ 2.9



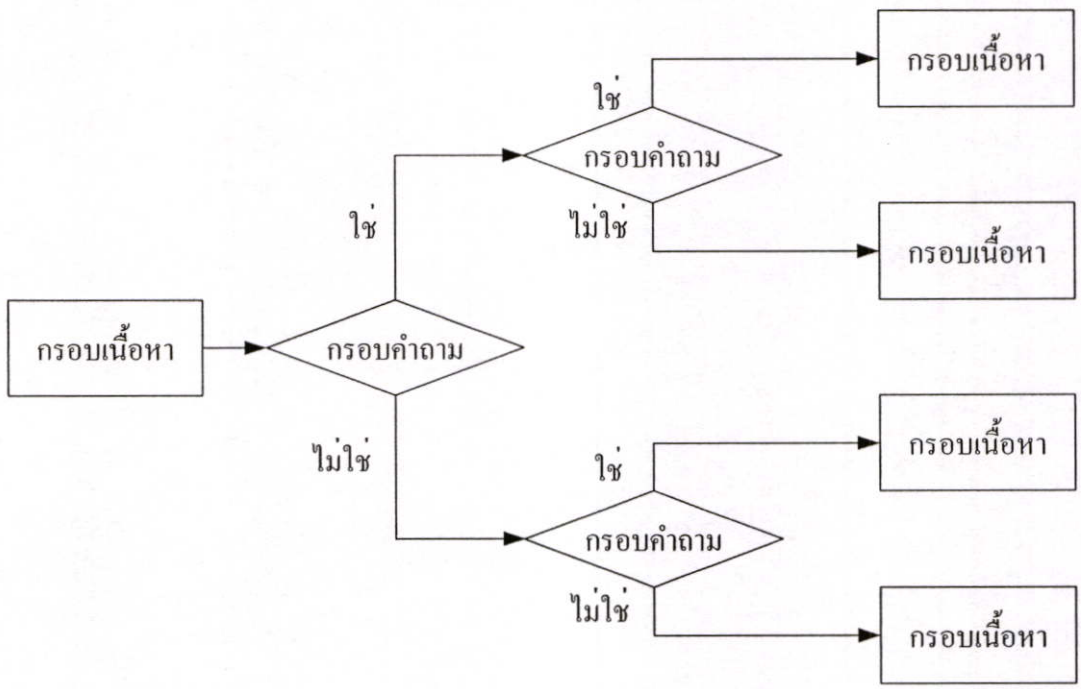
ภาพที่ 2.9 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบกรอบซ่อมเสริมหลายกิ่ง

2.8 แบบแตกกิ่งคู่ (Branching Frame Sequence) ประกอบด้วยกรอบเนื้อหาที่แตกเป็นกรอบซ่อมเสริม 2 กรอบ เมื่อผู้เรียนตอบคำถามของกรอบเนื้อหาถูกต้องก็จะผ่านไปยังกรอบเนื้อหาต่อไป แต่ถ้าตอบคำถามไม่ถูกต้องก็กลับไปยังกรอบซ่อมเสริมแล้วจึงกลับมายังกรอบเดิม เพื่อศึกษาและตอบคำถามใหม่อีกครั้ง แสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบแตกกิ่งคู่

2.9 แบบกิ่งประกอบ (Compound Branches) บทเรียนรูปแบบนี้ใช้กันมากในการเรียนเพื่อวินิจฉัยข้อบกพร่องของผู้เรียนหรือในสถานการณ์การแก้ปัญหา คำถามอยู่ในรูปแบบที่มีคำตอบใช่หรือไม่ใช่ กิ่งที่แยกจากแต่ละกรอบคำถามจะแยกไปสู่กรอบเนื้อหาใหม่ ตามพื้นฐานความรู้ความเข้าใจ และความสามารถที่แตกต่างกันระหว่างบุคคล ดังแสดงในภาพ ที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แผนผังบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบกิ่งประกอบ

จากการศึกษาเอกสารเกี่ยวกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทต่างๆ ผู้วิจัยได้แนวคิดในการสร้างบทเรียนในแบบการนำเสนอบทเรียนตามลักษณะเนื้อหาและกิจกรรมในบทเรียน เนื้อหาที่เสนอในบทเรียนได้จัดทำเป็นรายการต่างๆ เพื่อให้ผู้เรียนได้เลือกเรียน ประกอบด้วยทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ และแบบทดสอบ เนื้อหาแต่ละเรื่องของหน่วยการเรียนแบ่งออกเป็นหน่วยย่อย คือการนำเสนอเนื้อหา ตัวอย่าง และแบบทดสอบ

เรื่องของหน่วยการเรียนแบ่งออกเป็นหน่วยย่อย คือการนำเสนอเนื้อหา ตัวอย่าง และแบบทดสอบระหว่างเรียน ซึ่งในการนำเสนอบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้วิจัยได้นำเสนอบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเส้นทางเดียว (Linear Program) คือ นำเสนอเนื้อหาและตัวอย่างของบทเรียนที่มีลำดับการนำเสนออย่างต่อเนื่อง ผู้เรียนสามารถเลือกเดินหน้าเพื่อไปกรอบต่อไปและเลือกเดินถอยหลังเพื่อย้อนกลับไปศึกษาเนื้อหาในกรอบเดิมซ้ำอีกครั้งหนึ่งได้ ซึ่งทำให้ง่ายในการทำความเข้าใจบทเรียน

2.3.5 ลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ดี

ฉลอง ทับศรี (2536 : 2-5) ได้กล่าวถึงลักษณะของบทเรียนของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ดีไว้ดังนี้

1. มีจุดมุ่งหมายของการเรียนการสอนที่ชัดเจน
2. ต้องเข้ากันได้ดีกับลักษณะของผู้เรียน
3. ให้มีการโต้ตอบระหว่างผู้เรียนกับเครื่อง (Interaction) ให้มากที่สุด
4. ควรจะเป็นลักษณะการให้การศึกษารายบุคคล

2.3.6 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรม Authorware

บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์ (2536 : 4) กล่าวว่า โปรแกรม Authorware เป็นโปรแกรมประเภท Authoring System ใช้สำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ใช้งานที่มีความสามารถโต้ตอบกับผู้เรียนโดยเฉพาะ ด้านการเรียนการสอน การฝึกอบรมด้านคอมพิวเตอร์ รวมทั้งมีความสามารถในด้านมัลติมีเดีย การพัฒนาโปรแกรม Authorware จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า Objected Interface ซึ่งเป็นการใช้สัญลักษณ์ (Icon) แทนคำสั่ง การทำงานด้วย Authorware มีความสะดวกและง่ายนอกจากนี้ภายในโปรแกรม Authorware ยังมีตัวแปรและฟังก์ชันให้กับผู้พัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอย่างสมบูรณ์ จึงสามารถจัดสร้างและพัฒนาโปรแกรมได้โดยง่ายและมีประสิทธิภาพสูง

ภัททิรา เหลืองวิลาศ (2547 : 25-26) กล่าวว่า แถบไอคอนปุ่มเครื่องมือที่แสดงด้วยรูปภาพและอยู่ทางด้านซ้ายของจอ เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดที่ใช้จัดวางสร้างผลงานในรูปแบบต่างๆ ขึ้นมา โดยนำไอคอนไปวางไว้บน Flowline แล้วทดสอบแสดงผลก็จะปรากฏไฟล์ผลงานที่ต้องการขึ้นมาทันที ลักษณะของผลงานที่ได้จะแตกต่างกับไปตามรูปแบบและการจัดวางตำแหน่งของไอคอนบนเส้น Flowline สำหรับหน้าที่การทำงานของไอคอนทั้งหมดที่อยู่บนไอคอนพาเลท (Icon Palette) จะมีรูปแบบแตกต่างกันไป ดังนี้

1. Display icon ใช้ในการสร้าง นำข้อความ รูปทรงต่างๆ เข้ามาใช้งาน
2. Motion iconใช้กำหนดให้ออบเจ็กต์ เช่น รูปภาพ รูปทรง รูปภาพ หรือข้อความ มีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น
3. Erase icon ใช้ให้ลบหรือให้คงสิ่งที่อยู่บนหน้าจอไว้

4. Wait icon ใช้ถ่วงเวลาให้ไอคอนก่อนหน้ามีการหยุดรอตอบสนองการทำงานในรูปแบบต่างๆ เช่น การกดปุ่มบนคีย์บอร์ด การคลิกเมาส์หรือการกำหนดเวลา แล้วจึงสามารถดำเนินงานต่อไปได้

5. Navigate icon ใช้กำหนดทิศทางการดำเนินไปของเนื้อหา

6. Framework icon แสดงปุ่มควบคุมเพื่อให้สามารถเปิดเรียกดูเชื่อมโยงไปยังข้อมูลในหน้าต่างๆ ได้ตามต้องการ

7. Decision icon ใช้กำหนดการตัดสินใจหรือกำหนดทิศทางเลือก

8. Interaction icon ใช้สร้างการตอบสนองระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม

9. Calculation icon ใช้กำหนดเขียนค่าตัวแปร ฟังก์ชัน และการคำนวณ

10. Map icon ใช้ในการสร้างเนื้อหาให้เป็นกิ่ง สาขาแยกออกไป หรือรวมไอคอนให้เป็นกลุ่ม

11. Digital Movie icon ใช้สร้างไฟล์ภาพยนตร์และภาพเคลื่อนไหว

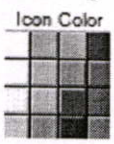
12. Sound icon ใช้ในการนำไฟล์เสียงต่างๆ เข้ามาใช้งาน

13. Video icon ใช้นำไฟล์วิดีโอที่อยู่ในรูปแบบ DVD เข้ามาใช้งาน

14. Knowledge Object icon ใช้สร้างไฟล์งานในรูปแบบต่างๆ อย่างรวดเร็วด้วย Knowledge Object icon

15. Start ใช้กำหนดจุดเริ่มต้นของชิ้นงานบนเส้น flow เหมาะสำหรับการทดสอบชิ้นงานเป็นช่วงๆ

16. Stop ใช้กำหนดจุดสิ้นสุดของชิ้นงาน (ใช้คู่กับไอคอน Start)

17.  Icon Color ใช้เปลี่ยนสีของไอคอน เพื่อแสดงผลให้เห็นถึงความสัมพันธ์ในแต่ละไอคอน

2.3.7 ประโยชน์ ข้อจำกัดและสิ่งที่ต้องคำนึงถึงของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ธีรพงศ์ อ่อนอก (2539 : 18) กล่าวว่า เครื่องคอมพิวเตอร์มีคุณสมบัติเด่นหลายประการ สามารถแสดงได้ทั้งภาพ สี และเสียง ดังนั้นเมื่อมีการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ในวงการการศึกษา โดยนำมาทำเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ซึ่งสามารถกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจในการเรียนได้เป็นอย่างดี ทั้งจากความแปลกใหม่และความสามารถในการแสดงภาพ สี และเสียง ตลอดจนเกมคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถเร้าความสนใจของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงก่อให้เกิดประโยชน์ขึ้นหลายประการดังนี้

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน สามารถตอบสนองการเรียนรู้รายบุคคลได้เป็นอย่างดี เพราะเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ตามความสามารถของตนเอง โดยไม่ต้องเร่งหรือรอเพื่อน ผู้เรียนแต่ละคนได้มีโอกาสโต้ตอบกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนทำให้ไม่เบื่อที่จะเรียน

2. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน สามารถให้ข้อมูลย้อนกลับทันทีและเป็นการเสริมแรงให้กับผู้เรียนได้อย่างรวดเร็ว เมื่อผู้เรียนทำผิดก็สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันที

3. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เปิดโอกาสให้ผู้เรียนเรียนซ้ำแล้วซ้ำอีกกี่ครั้งก็ได้ตามความต้องการหรือเรียนทดแทนได้เมื่อผู้เรียนขาดเรียน

4. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน สามารถสอนทักษะชั้นสูงได้ดีซึ่งยากแก่การสอนปกติหรือจากตำรา การสร้างสถานการณ์จำลอง โดยใช้คอมพิวเตอร์จะช่วยให้ผู้เรียนเรียนได้ง่ายขึ้น

5. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ทำให้ผู้เรียนพึงพอใจมาก นอกจากนี้ผู้เรียนยังสามารถควบคุมวิธีการเรียนของตัวเองได้

6. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ทำให้ผู้เรียนมีทัศนคติที่ดีต่อวิชาที่เรียน

7. ความสามารถในการบันทึกข้อมูลในการเรียน ทำให้สามารถนำมาใช้ในลักษณะของการศึกษารายบุคคลได้เป็นอย่างดี

คอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประโยชน์อยู่มากมาย แต่ในขณะเดียวกันบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนก็มีข้อจำกัดในการพัฒนาและการนำไปใช้งานเช่นกัน วารินทร์ รัศมีพรหม (2531 : 193) ได้กล่าวถึงข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไว้ดังนี้

1. แม้ว่าคอมพิวเตอร์จะมีราคาลดลงเรื่อยๆ แต่ก็ยังค่อนข้างสูงในการนำมาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะประโยชน์ที่จะได้รับ และก็ยังมีปัญหาในเรื่องบำรุงรักษาและแก้ไขเมื่อเกิดข้อขัดข้องอีกด้วย

2. การออกแบบและผลิตโปรแกรมการสอนยังล้าหลังโปรแกรมด้านอื่นอยู่มาก

3. ยังขาดแคลนวัสดุการเรียนการสอนที่มีคุณค่าในการใช้กับคอมพิวเตอร์และโปรแกรมการสอน (Software) ที่ใช้กับคอมพิวเตอร์ยี่ห้อหนึ่งก็อาจใช้กับคอมพิวเตอร์อีกยี่ห้อหนึ่งไม่ได้

4. การออกแบบโปรแกรมการสอนใช้เวลามาก และต้องมีทักษะในการออกแบบเป็นอย่างดีด้วย

5. ความคิดสร้างสรรค์เป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งอาจทำให้โปรแกรมที่ขาดความคิดสร้างสรรค์ ไม่เป็นที่น่าสนใจสำหรับผู้เรียน

2.4 ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ (2520 : 49-53) กล่าวว่า เพื่อเป็นการประกันว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการสอน ผู้สร้างจำต้องกำหนดเกณฑ์ขึ้น โดยคำนึงถึงหลักการที่ว่า การเรียนรู้เป็นกระบวนการเพื่อช่วยให้การเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้เรียนบรรลุผล ดังนั้นการกำหนดเกณฑ์จำต้องคำนึงถึงกระบวนการและผลลัพธ์ โดยกำหนดตัวเลขเป็นร้อยละของคะแนนเฉลี่ยมีค่าเป็น E_1/E_2

E_1 คือ ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ เป็นค่าคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนตอบถูกต้อง จากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียนในแต่ละบทเรียนรวมกัน

E_2 คือ ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ เป็นค่าคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนตอบถูกต้องจากการทำแบบทดสอบหลังเรียน

การคิดค่า E_1 และ E_2 ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น คำนวณค่าทางสถิติโดยใช้สูตรดังนี้

1. การคำนวณค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1)

$$E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N}}{A} \times 100 \qquad (2.1)$$

เมื่อ E_1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ

$\sum X$ คือ คะแนนรวมของผู้เรียนทุกคนที่ได้จากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียน

A คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบระหว่างเรียน

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

2. การคำนวณหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2)

$$E_2 = \frac{\frac{\sum F}{N}}{B} \times 100 \qquad (2.2)$$

เมื่อ E_2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

$\sum F$ คือ คะแนนรวมของผู้เรียนทุกคนที่ได้จากการทำแบบทดสอบหลังเรียน

B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

การทดลองหาประสิทธิภาพโดยใช้สูตรต้องดำเนินการเป็นขั้นตอนดังนี้

1. แบบเดี่ยว (1:1) นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปทดลองกับผู้เรียน 1-3 คน โดยทดลองกับผู้เรียนเก่ง ปานกลาง และอ่อน การทดลองแต่ละครั้งต้องปรับปรุงสื่อการสอนให้ดีขึ้น

2. แบบกลุ่ม (1:10) นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ปรับปรุงแล้วไปทดลองกับผู้เรียน 6-10 คน ที่มีความสามารถคละกัน แล้วทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น

3. ภาคสนาม (1:100) นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปทดลองใช้กับผู้เรียนตั้งแต่ 30-100 คน หากการทดลองภาคสนามให้ค่า E_1 และ E_2 ไม่ถึงเกณฑ์ที่ตั้งไว้จะต้องปรับปรุงบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและทำการทดสอบหาประสิทธิภาพซ้ำอีก

ในกรณีที่ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นไม่ถึงเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เนื่องจากมีตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ เช่น สภาพห้องเรียน ความพร้อมของผู้เรียน บทบาท และความชำนาญในการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น อาจอนุโลมให้มีระดับผิดพลาดได้ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ประมาณ 2.5%-5%

ในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งเกณฑ์ประสิทธิภาพของบทเรียน E_1/E_2 ไม่ต่ำกว่า 80/80 และในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้มุ่งใช้ประโยชน์ในการทบทวนเนื้อหา ให้สามารถศึกษาเนื้อหาได้ด้วยตนเอง

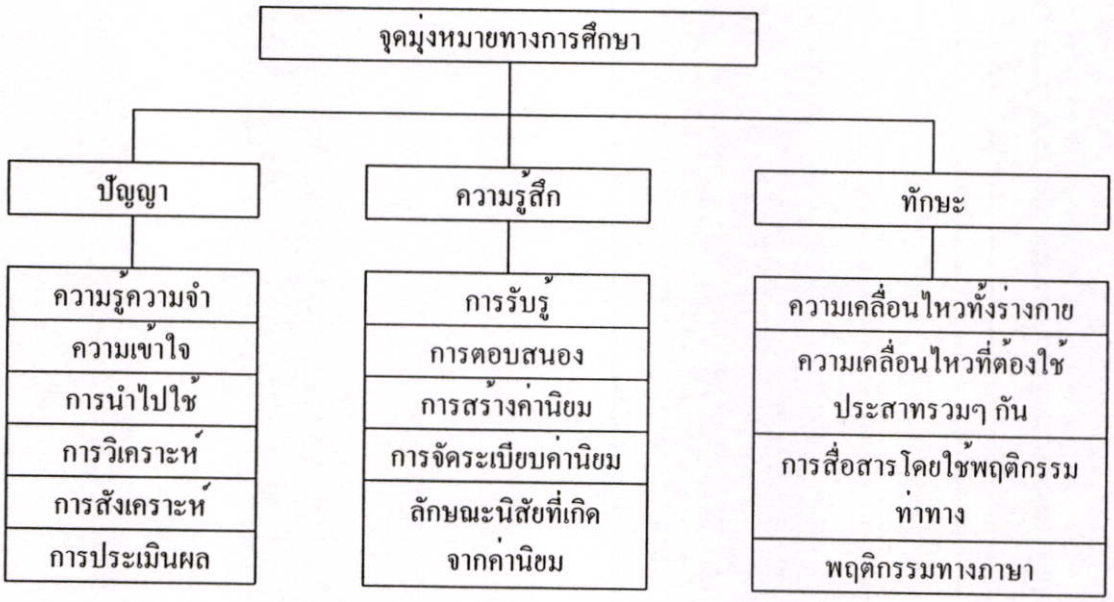
2.5 การวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยนำแนวคิดเกี่ยวกับการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมาใช้ในการสร้างแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน

บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์ (ม.ป.ป. : 44) ได้กล่าวไว้ว่าในการวัดและประเมินผลจะต้องวัดและประเมินไปตามจุดประสงค์ของวิชาที่ใช้สอนนั้น ปัญหาขั้นต้นสุดจึงอยู่ที่ครู หรือผู้ประเมินสามารถตีความหมายของจุดประสงค์การเรียนการสอนได้ถูกต้องตรงกันหรือไม่เพียงใด ทั้งนี้เพราะจุดประสงค์ทางการศึกษา บางครั้งอาจใช้คำที่คลุมเครือทั้งความหมายและขอบเขตของคำ เมื่อเป็นเช่นนี้ การเขียนข้อสอบเพื่อประเมินผลการเรียนรู้จึงอาจไม่เป็นไปตามความปรารถนาของวิชานั้น ถ้าผู้สอนเข้าใจความหมายของจุดประสงค์คลาดเคลื่อนไป

จากปัญหาที่สำคัญนี้ได้มีนักการศึกษาชาวอเมริกันกลุ่มหนึ่ง คือ Bloom, Engelhart, Furst, Hill และ Krathwohl (1956) ได้ทำการวิเคราะห์จุดประสงค์การสอนในวิชาการต่าง ๆ แล้วจำแนก

and Hopkins (1972 : 173) และในแต่ละขอบเขต ยังได้จำแนกและจัดเรียงลำดับความสลับซับซ้อนน้อยไปหามาก ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 การจำแนกจุดมุ่งหมายทางการศึกษา

2.5.1 ขอบเขตด้านปัญญา (Cognitive Domain)

ขอบเขตด้านปัญญา เป็นจุดมุ่งหมายทางการศึกษาที่เกี่ยวกับสมรรถภาพทางสติปัญญาทางการเรียน และการแก้ปัญหา ซึ่ง Benjamin S.B. และคณะ (1965) ได้จำแนกพฤติกรรมในขอบเขตด้านนี้ออกเป็นสองระดับใหญ่ ๆ คือ พฤติกรรมด้านพื้นฐาน ซึ่งได้แก่ พฤติกรรมด้านความรู้ และพฤติกรรมขั้นสูง ได้แก่ ความสามารถต่าง ๆ ทั้งสองระดับนี้จำแนกออกเป็น 6 ระดับ โดยเรียงตามลำดับความสลับซับซ้อนจากน้อยไปหามาก ดังนี้

1. ความรู้ความจำ (Knowledge) หมายถึง ความสามารถในการระลึกเรื่องราวเฉพาะหรือทั่วไปออกมาได้ถูกต้องแม่นยำ เช่น สามารถบ่งบอกวิธีการหรือกระบวนการหรือบ่งชี้ถึงแบบแผนโครงสร้างของเรื่องราวเฉพาะอย่างหรือทั้งระบบได้อย่างถูกต้อง ความรู้นี้ขึ้นอยู่กับบุคคลได้รับรู้และจดจำเอาไว้อย่างไร ก็จะระลึกเรื่องราวนั้นออกมาตามลักษณะนั้น ซึ่งจำแนกเป็น 3 ระดับ คือ

1.1 ความรู้เฉพาะเจาะจง (Specifics) เป็นความสามารถในการระลึกข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นรูปธรรมและสัญลักษณ์ ซึ่งถือเป็นสมรรถภาพขั้นต่ำที่สุดที่จะเป็นพื้นฐานให้เกิดสมรรถภาพขั้นสูงที่จะรับรู้สิ่งที่ซับซ้อนและเป็นนามธรรมต่อไป ซึ่งจำแนกเป็น 2 ระดับ คือ

1.1.1 ความรู้เกี่ยวกับศัพท์และนิยาม (Terminology) เป็นความสามารถในการบอกความหมายของคำ กลุ่มคำ สัญลักษณ์ต่าง ๆ

1.1.2 ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงเฉพาะ (Specific) เป็นความสามารถในการบ่งบอกเรื่องราวต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ บุคคล สถานที่ วันที่ ปี พ.ศ. ขนาด จำนวน เป็นต้น

1.2 ความรู้เกี่ยวกับวิธีการเฉพาะอย่าง (Way and Means of Dealing with Specific) เป็นความสามารถที่จะบ่งบอกถึงวิธีการจัดระเบียบ วิธีการศึกษา วิธีการตัดสิน และวิพากษ์วิจารณ์ ตลอดจนวิธีการสืบเสาะความรู้ จัดลำดับเวลามาตรฐานของการตัดสิน ความรู้ประเภทนี้จะอยู่ในระดับกลางระหว่างความรู้เฉพาะกับความรู้ทั่วไป ซึ่งจำแนกเป็น 5 ระดับย่อย คือ

1.2.1 ความรู้เกี่ยวกับแบบแผน (Conventions) เป็นความสามารถที่จะบ่งบอกถึงรูปแบบ การปฏิบัติ และแบบฉบับที่เหมาะสมในการทำ เช่น แบบฉบับการพูด การเขียน การรายงาน

1.2.2 ความรู้เกี่ยวกับลำดับขั้นและแนวโน้ม (Trend and Sequence) เป็นความสามารถที่จะบ่งบอกถึงขั้นตอนก่อนหลัง ทิศทางการเคลื่อนไหวโน้มเอียง

1.2.3 ความรู้เกี่ยวกับการจำแนกประเภทและจัดกลุ่ม (Classification and Categories) เป็นความสามารถในการบ่งบอกวิธีจำแนก จัดหมวดหมู่ จัดแบ่งสิ่งของเหตุการณ์ตามจุดมุ่งหมาย เหตุผล หรือปัญหาอย่างใดอย่างหนึ่ง

1.2.4 ความรู้เกี่ยวกับเกณฑ์ (Criteria) เป็นความสามารถที่จะบ่งบอกถึงข้อเท็จจริง หลักการ ความคิดเห็น และการกระทำเพื่อใช้ในการตัดสินใจวินิจฉัยสิ่งหนึ่งสิ่งใด

1.2.5 ความรู้เกี่ยวกับวิธีทำ (Methodology) เป็นความสามารถที่จะบอกถึงเทคนิค กระบวนการ และวิธีการสืบเสาะหาความรู้ วิธีการศึกษาค้นคว้ากับปัญหาและเหตุการณ์ ต่าง ๆ ในระดับนี้จะเน้นเพียงความรู้ในวิธีการซึ่งไม่จำเป็นว่าจะต้องสามารถทำวิธีการต่าง ๆ เหล่านั้นได้

1.3 ความรู้ทั่วไปและนามธรรมในแต่ละสาขาวิชา (Universal and Abstractions in a Field) เป็นความสามารถที่จะบ่งบอกถึงการจัดระเบียบ แบบแผน หรือแผนการต่าง ๆ ของปรากฏการณ์และแนวคิดที่เป็นจุดเด่นของโครงสร้างหลักใหญ่ ทฤษฎี และข้อสรุปอ้างอิง ซึ่งจะนำไปใช้ทั่วไปในการแก้ปัญหาและศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในสาขาวิชานั้น ซึ่งถือว่าเป็นความรู้ระดับสูงสุด อันมีลักษณะที่เป็นนามธรรมและซับซ้อนมาก จำแนกเป็น 2 ระดับ คือ

1.3.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหลักการและข้อสรุปอ้างอิง (Principles and Generalization) เป็นความรู้ที่เป็นนามธรรมซึ่งสรุปจากการสังเกตปรากฏการณ์ โดยอาศัยการอธิบาย บรรยาย พยากรณ์ หรือตัดสินการกระทำ หรือทิศทางการกระทำได้อย่างเหมาะสมและตรงประเด็นที่สุด เช่น ความรู้ของหลักการที่สำคัญ ซึ่งสรุปจากประสบการณ์ การระลึกข้อสรุปที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับวัฒนธรรม

1.3.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับทฤษฎีและโครงสร้าง (Theories and Structures) เป็นความรู้รวบยอดเกี่ยวกับหลักการและข้อสรุปอ้างอิง โดยแสดงแนวคิดในปรากฏการณ์และปัญหาที่ซับซ้อนออกมาได้ชัดเจน ครอบคลุมและเป็นระบบซึ่งเป็นการกระทำที่เป็นนามธรรมมากที่สุด โดยการผสมผสานความรู้เฉพาะอย่างที่สัมพันธ์ ในการวางระบบที่สมบูรณ์ของทฤษฎีวิวัฒนาการ

2. ความเข้าใจ (Comprehension) ความเข้าใจเป็นทักษะความสามารถทางปัญญา ขั้นแรกสุดของมนุษย์ที่จะเข้าใจการติดต่อสื่อสารและสามารถที่จะนำเอาความรู้และแนวคิดมาใช้ประโยชน์ได้โดยไม่จำเป็นต้องไปสัมพันธ์กับเรื่องอื่น จำแนกเป็น 3 ระดับคือ

2.1 การแปล (Translation) เป็นความสามารถในการถอดความหรือถอดแบบภาษาจากภาษาหนึ่งไปอีกภาษาหนึ่ง ซึ่งเป็นการสื่อสารความหมายให้สามารถรู้ความหมายตรงกัน เช่น การแปลความหมายข้อความ คำพังเพย สุภาษิต คำคม หรือสัญลักษณ์ หรือการแปลภาษาคณิตศาสตร์ ให้เป็นสัญลักษณ์หรือกลับกัน เป็นต้น

2.2 การตีความ (Interpretation) เป็นความสามารถในการสื่อสารความหมายโดยการอธิบายหรือสรุปความ ซึ่งมีลักษณะที่ลุ่มลึกกว่าการแปล เพราะการแปลจะมีลักษณะการสื่อสารความหมายโดยการถอดความแบบคำต่อคำ แต่การตีความหมายจะต้องมีการจัดระเบียบใหม่ เรียบเรียงใหม่ แสดงแนวคิดใหม่ แต่ยังรักษาความหมายไว้ เช่น สามารถตีความหมายข้อมูลทางสังคมได้หลาย ๆ แง่มุม สามารถสรุปความคิดทั้งหมดออกเป็นประเด็นสำคัญตามต้องการ

2.3 การขยายความ (Extrapolation) เป็นความสามารถในการสื่อสารความหมายโดยการขยายความ คาดคะเนแนวโน้มเอียงของข้อมูลว่าจะมีทิศทางไปทางใด มีผลลัพธ์ออกมาอย่างไร ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับความหมายดั้งเดิม หรือต้องอาศัยข้อมูลเดิมเป็นเครื่องตัดสินผลลัพธ์ต่าง ๆ เช่น ทักษะในการพยากรณ์ความสืบเนื่องของแนวโน้มหนึ่ง ๆ ความสามารถในการสรุปผลโดยการอนุมานด้วยข้อความที่ชัดเจน

3. การนำไปใช้ (Application) เป็นความสามารถในการที่จดจำและนำเอาหลักการเทคนิคและทฤษฎีมาใช้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น นำปรากฏการณ์ต่างๆ มาอภิปรายในเชิงวิทยาศาสตร์

4. การวิเคราะห์ (Analysis) หมายถึง ความสามารถในการแยกแยะเรื่องราวที่สมบูรณ์ ให้กระจายออกเป็นส่วนย่อยหรือองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งจำแนกออกเป็น 3 ระดับ คือ

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Analysis of Element) เป็นความสามารถในการค้นหาองค์ประกอบที่สำคัญส่วนรวมออกมา เช่น จำแนกข้อเท็จจริงออกจากสมมติฐาน

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Analysis of Relationships) เป็นความสามารถในการค้นหาความสัมพันธ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบกับส่วนอื่นของการ

สื่อความหมาย เช่น ความสามารถในการตรวจสอบ ความมั่นคงของสมมติฐานกับข้อมูลและข้อสมมติ ทักษะในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดหลาย ๆ แนวความคิด

4.3 การวิเคราะห์ดำเนินการ (Analysis of organizational principles) เป็นความสามารถในการจัดระเบียบการเรียบเรียงว่ามีเค้าโครงอย่างไร ซึ่งอาจจะเป็นโครงสร้างที่ชัดเจนหรือมีเงื่อนงำ เช่น ความสามารถในการชี้บ่งถึงเทคนิคทั่วไปที่ใช้ในการโฆษณาหรือชักชวน

5. การสังเคราะห์ (Synthesis) หมายถึง ความสามารถในการผสมผสานส่วนย่อยเข้าเป็นเรื่องราวเดียวกัน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงาน การจัดเรียบเรียง และผสมผสานให้เกิดสิ่งใหม่ขึ้นนั้นต้องดัดแปลงปรับปรุงของเก่าให้ดีขึ้นมีคุณภาพสูงขึ้น จำแนกเป็น 3 ระดับ

5.1 การสื่อสารถ่ายทอดความคิด (Production of an Unique Communications) เป็นความสามารถในการถ่ายทอดของผู้เขียน หรือผู้พูดที่พยายามจะถ่ายทอดแนวคิด ความรู้สึก และ/หรือประสบการณ์ไปสู่ผู้อื่นให้เข้าใจความหมายตรง เช่น ความสามารถในการบอกเล่าประสบการณ์ส่วนตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทักษะในการเขียน สามารถจัดเรียบเรียงแนวความคิดและเขียนถ่ายทอดออกมาได้อย่างดีเลิศ

5.2 การวางแผนหรือเสนอโครงการดำเนินการ (Production of a Plan, or Proposed Set of Operation) เป็นความสามารถในการวางแผน หรือเสนอโครงการดำเนินการตามเงื่อนไข และข้อมูลที่กำหนดให้ เช่น สามารถเสนอวิธีการทดสอบสมมติฐาน สามารถวางแผนการสอนในสถานการณ์ที่กำหนดให้

5.3 การประสานความสัมพันธ์ของสิ่งที่เป็นนามธรรม (Derivation of a Set of Abstract Relation) เป็นความสามารถในการพัฒนากลุ่มความสัมพันธ์ที่เป็นนามธรรม กับทั้งจัดหมวดหมู่ หรืออธิบายข้อมูล หรือปรากฏการณ์ส่วนย่อย หรือการอนุมานแผนงานที่วางไว้ และความสัมพันธ์ของข้อเสนอ หรือสัญลักษณ์ที่เป็นตัวแทน เช่น ความสามารถในการตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบได้อย่างเหมาะสม และเปลี่ยนแปลงสมมติฐานไปตามองค์ประกอบและการพิจารณาสิ่งใหม่ได้ ความสามารถที่จะทำการสรุปอ้างอิง หรือค้นพบหลักการทางคณิตศาสตร์

6. การประเมินค่า (Evaluation) หมายถึง การตัดสินใจเกี่ยวกับคุณค่าของสิ่งของวิธีการซึ่งกำหนดให้การตัดสินใจทั้งด้านปริมาณ และคุณภาพ จะต้องมีเกณฑ์ที่เหมาะสม ที่ใช้เป็นมาตรฐานในการประเมินเกณฑ์อาจจะได้มาจากผู้เรียนเอง หรือกำหนดขึ้นไว้ก็ได้ ซึ่งจำแนกเป็น 2 ระดับ คือ

6.1 การตัดสินใจโดยใช้เกณฑ์ภายในเหตุการณ์ (Judgments in Terms of External Criteria) เป็นความสามารถในการตัดสินเหตุการณ์หนึ่งโดยนำไปเทียบกับเกณฑ์

ภายนอกที่เลือกมาและเป็นที่ยอมรับในสังคมแล้ว เช่น การเปรียบเทียบทฤษฎีหลักการสรุปอ้างอิงและข้อเท็จจริงกับวัฒนธรรมที่เกี่ยวข้องกัน

6.2 การตัดสินโดยใช้เกณฑ์ภายนอก (Judgments in Terms of External Criteria) เป็นความสามารถในการตัดสินเหตุการณ์หนึ่ง โดยนำไปเทียบกับเกณฑ์ภายนอกที่เลือกมาและเป็นที่ยอมรับในสังคมแล้ว เช่น การเปรียบเทียบทฤษฎีหลักการสรุปอ้างอิง และข้อเท็จจริงกับวัฒนธรรมที่เกี่ยวข้องในสังคม

2.5.2 ขอบเขตด้านความรู้สึก (Affective Domain)

ขอบเขตด้านความรู้สึกนี้ เป็นจุดมุ่งหมายทางการศึกษาที่เกี่ยวกับความรู้สึกปรุงแต่งทางจิตใจ เช่น ทัศนคติ ค่านิยม ความสนใจ การจำแนกและจัดอันดับขั้นของกระบวนการทางจิตใจ มีปัญหายุ่งยากมาก เพราะเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นภายในของแต่ละบุคคล มีความละเอียดอ่อนและซับซ้อนมากกว่าการเรียนรู้ทางสมอง แต่ Krathwohl และคณะ (1964) ก็ได้พยายามศึกษาค้นคว้า หลังจากที่ Bloom และคณะ (1956) ได้พัฒนาขอบเขตด้านปัญญาไปแล้ว 8 ปี

ลักษณะการเรียนรู้ทางด้านจิตใจเริ่มจากการรับรู้สิ่งแวดล้อมก่อน แล้วจึงเกิดปฏิกิริยาโต้ตอบสิ่งแวดล้อมนั้นและขยายกลายเป็นความรู้สึกด้านต่าง ๆ จนกลายเป็นค่านิยมระดับต่าง ๆ แล้วพัฒนาต่อไปเป็นความคิดอุดมคติ ซึ่งเป็นตัวควบคุมทิศทางของพฤติกรรมของคน ๆ นั้น สำหรับขอบเขตด้านนี้จำแนกเป็น 5 ระดับ เรียงตามลำดับขั้นก่อนหลังดังนี้ (Bloom, et. At., 1971 : 273-277)

1. การรับ (Receiving or Attending) หมายถึง การที่ผู้เรียนมีความรู้สึกต่อปรากฏการณ์ และสิ่งเร้าอย่างหนึ่งอย่างใด โดยมีความยินดีที่จะรับหรือพิจารณาสิ่งเหล่านั้น ซึ่งจำแนกเป็น 3 ระดับ คือ

1.1 การรับรู้ (Awareness) มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับพฤติกรรมด้านปัญญามาก แต่ไม่เหมือนกับพฤติกรรมด้านความรู้ เพราะว่าการรับรู้จะไม่เกี่ยวข้องกับความจำและความสามารถที่จะระลึกประสบการณ์ออกมานานนัก แต่จะเกี่ยวข้องกับความรู้สึกที่มีต่อบางสิ่งบางอย่าง ลักษณะที่เหมือนกับความรู้สึกก็คือไม่มีการตัดสินคุณภาพหรือธรรมชาติของสิ่งเร้านั้น ลักษณะที่ต่างจากความรู้ก็คือไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทำการพิจารณาเลือกสรร เช่น การรับรู้อย่างง่ายไม่จำเป็นต้องมีการจำแนก หรือจดจำ เช่น การรู้สึกต่อสี รูปแบบ การเรียบเรียง และออกแบบเกี่ยวกับโครงสร้างหนึ่ง ๆ

1.2 การยินดีรับรู้ (Willingness to Receive) การยินดีก็ยังมีลักษณะพฤติกรรมทางปัญญาอยู่ เป็นความรู้ในแง่บวกคือไม่รังเกียจที่จะรับรู้ (แต่การยินดีไม่จำเป็นจะต้องเกิดความชอบพอขึ้นมา เช่น ยินดีที่จะช่วยเหลือเพื่อนทุกคน) เช่น การยอมรับฟังผู้อื่นพูด

1.3 การพิจารณาเลือกสรรสิ่งที่รับรู้ (Controlled or Selected Attention) ระดับนี้จะเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ใหม่หลาย ๆ ชนิด ที่จะเป็นตัวกระตุ้นให้รับรู้ในบางสิ่งบางอย่าง โดยเลือกสรรเอง เช่น การเลือกฟังเฉพาะเพลงลูกทุ่ง

2. การสนองตอบ (Responding) ในระดับนี้จะเกี่ยวข้องกับการสนองตอบต่อสิ่งแวดล้อมบางอย่าง ที่ได้รับเข้ามาแล้วซึ่งจะแสดงถึงความสนใจของผู้เรียนได้ด้วย เพราะผู้เรียนได้มีปฏิกิริยาตอบโต้ต่อสิ่งแวดล้อมหลังจากที่ได้เลือกสรรแล้ว ซึ่งจำแนกเป็น 3 ระดับ คือ

2.1 ความยินยอมในการสนองตอบ (Acquiescence in Responding) เกี่ยวข้องกับการเชื่อฟังหรือคล้อยตามเพื่อจะสนองตอบสิ่งใดสิ่งหนึ่ง เช่น การเล่นฟุตบอลตามกติกาที่ตั้งไว้ปฏิบัติตามสุขบัญญัติ 10 ประการ

2.2 ความยินดีสนองตอบ (Willingness to Respond) การยินยอมมักจะทำไปตามกฎระเบียบ ซึ่งผู้ตอบสนองอาจจะเต็มใจหรือไม่เต็มใจก็ได้ ส่วนระดับนี้จะมีความรู้สึกเต็มใจยินดีหรือไม่รังเกียจที่จะสนองตอบ เช่น มีความรับผิดชอบในสุขภาพของตนเองและยังช่วยป้องกันให้คนอื่นด้วย

2.3 ความพึงพอใจในการสนองตอบ (Satisfaction in Response) การยินยอมที่จะสนองตอบและการยินดีจะสนองตอบได้ก่อให้เกิดความพึงพอใจในการได้สนองตอบขึ้นเป็นการสนองตอบด้วยอารมณ์ชื่นชอบ สนุกสนาน เช่น มีความสนุกสนานในการเล่นดนตรี อ่านหนังสือประเภทตลกขบขัน เป็นต้น

3. การสร้างค่านิยม (Valuing) เป็นแนวคิดทางนามธรรมที่มีคุณค่า ซึ่งเกิดจากแต่ละบุคคลที่จะตัดสินเลือกการประพฤติปฏิบัติในสิ่งที่ยอมรับแล้วในสังคม ผู้เรียนจะต้องเลือกใช้เกณฑ์ที่มีคุณค่านั้นด้วยตนเอง ส่วนมากพฤติกรรมด้านนี้จะเกิดจากแรงจูงใจ ไม่ใช่เกิดจากการเรียกร้องให้กระทำตามแต่จะเกิดจากความรู้สึกผูกพันในตนเองกับคุณค่านั้นๆ ที่เป็นตัวชี้แนะแนวทางพฤติกรรมจำแนกได้เป็น 3 ระดับ คือ

3.1 การยอมรับในค่านิยมหนึ่ง (Acceptance of a Value) หลังจากการได้สนองตอบสิ่งแวดล้อมแล้วก็เกิดความเชื่อหรือทัศคติต่อสิ่งหนึ่งสิ่งใด โดยการเลือกสนองตอบสิ่งนั้นอย่างคงที่กลายเป็นการยอมรับยึดถือในคุณค่านั้นไว้ เช่น มีความปรารถนาที่จะพัฒนาความสามารถในการพูดและเขียนภาษาอังกฤษต่อไปเรื่อย ๆ

3.2 การชื่นชอบในค่านิยมหนึ่ง (Preference for a Value) ในระดับนี้ไม่เพียงแต่ยินดีและยอมรับเท่านั้นแต่มีความต้องการในสิ่งนั้นด้วย หลังจากที่ได้ยอมรับค่านิยม อื่นๆ แล้วจะเหลืออยู่เพียงไม่กี่ค่านิยมที่ชื่นชอบมากกว่าค่านิยมอื่น เช่น หลังจากการพัฒนาทั้งการพูดและเขียนภาษาอังกฤษไประยะหนึ่งแล้ว ก็จะตัดสินใจเลือกฝึกเฉพาะการสนทนาภาษาอังกฤษเพียงอย่างเดียว

3.3 การตรึงมั่นในค่านิยม (Commitment) เป็นการยึดถือหรือเชื่อมั่นสิ่งใดสิ่งหนึ่งอย่างแน่นอน เช่น มีความเชื่อถือในเหตุผลและวิธีดำเนินการแบบทดลอง และอภิปราย

4. การจัดระเบียบค่านิยม (Organization) หมายถึง การที่ผู้เรียนได้สร้างค่านิยมย่อยๆ ที่เกิดขึ้นแล้ว และพิจารณารวบรวมค่านิยมเหล่านั้นว่านิยมอะไรบ้างที่เกี่ยวข้องตรงประเด็นกับสิ่งที่กำลังพิจารณาโดยจะต้องจัดเรียบเรียงค่านิยมเหล่านั้นให้เป็นระบบ จะต้องมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละค่านิยม สร้างค่านิยมที่สำคัญขึ้นมาจำแนกเป็น 2 ระดับ คือ

4.1 การสร้างมโนภาพในค่านิยม (Conceptualization of a Value) ในระดับที่ 3 นั้น ได้เน้นถึงความคงที่แน่นอนของความเชื่อต่างๆ หรือค่านิยมในระดับนี้จะเพิ่มคุณภาพของแนวคิดเข้าไปด้วย ซึ่งมีลักษณะเป็นนามธรรมและสัญลักษณ์ เช่น พยายามที่จะหาคุณลักษณะของจุดประสงค์ทางศิลปะซึ่งมีความชื่นชอบ

4.2 การจัดระเบียบค่านิยม (Organization of a Value System) เป็นความต้องการให้ผู้เรียนได้นำค่านิยมที่ซับซ้อน ค่านิยมที่แตกต่างกันให้ไปสัมพันธ์กับค่านิยมอื่นอย่างมีระเบียบ ความสัมพันธ์อย่างเป็นระเบียบนี้จะต้องทำให้กลมกลืนเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมีความสอดคล้องกัน เช่น การปรับกฎข้อบังคับเกี่ยวกับที่พักให้สอดคล้องกับความต้องการ

5. ลักษณะนิสัยที่เกิดจากค่านิยม (Characterization by a Value or Value Complex) หมายถึง ค่านิยมภายในบุคคลที่เป็นสายสัมพันธ์ลำดับขั้นได้ถูกจัดระเบียบให้คงเส้นคงวาแล้วควบคุมพฤติกรรมของแต่ละบุคคล ซึ่งจะต้องอาศัยเวลาพอสมควรในการปรับปรุงพฤติกรรมเช่นนี้และไม่ได้เกิดอารมณ์ แต่เกิดจากการถูกกระทำหรือถูกท้าทายซึ่งจำแนกเป็น 2 ระดับ คือ

5.1 การควบคุมตนเองแบบทั่วไป (Generalize Set) เป็นการตอบสนองต่อเหตุการณ์ทั่วไปหรือกลุ่มของเหตุการณ์ทำนองเดียวกันอย่างสม่ำเสมอและคงเส้นคงวา มักจะไม่ใช่ความคิด (Unconscious) ในการกระทำหรือเป็นการกระทำที่ปราศจากความคิดแต่เป็นเพราะทำตามแนวเจตคติ เช่น พร้อมที่จะปรับปรุงตัดสินใจและเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในรูปของสิ่งที่ปรากฏ ตัดสินปัญหาหรือข้อถกเถียงตามสถานการณ์ จุดมุ่งหมาย หรือความสำคัญที่เกี่ยวข้องมากกว่าจะตัดสินให้ตายตัวหรือไร้เหตุผล

5.2 การแสดงลักษณะนิสัย (Characterization) เป็นลักษณะสูงสุดของกระบวนการภายในซึ่งจะครอบคลุมจุดประสงค์ต่าง ๆ ของปรากฏการณ์และพิสัยของพฤติกรรมอย่างกว้างขวางที่จะประกอบกันขึ้นมา จุดประสงค์เหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับทัศนะใดทัศนะหนึ่งของทั้งหมดปรัชญาชีวิตซึ่งจะมีลักษณะที่กว้างขวางกว่าการควบคุมตนเองแบบทั่วไป เพราะเกี่ยวข้องกับกลุ่มของทัศนคติ พฤติกรรม ความเชื่อหรือความคิดโดยเน้นที่ความสม่ำเสมอ เช่น การพัฒนาปรัชญาชีวิตอย่างสม่ำเสมอ การพัฒนากฎระเบียบต่าง ๆ ให้มีลักษณะเป็นประชาธิปไตย

2.5.3 ขอบเขตด้านทักษะ (Psychomotor Domain)

ขอบเขตด้านทักษะ เป็นจุดมุ่งหมายทางการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติ ฝึกฝนทักษะ ผลงานด้านนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับทั่วไป Bloom และคณะก็ไม่ได้ช่วยพัฒนาขอบเขตด้านทักษะเลย อย่างไรก็ตามก็ยังมีผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าและพยายามพัฒนาต่อไป เนื่องจากผลงานด้านนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับเชื่อถือทั่วไป จึงเสนอผลงานของผู้ศึกษาค้นคว้าทั้งสองคนคือ Robert J. K. และคณะ (1970) และ Elizabeth J. S. (1972)

Kibler และคณะ (1970 : 44-75) ได้จำแนกขอบเขตด้านนี้ตามทักษะการเคลื่อนไหวของร่างกายออกเป็น 4 ระดับ โดยเรียงลำดับจากทักษะที่ง่ายไปสู่ทักษะที่สลับซับซ้อนดังนี้ (สุมิตร คุณานุกร. 2518 : 54-56)

1. การเคลื่อนไหวทั้งร่างกาย (Gross Bodily Movement) เป็นการเคลื่อนไหวของอวัยวะต่างๆ ที่ไม่สลับซับซ้อน จำแนกเป็น 3 ระดับ คือ

1.1 การเคลื่อนไหวอวัยวะส่วนบน (Movements Involving the Upper Limbs)

1.2 การเคลื่อนไหวอวัยวะส่วนล่าง (Lower Limbs)

1.3 การเคลื่อนไหวอวัยวะทั้งสองส่วน (Two or More Bodily Units)

2. การเคลื่อนไหวที่ต้องใช้ประสาทรวม ๆ กัน หมายถึง การประสานงานกันระหว่างประสาทสัมผัส เช่น การเห็นการได้ยินกับการเคลื่อนไหวร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นแขนหรือขา เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวตามที่ต้องการ เช่น การรับลูกบอล การเล่นดนตรี จำแนกออกเป็น 4 ระดับ คือ

2.1 การเคลื่อนไหวของมือและนิ้ว (Hand-Finger Movement)

2.2 การเคลื่อนไหวของมือและตา (Hand-Eye Coordination)

2.3 การเคลื่อนไหวของมือ ตาและเท้า (Hand-Eye-Foot Coordination)

2.4 การเคลื่อนไหวอื่น ๆ ของมือ เท้า ตา และหู (Other Combination of Hand-Foot-Eye-Ear Movement)

3. การสื่อสารโดยใช้ท่าทาง (Non-Verbal Communication Behaviors) หมายถึง การสื่อสารโดยใช้ท่าทางต่างๆ เช่น การเคลื่อนไหวร่างกาย การใช้สีหน้า ภาษาใบ้ จำแนกออกเป็น 3 ระดับ คือ

3.1 การแสดงสีหน้า (Facial Expression)

3.2 ท่าทาง (Gestures)

3.3 การเคลื่อนไหวทั้งร่างกาย (Bodily Movement)

4. พฤติกรรมทางภาษา (Speech Behaviors) หมายถึง การสื่อสารโดยใช้เสียง พัฒนา การใช้เสียงจำแนกเป็น 4 ระดับ คือ

4.1 การออกเสียง (Sound Production)

4.2 การสร้างเสียง (Sound-Word Formation)

4.3 การเปล่งเสียง (Sound Projection)

4.4 การประสานระหว่างเสียงและท่าทาง (Sound-Gesture Coordination)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ดังนี้

ธนาวุฒิ ประกอบผล (2547 : 59) ทำการวิจัยการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อทบทวน วิชาสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ เรื่องระบบตัวเลขและโครงสร้างคอมพิวเตอร์ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขั้นตอนการสร้างบทเรียนได้มีการกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ให้มีความสอดคล้องกับเนื้อหา ส่วนขั้นตอนการออกแบบได้มีการเขียนสคริปต์บทเรียนไว้ในกรอบ ส่วนตัวเนื้อหาได้ออกแบบให้ผู้เรียนใช้งานได้ง่าย โดยมีปุ่มตัวเลือกสำหรับเลือกศึกษาเนื้อหาและยังได้มีการออกแบบเมนูบาร์แสดงหัวข้อหลัก มีการออกแบบเพื่อเพิ่มความสนใจโดยการใช้กราฟิกและภาพเคลื่อนไหว ใช้เสียงให้สอดคล้องกับกราฟิก ใช้ดนตรีในการประกอบบทเรียนบางส่วน มีการใช้แบบทดสอบระหว่างเรียนและแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ โดยสร้างแบบทดสอบให้มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ได้ตั้งไว้ และยังมีการสร้างกรอบคู่มือการใช้บทเรียน ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพ 81.89/88.75 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

พิมพ์ชนก ตอพรหม (2548 : 57-58) ทำการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาการเดินสายโทรศัพท์ตอนนอก เรื่องสายเคเบิล สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ขั้นตอนการวางแผนได้มีการกำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อเป็นแนวทางและขอบเขตในการสร้าง ส่วนขั้นตอนการออกแบบบทเรียน ได้มีการเขียนสคริปต์ รูปแบบการนำเสนอเนื้อหาและสคริปต์บรรยาย เพื่อให้มีความสอดคล้องในแต่ละเนื้อหา ขั้นตอนการสร้างมีการนำโปรแกรมทางด้านกราฟิกต่างๆ มาใช้ ผลการวิจัยพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนมีประสิทธิภาพ 83.53/83.75 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

อนันตพัฒน์ อนันตชัย (2546 : 88) ทำการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อสอนเสริมก่อนปฏิบัติการวิชาปฏิบัติอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร 1 เรื่อง ลักษณะสมบัติอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ 80.10/79.60 เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่มีผู้วิจัยสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นสื่อการสอนที่ใช้ได้กับหลายสาขาวิชาและใช้กับผู้เรียนได้หลายระดับชั้นการเรียน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการสร้างและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่อง สายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ผู้วิจัยได้นำเสนอรายละเอียดตามหัวข้อต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 การดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร

ประชากรในการวิจัย คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549 จำนวน 77 คน

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549 โดยใช้เกรดเฉลี่ยสะสมในชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2548 เป็นชั้นภูมิ และการสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) มีรายละเอียดดังนี้

เกรดเฉลี่ยสะสม ตั้งแต่ 3.00 ขึ้นไป เป็นนักศึกษากลุ่มเก่ง

เกรดเฉลี่ยสะสม ระหว่าง 2.50-2.99 เป็นนักศึกษากลุ่มปานกลาง

เกรดเฉลี่ยสะสม น้อยกว่า 2.50 เป็นนักศึกษากลุ่มอ่อน

นำจำนวนนักศึกษาที่เป็นประชากรที่แบ่งตามชั้นภูมิ มาทำการสุ่มอย่างง่ายโดยวิธีการจับสลากตามสัดส่วนนักศึกษาเพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน โดยแบ่งเป็น

นักศึกษากลุ่มเก่ง จำนวน 6 คน
นักศึกษากลุ่มปานกลาง จำนวน 7 คน
นักศึกษากลุ่มอ่อน จำนวน 7 คน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

2. แบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

3.2.1 บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

3.2.1.1 ลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นบทเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อการทบทวน เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ แบ่งออกเป็น 3 หน่วยการเรียน ดังนี้

หน่วยการเรียนที่ 1 เรื่องความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศและคลื่นไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 2 เรื่องโครงสร้างของสายอากาศแบบต่างๆ ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 3 เรื่องสายอากาศแบบพาราโบลาและสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

3.2.1.2 ขั้นตอนการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำแนวความคิดของ พรเทพ เมืองแมน มาเป็นแนวทางในการพัฒนา แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวางแผน

1.1 การวิเคราะห์หลักสูตร วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ ในกลุ่มวิชาชีพวิศวกรรมโทรคมนาคม สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์

อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีเนื้อหาที่เหมาะสมในการนำมาสร้างเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่นักศึกษาใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาเรื่องระบบสื่อสารในระดับที่สูงต่อไปได้

1.2 กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 7 ข้อ ดังนี้

1. บอกคุณสมบัติของสายอากาศได้
2. บอกคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟได้
3. บอกชนิดของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
4. บอกข้อแตกต่างระหว่างสายอากาศแบบจานสะท้อนอันเดียวและแบบจานสะท้อนสองอันได้
5. บอกโครงสร้างของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
6. อธิบายการทำงานของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
7. คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้

1.3 การกำหนดกิจกรรมการเรียน มีการกำหนดกิจกรรมการเรียนให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบบทเรียน

ดำเนินการเขียนสคริปต์บทเรียนบรรจุไว้ในกรอบต่างๆ โดยประกอบด้วยกรอบนำเข้าสู่บทเรียน กรอบแนะนำวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม กรอบเนื้อหาบทเรียนและกรอบแบบทดสอบหลังเรียน

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างบทเรียน

นำสคริปต์ของบทเรียน ไปสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน โดยผู้วิจัยได้นำกรอบที่เขียนไว้แล้วในสคริปต์บทเรียนมาบรรจุไว้เป็นกรอบย่อยๆ ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟโดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 หน่วยการเรียน ดังนี้

หน่วยการเรียนที่ 1 เรื่องความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศและคลื่นไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 2 เรื่องโครงสร้างของสายอากาศแบบต่างๆ ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 3 เรื่องสายอากาศแบบพาราโบลาและสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินและการแก้ไขบทเรียน

ผู้วิจัยได้ทำการประเมินและแก้ไขบทเรียน โดยดำเนินการดังนี้

1. ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมด้านเนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นให้ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมพิจารณาและได้รับคำแนะนำให้แก้ไขในประเด็นต่อไปนี้

- คำศัพท์ที่ใช้ในบทเรียนทั้งภาษาไทย ภาษาอังกฤษ ควรใช้คำให้คงเส้นคงวาทั้งหมด รวมถึงการสะกดคำให้ถูกต้อง
- ลดจำนวนเนื้อหาที่ใส่ในบทเรียน เลือกเฉพาะเนื้อหาที่เป็นประเด็นสำคัญ ส่วนเนื้อหาที่เป็นการขยายให้ใส่ในส่วนของการบรรยาย
- การพิมพ์ข้อความเพื่อบรรยายในหน้าจอของบทเรียนบางหน้ามีการตัดคำที่ไม่เหมาะสมทำให้อ่านแล้วเข้าใจยาก

หลังจากแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมแล้ว นำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา 3 ท่าน ดังนี้

1. รองศาสตราจารย์วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. อาจารย์พิมพ์ชนก ตอพรหม ลำใย อาจารย์พิเศษประจำโปรแกรมวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

ทำการพิจารณาและประเมินบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามแบบประเมินภาคผนวก ง ผลการประเมินพบว่าผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาเห็นว่าสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดี โดยได้ค่าเฉลี่ยของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิเป็น 4.46 นอกจากนี้ผู้ทรงคุณวุฒิยังให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเนื้อหาในสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนดังนี้

- วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมควรเรียงตามลำดับเนื้อหา และให้ครอบคลุมเนื้อหา
- การออกเสียงภาษาอังกฤษควรให้ถูกต้องและชัดเจน
- ขนาดตัวอักษรที่ใช้อธิบายภาพควรปรับให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
- ภาพในแบบทดสอบควรมีขนาดใหญ่ขึ้นและชัดเจน

2. ตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมทางด้านเทคนิคการผลิตสื่อ โดยนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

โดยนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นให้ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมพิจารณาและได้รับคำแนะนำให้แก้ไขในประเด็นต่อไปนี้

- ปุ่มแบบทดสอบระหว่างเรียนควรจัดวางให้อยู่ในหน้าต่างเดียวกันกับปุ่มเนื้อหา
- สีของตัวอักษรที่ใช้กับสีของพื้นควรเป็นสีที่อ่านได้ง่าย ซึ่งในการสร้างครั้งแรกผู้วิจัยได้ใช้สีของตัวอักษรเป็นสีขาวส่วนสีของพื้นเป็นสีเขียว จึงได้เปลี่ยนสีของตัวอักษรเป็นสีดำส่วนสีของพื้นเป็นสีขาวแทน
- รูปแบบของตัวอักษรกับสัญลักษณ์ควรเป็นรูปแบบเดียวกัน
- ปุ่มควบคุมเสียงควรปรับให้มีขนาดเล็กและวางในส่วนของมุมด้านล่าง
- แบบทดสอบระหว่างเรียนและแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนควรกำหนดให้ทำได้เพียงครั้งเดียว
- ควรมีสัญลักษณ์แสดงความแตกต่างระหว่างหน่วยการเรียนที่เรียนแล้วกับหน่วยการเรียนที่ยังไม่ได้เรียน
- ควรปรับเปลี่ยนรูปภาพให้สื่อความหมายได้ชัดเจนและสอดคล้องกับหน่วยการเรียน
- เสียงบรรยายในบทเรียนควรออกเสียงให้ถูกต้องและชัดเจน

หลังจากแก้ไขและปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมแล้วนำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ 3 ท่าน ดังนี้

1. อาจารย์พิมพ์ชนก ตอพรหม ลำใย อาจารย์พิเศษประจำโปรแกรมวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
2. นายธนันต์ชัย บรรเทิงจิตร เจ้าหน้าที่ IS OPERATION บริษัท เอก-ชัย ดิสทริบิวชั่น ซิสเต็ม จำกัด
3. นางสาวนวรัตน์ ลิมาภิรักษ์ เจ้าหน้าที่ IS OPERATION บริษัท เอก-ชัย ดิสทริบิวชั่น ซิสเต็ม จำกัด

ทำการพิจารณาและประเมินบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามแบบประเมินภาคผนวก จ ผลการประเมินพบว่าผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อเห็นว่าสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดี โดยได้ค่าเฉลี่ยของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิเป็น 4.08 นอกจากนี้ผู้ทรงคุณวุฒิยังให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเทคนิคการผลิตสื่อในสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนดังนี้

- ควรปรับปรุงอักษรบรรยายนำก่อนเข้าสู่การลงทะเบียนหรือป้อนข้อมูลนักศึกษาให้มีความชัดเจน
- ควรเพิ่มขนาดตัวอักษรที่ใช้อธิบายภาพให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3. ผู้วิจัยทำการปรับปรุงแก้ไขบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน ตามคำแนะนำของผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมและผู้ทรงคุณวุฒิแล้วนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปหาประสิทธิภาพ โดยดำเนินการดังนี้

1. ทดลองแบบเดี่ยว โดยใช้ผู้เรียนจำนวน 3 คน ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีผลการเรียนอยู่ในระดับ เก่ง ปานกลาง และอ่อน อย่างละ 1 คน โดยให้ผู้สอนรายวิชาดังกล่าวเป็นผู้คัดเลือกให้ผู้เรียนเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น และแสดงความคิดเห็นที่มีต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ การทดลองครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ทราบถึงระยะเวลาของการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน หาจุดบกพร่อง เช่น การแสดงภาพกราฟิกช้าหรือเร็วเกินไปหรือไม่ การนำเสนอเนื้อหาที่ยากต่อการเข้าใจหรือไม่ เป็นต้น ผลจากการทดลองพบว่า ภาพกราฟิกบางภาพมีการเคลื่อนไหวที่เร็วเกินไป บางหัวข้อมีรายละเอียดมากทำให้น่าเบื่อ ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปปรับปรุงแก้ไข

2. ทดลองแบบกลุ่ม ใช้ผู้เรียนจำนวน 9 คน ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีผลการเรียนอยู่ในระดับ เก่ง ปานกลาง และอ่อน อย่างละ 3 คน โดยให้ผู้สอนรายวิชาดังกล่าวเป็นผู้คัดเลือกให้ผู้เรียนเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วและให้ผู้เรียนเขียนแสดงความคิดเห็น ที่มีต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ การทดลองครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำความคิดเห็นของผู้เรียนทั้ง 9 คน มาทำการแก้ไขบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นให้มีความพร้อมก่อนที่จะนำไปเป็นเครื่องมือทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัย ผลการทดลองพบว่า เสียงบรรยายบางคำยังออกเสียงผิดอยู่ ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปปรับปรุงแก้ไข

3. ทดลองภาคสนาม เป็นการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 20 คน เพื่อนำผลการทดสอบไปตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งรายละเอียดของการทดลองภาคสนาม แสดงในหัวข้อที่ 3.3 การดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.2 แบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

การสร้างแบบทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาวิธีสร้างและเทคนิคการสร้างแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จากเอกสารเกี่ยวกับการวัดผลและการสร้างแบบทดสอบ

2. ศึกษาเนื้อหาและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ จากหนังสือและเอกสารอ้างอิง สร้างแบบทดสอบ

วัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ เป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ซึ่งวัดพฤติกรรม 3 ด้าน คือ ความรู้ความจำ ความเข้าใจ และการนำไปใช้ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนคือ ถ้าตอบถูกได้ 1 คะแนน ถ้าตอบผิดหรือไม่ตอบหรือตอบมากกว่า 1 ตัวเลือกได้ 0 คะแนน ให้ตรงตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม จำนวนทั้งหมด 35 ข้อ จากนั้นนำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นไปตรวจสอบหาคุณภาพ

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดจำนวนข้อของแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนที่ใช้จริงและออกเกินจำแนกตามระดับของขอบเขตด้านปัญญาและหน่วยการเรียน

หน่วยการเรียนที่	น้ำหนัก (ร้อยละ)	ขอบเขตด้านปัญญา						แบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน (ข้อ)	
		ความรู้ความจำ (ข้อ)		ความเข้าใจ (ข้อ)		การนำไปใช้ (ข้อ)			
		ใช้จริง	ออกเกิน	ใช้จริง	ออกเกิน	ใช้จริง	ออกเกิน	ใช้จริง	ออกเกิน
1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศและคลื่นไมโครเวฟ	30	4	3	2	2	-	-	6	5
2. โครงสร้างของสายอากาศแบบต่างๆ ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ	35	2	2	3	2	2	1	7	5
3. สายอากาศแบบพาราโบลาและสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน	35	4	2	2	2	1	1	7	5
รวม	100	10	7	7	6	3	2	20	15

3. นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นเสนอผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาตรวจสอบและพิจารณาแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน ซึ่งมีผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ดังนี้

1. รองศาสตราจารย์วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์ รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3. อาจารย์ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์ อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4. นำคะแนนที่ได้ไปตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) โดยใช้สูตร (พร้อมพรรณ อุดมสิน. 2538 : 84) ดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (3.1)$$

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

N แทน จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

ซึ่งมีเกณฑ์การให้คะแนนความคิดเห็นดังต่อไปนี้

1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อสอบมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าข้อสอบมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

-1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อสอบไม่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

5. หลังจากผู้ทรงคุณวุฒิ ตรวจสอบและพิจารณาแล้ว โดยนำผลคะแนนที่ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินในแต่ละข้อมาหาค่าเฉลี่ย เมื่อพิจารณาข้อสอบจำนวน 35 ข้อแล้ว ปรากฏว่า

ค่า IOC เท่ากับ 0.00 มีจำนวน 1 ข้อ

ค่า IOC เท่ากับ 0.33 มีจำนวน 3 ข้อ

ค่า IOC เท่ากับ 0.67 มีจำนวน 8 ข้อ

ค่า IOC เท่ากับ 1.00 มีจำนวน 23 ข้อ

หลังจากทราบค่า IOC ผู้วิจัยได้ตัดข้อสอบที่มีค่า IOC เท่ากับ 0.00 และ 0.33 รวม 4 ข้อ ทิ้งไป ส่วนข้อสอบที่มีค่า IOC เท่ากับ 0.67-1.00 ไปปรับปรุงแก้ไข โดยผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมดังนี้

- ควรปรับการใช้คำในโจทย์ ไม่ให้มีคำซ้ำมากเกินไป
- ควรปรับตัวเลือกบางข้อให้ชัดเจนเพราะตัวเลือกเดิมสามารถเดาได้ง่าย
- รูปภาพที่ใช้เป็นตัวเลือกควรปรับเปลี่ยนให้มองเห็นชัดเจน

ผู้วิจัยปรับปรุงแก้ไขข้อสอบตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

6. นำแบบทดสอบจำนวน 31 ข้อไปทดลองใช้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เคยเรียนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ จำนวน 30 คนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง แล้วนำมาวิเคราะห์ความยากง่าย (p) และอำนาจจำแนก (r) โดยใช้เทคนิค 50% แบ่งกลุ่มสูง กลุ่มต่ำ เพื่อคัดเลือกข้อสอบที่จะนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

สูตรการหาค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบแต่ละข้อ คำนวณโดยใช้สูตรต่อไปนี้ (พร้อมพรรณ อุดมสิน. 2538 : 105)

$$p = \frac{R_H + R_L}{n_H + n_L} \tag{3.2}$$

$$r = \frac{R_H - R_L}{n_H} \tag{3.3}$$

เมื่อ R_H , R_L แทน จำนวนผู้ที่ตอบถูกในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำตามลำดับ

n_H , n_L แทน จำนวนคนในกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำตามลำดับ

p แทน ค่าความยากง่าย

r แทน ค่าอำนาจจำแนก

คัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากง่ายและอำนาจจำแนก จากข้อสอบจำนวน 31 ข้อ ให้เหลือจำนวน 20 ข้อ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ข้อสอบที่มีค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกผ่านเกณฑ์มีจำนวน 15 ข้อ โดยมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.23-0.63 และค่าอำนาจจำแนก อยู่ระหว่าง 0.20-0.47

2. ข้อสอบที่มีค่าความยากง่ายผ่านเกณฑ์แต่ค่าอำนาจจำแนกไม่ผ่านเกณฑ์มีจำนวน 3 ข้อ โดยมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.27-0.60 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.00-0.13

3. ข้อสอบที่มีค่าความยากง่ายไม่ผ่านเกณฑ์แต่ค่าอำนาจจำแนกผ่านเกณฑ์มีจำนวน 1 ข้อ โดยมีค่าความยากง่ายเท่ากับ 0.17 และค่าอำนาจจำแนกเท่ากับ 0.20

4. ข้อสอบที่มีค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกไม่ผ่านเกณฑ์มีจำนวน 1 ข้อ โดยมีค่าความยากง่ายเท่ากับ 0.17 และค่าอำนาจจำแนกเท่ากับ 0.07

7. นำข้อสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ 5 ข้อไปปรับปรุงแก้ไข

8. นำข้อสอบที่คัดเลือกไว้ จำนวน 20 ข้อ ไปคำนวณหาค่าความเที่ยง โดยใช้สูตรการคำนวณ KR–20 ของ Kuder–Richardson (พร้อมพรรณ อุดมสิน. 2538 : 91) ดังนี้

$$K\text{-}R_{20}; r_{\alpha} = \frac{K}{K-1}\left[\, 1 - \frac{\sum p_i q_i}{S_t^2} \,\right] \tag{3.4}$$

เมื่อ r_{α} แทน ค่าความเที่ยงของแบบทดสอบ

K แทน จำนวนข้อของแบบทดสอบ

p_i แทน สัดส่วนของผู้ตอบถูก

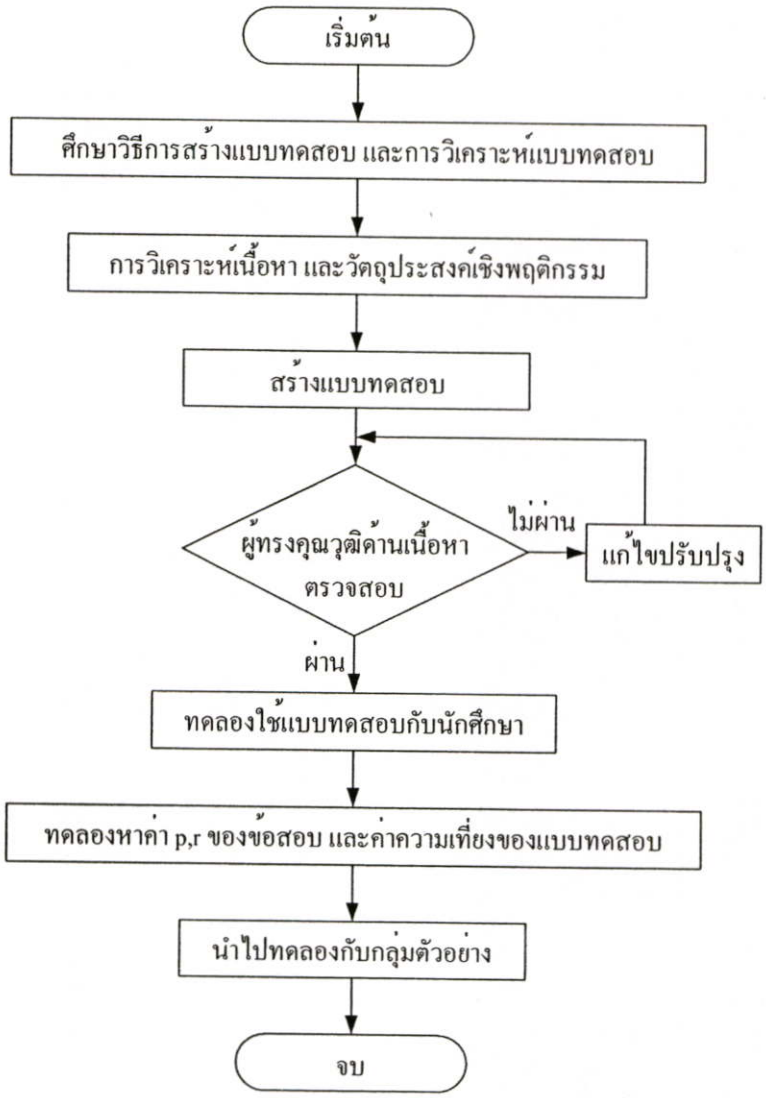
q_i แทน สัดส่วนของผู้ตอบผิด

S_t^2 แทน ความแปรปรวนของคะแนนรวมทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์หาค่าความเที่ยงของแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ มีค่าเท่ากับ 0.51

8. นำแบบทดสอบไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

จากขั้นตอนการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังการทำงานในการสร้างและพัฒนาแบบทดสอบดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบ

3.3 การดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัยด้วยตนเองที่คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ผู้วิจัยได้นำหนังสือขอความร่วมมือในการทดลอง จากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไปยังอาจารย์ผู้สอนประจำวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อขออนุญาตและขอความร่วมมือในการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

2. กำหนดวันเวลาในการทดลองคือวันที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2549 เวลา 17.00 น. ห้อง ค.328 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3. ผู้วิจัยแนะนำวิธีการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน โดยให้นักศึกษา 1 คน ต่อเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง

4. ดำเนินการทดลองกับนักศึกษากลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระดับปริญญาตรีหลักสูตรต่อเนื่อง 2 ปี ชั้นปีที่ 2 ประจำภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549 ที่เคยผ่านการเรียนในเนื้อหาวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟมาแล้ว จำนวน 20 คน

5. ให้กลุ่มตัวอย่างศึกษารายละเอียด จากนั้นให้ศึกษาบทเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นจำนวน 3 หน่วยการเรียน ซึ่งเมื่อศึกษาจบแต่ละหน่วยการเรียน ให้ทำแบบทดสอบระหว่างเรียนแต่ละบทเพื่อนำคะแนนที่ได้ไปหาประสิทธิภาพของกระบวนการ

6. เมื่อกลุ่มตัวอย่างดำเนินการศึกษาบทเรียนครบทุกบทเรียนแล้ว ให้ทำแบบทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนซึ่งเป็นการทดสอบหลังเรียนจำนวน 20 ข้อ แล้วนำคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การคำนวณหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ คือ การหาประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) และประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) ซึ่งมีแนวทางการคำนวณ ดังนี้ (ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ. 2520 : 51)

$$E_1 = \frac{\frac{\sum X}{N}}{A} \times 100 \qquad (3.5)$$

$$E_2 = \frac{\frac{\sum F}{N}}{B} \times 100 \qquad (3.6)$$

เมื่อ E_1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ

E_2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

$\sum X$ คือ คะแนนรวมของผู้เรียนทุกคนที่ได้จากการทำแบบทดสอบระหว่างเรียนในแต่ละหน่วยการเรียน

$\sum F$ คือ คะแนนรวมของผู้เรียนทุกคนที่ได้จากการทำแบบทดสอบหลังเรียน

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

A คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบระหว่างเรียนในแต่ละหน่วยการเรียนรวมกัน

B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

พิจารณาการยอมรับประสิทธิภาพของบทเรียน โดยนำค่าประสิทธิภาพของกระบวนการและประสิทธิภาพของผลลัพธ์ไปเทียบกับค่า 80/80 $\pm$ 2.5 เพื่อทดสอบสมมติฐานการวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาและหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การทดลองหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 20 คน

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

คะแนนจากการทดลอง	คะแนน		ค่าเฉลี่ยร้อยละ	ประสิทธิภาพของบทเรียน		การเทียบค่าประสิทธิภาพของบทเรียนกับ 80 ± 2.5 / 80 ± 2.5
	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย		ที่คำนวณได้	ที่กำหนดไว้ในสมมติฐานการวิจัย	
แบบทดสอบระหว่างเรียน	20	16.35	81.75	81.75/80.25	ไม่ต่ำกว่า 80/80	เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้
แบบทดสอบหลังเรียน	20	16.05	80.25			

จากตารางที่ 4.1 แสดงว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ มีประสิทธิภาพ 81.75/80.25 สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 20 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ

1. บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

2. แบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

ในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549 ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟมาแล้ว จำนวน 20 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มแบบแบ่งชั้น โดยใช้เกรดเฉลี่ยสะสมเป็นชั้นภูมิ ให้นักศึกษาเรียนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟที่พัฒนาขึ้น เมื่อเรียนครบทุกหน่วยการเรียนแล้วให้ทำแบบทดสอบระหว่างเรียนรวมทั้งหมดจำนวน 20 ข้อ เพื่อนำคะแนนที่ได้ไปหาประสิทธิภาพของกระบวนการ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อนำคะแนนที่ได้ไปหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน

ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 81.75/80.25 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้

5.2 การอภิปรายผล

จากการวิจัยพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ มีประสิทธิภาพ 81.75/80.25 เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งมีประเด็นที่สามารถนำมาอธิบายได้ดังนี้

การที่ผลการวิจัยเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย เมื่อพิจารณาในส่วนของการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้น ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีของพรเทพ เมืองแมน มาใช้ในการพัฒนาบทเรียนซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนย่อยได้ดังนี้ 1. การวางแผน 2. การออกแบบบทเรียน 3. การสร้างบทเรียน และ 4. การประเมินและแก้ไขบทเรียน

ขั้นตอนการวางแผน ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หลักสูตรวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ จากหนังสือและเอกสารอ้างอิง หลังจากนั้นนำมากำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการให้ความรู้กับกลุ่มตัวอย่างในสื่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และยังมีการกำหนดกิจกรรมต่างๆ ให้สอดคล้องกันด้วย นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้แบ่งเนื้อหาเป็นหน่วยการเรียนย่อยๆ 3 หน่วยการเรียน โดยเรียงลำดับจากเนื้อหาที่เป็นพื้นฐานไปสู่เนื้อหาหลักของบทเรียน เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจและศึกษาในหน่วยต่อไปได้ง่ายขึ้น

ขั้นตอนการออกแบบ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเขียนสคริปต์บทเรียนบรรจุไว้ในกรอบต่างๆ ส่วนการออกแบบหน้าจอของบทเรียน ผู้วิจัยได้ออกแบบให้เกิดความสบายตา โดยเลือกพื้นหลังและขนาดของตัวอักษรที่ใช้ให้เหมาะสม แบบตัวอักษรก็เป็นแบบที่ผู้เรียนคุ้นเคย และได้เพิ่มเสียงบรรยายเพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้เรียน

ขั้นตอนการสร้างบทเรียน ผู้วิจัยนำสคริปต์ที่เตรียมไว้ในขั้นตอนการออกแบบมาบรรจุไว้ในกรอบย่อยๆ ของบทเรียน โดยโปรแกรมที่ผู้วิจัยใช้ คือ โปรแกรม Authorwave Version 7 เพิ่มความน่าสนใจโดยการนำกราฟิกต่างๆ มาใส่ในบทเรียนซึ่งสร้างโดยโปรแกรม Flash Version 8

ขั้นตอนการประเมินและแก้ไขบทเรียน ผู้วิจัยได้นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนไปปรึกษาอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมพิจารณา ตรวจสอบและได้แก้ไขตามคำแนะนำอย่างต่อเนื่อง ต่อจากนั้นผู้วิจัยได้นำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิทั้งด้านเนื้อหาและเทคนิคการผลิตสื่อพิจารณาตรวจสอบเพื่อให้ได้ผลงานที่ดียิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิและแก้ไขบางส่วนเพิ่มเติม หลังจากนั้นจึงนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนที่ผ่านการแก้ไขปรับปรุงเรียบร้อยแล้วไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

ในส่วนของการสร้างแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการสร้างและเทคนิคการสร้างแบบทดสอบ จากเอกสารเกี่ยวกับการวัดผลและการสร้างแบบทดสอบ และศึกษาเนื้อหาและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ จากหนังสือและเอกสารอ้างอิง แล้วจึงนำมาสร้างแบบทดสอบซึ่งวัดพฤติกรรม 3 ด้าน คือ ความรู้ความจำ ความเข้าใจ และการนำไปใช้ จากนั้นนำแบบทดสอบที่

สร้างขึ้นไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบและพิจารณา หลังจากนั้นได้ทำการหาคุณภาพของแบบทดสอบตามหลักการวัดผล จึงทำให้ได้แบบทดสอบที่มีคุณภาพ

จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดจึงทำให้ผลการวิจัยเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยที่กำหนดไว้ทุกประการ เมื่อพิจารณาถึงงานวิจัยที่มีผู้อื่นได้ทำการทดลองไว้เกี่ยวกับการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะเห็นว่าผลการวิจัยของผู้วิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัย ดังต่อไปนี้

ธนาวุฒิ ประกอบผล (2547 : 59) ทำการวิจัยการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อทบทวน วิชาสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ เรื่องระบบตัวเลขและโครงสร้างคอมพิวเตอร์ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขั้นตอนการสร้างบทเรียนได้มีการกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ให้มีความสอดคล้องกับเนื้อหา ส่วนขั้นตอนการออกแบบได้มีการเขียนสคริปต์บทเรียนไว้ในกรอบ ส่วนตัวเนื้อหาได้ออกแบบให้ผู้เรียนใช้งานได้ง่าย โดยมีปุ่มตัวเลือกสำหรับเลือกศึกษาเนื้อหาและยังได้มีการออกแบบเมนูบาร์แสดงหัวข้อหลัก มีการออกแบบเพื่อเพิ่มความสนใจโดยการใช้กราฟิกและภาพเคลื่อนไหว ใช้เสียงให้สอดคล้องกับกราฟิก ใช้ดนตรีในการประกอบบทเรียนบางส่วน มีการใช้แบบทดสอบระหว่างเรียนและแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ โดยสร้างแบบทดสอบให้มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ได้ตั้งไว้ และยังมีการสร้างกรอบคู่มือการใช้บทเรียน ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพ 81.89/88.75 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

พิมพ์ชนก ตอพรหม (2548 : 57-58) ทำการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาการเดินสายโทรศัพท์ตอนนอก เรื่องสายเคเบิล สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ขั้นตอนการวางแผนได้มีการกำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อเป็นแนวทางและขอบเขตในการสร้าง ส่วนขั้นตอนการออกแบบบทเรียน ได้มีการเขียนสคริปต์ รูปแบบการนำเสนอเนื้อหาและสคริปต์บรรยาย เพื่อให้มีความสอดคล้องในแต่ละเนื้อหา ขั้นตอนการสร้างมีการนำโปรแกรมทางด้านกราฟิกต่างๆ มาใช้ ผลการวิจัยพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนมีประสิทธิภาพ 83.53/83.75 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

สุปราณี ดอนเตาเหล็ก (2548 : 51) ทำการวิจัยการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อทบทวน วิชาระบบฐานข้อมูล เรื่องแบบจำลองของฐานข้อมูล สำหรับนักศึกษาปริญญาโท คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขั้นตอนการวางแผนได้มีการวิเคราะห์เนื้อหาเพื่อกำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ขั้นตอนการสร้างได้ดำเนินการสร้างสตอรี่บอร์ด ใช้ความคิดในการวิเคราะห์ จัดระบบ จัดเรียงลำดับเนื้อหาออกเป็นกรอบย่อยๆ มีการใช้โปรแกรมอื่นช่วยทำให้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีความสวยงามและน่าสนใจ มีการใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การ

เรียนรู้ที่ได้ตั้งไว้ ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีประสิทธิภาพ 82.14/83.93 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้

1. อาจารย์ผู้สอนสามารถนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ให้นักศึกษานำไปใช้ทบทวนหลังจากการเรียนในห้องเรียนปกติเพื่อทบทวนด้วยตนเอง โดยไม่จำกัดเวลาและสถานที่ เพื่อให้นักศึกษาทำความเข้าใจกับเนื้อหาบทเรียนได้ดียิ่งขึ้น

2. อาจารย์ผู้สอนสามารถนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ นำไปใช้ในการสอนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟหรือวิชาอื่นที่เกี่ยวข้องได้

5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

1. ควรพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องอื่นๆ จนครบทั้งรายวิชา ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้เรียนในการนำไปใช้ทบทวนได้ทั้งรายวิชา

2. แบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน ที่จะนำมาใช้ในการวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนอาจสร้างให้มีลักษณะที่แตกต่างจากที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น เช่น เป็นแบบเลือกตอบจำนวน 5 ตัวเลือก เพื่อให้เกิดความหลากหลายในตัวเลือกและใช้จำนวนข้อของแบบทดสอบให้มากขึ้นหรืออาจออกแบบให้มีลักษณะเขียนตอบแบบสั้นเพื่อให้ครอบคลุมเนื้อหามากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้สามารถคาดเดาคำตอบได้ยากและเพิ่มความน่าสนใจให้กับแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน

บรรณานุกรม

ขนิษฐา ชานนท์. 2532. **เทคโนโลยีการศึกษาร่วมสมัย**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฉลอง ทับศรี. 2536. "เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการเรียนการสอน." **เทคโนโลยีการศึกษา.** 1(4) : 8.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ และคณะ. 2520. **ระบบสื่อการสอน**. กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย.

ถนอมพร เลาหจรัสแสง. 2541. **คอมพิวเตอร์ช่วยสอน**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาโสตทัศนศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนาวุฒิ ประกอบผล. 2547. "การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อทบทวนวิชาสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ เรื่องระบบตัวเลขและโครงสร้างคอมพิวเตอร์ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์) บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธีรพงษ์ อ่อนอก. 2539. **การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วย Authorware**. กรุงเทพฯ : เอกสารอัดสำเนา.

บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์. ม.ป.ป. **การวัดและการประเมินผลการศึกษาและการประยุกต์**. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์.

บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. 2530. **วิศวกรรมสายอากาศ**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บัณฑิต โรจน์อารยานนท์. 2536. **วิศวกรรมไมโครเวฟ**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุปผชาติ ทัฬหิกรณ์. 2536. **ความรู้เกี่ยวกับสื่อมัลติมีเดียเพื่อการศึกษา**. กรุงเทพฯ : ศูนย์พัฒนาหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.

ผดุง อารยะวิญญู. 2527. **ไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

พรเทพ เมืองแมน. 2544. **การออกแบบและพัฒนา CAI Multimedia ด้วย Authorware**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

พรเทพ เมืองแมน. 2544. **หลักการออกแบบและสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วยโปรแกรม Authorware 5**. ปัตตานี : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พร้อมพรรณ อุดมสิน. 2538. **การวัดและการประเมินผลการเรียนการสอนคณิตศาสตร์**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิมพ์ชนก ตอพรหม. 2548. "การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาการเดินสายโทรศัพท์ตอนนอก เรื่องสายเคเบิล สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์) บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ภัทธิรา เหลืองวิลาศ. 2547. **สร้างสื่อการเรียนการสอน CAI ด้วย Macromedia Authorware 7**. กรุงเทพฯ : สวัสดี ไอที.

ยืน ภู่วรวรรณ. 2531. "อนาคตของการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอน." **ไมโครคอมพิวเตอร์**. 3(36) : 13-20.

ยืน ภู่วรวรรณ และประภาส วงศ์สถิตวัฒนา. 2529. "การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยในการเรียนการสอนฟิสิกส์." **วิทยาศาสตร์**. 4(45) : 567-569.

วรรณวลัย วิจันทร์โต. 2545. "การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการสอนทบทวนวิชาฟิสิกส์ เรื่องการหักเหของแสง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิสันต์ อาชาเดโชพล และคณะ. ม.ป.ป. **สายอากาศและเทคนิคการติดตั้ง**. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

วารินทร์ รัศมีพรหม. 2531. **สื่อการสอนเทคโนโลยีทางการศึกษาและการสอนร่วมสมัย**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

ศักดิ์สิทธิ์ วงศ์ตรง. 2545. **อินไซท์ Macromedia Authorware 6**. กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2538. **การประเมินผลการเรียนการสอน**. กรุงเทพฯ : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สุนทร สร้อยเรืองศรี. 2546. "การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการสอนทบทวนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง "ความน่าจะเป็น" สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์) บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุนันท์ สังข์อ่อง. 2536. "เอกสารชุดฝึกอบรมหลักสูตร นวัตกรรมและสื่อการสอนวิทยาศาสตร์." นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. เอกสารอัดสำเนา.

สุปราณี ดอนเตาเหล็ก. 2549. "การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อทบทวน วิชาระบบฐานข้อมูล เรื่องแบบจำลองของฐานข้อมูล สำหรับนักศึกษาปริญญาโท คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์) บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อารีย์ มีมุ่งกิจ. 2541. "การพัฒนาบทเรียนบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนซ่อมเสริมวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องเศษส่วน สำหรับนักเรียนชั้นประถมที่ 6." วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต (วิจัยและประเมินผลการศึกษา) บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนันตพัฒน์ อนันตชัย. 2546. "การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อสอนเสริมก่อนปฏิบัติการวิชาปฏิบัติอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร 1 เรื่อง ลักษณะสมบัติอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์) บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อัจฉราพร พงษาปาน. 2545. "การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนซ่อมเสริม เรื่องฟังก์ชั่นตรีโกณมิติ." วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษาทางการอาชีวะและเทคนิคศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เนื้อหาวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

หน่วยการเรียนที่ 1
เรื่อง
ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศและคลื่นไมโครเวฟ

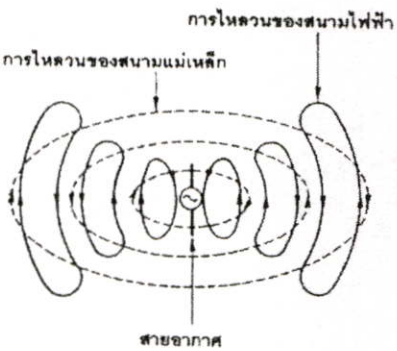
1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ

ในระบบสื่อสารวิทยุหรือระบบกระจายเสียง และสัญญาณโทรทัศน์ มีหลักการคล้ายกันอยู่ คือ การมอดูเลตคลื่นพาหะเข้ากับสัญญาณเดิม เพื่อให้เกิดรูปแบบสัญญาณที่เหมาะในการส่งไปในชั้นบรรยากาศได้ (ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) โดยใช้สายอากาศส่ง และในการรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเราใช้สายอากาศรับ

ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับในการใช้งานจริงๆ คือ ค่ากำลังคลื่นที่เกี่ยวข้องสายอากาศนั้นต่างกันมาก นอกจากนี้สายอากาศส่งต้องมีคุณสมบัติสำคัญคือ แมชต์กับสายนำสัญญาณเพื่อให้กำลังงานมากที่สุดผ่านเข้าสายอากาศ ส่วนในสายอากาศรับต้องมีค่าอัตราขยายให้มากที่สุด (รวมทั้งค่าไดเร็คทิวิตี้) และมีไซด์โลบน้อยที่สุดด้วย

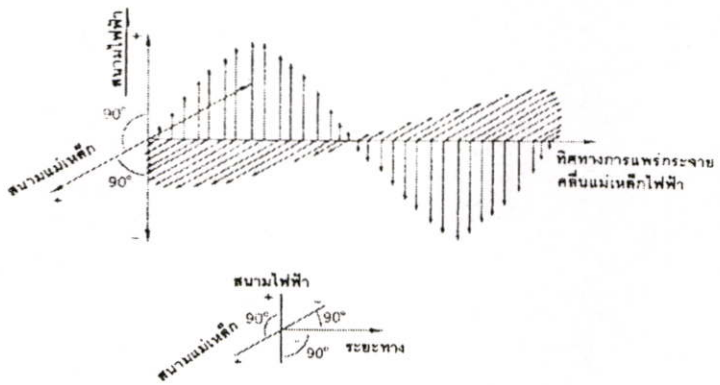
1.1 การแพร่กระจายสัญญาณจากสายอากาศ

เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำ จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำที่มีทิศทางตามทิศทางของกระแส ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของกระแสเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนตามไปด้วย ส่วนทิศทางของสนามไฟฟ้า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ทำให้พิจารณาได้ว่า ถ้าป้อนกระแสไฟสลับ (A.C.) ผ่านลวดตัวนำจะทำให้เกิดทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กขึ้น กำหนดให้ใช้กระแสรูปคลื่นไซน์ผ่านเข้าลวดตัวนำ พบว่าทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามคลื่นรูปไซน์ด้วย โดยทั้งสองสนามแพร่ออกจากลวดตัวนำด้วยความเร็วแสง (ประมาณ 3×10^{8} เมตร/วินาที) ดังภาพที่ ก.1



ภาพที่ ก.1 การแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศ

พลังงานที่แพร่กระจายไปมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มในค่าความถี่ เราเรียกพลังงานส่วนนี้ว่า สนามพลังงานที่แพร่กระจาย ซึ่งอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อวิเคราะห์แล้วพบว่า สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าทำมุมฉากซึ่งกันและกัน รวมทั้งยังทำมุมฉากกับทิศทางการแพร่กระจายดังภาพที่ ก.2



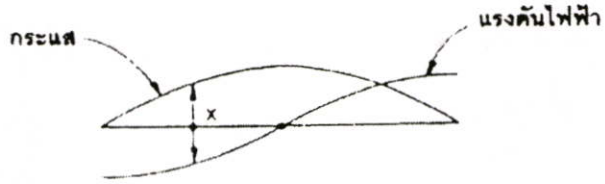
ภาพที่ ก.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ระนาบที่มีสนามไฟฟ้าและมีทิศทางตามการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเรียกว่า ระนาบโพลาไรเซชั่นของคลื่น ตัวอย่างเช่น ถ้าสนามไฟฟ้าอยู่ในระนาบแนวดิ่ง (หรือตั้งฉาก) สนามแม่เหล็กอยู่ในระนาบแนวราบ กล่าวได้ว่าคลื่นมีโพลาไรเซชั่นในแนวดิ่ง

1.2 การแพร่กระจายของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในลวดตัวนำ

เมื่อความยาวของลวดตัวนำในสายอากาศมีค่าอนันต์ พบว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้า และกระแสมีค่าน้อยลงเรื่อยๆ ตามระยะที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการจางหายของพลังงานจากการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รวมทั้งเปลี่ยนเป็นความร้อนภายในลวดตัวนำ แต่ถ้าลวดตัวนำมีขนาดสั้น พบว่าคลื่นมีการสะท้อนกลับที่ปลายแต่ละด้าน เมื่อมีคลื่นวิทยุในสายอากาศแบบ $1/2\lambda$ (ครึ่งความยาวคลื่น) และแหล่งจ่ายพลังงานคลื่นป้อนในแบบคลื่นรูปไซน์ ทำให้วิเคราะห์ได้ว่า เมื่อคลื่นลูกแรกเดินทางมาถึงปลายด้านหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ ทำให้ทิศทางการไหลของกระแสเปลี่ยนไปในทิศทางตรงกันข้าม ขณะเดียวกับที่คลื่นลูกถัดมาเดินทางมาถึงที่ปลายลวดตัวนำพอดี ดังนั้นพบว่ากระแสของคลื่นทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกันที่จุดปลายของลวดตัวนำ ดังนั้นผลลัพธ์ของกระแสที่จุดปลายลวดตัวนำเท่ากับศูนย์ ถ้าพิจารณาจุดปลายลวดตัวนำ พบว่าขนาดของคลื่นที่เดินทางไปกับสะท้อนกลับมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการเสริมและหักล้างของกระแสขึ้น

สรุปได้ว่า ในสายอากาศแบบ $1/2\lambda$ ขนาดของกระแส เท่ากับศูนย์ที่จุดปลายของลวดตัวนำ และมีค่ามากที่สุดที่จุดตรงกลางของลวดตัวนำ พิจารณาได้จากภาพที่ ก.3

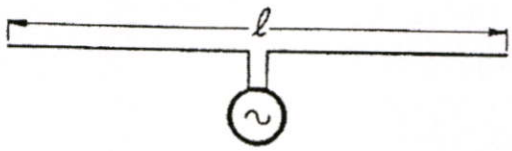


ภาพที่ ก.3 การแพร่กระจายของกระแส และแรงดันไฟฟ้าบนลวดตัวนำขนาด $1/2\lambda$

จากภาพเส้นโค้งที่ระบุเป็น กระแส เราเรียกว่าคลื่นนิ่งหรือสแตนดิ้งเวฟ (standing wave) สรุปได้ว่า แรงดันไฟฟ้าจะมีค่ามากที่สุดในจุดที่กระแสมีค่าน้อยที่สุด และขั้วของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าจะเปลี่ยนทุกๆ ความยาว $1/2\lambda$ ส่วนจุดที่คลื่นนิ่งมีค่ามากที่สุด เรียกว่า ลูป (Loop) หรือแอนตี้โนด (antinode) และจุดที่มีค่าน้อยที่สุดเรียกว่า โนด (node)

1.3 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

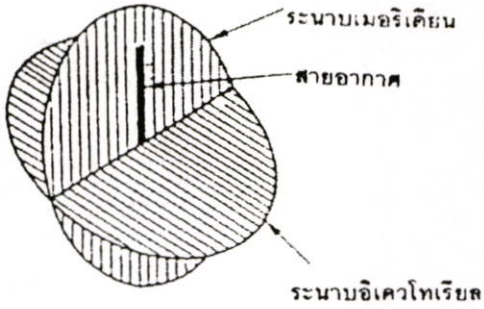
ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายผ่านขั้วต่อ หารด้วยปริมาณกระแสที่ไหลผ่านขั้วเช่นกัน โดยถ้ากระแสและแรงดันไฟฟ้ามีเฟสเหมือนกัน ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงกับค่าความต้านทาน จัดเป็นกรณีที่สายอากาศรีโซแนนซ์ แต่กรณีที่กระแสและแรงดันไฟฟ้ามีเฟสต่างกัน ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์มีค่ารีแอ็กแตนซ์เพิ่มขึ้นมาจากค่าความต้านทานด้วย ทำให้สายอากาศไม่รีโซแนนซ์ สมมติให้ต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า เข้าที่ตัวนำบริเวณจุดกึ่งกลางของสายอากาศดังภาพที่ ก.4



ภาพที่ ก.4 สายอากาศที่มีจุดฟีด (feed point) ตรงกลาง

1.4 รูปแบบการแพร่คลื่น, อัตราขยาย และไดเร็คติวิตี้

สายอากาศทุกแบบจะมีคุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงานไปได้มากในบางทิศทาง (เมื่อเทียบกับทิศทางรอบสายอากาศ) คุณสมบัติเช่นนี้เรียกว่า ไดเร็คติวิตี้ (Directivity) จัดว่าสำคัญมากสำหรับการส่งสัญญาณไปยังทิศทางที่ต้องการให้มีขนาดมากกว่าทิศทางที่ไม่ต้องการไดเร็คติวิตี้ของสายอากาศ แสดงโดยใช้รูปแบบการแพร่คลื่น (Radiation Pattern) รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศเป็นรูปกราฟที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศตามระยะทางที่ห่างออกไปรอบตัว และเนื่องจากมีการแพร่คลื่นไปทุกทิศทางรอบตัวจึงต้องกำหนดระนาบในการพิจารณารูปแบบคลื่นขึ้น โดยมี 2 ระนาบ ดังแสดงในภาพที่ ก.5

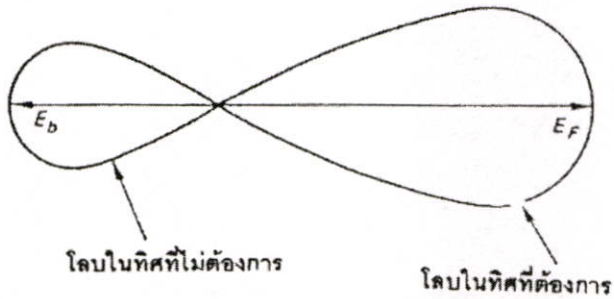


ภาพที่ ก.5 ระนาบเมอริเดียนและอิเควโทเรียลของสายอากาศ

จากภาพที่ ก.5 ระนาบเมอริเดียน (meridian) คือ ระนาบตามแนวแกนของสายอากาศ และระนาบอิเครโทเรียน (equatorial) คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวสายอากาศ รูปแบบการแพร่คลื่นสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพของสายอากาศได้ดี โดยต้องเป็นในลักษณะที่ติดตั้งห่างจากวัสดุต่างๆ เช่น ตึก, อาคาร หรือพื้นดิน ที่อาจทำให้เกิดคลื่นสะท้อนขึ้นและมีผลต่อรูปแบบได้ แต่ในการใช้งานจริง สายอากาศถูกติดตั้งไว้ใกล้กับวัสดุต่างๆ ทำให้รูปแบบการแพร่คลื่นไม่อาจระบุถึงประสิทธิภาพแท้จริงของสายอากาศได้ 100% สายอากาศถูกใช้ในการรับคลื่น และสามารถใช้รูปแบบการแพร่คลื่นระบุถึงความสามารถในการรับของสายอากาศได้ โดยเฉพาะคุณสมบัติไดเร็คติวิตี้ที่ทำให้รู้ว่าควรหันเสาหรือติดตั้งในทิศทางใดจึงได้สัญญาณที่ต้องการ

1. อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบค (Front-to-Back Radio)

รูปแบบการแพร่คลื่นส่วนใหญ่แล้วจะมีไดเร็คติวิตี้ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ดังนั้นอัตราส่วนฟรอนด์ทูแบคของสายอากาศ คือ อัตราส่วนของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศโดยคิดจากทิศที่ต้องการกับทิศที่ไม่ต้องการ (ตรงข้ามกัน) แสดงดังภาพที่ ก.6



ภาพที่ ก.6 อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบคของสายอากาศ

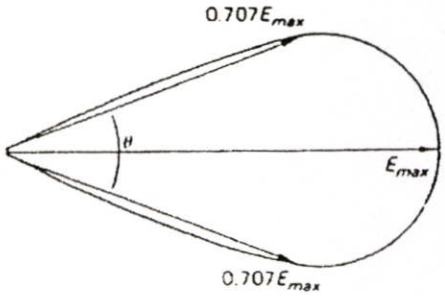
2. บีมวิดท์ (Beamwidth)

จัดเป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น เพื่ออธิบายถึงไดเร็คติวิตี้ของสายอากาศได้ดี โดยกำหนดให้มีหน่วยเป็นมุมที่คิดจากกรณีดังนี้

- ที่จุดซึ่งค่าพลังงานในการแพร่คลื่นลดลงเหลือครึ่งหนึ่งจากค่าสูงสุด

- หรือจุดที่ความเข้มสนามเหลือ $1/\sqrt{2}$ หรือ 0.707 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด
- หรือจุด 3dB บนรูปแบบการแพร่คลื่น

แสดงค่าบีมวิดท์ (θ) จากภาพที่ ก.7



ภาพที่ ก.7 บีมวิดท์ของสายอากาศ

3. อัตราขยายของสายอากาศ

ค่านี้ไม่ใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานเอาต์พุตต่อด้านอินพุต แต่เป็นอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้วัดคุณสมบัติไดเร็คติวิตี้ และสามารถระบุถึงปริมาณของการแพร่คลื่นมีมากในทิศทางใด การคิดค่าอัตราขยายของสายอากาศจะวัดเทียบกับสายอากาศอ้างอิง โดยอัตราขยายของสายอากาศส่ง คือ กำลังสองของค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มสนามตามทิศที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด เทียบกับค่าความเข้มสนามที่จุดเดียวกันของสายอากาศอ้างอิง หรืออาจแสดงในรูปอัตราส่วนของค่าพลังงานที่ต้องใช้ส่งของสายอากาศทั้งสอง เพื่อให้เกิดความเข้มสนามขนาดเท่ากัน (ณ จุดเดียวกัน) ในทิศทางที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด และอัตราขยายของสายอากาศรับ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มสนามของสายอากาศทดสอบกับสายอากาศอ้างอิง ณ จุดตั้งสายอากาศที่เดียวกัน การใช้สายอากาศอ้างอิงมักเป็นไดโพลขนาด $\lambda/2$ หรือแบบไอโซทรอปิก (isotropic) ซึ่งมีลักษณะพิเศษคือ กระจายคลื่นได้รอบตัวทุกทิศในปริมาณเท่ากัน

4. กำลังส่งประสิทธิผล (Effective Radiated Power)

ในทางทฤษฎีสายอากาศไอโซทรอปิก มีคุณสมบัติแพร่กระจายพลังงานได้ทุกทิศรอบตัว และมีขนาดความเข้มสนามเท่ากันหมดตามระยะทางรอบสายอากาศ ส่วนสายอากาศที่ใช้งานจริงทุกชนิดจะไม่มีคุณสมบัติเช่นนี้อยู่ โดยมีการอัดคลื่นวิทยุไปในทิศใดทิศหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นสรุปได้ว่า สายอากาศที่ใช้งานจริงต้องการกำลังที่ป้อนให้สายอากาศน้อยกว่าแบบไอโซทรอปิก ในการสร้างความเข้มสนามค่าเท่ากัน ณ จุดเดียวกัน ตามทิศทางที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด

กำลังส่งประสิทธิภาพหรือ ERP ของสายอากาศ หมายถึง ค่าพลังงานส่วนที่ไอโซทรอปิกใช้สร้างความเข้มสนามขนาดเท่ากับสายอากาศใช้งานจริง ณ จุดเดียวกัน หรืออีกนัยหนึ่งคือ ถ้าใช้สายอากาศที่มีอัตราขยายกำลังของคลื่นวิทยุที่ออกอากาศจะถูกเพิ่มให้มากกว่ากำลังส่งของเครื่องส่ง

ในการคำนวณ ERP ของสายอากาศคิดจากกำลังส่งทั้งหมดที่ถูกส่งให้สายอากาศ (P_t) คูณกับอัตราขยายของสายอากาศ (G) ได้สูตรว่า

$$ERP = P_t G \qquad (ก.1)$$

5. แถบความถี่ (Bandwidth)

จัดเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศทำงานได้น่าพอใจ ช่วงความถี่ที่ค่าพลังงานของสายอากาศที่แพร่ออกอากาศในทิศทางโลบหลักมีค่าไม่ต่ำกว่า 3 dB

6. ความต้านทานการแพร่คลื่นและประสิทธิภาพของสายอากาศ

กำหนดค่าพลังงานที่แพร่จากสายอากาศมีสูตร

$$P = I^2 R_r \qquad (ก.2)$$

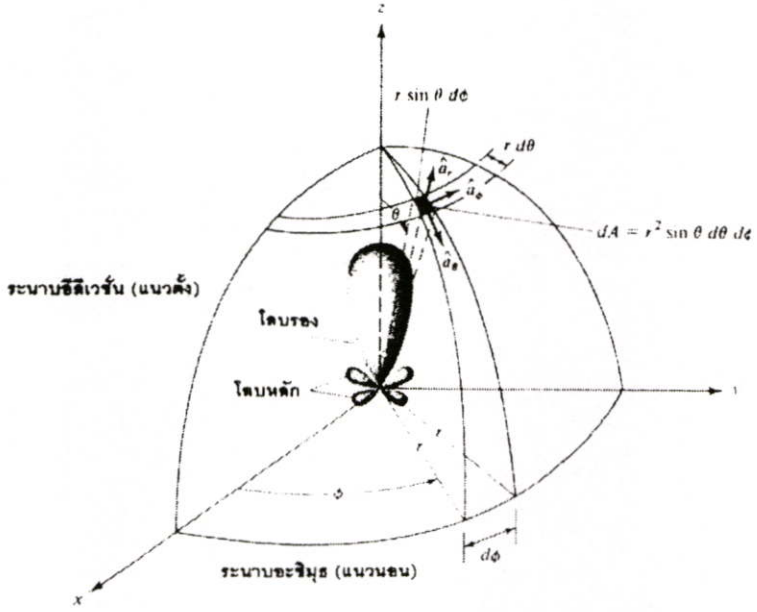
R_r คือ ความต้านทานการแพร่คลื่น และถ้าคิดความต้านทาน เนื่องจากการสูญเสียความร้อนด้วยให้แทนอักษร R_l

ดังนั้นประสิทธิภาพของสายอากาศ (เขียนแทนด้วย η) คือ อัตราส่วนของพลังงานที่แพร่ออกอากาศต่อส่วนที่ป้อนให้สายอากาศ มีสูตรคำนวณดังนี้ (จะแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์)

$$\eta = \frac{I^2 R_r}{I^2 R_l} = \frac{R_r}{R_r + R_l} \times 100\% \qquad (ก.3)$$

1.5 รูปแบบการแพร่คลื่น

เป็นการเขียนคุณสมบัติต่างๆ ในการแพร่คลื่นลงเป็นภาพขึ้นมา ซึ่งสามารถแสดงถึงความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น, ความเข้มสนาม, เฟส หรือโพลาไรเซชั่นได้ คุณสมบัติเหล่านี้มีลักษณะการกระจายค่าแบบ 3 มิติ จึงใช้แกนโคโอดิเนตแบบ 3 มิติ (X, Y, Z) แทนได้ดังภาพที่ ก.8



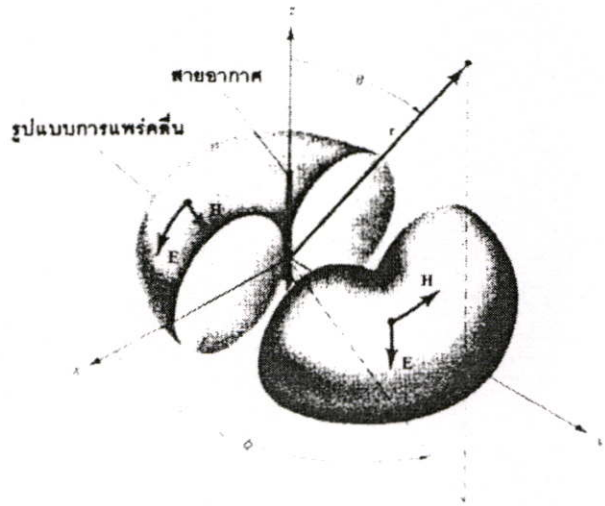
ภาพที่ ก.8 แกนโคโอดิเนตในการวิเคราะห์สายอากาศ

1.6 รูปแบบไอโซทรอปิก, ไดเร็คชั่นแนล และออมนิไดเร็คชั่นแนล

ไอโซทรอปิก หมายถึง สายอากาศในทางทฤษฎีที่สามารถแพร่คลื่นในทุกทิศทางด้วยความเข้มสนามเท่ากัน

ไดเร็คชั่นแนล หมายถึง คุณสมบัติในการแพร่คลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งได้ดีกว่าทิศทางอื่น ตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเร็คชั่นแนลดังภาพที่ ก.9

จากภาพวิเคราะห์ได้ว่า ไม่มีการไดเร็คชั่นแนลในระนาบแนวนอน และมีไดเร็คชั่นแนลในระนาบแนวตั้ง เรียกรูปแบบการแพร่คลื่นลักษณะนี้ว่า ออมนิไดเร็คชั่นแนล (omnidirectional) ซึ่งหมายถึง “รอบตัว” ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ดีตามแนวราบ



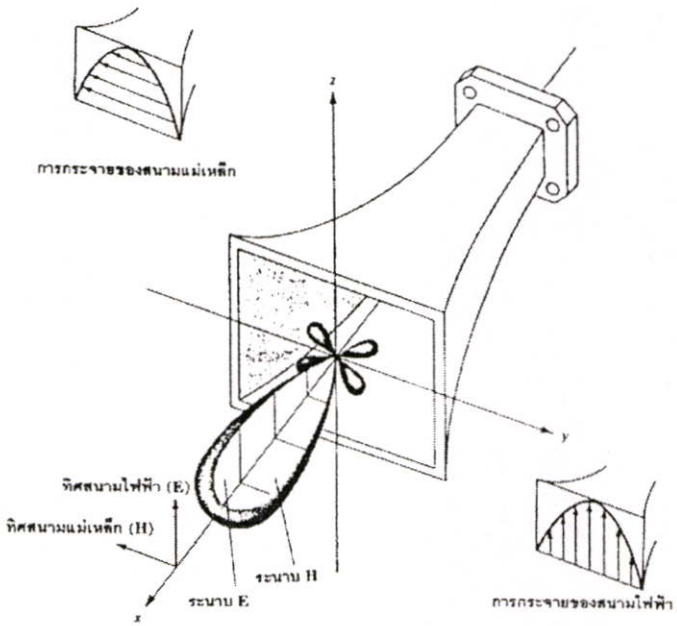
ภาพที่ ก.9 ตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเร็คชั่นแนล

1.7 รูปแบบ E และ H

ประสิทธิภาพของสายอากาศในรูปแบบระนาบ E และ H โดยถ้าสายอากาศมีโพลาไรเซชั่นแบบลิเนียร์แล้ว อธิบายความหมายได้ดังนี้

- รูปแบบระนาบ E คือ ระนาบที่มีเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้า และทิศทางของการแพร่คลื่นมากที่สุด

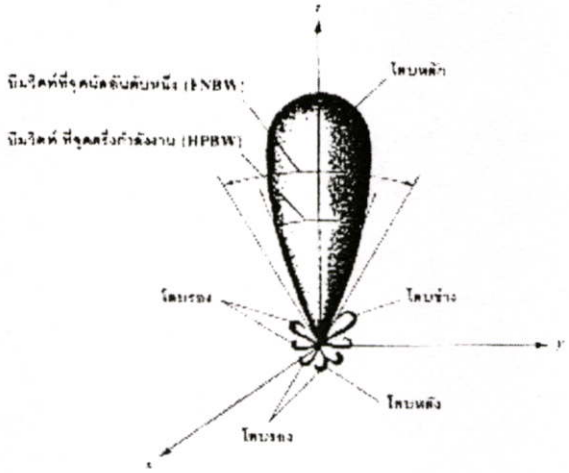
- รูปแบบระนาบ H คือ ระนาบที่มีเวกเตอร์ของสนามแม่เหล็ก และทิศทางของการแพร่คลื่นมากที่สุด ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ ก.10



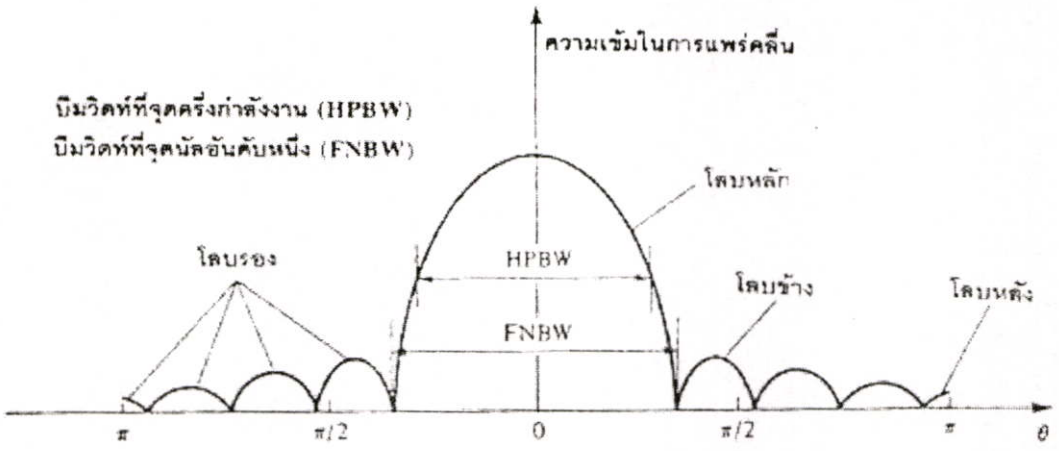
ภาพที่ ก.10 รูปแบบระนาบ E และ H ของสายอากาศแบบ pyramidal horn

1.8 ส่วนต่างๆ ในรูปแบบการแพร่คลื่น

แต่ละส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่นเรียกว่า โลบ (Lobe) ซึ่งยังแบ่งย่อยเป็นโลบหลัก, โลบรอง, โลบข้าง และโลบหลังอีกด้วยพิจารณาในภาพที่ ก.11



ภาพที่ ก.11(ก) โลบและบีมวิดท์ (แบบ 3 มิติ)



ภาพที่ ก.11(ข) ระดับกำลังคลื่นและโลบต่างๆ (แบบ 2 มิติ)

จากภาพ โลบ คือส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่นที่มีความเข้มของกำลังคลื่นสูง (รอบๆ เป็นความเข้มต่ำ)

ในภาพที่ ก.11 (ก) เป็นภาพที่อยู่บนแกนโพลาร์ 3 มิติ ที่มีโลบอยู่หลายขนาดส่วนภาพที่ ก.11 (ข) เป็นภาพที่อยู่ในแกน 2 มิติ

โลบหลัก (major lobe) หรืออาจเรียกว่าบีมหลัก หมายถึง โลบที่มีการแพร่คลื่นไปในทิศทางที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด สำหรับสายอากาศบางแบบบีมลำคลื่นมากกว่าหนึ่ง จะมีโลบหลักมากกว่าหนึ่งโลบได้

โลบรอง (minor lobe) คือ โลบอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลบหลัก ในภาพที่ ก.11 (ก) และ (ข) ทุกโลบยกเว้นโลบหลัก สามารถระบุเป็นโลบรองได้

โลบข้าง (side lobe) คือ โลบที่อยู่ในทิศทางอื่น นอกเหนือจากทิศทางของโลบหลัก (โดยทั่วไปแล้วโลบข้างจะอยู่ติดกับโลบหลัก และมีทิศรอบบีมหลัก)

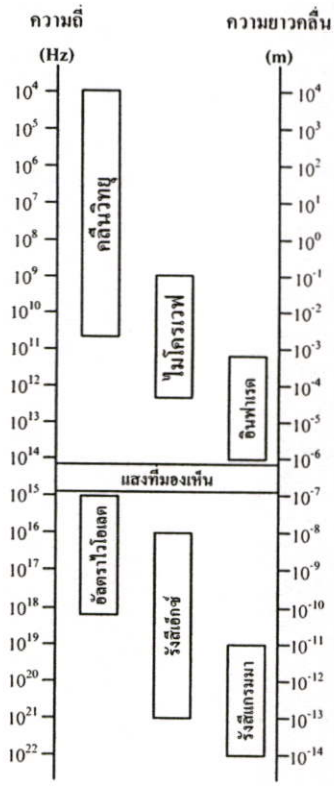
โลบหลัง (back lobe) คือโลบรองที่มีทิศตรงข้ามกับโลบหลัก (ต่างกัน 180°) พบว่าโลบรองจะเกิดในทิศที่ไม่ต้องการเสมอ จึงควรลดขนาดให้น้อยที่สุด สำหรับโลบข้างจัดเป็นโลบรองที่มีขนาดมากที่สุด (ต้องลดขนาดโลบลง)

โดยทั่วไปถ้าระดับของโลบข้างมีค่าประมาณ -20 dB หรือน้อยกว่า จะไม่มีผลต่อการใช้งานมากนัก จุดที่รับสัญญาณได้เท่ากับศูนย์ (ถึงแม้จะรีโซแนนซ์กับความถี่ในการส่ง) เรียกว่า นัล (null)

2. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นไมโครเวฟ

2.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อจัดเรียงลำดับตามความยาวคลื่นและความถี่ของคลื่น จะได้สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังภาพที่ ก.12



ภาพที่ ก.12 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางไปในอากาศหรือสุญญากาศ ไม่สามารถสัมผัสได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้ง 5 ปัจจุบันได้มีการนำเอาคลื่นวิทยุมาใช้ประโยชน์ในการสื่อสารโทรคมนาคมกันอย่างกว้างขวางและแพร่หลาย เป็นระบบส่งสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับโดยใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวพาห์ ข้อมูลหรือข่าวสารที่จะส่งโดยใช้คลื่นวิทยุนั้นจะมีสายอากาศทำหน้าที่แปลงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะแปรเป็นรูปแบบที่ต้องการ เช่น เสียงหรือภาพอีกต่อหนึ่ง

คลื่นวิทยุที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ในการสื่อสารโทรคมนาคมนั้น แต่เดิมอาศัยการทำงานของหลอดไฟฟ้าที่มีหลอดสูญญากาศหรือที่เรียกกันว่าหลอดวิทยุเป็นองค์ประกอบ แต่เมื่อวิทยาการเจริญก้าวหน้าขึ้นจึงได้มีการประดิษฐ์อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เช่น ทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าและมีประสิทธิภาพดีกว่าหลอดสุญญากาศขึ้นใช้แทน

คลื่นวิทยุมีความถี่อยู่ระหว่าง 3 kHz ถึง 300 GHz ซึ่งสามารถแพร่กระจายได้ในอากาศหรือสุญญากาศด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง 2.998×10^{8} เมตรต่อวินาที หรือประมาณ 3×10^{8} เมตรต่อวินาที การแบ่งย่านความถี่ของคลื่นวิทยุตามกฎของสหสัมพันธ์โทรคมนาคมนานาชาติ (International Telecommunication Union : ITU) แสดงดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 การแบ่งย่านความถี่ของคลื่นวิทยุ

ชื่อเรียก	ชื่อย่อ	ย่านความถี่	ความยาวคลื่น
Very low frequency	(VLF)	3-30 kHz	100 km – 10 km
Low frequency	(LF)	30-300 kHz	10 km – 1 km
Medium frequency	(MF)	300-3,000 kHz	1 km – 100 m
High frequency	(HF)	3-30 MHz	100 m –10 m
Very-high frequency	(VHF)	30-300 MHz	10 m – 1 m
Ultra-high frequency	(UHF)	300-3,000 MHz	1 m – 10 cm
Super-high frequency	(SHF)	3-30 GHZ	10 cm – 1 cm
Extremely-high frequency	(EHF)	30-300 GHz	1 cm – 1 mm

ไมโครเวฟ (Microwave) เป็นชื่อเรียกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในช่วง 1 GHz ถึง 3 THz แต่ที่ใช้ในการสื่อสารโทรคมนาคมนั้นมีความถี่สูงสุดเพียง 40 GHz เท่านั้น ซึ่งจัดว่าเป็นความถี่ที่สูงมาก สามารถควบคุมให้เป็นลำเล็กๆ ได้ มีทิศทางตรง ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศได้ดี และถูกดูดกลืนน้อย เมื่อกระทบวัตถุคลื่นที่สะท้อนกลับมาจะมีความเข้มสูง เทคโนโลยีด้านไมโครเวฟได้เข้ามามีบทบาทกับมนุษย์ตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยเฉพาะมีประโยชน์มากในการสื่อสารโทรคมนาคมปัจจุบัน การแบ่งย่านความถี่ไมโครเวฟที่ใช้เป็นมาตรฐานสากลอยู่ในขณะนี้แสดงได้ดังตารางที่ ก.2 ซึ่งมีชื่อเรียกเก่าและใหม่กำกับอยู่ ถึงแม้จะมีการกำหนดชื่อเรียกใหม่ให้เป็นเป็นระบบดีขึ้น แต่ด้วยความคุ้นเคยเดิมก็ยังใช้ชื่อเก่ากันเป็นปกติเช่นกัน

ตารางที่ ก.2 การแบ่งช่วงความถี่ในย่านไมโครเวฟ

ช่วงความถี่	ชื่อเรียกเก่า	ชื่อเรียกใหม่
1-2 GHz	L	D
2-3 GHz	S	E
3-4 GHz	S	F
4-6 GHz	C	G
6-8 GHz	C	H
8-10 GHz	X	I
10-12.4 GHz	X	J
12.4-18 GHz	Ku	J
18-20 GHz	K	J
20-26.5 GHz	K	K
26.5-40 GHz	Ka	K

2.2 ลักษณะเฉพาะและประโยชน์ของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟนอกจากจะมีคุณสมบัติที่เคลื่อนที่ได้เร็วเพราะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วยังมีคุณสมบัติที่เด่นๆ อีกหลายประการ จึงทำให้ไมโครเวฟถูกนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ มากมายหลายด้านด้วยกัน คุณสมบัติเหล่านี้ได้แก่

1. การมีความถี่สูงกว่า 1GHz ซึ่งหมายถึงความยาวคลื่นจะต่ำกว่า 30 cm ลงมา

2. ในย่านไมโครเวฟสัญญาณรบกวนที่มนุษย์สร้างขึ้น (man-made noise) มีระดับต่ำเมื่อเทียบกับย่านความถี่ต่ำ โครงสร้างโมเลกุลของวัสดุหลายๆ ชนิดสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี

3. คุณสมบัติเด่นประการที่ 1 และประการที่ 2 นั้นนับว่ามีประโยชน์มากสำหรับการใช้งานทางด้านไฟฟ้าสื่อสารและระบบเรดาร์ (Radar) ในระบบเรดาร์นั้นเพื่อให้การตรวจจับเป้าหมายมีความละเอียดถูกต้องสูง เมนบีม (main beam) ของสายอากาศจำเป็นจะต้องมีบีมวิดท์ (beamwidth) ที่แคบมากๆ และเนื่องจากความกว้างของบีมวิดท์จะขึ้นอยู่กับขนาดของสายอากาศเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น ด้านไฟฟ้าสื่อสารนั้นการที่ความถี่คลื่นพาร์สูงขึ้นจะทำให้มีแบนด์วิดท์สำหรับการส่งข่าวสารกว้างขึ้น

สำหรับคุณสมบัติประการที่ 3 คือการที่โมเลกุลของสารต่างๆ สามารถดูดกลืนพลังงานคลื่นไมโครเวฟนั้นจะใช้ประโยชน์ได้หลายด้านด้วยกัน การใช้ประโยชน์ที่ใกล้ชิดกับชีวิตในสังคมปัจจุบันมากที่สุดก็คือการทำเป็นเตาไมโครเวฟที่ใช้ในการอุ่นหรือปรุงอาหาร เตาไมโครเวฟจะอาศัยการกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำในอาหารเกิดการสั่นสะเทือนซึ่งจะสร้างความร้อนขึ้นทำให้อาหารสุก

ได้ ข้อดีของการให้ความร้อนแบบนี้คือความร้อนจะเกิดขึ้นภายในเนื้อในของอาหารซึ่งจะแตกต่างจากการให้ความร้อนโดยการนำความร้อนหรือการพาความร้อนทั่วไป ลักษณะพิเศษนี้ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ในทางการแพทย์ได้มากมาย นอกจากการใช้งานในลักษณะที่ทำให้เกิดความร้อนแล้วยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างของแร่ธาตุและสารประกอบต่างๆ โดยอาศัยหลักการที่สารต่างๆ ดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่างกันในลักษณะเดียวกันก็สามารถใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างของสารกึ่งตัวนำและแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการทำชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ต่อไปได้

นอกจากการใช้งานที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในปัจจุบันนี้ได้เกิดความพยายามที่จะส่งพลังงานไฟฟ้าจากสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียมที่ลอยอยู่ในอวกาศเหนือโลกโดยใช้ไมโครเวฟ นั่นหมายถึงสถานีบนภาคพื้นดินจะต้องใช้จานสะท้อนขนาดใหญ่เพื่อบีบลำบีมของคลื่นไมโครเวฟให้พุ่งไปยังเป้าหมายที่ต้องการ

ตารางที่ ก.3 แสดงตัวเลขของความหนาแน่นกำลังงานของคลื่นวิทยุความถี่ต่างๆ ที่จะต้องควบคุมไว้เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ จากตารางจะเห็นได้ว่าในช่วงความถี่ 30-1,500 MHz ความหนาแน่นกำลังงานจะต่ำ เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่เป็นอันตรายต่อเยื่อและอวัยวะของร่างกายได้ง่าย ดังนั้นผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับคลื่นวิทยุจึงควรระมัดระวังในเรื่องความปลอดภัยโดยหลีกเลี่ยงไม่อยู่ในบริเวณที่มีกำลังคลื่นสูง หรือหลีกเลี่ยงอันตรายจากคลื่นโดยทำงานอยู่ในห้องปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic shielded room)

ตารางที่ ก.3 ความหนาแน่นกำลังงานของคลื่นวิทยุตามมาตรฐานความปลอดภัยของ ANSI (American National Standard Institute)

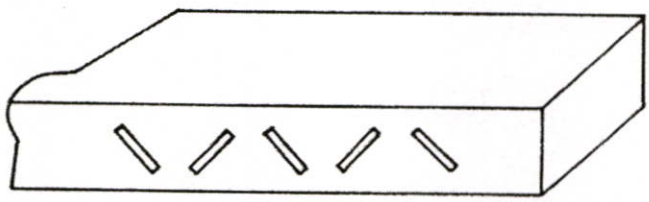
ความถี่ (MHz)	ความหนาแน่นกำลัง (mW/cm^3)
0.3-3	100
3-30	$900/f^2$
30-300	1.0
300-1,500	f/300
1,500-100,000	5.0

หมายเหตุ : f คือความถี่ที่มีหน่วยเป็น MHz

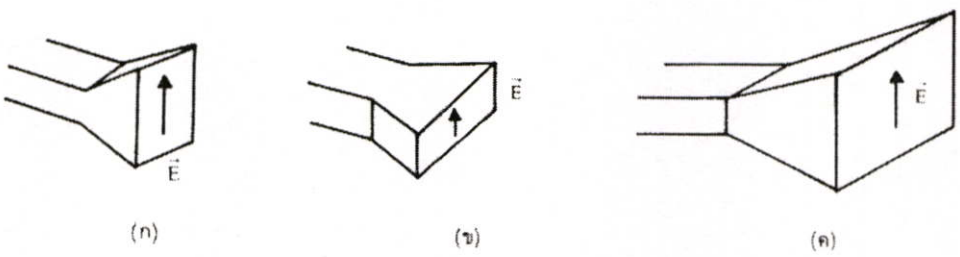
หน่วยการเรียนที่ 2
เรื่อง
โครงสร้างของสายอากาศแบบต่างๆ ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ

เนื่องจากการส่งกำลังคลื่นจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศจะใช้ท่อนำคลื่นเป็นหลัก ดังนั้น สายอากาศที่สร้างขึ้นจึงมักมีส่วนเกี่ยวข้องกับท่อนำคลื่นดังจะเห็นได้จากรูปต่างๆ ที่แสดงดังภาพที่ ก.13 และภาพที่ ก.14 สายอากาศแบบช่องเปิดที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟนี้อาจแบ่งกว้างๆ ออกเป็น 3 แบบด้วยกัน คือ แบบสล็อต แบบฮอร์น และแบบจานสะท้อน

ภาพที่ ก.13 แสดงโครงสร้างของสายอากาศแบบสล็อต (slot antenna) ซึ่งเป็นการตัดช่องเปิดแคบๆ บนผนังของท่อนำคลื่น การตัดช่องเปิดในลักษณะตามรูปจะทำให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแผ่กระจายออกสู่บรรยากาศภายนอกได้ แต่เนื่องจากการเจาะช่องเปิดเพียงช่องเดียวจะมีกำลังคลื่นส่งผ่านออกไปได้น้อยและอัตราขยายของสายอากาศก็มีค่าต่ำ ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงมักเจาะช่องสล็อตหลายๆ ช่อง และอาศัยหลักการของสายอากาศอะเรย์ในการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศนั้น



ภาพที่ ก.13 สายอากาศแบบสล็อต



ภาพที่ ก.14 สายอากาศแบบฮอร์น

ภาพที่ ก.14 แสดงสายอากาศแบบฮอร์นซึ่งอาศัยการลู่ปลายของท่อนำคลื่นในการทำให้มีพื้นที่ในการกระจายคลื่นมากขึ้นเพื่อให้มีอัตราขยายสูงขึ้น การขยายขนาดของปากฮอร์นจะทำได้ 3 แบบตามภาพ คือ การขยายของระนาบของสนามไฟฟ้าตามภาพ (ก) การขยายในระนาบของสนามแม่เหล็กตามภาพ (ข) และการขยายออกไปทั้งในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก แบบ

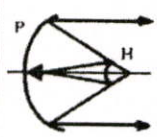
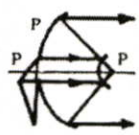
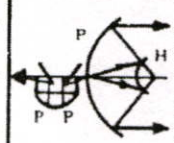
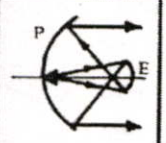
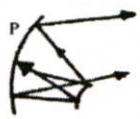
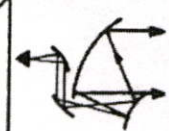
ที่สามนี้มีโครงสร้างเหมือนรูปพีระมิด จึงถูกเรียกว่าฮอร์นรูปพีระมิด (pyramidal horn) สำหรับฮอร์น 2 แบบแรกนั้นเรียกว่า ฮอร์นรูปพัด (sectoral horn)

สายอากาศแบบที่ใช้จานสะท้อนนั้นมีหลายแบบด้วยกัน ตารางที่ ก.4 และตารางที่ ก.5 แสดงโครงสร้างของสายอากาศที่ใช้จานสะท้อนอันเดียว และจานสะท้อนสองอันตามลำดับ ในแต่ละแบบก็จะแบ่งออกเป็นโครงสร้างแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

ตารางที่ ก.4 สายอากาศไมโครเวฟแบบจานสะท้อนอันเดียว

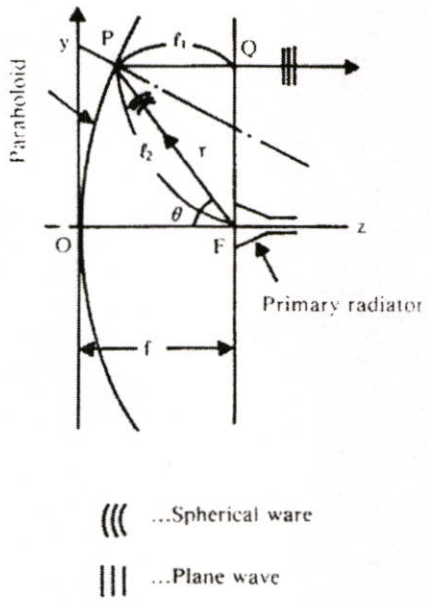
Type		Standard type	Low-sidelobe type	Shaped (multi-) beam type	Beam Scanning type
Symmetrical type	Shape				
	Name	Paraboloid	Microwave absorber attached	Multi-beam	Spherical reflector
Asymmetrical type	Shape				
	Name	Offset paraboloid	Horn-reflector	Offset multi-beam	Dually-curved

ตารางที่ ก.5 สายอากาศไมโครเวฟแบบจานสะท้อนสองอัน

		Cassegrain type			Gregorian type
		Standard type	Shaped reflector type		Standard type
			Near-field type	Guided-beam type	
Symmetrical type	Shape				
	Name	Standard Cassegrain	Modified Cassegrain (horn-reflector fed	2-reflector type 4-reflector type	Standard Gregorian
Asymmetrical type	Shape				
	Name	Open-Cassegrain		Offset Cassegrain	Offset Gregorian

1. สายอากาศแบบพาราโบลา (paraboloidal antenna)

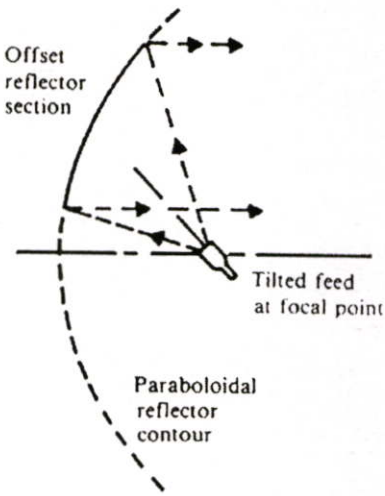
สายอากาศแบบพาราโบลามีโครงสร้างดังที่แสดงไว้ในภาพที่ ก.15 กล่าวคือ จานสะท้อนจะเป็นรูปพาราโบลอยด์รอบแกน z และมีตัวกระจายคลื่นขั้นต้น (primary radiatior) วางอยู่ตรงตำแหน่งจุดโฟกัสของจานพาราโบลอยด์ โครงสร้างของสายอากาศนี้จึงเป็นแบบสมมาตร ในโครงสร้างนี้คลื่นทรงกลม (spherical wave) ที่ออกจากตัวกระจายคลื่นขั้นต้น เมื่อสะท้อนที่ผิวของจานจะให้คลื่นระนาบ (plane wave) ออกมาที่ช่องเปิดของจานพาราโบลอยด์ จึงเท่ากับเป็นการขยายพื้นที่ของการกระจายคลื่น สายอากาศแบบนี้มีที่ใช้อย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นงานสื่อสารไมโครเวฟบนภาคพื้นดิน หรือใช้รับสัญญาณจากดาวเทียมทั้งนี้เพราะว่าโครงสร้างที่ง่ายและมีอัตราขยายสูง สำหรับตัวกระจายคลื่นขั้นต้นนั้น ถ้าเป็นความถี่ช่วงไมโครเวฟก็จะใช้ฟีดฮอร์นรูปร่างต่างๆ ถ้าเป็นความถี่ช่วงที่ต่ำกว่า 1 GHz ลงมามักใช้เป็นสายอากาศแบบยากิไดโพล



ภาพที่ ก.15 โครงสร้างของสายอากาศแบบพาราโบลา

2. สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์

สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์มีโครงสร้างดังที่แสดงไว้ในภาพที่ ก.16 กล่าวคือ ตัวจานสะท้อนเป็นส่วนหนึ่งของพาราโบลอยด์ และตัวกระจายคลื่นขั้นต้นจะวางอยู่บริเวณจุดโฟกัสของพาราโบลอยด์ ลักษณะเฉพาะของสายอากาศแบบนี้คือ ตัวกระจายคลื่นขั้นต้นจะไม่อยู่ตรงกลางของจานสะท้อนและส่วนใหญ่จะอยู่นอกบริเวณทางผ่านของคลื่นจากจานสะท้อน ลักษณะดังกล่าวนี้ทำให้มีชื่อว่า สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์



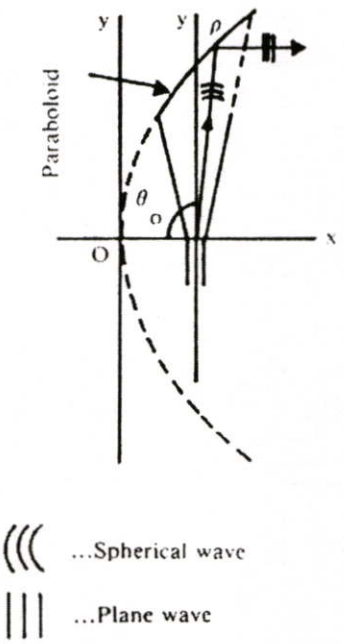
ภาพที่ ก.16 สายอากาศแบบออฟเซตบาราโบลอยด์

ในโครงสร้างสายอากาศนี้คลื่นทรงกลมจากตัวกระจายคลื่นขั้นต้นเมื่อสะท้อนที่จานสะท้อนแล้วจะเปลี่ยนเป็นคลื่นระนาบที่ตั้งฉากกับแกนสมมาตรคือแกน z สายอากาศแบบนี้มีข้อดีที่พื้นที่ประสิทธิผลค่อนข้างสูง เพราะไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดของสายอากาศบังเส้นทางผ่านของคลื่น แต่ก็มีข้อเสียตรงที่โครงสร้างแบบไม่สมมาตรจะทำให้โพลาไรเซชันในแนวตั้งฉาก (cross-polarization) ในทิศที่ไม่ใช่ด้านหน้ามีระดับสูงขึ้น

สายอากาศแบบนี้ส่วนใหญ่จะใช้เป็นสายอากาศของสถานีภาคพื้นดินดาวเทียม และโดยมากจะใช้ในย่านความถี่ที่สูงกว่าแบนด์ X ขึ้นไป เช่น ใช้เป็นสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียมโดยตรงสำหรับบ้านเรือนทั่วไป เป็นต้น

3. สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์

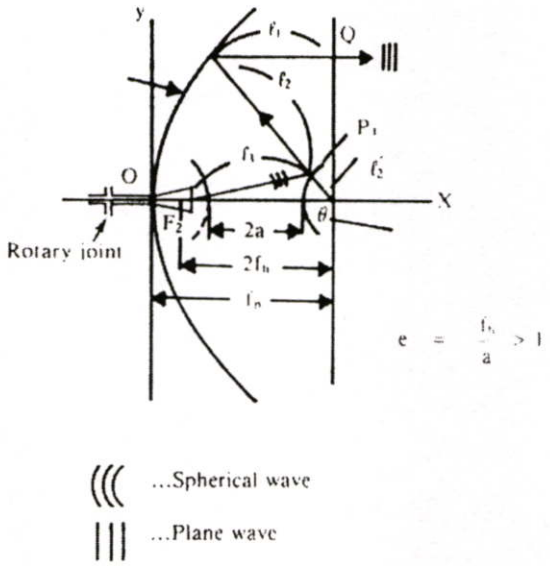
สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างดังภาพที่ ก.17 ตามโครงสร้างสายอากาศแบบนี้เป็นสายอากาศแบบออฟเซตชนิดหนึ่ง จานสะท้อนของสายอากาศเป็นส่วนหนึ่งของพาราโบลอยด์ เมื่อคลื่นทรงกลมจากท่อนำคลื่นสะท้อนที่จานสะท้อนนี้จะให้คลื่นระนาบออกมา สายอากาศแบบนี้มีโครงสร้างแบบไม่สมมาตร จึงทำให้ระดับของโพลาไรเซชันในแนวตั้งฉากในทิศที่ไม่ใช่ด้านหน้ามีระดับสูง แต่มีข้อดีคือระดับของไซด์โลบค่อนข้างต่ำ จึงมีที่ใช้ในงานสื่อสารด้วยไมโครเวฟทั้งในภาคพื้นดิน และเป็นสถานีภาคพื้นดินในงานสื่อสารดาวเทียม



ภาพที่ ก.17 สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์

4. สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน (cassegrain antenna)

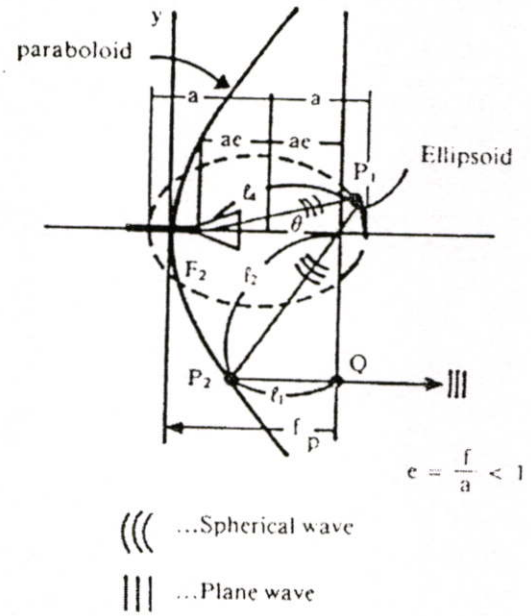
สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรนนี้มีโครงสร้างดังที่แสดงไว้ในภาพที่ ก.18 คือเป็นสายอากาศที่มีจานสะท้อน 2 อัน (dual reflector) โดยที่จานสะท้อนหลัก (main reflector) เป็นรูปพาราโบลอยด์ และจานสะท้อนรอง (sub-reflector) เป็นรูปไฮเปอร์โบลอยด์ และจานสะท้อนทั้งสองนี้มีจุดโฟกัส F1 ร่วมกัน จากรูปคลื่นทรงกลมที่ออกจากฟีดฮอร์นเมื่อสะท้อนที่จานสะท้อนรองก็จะยังคงเป็นคลื่นทรงกลมและเสมือนกับว่าเป็นคลื่นทรงกลมที่กระจายออกจากจุด F1 เพราะฉะนั้นคลื่นนี้เมื่อสะท้อนที่จานสะท้อนหลักก็จะทำให้ได้เป็นคลื่นระนาบออกมา สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรนนี้เป็นแบบสมมาตร โดยทั่วไปจะมีระดับโพลาไรเซชันในแนวตั้งฉากต่ำ โครงสร้างสายอากาศแบบนี้จะทำให้สามารถวางอุปกรณ์รับ-ส่งคลื่นไว้ด้านหลังจานสะท้อน และไม่ต้องเดินท่อนำคลื่นเป็นระยะทางยาว จึงสามารถลดปัญหาการสูญเสียเนื่องจากท่อนำคลื่นและให้ความสะดวกในการติดตั้งและใช้จานสายอากาศ สายอากาศแบบนี้จึงมีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในสายอากาศภาคพื้นดินดาวเทียม (Earth station antenna) ปัจจุบันสายอากาศที่ใช้งานสื่อสารดาวเทียมโดยทั่วไปจะใช้โครงสร้างแบบนี้



ภาพที่ ก.18 สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

5. สายอากาศแบบเกรโกเรียน (Gregorian)

สายอากาศแบบเกรโกเรียนนี้มีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ ก.19 คือมีจานสะท้อน 2 อัน โดยที่จานสะท้อนหลักเป็นผิวโค้งรูปพาราโบลอยด์ และจานสะท้อนรองเป็นผิวโค้งรูปอีลิปซอยด์ (ellipsoid) และจานทั้งสองนี้มีจุดโฟกัสร่วมกันที่ F1 คลื่นทรงกลมที่ออกจากฟีดฮอร์นเมื่อสะท้อนที่ผิวของจานสะท้อนรองจะผ่านจุดโฟกัส F1 เป็นคลื่นทรงกลมออกมาสะท้อนที่ผิวของจานสะท้อนหลัก ซึ่งจะให้คลื่นระนาบออกมาในสายอากาศแบบนี้ จุดที่เป็นศูนย์กลางเฟส (phase center) ของฟีดฮอร์นจะต้องอยู่ที่จุดโฟกัสอีกจุดหนึ่ง F2 ของจานสะท้อนรองดังแสดงไว้ในภาพ สายอากาศแบบนี้มีลักษณะพิเศษเช่นเดียวกับแบบแคสเซ็กเกรน แต่มีโครงสร้างที่ยุ่งยากกว่า จึงมีที่ใช้น้อยกว่าแบบแคสเซ็กเกรน



ภาพที่ ก.19 สายอากาศแบบเกรโกเรียน

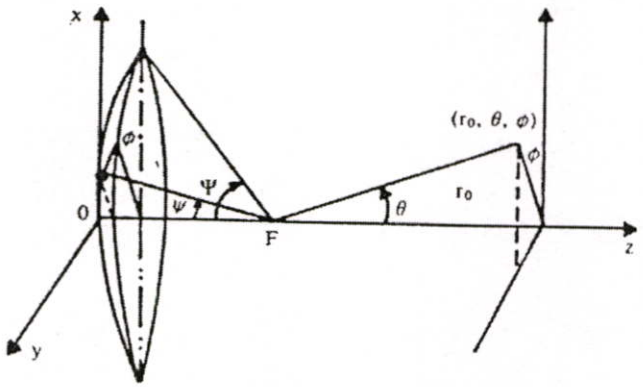
หน่วยการเรียนที่ 3
เรื่อง
สายอากาศแบบพาราโบลาและสายอากาศแบบเคสเซ็กเกรน

1. สายอากาศแบบพาราโบลา

1. อัตราขยายและพื้นที่ประสิทธิผลของสายอากาศ

อัตราขยายของสายอากาศแบบพาราโบลานั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลอยด์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการกระจายคลื่นของฟีดฮอร์นด้วย ภาพที่ ก.20 แสดงระบบแกนประสานที่ใช้พิจารณาคุณสมบัติของสายอากาศพาราโบลา จุด F ในภาพเป็นจุดโฟกัสของจานพาราโบลอยด์ และมุม ψ เป็นมุมเงยที่มองจากจุดโฟกัสไปที่ขอบจาน ถ้าให้ $D(\phi,\psi)$ เป็นแพตเทิร์นในการกระจายคลื่นของฟีดฮอร์น และสามารถเขียนได้ดังนี้

$$D(\phi,\psi) = \begin{cases} 2(n+1)\cos^{n}\psi & , \ \psi \le \pi/2 \\ 0 & , \ \psi > \pi/2 \end{cases} \qquad \text{(ก.3)}$$



ภาพที่ ก.20 แกนประสานของสายอากาศแบบพาราโบลา

แพตเทิร์นตามสมการ (ก.3) นี้จะมีลักษณะสมมาตรรอบแกน z และอันดับของ n ที่สูงขึ้นจะทำให้ลำบีมของแพตเทิร์นบีบแคบลง ซึ่งหมายถึงถ้าให้ n สูงมากก็ไม่จำเป็นต้องใช้จานที่มีมุมเงย ψ สูงๆ เพราะตรงที่ ψ มีค่าสูงนั้นขนาดของคลื่นตามสมการ (ก.3) จะลดต่ำลงมากๆ

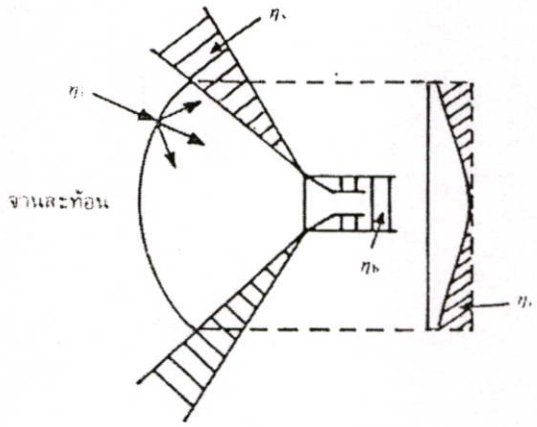
การพิจารณาอัตราขยายของสายอากาศนั้นเราสามารถพิจารณาในรูปของพื้นที่ประสิทธิผลของสายอากาศ โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายและพื้นที่ประสิทธิผลจะเป็นดังนี้

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G \qquad \text{(ก.4)}$$

โดยที่ A_{eff} คือพื้นที่ประสิทธิผล G คืออัตราขยายเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุด และ λ คือ ความยาวคลื่น พื้นที่ประสิทธิผลของสายอากาศแบบจานสะท้อนนั้นโดยทั่วไปจะเล็กกว่าพื้นที่ทางกายภาพของจานสะท้อน อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ประสิทธิผลและพื้นที่ทางกายภาพของสายอากาศจะเป็นดัชนีที่แสดงให้เห็นว่ามีการใช้พื้นที่ทางกายภาพของสายอากาศด้วยประสิทธิภาพอย่างไร ถ้าให้ S เป็นพื้นที่ทางกายภาพของสายอากาศ ค่าดัชนีดังกล่าวนี้จะเขียนได้ดังนี้

$$\eta = \frac{A_{eff}}{S} = \frac{\lambda^2 G}{4\pi S} \qquad (ก.5)$$

ค่า η นี้จะต่ำกว่า 1 เสมอ การที่ค่า η ต่ำกว่า 1 นี้มีสาเหตุหลายประการด้วยกัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดขึ้นเมื่อพิจารณาจากภาพที่ ก.21 และคำอธิบายดังต่อไปนี้

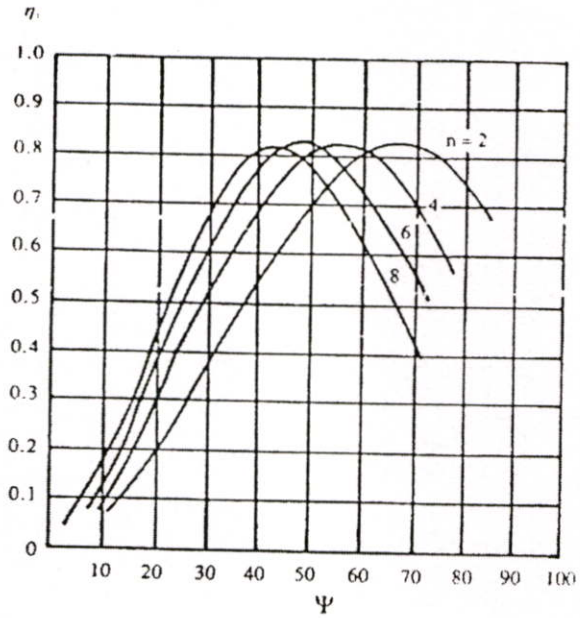


ภาพที่ ก.21 ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของช่องเปิด

1. ผลจากความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบนช่องเปิด ถ้าให้ผลจากส่วนนี้เป็น η_i และ สนามไฟฟ้าบนช่องเปิดเป็น F(x,y) η_i จะเขียนได้ในรูปต่อไปนี้

$$\eta_i = \frac{\left| \int_s F(x,y) ds \right|^2}{S \int_s |F(x,Y)|^2 ds} \qquad (ก.6)$$

ภาพที่ ก.22 แสดงการคำนวณสมการ (ก.6) นี้ในกรณีของสายอากาศพาราโบลาที่มีมุมเงย ψ เป็นตัวแปรและมีแพตเทิร์นของฟีดฮอร์นตามสมการ (ก.3) เป็นพารามิเตอร์ จากรูปจะเห็นได้ว่าจะเกิดจุดสูงสุดขึ้นสำหรับค่า n แต่ละค่า และตำแหน่ง ψ ที่เกิดค่าสูงสุดจะลดต่ำลงเมื่อ n มีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อสังเกตที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สำหรับค่า η_i สูงสุดที่ได้นั้นจะมีค่าประมาณ 0.82



ภาพที่ ก.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง η_i กับมุมเงยของจาน

2. ผลจากการล้นจาน (spill over) คือการที่พลังงานบางส่วนไม่ได้ถูกสะท้อนด้วยจานสะท้อน ซึ่งขึ้นกับแพตเทิร์นของฟีดฮอร์นและมุมเงยของช่องเปิด ผลส่วนนี้ให้เป็น η_s

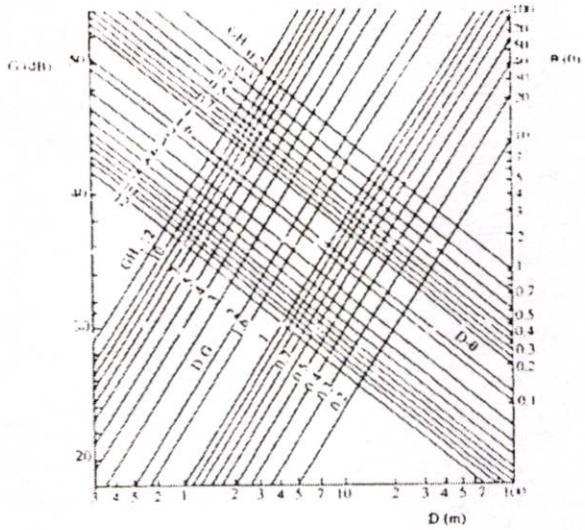
3. ผลจากการบังคลื่น (blocking) เกิดจากการที่มีฟีดฮอร์นหรือจานสะท้อนรองอยู่ทางด้านหน้าของจานสะท้อนหลัก ผลส่วนนี้เป็น η_b

4. ผลจากการกระจัดกระจาย (scattering) ของคลื่น ซึ่งเกิดจากโครงยึดของฟีดฮอร์น หรือโครงยึดของจานสะท้อนรอง ผลส่วนนี้ให้เป็น η_{st} นอกจากนั้นคลื่นยังอาจจะกระจัดกระจายได้ เนื่องจากความไม่เรียบของผิวสะท้อน ผลส่วนนี้ให้เป็น η_r เพราะฉะนั้นโดยทั่วๆ ไป η จะเขียนได้ดังนี้

$$\eta = \eta_i \bullet \eta_s \bullet \eta_b \bullet \eta_{st} \bullet \eta_r \qquad \text{(ก.7)}$$

สำหรับสายอากาศแบบพาราโบลาธรรมดานี้ เนื่องจากฟีดฮร์นมีขนาดเล็กและเบาไม่ต้องใช้ก้านยึดหลายๆ ก้าน เพราะฉะนั้นผลจากการบังคลื่นและการกระจัดกระจายจึงมีไม่มากนัก อย่างไรก็ตามค่านี้จะตกประมาณ -0.1 ~ -1.0 dB ขึ้นอยู่กับลักษณะการยึดและความเรียบของผิวสะท้อน โดยทั่วไปในกรณีที่ใช้คลื่นโพลาไรเซชันแบบเส้นตรง ก้านยึดที่ทำมุมตั้งฉากกับโพลาไรเซชันของคลื่นจะทำให้เกิดผลจากการกระจัดกระจายน้อยกว่า

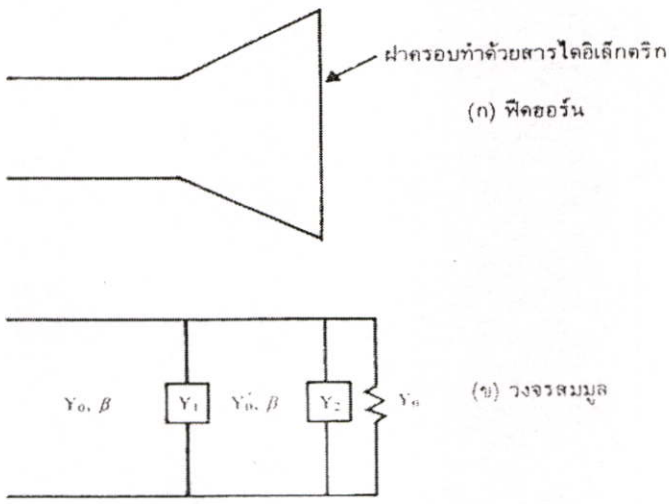
ค่า η_i และ η_s จะเป็นค่าที่มีความสำคัญมากกว่า โดยทั่วไปผลคูณของค่าทั้งสองนี้จะตกประมาณ 0.45 ~ 0.65 สำหรับสายอากาศที่ใช้กันอยู่ ภาพที่ ก.23 แสดงอัตราขยายในกรณีที่ η มีค่าเป็น 0.6 โดยที่แกนนอนเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของจานสะท้อน และมีความถี่เป็นพารามิเตอร์ ในรูปเดียวกันนี้ได้แสดงค่าบีมวิดท์ของกรณีนั้นๆ ไว้ด้วย



ภาพที่ ก.23 อัตราขยายและบีมวิดท์ของสายอากาศแบบพาราโบลา

2. แมตชิงในระบบป้อน

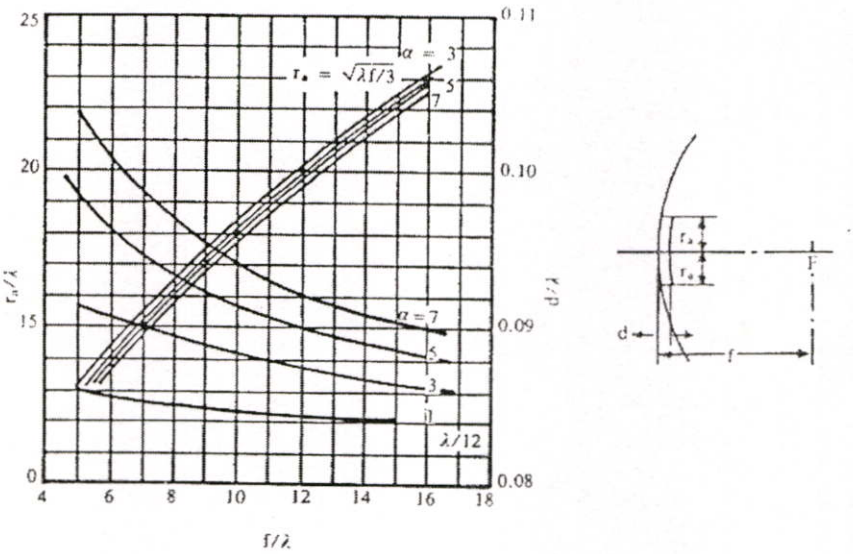
ฟีดฮอร์นที่ใช้ในสายอากาศแบบพาราโบลา ตรงส่วนปลายมักจะมีการลู่ออกและมีการครอบด้วยสารไดอิเล็กตริกเพื่อป้องกันน้ำฝนและสิ่งสกปรกอย่างอื่นเข้าสู่ภายใน ภาพที่ ก.24 แสดงโครงสร้างของฟีดฮอร์นดังกล่าวนี้พร้อมกับวงจรสมมูล โดยเฉพาะบริเวณที่ลู่ออกและบริเวณฝาครอบถูกแทนไว้ด้วย Y1 และ Y2 ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดนี้จะต้องแมตช์กับ Y0 ของสายอากาศภายนอก เนื่องจาก Y1 และ Y2 มีค่าเป็นคาแปซิตีฟ การแมตช์จึงทำได้โดยการใช้ไอริส (iris) ซึ่งมีค่าเป็นอินดัคตีฟ



ภาพที่ ก.24 โครงสร้างของฟีดฮอร์นและวงจรสมมูล

นอกจากที่ตัวฟีดฮอร์นแล้ว การสะท้อนกลับจากจานพาราโบลาเข้าสู่ฟีดฮอร์นก็มีปัญหาเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะการสะท้อนกลับจากบริเวณกลางๆ ของจานพาราโบลา การลดผลเสียจากการสะท้อนกลับนี้สามารถทำได้โดยใช้แผ่นโลหะกลมรัศมี r_a หนา d วางประกบไว้ที่บริเวณตรงกลางของจานพาราโบลาดังแสดงในภาพที่ ก.25 โดยกำหนดขนาดและความหนาของแผ่นแมตชิงนี้ให้คลื่นที่สะท้อนเข้าหาฟีดฮอร์นจากแผ่นแมตชิงหักล้างกับคลื่นส่วนที่มาจากบริเวณที่เหลือบนจานพาราโบลา ค่า α ในรูปนั้นเป็นกรณีที่แพตเทิร์นของฟีดฮอร์นเขียนได้ในรูปข้างล่างนี้

$$\overline{D_p\psi} = \sec^2\frac{\psi}{2} \bullet e^{-\alpha \tan^2\frac{\psi}{2}} \qquad \text{(ก.8)}$$

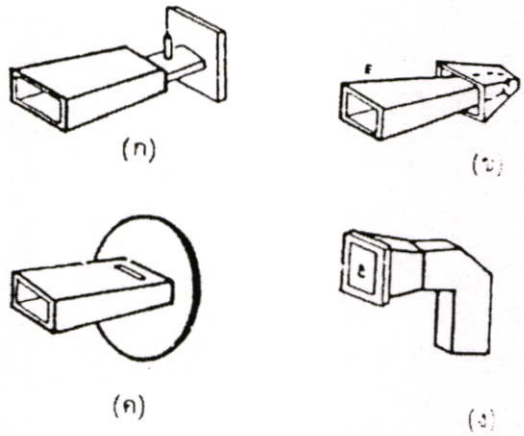


ภาพที่ ก.25 ค่า r_a และ d ที่เหมาะสมของแผ่นแมตชิง

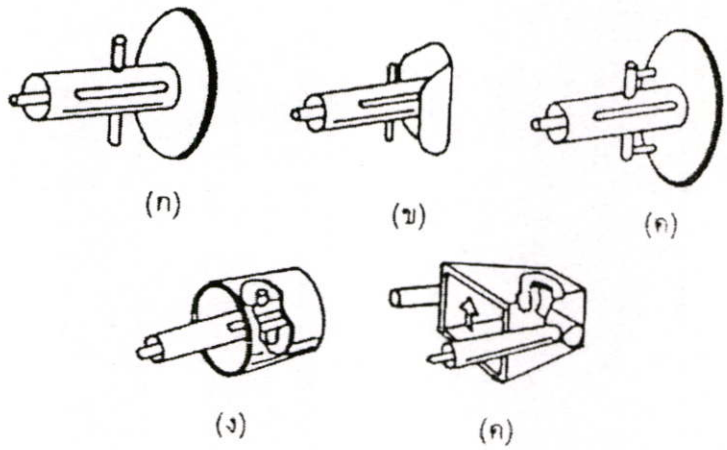
การแมตช์โดยใช้แผ่นแมตชิงดังกล่าวนี้นับว่าได้ผลดีจึงมีที่ใช้อย่างกว้างขวาง

3. รูปร่างของตัวกระจายคลื่นขั้นต้น

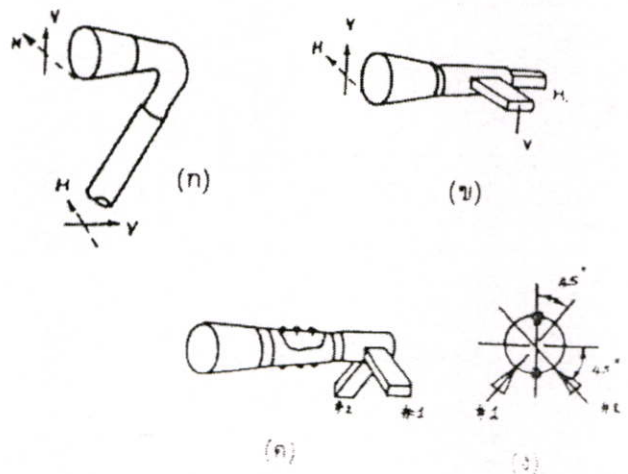
ภาพที่ ก.26 แสดงโครงสร้างของฟีดฮอร์นที่ใช้กับสายอากาศแบบพาราโบลาโดยทั่วไป ฟีดฮอร์นที่แสดงไว้ใช้กับกรณีที่สายนำสัญญาณเป็นท่อนำคลื่น และโพลาไรเซชันเป็นแบบเส้นตรง สำหรับภาพที่ ก.27 เป็นกรณีที่สายนำสัญญาณเป็นแบบสายโคแอกเชียล ซึ่งก็มีที่ใช้เช่นเดียวกันในระบบที่รับส่งกำลังไม่สูง ส่วนภาพที่ ก.28 นั้นเป็นโครงสร้างของฟีดฮอร์นที่ใช้ในงานที่มีการส่งคลื่นแนวตั้งและแนวนอนพร้อมกัน หรือส่งคลื่นที่มีโพลาไรเซชันแบบวงกลม ซึ่งส่วนที่เป็นฟีดฮอร์นจะเป็นรูปกรวยกลมดังแสดงไว้ในภาพ



ภาพที่ ก.26 ฟีดฮอร์นที่ใช้กับท่อนำคลื่น



ภาพที่ ก.27 ตัวกระจายคลื่นขั้นต้นที่ใช้กับสายโคแอกเชียล



ภาพที่ ก.28 ฟีดฮอร์นที่ใช้ในกรณีที่มีทั้งคลื่นแนวตั้งและคลื่นแนวนอน

2. สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

1. ประสิทธิภาพของช่องเปิด

การพิจารณาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของช่องเปิดของสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรนคล้ายคลึงกับสายอากาศแบบพาราโบลา เพียงแต่มีจานสะท้อน 2 อัน จึงมีการล้นจานที่จานทั้งสอง ถ้าให้ผลจากการล้นจานที่จานสะท้อนหลักและจานสะท้อนรองเป็น η_m และ η_s ตามลำดับ และให้ผลจากการกระจัดกระจายเนื่องจากความขรุขระของผิวโค้งของจานสะท้อนเป็น η_r ประสิทธิภาพของช่องเปิดก็จะเขียนได้ในรูปต่อไปนี้

$$\eta = \eta_i \bullet \eta_s \bullet \eta_m \bullet \eta_b \bullet \eta_r \bullet \eta_{st} \qquad (ก.9)$$

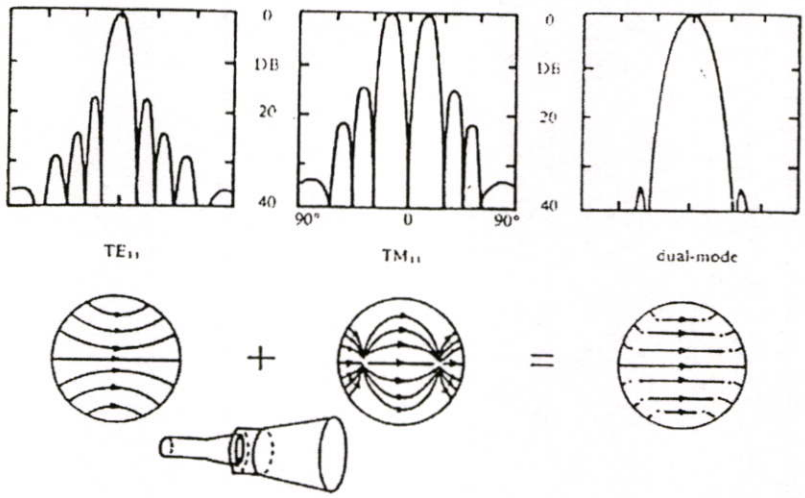
η_b นับว่ามีผลมากในสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน ดังนั้นจึงมักจะทำการออกแบบปรับผิวโค้งของจานสะท้อนรองและสะท้อนหลักเพื่อลดผลกระทบนี้

นอกจากนั้นก็ต้องพยายามออกแบบฟีดฮอร์นให้มีแพตเทิร์นที่มีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือในช่วงที่ตกกระทบจานสะท้อนรองจะมีความเข้มสม่ำเสมอ และเมื่อเลยมุมเงยของจานสะท้อนรองไปแล้วให้ลดลงอย่างรวดเร็ว วิธีนี้จะเป็นการลดการสูญเสียจากการล้นจาน ในขณะเดียวกันก็ทำให้ค่า η_i สูงด้วย

สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรนนี้โดยทั่วไปจะใช้ในงานสื่อสารดาวเทียมโดยใช้เป็นสายอากาศของสถานีภาคพื้นดิน ราคาค่าก่อสร้างสายอากาศแบบนี้ประมาณกันว่าแปรตาม $D_m^{2.78}$ โดยที่ D_m เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของจานสะท้อนหลัก เพราะฉะนั้นการออกแบบให้ η มีค่าสูง จึงนับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

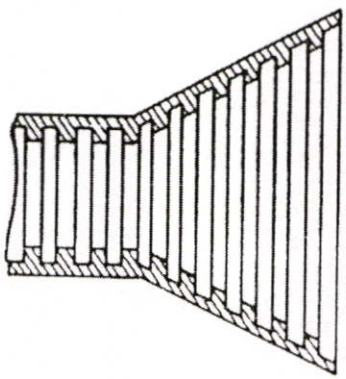
2. ฟีดฮอร์น

เนื่องจากโพลาไรเซชันของคลื่นที่ใช้ในงานสื่อสารดาวเทียม โดยทั่วไปเป็นแบบวงกลม (circular polarization) และต้องการแบนด์วิดท์ค่อนข้างกว้างเพื่อให้ครอบคลุมได้ทั้งทางภาคส่งและภาครับ (อย่างเช่นกรณีของ INTELSAT ส่ง 6GHz รับ 4GHz) ในยุคต้นๆ ใช้ฟีดฮอร์นแบบกรวยกลม (conical horn) ธรรมดา ซึ่งมีปัญหาด้านความสมมาตรของแพตเทิร์นในระนาบ E และระนาบ H เนื่องจากโหมดหลักในฮอร์นแบบกรวยกลมธรรมดาเป็น TE_{11} จึงทำให้แพตเทิร์นในสองระนาบดังกล่าวแตกต่างกันมากโดยเฉพาะเมื่อความถี่เปลี่ยนไป ได้มีการแก้ปัญหานี้โดยการการใช้ฮอร์นแบบกรวยกลมแบบสองโหมด (dual mode) ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ ก.29 ฟีดฮอร์นแบบนี้เป็นการใช้โหมด TM_{11} มาช่วยแก้ไขความไม่สม่ำเสมอของการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบช่องเปิด ซึ่งมีผลทำให้แพตเทิร์นในระนาบ E และระนาบ H มีความสมมาตรกันดีขึ้น



ภาพที่ ก.29 ฮอร์นแบบกรวยกลมแบบสองโหมด

นอกจากนี้ในระยะหลังมีการใช้ฟีดฮอร์นแบบลูกฟูก (corrugated horn) ซึ่งโครงสร้างยุ่งยากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ ก.30 ฟีดฮอร์นแบบนี้จะให้โหมดอยู่ในรูปไฮบริด (hybrid mode) และเมื่อออกแบบให้เป็นโหมด EH_{11} จะได้ผลดีมาก เพราะการกระจายของแม่เหล็กไฟฟ้าจะสมมาตรกันรอบแกนคือ อยู่ในฟังก์ชันของ $J_0(k_0r)$ ทำให้ได้แพทเทิร์นในระนาบ E และระนาบ H สมมาตรกัน โดยเฉพาะเมื่อให้ $k_0a = 2.405$ โพลาไรเซชันในแนวตั้งฉาก (cross polarization) ก็จะเป็นศูนย์ และแพตเทิร์นของฟีดฮอร์นจะมีระดับไซด์โลบต่ำ นอกจากนั้นยังมีแบนด์วิดท์กว้างด้วย จึงทำให้ฟีดฮอร์นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นแบบนี้เกือบทั้งหมด



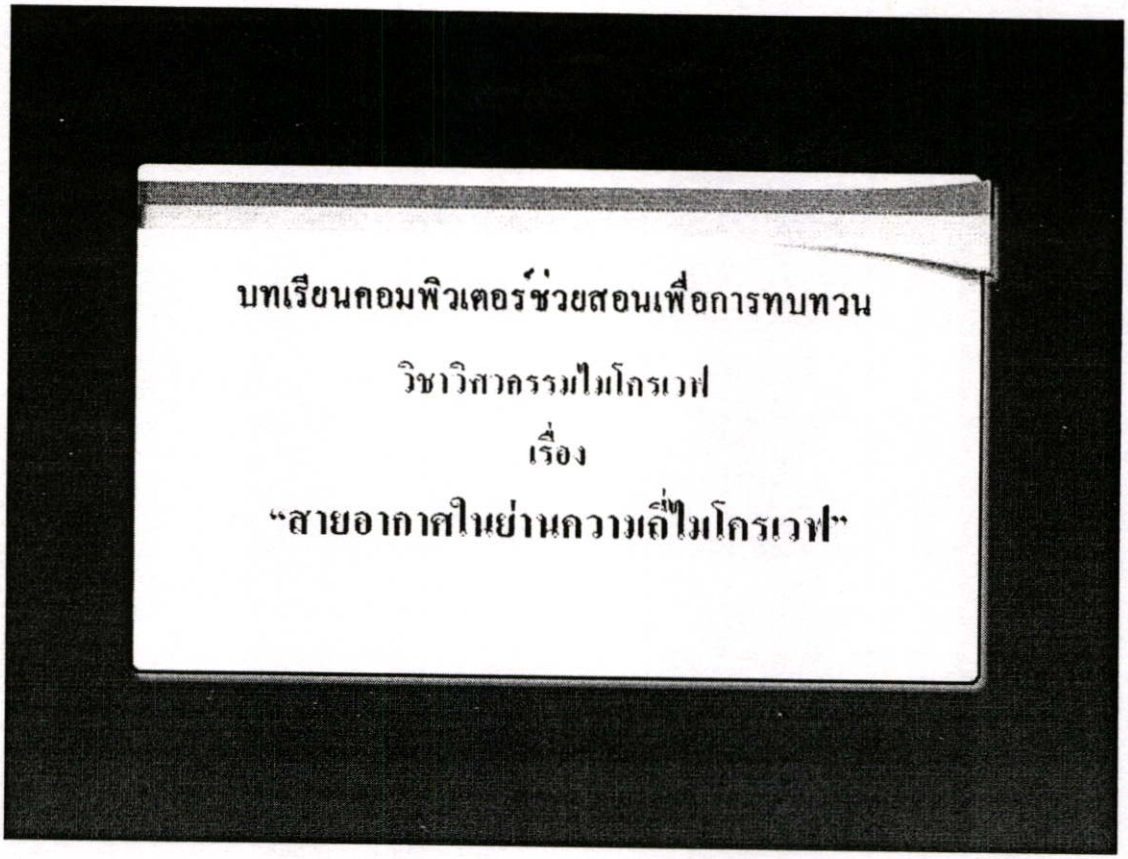
ภาพที่ ก.30 ฮอร์นแบบลูกฟูก

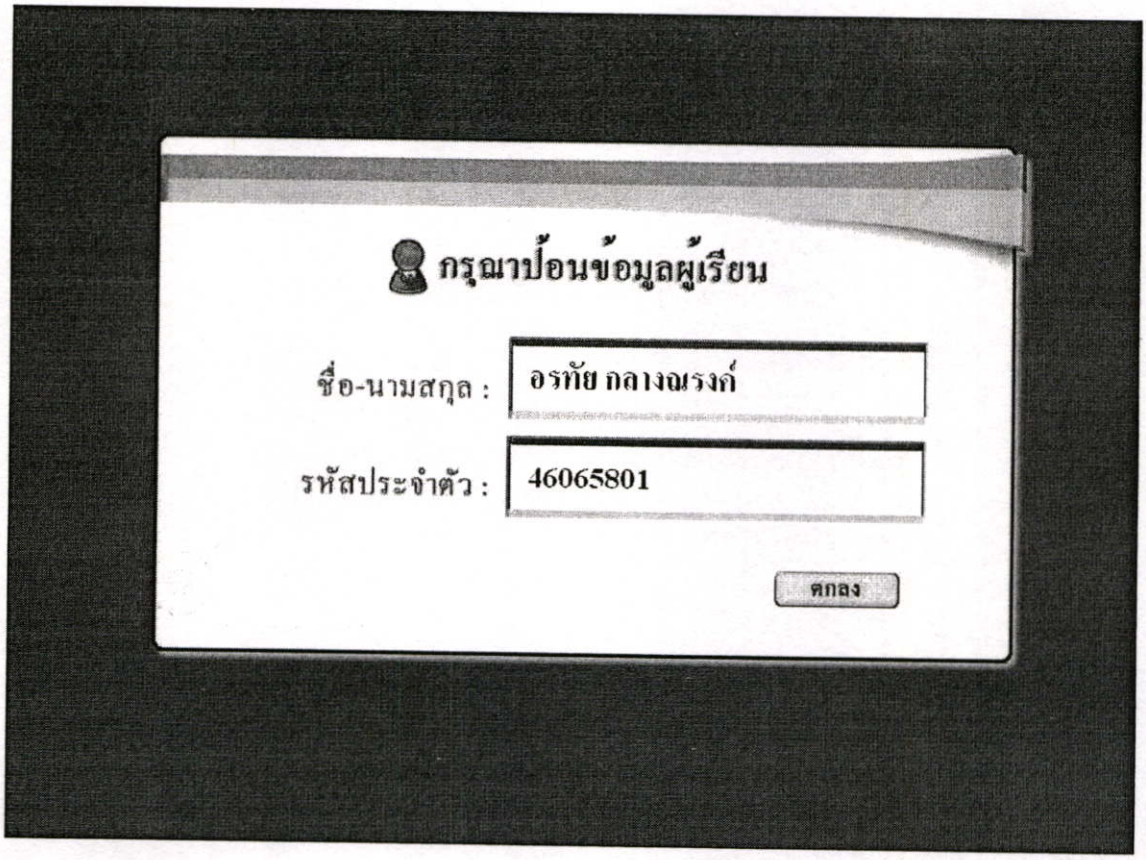
3. แมตชิง

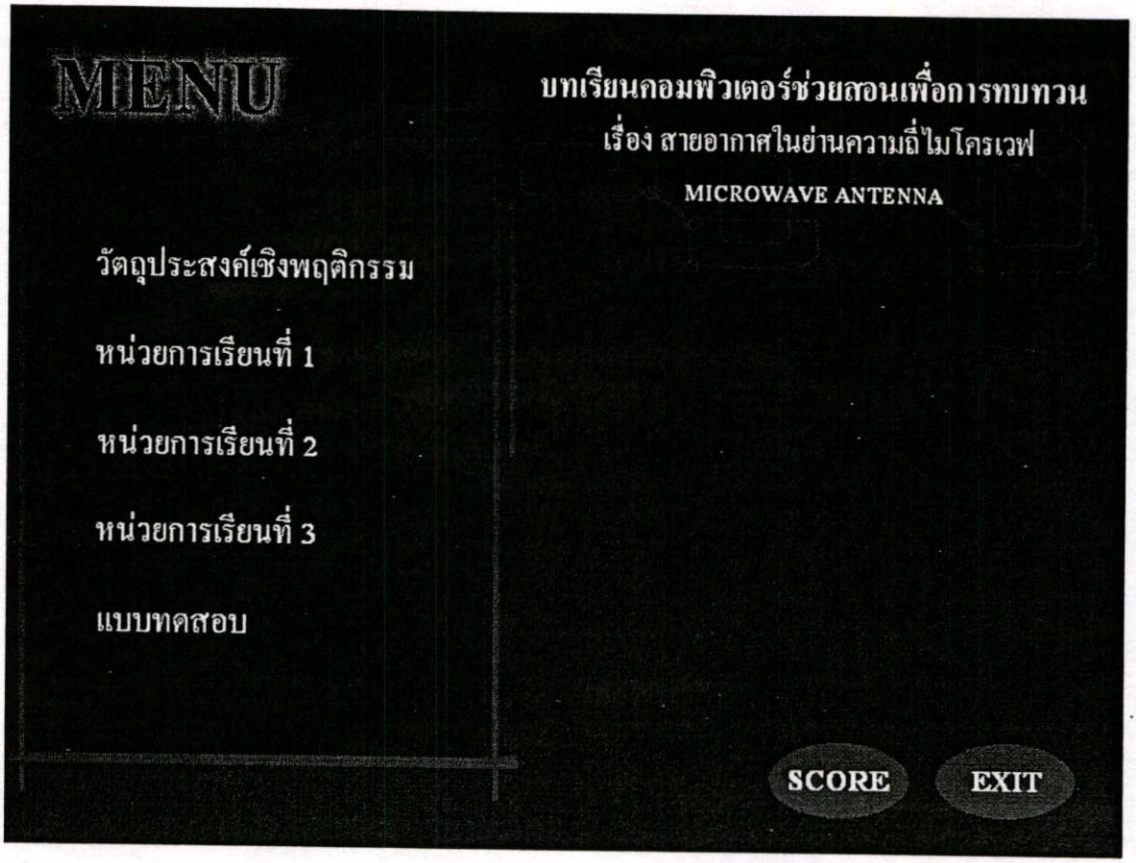
การป้องกันไม่ให้คลื่นสะท้อนจากจานสะท้อนรองกลับเข้าสู่ฟีดฮอร์นจะสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการเช่นเดียวกับกรณีของสายอากาศแบบพาราโบลา โดยใช้แผ่นแมตชิงวางประกอบไว้ตรงบริเวณนูนสุดของจานสะท้อนรอง

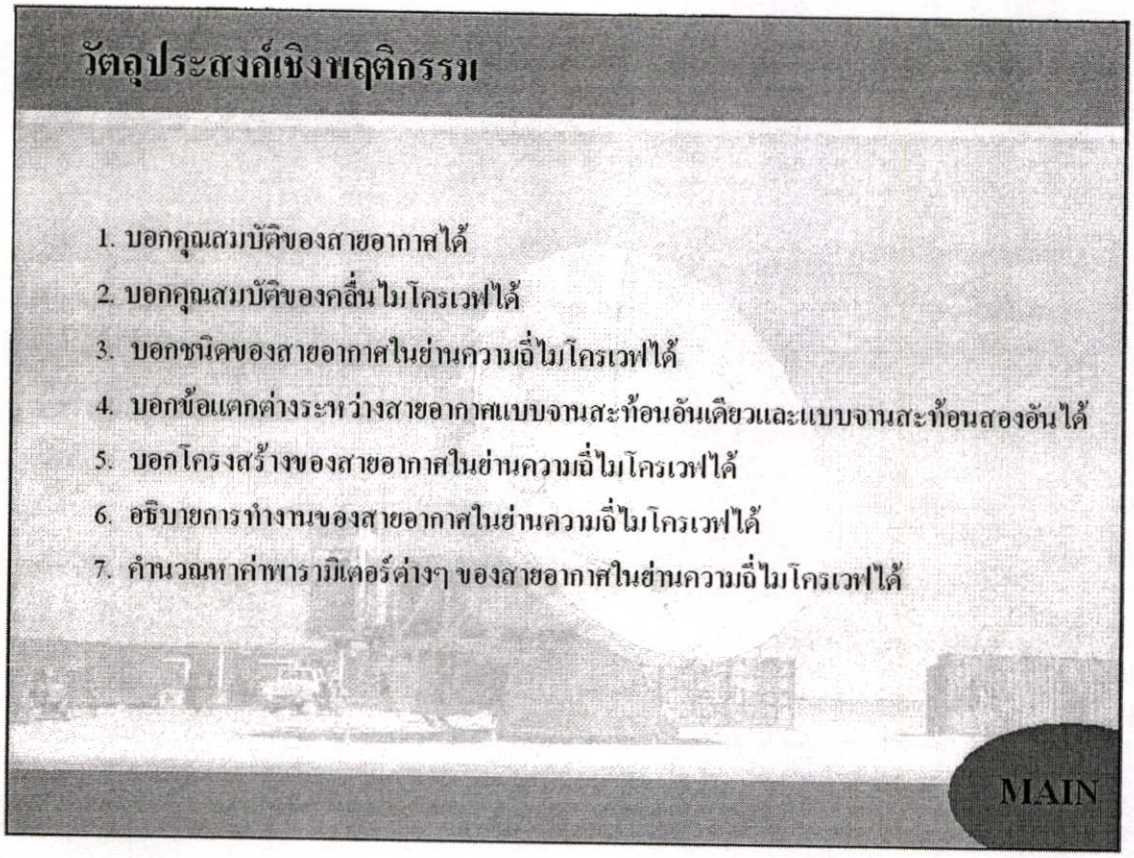
ภาคผนวก ข

ตัวอย่างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน
วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ


บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน
วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
เรื่อง
"สายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ"


กรุณาป้อนข้อมูลผู้เรียน
ชื่อ-นามสกุล :
อรทัย กลางณรงค์
รหัสประจำตัว :
46065801
ตกลง


MENU
บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน
เรื่อง สายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ
MICROWAVE ANTENNA
วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
หน่วยการเรียนที่ 1
หน่วยการเรียนที่ 2
หน่วยการเรียนที่ 3
แบบทดสอบ
SCORE
EXIT


วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
1. บอกคุณสมบัติของสายอากาศได้
2. บอกคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟได้
3. บอกชนิดของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
4. บอกข้อแตกต่างระหว่างสายอากาศแบบจานสะท้อนอันเดียวและแบบจานสะท้อนสองอันได้
5. บอกโครงสร้างของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
6. อธิบายการทำงานของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
7. คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟได้
MAIN

หน่วยการเรียนที่ 1 : ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศและคลื่นไมโครเวฟ

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ

1.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นไมโครเวฟ

แบบทดสอบท้ายบทเรียน

MAIN

หน่วยการเรียนที่ 2 : โครงสร้างของสายอากาศแบบต่างๆ ที่ใช้ในย่านความถี่ไมโครเวฟ

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

2.1 บทนำ

2.2 สายอากาศแบบพาราโบลา

2.3 สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์

2.4 สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์

2.5 สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

2.6 สายอากาศแบบเกรโกเรียน

แบบทดสอบท้ายบทเรียน

MAIN

หน่วยการเรียนที่ 3 : สายอากาศแบบพาราโบลาและสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

3.1 สายอากาศแบบพาราโบลา

3.2 สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

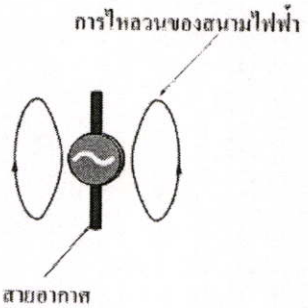
แบบทดสอบท้ายบทเรียน

MAIN

1.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสายอากาศ

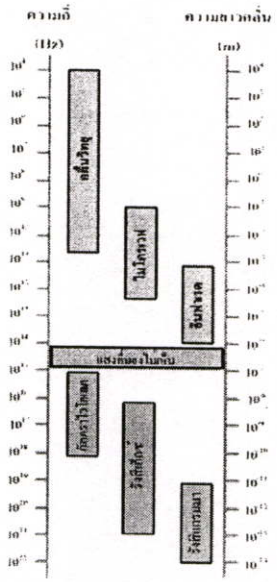
การแพร่กระจายสัญญาณจากสายอากาศ

เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำ จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบลวดตัวนำ ที่มีทิศทางตามทิศทางของกระแส ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของกระแสเกิดขึ้น สนามแม่เหล็กจะเปลี่ยนตามไปด้วย ส่วนทิศทางของสนามไฟฟ้า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น โดยทั้งสองสนามแพร่ออกจากลวดตัวนำด้วยความเร็วแสง (ประมาณ 3×10^{8} เมตร/วินาที)



ภาพที่ 1 แสดงการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

1.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคลื่นไมโครเวฟ



ภาพที่ 12 การแบ่งย่านความถี่ของคลื่นวิทยุ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางไปในอากาศหรือสุญญากาศ ไม่สามารถสัมผัสได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้ง 5

ก่อนหน้า ต่อไป ปิดเสียง ออก

แบบทดสอบท้ายบทเรียน

1. ข้อใดต่อไปนี้เป็นคุณสมบัติของสายอากาศแบบไดเร็กติวิตี้

ก แพร่กระจายพลังงานไปได้มากในบางทิศทางเมื่อเทียบกับทิศทางรอบสายอากาศ

ข สายอากาศในทางทฤษฎีที่สามารถแพร่คลื่นในทุกทิศทางด้วยความเข้มเสนามเท่ากัน

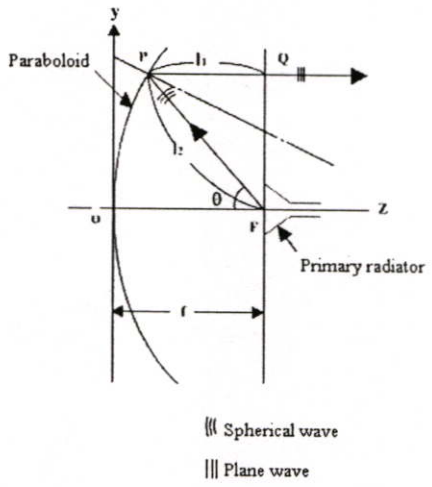
ค แพร่คลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งได้ดีกว่าทิศทางอื่นในระนาบแนวตั้ง

ง คุณสมบัติแพร่คลื่นได้รอบตัวครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ดีตามแนวราบ

SCORE : 0/6

NEXT

2.2 สายอากาศแบบพาราโบลา



Spherical wave

Plane wave

ภาพที่ 15 โครงสร้างของสายอากาศแบบพาราโบลา

สายอากาศแบบพาราโบลามีโครงสร้าง คือ จานสะท้อนจะเป็นรูปพาราโบลอยด์รอบแกน z และมีตัวกระจายคลื่นขั้นต้น (primary radiator) วางอยู่ตรงตำแหน่งจุดโฟกัสของจานพาราโบลอยด์ โครงสร้างของสายอากาศนี้จึงเป็นแบบสมมาตร สายอากาศแบบนี้มีที่ใช้อย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นงานสื่อสารไมโครเวฟบนภาคพื้นดิน หรือใช้รับสัญญาณจากดาวเทียมทั้งนี้เพราะว่าโครงสร้างที่ง่ายและมีอัตราขยายสูง

แบบทดสอบ

1. สายอากาศที่คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงานไปได้มากในบางทิศทางเมื่อเทียบกับทิศทางรอบสายอากาศ คุณสมบัติเช่นนี้เรียกว่าอะไร

ก ไดเร็คติวิตี้

ข ไอโซทรอปิก

ค ไดเร็คชั่นแนล

ง ออมนิไดเร็คชั่นแนล

SCORE : 0

ภาคผนวก ค

แบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน
วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

แบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

คำชี้แจง

แบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ทั้งหมด 20 ข้อ เป็นข้อสอบชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก แต่ละข้อมีคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว ให้เลือกตอบข้อที่ถูกต้องที่สุด

---

1. สายอากาศที่คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงานไปได้มากในบางทิศทางเมื่อเทียบกับทิศทางรอบสายอากาศ คุณสมบัติเช่นนี้เรียกว่าอะไร

   ก. ไดเร็คติวิตี้

   ข. ไอโซทรอปิก

   ค. ไดเร็คชั่นแนล

   ง. ออมนิไดเร็คชั่นแนล

2. ข้อใดต่อไปนี้เป็นสายอากาศอ้างอิง

   ก. สายอากาศอะเรย์

   ข. สายอากาศแบบยากิ

   ค. สายอากาศแบบโมโนโพล

   ง. สายอากาศไดโพลขนาด $\lambda/2$

3. "ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายผ่านขั้วต่อหารด้วยปริมาณกระแสที่ไหลผ่านขั้ว" นิยามข้างต้นหมายถึงข้อใดต่อไปนี้

   ก. ค่ารีเอ็กแตนซ์ของสายอากาศ

   ข. ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

   ค. ค่าความจุไฟฟ้าของสายอากาศ

   ง. ค่าความต้านทานของสายอากาศ

4. “สามารถแพร่กระจายพลังงานได้ทุกทิศทางรอบตัวและขนาดความเข้มสนามเท่ากันหมดตามระยะทางรอบสายอากาศ” ประโยคข้างต้นเป็นคุณลักษณะของสายอากาศชนิดใด

ก. สายอากาศอะเรย์

ข. สายอากาศไดโพล

ค. สายอากาศแบบยากิ

ง. สายอากาศแบบไอโซทรอปิก

5. ข้อใดต่อไปนี้กล่าวได้ถูกต้อง

ก. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่เป็นคลื่นวิทยุ

ข. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถสัมผัสได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้ง 5

ค. ไมโครเวฟ เป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ง. คลื่นไมโครเวฟมีความถี่อยู่ในช่วง 1 GHz ถึง 3 THz แต่ใช้ในการสื่อสารโทรคมนาคมนั้นมีความถี่สูงสุดเพียง 20 GHz

6. ข้อใดต่อไปนี้***ไม่ใช่***ลักษณะเฉพาะหรือประโยชน์ของคลื่นไมโครเวฟ

ก. มีความถี่สูงกว่า 1 GHz

ข. ใช้ในเตาไมโครเวฟ

ค. มีความยาวคลื่นสูงกว่า 30 cm ขึ้นไป

ง. ใช้งานด้านไฟฟ้าสื่อสารและระบบเรดาร์

7. ข้อใดต่อไปนี้คือสายอากาศแบบจานสะท้อนสองอัน

ก. สายอากาศแบบพาราโบลา

ข. สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

ค. สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์

ง. สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์

8. สายอากาศแบบใดที่มีโครงสร้างเป็นแบบตัดช่องเปิดแคบๆ หลายช่องๆ บนผนังของท่อนำคลื่น

ก. สายอากาศแบบสล็อต

ข. สายอากาศแบบจานสะท้อน

ค. สายอากาศแบบฮอร์นรูปพัด

ง. สายอากาศแบบฮอร์นรูปพีระมิด

9. สายอากาศแบบใดที่มีโครงสร้างเป็นแบบจานสะท้อนหลัก เป็นโค้งรูปพาราโบลอยด์ และจานสะท้อนรองเป็นโค้งรูปอีลิปซอยด์ (Ellipsoid)

ก. สายอากาศแบบพาราโบลา

ข. สายอากาศแบบเกรโกเรียน

ค. สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

ง. สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์

10. ข้อใดต่อไปนี้กล่าว***ไม่***ถูกต้อง

ก. สายอากาศแบบจานสะท้อนอันเดียวมีจานสะท้อนเป็นรูปพาราโบลอยด์

ข. สายอากาศแบบจานสะท้อนอันเดียวที่มีตัวกระจายคลื่นขั้นต้นวางอยู่ตรงจุดโฟกัสของจานเป็นสายอากาศแบบไม่สมมาตร

ค. สายอากาศแบบเกรโกเรียนมีจานสะท้อนหลักเป็นรูปพาราโบลอยด์ และจานสะท้อนรองเป็นรูปอีลิปซอยด์

ง. สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรนมีจานสะท้อนหลักเป็นรูปพาราโบลอยด์ และจานสะท้อนรองเป็นรูปไฮเปอร์โบลอยด์

11. ข้อใดต่อไปนี้***ไม่ใช่***ข้อแตกต่างระหว่างสายอากาศแบบพาราโบลาและสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

ก. มีจานสะท้อน 2 อัน

ข. เป็นสายอากาศแบบสมมาตร

ค. มีโครงสร้างที่ง่ายและมีอัตราขยายสูง

ง. สามารถวางอุปกรณ์รับ-ส่งคลื่นไว้ด้านหลังจานสะท้อนได้

12. สายอากาศชนิดใดใช้เป็นสายอากาศที่ใช้ในงานการสื่อสารไมโครเวฟบนภาคพื้นดิน หรือใช้รับสัญญาณจากดาวเทียม

ก. สายอากาศแบบพาราโบลา

ข. สายอากาศแบบเกรโกเรียน

ค. สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

ง. สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์

13. สายอากาศชนิดใดใช้เป็นสายอากาศรับสัญญาณโทรทัศน์จากดาวเทียมโดยตรงสำหรับบ้านเรือนทั่วไป

ก. สายอากาศแบบเกรโกเรียน

ข. สายอากาศแบบแคสเซ็กเกรน

ค. สายอากาศแบบฮอร์นรีเฟลกเตอร์

ง. สายอากาศแบบออฟเซตพาราโบลอยด์

14. อัตราขยายของสายอากาศแบบพาราโบลาขึ้นอยู่กับสิ่งใดต่อไปนี้

ก. ชนิดของฟีดฮอร์นที่นำมาใช้

ข. สารที่เคลือบตรงส่วนปลายของฟีดฮอร์น

ค. ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของฟีดฮอร์น

ง. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลอยด์

15. ข้อใด***ไม่ใช่***สาเหตุที่ทำให้ฟีดฮอร์นแบบลูกฟูก (Corrugated horn) ของสายอากาศแบบแคสเซ็กเกรนได้รับความนิยมในปัจจุบัน

ก. มีแบนด์วิดท์กว้าง

ข. มีโครงสร้างที่ไม่ยุ่งยาก

ค. แพตเทิร์นของฟีดฮอร์นมีระดับไซด์โลบต่ำ

ง. การกระจายของแม่เหล็กไฟฟ้าสมมาตรกัน

16. การที่ฟีดฮอร์นหรือจานสะท้อนรองอยู่ทางด้านหน้าของจานสะท้อนหลักของสายอากาศแบบพาราโบลา เป็นผลจากข้อใดต่อไปนี้

ก. ผลจากการล้นจาน

ข. ผลจากการบังคลื่น

ค. ผลจากการกระจัดกระจาย

ง. ผลจากความไม่สม่ำเสมอของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบนช่องเปิด

17. ฟีดฮอร์นที่ใช้ในสายอากาศแบบพาราโบลามีการครอบด้วยสารไดอิเล็กตริกเพราะเหตุใด

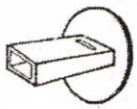
ก. ป้องกันนก

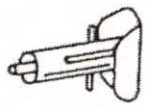
ข. ป้องกันฟ้าผ่า

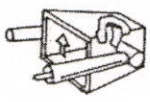
ค. ป้องกันน้ำฝนและสิ่งสกปรก

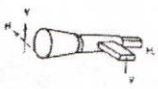
ง. ป้องกันคลื่นสะท้อนกลับสู่ฟีดฮอร์น

18. ข้อใดเป็นภาพที่แสดงโครงสร้างของฟีดฮอร์นที่ใช้กับท่อนำคลื่นของสายอากาศแบบพาราโบลา

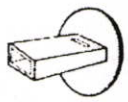
ก. 

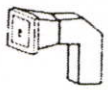
ข. 

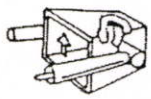
ค. 

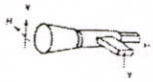
ง. 

19. ข้อใดเป็นภาพที่แสดงโครงสร้างของฟีดฮอร์นที่ใช้กับสายโคแอกเชียลของสายอากาศแบบพาราโบลา

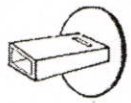
ก. 

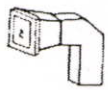
ข. 

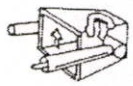
ค. 

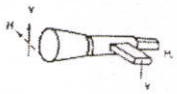
ง. 

20. ข้อใดเป็นภาพที่แสดงโครงสร้างของฟีดฮอร์นที่ใช้ในกรณีที่มีทั้งคลื่นแนวตั้งและคลื่นแนวนอนของสายอากาศแบบพาราโบลา

ก. 

ข. 

ค. 

ง. 

ภาคผนวก ง

แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน
วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ
(ด้านเนื้อหา)

แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน
วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ
หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม)
(ด้านเนื้อหา)

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรต่อเนื่อง 2 ปี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นโดยวิเคราะห์เนื้อหาตามหลักสูตรและสร้างขึ้นจากโปรแกรมสำเร็จรูป Authorware Version 7, flash 8 และโปรแกรมสำเร็จรูปที่เกี่ยวข้อง จึงขอความกรุณาจากผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา โปรดพิจารณาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน และแสดงความคิดเห็นของท่านลงในแบบประเมินที่แนบมาพร้อมนี้ เพื่อผู้วิจัยจะได้นำข้อบกพร่องไปปรับปรุงแก้ไขต่อไป

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิเป็นอย่างสูง ที่พิจารณาประเมินบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนในครั้งนี้

.....

(นางสาวอรทัย กลางณรงค์)
นักศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แบบประเมินคุณภาพ (ด้านเนื้อหา)

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบวน

วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ

หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม)

คำชี้แจง กรุณาทำเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องระดับความคิดเห็นของท่าน

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็นของท่าน				
	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	พอใช้	ควรปรับปรุง
1. เนื้อหาและการนำเสนอ					
1.1 เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์					
1.2 ความถูกต้องของเนื้อหา					
1.3 ความเหมาะสมของปริมาณเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียน					
1.4 ความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน					
1.5 ความถูกต้องของภาษาที่ใช้					
2. การจัดวางรูปแบบบนบทเรียนคอมพิวเตอร์					
2.1 การลำดับเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียนทำให้ผู้เรียนเข้าใจง่าย					
2.2 การบรรยายประกอบเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียนทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้อย่างชัดเจน					
3. กิจกรรมในการเรียนการสอน					
3.1 ความชัดเจนของคำสั่ง					
3.2 ความสอดคล้องกับเนื้อหา					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ภาคผนวก จ

แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน
วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ
(ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)

แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน
วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ
หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม)
(ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรต่อเนื่อง 2 ปี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นโดยวิเคราะห์เนื้อหาตามหลักสูตรและสร้างขึ้นจากโปรแกรมสำเร็จรูป Authorware Version 7, Flash 8 และโปรแกรมสำเร็จรูปที่เกี่ยวข้อง จึงขอความกรุณาจากผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคการผลิตสื่อ โปรดพิจารณาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน และแสดงความคิดเห็นของท่านลงในแบบประเมินที่แนบมาพร้อมนี้ เพื่อผู้วิจัยจะได้นำข้อบกพร่องไปปรับปรุงแก้ไขต่อไป

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิเป็นอย่างสูง ที่พิจารณาประเมินบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนในครั้งนี้

.....

(นางสาวอรทัย กลางณรงค์)
นักศึกษาคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

แบบประเมินคุณภาพ (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)
บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน
วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ
หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม)

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องระดับความคิดเห็นของท่าน

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็นของท่าน				
	ดีมาก	ดี	ปานกลาง	พอใช้	ควรปรับปรุง
1. การจัดวางรูปแบบบนบทเรียนคอมพิวเตอร์					
1.1 ความเหมาะสมในการจัดวางองค์ประกอบของหน้าจอ					
1.2 ความเหมาะสมของเทคนิคการนำเสนอ					
1.3 การเข้าออกบทเรียน มีความสะดวก					
2. ตัวอักษรที่ใช้บนบทเรียนคอมพิวเตอร์					
2.1 ความเหมาะสมของรูปแบบการนำเสนอ					
2.2 ความเหมาะสมด้านการสื่อความหมาย					
2.3 ความเหมาะสมของรูปแบบตัวอักษร					
2.4 ความเหมาะสมของสีตัวอักษร					
2.5 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร					
3. การใช้ภาพประกอบและสื่อประสมบนบทเรียนคอมพิวเตอร์					
3.1 ความเหมาะสมของรูปภาพและกราฟิก					
3.2 ความเหมาะสมของการนำเสนอรูปภาพและภาพกราฟิก					

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ภาคผนวก ฉ

ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน
วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ
ด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

ตารางที่ ฉ.1 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ (ด้านเนื้อหา)

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็น			$\overline{X}$	S	ระดับคุณภาพ
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
1. เนื้อหาและการนำเสนอ						
1.1 เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	4	4	5	4.33	0.58	ดี
1.2 ความถูกต้องของเนื้อหา	4	4	5	4.33	0.58	ดี
1.3 ความเหมาะสมของปริมาณเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียน	5	5	4	4.67	0.58	ดีมาก
1.4 ความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	5	5	4	4.67	0.58	ดีมาก
1.5 ความถูกต้องของภาษาที่ใช้	4	4	4	4.00	0.00	ดี
			รวม	4.40	0.00	ดี
2. การจัดวางรูปแบบบนบทเรียนคอมพิวเตอร์						
2.1 การลำดับเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียนทำให้ผู้เรียนเข้าใจง่าย	4	5	4	4.33	0.58	ดี
2.2 การบรรยายประกอบเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียนทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้อย่างชัดเจน	4	5	4	4.33	0.58	ดี
			รวม	4.33	0.58	ดี
3. กิจกรรมในการเรียนการสอน						
3.1 ความชัดเจนของคำสั่ง	4	5	5	4.67	0.58	ดีมาก
3.2 ความสอดคล้องกับเนื้อหา	4	5	5	4.67	0.58	ดีมาก
			รวม	4.67	0.58	ดีมาก
			รวม 3 ด้าน	4.46	0.22	ดี

จากตารางที่ ฉ. 1 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ด้านเนื้อหา คุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.46 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.22 รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.67 มี 4 รายการ ได้แก่ (1.3) ความเหมาะสม

ของปริมาณเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียน (1.4) ความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน (3.1) ความชัดเจนของคำสั่ง (3.2) ความสอดคล้องกับเนื้อหา รายการที่มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.33 มี 4 รายการ ได้แก่ (1.1) เนื้อหามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ (1.2) ความถูกต้องของเนื้อหา (2.1) การลำดับเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียนทำให้ผู้เรียนเข้าใจง่าย (2.2) การบรรยายประกอบเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียนทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้อย่างชัดเจน ส่วนรายการที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 มี 1 รายการ ได้แก่ (1.5) ความถูกต้องของภาษาที่ใช้

ตารางที่ ฉ.2 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็น			$\overline{X}$	S	ระดับคุณภาพ
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
1. การจัดวางรูปแบบบนบทเรียนคอมพิวเตอร์						
1.1 ความเหมาะสมในการจัดวางองค์ประกอบของหน้าจอ	5	4	4	4.33	0.58	ดี
1.2 ความเหมาะสมของเทคนิคการนำเสนอ	4	4	4	4.00	0.00	ดี
1.3 การเข้าออกบทเรียนมีความสะดวก	4	5	4	4.33	0.58	ดี
			รวม	4.22	0.19	ดี
2. ตัวอักษรที่ใช้บนบทเรียนคอมพิวเตอร์						
2.1 ความเหมาะสมของรูปแบบการนำเสนอ	5	4	4	4.33	0.58	ดี
2.2 ความเหมาะสมด้านการสื่อความหมาย	5	4	4	4.33	0.58	ดี
2.3 ความเหมาะสมของรูปแบบตัวอักษร	5	4	4	4.33	0.58	ดี
2.4 ความเหมาะสมของสีตัวอักษร	5	4	4	4.33	0.58	ดี
2.5 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร	5	3	3	3.67	1.15	ดี
			รวม	4.19	0.69	ดี
3. การใช้ภาพประกอบและสื่อประสมบนบทเรียนคอมพิวเตอร์						
3.1 ความเหมาะสมของรูปภาพและกราฟิก	4	4	4	4.00	0.00	ดี
3.2 ความเหมาะสมของการนำเสนอรูปภาพและภาพกราฟิก	4	4	3	3.67	0.58	ดี
			รวม	3.83	0.29	ดี
			รวม 3 ด้าน	4.08	0.41	ดี

จากตารางที่ ฉ. 1 ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ คุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อการทบทวนอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.08

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.41 รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.33 มี 6 รายการ ได้แก่ (1.1) ความเหมาะสมในการจัดวางองค์ประกอบของหน้าจอ (1.3) การเข้าออกบทเรียนมีความสะดวก (2.1) ความเหมาะสมของรูปแบบการนำเสนอ (2.2) ความเหมาะสมด้านการสื่อความหมาย (2.3) ความเหมาะสมของรูปแบบตัวอักษร (2.4) ความเหมาะสมของสีตัวอักษร รายการที่มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.00 มี 2 รายการ ได้แก่ (1.2) ความเหมาะสมของเทคนิคการนำเสนอ (3.1) ความเหมาะสมของรูปภาพและกราฟิก ส่วนรายการที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.67 มี 2 รายการ ได้แก่ (2.5) ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร (3.2) ความเหมาะสมของการนำเสนอรูปภาพและภาพกราฟิก

ภาคผนวก ช

ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของ
ผลลัพธ์ของบทเรียน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ
เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ
จำแนกตามรายข้อ

ตารางที่ ช.1 ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียน วิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟจำแนกตามรายข้อ

ข้อที่	ค่าความยากง่าย (p)	ค่าอำนาจจำแนก (r)
1	0.50	0.20
2	0.60	0.13
3	0.60	0.40
4	0.30	0.20
5	0.63	0.47
6	0.47	0.27
7	0.27	0.13
8	0.43	0.33
9	0.43	0.20
10	0.27	0.27
11	0.17	0.20
12	0.53	0.27
13	0.40	0.40
14	0.37	0.20
15	0.23	0.47
16	0.30	0.20
17	0.40	0.00
18	0.63	0.20
19	0.17	0.07
20	0.37	0.33

จากตารางที่ ช.1 พบว่าแบบทดสอบวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของบทเรียนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.17-0.63 ค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.00-0.47

ภาคผนวก ซ

คะแนนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ระหว่างเรียนและหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ตารางที่ ซ.1 คะแนนวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟ เรื่องสายอากาศในย่านความถี่ไมโครเวฟ ระหว่างเรียนและหลังเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

คนที่	ระหว่างเรียน คะแนนเต็ม 20 คะแนน	หลังเรียน คะแนนเต็ม 20 คะแนน
1	17	14
2	16	13
3	17	16
4	17	15
5	18	14
6	18	15
7	18	14
8	13	17
9	17	17
10	18	16
11	15	16
12	17	16
13	15	17
14	17	17
15	14	16
16	17	18
17	18	18
18	17	17
19	17	17
20	16	18

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวอรทัย กลางณรงค์
วัน-เดือน-ปีเกิด	2 ตุลาคม 2523
สถานที่เกิด	จ. สุราษฎร์ธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 89/110 หมู่ 9 ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2545 สำเร็จการศึกษา หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์) บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง