บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-LEARNING ON DIGITAL SIGNAL PROCESSING FOR BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION PROGRAM OF KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ภัทราวุธ จันทร์เล็ก

PATTARAWUT CHANLEK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2662-8

บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์
วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-LEARNING ON DIGITAL SIGNAL PROCESSING
FOR BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION PROGRAM
OF KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ภัทราวุธ จันทร์เล็ก

PATTARAWUT CHANLEK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2662-8

E-LEARNING ON DIGITAL SIGNAL PROCESSING FOR BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION PROGRAM OF KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PATTARAWUT CHANLEK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN IDUSTRIAL EDUCATION IN ELECTRICAL
COMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2006

ISBN 974-15-2662-8

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
นักศึกษา	นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก
รหัสนักศึกษา	44064624
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สุรสิทธิ์ ราตรี
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ. กิติพงค์ มะโน

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข โดยตั้งสมมติฐานไว้ว่า บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่พัฒนาขึ้นมามีคุณภาพอยู่ในระดับดี และสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 : 80/80

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 2 ประจำปีการศึกษา 2548 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 36 คน

คุณภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข จากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาทั้ง 3 ท่าน พบว่ามีคุณภาพเท่ากับ 4.44 ซึ่งถือว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับ ดี และจากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิด้านสื่อการเรียนการสอนทั้ง 3 ท่าน พบว่ามีคุณภาพเท่ากับ 3.87 ซึ่งถือว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับ ดี ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้

ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.87/87.15 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 : 80/80

Thesis Title	E-learning on digital signal processing for Bachelor of science in Industrial Education program of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
Student	Mr. Pattarawut Chanlek
Student ID.	44064624
Degree	Master of Science in Industrial Education
Programme	Electrical Communications Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Surasit Rathee
Thesis Co-Advisor	Assist. Prof. Kitipong Mano

ABSTRACT

This research aimed to develop and find the efficiency of E-learning on digital signal processing. It was hypothesis that the E-learning on digital signal processing had possession of a good quality level. And the E-learning on digital signal processing was expected to achieve an efficiency of E1/E2 : 80/80.

The target group in research was the 36 second-year students who enroll in the digital signal processing subject for Bachelor of Science in Industrial Education, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, in the second semester of 2005.

The quality for E-learning on digital signal processing from the experts in content had 4.44 and the quality from the experts in media construction had 3.87, both had good quality.

The result of E-learning on digital signal processing subject for the Bachelor of Science in Industrial Education, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang showed the efficiency of 86.87/87.15.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ผศ.ดร. สุรสิทธิ์ ราตรี, ผศ. กิติพงค์ มะโน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยาพนธ์ร่วม ผศ. ดร. ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา และ ผศ.วรวิทย์ สมหา ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสี่ท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้คอยให้กำลังใจ และคำแนะนำต่างๆแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมที่ให้ความช่วยเหลือ ในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภัทราวุธ จันทร์เล็ก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย 3

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข 6

2.2 เนื้อหาในหน่วยที่ 5 เรื่อง วงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด และหน่วยที่ 6 เรื่อง วงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด 8

2.3 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ 35

2.4 ขั้นตอนการออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ 51

2.5 การประเมินบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ 55

2.6 เทคโนโลยีบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ กับการใช้งานในสถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 65

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 69

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 72
3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 72
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 72
3.3 การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล 85
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 85

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 88
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินคุณภาพ 88
4.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา
หลังการเรียนกับก่อนการเรียน 91

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 92
5.1 สรุปผลการวิจัย 92
5.2 การอภิปรายผลการวิจัย 96
5.3 ข้อเสนอแนะ 96

บรรณานุกรม 98

ภาคผนวก ก. หนังสือราชการ 100
ภาคผนวก ข. แบบประเมินด้านด้านเนื้อหา และเทคนิคการผลิตสื่อ 107
ภาคผนวก ค. ความสอดคล้องของแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม 128
ภาคผนวก ง. แบบฝึกหัดท้ายบทเรียนในบทเรียนที่ 5 และ 6 137
ภาคผนวก จ. ตัวอย่างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์
วิชาการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล 149

ประวัติผู้เขียน 162

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การแปลงความถี่ของตัวกรองอนาลอก 19

2.2 การแปลงความถี่ของตัวกรองดิจิตอล 20

2.3 ความแตกต่างระหว่างการสอนในชั้นเรียนปรกติและการสอนบนเว็บ 47

4.1 ผลการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา 89

4.2 ผลการประเมินคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทาง อิเล็กทรอนิกส์วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์ อุตสาหกรรมบัณฑิตสถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ 90

4.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 91

ค1 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมโดย ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา 129

ค2 ผลการหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก 131

ค3 ค่าความแปรปรวนของแบบทดสอบ 133

ค4 ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ 135

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ความสัมพันธ์ของระบบอนาลอกและระบบดิจิตอล 10

2.2การส่งถ่ายจากระนาบเอสไปยังระนาบแซด 11

2.3 การส่งถายจากระนาบเอสไปยังระนาบแซดโดยกำหนดให้ $z = e^{sT}$ 13

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ω และ ω เมื่อทำการแปลง Bilinear 17

2.5 ผลตอบสนองที่เป็นสมมาตรคี่ของตัวกรองแบบเฟสเชิงเส้น 22

2.6 ผลตอบสนองที่เป็นสมมาตรคู่ของตัวกรองแบบเฟสเชิงเส้น 23

2.7 ผลตอบสนองที่เป็นปฏิสมมาตรแบบคี่ของตัวกรองแบบเฟสเชิงเส้น 26

2.8 ผลตอบสนองที่เป็นปฏิสมมาตรแบบคู่ของตัวกรองแบบเฟสเชิงเส้น 26

2.9 ผลตอบสนองทางความถี่ในอุดมคติของตัวกรองชนิดกรองผ่านความถี่ต่ำ 27

2.10 ผลตอบสนองทางความถี่ในอุดมคติของตัวกรองชนิดกรองผ่านความถี่สูง 28

2.11 ผลตอบสนองทางความถี่ในอุดมคติของตัวกรองชนิดกรองผ่านแถบความถี่ 29

2.12 ผลตอบสนองทางความถี่ในอุดมคติของตัวกรองชนิดตัดแถบความถี่ 30

2.13 ผลตอบสนองทางแอมปลิจูดของหน้าต่างสี่เหลี่ยม 31

2.14 ผลตอบสนองตัวกรองทางด้านความถี่ในทางปฏิบัติ 31

2.15 หน้าต่างแบบ Hann และผลตอบสนองทางความถี่เทียบกับหน้าต่างสี่เหลี่ยม 32

2.16 หน้าต่างแบบ Hamming ที่ $M = 11$ และผลตอบสนองทางความถี่เทียบกับ
หน้าต่างสี่เหลี่ยม 33

2.17 หน้าต่างแบบ Blackman ที่ $M = 11$ และผลตอบสนองทางความถี่ 34

3.1 แสดงขั้นตอนการสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ 78

3.2 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 84

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้จัดให้มีการเรียนการสอนในรายวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (Digital Signal Processing) โดยเนื้อหาในการเรียนการสอนจะเป็นทฤษฎี การคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์สัญญาณที่มีความต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง รวมถึงการออกแบบวงจรกรองสัญญาณสัญญาณดิจิตอล จึงเป็นสิ่งที่ทำความเข้าใจได้ยาก ถ้าฟังแต่คำบรรยาย หรืออ่านตามเอกสารต่างๆ และเนื่องจากเป็นวิชาที่มีการคำนวณเป็นหลัก เมื่อเรียนไปนานๆ ก็จะมีความรู้สึกน่าเบื่อไม่อยากเรียน รวมถึงในการออกแบบวงจรกรองสัญญาณดิจิตอล นั้นจำเป็นต้องมีการสืบค้นข้อมูล เพื่อให้มีความรู้เพิ่มเติมจากการพัฒนาของเทคโนโลยี

สื่อการเรียนการสอนนั้นมีอยู่มากมายหลายแบบ ไม่ว่าจะเป็น หนังสือ/เอกสาร แผ่นใส วีดีทัศน์ เป็นต้น แต่สื่อที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง คือสื่อการเรียนการสอนประเภทคอมพิวเตอร์ เนื่องจากเป็นสื่อที่มีปฏิสัมพันธ์ (Interactive) กับผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนมีความสนุกสนานไม่รู้สึกเบื่อ ในบางครั้งอาจมีการเพิ่มภาพเคลื่อนไหว เสียงเข้าไปก็จะยิ่งเป็นที่น่าสนใจมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นผลดีกว่าการใช้สื่อหนังสือ หรือเอกสารต่างๆ

การพัฒนาการเทคโนโลยีต่างๆ เป็นไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดความพยายามในการนำเทคโนโลยีต่างๆ เหล่านั้นเข้ามาประยุกต์ใช้ในการศึกษา เพื่อให้การศึกษามีคุณภาพและมีประสิทธิภาพมากขึ้น บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือ E-learning ก็เป็นแนวความคิดหนึ่งในการประยุกต์เทคโนโลยีเข้ากับการศึกษา

บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการศึกษาเรียนรู้ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์อินเทอร์เน็ต (Internet) หรืออินทราเน็ต (Intranet) ซึ่งใช้การนำเสนอด้วยตัวอักษร ภาพนิ่ง ผสมผสานกับการใช้ภาพเคลื่อนไหว วีดีทัศน์ และเสียง โดยใช้ความสามารถของเว็บ ในการถ่ายทอดเนื้อหา และยังเป็นโครงข่ายที่มีการรวบรวมแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่สามารถสืบค้นข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และไม่จำกัด เมื่อนำมารวมกับระบบบริหารการจัดการรายวิชา (Learning Management System: LMS) ที่บริหารจัดการระหว่างผู้เรียนกับบทเรียน การทดสอบ และการติดตามพฤติกรรมผู้เรียน ทำให้ผู้สอนสามารถประเมินผู้เรียน และเข้าใจขีดความสามารถของผู้เรียนได้อย่างถูกต้อง

จากปัญหาในการเรียนวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข และความสามารถในการนำเสนอเนื้อหา การสืบค้นข้อมูล และระบบบริหารจัดการเรียนการสอนของ E-learning ผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะพัฒนาบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต เพื่อเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพในการเรียนการสอนให้กับนักศึกษาและผู้สอน และสนองตอบต่อแนวความคิดในการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง คือนักศึกษาต้องเรียนรู้จากวิธีการ และสื่อที่หลากหลาย ในทุกเวลา และสถานที่ ตามความถนัดของตนเอง

บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นนี้ ผู้วิจัยจะพัฒนาและหาประสิทธิภาพใน 2 หน่วยการสอนของ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข จากทั้งหมด 6 หน่วยการเรียนการสอน คือหน่วยที่ 5 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด และหน่วยที่ 6 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด โดยสาเหตุที่เลือก 2 หน่วยการเรียนการสอนดังกล่าวมาพัฒนาและหาประสิทธิภาพ เนื่องจาก เป็นหน่วยที่มีความสำคัญในด้านเนื้อหา ที่เน้นในด้านของการนำความรู้จากการเรียนในทฤษฎีตั้งแต่ต้น มาทำการประยุกต์เพื่อออกแบบวงจรกรองความถี่ดิจิตอล ผู้วิจัยเห็นว่ามีความจำเป็นที่ต้องให้ผู้เรียนสามารถที่จะทบทวนบทเรียนได้ตลอดเวลา และเพื่อเป็นการเพิ่มช่องทางการสืบค้นข้อมูลเพื่อเพิ่มความรู้และตัวอย่างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการนำวงกรองความถี่ดิจิตอลมาเป็นส่วนประกอบ เพื่อเป็นแรงบันดาลใจในการนำความรู้มาประยุกต์ใช้งาน จึงได้นำมาพัฒนาและหาประสิทธิภาพ

ดังนั้น 2 หน่วยการสอนที่กล่าวมาจึงมีความสำคัญที่จะต้องใช้การสอนแบบ E-learning เข้าช่วยสนับสนุนผู้สอนในการเรียนการสอนเพิ่มเติมจากในเวลาเรียนปกติ เพื่อพัฒนาผู้เรียนและสามารถที่จะกลับมาทบทวนบทเรียนได้ตลอดเวลา อันจะนำไปสู่ประสิทธิภาพที่ดีในการทำงานเกี่ยวกับการออกแบบวงกรองสัญญาณ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้มีคุณภาพ

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระ-จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดี

1.3.2 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ได้อย่างมีประสิทธิภาพ E1/E2 : 80/80

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

การสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ผู้วิจัยได้นำกรอบแนวคิดของ Alessi and Trollip ที่มีอยู่ 7 ขั้น (อ้างใน ถนอมพร เลาหจรัสแสง. 2541:29–39) ทางผู้วิจัยนำมาใช้อยู่ 4 ขั้นตอน และขั้นตอนที่ 5 ของ อรพันธ์ ประสิทธิรัตน์. (2530:80-84) มาดัดแปลงใช้ในการสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเตรียม (Preparation)
ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการออกแบบบทเรียน (Design instruction)
ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการสร้าง/เขียน โปรแกรม (Program lesson)
ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการประเมินและแก้ไขบทเรียน (Evaluate and revise)
ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพ (Efficiency)

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร คือ นักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2548 จำนวน 80 คน

2. กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชั้นปีที่ 2/2548 ที่กำลังศึกษาในวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (Digital Signal Processing) จำนวน 36 คน ที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างง่าย

1.5.2 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์

ขอบเขตของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข มีรายละเอียดดังนี้

1. เนื้อหาวิชา บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่สร้างขึ้นจะครอบคลุมเนื้อหาวิชา 6 หน่วยการสอนในวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข รหัสวิชา 03366008 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ต่อเนื่อง 2 ปี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. หน่วยการสอนที่นำมาหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข คือ

หน่วยที่ 5 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด

5.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด

5.2 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดยการประมาณค่าผลต่าง

5.3 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดย Impulse Invariance

5.4 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดยการแปลง Bilinear Transform

หน่วยที่ 6 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด

6.1 ความเป็นเชิงเส้นของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด

6.2 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัดโดยอนุกรมฟูเรียร์

6.3 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัดโดยหน้าต่าง

6.4 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัดโดยการสุ่มความถี่

1.5.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Learning: E-learning) หมายถึง ลักษณะของการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยผู้เรียนจะเรียนผ่านคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผู้เรียนสามารถเรียนเวลาใดก็ได้ สถานที่ใดก็ได้

ขึ้นอยู่กับความพร้อมของผู้เรียน และผู้เรียนยังสามารถ สื่อสาร สนทนา อภิปราย กับผู้สอนและผู้เรียนด้วยกันเอง นอกจากนี้ยังมีระบบบริหารจัดการเรียนการสอน เก็บข้อมูลของผู้เรียน

1.6.2 ระบบบริหารจัดการเรียนการสอน (Learning Management System: LMS) หมายถึง ระบบที่คอยช่วยในการจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวกับผู้เรียน การบริหารจัดการบทเรียน ทั้งในด้านของเนื้อหาวิชา และแบบทดสอบ ระบบก็สามารถเก็บคะแนนและติดตามผลการเรียนของผู้เรียน รวมถึงพฤติกรรมของผู้เรียนด้วย

1.6.4 แบบประเมินคุณภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ หมายถึง แบบประเมินที่สร้างขึ้นสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ โดยใช้สำหรับสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับคุณภาพบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ แบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา และแบบประเมินคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

1.6.5 ผู้ทรงคุณวุฒิ หมายถึง ผู้ที่มีความรู้ และมีความเชี่ยวชาญ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านเนื้อหาในวิชาการประมวลสัญญาณเชิงเลข และด้านเทคนิคการผลิตสื่อ โดยในแต่ละด้านจะมีผู้ทรงคุณวุฒิด้านละ 3 คน เพื่อประเมินคุณภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

1.6.6 ประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ หมายถึง ผลการเรียนรู้ของนักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ชั้นปีที่ 2 จากการเรียนเนื้อหาในบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ซึ่งไม่ต่ำกว่า E1/E2 : 80/80

E1 หรือ 80 ตัวแรก หมายถึง ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของผลการเรียนรู้ของนักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ที่ได้เรียนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข แล้วทำแบบทดสอบท้ายบทเรียนแต่ละหน่วยเรียน

E2 หรือ 80 ตัวหลัง หมายถึง ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของผลการเรียนรู้ของนักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ที่ได้เรียนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข แล้วทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังจากเรียนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ครบทุกหน่วย

1.6.7 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คะแนนที่ผู้เรียนได้จากการทำแบบทดสอบหลังจากที่เรียนเนื้อหาวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข จากบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยสรุปเป็นประเด็นต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

2.2 เนื้อหาในหน่วยที่ 5 เรื่อง วงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด และหน่วยที่ 6 เรื่อง วงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด

2.3 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

2.4 ขั้นตอนการออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

2.5 การประเมินบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

2.6 เทคโนโลยีบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ กับการใช้งานในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

2.1.1 สังเขปรายวิชา

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง การสุ่มสัญญาณที่มีคาบเวลาอย่างต่อเนื่อง แซ็ด ทรานส์ฟอร์ม และอินเวิร์ดแซ็ดทรานส์ฟอร์ม การตอบสนองความถี่ ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มแบบไม่ต่อเนื่อง การออกแบบวงจรกรองสัญญาณดิจิตอลในทางปฏิบัติ

2.1.2 วัตถุประสงค์ทั่วไป

1. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้เกี่ยวกับระบบสัญญาณต่อเนื่องและสัญญาณไม่ต่อเนื่อง
2. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้เกี่ยวกับระบบการสุ่มสัญญาณ
3. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ในการแปลงฟูเรียร์แบบสัญญาณต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง
4. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้ในการแปลงแซ็ด
5. เพื่อให้นักศึกษามีความรู้เกี่ยวกับวงจรกรองความถี่แบบเชิงเลข

2.1.3 หน่วยการสอน

หน่วยที่ 1 บทนำ

1.1 สัญญาณระบบและการประมวลผลสัญญาณ

1.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของการประมวลผลสัญญาณ

1.3 ข้อดีของระบบดิจิตอล

1.4 การจำแนกชนิดของสัญญาณ

1.5 หลักการสุ่มสัญญาณ

หน่วยที่ 2 สัญญาณ Discrete และระบบ

2.1 ตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอล

2.2 รูปแบบของสัญญาณ Discrete

2.3 ระบบที่เป็นเชิงเส้น

2.4 ผลตอบสนองของระบบต่อสัญญาณหนึ่งหน่วย

2.5 ระบบ Time-Invariance

2.6 ระบบ Causal

2.7 ระบบที่มีเสถียรภาพ

หน่วยที่ 3 การวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนของความถี่

3.1 การแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณต่อเนื่อง

3.2 การแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณ Discrete

3.3 Discrete Fourier Transform

3.4 Fast Fourier Transform

หน่วยที่ 4 การแปลงแซ็ด

4.1 นิยามของการแปลงแซ็ด

4.2 คุณสมบัติของการแปลงแซ็ด

4.3 การแปลงกลับแซ็ด

4.4 ทรานส์เฟอร์ฟังค์ชั่นของวงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล

4.5 โครงสร้างของตัวกรองความถี่แบบไม่ป้อนกลับ

4.6 โครงสร้างของตัวกรองความถี่แบบป้อนกลับ

4.7 การเขียนโครงสร้างของตัวกรองความถี่จากทรานส์เฟอร์ฟังค์ชั่น

4.8 การเขียนทรานส์เฟอร์ฟังค์ชั่นจากโครงสร้างของตัวกรองความถี่

4.9 การต่อวงจรกรองความถี่แบบ Cascade และแบบ Paralell

หน่วยที่ 5 วงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด

5.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด

5.2 การออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดยใช้วิธีการ Impulse invariant

5.3 การออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดยใช้วิธีการ Bilinear transform

หน่วยที่ 6 วงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด

6.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด

6.2 การออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัดโดยใช้วิธีการฟูเรียร์ซีรี่ส์

6.3 การออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัดโดยใช้วิธีการสุ่มความถี่

2.2 เนื้อหาในหน่วยที่ 5 เรื่อง วงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด และหน่วยที่ 6 เรื่อง วงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด

2.2.1 โครงสร้างและคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด

ตัวกรองดิจิตอลแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด จะสร้างได้จากตัวกรองอนาลอก ในขบวนการออกแบบเราจะกำหนดฟังก์ชั่นถ่ายโอน H(s) ของตัวกรองอนาลอก แล้วทำการเปลี่ยนไปเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองดิจิตอล หรือ H(z) และฟังก์ชันระบบ (System function) ตัวกรองอนาลอกสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$H(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{\sum_{k=0}^{M} \beta_k s^k}{\sum_{k=0}^{N} \alpha_k s^k} \qquad (2.1)$$

โดยที่ α_k และ β_k คือสำประสิทธิ์ของตัวกรอง หรือผลตอบสนองอิมพัลส์ และจะมีความสัมพันธ์กับการแปลงลาปลาซ ดังนี้

$$H(s) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-st} \qquad (2.2)$$

และจากสมการที่ (2.1) เราสามารถอธิบายเป็นสมการผลต่างแบบเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\sum_{k=0}^{N} \alpha_k \frac{d_k y(t)}{dt^k} = \sum_{k=0}^{M} \beta_k \frac{d^k x(t)}{dt^k} \qquad (2.3)$$

โดยที่ x(t) คือสัญญาณอินพุท และ y(t) คือสัญญาณเอาท์พุท

ในการแปลงคุณสมบัติในระนาบเอส หรือ H(s) ให้ไปเป็นระนาบแซดหรือ H(z) มีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

1. ที่แกน jΩ ในระนาบเอสจะถูกส่งถ่ายไปที่เส้นรอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

2. พื้นที่ทั้งหมดทางด้านซ้ายมือในระนาบเอส จะถูกส่งถ่ายให้ไปอยู่ภายในพื้นที่ของวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

2.2.1.1 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดยการประมาณค่าผลต่าง

วิธีการพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อนในการเปลี่ยนตัวกรองอนาลอกเป็นตัวกรองดิจิตอล ซึ่งจะทำการประมาณค่าของสมการผลต่างในสมการที่ (2.3) โดยเมื่อพิจารณาจาก dy(t)/dt เมื่อทำการแทน t = nT จะได้

$$\left.\frac{dy(t)}{dt}\right|_{t=nT} = \frac{y(n) - y(n-1)}{T} \qquad (2.4)$$

โดยที่ T คือช่วงระยะเวลาในการสุ่ม และ y(n) = y(nT) ระบบอนาลอกที่มีสัญญาณเอาท์พุทเป็น dy(t)/dt ดังนั้นฟังก์ชันระบบ คือ H(s) = s นั่นคือระบบดิจิตอลจะสร้างสัญญาณเอาท์พุทเป็น y(n)– y(n – 1)/T และมีฟังก์ชันระบบ คือ $H(z) = 1–z^{-1}/T$ ซึ่งความสัมพันธ์แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 และความสัมพันธ์ระหว่างโดเมนความถี่อนาลอกและความถี่ดิจิตอล คือ

$$s = \frac{1 - z^{-1}}{T} \qquad (2.5)$$

และสมการผลต่างกำลังสองจะได้ดังต่อไปนี้

$$\left.\frac{d^2y(t)}{dt^2}\right|_{t=nT} = \frac{y(n) - 2y(n-1) + y(n-2)}{T} \qquad (2.6)$$

และในโดเมนของความถี่จะได้ดังนี้

$$s = \frac{1 - 2z^{-1} + z^2}{T^2} = \left(\frac{1 - z^{-1}}{T}\right)^2 \tag{2.7}$$

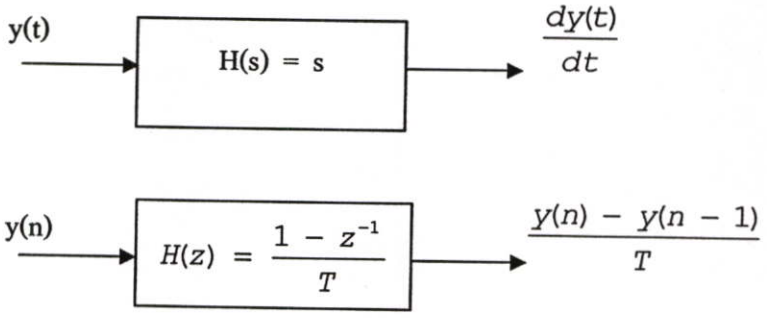
จากรูปแบบในสมการที่ (2.7) ที่ลำดับ k ของสมการผลต่างเราจะได้

$$s^k = \left(\frac{1 - z^{-1}}{T}\right)^k \tag{2.8}$$

ดังนั้นฟังก์ชันระบบของตัวกรองดิจิตอลแบบ วงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด คือผลที่ได้จากการประมาณค่าของสมการผลต่าง คือ

$$H(z) = H(s)\Big|_{s=(1-z^{-1})/T} \tag{2.9}$$

โดยที่ H(s) คือฟังก์ชันระบบของตัวกรองอนาลอกที่ถูกกำหนดโดยสมการผลต่างจากสมการที่ (2.3) และจากสมการที่ (2.5) เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างระนาบเอสและระนาบแซดดังนี้

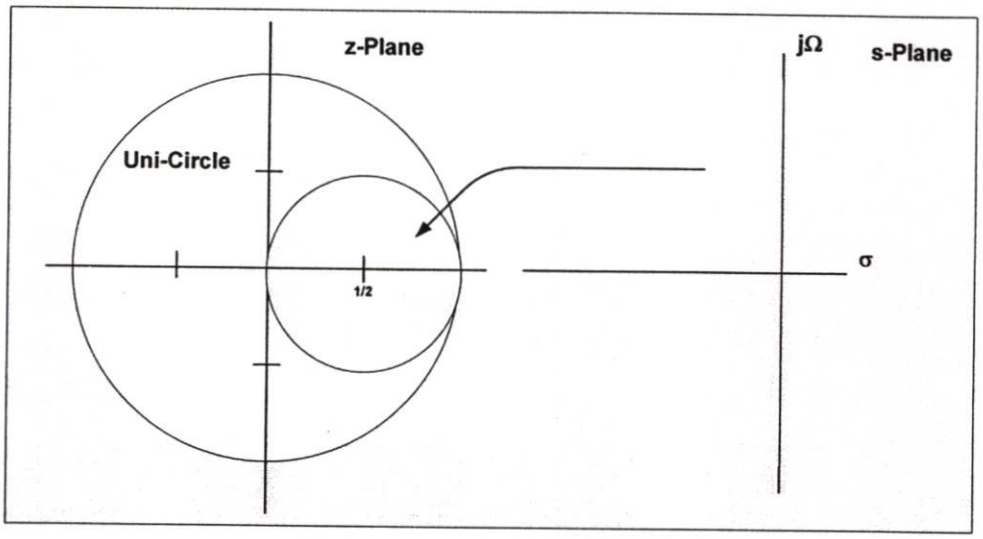


รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของระบบอนาลอกและระบบดิจิตอล

$$z = \frac{1}{1 - sT} \tag{2.10}$$

เมื่อเราแทน s = jΩ ในสมการที่ (2.10) จะได้

$$z = \frac{1}{1-\Omega^2T^2} + j\frac{\Omega T}{1+\Omega^2T^2} \tag{2.11}$$



รูปที่ 2.2 การส่งถ่ายจากระนาบเอสไปยังระนาบแซด

จากสมการที่ (2.11) ถ้ากำหนดให้ Ω มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ -∞ จนถึง ∞ ในระนาบแซดจะเกิดวงกลมรัศมี ½ โดยมีจุดศูนย์กลางที่ ½ ดังรูปที่ 2.2 โดยจะสังเกตจากรูปได้ว่าทางซ้ายมือในระนาบเอสจะถูกส่งถ่ายให้ไปอยู่ในวงกลมที่มีรัศมีหนึ่งหน่วยในระนาบแซด และทางขวามือในระนาบเอสจะส่งถ่ายไปอยู่นอกวงกลมของระนาบแซด นั่นหมายถึงตัวกรองอนาลอกที่มีเสถียรภาพซึ่งตำแหน่งของโพลทั้งหมดจะปรากฏอยู่ทางซ้ายมือในระนาบเอส จะต้องส่งไปที่ระนาบแซดให้อยู่ภายในวงกลมรัศมีหนึ่งซึ่งจะได้ตัวกรองดิจิตอลที่มีเสถียรภาพเช่นกัน

2.2.1.2 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดย Impulse invariant

การออกแบบตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด โดยวิธีการ Impulse invariant จะออกแบบจากผลตอบสนอง h(n) ซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างจากผลตอบสนองของตัวกรองอนาลอก h(t) และเมื่อพิจารณาจากสัญญาณ x(t) เราจะได้ Spectrum ของสัญญาณ คือ X(F) และถ้าเราสุ่มสัญญาณที่ $F_S = 1/T$ Spectrum ของสัญญาณจะถูกสเกลโดย F_S คือ $F_SX(F)$ และมีคาบเท่ากับ F_S ดังนี้

$$X(f) = F_S \sum_{k=-\infty}^{\infty} X[(f - k)F_S] \tag{2.12}$$

โดยที่ $f = F/F_S$ เป็นความถี่ที่ถูกทำการ Normalized และการ Alising จะเกิดขึ้นเมื่อความถี่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ F_S มีค่าน้อยกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดที่ปรากฏใน X(F)

ถ้ากำหนดให้ h(t) คือผลตอบสนองของตัวกรองอนาลอกดังนั้น Spectrum จะได้เป็น H(F) เมื่อทำการสุ่มผลตอบสนองจะได้ h(n) = h(nT) และ Spectrum จะได้ดังนี้

$$H(\Omega T) = \frac{1}{T}\sum_{k=-\infty}^{\infty} H\left(\Omega - \frac{2\pi k}{T}\right) \tag{2.13}$$

การส่งถ่ายไปมาระหว่างจุดในระนาบแซดและระนาบเอสของวิธีการ Impulse invariant จะอาศัยขบวนการสุ่ม (Sampling process) และจากสมการที่ (2.13) จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการแปลงแซด h(n) และการแปลงลาปลาซ h(t) ดังนี้

$$H(z)\Big|_{z=e^{ST}} = \frac{1}{T}\sum_{k=-\infty}^{\infty} H\left(s - j\frac{2\pi k}{T}\right) \tag{2.14}$$

โดยที่

$$H(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h(n)z^{-n}$$

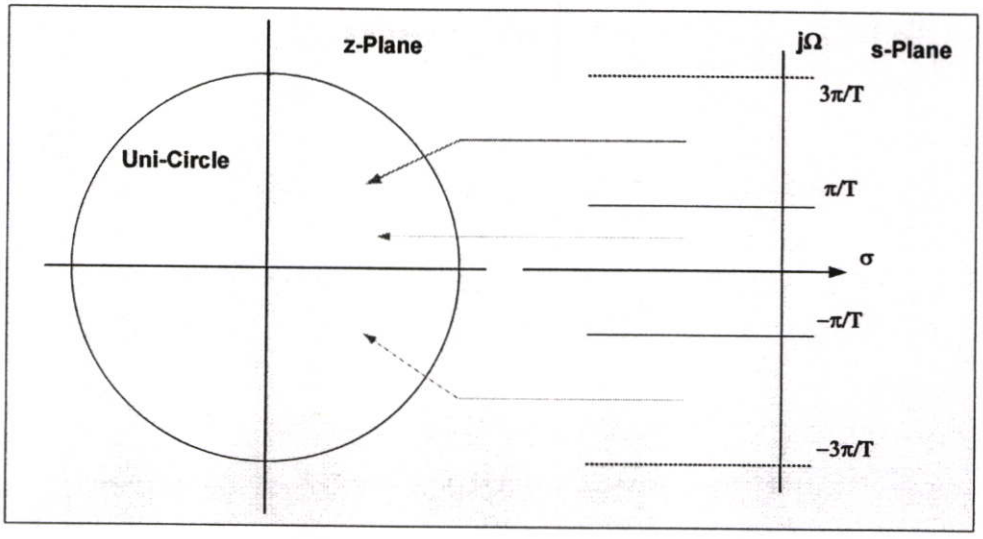
$$H(z)\Big|_{z=e^{ST}} = \sum_{n=0}^{\infty} h(n)z^{-snT} \tag{2.15}$$

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการเคลื่อนย้ายจุดไปมาระหว่างระนาบเอสและระนาบแซด เราจะได้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$e = e^{sT} \tag{2.16}$$

ถ้าหากเราทำการแทน $s = \sigma + j\Omega$ และ z สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Polar form คือ $z = re^{j\omega}$ ซึ่งจะได้เป็น

$$re^{j\omega} = e^{\sigma T}e^{j\Omega T} \; ; r = e^{\sigma T} \; ; \omega = \Omega T \tag{2.17}$$



รูปที่ 2.3 การส่งถ่ายจากระนาบเอสไปยังระนาบแซดโดยกำหนดให้ $z = e^{sT}$

จากสมการที่ (2.17) ที่แกนจริงถ้ากำหนดให้ $\sigma<0$ เราจะได้ $0<r<1$ และถ้ากำหนดให้ $\sigma>1$ เราจะได้ $r>1$ นั่นหมายถึงด้านซ้ายมือของระนาบเอสจะถูกส่งให้ไปอยู่ในวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด และด้านขวามือในระนาบเอสจะถูกส่งไปที่นอกวงกลมในระนาบแซด และที่แกนจินตภาพ การส่งถ่ายไปที่ระนาบแซดจะไม่สามารถกระทำได้โดยตรง เนื่องจากค่าความถี่ในทางอนาลอกจะเริ่มต้นตั้งแต่ศูนย์ไปจนถึงอนันต์ แต่ค่าความถี่ของระบบดิจิตอลจะเริ่มที่ศูนย์ไปจนถึง π เท่านั้น ดังนั้นที่ค่าของ ω อยู่ในช่วงระหว่าง $-\pi$ ถึง π จะสามารถส่งถ่ายค่าความถี่จากระนาบเอสในช่วง $-\pi/T\leq\Omega\leq\pi/T$ ไปยังระนาบแซดในช่วง $-\pi\leq\omega\leq\pi$ และเช่นกันในช่วงของความถี่ระหว่าง $\pi/T\leq\Omega\leq3\pi/T$ จะถูกส่งไปในระนาบแซดในช่วง $-\pi\leq\omega\leq\pi$ ซึ่งสรุปได้ว่าช่วงความถี่ $(2k-1)\pi/T\leq\Omega\leq(2k+1)\pi/T$ จะถูกส่งไปในระนาบแซดในช่วง $-\pi\leq\omega\leq\pi$ และจะทำให้เกิด Aliasing นั่นคือความสัมพันธ์ของระนาบเอสและระนาบแซดที่ได้จากสมการที่ (2.16)

ในขบวนการของการออกแบบตัวกรองดิจิตอลโดยวิธีการ Impulse invariant เมื่อเราพิจารณาฟังก์ชันระบบของของตัวกรองอนาลอกที่เขียนให้อยู่ในรูปแบบของ Partial fraction ตำแหน่งของโพลของตัวกรองจะได้ดังนี้

$$H(s) = \sum_{k=1}^{N} \frac{C_k}{s - p_k} \tag{2.18}$$

โดยที่ p_k คือโพลของตัวกรองอนาลอก และ c_k คือสัมประสิทธิ์ Partial fraction เมื่อทำการแปลงกลับลาปลาซจะได้

$$h(t) = \sum_{k=1}^{N} c_k e^{p_k 1} \quad ; t \geq 0 \tag{2.19}$$

ทำการสุ่มฟังก์ชัน h(t) โดย t = nT จะได้

$$h(n) = \sum_{k=1}^{N} c_k e^{p_k nT} \tag{2.20}$$

ดังนั้นฟังก์ชันระบบของตัวกรองดิจิตอล จึงเกิดจากการนำเอาผลตอบสนองของตัวกรองจากสมการที่ (2.20) ไปผ่านการแปลงแซด

$$H(z) = \sum_{k=1}^{N} c_k \sum_{n=0}^{\infty} \left(e^{p_k T} z^{-1}\right) n$$

ดังนั้นจะได้ฟังก์ชันระบบของตัวกรองดิจิตอลดังนี้

$$H(z) = \sum_{k=1}^{N} \frac{C_k}{1 - e^{p_k T} z^{-1}} \tag{2.21}$$

และมีตำแหน่งของโพลอยู่ที่

$$z_k = e^{pkT} \quad ; k = 0, 1, 2, \ldots, N \tag{2.22}$$

2.2.1.3 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดยการแปลง Bilinear transform

การออกแบบตัวกรองดิจิตอลแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด โดยการแปลง Bilinear (Bilinear transform) โดยที่แกนจินตภาพในระนาบเอสจะถูกเปลี่ยนให้ไปอยู่ที่เส้นขอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด และทางฝั่งซ้ายมือในระนาบเอสจะถูกส่งถ่ายไปภายในพื้นที่วงกลม และทางฝั่งขวามือในระนาบเอสจะถูกส่งไปที่พื้นที่นอกวงกลมในระนาบแซด ซึ่งเมื่อเราพิจารณาฟังก์ชันระบบของตัวกรองอนาลอก

$$H(s) = \frac{b}{s + a} \tag{2.23}$$

ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการผลต่างได้ดังนี้

$$\frac{dy(t)}{dt} + ay(t) = bx(t) \tag{2.24}$$

ถ้าเราทำการอินทริเกรตสมการผลต่าง และประมาณค่าการอินทิกัล โดยหลักการ Trapezoidal จะได้

$$y(t) = \int_{t_0}^{t} y'(\tau)d\tau + y(t_0) \tag{2.25}$$

โดยที่ y'(t) คือผลต่างสืบเนื่องจาก y(t) จากสมการที่ (2.25) การประมาณค่าการอินทริกัล โดยใช้หลักการ Trapezoidal ที่ $t = nT$ และ $t_0 = nT-T$ จะได้

$$y(nT) = \frac{T}{2}[y'(nT) + y'(nT-T)] + y(nT-T) \tag{2.26}$$

และจากสมการที่ (2.24) เมื่อทำการแทน $t = nT$ จะได้

$$y'(nT) = -ay'(nT) + bx(nT) \tag{2.27}$$

เมื่อเราแทนสมการที่ (2.27) ลงในสมการที่ (2.26) เราจะได้สมการผลต่างสำหรับระบบ Discrete ที่ $y(n) \equiv y(nT)$ และ $x(n) = x(nT)$ ดังนี้

$$\left(1+\frac{aT}{2}\right)y(n) - \left(1-\frac{aT}{2}\right)y(n-1) = \frac{bT}{2}[x(n) + x(n-1)] \tag{2.28}$$

เมื่อผ่านการแปลงแซดจะได้

$$\left(1 + \frac{aT}{2}\right)Y(z) - \left(1 - \frac{aT}{2}\right)z^{-1}Y(z) = \frac{bT}{2}[1 + z^{-1}]X(z)$$

ดังนั้นฟังก์ชันระบบของตัวกรองดิจิตอลจะได้เป็น

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{(bT / 2)(1 + z^{-1})}{1 + aT / 2 - (1 - aT / 2)z^{-1}}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ (2.24) จะได้

$$H(z) = \frac{b}{\frac{2}{T}\left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right) + a} \tag{2.29}$$

ดังนั้นการส่งถ่ายจากระนาบเอสไปยังระนาบแซดจะได้

$$s = \frac{2}{T}\left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right) \tag{2.30}$$

ซึ่งเราเรียกว่าการแปลง Bilinear และถ้าหากเราพิจารณาคุณสมบัติของการแปลง Bilinear เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเอสและแซดดังนี้

$$z = re^{j\omega} \; ; s = \sigma + j\Omega$$

และจากสมการที่ (2.30)

$$s = \frac{2}{T}\left(\frac{r^2 - 1}{1 + r^2 + 2r\cos\omega} + j\frac{2r\sin\omega}{1 + r^2 + 2r\cos\omega}\right)$$

ดังนั้นจะได้

$$\sigma = \frac{2}{T}\frac{r^2 - 1}{1 + r^2 + 2r\cos\omega} \tag{2.31}$$

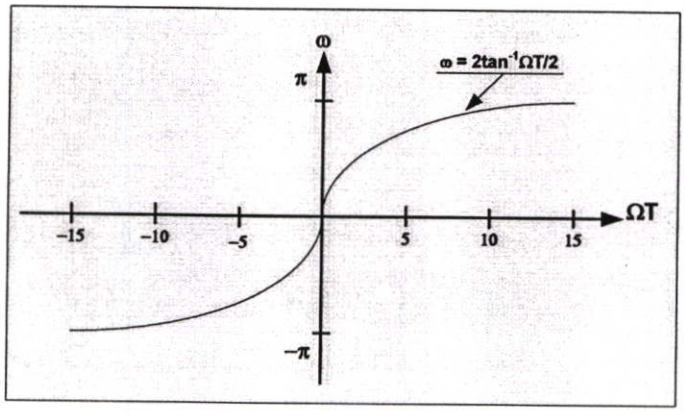
$$\Omega = \frac{2}{T}j\frac{2r\sin\omega}{1 + r^2 + 2r\cos\omega} \tag{2.32}$$

ถ้าเรากำหนดให้ r<1 พร้อมกับ $\sigma<0$ นั่นคือพื้นที่ทางด้านซ้ายมือในระนาบเอสจะถูกส่งไปภายในวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด ในทางกลับกันถ้าเรากำหนดให้ r>1 พร้อมกับ $\sigma>0$ นั่นคือพื้นที่ทางด้านขวามือในระนาบเอสจะถูกส่งไปภายนอกวงกลมในระนาบแซด และเมื่อ r = 1 พร้อมกับ $\sigma = 0$ เราจะได้

$$\Omega = \frac{2}{T}\frac{\sin\omega}{1+\cos\omega} = \frac{2}{T}\tan\frac{\omega}{2} \tag{2.33}$$

$$\omega = 2\tan^{-1}\frac{\Omega T}{2} \tag{2.34}$$

ความสัมพันธ์ของตัวแปรความถี่ระหว่าง Ω และ ω จากสมการที่ (2.34) แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 นั่นคือย่านความถี่อนาลอก Ω ที่เปลี่ยนตั้งแต่ $-\infty$ ไปจนถึง ∞ จะเปลี่ยนไปเป็นความถี่ดิจิตอล ω ซึ่งมีย่านอยู่ระหว่าง $-\pi$ ไปจนถึง π โดยรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงจะมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเรียกได้อีกอย่างว่าการบีบอัดความถี่ (Frequency compression) หรือ Frequency warping



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ω และ ω เมื่อทำการแปลง Bilinear

2.2.1.4 การแปลงความถี่ (Frequency transformation)

การแปลงความถี่กระทำได้ 2 วิธีการหลักๆ คือ

1. การแปลงความถี่ในอนาลอกโดเมน

เมื่อพิจารณาการแปลงความถี่ในอนาลอกโดเมน โดยสมมุติให้ตัวกรองแบบอนาลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านมีความถี่ตัด (Cutoff frequency) อยู่ที่ Ω_p และเราต้องการเปลี่ยนความถี่ตัดให้ไปเป็น Ω'_p ดังนั้นผลของการแปลงความถี่จะได้ดังนี้

$$s = \frac{\Omega_p}{\Omega'_p} s \qquad \text{(Lowpass to Lowpass)} \qquad (2.35)$$

ถ้าหากเราต้องการแปลงตัวกรองชนิดกรองความถี่สูงผ่าน โดยมีความถี่ตัดที่ Ω'_p การแปลงความถี่จะได้ดังนี้

$$s = \frac{\Omega_p \Omega'_p}{s} \qquad \text{(Lowpass to Highpass)} \qquad (2.36)$$

การแปลงตัวกรองชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านที่มีความถี่ตัดที่ Ω_c ไปเป็นตัวกรองชนิดกรองแถบความถี่ผ่านจะประกอบไปด้วยความถี่ตัดทางด้านความถี่ต่ำ (Lower cutoff frequency) Ω_l และความถี่ตัดทางด้านความถี่สูง (Upper cutoff frequency) Ω_u กระทำได้โดยการแปลงตัวกรองชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านให้มีความถี่ตัดที่ $\Omega'_p = 1$ แล้วทำการแปลงดังต่อไปนี้

$$s = \frac{s^2 + \Omega_l \Omega_u}{s(\Omega_u - \Omega_l)} \qquad \text{(Lowpass to Bandpass)} \qquad (2.37)$$

หรือสามารถกระทำให้เสร็จในขั้นตอนเดียวดังนี้

$$s = \Omega_p \frac{s^2 + \Omega_l \Omega_u}{s(\Omega_u - \Omega_l)} \qquad \text{(Lowpass to Bandpass)} \qquad (2.38)$$

โดยที่ Ω_l คือ ความถี่ตัดทางด้านความถี่ต่ำ

Ω_u คือ ความถี่ตัดทางด้านความถี่สูง

และสุดท้ายคือการแปลงตัวกรองชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านที่ความถี่ตัด Ω_p ไปเป็นตัวกรองชนิดตัดแถบความถี่กระทำได้โดยการแปลงกลับตัวกรองชนิดกรองแถบความถี่ผ่าน จากสมการที่ (2.38) ซึ่งจะได้ดังนี้

$$s = \Omega_p \frac{s(\Omega_u - \Omega_l)}{s^2 + \Omega_l\Omega_u} \quad \text{(Lowpass to Banstop)} \tag{2.39}$$

และจากที่กล่าวมาทั้งหมดสรุปได้

ตารางที่ 2.1 การแปลงความถี่ของตัวกรองอนาลอก

ชนิดของการแปลง	การแปลง	ความตัดของตัวกรองตัวใหม่
Lowpass	$s = \frac{\Omega_p}{\Omega'_p} s$	Ω'_p
Highpass	$s = \frac{\Omega_p\Omega'_p}{s}$	Ω'_p
Banspass	$s = \Omega_p \frac{s^2 + \Omega_l\Omega_u}{s(\Omega_u - \Omega_l)}$	Ω_l, Ω_u
Bandstop	$s = \Omega_p \frac{s(\Omega_u - \Omega_l)}{s^2 + \Omega_l\Omega_u}$	Ω_l, Ω_u

2. การแปลงความถี่ในดิจิตอลโดเมน

ในระบบดิจิตอลสามารถแปลงตัวกรองดิจิตอลชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านให้ไปเป็นตัวกรองดิจิตอลชนิดอื่นๆ ได้ ในการแปลงจะกระทำได้โดยการแทนที่ตัวแปร z^{-1} ด้วยฟังก์ชัน $g(z^{-1})$ ซึ่งมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

1. การแทนที่ z^{-1} ด้วยฟังก์ชัน $g(z^{-1})$ จะต้องทำการถ่ายโอนภายในวงกลมรัศมีหนึ่งด้วยตัวของมันเองในระนาบแซด

2. ที่วงกลมรัศมีหนึ่งจะต้องถูกส่งถ่ายด้วยตัวเอง

และจากข้อกำหนดทั้งสองเราสามารถสรุปการแปลงความถี่ จากตัวกรองดิจิตอลชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านให้เป็นตัวกรองดิจิตอลชนิดอื่นๆ ได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การแปลงความถี่ของตัวกรองดิจิตอล

ชนิดของการแปลง	การแปลง	Parameter
Lowpass	$z = \dfrac{z^{-1} - a}{1 - az^{-1}}$	$a = \dfrac{\sin[(\omega_p - \omega'_p)/2]}{\sin[(\omega_p + \omega'_p)/2]}$ ω'_p = Cutoff frequency of new filter
Highpass	$z = \dfrac{z^{-1} + a}{1 + az^{-1}}$	$a = -\dfrac{\cos[(\omega_p - \omega'_p)/2]}{\cos[(\omega_p + \omega'_p)/2]}$ ω'_p = Cutoff frequency of new filter
Bandspass	$z = -\dfrac{z^{-2} - a_1 z^{-1} + a_2}{a_2 z^{-2} - a_1 z^{-1} + 1}$	$a_1 = -2\alpha k/(k+1)$ $a_2 = (k-1)/(k+1)$ $\alpha = -\dfrac{\cos[(\omega_u + \omega_l)/2]}{\cos[(\omega_u - \omega_l)/2]}$ $k = \cot\dfrac{\omega_u - \omega_l}{2}\tan\dfrac{\omega_c}{2}$ ω_l = Lower cutoff frequency ω_u = Upper cutoff frequency
Bandstop	$z = \dfrac{z^{-2} - a_1 z^{-1} + a_2}{a_2 z^{-2} - a_1 z^{-1} + 1}$	$a_1 = -2\alpha k/(k+1)$ $a_2 = (1-k)/(1+k)$ $\alpha = -\dfrac{\cos[(\omega_u + \omega_l)/2]}{\cos[(\omega_u - \omega_l)/2]}$ $k = \cot\dfrac{\omega_u - \omega_l}{2}\tan\dfrac{\omega_c}{2}$ ω_l = Lower cutoff frequency ω_u = Upper cutoff frequency

2.2.2 ตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด

2.2.2.1 ความเป็นเชิงเส้นของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด

เราสามารถออกแบบตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด ให้มีผลตอบสนองทางเฟสที่เป็นเชิงเส้นได้ ดังนั้นตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านนี้อย่างกว้างขวาง และตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด ที่มีขนาด M ซึ่งมีผลตอบสนองทางด้านความถี่ดังนี้

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{k=0}^{M-1} b_k e^{-j\omega k} \tag{2.40}$$

โดยที่ b_k คือสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง ซึ่งจะเป็นค่าเดียวกันกับ Unit sample response ของตัวกรองคือ

$$h(n) = \begin{cases} b_n & ; 0 \leq n \leq M-1 \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.41}$$

และเป็นที่ทราบกันดีในการกำหนดขนาดของตัวกรองเราจะแทนด้วย M ซึ่งตัวกรองที่มีผลตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้นจะต้องมี Unit sample response ที่เป็นสมมาตร (Symmtric) และปฏิสมมาตร (Antisymetric) ในที่นี้เราจะทำการพิจารณาถึงเงื่อนไขความสมมาตรทั้งสองรูปแบบ

1. เงื่อนไขความสมมาตร

$$h(n) = h(M-1-n) \tag{2.42}$$

เมื่อเราพิจารณาค่าของ M ที่เป็นคู่และเป็นคี่ โดยอันดับแรกกำหนดให้ค่าของ M เป็นเลขคี่สมมุติให้ M = 5 เงื่อนไขของความสมมาตรคือ h(0) = h(4), h(1) = h(3) และ h(2) จะไม่มีคู่ ดังนั้นผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองอยู่ที่ h(2) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 และมีผลตอบสนองทางด้านความถี่คือ

$$H(e^{j\omega}) = e^{-j2\omega}\left[h(2) + 2h(0)\cos 2\omega + 2h(1)\cos\omega\right] \tag{2.43}$$

จากสมการที่ (2.43) ผลตอบสนองทางขนาดจะมีส่วนประกอบที่เป็นค่าจริงอย่างเดียว ดังนั้นผลตอบสนองทางขนาดที่ได้คือ

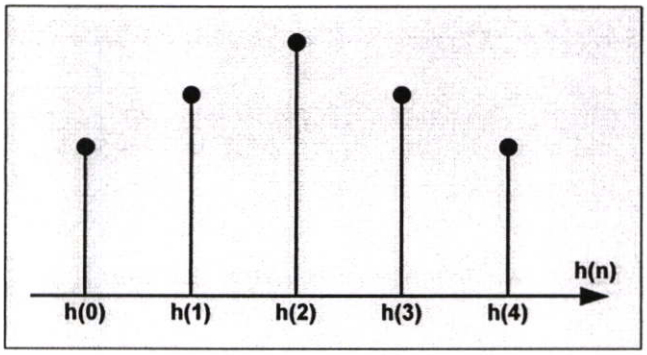
$$\left| H(e^{j\omega}) \right| = \left| H_r(e^{j\omega}) \right| \tag{2.44}$$

ผลตอบสนองทางเฟสจะได้ดังนี้คือ

$$\arg\left[H\left(e^{j\omega}\right)\right] = \tan^{-1}\frac{\sin(2\omega)}{\cos(2\omega)}$$

$$= \begin{cases} -2\omega & ; H_r(e^{j\omega}) > 0 \\ -2\omega + \pi & ; H_r(e^{j\omega}) < 0 \end{cases} \tag{2.45}$$

จากสมการที่ (2.45) ผลตอบสนองทางเฟส $\arg\lfloor H(e^{j\omega})\rfloor$ จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรความถี่ ω เมื่อ $H_r(e^{j\omega})$ เปลี่ยนเป็นค่าบวกหรือลบจะมีผลทำให้ผลตอบสนองทางเฟสมีการเปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ π เรเดียน ซึ่งเราเรียกว่าการกระโดดของเฟส (Phase jump) และเราจะไม่สนใจผลตอบสนองทางเฟสที่เกิดในช่วงความถี่ตัด (Stop band)



รูปที่ 2.5 ผลตอบสนองที่เป็นสมมาตรคี่ของตัวกรองแบบเฟสเชิงเส้น

ในกรณีของ M เป็นเลขคู่ ในที่นี้ได้สมมุติให้ M = 4 เงื่อนไขความสมมาตรจะได้เป็น h(0) = h(3), h(1) = h(2) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 ในกรณีนี้เราจะได้ผลตอบสนองทางขนาดคือ

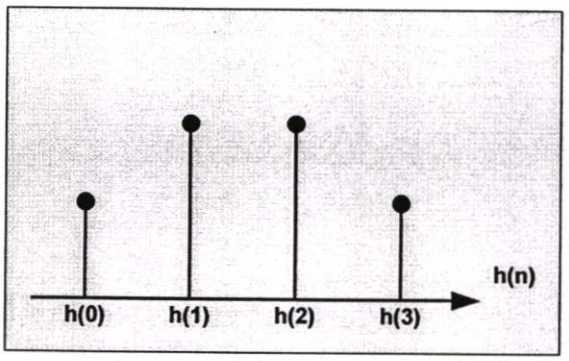
$$H(e^{j\omega}) = e^{-j3\omega/2}\left[\, 2h(0)\cos(3\omega/2) + 2h(1)\cos(\omega/2)\right] \qquad (2.46)$$

จากสมการที่ (2.46) ผลตอบสนองทางความถี่ที่ได้มีส่วนประกอบของค่าจริงเพียงอย่างเดียวซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$H(e^{j\omega}) = H_r(e^{j\omega})\, e^{-j3\omega/2}$$

ผลตอบสนองทางขนาดคือ

$$\left| H(e^{j\omega}) \right| = \left| H_r(e^{j\omega}) \right|$$



รูปที่ 2.6 ผลตอบสนองที่เป็นสมมาตรคู่ของตัวกรองแบบเฟสเชิงเส้น

ผลตอบสนองทางเฟสคือ

$$\arg\left[H(e^{j\omega}) \right] = \begin{cases} \dfrac{-3\omega}{2} & ; H_r(e^{j\omega}) > 0 \\ \dfrac{-3\omega}{2} + \pi & ; H_r(e^{j\omega}) < 0 \end{cases}$$

เช่นเดียวกันกับกรณีที่ M เป็นเลขคี่ ผลตอบสนองทางเฟสจะมีการเปลี่ยนแปลงไป π เรเดียน เมื่อผลตอบสนองทางความถี่ $H_r(e^{j\omega})$ มีการเปลี่ยนเครื่องหมาย และจากสองกรณีที่กล่าวมาแล้วนี้ ผลตอบสนอทางความถี่ของตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัดที่มีขนาดความยาว M สรุปได้ดังต่อไปนี้

$$(e^{j\omega}) \quad = \quad H_r(e^{j\omega})\, e^{-j\omega (M-1)/2} \tag{2.47}$$

ในกรณีที่ M เป็นคี่จะได้

$$H_r(e^{j\omega}) = h\left(\frac{M-1}{2}\right) + 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\cos\omega\left(\frac{M-1}{2} - n\right) \tag{2.48}$$

ในกรณีที่ M เป็นคู่จะได้

$$H_r(e^{j\omega}) = 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\cos\omega\left(\frac{M-1}{2} - n\right) \tag{2.49}$$

ผลตอบสนองทางเฟสที่ได้จะเหมือนกันคือ

$$\arg\left[\, H(e^{j\omega})\,\right] \quad = \quad \begin{cases} -\omega\left(\dfrac{M-1}{2}\right) & ;\, H_r(e^{j\omega}) > 0 \\ -\omega\left(\dfrac{M-1}{2}\right) + \pi & ;\, H_r(e^{j\omega}) < 0 \end{cases} \tag{2.50}$$

2. เงื่อนไขปฏิสมมาตร

$$h(n) \quad = -\, h\,(M-1-n) \tag{2.51}$$

ในกรณีนี้ Unit sample response มีความเป็นปฏิสมมาตร (Antisymmetric) เมื่อค่าของ M เป็นคี่ที่จุดกลางของ Unit sample response h(n) คือ

$$h\left(\frac{M-1}{2}\right) - 0$$

ในกรณีสมมุติให้ M = 5 เราจะได้ h(0) = -h(4), h(1) = -h(3), h(2) = 0 และถ้า M เป็นคู่ h(n) จะจับคู่กันลงตัวและมีเครื่องหมายที่ตรงกันข้าม และผลตอบสนองทางด้านความถี่ของตัวกรองแบบ วงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด ที่มีผลตอบสนองเป็นแบบปฏิสมมาตรคือ

$$H(e^{j\omega}) = H_r(e^{j\omega})\, e^{j[-\omega(M-1)/2+\pi/2]} \tag{2.52}$$

ในกรณีที่ M เป็นคี่จะได้

$$H_r(e^{j\omega}) = 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\sin\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right) \tag{2.53}$$

ในกรณีที่ M เป็นคู่จะได้

$$H_r(e^{j\omega}) = 2\sum_{n=0}^{(M/2)-1} h(n)\sin\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right) \tag{5.54}$$

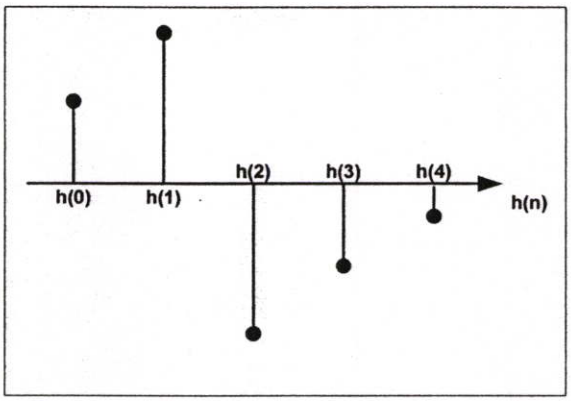
ผลตอบสนองทางเฟสที่ได้จะเหมือนกันคือ

$$\arg\left[H(e^{j\omega})\right] = \begin{cases} \dfrac{\pi}{2}-\omega\left(\dfrac{M-1}{2}\right) & ; H_r(e^{j\omega})>0 \\ \dfrac{3\pi}{2}-\omega\left(\dfrac{M-1}{2}\right) & ; H_r(e^{j\omega})<0 \end{cases} \tag{2.55}$$

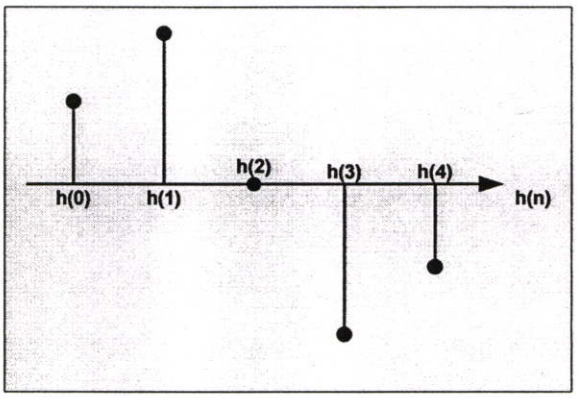
จากที่กล่าวมาเป็นผลตอบสนองทางความถี่และเฟสโดยทั่วไป ที่ใช้ในการออกแบบตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด ทั้งที่มีผลตอบสนองทางด้านเวลาแบบสมมาตรและแบบปฏิสมมาตร และจำนวนสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแบบสมมาตรจะได้เป็น (M+1)/2 เมื่อ M เป็นเลขคี่ และจะได้เป็น M/2 เมื่อ M เป็นเลขคู่ ซึ่งจะสังเกตได้จากสมการที่ (2.48) และสมการที่ (2.49) ตามลำดับและแสดงเป็นรูปได้ดังรูปที่ 2.7 ในกรณีของผลตอบสนองของตัวกรองเป็นแบบปฏิสมมาตรเราจะได้

$$h\left(\frac{M-1}{2}\right) = 0$$

ในกรณีของ M เป็นเลขคี่คือ (M–1)/2 และในกรณีที่ M เป็นเลขคู่คือ M/2 นั่นคือสมการที่ (2.52) และสมการที่ (2.43) และแสดงเป็นรูปได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 ผลตอบสนองที่เป็นปฏิสมมาตรแบบคี่ของตัวกรองแบบเฟสเชิงเส้น



รูปที่ 2.8 ผลตอบสนองที่เป็นปฏิสมมาตรแบบคู่ของตัวกรองแบบเฟสเชิงเส้น

2.2.2.2 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัดโดยอนุกรมฟูเรียร์

ขั้นตอนการออกแบบ เราจะกำหนดคุณสมบัติของตัวกรองอุดมคติในโดเมนความถี่ และในที่นี้เราจะเขียนแทนด้วย $H_d(e^{j\omega})$ หลังจากนั้นเราจะหาผลตอบสนองในโดเมนเวลาหรือ $h_d(n)$ โดยใช้ความสัมพันธ์ของการแปลงฟูเรียร์ และการแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณ Discreete คือ

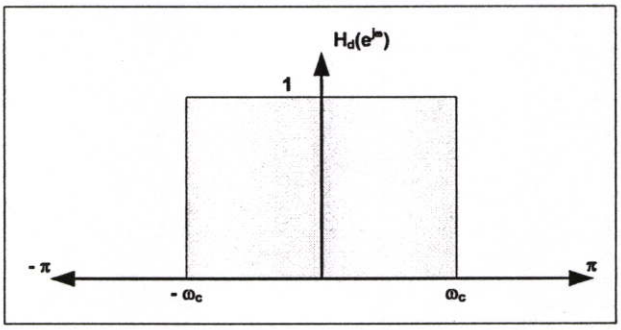
$$H_d(e^{j\omega}) = 2\sum_{n=-\infty}^{\infty} h_d(n)\, e^{-j\omega n} \qquad (2.56)$$

และการแปลงกลับฟูเรียร์เพื่อหาผลตอบสนองในโดเมนเวลาคือ

$$H_d(n) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} H_d(e^{j\omega})\, e^{j\omega n} d\omega \qquad (2.57)$$

1. ตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด ชนิดกรองผ่านความถี่ต่ำ

$$H_d(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1 & ; |\omega| \le \omega_c < \pi \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \qquad (2.58)$$



รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองทางความถี่ในอุดมคติของตัวกรองชนิดกรองผ่านความถี่ต่ำ

และจากสมการที่ (2.58) เราสามารถหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา ดังนี้

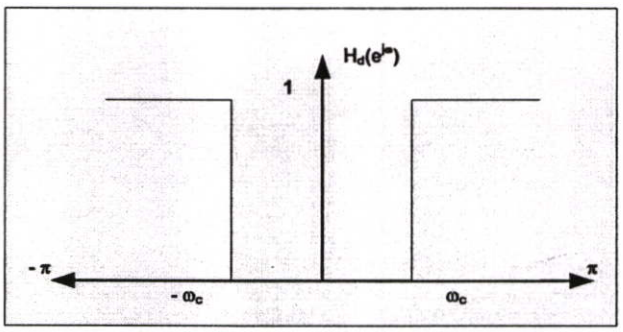
$$h_d(n) = \frac{\sin(\omega_c n)}{\pi n} \qquad ; n \neq 0 \qquad (2.59)$$

จากสมการที่ (2.59) ที่ n = 0 จะไม่สามารถหาค่าได้ และเราจะประยุกต์หลักการของโลปิตัล เพื่อหา h(n) ที่ n = 0 ดังนี้

$$h_d(0) = \frac{\omega_c}{\pi} \qquad (2.60)$$

2. ตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด ชนิดกรองผ่านความถี่สูง

$$H_d(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1 & ; \omega_c \le |\omega| \le \pi \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.61}$$



รูปที่ 2.10 ผลตอบสนองทางความถี่ในอุดมคติของตัวกรองชนิดกรองผ่านความถี่สูง

และจากสมการที่ (2.61) เราสามารถหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา ดังนี้

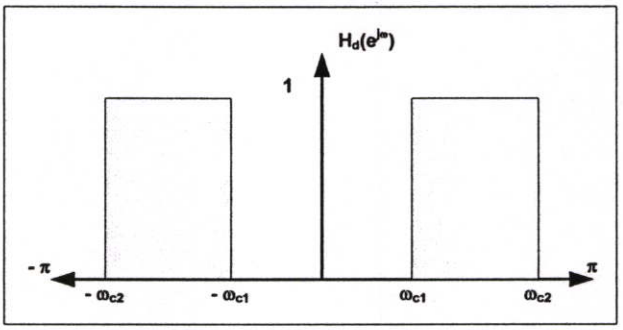
$$h_d(n) = \frac{e^{-j\omega_c n} - e^{-j\pi n}}{2\pi jn} + \frac{e^{j\pi n} - e^{j\omega_c n}}{2\pi jn} \tag{2.62}$$

$$h_d(n) = \frac{1}{\pi n}[\sin(\pi n) - \sin(\omega_c n)] \quad ; n \neq 0 \tag{2.63}$$

$$h_0(0) = 1 - \frac{\omega_c}{\pi} \tag{2.64}$$

3. ตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด ชนิดกรองผ่านแถบความถี่

$$H_d(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1 & ; \omega_{c1} \le |\omega| \le \omega_{c2} < \pi \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.65}$$



รูปที่ 2.11 ผลตอบสนองทางความถี่ในอุดมคติของตัวกรองชนิดกรองผ่านแถบความถี่

และจากสมการที่ (2.65) เราสามารถหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา ดังนี้

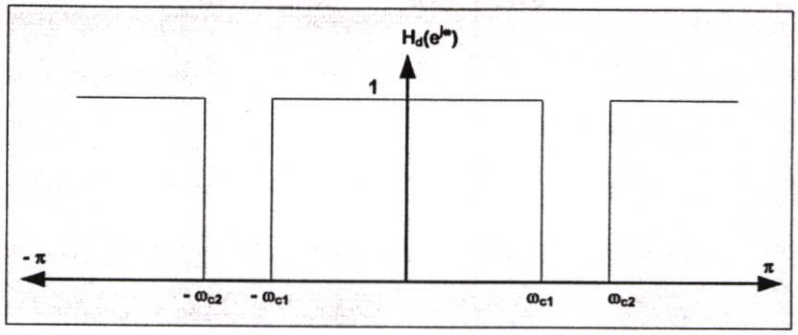
$$h_d(n) = \frac{e^{-j\omega_{c1}n} - e^{-j\omega_{c2}n}}{2\pi jn} + \frac{e^{j\omega_{c2}n} - e^{j\omega_{c1}n}}{2\pi jn} \tag{2.66}$$

$$h_d(n) = \frac{1}{\pi n}[\sin(\omega_{c2}n) - \sin(\omega_{c1}n)] \quad ; n \neq 0 \tag{2.67}$$

$$h_d(0) = \frac{1}{\pi}[\omega_{c2} - \omega_{c1}] \tag{2.68}$$

4. ตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด ชนิดตัดแถบความถี่

$$H_d(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1 & ; 0 \le |\omega| \le \omega_{c1}, \omega_{c2} \le |\omega| \le \pi \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.69}$$



รูปที่ 2.12 ผลตอบสนองทางความถี่ในอุดมคติของตัวกรองชนิดตัดแถบความถี่

และจากสมการที่ (2.69) เราสามารถหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา ดังนี้

$$h_d(n) = \frac{e^{-j\omega_{c2}n} - e^{-j\pi n}}{2\pi jn} + \frac{e^{j\omega_{c1}n} - e^{j\omega_{c1}n}}{2\pi jn} + \frac{e^{j\pi n} - e^{j\omega_{c2}n}}{2\pi jn} \tag{2.70}$$

$$h_d(n) = \frac{1}{\pi n}[\sin(\omega_{c1}n) - \sin(\omega_{c2}n) + \sin(\pi n)\ ] \quad ; n \neq 0 \tag{2.71}$$

$$h_d(0) = 1 - \omega_{c2} + \omega_{c1} \tag{2.72}$$

2.2.2.3 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัดโดยหน้าต่าง

1. หน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular windows)

นิยามโดยทั่วไปของหน้าต่างแบบสี่เหลี่ยมเขียนได้ดังนี้

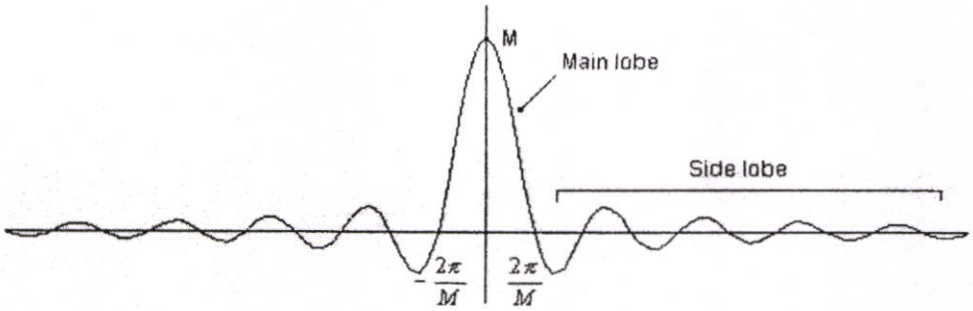
$$w_R(n) = \begin{cases} 1 & ; |n| \leq (M-1)/2 \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.73}$$

ผลตอบสนองของทางด้านความถี่ของหน้าต่างแบบสี่เหลี่ยมหาได้ดังนี้

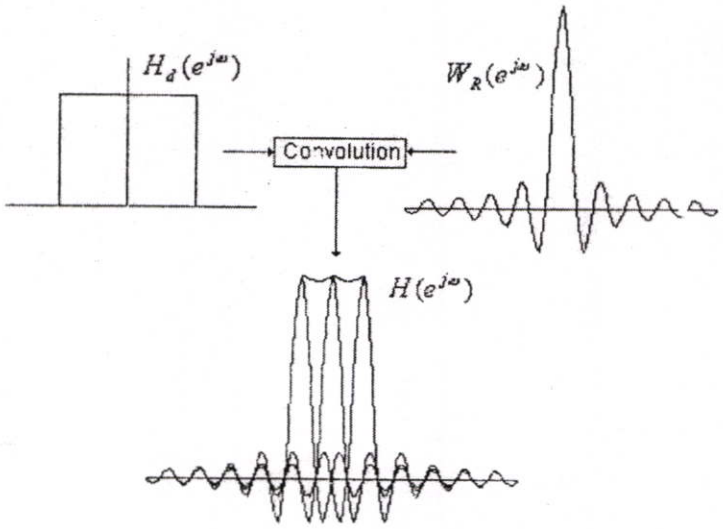
$$W_R(e^{j\omega}) = \sum_{n=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} e^{-j\omega nT}$$

$$= \frac{\sin(\omega MT/2)}{\sin(\omega T/2)} \tag{2.74}$$

จากสมการที่ (2.74) แสดงได้ดังรูปที่ 2.13 เมื่อพิจารณาจากรูปเราจะได้ ความกว้างของโหลบหลัก (Main lobe) มีความกว้างเท่ากับ $4\pi/M$ มีขนาดเป็น M ถ้าหากค่าของ M เพิ่มมากขึ้น ความกว้างของโหลบหลักจะลดลง แต่ขนาดของ M จะเพิ่มมากขึ้น ในส่วนของโหลบข้าง (Side lobe) จะมีการแกว่างผ่านจุดศูนย์ทุกค่าความถี่ $2\pi/M$ และมีค่าลดลงไป การออกแบบตัวกรองแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด โดยใช้อนุกรมฟูเรียร์ และทำการตัดปลายหรือจำกัดจำนวนสัมประสิทธิ์ ซึ่งเปรียบเสมือนการนำเอาหน้าต่างแบบสี่เหลี่ยมไปครอบ หรือกล่าวได้ว่านำผลตอบสนองของตัวกรองคูณอยู่กับหน้าต่างในโดเมนเวลา ดังนั้นในโดเมนความถี่จึงเปรียบเสมือนการคอนโวลูชัน ซึ่งแสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 2.14 และจะเห็นได้ว่าผลตอบสนองที่ได้ในโดเมนความถี่ของตังกรองจะไม่เหมือนกับผลตอบสนองในอุดมคติ



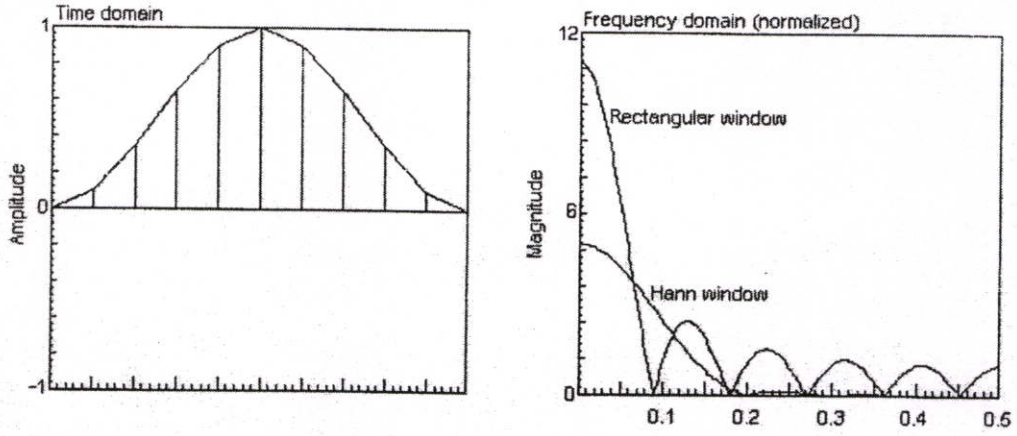
รูปที่ 2.13 ผลตอบสนองทางแอมปลิจูดของหน้าต่างสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.14 ผลตอบสนองตัวกรองทางด้านความถี่ในทางปฏิบัติ

2. หน้าต่างแบบ Hann (Hann windows)

$$w_H(n) = \begin{cases} \frac{1}{2}\left[1 + \cos\left(\frac{\pi n}{(M-1)/2}\right)\right] & ;|n| \le (M-1)/2 \\ 0 & ;\text{otherwise} \end{cases} \quad (2.75)$$



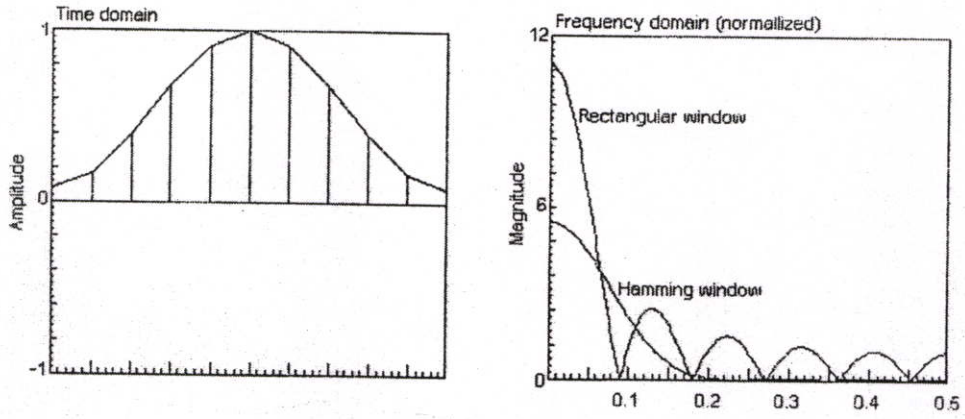
รูปที่ 2.15 หน้าต่างแบบ Hann และผลตอบสนองทางความถี่เทียบกับหน้าต่างสี่เหลี่ยม

ผลตอบสนองทางด้านเวลา และขนาดผลตอบสนองทางด้านความถี่ของหน้าต่างแบบ Hann โดยกำหนดให้ M = 11 แสดงได้ดังรูปที่ 2.15 จะสังเกตเห็นว่า ในส่วนของผลตอบสนองทางความถี่จะมีโหลบข้างที่ค่อนข้างเล็ก ซึ่งทำให้ตัวกรองมีผลตอบสนองในส่วนตัวแถบความถี่ต่ำกว่าหน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม โดยพลังงานในโหลบข้างถูกส่งถ่ายไปที่โหลบหลักได้เกือบทั้งหมด ความกว้างของโหลบหลักประมาณ $8\pi/M$ และมีการแกว่งทุกๆ $\omega = 4\pi/M$

3. หน้าต่างแบบ Hamming (Hamming windows)

$$w_{Hm}(n) = \begin{cases} 0.54 + 0.46\cos\left(\frac{\pi n}{(M-1)/2}\right) & ;|n| \le (M-1)/2 \\ 0 & ;\text{otherwise} \end{cases} \quad (2.76)$$

ผลตอบสนองทางเวลาและผลตอบสนองทางความถี่ โดยกำหนดให้ M = 11 เช่นเดียวกันกับหน้าต่างแบบ Hann ความกว้างของโหลบหลักประมาณ $8\pi/M$ และมีการแกว่งทุกๆ $\omega = 4\pi/M$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.16

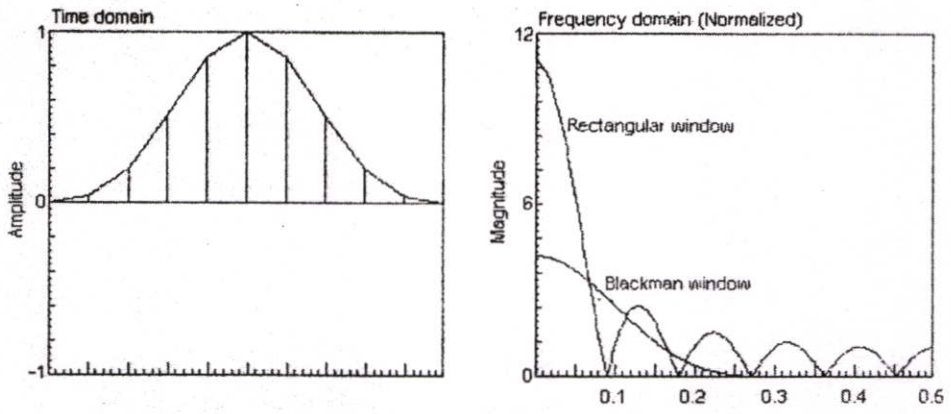


รูปที่ 2.16 หน้าต่างแบบ Hamming ที่ M = 11 และผลตอบสนองทางความถี่เทียบกับหน้าต่างสี่เหลี่ยม

4. หน้าต่างแบบ Blackman (Blackman windows)

$$w_B(n) = \begin{cases} 0.42 + 0.5\cos\left(\frac{\pi n}{(M-1)/2}\right) - 0.08\cos\left(\frac{\pi n}{(M-1)/2}\right); |n| \le (M-1)/2 \\ 0 \qquad\qquad ; \text{otherwise} \end{cases} \tag{2.77}$$

ผลตอบสนองทางเวลาและผลตอบสนองทางความถี่ โดยกำหนดให้ M = 11 ความกว้างของโหลบหลักประมาณ $12\pi/M$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 หน้าต่างแบบ Blackman ที่ M = 11 และผลตอบสนองทางความถี่

2.2.2.4 การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัดโดยการสุ่มความถี่

การออกแบบตัวกรองโดยการสุ่มความถี่เราจะกำหนดผลตอบสนองในโดเมนความถี่โดยกำหนดเป็นชุดของ DFT และการหาสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเรากระทำได้โดยการแปลงผกผัน DFT (IDFT) ถ้าเรากำหนดให้ผลตอบสนองความถี่ของตัวกรองเป็น $H_d(e^{j\omega})$ เมื่อทำการสุ่มจำนวน N จุดเราจะได้

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{N} \qquad ; k = 0, 1, \ldots, N-1$$

ดังนั้นการสุ่มผลตอบสนองความถี่ที่เราต้องการคือ

$$\tilde{H}(k) = H_d(e^{j\omega})\Big|_{\omega=\omega_k} \qquad ; k = 0, 1, \ldots, N-1 \tag{2.79}$$

$$H_d(e^{j2\pi k/N}) \qquad ; k = 0, 1, \ldots, N-1$$

การกำหนดสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง เราจะต้องทำการแปลงผกผัน DFT เพื่อหา h(n) ดังนั้นการแปลงผกผัน DFT กำหนดได้ดังนี้

$$h(n) = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} \tilde{H}(k) e^{j2\pi nk/N} \qquad ; n = 0, 1, \ldots, N-1 \tag{2.80}$$

จากสมการที่ (2.80) จะได้เป็น $\tilde{H}(N-k)\ e^{j2\pi n(N-k)/N}$ โดยที่ $2\pi n(N-k)/N = 2\pi n - 2\pi k/N$ คือ Complex conjugate ถ้าหาก $\tilde{H}(0)$ เป็นจำนวนจริง และในกรณีที่ N เป็นคี่เราจะได้

$$\tilde{H}(N-k) = \tilde{H}^{*}(k) \qquad ; k = 0, 1, \ldots, (N-1)/2 \tag{2.81}$$

ในกรณีที่ N เป็นคู่เราจะได้

$$\tilde{H}(N-k) = \tilde{H}^{*}(k) \qquad ; k = 0, 1, \ldots, N/2-1 \tag{2.82}$$
$$\tilde{H}(N/2) = 0$$

จากสมการที่ (2.78) และสมการที่ (2.81) เราสามารถหาสัมประสิทธิ์ของตัวกรองได้โดยการแปลงผกผัน DFT ในกรณีที่ N เป็นคี่ดังนี้

$$h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) + 2\sum_{k=1}^{(N-1)/2}\tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right] \tag{2.83}$$

และในกรณีที่ N เป็นคู่

$$h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) + 2\sum_{k=1}^{(N/2)-1}\tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right] \tag{2.84}$$

2.3 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

2.3.1 ความหมายของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ จะหมายถึง การเรียนในลักษณะใดก็ได้ ซึ่งใช้การถ่ายทอดเนื้อหาผ่าน ทางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ เครือข่ายอินเทอร์เน็ต อินทราเน็ต เอ็กซทราเน็ต หรือ ทางสัญญาณโทรทัศน์ หรือสัญญาณดาวเทียม (Satellite) ก็ได้ ซึ่งเนื้อหาสารสนเทศ อาจอยู่ในรูปแบบการเรียนที่เราคุ้นเคยกันมาพอสมควร เช่น คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer Assisted Instruction) การสอนบนเว็บ (Web-Based instruction) การเรียนออนไลน์ (On-line learning) การเรียนทางไกลผ่านดาวเทียม หรืออาจอยู่ในลักษณะที่ยังไม่ค่อยเป็นที่แพร่หลายนัก เช่น การเรียนจากวีดีทัศน์ตามอัธยาศัย (Video on-demand) สำหรับความหมายเฉพาะเจาะจงนั้น จะหมายเฉพาะถึง การเรียนเนื้อหาหรือสารสนเทศสำหรับการสอนหรือการอบรม ซึ่งใช้การนำเสนอด้วยตัวอักษร ภาพนิ่ง ผสมผสานกับการใช้ภาพเคลื่อนไหว วีดีทัศน์และเสียง โดย

อาศัยเทคโนโลยีของเว็บ (Web technology) ในการถ่ายทอดเนื้อหา รวมทั้งการใช้เทคโนโลยีระบบการจัดการงานสอนด้านต่าง ๆ เช่น การจัดให้มีเครื่องมือการสื่อสารต่าง ๆ เช่น w-mail , Web Board สำหรับตั้งคำถาม หรือแลกเปลี่ยนแนวคิดระหว่างผู้เรียนด้วยกัน หรือกับวิทยากร การจัดให้มีแบบทดสอบ หลังจากเรียนจบเพื่อวัดผลการเรียน รวมทั้งการจัดให้มีระบบบันทึก ติดตาม ตรวจสอบ และประเมินผลการเรียน โดยผู้เรียนที่เรียนจากบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์นี้ ส่วนใหญ่แล้วจะศึกษาเนื้อหาในลักษณะออนไลน์ ซึ่งหมายถึงจากเครื่องที่มีการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

2.3.2 องค์ประกอบของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

ในการออกแบบพัฒนาบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

2.3.2.1 เนื้อหา (Content)

เนื้อหาเป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุดสำหรับบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ คุณภาพของการเรียนการสอนโดยบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ และการที่ผู้เรียนจะบรรลุวัตถุประสงค์การเรียน สิ่งสำคัญที่สุดก็คือ เนื้อหาการเรียนซึ่งผู้สอนได้จัดหาให้แก่ผู้เรียนซึ่งผู้เรียนมีหน้าที่ในการใช้เวลาส่วนใหญ่ศึกษาเนื้อหาด้วยตนเอง เพื่อทำการปรับเปลี่ยน (Convert) เนื้อหาสารสนเทศที่ผู้สอนเตรียมไว้ให้เกิดเป็นความรู้ โดยผ่านการคิดค้น วิเคราะห์อย่างมีหลักการและเหตุผลด้วยตัวของผู้เรียนเอง

คำว่า "เนื้อหา" ในองค์ประกอบแรกของ บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์นี้ ไม่ได้จำกัดเฉพาะบทเรียนคอมพิวเตอร์ แต่ยังหมายถึงส่วนประกอบสำคัญอื่นๆ ที่บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นจะต้องมีเพื่อให้เนื้อหามีความสมบูรณ์ องค์ประกอบของเนื้อหาที่สำคัญได้แก่

1. โฮมเพจ หรือเว็บเพจแรกของเว็บไซต์

องค์ประกอบแรกของเนื้อหาได้แก่ โฮมเพจหรือเว็บเพจแรกของเว็บไซต์นั่นเอง ซึ่งการออกแบบโฮมเพจให้สวยงามและตามหลักการการออกแบบเว็บเพจ เพราะการออกแบบเว็บเพจที่ดีเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลให้ผู้เรียนมีความสนใจที่จะกลับมาเรียนมากขึ้น นอกจากความสวยงามแล้ว ในโฮมเพจยังคงต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่จำเป็น ดังนี้

1.1 คำประกาศ/คำแนะนำการเรียนทาง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยรวม ในที่นี้อาจยังไม่ใช่คำประกาศหรือคำแนะนำการเรียนที่เฉพาะเจาะจงสำหรับวิชาใดๆ เพราะผู้สอนจะสามารถไปกำหนดประกาศหรือคำแนะนำที่สำคัญต่างๆ ด้วยตนเองไว้ในส่วนของรายวิชาที่ตนรับผิดชอบ ซึ่งผู้เขียนจะได้อ่านข้อความหลังจากที่ผู้เรียนเข้าใช้ระบบ

และเลือกที่จะไปยังรายวิชานั้น ๆ แล้ว นอกจากนี้ในส่วนนี้ยังอาจเพิ่มข้อความทักทายต้อนรับผู้เรียนเข้าสู่การเรียนทาง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ได้ด้วย

1.2 ระบบสำหรับใส่ชื่อผู้เรียนและรหัสลับสำหรับการเข้าใช้ระบบ(Login) กล่องสำหรับการใส่ชื่อผู้เรียนและรหัสลับนี้ควรวางไว้ในส่วนบนของหน้าที่เห็นได้ชัดเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใช้ระบบของผู้เรียน

1.3 รายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรมที่จำเป็นสำหรับการเรียกดูเนื้อหาอย่างสมบูรณ์ควรมีการแจ้งให้ผู้เรียนทราบล่วงหน้าเกี่ยวกับโปรแกรมต่างๆ พร้อมทั้งสิ่งที่จำเป็น (Requirements) อื่นๆ เช่น การปรับคุณสมบัติหน้าจอเป็นต้น ที่ผู้ใช้ต้องทำในการเรียกดูเนื้อหาต่างๆ ได้

1.4 ชื่อหน่วยงาน และวิธีการติดต่อกับหน่วยงานที่รับผิดชอบควรมีการแสดงชื่อผู้รับผิดชอบ รวมทั้งวิธีการในการติดต่อกลับมายังผู้รับผิดชอบ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เข้าร่วมมาเรียนหรือเยี่ยมชมสามารถที่จะส่งข้อความคำติชม รวมทั้งผลป้อนกลับต่างๆ ที่อาจมีส่งมายังหน่วยงานที่รับผิดชอบได้

1.5 วันที่และเวลาที่ทำการปรับปรุงแก้ไขไซต์ล่าสุด ควรมีการแสดงวันที่และเวลาที่ทำการปรับปรุงแก้ไขเว็บไซต์ครั้งล่าสุด เพื่อประโยชน์สำหรับผู้เรียนในการอ้างอิง

1.6 เคาน์เตอร์เพื่อนับจำนวนผู้เรียนที่เข้ามาเรียน เคาน์เตอร์สำหรับการนับจำนวนผู้เข้ามาเยี่ยมชมไซต์เป็นองค์ประกอบที่ผู้ออกแบบสามารถที่จะเลือกใส่ไว้หรือไม่ก็ได้ แต่ข้อดีของการมีเคาน์เตอร์นอกจากจะช่วยผู้ออกแบบในการนับจำนวนผู้เข้ามาไซต์แล้ว ยังอาจช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนรู้สึกอยากที่จะกลับเข้ามาเรียนอีก หากมีผู้เรียนเข้ามาร่วมเรียนกันมากๆ

2. หน้าแสดงรายชื่อรายวิชา

หลังจากที่ผู้เรียนได้มีการเข้าสู่ระบบแล้ว ระบบจะแสดงชื่อรายวิชาทั้งหมดที่ผู้เรียนมีสิทธิ์เข้าเรียนในลักษณะของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

3. เว็บเพจแรกของแต่ละรายวิชา

3.1 คำประกาศ/คำแนะนำการเรียนทางบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ เฉพาะรายวิชานอกจากนี้ยังควรใส่ข้อความทักทายต้อนรับผู้เรียนเข้าสู่การเรียนในรายวิชาด้วย

3.2 รายชื่อผู้สอน ควรมีรายชื่อผู้สอนและรายละเอียดรวมทั้งวิธีการติดต่อผู้สอน เช่น email address ของผู้สอน โฮมเพจส่วนตัวของผู้สอน

3.3 รายชื่อผู้เรียน ควรมีรายชื่อผู้เรียนและรายละเอียดรวมทั้งวิธีการติดต่อผู้เรียน เช่น รหัสนิสิต/นักศึกษา Email address หรือ โฮมเพจส่วนตัวของผู้เรียน

3.4 ประมวลรายวิชา(Syllabus) ในที่นี้หมายถึงส่วนที่แสดงสังเขปรายวิชา มีคำอธิบายสั้นๆ เกี่ยวกับหน่วยการเรียน วิธีการเรียน วัตถุประสงค์ และเป้าหมายของวิชา สิ่งที่

คาดหวังจากผู้เรียนในการเรียน กำหนดการส่งงานที่ได้รับมอบหมาย วิธีหรือเกณฑ์การประเมิน การกำหนดกิจกรรมหรืองานให้ผู้เรียนทำไม่ว่าจะเป็นในลักษณะรายบุคคลหรือกลุ่มย่อย รวมทั้งการกำหนดวันและเวลาการส่งงาน

3.5 ห้องเรียน(Classroom) ได้แก่ เนื้อหา ซึ่งผู้สอนได้จัดหาไว้สำหรับผู้เรียน

3.6 เว็บเพจสนับสนุนการเรียน(Resources) การจัดเตรียมแหล่งความรู้อื่นๆ บนเว็บที่เหมาะสมในแต่ละหัวข้อ สำหรับผู้เรียนในการเข้าไปศึกษา รวมทั้งข้อมูลทางวิชาการอื่นๆ ที่เหมาะสม เช่น วารสารวิชาการ หนังสือพิมพ์ รายการวิทยุ โทรทัศน์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจมีการเชื่อมโยงไปยังห้องสมุด หรือ ฐานข้อมูล งานวิจัยต่างๆ

3.7 ความช่วยเหลือ(Help) การเตรียมการเพื่อสนับสนุน ส่งเสริมและให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคแก่ผู้เรียน เช่นการจัดหาเครื่องมือสืบค้น(Search) เพื่อการค้นหาข้อมูลที่ต้องการ หรือ การจัดหาแผนที่ไซต์(Site map) แก่ผู้เรียนเพื่อการเข้าถึงข้อมูลโดยสะดวก

3.8 รายวิชาอื่นๆ(Other courses) ในกรณีที่ผู้เรียนมีการลงทะเบียนเรียนในวิชาที่ผู้สอนจัดเตรียมเนื้อหาในลักษณะ บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ไว้มากกว่า 1 รายวิชา ควรจัดหาลิงค์ เพื่อกลับไปยังเมนูที่ผู้ใช้สามารถเลือกไปเรียนยังห้องเรียนอื่นๆ ได้ทันที โดยที่ไม่จำเป็นต้องออกจากระบบ(logout) ก่อน

3.9 เว็บเพจคำถามคำตอบที่พบบ่อย (FAQs) หลังจากที่มีการใช้งานจริงได้สักระยะหนึ่งแล้ว ควรที่จะเก็บรวบรวมคำถามหรือปัญหาที่ผู้ใช้ระบบ ไม่ว่าจะเป็นผู้เรียน ผู้สอน ผู้ช่วยสอนก็ตาม พบในขณะที่เรียน(คำถามเกี่ยวกับเนื้อหาการเรียน) หรือในขณะที่ใช้งาน(คำถามเกี่ยวกับเทคนิค) และนำมารวบรวมเพื่อนำเสนอในลักษณะของ FAQs ทั้งนี้เพื่อประหยัดเวลาในการตอบคำถามซ้ำๆ รวมทั้งสนับสนุนให้ผู้ใช้สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง

3.10 ลิงค์ไปยังส่วนของการจัดการการสอนด้านอื่นๆ(Management) ในส่วนนี้ยังควรมีการเชื่อมโยงไปยังหน้าของแบบทดสอบ แบบสอบถาม ผลการทดสอบ รวมทั้งสถิติต่างๆ ที่อนุญาตให้ผู้ใช้เข้าดูได้ ซึ่งในส่วนของการทดสอบ แบบสอบถาม การประเมินผลและการคำนวณสถิติต่างๆ เป็นส่วนหนึ่งของระบบบริหารจัดการรายวิชา

3.11 ลิงค์สำหรับการติดต่อสื่อสารกับผู้อื่น(Discussion) ในส่วนนี้หมายถึงการจัดให้มีการเชื่อมโยงไปยังบริการที่ผู้เรียนสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้อื่น ซึ่งรายละเอียดของบริการที่ผู้เรียนสามารถเลือกได้นั้น

3.12 การออกจากระบบ(logout) ควรที่จะจัดหาปุ่มสำหรับผู้เรียนในการเลือกเพื่อออกจากระบบ ทั้งนี้ เพื่อความปลอดภัย(security) ของผู้เรียน และป้องกันผู้ที่ไม่มีสิทธิเข้าใช้แอบเข้ามาใช้ระบบด้วย

2.3.2.2 ระบบบริหารจัดการรายวิชา (Course Management System)

องค์ประกอบที่สำคัญมากเช่นกันสำหรับบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ระบบบริหารจัดการรายวิชา ซึ่งเป็นเสมือนระบบที่รวบรวมเครื่องมือซึ่งออกแบบไว้เพื่อให้ความสะดวกแก่ผู้ใช้ในการจัดการกับการเรียนการสอนออนไลน์นั่นเอง ซึ่งผู้ใช้ในที่นี้ อาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ผู้สอน(Instructors) ผู้เรียน(Students) และผู้บริหารระบบเครือข่าย(Network administrator) ซึ่งเครื่องมือและระดับของสิทธิในการเข้าใช้ที่จัดหาไว้ให้ก็จะมีความแตกต่างกันไปตามแต่การใช้งานของแต่ละกลุ่ม ตามปกรติแล้วเครื่องมือที่ระบบบริหารจัดการรายวิชาต้องจัดหาไว้ให้กับผู้ใช้ ได้แก่ พื้นที่และเครื่องมือสำหรับการช่วยผู้เรียนในการเตรียมเนื้อหาบทเรียน พื้นที่และเครื่องมือสำหรับการทำแบบทดสอบ แบบสอบถาม การจัดการกับแฟ้มข้อมูลต่างๆ นอกจากนี้ระบบบริหารจัดการรายวิชาที่สมบูรณ์จะจัดหาเครื่องมือในการติดต่อสื่อสารไว้สำหรับผู้ใช้ระบบไม่ว่าจะเป็นในลักษณะของไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์(E-mail) เว็บบอร์ด(Web board) หรือ แช็ท(Chat) บางระบบก็ยังจัดหาองค์ประกอบพิเศษอื่นๆ เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้อีกมากมาย เช่น การจัดให้ผู้ใช้สามารถเข้าดูคะแนนการทดสอบ ดูสถิติการเข้าใช้งานในระบบการอนุญาตให้ผู้ใช้สร้างตารางการเรียน ปฏิทินการเรียน เป็นต้น

2.3.2.3 โหมดการติดต่อสื่อสาร(Modes of Communication)

องค์ประกอบสำคัญของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ขาดไม่ได้อีกประการหนึ่ง ก็คือการจัดให้ผู้เรียนสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้สอน วิทยากร ผู้เชี่ยวชาญอื่นๆ รวมทั้งผู้เรียนด้วยกัน ในลักษณะที่หลากหลายและสะดวกต่อผู้ใช้ กล่าวคือมีเครื่องมือที่จัดหาให้ไว้ผู้เรียนใช้ได้มากกว่า 1 รูปแบบ รวมทั้งเครื่องมือนั้นจะต้องมีความสะดวกใช้(User friendly) ด้วย ซึ่งเครื่องมือที่บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ควรจัดหาให้ผู้เรียนได้แก่

1. การประชุมทางคอมพิวเตอร์ ทั้งในลักษณะของการติดต่อสื่อสารแบบต่างเวลา(Asynchronous) เช่น การแลกเปลี่ยนข้อความผ่านทางกระดานข่าวอิเล็กทรอนิกส์ หรือที่รู้จักกันในชื่อของเว็บบอร์ด(Web board) เป็นต้น หรือในลักษณะของการติดต่อสื่อสารแบบเวลาเดียวกัน(Synchronous) เช่น การสนทนาออนไลน์ หรือแช็ท(Chat) หรือในบางระบบ อาจจัดให้มีการถ่ายทอดสัญญาณภาพและเสียงสด(Live broadcast) ผ่านทางเว็บ เป็นต้น ในการนำไปใช้ดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอน

2. ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์(E-mail) เป็นองค์ประกอบสำคัญเพื่อให้ผู้เรียนสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้สอน หรือผู้เรียนอื่นๆ ในลักษณะรายบุคคล การส่งงานและผลการป้อนกลับให้ผู้เรียน ผู้สอนสามารถให้คำแนะนำปรึกษาแก่ผู้เรียนเป็นรายบุคคล ทั้งนี้เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้นในการเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ผู้สอนสามารถใช้ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ในการให้ความคิดเห็นและผลป้อนกลับที่ทันต่อเหตุการณ์

3. แบบฝึกหัด/แบบทดสอบ องค์ประกอบสุดท้ายของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ แต่ไม่ได้มีความสำคัญน้อยที่สุดแต่อย่างใด ได้แก่ การจัดให้ผู้เรียนได้มีโอกาสในการโต้ตอบกับเนื้อหาในรูปแบบของการทำแบบฝึกหัด และแบบทดสอบความรู้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การจัดให้มีแบบฝึกหัดสำหรับผู้เรียน เพื่อตรวจสอบความเข้าใจไว้ด้วยเสมอ ทั้งนี้เพราะบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นระบบการเรียนการสอนซึ่งเน้นการเรียนรู้ด้วยตนเองของผู้เรียนเป็นสำคัญ ดังนั้น ผู้เรียนจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีแบบฝึกหัดเพื่อการตรวจสอบว่าตนเข้าใจและรอบรู้ในเรื่องที่ศึกษาด้วยตนเองมาแล้วเป็นอย่างดีหรือไม่อย่างไร อีกทั้งการทำแบบฝึกหัดจะทำให้ผู้เรียนทราบได้ว่าตนนั้นพร้อมสำหรับการทดสอบ การประเมินผลแล้วหรือไม่

3.2 การจัดให้มีแบบทดสอบผู้เรียน สามารถอยู่ในรูปของแบบทดสอบก่อนเรียน ระหว่างเรียนหรือหลังเรียนก็ได้ สำหรับบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์แล้ว ระบบบริหารจัดการรายวิชา ทำให้ผู้สอนสามารถสนับสนุนการออกข้อสอบของผู้สอนได้หลากหลายลักษณะ กล่าวคือ ผู้สอนสามารถออกแบบการประเมินผลในลักษณะของอัตนัย ปรนัย ถูกผิด การจับคู่(ลากและวาง) การส่งข้อความให้เพื่อนช่วยตรวจ การส่งข้อความให้ครูผู้สอนตรวจ ฯลฯ นอกจากนี้ยังทำให้ผู้สอนมีความสะดวกสบายในการจัดการการสอบเพราะผู้สอนสามารถที่จะจัดทำข้อสอบ ในลักษณะคลังข้อสอบไว้เพื่อเลือกในการนำกลับมาใช้ หรือปรับปรุงแก้ไขใหม่ได้อย่างง่ายดาย นอกจากนี้ในการคำนวณและตัดเกรด ระบบบริหารจัดการรายวิชาของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ยังสามารถช่วยให้การประเมินผลผู้เรียนเป็นไปได้อย่างสะดวก เนื่องจากระบบบริหารจัดการรายวิชา จะช่วยทำให้การคิดคะแนนผู้เรียน การตัดเกรดผู้เรียนเป็นเรื่องง่ายขึ้น เพราะระบบจะอนุญาตให้ผู้สอนเลือกได้ว่าต้องการที่จะประเมินผลผู้เรียนในลักษณะใด เช่น อิงกลุ่ม อิงเกณฑ์ หรือ ใช้สถิติในการคิดคำนวณในลักษณะใด เช่น การใช้ค่าเฉลี่ย ค่า T-Score เป็นต้น

2.3.3 ประเภทของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

จากองค์ประกอบหลักทั้ง 4 ของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ เนื้อหาสำหรับการเรียนการสอน(Content) นับว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุด เพราะการเรียนในลักษณะบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์นี้ ผู้เรียนจะต้องใช้เวลาส่วนใหญ่ในการศึกษาเรียนรู้ คิดค้น วิเคราะห์อย่างมีหลักการและเหตุผลด้วยตนเองจากเนื้อหาสารสนเทศที่ผู้สอนได้จัดหาไว้ให้จริงๆ แล้วคำว่าเนื้อหาสำหรับบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ จะครอบคลุมความหมายที่ค่อนข้างกว้าง กล่าวคือ จะหมายถึงองค์ประกอบต่างๆ ทั้งหมดที่ช่วยให้เนื้อหาของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์มีความสมบูรณ์ และมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เพื่อการเรียนรู้

ด้วยตนเอง(Self-contained) บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถแบ่งออกคร่าวๆ ได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.3.3.1 เรียงลำดับการนำเสนอ(Presentation sequence)

บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์แบบเรียงลำดับการนำเสนอ หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่ออกแบบในลักษณะที่ผู้เรียนศึกษาเนื้อหา โดยการอ่าน ฟัง และสังเกต การบรรยาย และหรือการสาธิตต่างๆ ตามเวลาและจังหวะการเรียนของตน ซึ่งบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ลักษณะนี้จะมีการใช้การเสนอเนื้อหาเป็นลำดับ และเหมาะสำหรับการถ่ายทอดเนื้อหาสารสนเทศที่ไม่สลับซับซ้อนมากนัก

ในรูปแบบของการเรียงลำดับการนำเสนอจะใช้สื่อนำเสนอใน 3 ระดับ คือ 1)เน้นตัวอักษรเป็นหลัก 2) เน้นมัลติมิเดียอย่างง่ายๆ เช่น ภาพและกราฟิก และ 3) เน้นการนำเสนอด้วยมัลติมีเดียเป็นหลัก เช่น เสียง แอนิเมชั่น และวีดีทัศน์ในการนำเสนอเนื้อหา ในบางครั้งก็อาจมีการใช้สื่อโต้ตอบ(Interactive media) อื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ความจริงเสมือน(Virtual reality) หรือ การจำลอง(Simulatuons)

การเรียงลำดับการนำเสนอเหมาะสำหรับการจัดหาการบรรยาย(Lecture) ในลักษณะคุณภาพสูงที่มีความคงที่สำหรับผู้เรียนทุกคน รูปแบบการเรียนนี้เหมาะสำหรับสอนเนื้อหาสารสนเทศพื้นฐานที่ได้รับการยอมรับแล้วไปยังผู้เรียนจำนวนมากอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การออกแบบการเรียงลำดับการนำเสนอจะต้องอาศัยนักออกแบบซึ่งรู้ว่าวิธีการในการเรียงลำดับที่ดีที่สุด ซึ่งนักออกแบบจะต้องทำงานร่วมกับผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในการถ่ายทอดเนื้อหาได้ดีจึงจะสามารถออกแบบเนื้อหาในลักษณะการเรียงลำดับการนำเสนอได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.3.2 แบบฝึกหัด(Drill and practice)

บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์แบบแบบฝึกหัด หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่อนุญาตให้ผู้เรียนฝึกฝนซ้ำแล้วซ้ำอีกเพื่อประยุกต์ใช้ความรู้ใดความรู้หนึ่ง หรือทักษะใดทักษะหนึ่ง โดยความรู้และทักษะนั้นๆ จะเป็นความรู้และทักษะขั้นพื้นฐาน ได้แก่ ฝึกการคำนวณอย่างง่าย และสอนคำศัพท์ภาษาอังกฤษ โครงสร้างของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ จะคล้ายกับวงจรแบบทดสอบ(Testing cycle) กล่าวคือ จะเริ่มด้วยการนำเสนอปัญหาหรือคำถามให้ผู้เรียนตอบหลังจากที่ผู้เรียนตอบคำถามแล้ว ก็จะมีการนำเสนอผลป้อนกลับก่อนที่จะมีการนำเสนอคำถามในข้อต่อไป

เนื้อหาที่เหมาะสมสำหรับบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ประเภทแบบฝึกหัด ได้แก่ เนื้อหาประเภทความจำ หรือเนื้อหาประเภทที่เป็นความจริง(Facts) ที่ต้องการให้ผู้เรียนจดจำเพื่อการเรียกใช้ภายหลังได้อย่างรวดเร็ว เช่น ศัพท์ภาษาต่างประเทศ ภาษามือ สัญลักษณ์ต่างๆ การสะกดคำ ไวยากรณ์ กฎการวรรคตอน ไวยากรณ์ของภาษาโปรแกรม เป็นต้น

2.3.3.3 แล็บเสมือนจริง (Virtual lab)

แล็บเสมือนจริงเป็นบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ประเภทหนึ่งซึ่งเป็นการนำเสนอการจำลองบนหน้าจอ(On-screen simulator) ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้แล็บเสมือนจริงในการทดสอบสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ รวมทั้งสังเกตผลที่ได้จากการทดสอบ ตัวอย่างของเนื้อหาที่สามารถออกแบบในลักษณะแล็บเสมือนจริง ได้แก่ การสอนวิธีการใช้กล้องการมองของสัตว์ประเภทต่างๆ ความยาวของคลื่นแสง กล้องส่องทางไกลขนาดต่างๆ เป็นต้น

ในการใช้บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ในลักษณะของแล็บเสมือนจริงนี้ ผู้เรียนสามารถทำการทดลองต่าง ๆ โดยปราศจากความเสี่ยงกับอันตรายต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลองจริง นอกจากนี้ยังสามารถที่จะทำการทดลองที่ในความเป็นจริง ไม่สามารถทำได้เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ดังนั้นจึงควรใช้เนื้อหารูปแบบนี้สำหรับเตรียมตัวเรียนก่อนที่จะทำแล็บจริง เพราะจะช่วยเตรียมความพร้อมให้กับผู้เรียนในการทำแล็บอย่างมีประสิทธิภาพ แล็บเสมือนจริงอาจอยู่ในรูปของการจำลองแล็บจริงบนหน้าจออย่างง่ายๆ เมื่อผู้เรียนทำการทดลองอย่างหนึ่งอย่างใด บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ จะอนุญาตให้ผู้เรียนควบคุมการทดลองได้และเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ได้ ทั้งนี้ทำให้แล็บเสมือนจริงคล้ายคลึงกับแล็บจริงมากขึ้น นอกจากนี้ในบางกรณีอาจใช้บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ประเภทนี้แทนแล็บจริงๆ เพราะการลงทุนออกแบบพัฒนาแล็บเสมือนจริงครั้งเดียวก็สามารถใช้ให้คุ้มทุนได้อีกนาน นอกจากนี้บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ยังไม่จำกัดเฉพาะการจำลองแล็บจริง แต่ยังสามารถออกแบบสำหรับเนื้อหาที่เป็นนามธรรมหรือไม่ สามารถทดลองได้ในชีวิตจริงด้วย เช่น การสลับกลุ่มดาว การปรับตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อเศรษฐกิจของโลก เป็นต้น สุดท้ายนี้แล็บเสมือนจริงยัง ช่วยชี้แนะผู้เรียนให้ค้นพบหลักการต่างๆ และความสัมพันธ์ต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อความคงทนในการเรียนรู้ของผู้เรียน

ผู้เรียนได้รับมอบหมายงานให้ทำ หลังจากนั้นผู้เรียนจะต้องเรียนรู้วิธีการใช้เครื่องมือทางแล็บ ก่อนที่จะลงมือทำการทดลองต่างๆ ผู้เรียนจะต้องบันทึกผลอย่างละเอียด หลังทำการทดลองเสร็จแล้ว ผู้เรียนสรุปสิ่งที่ได้ทำการทดลองโดยพยายามหาหลักการและความสัมพันธ์ต่างๆ ซึ่งอธิบายถึงผลที่ได้รับจากการทดลองนั้น ผู้สอนประเมินผู้เรียนตามผลงาน

2.3.3.4 เกม(Game)

บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์แบบเกม หมายถึง เนื้อหาที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเรียนรู้ในบรรยากาศที่ท้าทายสนุกสนานและเพลิดเพลิน บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์แบบเกมอาจอยู่ในรูปของการจำลองก็ได้ ซึ่งก็จะเรียกว่าเกมการจำลอง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์รูปแบบเกมอนุญาต ให้ผู้เรียนฝึกฝนในลักษณะโต้ตอบกับบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ อย่างสม่ำเสมอ โดยคาดหวังว่าเมื่อผู้เรียนเล่นเกมหลายๆ ครั้งผู้เรียนจะสามารถเรียนรู้และสามารถประยุกต์การเรียนรู้นั้นได้

เนื้อหาที่มีความเหมาะสมสำหรับบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ในลักษณะเกม ได้แก่เนื้อหาที่มีลักษณะ ดังนี้

1. เนื้อหาประกอบด้วยกิจกรรมการเรียน ซึ่งตามปรกติต้องการเวลามาก
2. เนื้อหามีกิจกรรมการเรียน ซึ่งตามปรกติอาจส่งผลให้เกิดอันตราย
3. เนื้อหาประกอบด้วยกิจกรรมการเรียน ซึ่งตามปรกติมีค่าใช้จ่ายสูง
4. เนื้อหามีความน่าเบื่อ

อย่างไรก็ดี การออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ เกมเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่กินเวลานาน และมีค่าใช้จ่ายสูง โดยปรกติแล้วค่าใช้จ่ายจะเท่ากับ 100 เท่าของราคาที่ใช้ในการออกแบบพัฒนาคำถามแบบตัวเลือกในลักษณะข้อความ

2.3.4. เทคนิคการออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

2.3.4.1 ตัวอักษรและสีพื้นหลัง

กิดานันท์ มลิทอง (2542:65-66) ได้กล่าวถึงเกณฑ์ต่างๆ ในการเลือกใช้ตัวอักษรบนเว็บไซต์ไว้ 2 ประการ

1. ความอ่านได้ หมายถึง การที่สามารถอ่านข้อความที่มีอยู่เป็นจำนวนมากในเว็บไซต์ได้อย่างสบายตา ถ้าเป็นตัวอักษรภาษาไทย ควรใช้ตัวอักษรแบบมีหัว หรือในภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษรแบบเซอริฟ(Serif) ตัวอักษรที่มีขีดบนเส้นหางจะทำให้สามารถอ่านได้มากที่สุด นอกจากนี้ ไม่ควรใช้ตัวอักษรที่มีขนาดใหญ่เกินไป(ไม่ควรใหญ่กว่า 14 พอยต์) และไม่ควรเล็กเกินไป(ไม่ควรเล็กกว่า 10 พอยต์) และไม่ควรจัดข้อความมากๆ ในลักษณะตัวหนา ตัวเอน หรือถ้าเป็นภาษาอังกฤษก็ไม่ควรใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด และถ้าเป็นข้อความสั้นก็ใช้สิ่งเหล่านี้ได้ และหากต้องพิมพ์ข้อความเป็นบรรทัดยาวๆ ควรหลีกเลี่ยงการพิมพ์ข้อความตั้งแต่ส่วนซ้ายไปจรดส่วนขวา ข้อความที่เป็นบรรทัดยาวๆ จะเป็นการยากสำหรับผู้อ่านในการหาจุดเริ่มต้นของบรรทัดต่อไป ลักษณะการใช้สีตัวอักษรกับพื้นหลังที่จะทำให้อ่านได้ สิ่งที่ดีที่สุดก็คือ ตัวพิมพ์สีดำบนพื้นหลังสีขาว แต่สีที่ความเปรียบต่างอื่นๆ ก็สามารถใช้ได้ดีในลักษณะของการใช้สีตัวอักษรสีอ่อนบนพื้นหลังสีเข้ม หรือการใช้ตัวอักษรสีเข้มบนพื้นหลังสีอ่อน เป็นต้น

2. ความอ่านง่าย หมายถึง ข้อความสั้นๆ ที่แปลกแตกต่างจากข้อความที่เป็นเนื้อเรื่อง เช่น หัวเรื่อง ชื่อปุ่มนำทางต่างๆ ข้อความเหล่านี้จะสังเกตเห็นและอ่านได้ง่ายเพียงใดบนเว็บไซต์ ถ้าเป็นตัวพิมพ์ภาษาไทยควรใช้ตัวพิมพ์แบบไม่มีหัว หรือในภาษาอังกฤษใช้ตัวพิมพ์แบบแซนเวอริฟ (Sans Serif) คือตัวพิมพ์แบบไม่มีขีดบนเส้นหาง และควรหลีกเลี่ยงการใช้ตัวอักษรแบบเล่นหาง ตัวอักษรที่มีลักษณะเป็นตัวอักษรโบราณ

ยืน ภู่วรวรรณ (2540:70) ได้ให้หลักการในการกำหนดสีตัวอักษรและสีพื้นหลัง ไว้ว่า การใช้ตัวอักษร ภาพ และสีพื้นหลัง นั้นจะทำให้เว็บไซต์นั้นน่าสนใจแต่การวางสีตัวอักษรกับพื้น

หลังนั้นต้องสอดคล้องกับการดูหรือการอ่านง่าย ดูแล้วสบายตา ดังนั้น ข้อควรระวังอย่างยิ่งในการใช้สี คือ อย่าทำให้รูปภาพหรือข้อความจมหายไปในพื้นหลังจะทำให้อ่านยาก หากมีข้อความที่ต้องให้อ่านเป็นจำนวนมากก็ไม่ควรใช้สีพื้นที่ทำให้ดูอ่านยาก

คู่สีระหว่างตัวอักษรกับสีพื้นที่ทำให้อ่านง่าย คือ อักษรขาวบนพื้นน้ำเงิน อักษรเหลืองบนพื้นดำ อักษรขาวบนเทาหรือดำ อักษรเขียวบนพื้นม่วง และอักษรเหลืองบนพื้นเขียว

3. การจำกัดและควบคุมขนาดของเว็บไซต์ การกำหนดขนาดของเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ที่สร้างในแต่ละหน้าผู้ออกแบบควรจำกัดขนาดของเว็บเพจแต่ละหน้าไว้ที่ 15 ถึง 30 กิโลไบต์ สำหรับไฟล์ HTML บวกกับรูปภาพเคลื่อนไหว อีกไม่เกิน 20 ถึง 30 กิโลไบต์ เท่านี้ก็เพียงพอแล้ว เพราะการโหลดขนาด 35 ถึง 60 กิโลไบต์(KB) ก็ถือว่าช้ามาก ดังนั้นทางที่จะจำกัดขนาดเว็บเพจได้ก็โดยการใช้ Hyperlink ของ HTML แทนที่จะใช้รูปภาพปุ่มสำหรับคลิก เพื่อไปยังเว็บเพจหน้าอื่นๆ เพราะตัวอักษรจะมีไฟล์ขนาดเล็กกว่ารูปภาพเสมอ นอกจากนี้เว็บไซต์ใหญ่ๆ ซึ่งมีเว็บเพจหลายๆ หน้า ควรจะมีรายการเชื่อมโยง เพื่อไปยังส่วนต่างๆ ของเว็บไซต์

2.3.4.2 การใช้ภาพ

การออกแบบเว็บไซต์นั้น หน้าแรกของเว็บไซต์ เป็นสิ่งสำคัญเพราะเป็นหน้าที่บอกกับผู้ดูได้ว่าเว็บไซต์ที่สร้างเป็นเว็บไซต์เกี่ยวกับอะไร การใช้รูปภาพก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะจะทำให้ผู้ดูสามารถจะเข้าใจได้ทันทีว่ากำลังเข้าสู่เว็บไซต์อะไร

2.3.4.3 การใช้ขนาดสร้างระดับชั้นของข้อมูล

ผู้ดูจะดูข้อมูลไปตามลำดับชั้นของข้อมูล ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยการใช้ขนาดของตัวอักษรที่แตกต่างกัน เช่น ใช้ที่แต่ละตอนของข้อความ ที่หัวเรื่องหรือที่อื่นๆ นอกจากนี้สามารถเลือกใช้ตัวอักษรที่มีขนาดต่างๆ สำหรับเนื้อความที่บอกถึงแหล่งข้อมูลที่ผู้ดูจะค้นคว้าเพิ่มต่อไป

2.3.4.4 การจัดข้อความให้เป็นกลุ่มก้อน

การสร้างเว็บไซต์ควรมีการแบ่งข้อมูลที่มีอยู่ให้เป็นประเภทๆ เพื่อผู้ดูจะได้แยกแยะและเลือกดูได้อย่างรวดเร็วเทคนิคที่ใช้ ก็คือ การเว้นช่องว่าง และการแบ่งเป็นคอลัมน์ และการเชื่อมโยงให้เป็นหมวดหมู่

2.3.4.5 การแบ่งย่อหน้าด้วยสีสัน

การใช้สีสันต่างๆ สำหรับแต่ละประเด็นของเนื้อความจนทำให้อ่านได้รวดเร็วขึ้น

2.3.4.6 สีสันของตัวเชื่อมโยง

นอกจากการกำหนดสีของข้อความที่เป็นตัวเชื่อมโยง ควรกำหนดสีของตัวเชื่อมโยงที่กำลังทำงานและสีของตัวเชื่อมโยงที่เคยเข้าไปแล้วจะเป็นการสร้างการตอบสนองกับผู้ดูแบบทันทีทันใด และเป็นการแจ้งให้ผู้ดูรู้ว่าเขาอยู่ ณ จุดใด

การสร้างการเรียนการสอนเป็นสิ่งที่ไม่ยากนัก แต่จากที่กล่าวมาจะพบว่ามีรายละเอียดเล็กน้อยมากมายในการสร้างเครื่องข่ายอินเตอร์เน็ต การเรียน การสอยผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต จึง

เป็นการจัดการอย่างจงใจและนำเสนอข้อมูลที่มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาการเรียนรู้โดยเฉพาะ ดังนั้น การออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการสอน จึงต้องพิจารณาให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ (McManus. 1997) (Internet) นอกจากนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึง ในการสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ คือ การจัดระเบียบของเนื้อหาในบทเรียนที่สร้างขึ้น เพื่อช่วยให้การเรียนรู้ของผู้เรียน เป็นไปอย่างมีระบบ (Krawchuk. 1997 : 57)

2.3.5 เปรียบเทียบการสอนในชั้นเรียนปกติและการสอนบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

กิดานันท์ มลิทอง (2543:347-350) ได้กล่าวว่า เมื่อพิจารณาดูรูปแบบและองค์ประกอบของการสอนบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตแล้วจะเห็นได้ว่าการสอนบนเว็บมีความแตกต่างจากการสอนในห้องเรียนปกติอย่างมาก จนทำให้ดูเหมือนว่าการสอนแบบเดิมนั้นเป็นสิ่งที่ล้าสมัย ผู้เรียนไม่กระตือรือร้นในการเรียน และไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนได้อย่างครบถ้วน ในขณะที่การสอนบนเว็บเป็นนวัตกรรมและสามารถจูงใจผู้เรียนได้ในทุกระดับชั้น จึงทำให้สามารถเปรียบเทียบลักษณะการสอนในห้องเรียนและการสอนบนเว็บได้ดังนี้

2.3.5.1 การสอนในชั้นเรียนปกติ

การสอนในชั้นเรียนปกติเป็นการสอนแบบดั้งเดิมที่ทำการสอนกันในห้องเรียนโดยยึดหลักทฤษฎีพฤติกรรมศาสตร์ของ บี.เอฟ. สกินเนอร์ ที่มีการถ่ายทอดความรู้จากผู้สอนไปสู่ผู้เรียน โดยที่ผู้สอนจะควบคุมเนื้อหาการเรียนและเวลาในการเรียนการสอน การสอนในชั้นเรียนปกติแบ่งการดำเนินการสอนเป็น 2 ลักษณะที่ตรงข้ามกัน คือ

1. ผู้สอนเป็นศูนย์กลาง(Teacher – centered) การสอนลักษณะนี้ผู้สอนจะเป็นหลักในการควบคุมชั้นเรียนทั้งหมดโดยการบรรยายเนื้อหาบทเรียน กำหนดเวลาสอนและการทำกิจกรรมใช้หนังสือเป็นหลักของเนื้อหาบทเรียน และผู้เรียนจะนั่งเรียงแถวกันหันหน้าเข้าหาผู้สอนดังที่เห็นกันในห้องเรียนทั่วไป

2. ผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง(Student – centered) เป็นการสอนซึ่งเอื้ออำนวยให้ผู้เรียนมีความรับผิดชอบต่อเนื้อหาตามหลักสูตรด้วยตนเอง ผู้เรียนสามารถกำหนดความครอบคลุมของเนื้อหาบทเรียน รวมถึงการจัดลักษณะห้องเรียนด้วย เป็นที่น่าสังเกตอย่างหนึ่งว่า การสอนแบบนี้ผู้เรียนจะเป็นฝ่ายพูดและมีบทบาทมากกว่าผู้สอน มีการเรียนแบบกลุ่มเล็ก มีการใช้สื่อย่างหลากหลาย และผู้เรียนเลือกกฎเกณฑ์ต่างๆ ในการเรียนของตนเอง โดยผู้สอนทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนเท่านั้น

การสอนในชั้นเรียนปกติจะเปลืองเวลาและสถานที่มากเนื่องจากผู้สอนและผู้เรียนต้องมาอยู่พร้อมในเวลาและสถานที่ที่กำหนดไว้ แต่ถึงกระนั้นก็ยังไม่มีการโต้ตอบระหว่างกันมากเท่าที่ควรอย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของคิวบัน (Cuban 1993) ได้กล่าวว่า นวัตกรรมทั้งหลายรวมถึงเทคนิคการเรียนการสอนสมัยใหม่จะไม่เหมาะกับการใช้ในสภาพห้องเรียนแบบปกติ

2.3.5.2 การสอนบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

การสอนบนเว็บเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการสอนแบบต่างๆ หลายรูปแบบ โดยการใช้เว็บเป็นแหล่งเก็บเนื้อหาบทเรียนตามหลักสูตร ใช้เว็บในการเสริมเนื้อหาจากการเรียน ใช้เป็นแหล่งทรัพยากรในการค้นคว้าเพิ่มเติม และใช้ในการสื่อสาร การสอนบนเว็บใช้ได้ทั้งการสอนในระบบโรงเรียนและในลักษณะการศึกษาทางไกลซึ่งกำลังเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน

1. การสอนบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตในระบบโรงเรียน ซึ่งมีการกำหนดวัน เวลา และสถานที่เรียน ตามวิชาอยู่แล้วจะมีวิธีการเรียนโดยผู้สอนและผู้เรียนจะมีการพบกันอย่างน้อยในครั้งแรกของการเปิดภาคเรียน เพื่อที่ผู้สอนจะอธิบายวิธีการเรียนและให้ประมวลรายวิชาซึ่งมีรายละเอียดของการเรียนว่าจะต้องเรียนในหัวข้อใดบ้างในเว็บไซต์ที่ผู้สอนจัดทำไว้สำหรับวิชานั้น และอาจมีการทำงานส่งด้วยในแต่ละสัปดาห์ เมื่อผู้เรียนทราบถึงวิธีการเรียนแล้วจะต้องมีรหัสเพื่อบันทึกเข้าไปเรียนในเว็บไซต์เพื่อเรียนเนื้อหาที่กำหนดไว้ รวมถึงที่อยู่อีเมลเพื่อการติดต่อระหว่างกันด้วย หากมีคำถามหรือข้อสงสัยก็สามารถส่งอีเมลไปยังผู้สอน หรือจะไปพบผู้สอนด้วยตนเองก็ได้เช่นกัน หรือติดต่อกับผู้เรียนคนอื่นๆ ด้วยอีเมลและการพูดคุยกันด้วยโปรแกรมแชต ในเนื้อหาบทเรียนนั้นอาจมีการให้ผู้เรียนเชื่อมโยงไปยังเว็บไซต์อื่นๆ เพื่ออ่านเนื้อหาเพิ่มเติม หรือผู้เรียนเองต้องค้นคว้าจากเว็บไซต์อื่นเพื่อทำงานที่ได้รับมอบหมายและส่งทางอีเมล การประเมินผลการเรียนทำได้โดยการที่ผู้สอนสามารถเข้าไปดูการลงบันทึกเข้าเรียนของผู้เรียนแต่ละคนว่าได้เข้ามาอ่านบทเรียนตามที่กำหนดไว้หรือไม่ รวมถึงการส่งงานและการสอบซึ่งสามารถทำได้โดยทางอีเมลเช่นกันนอกจากในลักษณะนี้แล้ว หากเป็นการเรียนในชั้นเรียนปกติจะมีการใช้เว็บไซต์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทเรียนมาใช้เป็นส่วนหนึ่งในวิชานั้น หรือใช้เป็นกิจกรรมการเรียนในวิชา โดยที่ผู้สอนและผู้เรียนอาจร่วมกันค้นหาเว็บไซต์ต่างๆ มาใช้ประกอบการเรียน และมีการสื่อสารกันด้วยอีเมลเพื่อปรึกษาการเรียนร่วมด้วย ขณะนี้หลายคณะในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีการสอนในลักษณะนี้บ้างแล้ว โดยอาจใช้การสอนบนเว็บอย่างเต็มรูปแบบหรืออาจใช้ประกอบการเรียนปกติโดยใช้เว็บเสริม

2. การสอนบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตในการศึกษาทางไกล จะเป็นในรูปแบบ "มหาวิทยาลัยเสมือน" โดยที่ผู้เรียนไม่จำเป็นต้องเดินทางไปยังสถานศึกษา แต่สามารถเรียนในเวลาที่สะดวกไม่ว่าจะอยู่ในที่ใดๆ ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาและประหยัดเงินในการเดินทาง นับตั้งแต่การลงทะเบียนเรียนเพื่อขอรหัสบันทึกเข้าเรียน การเรียนเนื้อหาตามหลักสูตรจากเว็บไซต์ของอาจารย์ประจำวิชาและเว็บไซต์อื่นๆ ที่กำหนด รวมถึงการค้นคว้าเพิ่มเติมในเว็บไซต์ต่างๆ โดยผู้เรียนเองด้วย การทำกิจกรรมหรือส่งงานที่ได้รับมอบหมายจะส่งได้โดยทางอีเมลและแนบแฟ้มงานติดไปด้วย หรือส่งงานทางไปรษณีย์หากเป็นชิ้นงานที่ไม่สามารถส่งทางอีเมลได้ การติดต่อระหว่างผู้เรียนและผู้สอนจะใช้ทางอีเมลและโทรศัพท์บนเว็บโดยไม่มีการพบหน้ากัน ผู้สอนสามารถประเมินผล

โดยการดูบันทึกการเข้าเรียนของผู้เรียน รวมถึงการสอบซึ่งทำผ่านทางอีเมลหรือจากเว็บไซต์ที่ผู้เรียนสร้างขึ้น

จากลักษณะการสอนบนเว็บทั้งในระบบโรงเรียนและการศึกษาทางไกลที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่ามีสิ่งหนึ่งที่เหมือนกับการเรียนในชั้นเรียนปกติ คือ การให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางการเรียน เพราะถึงแม้จะมีการกำหนดเนื้อหาบทเรียนตามหลักสูตรก็ตาม แต่ผู้เรียนจะมีอิสระในการกำหนดความครอบคลุมของเนื้อหา ผู้เรียนจะมีบทบาทในการเรียนโดยที่ผู้สอนเป็นเพียงผู้ให้คำปรึกษาและประเมินผลเท่านั้น นอกจากนี้ ยังสามารถเปรียบเทียบถึงความเหมือนและความแตกต่างระหว่างการสอนในชั้นเรียนปกติและการสอนบนเว็บได้ดังนี้ (Relan and Gillani 1995)

ความเหมือนกัน

1. มีจุดมุ่งหมายในการเรียนการสอน
2. มีเนื้อหาวิชาตามหลักสูตร
3. ผู้สอนและผู้เรียนมีการโต้ตอบกัน
4. ผู้เรียนได้ผลป้อนกลับ
5. ผู้เรียนเรียนแบบร่วมมือ
6. สร้างประสบการณ์การเรียนรู้ในการเรียนการสอนได้

ตารางที่ 2.3 ความแตกต่างระหว่างการสอนในชั้นเรียนปรกติและการสอยบนเว็บ

การสอนในชั้นเรียนปกติ	**การสอนบนเว็บ**
ผู้เรียนถูกจำกัดด้วยเวลาและสถานที่	ผู้เรียนเลือกเรียนได้ในเวลาและสถานที่ที่สะดวก
ผู้เรียนและผู้สอนมีการสื่อสารระหว่างบุคคล	ผู้เรียนและผู้สอนสื่อสารกันทางอิเล็กทรอนิกส์
ผู้สอนควบคุมเวลาในการสอน	ผู้เรียนเรียนตามความก้าวหน้าของตน
ผู้เรียนฟังการบรรยายและพึ่งตำราเรียน	ผู้เรียนค้นคว้าจากแหล่งข้อมูลหลากหลาย
การจัดกลุ่มกิจกรรมทำได้ยากเนื่องจากขนาดของกลุ่มผู้เรียน และความจำกัดของเวลา และสถานที่	การสื่อสาร โดยใช้อีเมล การพูดคุยสด และกระดานข่าว ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำกิจกรรมกลุ่มโดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องเวลาและสถานที่

ข้อดีและข้อจำกัดของการสอนบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

ข้อดีของการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เมื่อเปรียบเทียบกับการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม

1. ความยืดหยุ่นและความสะดวกสบาย นักเรียนสามารถที่จะเข้าไปเรียนในหลักสูตรโดยไม่มีข้อจำกัดของเวลาและสถานที่ ลักษณะทางกายภาพของห้องเรียนมักจะมีการกำหนดตารางเวลาตายตัว แต่ถ้าหากใช้การเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต แล้วจะลดปัญหาเรื่องการกำหนดเวลา สถานที่ และราคาค่าที่ใช้จ่าย บางประการลงไปได้ (Hall. 1997. [Internet] ; Khan. 1997 : 463)

2. ความเหมาะสมในการเรียนรู้การเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต มีความสัมพันธ์กับความต้องการที่จะเรียนรู้ และเวลา นักเรียนที่เข้ามาเรียนรู้จะได้รับความรู้ที่มีความสำคัญและมีประโยชน์ หากผู้ออกแบบการเรียนการสอน ได้เพิ่มแรงจูงใจ และการระลึกถึงความรู้ได้ สิ่งนี้จะเป็นสิ่งสำคัญเพราะผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตลอดชีวิต หากพวกเขาประสงค์ที่จะเรียนรู้ (Khan. 1997 : 463)

3. การควบคุมผู้เรียน การควบคุมสำหรับการยอมรับของประสบการณ์การสอนที่ผ่านมาของครูผู้สอนที่มีกับนักเรียนในชั้นเรียนแบบการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนักเรียนที่มีความตั้งใจจะสนใจในเนื้อหา การเปลี่ยนแปลง เนื้อหาขึ้นกับความต้องการของผู้เรียนเป็นสำคัญ (Khan. 1997 : 464)

4. รูปแบบมัลติมีเดีย เวิล์ดไวด์เว็บ จะมีการนำเสนอเนื้อหาของหลักสูตรโดยใช้สื่อมัลติมีเดียที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นข้อความ เสียง วีดิทัศน์ และการสื่อสารในเวลาเดียวกัน ผู้สอนและผู้เรียนสามารถเลือกรูปแบบ การนำเสนอได้ตามความยืดหยุ่นของเวิร์ดไวด์เว็บเพื่อให้การเรียนเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด (Hall. 1997. [Internet] ; Khan. 1997 : 464)

5. แหล่งทรัพยากรข้อมูล ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแหล่งทรัพยากรข้อมูลมี 2 ตัวแปร คือ จำนวนและความหลากหลายองค์เนื้อหาที่มีอยู่ในเว็บ ข้อมูลสามารถได้จากหลายๆแหล่ง เช่น การศึกษา,ธุรกิจ หรือ รัฐบาล ฯลฯ จากทั่วทุกมุมโลก เว็บถือได้ว่าเป็นพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่และเก็บข้อมูลหลากหลายชนิด (McManus. 1996) [Internet] ผู้ออกแบบการเรียนการสอนจะต้องออกแบบให้ผู้เรียนได้เข้าถึงแหล่งทรัพยากรซึ่งไม่ได้มีอยู่ในชั้นเรียนแบบดั้งเดิม ตัวแปรที่สองคือ ข้อความหลายมิติ การเชื่อมโยงไปยังที่ตั้งอื่นโดยอาศัย ข้อความหลายมิติ ซึ่งเข้าไปค้นหาได้อย่างง่ายดายกว่าการค้นหาข้อมูลในชั้นเรียนแบบดั้งเดิม

6. ความทันสมัย เนื้อหาที่ใช้เรียนในชั้นเรียนแบบการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตสามารถปรับปรุงให้ทันสมัยได้ง่าย แหล่งทรัพยากรอื่นๆ ที่มีอยู่บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต โดยมากมักจะมีความทันสมัย ดังนั้นผู้สอนในชั้นเรียน แบบการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต นี้สามารถจะเสนอข้อมูลที่มีความทันสมัยให้แก่ผู้เรียน ประโยชน์ที่ได้รับนั้น

จะสามารถนำมาประยุกต์เข้ากับหลักสูตรให้ทันสมัยตลอดเวลา (Hall. 1997. [Internet] ; McManus. 1996. [Internet] ; 1997 : 465)

7. ความสามารถในการประชาสัมพันธ์ เครือข่ายอินเตอร์เน็ต ให้โอกาสนักเรียนที่จะเสนองานที่ได้รับมอบหมายบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ (Hunnum. 1998 : 165)

8. เพิ่มทักษะทางเทคโนโลยี นักเรียนที่เรียนด้วยการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต จะได้เพิ่มพูนทักษะทางเทคโนโลยี เนื้อหาที่นักเรียนเรียนจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเหมาะสม และเพื่อแหล่งทรัพยากรต่างๆ ให้นักเรียนเพิ่มพูนความรู้ นักเรียนจะได้รับประสบการณ์และฝึกฝนทักษะได้จากเทคโนโลยีอันหลากหลาย (Hunnum. 1998 : 165)

นอกจากนี้ Pollack and Masters. (1997 : 28-33) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ซึ่งเป็นมิติใหม่ของเครื่องมือและกระบวนการในในการเรียนการสอน ได้แก่

1. การเรียนการสอนสามารถเข้าถึงทุกหน่วยงานที่มีอินเตอร์เน็ตติดตั้งอยู่
2. การเรียนการสอนกระทำได้โดยผู้เข้าเรียนไม่ต้องทิ้งงานประจำเพื่อมาอบรม
3. ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเรียนการสอน เช่น ค่าที่พัก ค่าเดินทาง
4. การเรียนการสอนกระทำได้ตลอด 24 ชั่วโมง
5. การจัดสอนหรืออบรมมีลักษณะที่ผู้เข้าเรียนเป็นศูนย์กลาง การเรียนรู้เกิดกับตัวผู้เข้าเรียนโดยตรง
6. การเรียนรู้เป็นไปตามความก้าวหน้าของผู้รับการเรียนการสอนเอง
7. สามารถทบทวนบทเรียนและเนื้อหาได้ตลอดเวลา
8. สามารถซักถามและเสนอแนะ หรือถามคำถามได้ด้วยเครื่องมือบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต
9. สามารถแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็นระหว่างผู้เข้ารับการอบรมได้โดยเครื่องมือสื่อสาร ในระบบอินเตอร์เน็ต ทั้งไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์(E-mail) หรือห้องสนทนา(Chat room) หรืออื่นๆ
10. ไม่มีพิธีการมากนัก

ข้อจำกัดของการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต กับการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม

1. รูปแบบการเข้าถึงมัลติมีเดีย และประสิทธิภาพของรูปแบบการเรียนส่วนบุคคล ทั้งสองสิ่งนี้เป็นข้อโต้เถียง ที่จะนำการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต มาใช้งาน ข้อความที่อ่านได้ง่ายและอยู่ในรูปของสิ่งพิมพ์ วีดีทัศน์แบบออนไลน์ที่ช้ากว่าแถบบันทึกเสียงหรือโทรทัศน์ และการสื่อสารโดยทันทีไม่สามารถจับเสียงมนุษย์ได้เหมือนกับการใช้โทรศัพท์

(Hall.1997)[Internet] ขณะที่นักเรียนกำลังพิมพ์เนื้อหาออกมา หรือรอขณะที่วีดีทัศน์กำลังบรรจุลงจะสูญเสียความสนใจจากการเรียน

2. ปัญหาของส่วนชี้นำ รูปแบบข้อความหลายมิติจะให้นักเรียนได้ย้ายจากสภาพแวดล้อมของห้องเรียน และไปยังสภาพแวดล้อมภายในของเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ด้วยการเชื่อมโยงไปยังแหล่งต่าง ๆ การควบคุมผู้เรียนสามารถจำกัดได้ ถ้าผู้เรียนหลงทางในสภาพแวดล้อมของเครือข่ายอินเตอร์เน็ต การหลงทางและสูญเสียความสนใจเป็นปัญหาใหญ่สำหรับผู้เรียน การใช้ส่วนชี้นำจะเป็นการช่วยเหลือให้ผู้เรียนลดปัญหาใหญ่สำหรับผู้เรียน การใช้ส่วนชี้นำจะเป็นการช่วยเหลือให้ผู้เรียนลดปัญหาเหล่านี้ลงไปได้ (Hall. 1997 [Internet] ; Khan. 1997 : 465)

3. การขาดการติดต่อ นักเรียนบางคนชอบสภาพของการเรียนรู้แบบดั้งเดิมที่มีปฏิสัมพันธ์กับผู้สอนและเพื่อน นักเรียนด้วยกัน ผู้สอนจะได้รับทราบปฏิกิริยาของผู้เรียนว่าเป็นอย่างไร แต่ผู้สอนในรูปแบบการเรียนการสอนผ่านอินเตอร์เน็ต นี้จะไม่สามารถรู้ได้เลยว่าผู้เรียนกลังสับสน หรือเข้าใจในเนื้อหาหรือไม่ ถ้าไม่ได้ติดต่อสื่อสารกันผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตผู้มีโอกาสจะได้มีปฏิสัมพันธ์เช่นเดียวกับการเรียนแบบดั้งเดิม แต่จะมีวิธีการต่างไปโดยจะอาศัยจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หรือการอภิปราย หรือวิธีการอื่นๆ ได้ แต่ผู้เรียนบางคนก็อาจขาดการติดต่อและขาดปฏิสัมพันธ์กับชั้นเรียนซึ่งประเด็นนี้ก็ยังเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้ง

4. นักเรียนในชั้นเรียนการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ต้องมีแรงจูงใจส่วนตัวและจัดระบบการเรียน การขาดการวางแผนการเรียนจะทำให้นักเรียนไม่ประสบความสำเร็จกับการเรียนและอาจต้องสอบไม่ผ่าน ในหลักสูตรนั้นๆ ได้

5. เนื้อหาที่กระจายไม่มีข้อยุติ เนื้อหาของการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ที่เสนอให้กับผู้เรียนนั้น บางครั้งผู้เรียนจะไม่รู้ว่าขอบเขตของเนื้อหาสิ้นสุดที่ใด หากหัวข้อหรือหลักสูตรของการเรียนเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง ทำให้ผู้เรียนเกิดอุปสรรคต่อการเรียนได้

จากข้อเปรียบเทียบของข้อดีและข้อจำกัดของการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต จะเห็นได้ว่าการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตมีผลต่อการสอนในชั้นเรียนแบบดั้งเดิม คุณภาพของการเรียนการสอนไม่ได้เป็นเพียงสื่อที่ใช้ แต่เป็นความตั้งใจที่จะต้องเรียนให้สำเร็จของผู้เรียน ส่วนประกอบที่สำคัญที่จะสร้างคุณภาพแก่ผู้สอนคือ การมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนและผู้สอน , การให้ผลย้อนกลับโดยทันที , ความสัมพันธ์ในรูปแบบที่แตกต่างกันของการเรียนรู้และกิจกรรมการเรียนรู้ หากสังเกตดูแล้ว การเรียนการสอนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ก็จะไม่เหมาะในทุกสถานการณ์ หรือผู้เรียนทุกคน แต่ละลักษณะเด่นต่าง ๆ ของเครือข่ายอินเตอร์เน็ต และความยืดหยุ่นที่มี ผู้สอนจะสามารถนำเอาไปประยุกต์ในการเรียนการสอนได้หลายรูปแบบ ซึ่งคุณภาพและความสำเร็จจากการเรียน การสอนผ่านเว็บขึ้นกับเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการในการเรียนการสอน

2.4 ขั้นตอนการออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

ขั้นตอนการออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ขั้นตอนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ การสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ต้องดำเนินไปอย่างมีระเบียบเป็นขั้นตอน ดังเช่นการออกแบบบทเรียนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตของ Alessi and Trollip (อ้างใน ถนอมพร เลาหจรัสแสง. 2541 : 29-39) ที่ผู้วิจัยนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบอยู่ 7 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเตรียม(Preparation)

ขั้นตอนแรกของการออกแบบบทเรียนเป็นขั้นตอนในการเตรียมพร้อมก่อนที่จะทำการออกแบบบทเรียน ในขั้นตอนการเตรียมนี้ผู้ออกแบบจะต้องเตรียมในเรื่องของความชัดเจนในการกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์หลังจากนั้นผู้ออกแบบควรที่จะเตรียมการในการรวบรวมข้อมูล นอกจากนี้ยังควรที่จะเรียนรู้เนื้อหา เพื่อให้เกิดการสร้างหรือระดมความคิดในที่สุด

1. กำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์(Determine goals and objectives)

การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของบทเรียน คือ การตั้งเป้าหมายว่าผู้เรียนจะสามารถใช้บทเรียนนี้เพื่อศึกษาในเรื่องใดและในลักษณะใด กล่าวคือ เป็นบทเรียนหลักเป็นบทเรียนเสริม เป็นแบบฝึกหัดเพิ่มเติมหรือเป็นแบบทดสอบ เป็นต้น รวมทั้งการกำหนดวัตถุประสงค์ในการเรียน คือเมื่อผู้เรียนเรียนจบแล้ว จะสามารถทำอะไรได้บ้าง เช่น ผู้เรียนจะสามารถยกตัวอย่างได้หรืออธิบายได้ เป็นต้น

2. รวบรวมข้อมูล(Collect resources)

การรวบรวมข้อมูล หมายถึงการเตรียมพร้อมทางด้านทรัพยากรสารสนเทศ(Information resources) ทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของเนื้อหา(Materials) การพัฒนาและออกแบบบทเรียน (Instructional development) และสื่อในการนำเสนอบทเรียน(Instructional delivery system) ซึ่งในที่นี้ก็คือคอมพิวเตอร์ ทรัพยากรในส่วนของเนื้อหาได้แก่ตำรา หนังสือ วารสารทางวิชาการ หนังสืออ้างอิง สไลด์ ภาพต่าง ๆ และที่สำคัญก็คือผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหานั้น ส่วนทรัพยากรในส่วนของการออกแบบบทเรียนได้แก่ หนังสือการออกแบบบทเรียน กระดาษสำหรับวาดสตอรี่บอร์ด สื่อสำหรับทำกราฟิก โปรแกรมประมวลผลคำและผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบทเรียน ทรัพยากรในส่วนของสื่อที่ใช้ในการนำเสนอได้แก่ คอมพิวเตอร์ คู่มือต่างๆ ทั้งของคอมพิวเตอร์และของโปรแกรมช่วยสร้างคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ต้องการใช้และผู้เชี่ยวชาญการสร้างคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วยโปรแกรมช่วยสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในที่สุด

3. เรียนรู้เนื้อหา(Learn content)

ผู้ออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ หากเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหาก็จะต้องหาความรู้ทางด้านการออกแบบบทเรียน หรือหากเป็นผู้ออกแบบบทเรียนก็จะต้องหาความรู้ด้านเนื้อหาควบคู่กันไป แม้ในกรณีที่ทำงานกันเป็นทีม ผู้ออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ก็ยังคงมีความจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้เนื้อหาด้วย สำหรับผู้ออกแบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์แล้ว การเรียนรู้เนื้อหาอาจทำได้ในหลายลักษณะ เช่น การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ การอ่านหนังสือหรือเอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับเนื้อหาของบทเรียน เป็นต้น การเรียนรู้เนื้อหาเป็นสิ่งที่สมควรอย่างยิ่งสำหรับผู้ออกแบบเนื่องจากความไม่รู้เนื้อหานี้จะทำให้เกิดข้อจำกัดในการออกแบบบทเรียนกล่าวคือ ผู้ออกแบบจะไม่สามารถออกแบบบทเรียนที่มีประสิทธิภาพได้ ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการออกแบบ การชี้แนวทางการเรียนรู้ การนำเสนอเนื้อหา การให้ผลป้อนกลับ ตลอดจนการทดสอบความรู้ของผู้เรียน อีกนัยหนึ่งก็คือความเข้าใจเนื้อหาในระดับผิวเผินนั้นก็จะส่งผลให้การได้มาซึ่งการออกแบบบทเรียนในลักษณะที่ไม่สามารถท้าทายบทเรียนในทางสร้างสรรค์ได้

4. สร้างความคิด(Generate ideas)

ขั้นตอนการสร้างความคิดนี้คือการระดมสมองนั่นเอง การระดมสมองหมายถึงการกระตุ้นให้เกิดการใช้ความคิดสร้างสรรค์ เพื่อให้ได้ข้อคิดเห็นต่างๆ เป็นจำนวนมากจากทีมงานในระยะเวลาอันสั้น โดยความคิดสร้างสรรค์ในขั้นนี้จะยึดถือปริมาณมากกว่าการประเมินค่าความถูกต้องเหมาะสม การระดมสมองมีกติกาอยู่ด้วยกัน 4 ประการ ได้แก่ การห้ามวิจารณ์ , การคิดโดยอิสระ , การเน้นปริมาณ และการกระตุ้นความคิดอย่างต่อเนื่อง การสร้างความคิดโดยการระดมสมองมีความสำคัญมากเพราะจะทำให้เกิดข้อคิดเห็นต่างๆ อันจะนำมาซึ่งแนวคิดที่ดีและน่าสนใจในที่สุด

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการออกแบบบทเรียน (design instruction)

เป็นขั้นตอนที่ครอบคลุมถึงการทอนความคิด การวิเคราะห์งานและแนวคิด การออกแบบบทเรียนขั้นแรกและการประเมินการแก้ไขการออกแบบ ขั้นตอนการออกแบบบทเรียนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดขั้นตอนหนึ่งในการกำหนดว่าบทเรียนจะออกมามีลักษณะใด

1. ทอนความคิด(Elimination of ideas)

นำความคิดทั้งหมดมาประเมินดูว่าข้อคิดใดที่น่าสนใจ การทอนความคิดเริ่มจากการคัดเอาข้อคิดที่ไม่อาจปฏิบัติได้ เนื่องจากเหตุผลใดก็ตามหรือข้อคิดที่ซ้ำซ้อนกันออกไปและรวบรวมความคิดที่น่าสนใจที่เหลืออยู่นั้นมาพิจารณาอีกครั้ง ซึ่งในช่วงการพิจารณาอีกครั้งหนึ่งนี้อาจรวมไปถึงการซักถาม อภิปรายถึงรายละเอียดและขัดเกลาข้อคิดต่างๆ อีกด้วย

2. วิเคราะห์งานและแนวคิด(Task and concept analysis)

การวิเคราะห์งาน(Task analysis) เป็นการพยายามในการวิเคราะห์ขั้นตอนเนื้อหาที่ผู้เรียนจะต้องศึกษาจนทำให้เกิดการเรียนรู้ที่ต้องการ ส่วนการวิเคราะห์แนวคิด คือขั้นตอนในการวิเคราะห์เนื้อหาซึ่งผู้เรียนจะต้องศึกษาอย่างพินิจพิจารณาทั้งนั้นเพื่อให้ได้มาซึ่งเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการเรียนและเนื้อหาที่มีความชัดเจนเท่านั้น การคิดวิเคราะห์เนื้อหาอย่างละเอียดรวมไปถึงการนำเนื้อหาทั้งหมดที่เกี่ยวข้องมาพิจารณาอย่างละเอียดและตัดเนื้อหาในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปหรือที่ทำให้ผู้เรียนสับสนได้ง่ายออกไป ดังนั้นการวิเคราะห์งานและการวิเคราะห์แนวคิดถือเป็นการคิดวิเคราะห์ที่มีความสำคัญมากทั้งนี้เพื่อหาหลักการการเรียนรู้ที่เหมาะสมของเนื้อหานั้นๆ และเพื่อให้ได้มาซึ่งแผนงานสำหรับการออกแบบบทเรียนที่มีประสิทธิภาพ

3. ออกแบบบทเรียนขั้นแรก(Preliminary lesson description)

หลังจากที่มีการวิเคราะห์งานและแนวคิด ผู้ออกแบบจะต้องนำงานและแนวคิดทั้งหลายที่ได้มานั้นมาผสมผสานให้กลมกลืนและออกแบบให้เป็นบทเรียนที่มีประสิทธิภาพโดยการผสมผสานงานและแนวคิดเหล่านี้จะต้องทำภายใต้ทฤษฎีการเรียนรู้

4. ประเมินและแก้ไขการออกแบบ(Evaluation and revision of the design)

การประเมินและแก้ไขในขั้นตอนการออกแบบเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในการออกแบบบทเรียนอย่างมีระบบ การประเมินนั้นเป็นสิ่งที่จะต้องทำอยู่เรื่อยเป็นระยะๆ ระหว่างการออกแบบ ไม่ใช่หลังการออกแบบแล้วจึงควรที่จะมีการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญเนื้อหา ผู้เชี่ยวชาญการออกแบบและโดยผู้เรียนซักรอบหนึ่งเสียก่อน การประเมินนี้อาจหมายถึงการทดสอบว่าผู้เรียนจะสามารถบรรลุเป้าหมายหรือไม่การรวบรวมทรัพยากรทางด้านข้อมูลต่างๆ มากขึ้น การหาความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาเพิ่มขึ้น การทอนความคิดออกไปอีก การปรับแก้การวิเคราะห์งานหรือแม้กระทั่งการเปลี่ยนประเภทของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์หลังจากทำการแก้ไขแล้วอาจที่จะทำการย้อนกลับไปประเมิน จนกระทั่งได้บทเรียนผ่านเครือเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพเป็นที่พอใจ

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการเขียนผังงาน(Flowchart lesson)

ผังงาน คือ ชุดของสัญลักษณ์ต่างๆ ซึ่งอธิบายขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การเขียนผังงานเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้ก็เพราะบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ดีจะต้องมีปฏิสัมพันธ์อย่างสม่ำเสมอและปฏิสัมพันธ์นี้จะสามารถถูกถ่ายทอดออกมาได้อย่างชัดเจนที่สุดในรูปของสัญลักษณ์ซึ่งแสดงกรอบการตัดสินใจและกรอบเหตุการณ์ การเขียนผังงานจะไม่นำเสนอรายละเอียดหน้าจอเหมือนการสร้างสตอรี่บอร์ด หากการเขียนผังงานจะนำเสนอลำดับขั้นตอนโครงสร้างของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ผังงานทำหน้าที่เสนอข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรม เช่น อะไรเกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนตอบคำถามผิด หรือเมื่อไรที่จะมีการจบบทเรียน เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการสร้างสตอรี่บอร์ด(Create story board)

การสร้างสตอรี่บอร์ดเป็นขั้นตอนของการนำเสนอข้อความ ภาพ รวมทั้งสื่อในรูปแบบมัลติมีเดียต่าง ๆ ลงบนกระดาษ เพื่อให้การนำเสนอข้อความและสื่อในรูปแบบต่างๆ เหล่านี้เป็นไปอย่างเหมาะสมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ต่อไป ขณะที่ผังงานนำเสนอลำดับและขั้นตอนของการตัดสินใจ สตอรี่บอร์ดนำเสนอเนื้อหาและลักษณะของการนำเสนอ ขั้นตอนการสร้างสตอรี่บอร์ดรวมไปถึงการเขียนสคริปต์ที่ผู้เรียนจะได้เห็นบนหน้าจอ ซึ่งได้แก่ เนื้อหา ข้อมูล คำถาม ผลป้อนกลับ คำแนะนำ คำชี้แจง ข้อความเรียกความสนใจ ภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น

ในขั้นนี้ควรที่จะมีการประเมินและทบทวนแก้ไขบทเรียนจากสตอรี่บอร์ด จนกระทั่งผู้ร่วมงานในทีมทุกฝ่ายพอใจกับคุณภาพของบทเรียนเสียก่อน นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและการออกแบบแล้ว ผู้เรียนที่อยู่ในกลุ่มเป้าหมายซึ่งไม่สันทัดในเนื้อหาควรที่จะมีส่วนร่วมในการประเมิน ทั้งนี้เพื่อช่วยในการตรวจสอบเนื้อหาที่อาจสับสน ไม่ชัดเจน ตกหล่นและเนื้อหาที่อาจจะยากหรือง่ายจนเกินไปสำหรับผู้เรียน

ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนการสร้าง/เขียนโปรแกรม(Program lesson)

ขั้นตอนการสร้าง/การเขียนโปรแกรมนี้เป็นกระบวนการเปลี่ยนสตอรี่บอร์ดให้กลายเป็นบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรมนั้นหมายถึง การใช้โปรแกรมช่วยสร้างบทเรียนผ่านเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ ในการสร้างบทเรียน เช่นMultimedia ToolBook ซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องรู้จักเลือกใช้โปรแกรมที่เหมาะสม การใช้โปรแกรมช่วยสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ในการสร้างนั้น ผู้ใช้จะสามารถได้มาซึ่งงานที่ตรงกับความต้องการและลดเวลาในการสร้างได้ส่วนหนึ่ง หากโปรแกรมช่วยสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์นี้ไม่เหมาะนักการงานที่มีความซับซ้อนมาก อย่างไรก็ดีเมื่อผู้ออกแบบเลือกแล้วที่จะสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้โปรแกรมช่วยสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ผู้ออกแบบจะต้องใช้เวลาในการเลือกโปรแกรมที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนการผลิตเอกสารประกอบบทเรียน(Produce supporting materials)

เอกสารประกอบบทเรียนเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เอกสารประกอบบทเรียนแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ คู่มือการใช้ของผู้เรียน คู่มือการใช้ของผู้สอน คู่มือสำหรับแก้ปัญหาเทคนิคต่างๆ และเอกสารประกอบเพิ่มเติมทั่วๆ ไป ผู้เรียนและผู้สอนย่อมต้องมีความต้องการแตกต่างกันไปดังนั้นคู่มือสำหรับผู้เรียนและผู้สอนจึงต้องไม่เหมือนกัน ผู้สอนอาจต้องการข้อมูลเกี่ยวกับการติดตั้งโปรแกรม การเข้าไปดูข้อมูลผู้เรียนและการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้ในหลักสูตรนอกจากนี้อาจต้องการข้อมูลเกี่ยวกับการตัดสินใจว่าจะใช้โปรแกรมนั้นหรือไม่และใช้อย่างไรผู้เรียนอาจต้องการข้อมูลในการจัดการกับบทเรียนและการสืบไปในบทเรียน คู่มือปัญหาเทคนิคก็มีความจำเป็นหากการติดตั้งบทเรียนมีความสลับซับซ้อนหรือต้องใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ เช่น การติดตั้งแลน

เป็นต้น เอกสารเพิ่มเติมประกอบก็อาจได้แก่ แผนภาพ ข้อสอบ ภาพประกอบ หรือเอกสารที่ใช้ประกอบการเรียนต่างๆ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 7 ขั้นตอนการประเมินและแก้ไขบทเรียน(Evaluate and revise)

ในช่วงสุดท้ายบทเรียนและเอกสารประกอบทั้งหมดควรที่จะได้รับการประเมิน โดยเฉพาะการประเมินในส่วนของการนำเสนอและการทำงานของบทเรียน ในส่วนของการนำเสนอนั้นผู้ที่ควรจะทำการประเมินคือผู้ที่มีประสบการณ์ในการออกแบบมาก่อน ในการประเมินการทำงานของบทเรียนนั้น ผู้ออกแบบควรที่จะสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนในขณะที่ใช้บทเรียนหรือสัมภาษณ์ผู้เรียนหลังการใช้บทเรียน นอกจากนี้ยังอาจทดสอบความรู้ผู้เรียนหลังจากที่ได้ทำการเรียนจากบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์นั้นๆ แล้ว โดยผู้เรียนจะต้องมาจากผู้เรียนในกลุ่มเป้าหมาย ขั้นตอนนี้อาจครอบคลุมการทดลองนำร่องและการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญได้

ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพบทเรียนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

อรพันธ์ ประสิทธิรัตน์ . (2530 : 80-84) กล่าวไว้ว่า ในกรณีที่ได้บทเรียนที่สมบูรณ์แล้วก่อนนำบทเรียนไปใช้กับผู้เรียนควรจะได้นำบทเรียนนั้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน แล้วอาจต้องปรับปรุงแก้ไขจนเป็นที่พอใจแล้วนำไปทดลอง โดยหากลุ่มตัวอย่างเล็กๆ ประมาณ 2-3 คนก่อน เพื่อจะได้ตรวจสอบในด้านการใช้ถ้อยคำสำนวน หรือคำสั่งว่าเหมาะสมหรือไม่ ถ้าไม่เหมาะสมจะต้องแก้ไขปรับปรุงใหม่ หลังจากนั้นจึงนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพบทเรียนตามกระบวนการหาประสิทธิภาพของสื่อการสอน

2.5 การประเมินบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

2.5.1 การประเมินคุณลักษณะของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้นหลายคนเข้าใจผิดว่าตนเองรู้จักการใช้โปรแกมประพันธ์บทเรียน(Authoring Tools) ก็จะสามารถสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้ แต่ว่าขั้นตอนที่ยากที่สุดของการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์คือขั้นตอนการออกแบบบทเรียน นั้นคือจะทำอย่างไรจึงจะย่อยเนื้อหา ทำให้เนื้อหาเป็นเรื่องที่ง่าย สะดวก สนุก พอดีกับความต้องการของผู้เรียน เพราะฉะนั้นจะทำอย่างไรจึงจะตีโจทย์ปัญหากับเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรม ทำอย่างไรจึงจะเปลี่ยนข้อความตัวอักษรให้เป็นกิจกรรมที่มีความหลากหลายไม่น่าเบื่อ ทำอย่างไรจึงจะหาภาพที่มาแทนคำพูด ทำอย่างไรจึงจะเปลี่ยนคำพูดให้เป็นเสียง จึงมีการนำแนวคิดของ โรเบิร์ต กาเย่ (Robert Gangné) 9 ประการ มาใช้ประกอบการพิจารณาในการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แนวความคิดของกาเย่ เพื่อให้ได้บทเรียนที่เกิดจากการออกแบบในลักษณะการเรียนการสอนจริง โดยยึดหลักการนำเสนอเนื้อหาและจัดกิจกรรมการเรียนรู้จากการมีปฏิสัมพันธ์ หลักการสอนทั้ง 9 ประการ รายละเอียดแต่ละขั้นตอน มีดังนี้

2.5.1.1 เร่งเร้าความสนใจ(Gain attention)

ก่อนที่จะเริ่มการนำเสนอเนื้อหาบทเรียน ควรมีการจูงใจและเร่งเร้าความสนใจให้ผู้เรียนอยากเรียน ดังนั้น บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงควรเริ่มด้วยการใช้ภาพ แสง สี เสียง หรือใช้สื่อประกอบกันหลายๆ อย่าง โดยสื่อที่สร้างขึ้นมานั้นต้องเกี่ยวข้องกับเนื้อหาและน่าสนใจ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความสนใจของผู้เรียน นอกจากเร่งเร้าความสนใจแล้ว ยังเป็นการเตรียมความพร้อมให้ผู้เรียนพร้อมที่จะศึกษาเนื้อหาต่อไปในตัวอีกด้วย ตามลักษณะของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน การเร่งเร้าความสนใจในขั้นตอนแรกนี้ก็คือ การนำเสนอบทนำเรื่อง(Title) ของบทเรียนนั่นเอง ซึ่งหลักสำคัญประการหนึ่งของการออกแบบในส่วนนี้คือ ควรให้สายตาของผู้เรียนอยู่ที่จอภาพ โดยไม่พะวงอยู่ที่แป้นพิมพ์หรือส่วนอื่นๆ แต่ถ้าบทนำเรื่องดังกล่าวต้องการตอบสนองจากผู้เรียนโดยการปฏิสัมพันธ์ผ่านทางอุปกรณ์ป้อนข้อมูล ก็ควรเป็นการตอบสนองที่ง่ายๆ เช่นกดแป้น Spacebar คลิกเมาส์ หรือกดแป้นพิมพ์ตัวใดตัวหนึ่งเป็นต้น

สิ่งที่ต้องพิจารณาเพื่อเร่งเร้าความสนใจของผู้เรียนมีดังนี้

1. เลือกใช้ภาพกราฟฟิกที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา เพื่อเร่งเร้าความสนใจในส่วนของบทนำเรื่อง โดยมีข้อพิจารณาดังนี้

1.1 ใช้ภาพกราฟฟิกที่มีขนาดใหญ่ชัดเจน และไม่ซับซ้อน

1.2 ใช้เทคนิคการนำเสนอที่ปรากฏภาพได้เร็ว เพื่อไม่ให้ผู้เรียนเบื่อ

1.3 ควรให้ภาพปรากฏบนจอภาพระยะหนึ่ง จนกระทั่งผู้เรียนกดแป้นพิมพ์ใดๆ จึงเปลี่ยนไปสู่แฟรมอื่นๆ เพื่อสร้างความคุ้นเคยให้กับผู้เรียน

1.4 เลือกใช้ภาพกราฟฟิกที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา ระดับความรู้ และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน

2. ใช้ภาพเคลื่อนไหวหรือใช้เทคนิคการนำเสนอภาพผลพิเศษเข้าช่วย เพื่อแสดงการเคลื่อนไหวของภาพ แต่ควรใช้เวลาสั้นๆ และง่าย

3. เลือกใช้สีที่ตัดกับฉากหลังอย่างชัดเจน โดยเฉพาะสีเข้ม

4. เลือกใช้เสียงที่สอดคล้องกับภาพกราฟฟิกและเหมาะสมกับเนื้อหาบทเรียน

5. ควรบอกชื่อเรื่องบทเรียนไว้ด้วยในส่วนของบทนำเรื่อง

2.5.1.2 บอกวัตถุประสงค์(Specify objective)

วัตถุประสงค์ของบทเรียน นับว่าเป็นส่วนสำคัญยิ่งต่อกระบวนการเรียนรู้ ที่ผู้เรียนจะได้ทราบถึงความคาดหวังของบทเรียนจากผู้เรียน นอกจากผู้เรียนจะทราบถึงพฤติกรรมขั้นสุดท้ายของตนเองหลังจบบทเรียนแล้ว จะยังเป็นการแจ้งให้ทราบล่วงหน้าถึงประเด็นสำคัญของเนื้อหา รวมทั้งเค้าโครงของเนื้อหาอีกด้วย การที่ผู้เรียนทราบถึงขอบเขตของเนื้อหาอย่างคร่าวๆ จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถผสมผสานแนวความคิดในรายละเอียดหรือส่วนย่อยของเนื้อหาให้สอดคล้องและสัมพันธ์กับเนื้อหาในส่วนใหญ่ได้ ซึ่งมีผลทำให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น นอกจากจะมีผลดังกล่าว

แล้ว ผลการวิจัยยังพบด้วยว่า ผู้เรียนที่ทราบวัตถุประสงค์ของการเรียนก่อนเรียนบทเรียน จะสามารถจำและเข้าใจในเนื้อหาได้ดีขึ้นอีกด้วย

วัตถุประสงค์บทเรียนจำแนกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ วัตถุประสงค์ทั่วไป และวัตถุประสงค์เฉพาะ หรือวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม การบอกวัตถุประสงค์ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมักกำหนดเป็นวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม เนื่องจากเป็นวัตถุประสงค์ที่ชี้เฉพาะ สามารถวัดได้และสังเกตุได้ ซึ่งง่ายต่อการตรวจวัดผู้เรียนในขั้นสุดท้าย อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์ทั่วไปก็มีความจำเป็นที่จะต้องแจ้งให้ผู้เรียนทราบถึงเค้าโครงเนื้อหาแนวกว้างๆ เช่นกัน

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการบอกวัตถุประสงค์บทเรียน มีดังนี้

1. บอกวัตถุประสงค์โดยเลือกใช้ประโยคสั้นๆ แต่ได้ใจความ อ่านแล้วเข้าใจไม่ต้องแปลความอีกครั้ง
2. หลีกเลี่ยงการใช้คำที่ยังไม่เป็นที่รู้จัก และเป็นที่เข้าใจของผู้เรียนโดยทั่วไป
3. ไม่ควรกำหนดวัตถุประสงค์หลายข้อเกินไปในเนื้อหาแต่ละส่วนๆ ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดความสับสน หากมีเนื้อหามาก ควรแบ่งบทเรียนออกเป็นหัวเรื่องย่อยๆ
4. ควรบอกการนำไปใช้งานให้ผู้เรียนทราบด้วยว่า หลังจากจบบทเรียนแล้วจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำอะไรได้บ้าง
5. ถ้าบทเรียนนั้นประกอบด้วยบทเรียนย่อยหลายหัวเรื่อง ควรบอกทั้งวัตถุประสงค์ทั่วไป และวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยบอกวัตถุประสงค์ทั่วไปในบทเรียนหลักและตามด้วยรายการให้เลือก หลังจากนั้นจึงบอกวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของแต่ละบทเรียนย่อยๆ
6. อาจนำเสนอวัตถุประสงค์ให้ปรากฏบนจอภาพทีละข้อๆ ก็ได้ แต่ควรคำนึงถึงเวลาการนำเสนอให้เหมาะสม หรืออาจให้ผู้เรียนกดแป้นพิมพ์เพื่อศึกษาวัตถุประสงค์ต่อไปทีละข้อก็ได้
7. เพื่อให้การนำเสนอวัตถุประสงค์น่าสนใจยิ่งขึ้น อาจใช้กราฟฟิกง่ายๆ เข้าช่วย เช่น ตีกรอบ ใช้ลูกศร และใช้รูปทรงเรขาคณิต แต่ไม่ควรใช้การเคลื่อนไหวเข้าช่วย โดยเฉพาะกับตัวหนังสือ

2.5.1.3 ทบทวนความรู้เดิม(Activate prior knowledge)

การทบทวนความรู้เดิมก่อนที่จะนำเสนอความรู้ใหม่แก่ผู้เรียน มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาวิธีการประเมิน ความรู้ที่จำเป็นสำหรับบทเรียนใหม่ เพื่อไม่ให้ผู้เรียนเกิดปัญหาในการเรียนรู้ วิธีปฏิบัติโดยทั่วไปสำหรับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนก็คือ การทดสอบก่อนบทเรียน(Pre-test) ซึ่งเป็นการประเมินความรู้ของผู้เรียน เพื่อทบทวนเนื้อหาเดิมที่เคยศึกษาผ่านมาแล้ว และเพื่อเตรียมความพร้อมในการรับเนื้อหาใหม่ นอกจากจะเป็นการตรวจวัดความรู้พื้นฐานแล้ว บทเรียนบางเรื่องอาจใช้ผลจากการทดสอบก่อนบทเรียนมาเป็นเกณฑ์จัดระดับความสามารถของ

ผู้เรียน เพื่อจัดบทเรียนให้ตอบสนองต่อระดับความสามารถของผู้เรียน เพื่อจัดบทเรียนให้ตอบสนองต่อระดับความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียนแต่ละคน

แต่อย่างไรก็ตาม ในขั้นการทบทวนความรู้เดิมนี้ไม่จำเป็นต้องเป็นการทดสอบเสมอไป หากเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นเป็นชุดบทเรียนที่เรียนต่อเนื่องกันไปตามลำดับ การทบทวนความรู้เดิม อาจอยู่ในรูปแบบของการกระตุ้นให้ผู้เรียนคิดย้อนหลังถึงสิ่งที่ได้เรียนรู้มาก่อนหน้านี้ก็ได้ การกระตุ้นดังกล่าวอาจแสดงด้วยคำพูด คำเขียน ภาพ หรือผสมผสานกันแล้วแต่ความเหมาะสม ปริมาณมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับเนื้อหา ตัวอย่างเช่น การนำเสนอเนื้อหาเรื่องการต่อตัวต้านทานแบบผสม ถ้าผู้เรียนไม่สามารถเข้าใจวิธีการหาความต้านทานรวม กรณีนี้ควรจะมีวิธีการวัดความรู้เดิมของผู้เรียนก่อนว่ามีความเข้าใจเพียงพอที่จะคำนวณหาค่าต่างๆ ในแบบผสมหรือไม่ ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบก่อน ถ้าพบว่าผู้เรียนไม่เข้าใจวิธีการคำนวณ บทเรียนต้องชี้แนะให้ผู้เรียนกลับไปศึกษาเรื่องการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานก่อน หรืออาจนำเสนอบทเรียนย่อยเพิ่มเติมเรื่องดังกล่าว เพื่อเป็นการทบทวนก่อนก็ได้

สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการทบทวนความรู้เดิม มีดังนี้

1. ควรมีการทดสอบความรู้พื้นฐานหรือนำเสนอเนื้อหาเดิมที่เกี่ยวข้อง เพื่อเตรียมความพร้อมผู้เรียนในการเข้าสู่เนื้อหาใหม่ โดยไม่ต้องคาดเดาว่าผู้เรียนมีพื้นความรู้เท่ากัน
2. แบบทดสอบต้องมีคุณภาพ สามารถแปลผลได้ โดยวัดความรู้พื้นฐานที่จำเป็นกับการศึกษาเนื้อหาใหม่เท่านั้น มิใช่แบบทดสอบเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแต่อย่างใด
3. การทบทวนเนื้อหาหรือการทดสอบ ควรใช้เวลาสั้นๆ กระชับ และตรงตามวัตถุประสงค์ของบทเรียบนมากที่สุด
4. ควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนออกจากเนื้อหาใหม่หรือออกจากการทดสอบ เพื่อไปศึกษาทบทวนได้ตลอดเวลา
5. ถ้าบทเรียนไม่มีการทดสอบความรู้พื้นฐานเดิม บทเรียนต้องนำเสนอวิธีการกระตุ้นให้ผู้เรียนย้อนกลับไปคิดถึงสิ่งที่ศึกษาผ่านมาแล้ว หรือสิ่งที่มีประสบการณ์ผ่านมาแล้ว โดยอาจใช้ภาพประกอบในการกระตุ้นให้ผู้เรียนย้อนคิด จะทำให้บทเรียนน่าสนใจยิ่งขึ้น

2.5.1.4 นำเสนอเนื้อหาใหม่(Present new information)

หลักสำคัญในการนำเสนอเนื้อหาของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนก็คือ ควรนำเสนอภาพที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา ประกอบกับคำอธิบายสั้นๆ ง่ายแต่ได้ใจความ การใช้ภาพประกอบ จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาง่ายขึ้น และมีความคงทนในการจำได้ดีกว่าการใช้คำอธิบายเพียงอย่างเดียว โดยหลักการที่ว่า ภาพจะช่วยอธิบายสิ่งที่เป็นนามธรรมให้ง่ายต่อการรับรู้ แม้ในเนื้อหาบางช่วงจะมีความยากในการที่จะคิดสร้างภาพประกอบ แต่ก็ควรพิจารณาวิธีการต่างๆ ที่จะนำเสนอด้วยภาพให้ได้ แม้จะมีจำนวนน้อย แต่ก็ยังดีกว่าคำอธิบายเพียงคำเดียว

ภาพที่ใช้ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจำแนกออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ภาพนิ่ง ได้แก่ ภาพลายเส้น ภาพ 2 มิติ ภาพ 3 มิติ ภาพถ่ายของจริง แผนภาพ แผนภูมิ และกราฟ อีกส่วนหนึ่งได้แก่ภาพเคลื่อนไหว เช่น ภาพวิดีทัศน์ ภาพจากแหล่งสัญญาณดิจิตอลต่างๆ เช่น จากเครื่องเล่นภาพโฟโต้ซีดี เครื่องเล่นเลเซอร์ดิสก์ กล้องถ่ายภาพวิดีทัศน์ และภาพจากโปรแกรมสร้างภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น

อย่างไรก็ตามการใช้ภาพประกอบเนื้อหาอาจไม่ได้ผลเท่าที่ควร หากภาพเหล่านั้นมีรายละเอียดมากเกินไป ใช้เวลามากไปในการปรากฏบนจอภาพ ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา ซับซ้อนเข้าใจยาก และไม่เหมาะสมในเรื่องเทคนิคการออกแบบ เช่น องค์ประกอบภาพไม่ดี เป็นต้น

ดังนั้น การเลือกภาพที่ใช้ในการนำเสนอเนื้อหาใหม่ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงควรพิจารณาในประเด็นต่างๆ ดังนี้

1. เลือกใช้ภาพประกอบการนำเสนอเนื้อหาให้มากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นเนื้อหาสำคัญๆ
2. เลือกใช้ภาพเคลื่อนไหว สำหรับเนื้อหาที่ยากและซับซ้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับขั้น หรือเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง
3. ใช้แผนภูมิ แผนภาพ แผนสถิติ สัญลักษณ์ หรือภาพเปรียบเทียบ ในการนำเสนอเนื้อหาใหม่ แทนข้อความคำอธิบาย
4. การเสนอเนื้อหาที่ยากและซับซ้อน ให้เน้นในส่วนของข้อความสำคัญ ซึ่งอาจใช้การขีดเส้นใต้ การตีกรอบ การกระพริบ การเปลี่ยนสีพื้น การโยงลูกศร การใช้สี หรือการชี้แนะด้วยคำพูด เช่น สังเกตที่ด้านขวาของภาพเป็นต้น
5. ไม่ควรใช้กราฟฟิกที่เข้าใจยาก และไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา
6. จัดรูปแบบของคำอธิบายให้น่าอ่าน หากเนื้อหายาว ควรจัดแบ่งกลุ่มคำอธิบายให้จบเป็นตอนๆ
7. คำอธิบายที่ใช้ในตัวอย่าง ควรกระชับและเข้าใจได้ง่าย
8. หากเครื่องคอมพิวเตอร์แสดงกราฟฟิกได้ช้า ควรเสนอเฉพาะที่จำเป็น
9. ไม่ควรใช้สีพื้นสลับไปสลับมาในแต่ละเฟรมเนื้อหา และไม่ควรเปลี่ยนสีไปมา โดยเฉพาะสีหลักของตัวอักษร
10. คำที่ใช้ควรเป็นคำที่ผู้เรียนระดับนั้นๆ คุ้นเคย และเข้าใจความหมายตรงกัน
11. ขณะนำเสนอเนื้อหาใหม่ ควรให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทำอย่างอื่นบ้าง แทนที่จะให้กด แป้นพิมพ์ หรือคลิกเมาส์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น เช่น การปฏิสัมพันธ์กับบทเรียนโดยวิธีการพิมพ์ หรือตอบคำถาม

2.5.1.5 ชี้แนะแนวทางการเรียนรู้(Guide learning)

ตามหลักการและเงื่อนไขการเรียนรู้(Condition of learning) ผู้เรียนจะจำเนื้อหาได้ดี หากมีการจัดระบบการเสนอเนื้อหาที่ดีและสัมพันธ์กับประสบการณ์เดิมหรือความรู้เดิมของผู้เรียน บางทฤษฎีกล่าวไว้ว่า การเรียนรู้ที่กระจ่างชัด(Meaningfull learning) นั้น ทางเดียวที่จะเกิดขึ้นได้ก็คือการที่ผู้เรียนวิเคราะห์และตีความในเนื้อหาใหม่ลงบนพื้นฐานของความรู้และประสบการณ์เดิมรวมกันเกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่ ดังนั้นหน้าที่ของผู้ออกแบบคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในขั้นนี้ก็คือพยายามค้นหาเทคนิคในการที่จะกระตุ้นให้ผู้เรียนนำความรู้เดิมมาใช้ในการศึกษาความรู้ใหม่ นอกจากนั้น ยังจะต้องพยายามหาวิถีทางที่จะทำให้การศึกษาความรู้ใหม่ของผู้เรียนนั้นมีความกระจ่างชัดเท่าที่จะทำได้ เป็นต้นว่า การใช้เทคนิคต่างๆ เข้าช่วย ได้แก่ เทคนิคการให้ตัวอย่าง(Example) และตัวอย่างที่ไม่ใช่ตัวอย่าง(Non-example) อาจจะช่วยทำให้ผู้เรียนแยกแยะความแตกต่างและเข้าใจมโนคติของเนื้อหาต่างๆ ได้ชัดเจนขึ้น

เนื้อหาบางหัวเรื่อง ผู้ออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบมัลติมีเดียอาจใช้วิธีการค้นพบ(Guided discovery) ซึ่งหมายถึง การพยายามให้ผู้เรียนคิดหาเหตุผล ค้นคว้า และวิเคราะห์หาคำตอบด้วยตนเอง โดยบทเรียนจะค่อยๆ ชี้แนะจากจุดกว้างๆ และแคบลงๆ จนผู้เรียนหาคำตอบได้เอง นอกจากนั้น การใช้คำอธิบายกระตุ้นให้ผู้เรียนได้คิด ก็เป็นเทคนิคอีกประการหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ในการชี้แนวทางการเรียนรู้ได้ สรุปแล้วในขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบจะต้องยึดหลักการจัดการเรียนรู้ จากสิ่งที่มีประสบการณ์เดิมไปสู่เนื้อหาใหม่ จากสิ่งที่ยากไปสู่สิ่งที่ง่ายกว่าตามลำดับขั้น

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการชี้แนะแนวทางการเรียนในขั้นนี้ มีดังนี้

1. บทเรียนควรแสดงให้ผู้เรียนได้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเนื้อหาความรู้ และช่วยให้เห็นว่าสิ่งย่อยนั้นมีความสัมพันธ์กับสิ่งใหญ่อย่างไร

2. ควรแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของสิ่งใหม่กับสิ่งที่ผู้เรียนมีประสบการณ์ผ่านมาแล้ว

3. นำเสนอตัวอย่างที่แตกต่างกัน เพื่อช่วยอธิบายความคิดรวบยอดใหม่ให้ชัดเจนขึ้น เช่น ตัวอย่างการเปิดหน้ากล้องหลายๆ ค่า เพื่อให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของรูรับแสง เป็นต้น

4. นำเสนอตัวอย่างที่ไม่ใช่ตัวอย่างที่ถูกต้อง เพื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ถูกต้อง เช่น นำเสนอภาพไม้ พลาสติก และยาง แล้วบอกว่าภาพเหล่านี้ไม่ใช่โลหะ

5. การนำเสนอเนื้อหาที่ยาก ควรให้ตัวอย่างที่เป็นรูปธรรมมากกว่านามธรรม ถ้าเป็นเนื้อหาที่ไม่ยากนัก ให้นำเสนอตัวอย่างจากนามธรรมในรูปธรรม

6. บทเรียนควรกระตุ้นให้ผู้เรียนคิดถึงความรู้และประสบการณ์เดิมที่ผ่านมา

2.5.1.6 กระตุ้นการตอบสนองบทเรียน(Elicit response)

นักการศึกษากล่าวว่า การเรียนรู้จะมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดนั้นเกี่ยวข้องโดยตรงกับระดับและขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูล หากผู้เรียนได้มีโอกาสร่วมคิด ร่วมกิจกรรมในส่วนที่เกี่ยวกับเนื้อหา และร่วมตอบคำถาม จะส่งผลให้มีความจำดีกว่าผู้เรียนที่ใช้วิธีอ่านหรือคัดลอกข้อความจากผู้อื่นเพียงอย่างเดียว

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีข้อได้เปรียบกว่าโสตทัศนูปการอื่นๆ เช่น วิดีทัศน์ ภาพยนตร์ สไลด์ เทปเสียง เป็นต้น ซึ่งสื่อการเรียนการสอนเหล่านี้จัดเป็นแบบปฏิสัมพันธ์ไม่ได้(Non-interactive media) แตกต่างจากการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้เรียนสามารถมีกิจกรรมร่วมในบทเรียนได้หลายลักษณะ ไม่ว่าจะเป็นการตอบคำถาม แสดงความคิดเห็น เลือกกิจกรรม และปฏิสัมพันธ์กับบทเรียน กิจกรรมเหล่านี้เองที่ไม่ทำให้ผู้เรียนรู้สึกเบื่อหน่าย เมื่อมีส่วนร่วม ก็มีส่วนคิดนำหรือติดตามบทเรียน ย่อมมีส่วนผูกประสานให้ความจำดีขึ้น

สิ่งที่ต้องพิจารณาเพื่อให้การจำของผู้เรียนดีขึ้น ผู้ออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจึงควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ร่วมกระทำกิจกรรมในบทเรียนอย่างต่อเนื่อง โดยมีข้อแนะนำดังนี้

1. ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้มีโอกาสตอบสนองต่อบทเรียนด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งตลอดบทเรียน เช่น ตอบคำถาม ทำแบบทดสอบ ร่วมทดลองในสถานการณ์จำลองเป็นต้น
2. ควรให้ผู้เรียนได้มีโอกาสในการพิมพ์คำตอบหรือเติมข้อความสั้นๆ เพื่อเรียกความสนใจ แต่ไม่ควรให้ผู้เรียนพิมพ์คำตอบที่ยาวเกินไป
3. ถามคำถามเป็นช่วงๆ สลับกับการนำเสนอเนื้อหา ตามความเหมาะสมของลักษณะเนื้อหา
4. เร่งเร้าความคิดและจินตนาการด้วยคำถาม เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ โดยใช้ความเข้าใจมากกว่าการใช้ความจำ
5. ไม่ควรถามครั้งเดียวหลายๆ คำถาม หรือถามคำถามเดียวแต่ตอบได้หลายคำตอบ ถ้าจำเป็นควรใช้คำตอบแบบตัวเลือก
6. หลีกเลี่ยงการตอบสนองซ้ำหลายๆ ครั้ง เมื่อผู้เรียนตอบผิดหรือทำผิด 2-3 ครั้ง ควรตรวจปรับเนื้อหาทันที และเปลี่ยนกิจกรรมเป็นอย่างอื่นต่อไป
7. เฟรมตอบสนองของผู้เรียน เฟรมคำถาม และเฟรมการตรวจปรับเนื้อหาควรอยู่บนหน้าจอภาพเดียวกัน เพื่อสะดวกในการอ้างอิง กรณีนี้อาจใช้เฟรมย่อยซ้อนขึ้นมาในเฟรมหลักก็ได้
8. ควรคำนึงถึงการตอบสนองที่มีข้อผิดพลาดอันเกิดจากการเข้าใจผิด เช่น การพิมพ์ตัว L กับเลข 1 ควรเคาะเว้นวรรคประโยคยาวๆ ข้อความเกินหรือขาดหายไป ตัวพิมพ์ใหญ่หรือตัวพิมพ์เล็กเป็นต้น

2.5.1.7 ให้ข้อมูลย้อนกลับ(Provide feedback)

ผลจากการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจะกระตุ้นความสนใจจากผู้เรียนได้มากขึ้น ถ้าบทเรียนนั้นท้าทาย โดยการบอกเป้าหมายที่ชัดเจน และแจ้งให้ผู้เรียนทราบว่าขณะนั้นผู้เรียนอยู่ที่ส่วนใด ห่างจากเป้าหมายเท่าใด

การให้ข้อมูลย้อนกลับดังกล่าว ถ้านำเสนอด้วยภาพจะช่วยเร่งเร้าความสนใจได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะถ้าภาพนั้นเกี่ยวกับเนื้อหาที่เรียน อย่างไรก็ตาม การให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยภาพ หรือกราฟฟิกอาจมีผลเสียอยู่บ้างตรงที่ผู้เรียนอาจต้องการดูผล ว่าหากทำผิด แล้วจะเกิดอะไรขึ้น ตัวอย่างเช่น บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบเกมการสอนแบบแขวนคอสำหรับการสอนคำศัพท์ภาษาอังกฤษ ผู้เรียนอาจตอบโดยการกดแป้นพิมพ์ไปเรื่อยๆ โดยไม่สนใจเนื้อหา เนื่องจากต้องการดูผลจากการแขวนคอ วิธีหลีกเลี่ยงก็คือ เปลี่ยนจากการนำเสนอภาพในทางบวก เช่น ภาพเล่นเรือเข้าหาฝั่ง ภาพขับยานสู่ดวงจันทร์ ภาพหนูเดินไปกินเนยแข็ง เป็นต้น ซึ่งจะไปถึงจุดหมายได้ด้วยการตอบถูกเท่านั้น หากตอบผิดจะไม่เกิดอะไรขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าเป็นบทเรียนที่ใช้กับกลุ่มเป้าหมายระดับสูงหรือเนื้อหาที่มีความยาก การให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคำเขียนหรือกราฟจะเหมาะสมกว่า

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการให้ข้อมูลย้อนกลับ มีดังนี้

1. ให้ข้อมูลย้อนกลับทันที หลังจากผู้เรียนโต้ตอบกับบทเรียน
2. ควรบอกให้ผู้เรียนทราบว่าตอบถูกหรือตอบผิด โดยแสดงคำถาม คำตอบ และการตรวจปรับบนเฟรมเดียวกัน
3. ถ้าให้ข้อมูลย้อนกลับโดยการใช้ภาพ ควรเป็นภาพที่ง่ายและเกี่ยวข้องกับเนื้อหา ถ้าไม่สามารถหาภาพที่เกี่ยวข้องได้ อาจใช้ภาพกราฟฟิกที่ไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาก็ได้
4. หลีกเลี่ยงการใช้ผลทางภาพ(Visual effects) หรือการให้ข้อมูลย้อนกลับที่ตื่นตาเกินไปในกรณีที่ผู้เรียนตอบผิด
5. อาจใช้เสียงสำหรับการให้ข้อมูลย้อนกลับ เช่นคำตอบถูกต้อง และคำตอบผิด โดยใช้เสียงที่แตกต่างกัน แต่ไม่ควรเลือกใช้เสียงที่ก่อให้เกิดลักษณะการเหยียดหยาม หรือดูแคลน ในกรณีที่ผู้เรียนตอบผิด
6. เฉลยคำตอบที่ถูกต้อง หลังจากที่ผู้เรียนตอบผิด 2-3 ครั้ง ไม่ควรปล่อยเวลาให้เสียไป
7. อาจใช้วิธีการให้คะแนนหรือแสดงภาพ เพื่อบอกความใกล้-ไกลจากเป้าหมายก็ได้
8. พยายามสุ่มการให้ข้อมูลย้อนกลับ เพื่อเรียกความสนใจตลอดบทเรียน

2.5.1.8 ทดสอบความรู้ใหม่(Assess performance)

การทดสอบความรู้ใหม่หลังจากศึกษาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรียกว่า การทดสอบหลังบทเรียน(Post-test) เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดสอบความรู้ของตนเอง

นอกจากนี้จะยังเป็นการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนว่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ เพื่อที่จะไปศึกษาในบทเรียนต่อไปหรือต้องกลับไปศึกษาเนื้อหาใหม่ การทดสอบหลังบทเรียนจึงมีความจำเป็นสำหรับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนทุกประเภท

นอกจากจะเป็นการประเมินผลการเรียนรู้แล้ว การทดสอบยังมีผลต่อความคงทนในการจดจำเนื้อหาของผู้เรียนด้วย แบบทดสอบจึงควรถามแบบเรียงลำดับตามวัตถุประสงค์ของบทเรียน ถ้าบทเรียนมีหลายหัวเรื่องย่อย อาจแยกแบบทดสอบออกเป็นส่วนๆ ตามเนื้อหา โดยมีแบบทดสอบรวมหลังบทเรียนอีกชุดหนึ่งก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าผู้ออกแบบบทเรียนต้องการแบบใด

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบทดสอบหลังบทเรียน มีดังนี้

1. ชี้แจงวิธีการตอบคำถามให้ผู้เรียนทราบก่อนอย่างแจ่มชัด รวมทั้งคะแนนรวม คะแนนรายข้อ และรายละเอียดที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น เกณฑ์ในการตัดสินผล เวลาที่ใช้ในการตอบโดยประมาณ

2. แบบทดสอบต้องวัดพฤติกรรมตรงกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของบทเรียน และควรเรียงลำดับจากง่ายไปยาก

3. ข้อคำถามคำตอบ และการตรวจปรับคำตอบ ควรอยู่บนเฟรมเดียวกัน และนำเสนออย่างต่อเนื่องด้วยความรวดเร็ว

4. หลีกเลี่ยงแบบทดสอบแบบอัตนัยที่ให้ผู้เรียนพิมพ์คำตอบยาว ยกเว้นข้อสอบที่ต้องการทดสอบทักษะการพิมพ์

5. ในแต่ละข้อ ควรมีคำถามเดียว เพื่อให้ผู้เรียนตอบครั้งเดียว ยกเว้นในคำถามนั้นมีคำถามย่อยอยู่ด้วย ซึ่งควรแยกออกเป็นหลายๆ คำถาม

6. แบบทดสอบควรเป็นข้อสอบที่มีคุณภาพ มีค่าอำนาจจำแนกดี ความยากง่ายเหมาะสมและมีความเชื่อมั่นเหมาะสม

7. อย่าตัดสินคำตอบว่าผิดถ้าการตอบไม่ชัดแจ้ง เช่นถ้าคำตอบที่ต้องการเป็นตัวอักษรแต่ผู้เรียนพิมพ์ตัวเลข ควรบอกให้ผู้เรียนตอบใหม่ ไม่ควรชี้ว่าคำตอบนั้นผิด และไม่ควรตัดสินคำตอบว่าผิด หากผิดพลาดหรือเว้นวรรคผิด หรือใช้ตัวพิมพ์เล็กแทนที่จะเป็นตัวพิมพ์ใหญ่เป็นต้น

8. แบบทดสอบชุดหนึ่งควรมีหลายๆ ประเภท ไม่ควรใช้เฉพาะข้อความเพียงอย่างเดียว ควรเลือกใช้ภาพประกอบบ้าง เพื่อเปลี่ยนบรรยากาศในการสอบ

2.5.1.9 สรุปและนำไปใช้(Review and transfer)

การสรุปและนำไปใช้ จัดว่าเป็นส่วนสำคัญในขั้นตอนสุดท้ายที่บทเรียนจะต้องสรุปมโนคติของเนื้อหาเฉพาะประเด็นสำคัญๆ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทบทวนความรู้ของตนเองหลังจากศึกษาเนื้อหาผ่านมาแล้ว ในขณะเดียวกัน บทเรียนต้อง

ชี้แนะเนื้อหาที่เกี่ยวข้องหรือให้ข้อมูลอ้างอิงเพิ่มเติม เพื่อแนะแนวทางให้ผู้เรียนได้ศึกษาต่อในบทเรียนถัดไป หรือนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นต่อไป

การออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในขั้นนี้ มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. สรุปองค์ความรู้เฉพาะประเด็นสำคัญๆ พร้อมทั้งชี้แนะให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับความรู้หรือประสบการณ์เดิมที่ผู้เรียนผ่านมาแล้ว
2. ทบทวนแนวคิดที่สำคัญของเนื้อหา เพื่อเป็นการสรุป
3. เสนอแนะเนื้อหาความรู้ใหม่ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้
4. บอกผู้เรียนถึงแหล่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาเนื้อหาต่อไป

ขั้นตอนการสอนทั้ง 9 ประการของ Robert Gagné เป็นมิติกว้างๆ แต่ก็สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งบทเรียนสำหรับการเรียนการสอนปกติในชั้นเรียนและบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เทคนิคอีกอย่างหนึ่งในการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแบบมัลติมีเดียที่ใช้เป็นหลักพื้นฐานก็คือ การทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึกใกล้เคียงกับการเรียนรู้โดยผู้สอนในชั้นเรียน โดยปรับเปลี่ยนกระบวนการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับการใช้งานของคอมพิวเตอร์ให้มากที่สุด (รุจโรจน์ แก้วอุไร : 2545) [Internet]

2.5.2 การประเมินผลการใช้บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับการประเมินในแง่ของการจัดการเรียนการสอนผ่านเว็บ ซึ่งจัดว่าเป็นการจัดการเรียนการสอนทางไกล วิธีในการประเมินผลสามารถทำได้ทั้งผู้สอน ประเมินผู้เรียนหรือให้ผู้เรียนประเมินผลผู้สอน ซึ่งองค์ประกอบที่ใช้เป็นมาตรฐานจะเป็นคุณภาพของเรียนการสอน วิธีประเมินผลที่ใช้กันอยู่ในการประเมินผลมีหลายวิธีการ แต่ถ้าจะประเมินผลการใช้เว็บช่วยสอน ก็ต้องพิจารณาวิธีการที่เหมาะสมและทันกับเทคโนโลยี ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะกับเว็บซึ่งเป็นการศึกษาทางไกลวิธีหนึ่ง

การประเมินผลแบบทั่วไปที่เป็นการประเมินระหว่างเรียน(Formative evaluation) กับการประเมินรวมหลังเรียน(Summative evaluation) เป็นวิธีการประเมินผลสำหรับการเรียนการสอน โดยการประเมินระหว่างเรียนสามารถทำได้ตรลอดเวลาระหว่างมีการเรียนการสอน เพื่อดูผลสะท้อนของผู้เรียนและดูผลที่คาดหวังได้ อันจะนำไปปรับปรุงการสอนอย่างต่อเนื่อง ขณะที่การประเมินหลังเรียนมักจะใช้การตัดสินใจตอนท้ายของการเรียนโดยการใช้แบบทดสอบเพื่อวัดผลตามวัตถุประสงค์ของรายวิลา พอตเตอร์ (Potter, 1998) ได้เสนอวิธีการประเมินสำหรับเว็บช่วยสอน ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ประเมินสำหรับการเรียนการสอนทางไกลผ่านเว็บของมหาวิทยาลัยจอร์จ เมสัน โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 4 แบบ คือ

2.5.2.1 การประเมินด้วยเกรดในรายวิชา(Course Grades) เป็นการประเมินที่ผู้สอนให้คะแนนกับผู้เรียน ซึ่งวิธีการนี้กำหนดองค์ประกอบของวิชาชัดเจน ได้แก่

การสอบ	30%
การมีส่วนรวม	10%
โครงงานกลุ่ม	30%
งานที่มอบหมายในแต่ละสัปดาห์	30%

2.5.2.2 การประเมินรายคู่(Peer evaluation) เป็นการประเมินกันเองระหว่างคู่ของผู้เรียนที่เลือกจัดคู่กันในการเรียนทางไกลด้วยกัน ไม่เคยพบกันหรือทำงานด้วยกัน โดยให้ทำโครงงานร่วมกันโดยติดต่อกันผ่านเว็บ และสร้างโครงงานเป็นเว็บที่เป็นแฟ้มสะสมงาน โดยแสดงเว็บให้นักเรียนคนอื่น ๆ ได้เห็น และจะประเมินผลรายคู่จากโครงงาน

2.5.2.3 การประเมินต่อเนื่อง(Continuous evaluation) เป็นการประเมินที่ผู้เรียนต้องส่งงานทุกๆ สัปดาห์ให้กับผู้สอน โดยผู้สอนจะให้ข้อเสนอแนะ และตอบกลับในทันที ถ้ามีสิ่งที่ผิดพลาดกับผู้เรียนก็จะแก้ไข และประเมินตลอดเวลาในช่วงระยะเวลาของวิชา

2.5.2.4 การประเมินท้ายภาคเรียน(Final course evaluation) เป็นการประเมินผลปกติของการสอนที่ผู้เรียนนำส่งผู้สอนโดยการทำแบบสอบถาม ส่งผ่านไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์หรือเครื่องมืออื่นใดบนเว็บตามแต่จะกำหนด เป็นการประเมินตามแบบการสอนปกติที่จะต้องตรวจสอบความก้าวหน้าและผลสัมฤทธิ์การเรียนของผู้เรียน

การประเมินข้างต้นจึงเป็นการประเมินเว็บช่วยสอนในรายวิชาอย่างแท้จริง โดยมีกระบวนการที่ระบุชัดเจนว่าต้องการผลอย่างไร จากการเรียนการสอนผ่านเว็บ แต่การประเมินดังกล่าวเป็นการประเมินเน้นผลการใช้เว็บช่วยสอนที่เป็นรูปธรรม ในขณะที่การประเมินไปที่ตัวเว็บช่วยสอน ในส่วนของเนื้อหาและการออกแบบก็เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง การประเมินเว็บช่วยสอนในลักษณะต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นกระบวนการที่พยายามจะให้การเรียนการสอนผ่านเว็บเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ตั้งแต่เริ่มต้นประเมินว่าเว็บไซต์ใดควรจะเป็นเว็บช่วยสอน เมื่อสร้างเป็นเว็บช่วยสอนควรจะมีคุณลักษณะอย่างไร เมื่อนำไปใช้ในการเรียนการสอนแล้วจะวัดและประเมินผลลักษณะไหน ซึ่งจะทำให้เราสามารถกำหนดวิธีการออกแบบและสร้างเว็บช่วยสอนได้อย่างสมบูรณ์ (ปรัชนันท์ นิลสุข.2546) [Internet]

2.6 เทคโนโลยีบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ กับการใช้งานในสถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การเรียนรู้แบบออนไลน์ หรือ E-learning เป็นการศึกษาเรียนรู้ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์อินเทอร์เน็ต(Internet) หรืออินทราเน็ต(Intranet) เป็นการเรียนรู้ด้วยตัวเอง ผู้เรียนจะได้เรียนเสริมจากเนื้อหาหลักที่บรรยายในห้องเรียนหรือตามที่ได้รับมอบหมาย ลักษณะเนื้อหาของบทเรียนซึ่งประกอบด้วย ข้อความ รูปภาพ เสียง วิดีโอและมัลติมีเดียอื่นๆ จะถูกส่งไปยังผู้เรียนผ่าน Web

Browser โดยมีเครื่องมือที่ทำให้ ผู้เรียน ผู้สอน และเพื่อนร่วมชั้นเรียนทุกคน สามารถติดต่อ ปรึกษา แลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างกันได้คล้ายกับการเรียนในชั้นเรียนปกติ โดยอาศัยเครื่องมือการติดต่อ สื่อสารที่ทันสมัย(e-mail, web-board, chat) จึงเป็นการเรียนสำหรับทุกคน เรียนได้ทุกเวลาและทุกสถานที่(Learn for all : anyone, anywhere and anytime)

2.6.1. องค์ประกอบของ E-learning

การให้บริการการเรียนแบบออนไลน์ หรือ E-learning มีองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน โดยแต่ละส่วนจะต้องได้รับการออกแบบมาเป็นอย่างดี เพราะเมื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกันแล้ว ระบบทั้งหมดจะต้องทำงานประสานกันได้อย่างลงตัว

2.6.1.1 เนื้อหาของบทเรียน

สำหรับการเรียน การศึกษาแล้วไม่ว่าจะเรียนอย่างไรก็ตามเนื้อหาถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด E-learning ก็เช่นกัน ทางสถาบันฯ ได้ให้ความสำคัญในข้อนี้เป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก E-learning นั้นถือว่าเป็นการเรียนรู้แบบใหม่สำหรับครูอาจารย์ในสถาบันฯ ดังนั้นเนื้อหาของการเรียนแบบนี้ที่พัฒนาเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงมีอยู่น้อยมากทำให้ไม่เพียงพอกับความต้องการในการเรียนการสอนในทุกหลักสูตร โครงการสำนักนวัตกรรมจึงได้เร่งติดต่อ ประสาน สร้างเครือข่ายความร่วมมือกับอาจารย์ในสถาบันฯ นำเนื้อหาความรู้ที่มีอยู่ มาพัฒนาเป็นบทเรียนออนไลน์ โดยเจ้าของเนื้อหาวิชา(Content provider)

2.6.1.2 ระบบบริหารการเรียน

เนื่องจากการเรียนแบบออนไลน์หรือ E-learning นั้นเป็นการเรียนที่สนับสนุนให้ผู้เรียนได้ศึกษา เรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง ระบบบริหารการเรียนที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลาง กำหนดลำดับของเนื้อหาในบทเรียน นำส่งบทเรียนผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไปยังผู้เรียน ประเมินผลความสำเร็จของบทเรียน ควบคุม และสนับสนุนการให้บริการทั้งหมดแก่ผู้เรียน จึงถือว่าเป็นองค์ประกอบของ E-learning ที่สำคัญมาก เราเรียกระบบนี้ว่าระบบบริหารการเรียน (LMS : E-learning Management System) ถ้าจะกล่าวโดยรวม LMS จะทำหน้าที่ตั้งแต่ผู้เรียนเริ่มเข้าลงทะเบียน เข้ามาเรียน โดยจัดเตรียมหลักสูตร, บทเรียนทั้งหมดเอาไว้พร้อมที่จะให้ผู้เรียนได้เข้ามาเรียน เมื่อผู้เรียนได้เริ่มต้นบทเรียนแล้วระบบจะเริ่มทำงานโดยส่งบทเรียนตามคำขอของผู้เรียนผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (อินเทอร์เน็ต, อินทราเน็ต หรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์อื่นๆ) ไปแสดงที่ Web browser ของผู้เรียน จากนั้นระบบก็จะติดตามและบันทึกความก้าวหน้า รวมทั้งสร้างรายงานกิจกรรมและผลการเรียนของผู้เรียนในทุกหน่วยการเรียนอย่างละเอียด จนกระทั่งจบหลักสูตร

2.6.1.3 การติดต่อสื่อสาร

การเรียนทางไกลโดยทั่วไปแล้วมักจะเป็นการเรียนด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องเข้าชั้นเรียนปกติ ซึ่งผู้เรียนจะเรียนจากสื่อการเรียนการสอนประเภทสิ่งพิมพ์ วิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์

และสื่ออื่น การเรียนแบบ E-learning ก็เช่นกันถือว่าเป็นการเรียนทางไกลแบบหนึ่ง แต่สิ่งสำคัญที่ทำให้ E-learning มีความโดดเด่นและแตกต่างไปจากการเรียนทางไกลทั่วๆไปก็คือการนำรูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบ 2 ทาง มาใช้ประกอบในการเรียนเพื่อเพิ่มความสนใจความตื่นตัวของผู้เรียนที่มีต่อบทเรียนให้มากยิ่งขึ้น เช่นในระหว่างเรียนถ้ามีคำถามซึ่งเป็นการทดสอบย่อยในบทเรียนเมื่อคำถามปรากฏขึ้นมาผู้เรียนก็จะต้องเลือกคำตอบและส่งคำตอบกลับมายังระบบในทันที เหตุการณ์ดังกล่าวจะทำให้ผู้เรียนรักษาระดับความสนใจในการเรียนได้เป็นระยะเวลามากขึ้น นอกจากนี้วัตถุประสงค์สำคัญอีกประการของการติดต่อแบบ 2 ทางก็คือใช้เป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้ผู้เรียนได้ติดต่อ สอบถาม ปรึกษาหารือ และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างตัวผู้เรียนกับครู อาจารย์ผู้สอนและระหว่างผู้เรียนกับเพื่อนร่วมชั้นเรียนคนอื่นๆ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1. ประเภท Real-time ได้แก่ Chat(Message, voice), White board/Text slide, Real-time Annotations, Interactive poll, Conferencing และอื่นๆ
2. ประเภท Non real-time ได้แก่ Web-board, e-mail

2.1.6.4 การสอบ/วัดผลการเรียน

โดยทั่วไปแล้วการเรียนไม่ว่าจะเป็นการเรียนในระดับใด หรือเรียนวิธีใด ก็ย่อมต้องมีการสอบ/การวัดผลการเรียนเป็นส่วนหนึ่งอยู่เสมอ การสอบ/วัดผลการเรียนจึงเป็นส่วนประกอบสำคัญที่จะทำให้การเรียนแบบ E-learning เป็นการเรียนที่สมบูรณ์ กล่าวคือในบางวิชาจำเป็นต้องวัดระดับความรู้ก่อนเข้าสมัครเข้าเรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้เลือกเรียนในบทเรียน หลักสูตรที่เหมาะสมกับนักศึกษามากที่สุด ซึ่งจะทำให้การเรียนที่จะเกิดขึ้นเป็นการเรียนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อเข้าสู่บทเรียนในแต่ละหลักสูตรก็จะมีการสอบย่อยท้ายบท และการสอบกลางภาคและปลายภาค ระบบบริหารการเรียนจะเรียกข้อสอบที่จะใช้มากจากระบบบริหารคลังข้อสอบ(Test bank system) ซึ่งเป็นส่วยย่อยที่รวมอยู่ในระบบบริหารการเรียน(LMS : E-learning Management System)

สำหรับระบบบริหารคลังข้อสอบ มีขีดความสามารถดังนี้

1. สอบออนไลน์ผ่าน Web browser
2. นำสื่อมัลติมีเดียมาประกอบในการสร้างข้อสอบ
3. การรักษาความปลอดภัยทั้งในด้านการรับ-ส่งข้อสอบ
4. การกำหนดสิทธิการใช้งานระบบทำได้หลายระดับ
5. ผู้สอนเป็นผู้กำหนดรูปแบบรายงานผลการสอบ
6. การนำค่าทางสถิติมาวิเคราะห์ผลการสอบของผู้เรียน
7. สามารถวิเคราะห์ตัวข้อสอบได้

2.6.2 มาตรฐานสำหรับ E-learning

มาตรฐานของ E-learning มีส่วนสำคัญเพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกันระหว่างระบบ E-learning ของสถาบันการศึกษาอื่นๆ ที่สนใจจะแลกเปลี่ยนเนื้อหาบทเรียนระหว่างกัน เป็นการแชร์ Learning resource รวมทั้งการแชร์ข้อมูลกับซอฟแวร์ระบบอื่นๆ เช่น ระบบบริหารงานบุคคล ระบบลงทะเบียน เป็นต้น มาตรฐานของระบบ E-learning ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อกำหนดกฎเกณฑ์ด้านเทคโนโลยี E-learning ให้กับกลุ่มบริษัท ผู้ผลิตซอฟแวร์ ผู้สร้างบทเรียน Web Based Instruction หรือ Online Course โดยจะเป็นการกำหนดแพลตฟอร์มของ Learning Management ที่จะต้องเข้ากันได้ และสามารถเชื่อมต่อ ส่งต่อถึงกันและกันได้อย่างไม่มีข้อจำกัด กฎเกณฑ์ที่มาตรฐานต่าง ๆ คำนึงถึงก็คือกฎเกณฑ์ด้านรายละเอียดโมเดลของ Learning Content Management Systems (LCMS) และ Learning Management Systems (LMS) ซึ่งจะต้องทำงานร่วมกับโปรโตคอลอื่น ๆ ที่สร้างขึ้นเฉพาะ ให้ระบบสามารถสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล หรือทำงานร่วมกันได้ เปรียบเสมือนการเปิดช่องทางให้ผู้พัฒนาเนื้อหาระบบ E-learning จากบริษัทผู้ผลิตแหล่งต่าง ๆ สามารถใช้งานร่วมกันได้โดยมีมาตรฐานที่กำหนดเป็นตัวห่อหุ้มเนื้อหา หรือบทเรียนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน จะช่วยให้การสร้างเนื้อหาบทเรียนทำได้ง่าย สามารถนำมาแก้ไขปรับปรุงเนื้อหาได้ง่าย นำข้อมูลเดิมกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือนำมาเพิ่มรวมกับเนื้อหาใหม่ เพื่อง่ายต่อการสร้างหลักสูตรใหม่ ๆ สิ่งที่ตามมาก็จะเป็นการขยายฐานองค์ความรู้ และรองรับการเติบโตของ E-learning ได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นมาตรฐานต่าง ๆ จะช่วยแก้ปัญหาการไม่เข้ากันได้ของเนื้อหาบทเรียนของระบบ E-learning จากแหล่งผลิตที่แตกต่างกันได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันมีบริษัท และองค์กรที่เกี่ยวข้องทำหน้าที่กำหนดมาตรฐานอยู่หลายกลุ่ม

กลุ่ม Advanced Distributed Learning Initiative (ADL) ซึ่งเป็นคณะทำงานกำหนดของมาตรฐานของระบบ LMS กลุ่มหนึ่ง ที่ได้ประสานการทำงานกับกลุ่ม IEEE LTSC อย่างใกล้ชิด ดังนั้นมาตราฐานนี้จึงเหมาะกับระบบของหน่วยงานภาครัฐ ซึ่งรวมหมายถึงหน่วยงานทางการศึกษาของภาครัฐด้วย แนวทางดังกล่าวจะรู้จักในนามของ Shareable Content Object Reference Model (SCORM) ซึ่งตามมาตรฐานของ SCORM แบ่งเป็น 2 ส่วนหลักดังนี้

1. SCORM Content Aggregation ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการกำหนดและรวบรวมทรัพากรในการเรียนการสอน เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ และสามารถใช้เนื้อหาร่วมกันได้สำหรับ LMS แต่ละสถาบันการศึกษา ซึ่งเนื้อหาของ SCORM Content Aggregation นี้แบ่งย่อออกเป็น 3 ส่วนคือ Content model เมตาดาต้า และ Content packaging

2. SCORM Run-time Environment จะกำหนดความสามารถในการทำงานร่วมกับ LMS และ learning content เช่นความสามารถในการให้ LMS รับเนื้อหาที่สร้างจากเครื่องมือที่แตกต่างกันและสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในเนื้อหาได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยภายในประเทศ

กมลพรรณ เครือวัลย์ (2543 : บทคัดย่อ) การพัฒนาและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ในการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ในการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตกับนักศึกษาที่เรียนแบบปกติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตร วิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ชั้นปีที่ 2 แผนกเทคนิคคอมพิวเตอร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2542 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือโดยแบ่งออกเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 30 คน กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่มแบบเป็นกลุ่ม (Cluster Random Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น การหาประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์โดยใช้สูตร E-CAI และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่มทดลอง กับกลุ่มควบคุมโดยใช้การคำนวณค่า ที (t-test) ผลการวิจัยพบว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 90.15 เปอร์เซ็นต์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต และนักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีการสอนแบบปกติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยบทเรียนคอมพิวเตอร์บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ที่พัฒนาขึ้นให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าวิธีการสอนแบบปกติ การพัฒนาระบบการสอบผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

ณัฐวี อุตกฤษฎ์ (2543 : บทคัดย่อ) การพัฒนาบทเรียนวิชาเขียนแบบเครื่องกลโดยใช้รูปแบบของเวิลด์ไวด์เว็บเพจบนเครือข่ายเอินเตอร์เน็ต มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนาบทเรียนวิชาเขียนแบบเครื่องกล (Mechanical Drawing) รหัส 443201 หลักสูตรสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือโดยใช้รูปแบบของเวิลด์ไวด์เว็บเพจ (World Wide Web Page) บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต และหาประสิทธิภาพบทเรียนที่สร้างขึ้น กลุ่มตัวอย่างเป็น นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาดังกล่าวแบ่งการทดลองออกเป็นการทดลองระบบ จำนวน 4 คน เพื่อหาข้อบกพร่องและปรับปรุงแก้ไข แล้วนำไปทำการทดลอง (Try out) กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 19 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนและวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบและปรับปรุงแก้ไข ข้อบกพร่อง หลังจากนั้นจึงนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 22 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียน ผลการวิจัยเพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนตามเกณฑ์ 80/80 กับกลุ่มตัวอย่างพบว่า บทเรียนวิชาเขียนแบบเครื่องกล โดยใช้รูปแบบของเวิลด์ไวด์เว็บเพจ บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตมีประสิทธิภาพ 81.28/85.45

ในการเปรียบเทียบ ผลการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนพบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบหลังเรียนสูงกว่าคะแนนการทดสอบ ก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

2.7.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Joyce Marie, Schmeeckle. (2000). An evaluation of the effectiveness and efficiency of training law enforcement personnel over the Internet. THE UNIVERSITY OF NEBRASKALINCOLN. การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินการจัดการฝึกอบรมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของ The NLETC Jail ใน 2 ด้าน คือ 1) ประเมินประสิทธิผลและประสิทธิภาพของการฝึกอบรมผ่านเครือข่ายเปรียบเทียบกับการฝึกอบรมแบบปกติ ซึ่งประสิทธิผลหมายถึง ผลการเรียนแรงจูงใจ และ เจตคติต่อ การอบรม ส่วนประสิทธิภาพหมายถึง เวลาที่ใช้ในการเรียน ค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมรายคน 2) ต้องการทราบผลของการใช้มัลติมีเดียการใช้ฝึกอบรมผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ในด้านการประเมินประสิทธิผลและประสิทธิภาพของการฝึกอบรมผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยวิธีการสุ่มผู้เข้ารับการฝึกอบรมของ Jail ในรัฐเนบราสกาลินคอรล์นแล้วแบ่งเป็นกลุ่มฝึกอบรมปรกติและกลุ่มฝึกอบรมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้คือ การฝึกอบรมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมีประสิทะผลเท่ากับการฝึกอบรมแบบปรกติ และมีประสิทธิภาพมากกว่าการฝึกอบรมแบบปรกติ ทั้ง 2 กลุ่มไม่รู้สึกว่าการเรียนทั้ง 2 แบบมีความแตกต่างกัน แต่การฝึกอบรมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะเสร็จสมบูรณ์ในเวลาเกือบครึ่งหนึ่งของการฝึกอบรมแบบปรกติและมีค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมต่ำกว่ากลุ่มผู้เข้ารับการฝึกอบรมแบบปรกติรู้สึกว่าได้รับแรงจูงใจสูงกว่า และมีเจตคติด้านบวกต่อการฝึกอบรมมากกว่าการฝึกอบรมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผลดังกล่าวนี้เนื่องมาจากกลุ่มตัวอย่างที่เพศหญิงในการฝึกอบรมผ่านเครือข่ายอิรเทอร์เน็ต ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเห็นว่าประโยชน์ที่สำคัญที่สุดซึ่งขาดไปของการฝึกอบรมทางอินเทอร์เน็ตคือการไร้ซึ่งปฏิสัมพันธิในห้องเรียน เพราะการมีส่วนร่วมในการฝึกอบรมและการแนะนำตัวเป็นสิ่งสำคัญในการฝึกอบรม แต่ก็ได้รับความสะดวกสบายในด้านเวลาและประสิทธิภาพของการฝึกอบรมทางอินเทอร์เน็ต การศึกษาผลของการใช้มัลติมีเดียการใช้ฝึกอบรมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้น กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยแบ่งกลุ่มแบบคู่ขนาน กลุ่มที่ 1 เรียนโดยเว็บไซต์ที่มีเพียงตัวอักษร ส่วนกลุ่มที่ 2 เรียนจากเว็บไซต์มัลติมีเดียที่ประกอบด้วยตัวอักษร เสียง หรือวิดีโอ กลุ่มทดลองจะต้องทำแบบทดสอบในการเรียน จับเวลาที่ใช้ในการเรียนการสอน วัดแรงจูงใจและเจตคติที่มีต่อการฝึกอบรมทางอินเทอร์เน็ต ผลปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างของผลการทดสอบทั้งสองกลุ่ม ทั้งด้านแรงจูงใจ เจตคติ และความลึกซึ้งในการเรียนแต่กลุ่มที่หนึ่งซึ่งเรียนจากเว็บไซต์ที่มีเพียงตัวอักษรใช้เวลาน้อยกว่า ผลการวิจัยนี้ไม่สอดคล้องกับการตั้งสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าการใช้วิดีโอส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ ช่วยเพิ่มแรงจูงใจและเจตคติ แต่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่าเว็บไซต์ที่มีเพียงตัวอักษรอย่างเดียวจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

Norman Dale, Carter. (Aug 2000). Using the Internet as an educational tool in geography courses. CALIFORNAI STATE UNIVERSITY, FULLERTON. การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินการใช้อินเทอร์เน็ตในนักศึกษาปีที่ 1 ในวิชา สิ่งแวดล้อม โดยใช้วิธีการสอนแบบพฤติกรรมนิยม (Behaviorist) และแบบเรียนรู้โดยตนเอง (Constructivist) เสริมด้วยการบรรยายและการร่วมอภิปรายจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งทำเว็บไซต์ที่นักศึกษาพบและมีความต้องการให้มาอภิปรายในห้องเรียน อินเทอร์เน็ตจึงเป็นเครื่องมือในการวิจัยและนำเสนอเนื้อหาใหม่ๆ นักศึกษากลุ่มตัวอย่างจะมีส่วนร่วมในการเป็นผู้เขียนรายงานประสบการณ์การเรียนจากอินเทอ์เน็ต อีกทั้งมีทักษะที่เหมาะสมในการเรียนในวิชาอื่นเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาในขั้นสูงขึ้น ผลการวิจัยพบว่าบุคลิกเด่นของนักศึกษาที่มีอิทธิพลกับการเรียนทางอินเทอ์เน็ตคือความสมรรถวิสัยในการใช้คอมพิวเตอร์(Computer literacyskills) อินเทอร์เน็ตย่อมเป็นเครื่องมือที่ส่งเสริมให้การเรียนวิชาภูมิศาสตร์ประสบความสำเร็จอย่างมากถ้าสถานศึกษาและนักศึกษามีทักษะการเข้าถึงแหล่งข้อมูลต่างๆและสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ได้อย่างถูกต้อง

Ying-Chi, Chen. (2000). The Construction of the learning environment connecting human cognition to the World Wide Web (the global brain). THE UNIVERSITY OF NEBRASKA - LINCOLN. งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาถึงการจัดสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อความรู้ ความจำของผู้เรียนเมื่อเรียนผ่านเครือข่าย ซึ่งใช้เนื้อหาวิชาเทคโนโลยีเป็นตัวอย่างของการจัดองค์ประกอบและการออกแบบของห้องเรียนเสมือน โดยมุ่งประเด็นไปยังองค์ประกอบของห้องเรียนเสมือนแบบ 2 ทาง แบบคู่ขนาน และแบบกระบวนการที่เป็นพลวัติ เพื่อทราบองค์ประกอบและทราบค่าเชื่อมั่นในส่วนประกอบต่างๆนี้ ซึ่งเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในห้องเรียนเสมือนนี้ได้แก่ ฐานข้อมูลความรู้ ระบบผู้เชี่ยวชาญ Search engines และเครื่องมืออื่นๆ ในอินเทอร์เน็ต วิธีดำเนินการวิจัยใช้การสำรวจผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยกำหนดให้นักเรียนศึกษาเว็บไซต์ที่ออกแบบไว้เพื่อเพื่อให้นักเรียนเกิดความรู้อย่างกระจ่างชัด จุดประสงค์หลักของการศึกษานี้เพื่อทราบการจัดรายละเอียดต่างๆ ของเว็บไซต์ การปรับรูปแบบโครงสร้าง และปรับการจัดสภาพแวดล้อมทางการเรียนด้วยการประยุกต์หลักการทางด้านวิศวกรรมร่วมกับทฤษฎีทางการศึกษาและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ให้เกิดประสิทธิผล เพื่อค้นหาหลักการสำคัญที่ทำให้เกิดการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเว็บไซต์ หลักการออกแบบที่สามารถลดเวลาเรียนลงได้พร้อมกับลดอัตราความผิดพลาดและช่วยให้ผู้เรียนเกิดความจดจำมากขึ้น เพื่อพัฒนาการจัดสภาพแวดล้อมทางการเรียนทางอินเทอร์เน็ตนี้จึงนำ the Waterfall model นำมาใช้เพื่อมองเห็นและจัดการกระบวนการพัฒนาสภาพแวดล้อมทางการเรียน (ศิริรัตน์ เบาใจ. 2544 : 105-119)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร

ประชากร ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2548 จำนวน 80 คน

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชั้นปีที่ 2/2548 ที่กำลังศึกษาในวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (Digital Signal Processing) จำนวน 36 คน ที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

1. บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข เป็นรายวิชาที่ต้องใช้เวลาการศึกษา 1 ภาคเรียน โดยทำการแบ่งเนื้อหาออกเป็นหน่วยต่างๆ เพื่อความสะดวกของนักศึกษาในการเรียน

2. แบบประเมินบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ของนักศึกษาในนักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อหาคุณภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นการสร้างแบบทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ในหน่วยเรียนที่ 5 และ 6 ของนักศึกษาในนักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีลักษณะเป็นแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก โดยครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้

3.2.1 ขั้นตอนการสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

การสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ของนักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โดยนำแนวคิดของ Alessi and Trolip มาประยุกต์ใช้ในการสร้างบทเรียน เพื่อให้มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมกับเนื้อหาของบทเรียน มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเตรียม (Preparation)

เนื้อหาที่นำมาสร้างเป็นบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข เป็นเนื้อหาที่ใช้ในการเรียนการสอน ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งมีเนื้อหาเน้นหนักในทฤษฎี และการคำนวณ มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาสังเขปรายวิชา และแผนการสอนวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

2. ทำการแบ่งเนื้อหาที่จะศึกษาออกเป็น 6 หน่วย และในแต่ละหน่วยก็จะแบ่งเป็นหัวข้อ ดังนี้

หน่วยที่ 1 วิธีการพื้นฐานสำหรับระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข
หน่วยที่ 2 สัญญาณ และระบบเชิงเวลาไม่ต่อเนื่อง
หน่วยที่ 3 การวิเคราะห์สัญญาณและระบบในเชิงความถี่
หน่วยที่ 4 การแปลงแซ็ด
หน่วยที่ 5 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด
หน่วยที่ 6 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด

3. กำหนดวัตถุประสงค์ทั่วไป และวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ในหน่วยที่ 5 และหน่วยที่ 6

หน่วยที่ 5 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด

วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้นักศึกษามีความรู้เกี่ยวกับวงจรกรองความถี่แบบเชิงเลข

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายโครงสร้างและการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัดได้

2. สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดยใช้วิธีการ Impulse invariant

3. สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดยใช้วิธีการ Bilinear transform

หน่วยที่ 6 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด

วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อให้นักศึกษามีความรู้เกี่ยวกับวงจรกรองความถี่แบบเชิงเลข

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. สามารถอธิบายโครงสร้างและการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัดได้

2. สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัดโดยใช้วิธีการฟูเรียร์ซีรี่สได้

3. สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัดโดยใช้วิธีการสุ่มความถี่ได้

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการออกแบบบทเรียน(Design instruction)

การออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ผู้วิจัยเลือกการออกแบบบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์แบบเรียงลำดับการนำเสนอ ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. ออกแบบกรอบหน้าจอให้ผู้เรียนทราบรายละเอียดวิชา และแนะนำการใช้บทเรียน

2. ออกแบบหน้าจอบทเรียนแต่ละบทเรียน โดยรูปแบบของบทเรียนจะเป็นแบบเชิงเส้น

3. กรอบเนื้อหาของแต่ละบทเรียน เมื่อผู้เรียนเลือกบทเรียนแล้วจะเข้าสู่เนื้อหาของบทเรียนนั้นๆ รูปแบบภายในบทเรียนจะเป็นแบบเชิงเส้น

4. ออกแบบกรอบแบบฝึกหัด ในแต่ละบทเรียนเป็นแบบฝึกหัดปรนัย 4 ตัวเลือก

5. นำเสนอเนื้อหามีตัวอย่างการคำนวณ รูปภาพประกอบชัดเจน มีการเชื่อมโยงการจำลองการประมวลสัญญาณเชิงเลข เพื่อให้นักศึกษาได้เข้าใจเนื้อหา วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

6. นำเนื้อหาที่ได้เขียนกรอบเนื้อหาแล้วเสนอต่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อตรวจสอบความถูกต้องก่อนที่จะดำเนินการสร้างบทเรียน

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการสร้าง/เขียนบทเรียน(Program lesson)

ในการสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างบทเรียน ตามลำดับดังนี้

1. จัดหาภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว การจำลองสถานการณ์ และโปรแกรมที่สนับสนุน รวมทั้งทางด้านตกแต่งกราฟิกให้พร้อมที่จะนำมาใช้ในการสร้างบทเรียน

2. สร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข โดยใช้โปรแกรมต่างๆ ที่จำเป็นในการสร้างบทเรียนดังนี้

2.1 โปรแกรม Microsoft powerpoint ในการสร้างเค้าโครงบทเรียน

2.2 โปรแกรม Adobe Photoshop สำหรับตกแต่งภาพ

2.3 โปรแกรม Microsoft equation สำหรับการสร้างสมการ

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนการประเมินและแก้ไขบทเรียน(Evaluate and revise)

1. นำเนื้อหาที่ได้สร้างเป็นบทเรียนแล้วเสนอต่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อตรวจสอบความถูกต้องปรับปรุงแก้ไขบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข อีกครั้ง

2. นำบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่สร้างเสร็จแล้ว ให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพ โดยผู้ทรงคุณวุฒิประกอบด้วย

2.1 ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา พิจารณาจำนวน 3 ท่าน ดังนี้

2.1.1 ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.1.2 นายเกษม ภู่เจริญธรรม อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏนครสวรรค์

2.1.3 ผศ.วรวิทย์ สมหา ผู้ช่วยศาสตรจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.2 ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ พิจารณาจำนวน 3 ท่าน ดังนี้

2.2.1 ผศ.อรรถพร ฤทธิเกิด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาการบริหารอาชีวศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2.2.2 ดร.ปรัชนันท์ นิลสุข อาจารย์ประจำสาขาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม

2.2.3 นายมงคล แพทองคำ นักวิชาการศึกษา 5 (รองหัวหน้าฝ่ายทะเบียนและวัดผล) (รักษาการรองผู้อำนวยการสำนักคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ) สถาบันราชภัฏนครสวรรค์

ซึ่งแบบประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอนด้านเนื้อหา และด้านเทคนิคการผลิตสื่อ จะมีลักษณะแบบเลือก 5 ระดับ โดยเกณฑ์การประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ได้ต้องอยู่ระดับค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3.50

แบบประเมินคุณภาพบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่ใช้สำหรับแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ เป็นแบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นและผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อหาคุณภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข เป็นแบบมาตรส่วนการประเมินค่า(Rating scale) แบ่งเป็นแบบประเมินคุณภาพสำหรับผู้ทรงคุณภาพสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา และผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ โดยแบ่งระดับความคิดเห็นออกเป็น 5 ระดับ และเกณฑ์การจัดระดับค่าเฉลี่ย 5 ระดับ ดังนี้ (Best. 1970:179-187)

ระดับความคิดเห็น 5 ระดับ คือ

5 หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์มีคุณภาพดีมาก

4 หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์มีคุณภาพดี

3 หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์มีคุณภาพปานกลาง

2 หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์มีคุณภาพพอใช้

1 หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์มีคุณภาพควรปรับปรุง

เกณฑ์การประเมินคุณภาพสื่อการเรียนการสอน จัดระดับค่าเฉลี่ยเป็น 5 ระดับ คือ

ระดับ 4.50-5.00 หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์มีระดับคุณภาพดีมาก

ระดับ 3.50-4.49 หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์มีระดับคุณภาพดี

ระดับ 2.50-3.49 หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์มีระดับคุณภาพปานกลาง

ระดับ 1.50-2.49 หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์มีระดับคุณภาพพอใช้

ระดับ 1.00-1.49 หมายถึง บทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์มีระดับคุณภาพควรปรับปรุง

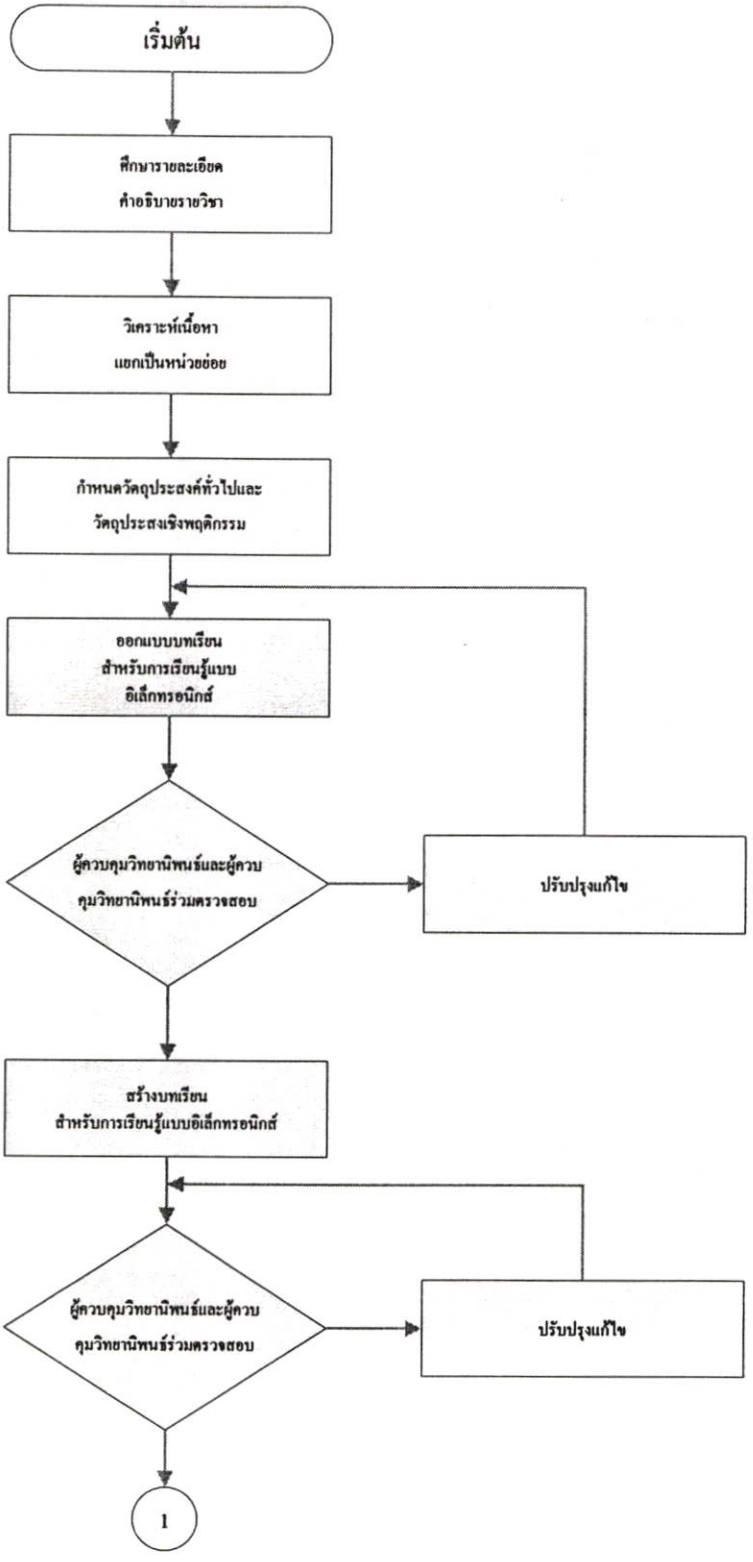
โดยเกณฑ์การประเมินคุณภาพบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ กำหนดเกณฑ์การประเมินต้องอยู่ในระดับค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3.50 จึงถือว่าสื่อการเรียนการสอนนั้นมีประสิทธิภาพ

3. นำบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ไปทดลองใช้ครั้งที่ 1 กับนักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ไม่เคยเรียนเนื้อหาในรายวิชา

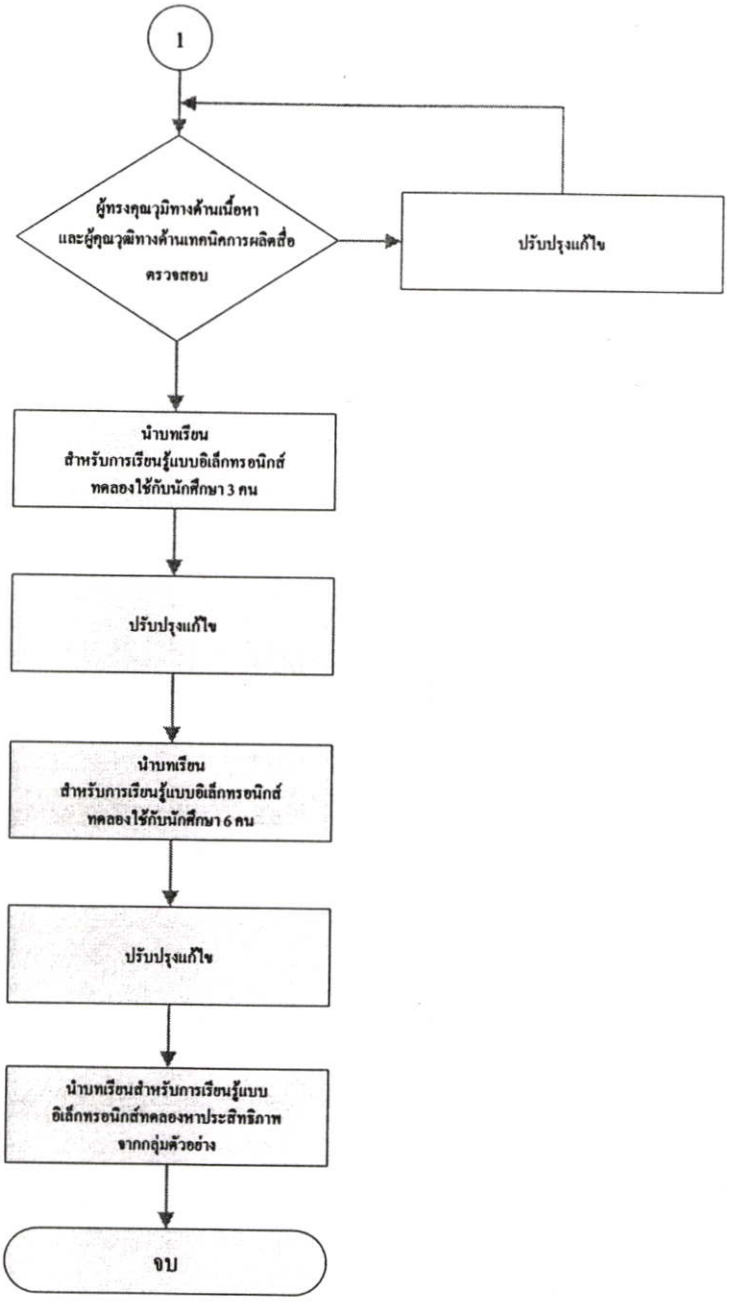
นี้มาก่อน จำนวน 3 คน เพื่อสังเกตและบันทึกข้อบกพร่อง และสิ่งที่ควรนำมาแก้ไขปรับปรุงบทเรียนเพื่อใช้ในการทดลองครั้งต่อไป

4. นำบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้ปรับปรุงจากข้อที่แล้ว ไปทดลองครั้งที่ 2 กับนักศึกษาอีกจำนวน 6 คน ผู้วิจัยคอยสังเกตและบันทึกสิ่งที่ควรแก้ไขเพื่อนำมาปรับปรุงบทเรียนอีกครั้งก่อนนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง

จากขั้นตอนการสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยได้สรุปขั้นตอนการสร้างออกมา ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.1(ต่อ) แสดงขั้นตอนการสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพ(Efficiency)

การหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยนำแนวทางของ อรพันธ์ ประสิทธิรัตน์ มาประยุกต์ใช้ในการหาประสิทธิภาพ โดยนำบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขแล้ว มาใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 36 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ มีขั้นตอนดำเนินการตามลำดับ ดังนี้

1. แนะนำการเรียนด้วยบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

2. ให้นักศึกษากลุ่มตัวอย่าง มาทดลองใช้บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยให้แต่ละคนได้ศึกษาบทเรียนเองตามความพอใจ จนมีความพร้อมในการทำแบบฝึกหัดแบบปรนัย 4 ตัวเลือก ในแต่ละบทเรียนโดยมีเนื้อหาครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งไว้

3. เมื่อนักศึกษาได้ศึกษาจนครบทุกบทเรียนแล้ว มีความพร้อมก็สามารถมาทำการทดสอบความรู้หลังจากเรียนครบทุกบทเรียน โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัย 4 ตัวเลือก โดยให้เนื้อหาครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งไว้ทั้งหมด

4. หลังจากจบการหาประสิทธิภาพ ผู้วิจัยทำการจดบันทึกและรวบรวมคะแนนของแต่ละคนโดยแยกเป็นคะแนนของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนแต่ละบท และคะแนนของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังจากเรียนครบทุกบทเรียน เพื่อนำมาหาประสิทธิภาพของบทเรียนตามเกณฑ์ E1/E2 : 80/80

3.2.2 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังจากนักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ที่ได้เลือกเรียนในวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ได้เรียนครบทุกบทเรียน ซึ่งเป็นแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก ซึ่งได้ดำเนินการสร้างตามลำดับ ดังนี้

1. ศึกษาวิธีการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวกับขั้นตอนการสร้าง วิธีการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากนั้นทำการวิเคราะห์หลักสูตรและกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้

2. สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งเป็นแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก โดยมีคำตอบถูกเพียงคำตอบเดียว และคำตอบลวง 3 คำตอบ ให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์ ตรงตามเนื้อหา ซึ่งมีเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อ คือข้อที่ตอบถูกให้คะแนนเป็น 1 และข้อที่ตอบผิดให้คะแนนเป็น 0

3. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไปหาคุณภาพ ดังนี้

3.1 ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาเป็นรายข้อ โดยนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่านพิจารณา ดังนี้

3.1.1 ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.1.2 นายเกษม ภู่เจริญธรรม อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏนครสวรรค์

3.1.3 ผศ.วรวิทย์ สมหา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้หลักเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

คะแนน +1 สำหรับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

คะแนน 0 สำหรับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ไม่แน่ใจว่ามีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

คะแนน -1 สำหรับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่แน่ใจว่าไม่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

นำผลการพิจารณาแต่ละข้อของผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ไปหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมโดยใช้สูตร (พวงรัตน์ มณีรัตน์. 2540:117) ดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{n}$$

เมื่อ IOC = ดัชนีความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

$\sum R$ = ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด

N = จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

จากนั้นจึงเลือกข้อสอบที่มีดัชนีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ตั้งแต่ 0.5 ขึ้นไป นำไปใช้งาน

จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจำนวน 46 ข้อ ได้คำถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องเกิน 0.5 จำนวน 44 ข้อ จากผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งทางผู้วิจัยจึงทำการตัดคำถามออก จำนวน 2 ข้อ เนื่องจากไม่มีความชัดเจนของคำถาม

3.2 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่คัดเลือกแล้ว ไปทดลองใช้ (Try out) กับนักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม ที่เคยลงทะเบียนเรียนวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขมาแล้ว ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จำนวน 40 คน เพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

3.3 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมาตรวจให้คะแนนข้อที่ตอบถูกให้คะแนนเป็น 1 ข้อที่ตอบผิด ข้อที่ไม่ได้ทำ หรือข้อที่ตอบมากกว่า 1 คำตอบให้คะแนนเป็น 0

3.4 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมารวมคะแนน เรียงจากคนที่ได้คะแนนสูงสุดไปหาคนที่ได้คะแนนต่ำสุด

3.5 คัดเลือกเอาคะแนนต่ำสุดขึ้นมา 50% ของจำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมดซึ่งจัดว่าเป็น กลุ่มต่ำ และคัดเลือกเอาคะแนนสูงสุดลงไป 50% ของจำนวนผู้เข้าสอบทั้งหมดซึ่งจัดว่าเป็นกลุ่มสูง

3.6 หาความถี่ของคนตอบถูกในกลุ่มสูง และกลุ่มต่ำเป็นรายข้อและมาวิเคราะห์หาความยากง่าย (Difficulty) ของแบบทดสอบ เพื่อเลือกแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีความยากง่ายอยู่ระหว่าง .20-.80 โดยใช้สูตร (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2538:237) ดังนี้

$$P = \frac{f_H + f_L}{N_H + N_L}$$

เมื่อ p = ระดับความยากของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

f_H = จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง

f_L = จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

N_H = จำนวนนักเรียนทั้งหมดในกลุ่มสูง

N_L = จำนวนนักเรียนทั้งหมดในกลุ่มต่ำ

3.7 หาค่าอำนาจจำแนก(r) คัดเลือกข้อที่มีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ .20 ขึ้นไป โดยเฉลี่ยให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์และเนื้อหา แล้วปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมในบางรายข้อเพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์โดยใช้สูตร (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2538 : 237) ดังนี้

$$r = \frac{f_H - f_L}{N_H}$$

เมื่อ r = ค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ

f_H = จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูงสุด

f_L = จำนวนนักเรียนทั้งหมดในกลุ่มสูง

N_H = จำนวนนักเรียนทั้งหมดในกลุ่มสูง

ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จะใช้ค่าความยากง่ายของข้อสอบรายข้อให้อยู่ 0.20 ขึ้นไป ซึ่งได้จำนวน 44 ข้อ

3.8 หาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้หลักสูตรของ KR-20 ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2538 : 142)

$$r_H = \frac{K}{K-1}\left\{\frac{1-\sum pq}{S^2}\right\}$$

เมื่อ r_H = ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

K = จำนวนข้อสอบทั้งหมด

P = สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูกในแต่ละข้อ

Q = สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิดในแต่ละข้อ (1-p)

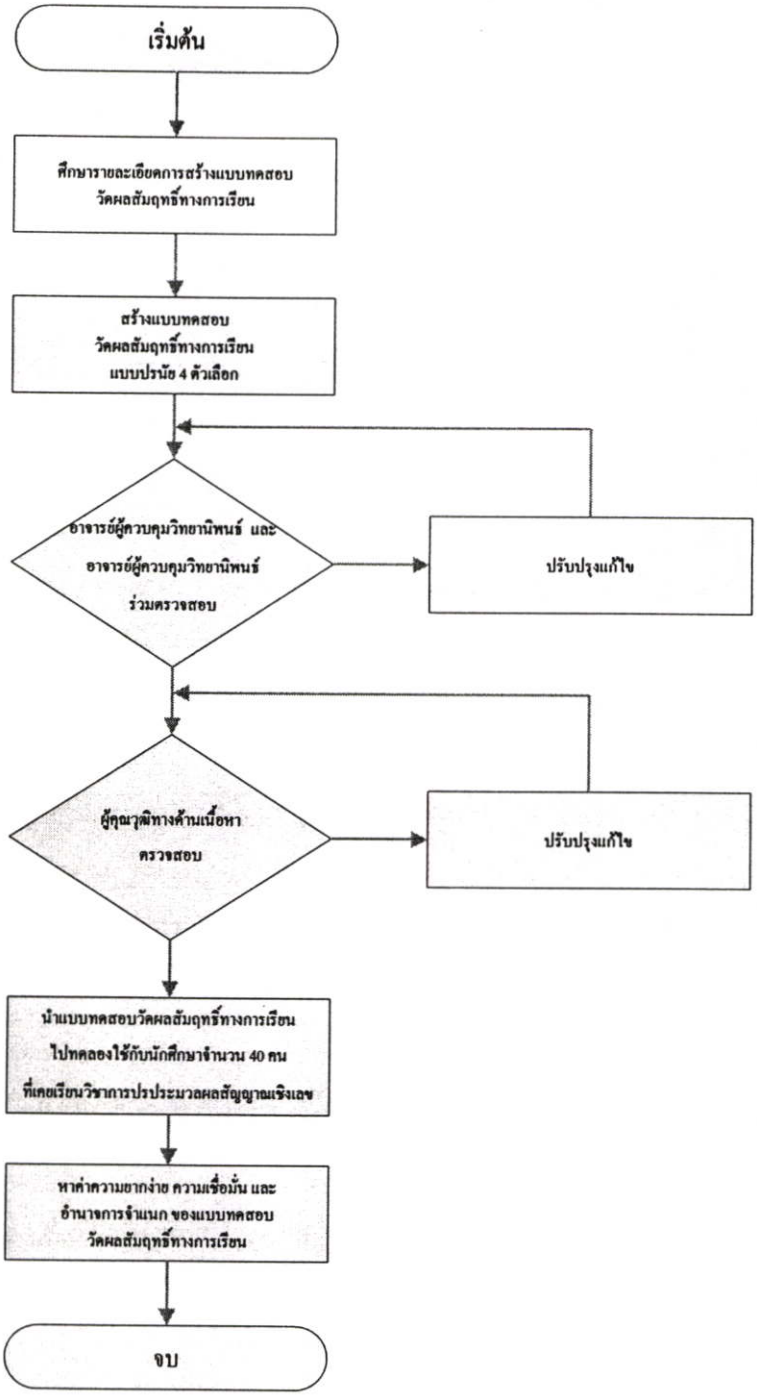
S^2 = ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบที่มีค่า 0.7-1.0 แสดงว่าแบบทดสอบมีความเชื่อมั่นสูง ถ้ามีค่าความเชื่อมั่น 0.3-0.7 แสดงว่าแบบทดสอบมีความเชื่อมั่นปานกลาง ถ้ามีค่าความเชื่อมั่นต่ำกว่า 0.3 แสดงว่าแบบทดสอบมีความเชื่อมั่นต่ำ

ผลการหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข มีค่าเท่ากับ 0.85 และสามารถนำไปใช้งานได้จริง

3.9 ได้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สมบูรณ์สามารถใช้เป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนครบทุกบทเรียนแล้ว

จากขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผู้วิจัยได้สรุปขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนออกมา ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.3 การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลตามลำดับ ดังนี้

3.3.1 ผู้วิจัยได้ทำหนังสือขอความร่วมมือในการทำวิจัยจากคณะคุรุศาสตร์อุตสาหกรรม ไปยังหัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเพื่อขออนุญาตทำการทดลอง และการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.2 นำหนังสือเรื่องขอความร่วมมือในการทำวิจัยจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไปติดต่อหัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อขออนุญาตในการทำการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล ติดต่ออาจารย์ผู้สอน วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข เพื่อขออนุญาตในการทำการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.3 นำบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้รับการพัฒนาแล้วมาทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.3.3.1 แจ้งกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับ ชื่อผู้ใช้งาน และรหัสผ่าน เพื่อให้สามารถเข้าสู่บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

3.3.3.2 ทำการอธิบายวิธีการใช้งาน และการเรียนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล

3.3.3.3 ให้กลุ่มตัวอย่างทดลองเรียนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล และเมื่อทำการเรียนจบในแต่ละหน่วยเรียนก็ต้องแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

3.3.3.4 หลังจากที่เรียนจนครบทุกหน่วยเรียนแล้ว กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์

ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยแยกเป็นคะแนนของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนแต่ละบทเรียน และคะแนนของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังจากเรียนครบทุกบทเรียน เพื่อนำไปหาประสิทธิภาพของบทเรียนตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 จากการประเมินผลของคะแนนแบบฝึกหัดในระหว่างเรียน กับคะแนนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังเรียนครบทุกบทเรียนแล้ว โดยใช้สูตร E_1/E_2 (ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2521:361) ดังนี้

$$E_1 = \frac{\sum X / N}{A} \times 100$$

$$E_2 = \frac{\sum F / N}{B} \times 100$$

เมื่อ E_1 = ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของผลการเรียนรู้ของนักศึกษา ที่ได้จากการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

E_2 = ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของผลการเรียนรู้ของนักศึกษา ที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

$\sum X$ = คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนแต่ละหัวข้อ

$\sum F$ = คะแนนรวมของผู้เรียนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังเรียนครบทุกหัวข้อ

N = จำนวนผู้เรียน

A = คะแนนเต็มของแบบฝึกหัดท้ายบทเรียนแต่ละหัวข้อ

B = คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนครบทุกหัวข้อ

3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์

ผู้วิจัยได้นำผลที่ได้จากแบบประเมินสื่อการเรียนการสอนด้านเนื้อหา และเทคนิคการผลิตสื่อ นำมาใช้สูตรดังนี้

สูตรการหาค่าเฉลี่ย (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2538:151)

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ย

x = คะแนนแต่ละจำนวน

$\sum x$ = ผลรวมของคะแนนแต่ละจำนวน

n = จำนวนข้อมูล

สูตรการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2538:162)

$$S.D. = \frac{n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2}{n(n-1)}$$

เมื่อ S.D. = ค่าเบี่ยงเบนมาตนฐาน

x = คะแนนแต่ละจำนวน

$\sum x$ = ผลรวมของคะแนนแต่ละจำนวน

n = จำนวนข้อมูล

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ เพื่อพัฒนาบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประกอบด้วยเนื้อหา จำนวน 2 หน่วยการสอน ซึ่งจำแนกผลการวิจัยได้ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินคุณภาพบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

4.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาจากการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินคุณภาพบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา

บทเรียนสำหรับการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประกอบด้วยเนื้อหา จำนวน 6 หน่วยการสอน ประเมินและตรวจสอบคุณภาพด้านเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน ผลการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา

การประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. เนื้อหา และการนำเสนอ			
1.1 ความถูกต้องของเนื้อหา	4.67	0.33	ดีมาก
1.2 ความถูกต้องของสมการที่ใช้ในบทเรียน	3.67	0.33	ดี
1.3 ลำดับขั้นการนำเสนอเนื้อหา	5.00	0.00	ดีมาก
1.4 ความสอดคล้องในเนื้อหาแต่ละตอน	4.67	0.33	ดีมาก
1.5 ความสอดคล้องของสมการในแต่ละตอน	4.00	0.00	ดี
1.6 ความชัดเจนในการอธิบายเนื้อหา และสมการ	4.00	0.00	ดี
1.7 ความน่าสนใจของเนื้อหา	4.67	0.33	ดีมาก
2. รูปภาพ ภาษา ในเนื้อหาที่นำเสนอ			
2.1 ความถูกต้องของภาพที่นำมาใช้ในเนื้อหา	4.67	0.33	ดีมาก
2.2 ความเหมาะสมของรูปภาพ กับคำบรรยาย	4.67	0.33	ดีมาก
2.3 ความถูกต้องของภาษาที่ใช้ในเนื้อหา	5.00	0.00	ดีมาก
2.4 ความถูกต้องของสัญลักษณ์ที่ใช้ในเนื้อหา	4.00	0.33	ดี
3. เวลา			
3.1 ความเหมาะสมของเวลากับเนื้อหาในแต่ละหน้า	4.00	0.00	ดี
ค่าเฉลี่ย	4.44	0.19	ดี

จากตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาระดับการประเมินด้านเนื้อหาของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44 แสดงว่าบทเรียนมีคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในระดับ ดี

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประกอบด้วยเนื้อหา จำนวน 6 หน่วยการสอน ประเมินและตรวจสอบคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน ผลการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ของบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

การประเมิน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. การจัดวางรูปแบบของบทเรียน			
1.1 การดึงดูดความสนใจ	3.67	0.33	ดี
1.2 การจัดวางภาพประกอบ	3.33	2.33	ปานกลาง
1.3 การจัดวางตัวอักษร	3.67	2.33	ดี
1.4 การใช้สีสันประกอบ	3.67	0.33	ดี
1.5 ความเหมาะสมของการจัดวางสมการภายในบทเรียน	4.00	1.00	ดี
1.6 การเชื่อมโยงของสมการภายในบทเรียน	4.00	1.00	ดี
2. ตัวอักษรที่ใช้ในบทเรียน			
2.1 ความเหมาะสมของรูปแบบการนำเสนอ	3.67	2.33	ดี
2.2 ความเหมาะสมด้านการสื่อความหมายของสมการภายในบทเรียน	4.00	1.00	ดี
2.3 ความเหมาะสมของแบบตัวอักษร	4.00	3.00	ดี
2.4 ความเหมาะสมของสีตัวอักษร	4.33	1.33	ดี
2.5 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร	4.00	3.00	ดี
2.6 ความเหมาะสมของขนาดสมการ	4.00	3.00	ดี
3. การใช้ภาพประกอบในบทเรียน			
3.1 ความชัดเจนของภาพประกอบ	4.00	1.00	ดี
ค่าเฉลี่ย	3.87	1.69	ดี

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาระดับการประเมินด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.87 แสดงว่าบทเรียนมีคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่ออยู่ในระดับ ดี

4.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาจากการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

จากการทดลองเรียนด้วยบทเรียนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยกลุ่มตัวอย่างจำนวน 36 คน ผลการเปรียบเทียบการทดสอบระหว่างหน่วยการเรียน โดยการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน และผลการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การทดสอบ	จำนวนผู้เรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละของคะแนนเฉลี่ย	เกณฑ์ที่กำหนด
แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน	36	40	34.75	86.87	80
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	36	40	34.86	87.15	80

จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาการทดสอบระหว่างบทเรียนโดยการทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน คะแนนเต็มทั้งหมด 40 คะแนน คะแนนที่นักศึกษาทำได้เฉลี่ย 34.75 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 86.87 และผลการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คะแนนเต็ม 40 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 87.15 แสดงว่า บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุ-ศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.87/87.15 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 : 80/80

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ เพื่อพัฒนาบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 : 80/80 โดยสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 การอภิปรายผลการวิจัย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

5.1.1.1 เพื่อพัฒนาบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ให้มีคุณภาพ

5.1.1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5.1.2 สมมติฐานในการวิจัย

5.1.2.1 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดี

5.1.2.2 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ได้อย่างมีประสิทธิภาพ E1/E2 : 80/80

5.1.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.1.3.1 ประชากร คือ นักศึกษาในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2548 จำนวน 80 คน

5.1.3.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ชั้นปีที่ 2/2548 ที่กำลังศึกษาในวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข (Digital Signal Processing) จำนวน 36 คน ที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างง่าย

5.1.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.1.4.1 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

5.1.4.2 แบบประเมินคุณภาพบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่ใช้สำหรับแดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

5.1.4.3 แบบทดสอบหลังบทเรียนแต่ละบทเรียน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นการสร้างแบบทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ มีลักษณะเป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก โดยให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้

5.1.5 การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

5.1.5.1 การพัฒนาบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลสัญญาณเชิงเลข

1. วิเคราะห์เนื้อหาเป็นหน่วยย่อย ละกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้เชิงพฤติกรรมให้สอดคล้องกับหน่วยเรียน โดยศึกษาจากคู่มือการสอน
2. นำบทเรียนที่สร้างเสร็จ เสนออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ตรวจร่างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข เพื่อหาข้อบกพร่อง ซึ่งนำไปแก้ไขให้มีความสมบูรณ์
3. นำบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่สร้างเสร็จแล้ว เสนอผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา และผู้ทรงคุณวุฒิด้านการผลิตสื่อการเรียนการสอน ประเมินบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข เพื่อหาคุณภาพ และคำแนะนำ
4. นำบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่ปรับปรุงแล้ว ไปทดลองกับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ที่เคยเรียนในรายวิชา การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข จำนวน 2 กลุ่ม กลุ่มละ 3 และ 6 คน ตามลำดับ เพื่อสังเกตหาข้อบกพร่อง เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขต่อไป

5. นำบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่ได้ปรับปรุงแล้ว เสนออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ตรวจสอบซ้ำอีกครั้ง ก่อนนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 36 คน เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 : 80/80

5.1.5.2 การพัฒนาแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลสัญญาณเชิงเลข

1. หาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา(Content Validity) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาจำนวน 3 ท่าน พิจารณาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ได้ข้อสอบจำนวน 44 ข้อ จากจำนวน 46 ข้อ

2. หาดัชนีความยากง่าย และอำนาจจำแนกของข้อสอบ โดยเลือกข้อสอบที่มีดัชนีค่าความยากง่าย(p) ระหว่าง 0.40 ขึ้นไป และค่าอำนาจจำแนก(r) ระหว่าง 0.20 ขึ้นไป ได้ข้อสอบจำนวน 44 ข้อ

3. หาความเชื่อมั่นของข้อสอบ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.855

5.1.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1.6.1 ผู้วิจัยได้ทำหนังสือขอความร่วมมือในการทำวิจัยจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ไปยังหัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเพื่อขออนุญาตทำการทดลอง และการเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1.6.2 นำหนังสือเรื่องขอความร่วมมือในการทำวิจัยจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไปติดต่อหัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อขออนุญาตในการทำการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล ติดต่ออาจารย์ผู้สอน วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข เพื่อขออนุญาตในการทำการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1.6.3 นำบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้รับการพัฒนาแล้วมาทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. แจ้งกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับ ชื่อผู้ใช้งาน และรหัสผ่าน เพื่อให้สามารถเข้าสู่บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

2. ทำการอธิบายวิธีการใช้งาน และการเรียนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล

3. ให้กลุ่มตัวอย่างทดลองเรียนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล และเมื่อทำการเรียนจบในแต่ละหน่วยเรียนก็ต้องแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

4. หลังจากที่เรียนจนครบทุกหน่วยเรียนแล้ว กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

5.1.6.4 หลังจากที่กลุ่มตัวอย่างทำการเรียนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ทำแบบทดสอบท้ายบทเรียน และทำการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เสร็จสิ้นแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ตามวิธีทางสถิติ กับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ E1/E2 : 80/80

5.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ดังนี้

วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ตามสมมติฐานสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 : 80/80 ซึ่งจะวิเคราะห์จากคะแนนการทำแบบทดสอบท้ายบทเรียนในแต่ละหน่วยเรียน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

5.1.8 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว สามารถนำมาสรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

5.1.8.1 คุณภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.44 อยู่ในเกณฑ์ ดี

5.1.8.2 คุณภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.87 อยู่ในเกณฑ์ ดี

5.1.8.3 ประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.87/87.15 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 : 80/80

5.2 การอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่สร้างขึ้นมาสามารถทำให้นักศึกษาได้เกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 : 80/80 ซึ่งได้ทำการทดลองกับนักศึกษา จำนวน 36 คน จากการทดลอง ผลการเรียนรู้ของนักศึกษาจากการทำแบบทดสอบท้ายหน่วยการเรียน กับแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากการเรียนครบทุกหน่วยเรียน ได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 86.87/87.15 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 : 80/80 แสดงว่าบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข สามารถให้ความรู้ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสอดคล้อง กับ ภูวไนย สูนย์สาทร (2547 : บทคัดย่อ) ได้วิเคราะห์การพัฒนาบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการสื่อสารข้อมูล หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พบว่าประสิทธิภาพของบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการสื่อสารข้อมูล มีค่า E1/E2 เท่ากับ 82.05/87.06 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้

5.3.1.1 บทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข ที่ทำการพัฒนา เน้นในหน่วยการเรียนที่ 5 เรื่องวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด และหน่วยเรียนที่ 6 เรื่องวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด ดังนั้นผู้เรียนต้องมีพื้นฐานในการเรียนวิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลขในเบื้องต้นมาก่อน

5.3.1.2 ในการเรียนบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ผู้วิจัยทำการพัฒนาขึ้น ต้องทำการเรียนตามลำดับหน่วยเรียน เพื่อป้องกันความสับสนในการเรียน

5.3.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

5.3.2.1 ในการสร้างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ผู้สร้างควรมีทักษะในการใช้งานโปรแกรมที่เกี่ยวกับการสร้างงานกราฟิก และโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างสถานการณ์จำลอง เพื่อเพิ่มความน่าสนใจในการเรียนการสอน

5.3.2.2 บทเรียนที่เน้นการคำนวณเป็นหลักนั้น ควรจะมีการพิสูจน์ สมการในลักษณะรูปภาพ หรือ การจำลองการสถานการณ์ เพื่อความเพลิดเพลินของผู้เรียน และสมการที่ใช้ในการนำเสนอควรมีความชัดเจน

5.3.2.3 บทเรียนการเรียนรู้เพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ควรจะมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการเรียนในชั้นเรียนปกติ

บรรณานุกรม

กิดานันท์ มลิทอง. 2543. **เทคโนโลยีการศึกษาและนวัตกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดอรุณการพิมพ์.

กิดานันท์ มลิทอง. 2542. **การสร้างสรรค์หน้าและกราฟิกบนเว็บ**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. 2533. **เอกสารการสอนชุดวิชาเทคโนโลยีและสื่อการศึกษา**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ถนอมพร เลาหจรัสแสง. 2545. **หลักการออกแบบและการสร้างเว็บเพื่อการเรียนการสอน**. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดอรุณการพิมพ์.

ถนอมพร เลาหจรัสแสง. 2541. **คอมพิวเตอร์ช่วยสอน**. กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรัชญนันท์ นิลสุข. 2546. **การประเมินเว็บช่วยสอน**. [Online]. Available : http://www.geocities.com/mayekinw/mr_prachy/evalution_wbi.html

พวงรัตน์ มณีรัตน์. 2540. **วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์**. กรุงเทพฯ : สำนักงานทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

ภูวไนย สูนย์สาทร. 2548. **การพัฒนาบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาสื่อสารข้อมูล หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

รุจโรจน์ แก้วอุไร. 2545. **หลักการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามแนวคิดของ กาเย่**. [Online]. Available : thaicai.com

รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2535. **วิธีวิจัยทางการศึกษา**. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาพพิมพ์.

สรรรัชต์ ห่อไพศาล. 2545. **นวัตกรรมและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษาในสหสวรรษใหม่ กรณี การจัดการเรียนการสอนผ่านเว็บ (Web-Based Instruction : WBI).** [Online]. Available : http://ftp.spu.ac.th/hum111/main1_files/wbi.htm

ศิริรัตน์ เบาใจ. 2544. **"งานวิจัยการเรียนการสอนผ่านอินเทอร์เน็ตของต่างประเทศ."** วารสารเทคโนโลยีสื่อสารการศึกษา. ปีที่ 8 (ฉบับที่ 1) : 105-119

อรพันธ์ ประสิทธิรัตน์. 2530. **คอมพิวเตอร์เพื่อการเรียนการสอน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : กราฟ แมนเพรส

Best. John W. 1970. **Rescarch in Education. Englewood Cliffs, NS** : Prenticc iiall. Bicrstedi. Robert. And Others. 1955. Text Materials in Education. Press: IIIinois University of IIIino.

Hall, Brandon. 1977. **FAQ for wcb bascd training. Multimedia and Training Nowsletter**. [Online] Available : http:// www.brandon-hall. Com/com/faq.html.

Hannum. W. 1998. **Web Based Instruction Lessons**. [Online] Available : http://www.soe.unc.edu/cdei 111/8-98incex wbi2.htm.

Khan. Badrul H. 1997. **Web-Based Instruction**. Englewood Cliffs, New Jcrscy : Edueational Tcchnology Publications.

Krawchuk. Cheryl Ann. 1996. "Pedtorial Graphic Organizers, Navigation and Hypermedia : Converging Constructivist and Cognitive Thcories." **Doctoral Dissertation, West Virginia University Dissertation** Abstracts Intcrnational. 57(07) : 20-81

McManus, Jamaludin. 1966. **Delivering Instruction on the World Wide Web.** [Online]. Available : http://ccutexas.cdu/ mcmanus/papers/wbi.html.

ภาคผนวก ก

หนังสือผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือวิจัย

หนังสือขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือวิจัย

หนังสือขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

ประกาศบัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

.....

บัณฑิตวิทยาลัย โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ที่ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการดังนี้

นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก รหัสประจำตัว 44064624 ให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ELECTRONIC LEARNING ON DIGITAL SIGNAL PROCESSING IN BACHELOR OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION PROGRAM OF KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG)" โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2547

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของบัณฑิตวิทยาลัย

ประกาศ ณ วันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2547

(รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด)
รองคณบดีฝ่ายวิชาการ
ปฏิบัติราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา พิจารณาจำนวน 3 ท่าน ดังนี้

1. ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. นายเกษม ภู่เจริญธรรม อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏนครสวรรค์

3. ผศ.วรวิทย์ สมหา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ พิจารณาจำนวน 3 ท่าน ดังนี้

1. ผศ.อรรถพร ฤทธิเกิด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาการบริหารอาชีวศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. ดร.ปรัชนันท์ นิลสุข อาจารย์ประจำสาขาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม

3. นายมงคล แพทองคำ นักวิชาการศึกษา 5 (รองหัวหน้าฝ่ายทะเบียนและวัดผล) (รักษาการรองผู้อำนวยการสำนักคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ) สถาบันราชภัฏนครสวรรค์

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร.3692

ที่ ศธ 0524.04/ 0436 วันที่ ๑๖ มกราคม 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อการสอนด้านเนื้อหาเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

ด้วย นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อการสอนดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินสื่อการสอนด้านเนื้อหา เพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร.3692

ที่ ศธ 0524.04/ 0436 วันที่ 31 มกราคม 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อการสอนด้านเนื้อหาเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์วรวิทย์ สมหา

ด้วย นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อการสอนดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินสื่อการสอนด้านเนื้อหา เพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร.3692

ที่ ศธ 0524.04 / 0436 วันที่ 25 มกราคม 2549

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อการสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.อรรถพร ฤทธิเกิด

ด้วย นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินสื่อการสอนดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีความถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจและประเมินของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมินสื่อการสอนด้านเทคนิคการผลิตสื่อ เพื่อการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม หน่วยบัณฑิตศึกษา งานทะเบียน โทร.3692

ที่ ศธ 0524.04/1115 วันที่ 13 มีนาคม 2549

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม (ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี)

ด้วย นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" โดยมี ผศ.ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผศ.กิติพงศ์ มะโน เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2547 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านโปรดอนุญาตให้ นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก ทดลองใช้บทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์กับนักศึกษาครุศาสตร์วิศวกรรม สาขาวิชาโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 และเก็บรวบรวมข้อมูลการเพื่อการวิจัยได้ พร้อมกันนี้ได้แนบประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ฉบับ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

ภาคผนวก ข

แบบประเมินด้านเนื้อหา

แบบสอบถามความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

แบบประเมินด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

แบบประเมินสื่อการสอน (ด้านเนื้อหา)

งานวิจัย บทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้วิจัย นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามฉบับนี้ต้องการทราบความคิดเห็นของท่านผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาต่อการสร้างบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลสัญญาณ
เชิงเลข (บนเว็บ) ซึ่งสามารถเข้าไปดูได้ที่ http://161.246.27.253/instructor/
2. โดยมีเกณฑ์การประเมิน ดังนี้
    - 5 หมายถึงมีคุณภาพดีมาก
    - 4 หมายถึงมีคุณภาพดี
    - 3 หมายถึงมีคุณภาพปานกลาง
    - 2 หมายถึงมีคุณภาพพอใช้
    - 1 หมายถึงมีคุณภาพควรปรับปรุง

1. ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในตาราง

5. หากท่านผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าควรปรับปรุง หรือแก้ไขในส่วนใด ขอความกรุณา กรอกข้อมูลในช่องเสนอแนะ

แบบประเมินสื่อการสอน (ด้านเนื้อหา)

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

การประเมิน	เกณฑ์การประเมิน					ข้อเสนอแนะ
	5	4	3	2	1	
1. เนื้อหา และการนำเสนอ						
1.1 ความถูกต้องของเนื้อหา						
1.2 ความถูกต้องของสมการที่ใช้ในบทเรียน						
1.3 ลำดับขั้นการนำเสนอเนื้อหา						
1.4 ความสอดคล้องในเนื้อหาแต่ละตอน						
1.5 ความสอดคล้องของสมการในแต่ละตอน						
1.6 ความชัดเจนในการอธิบายเนื้อหา และสมการ						
1.7 ความน่าสนใจของเนื้อหา						
2. รูปภาพ ภาษา ในเนื้อหาที่นำเสนอ						
2.1 ความถูกต้องของภาพที่นำมาใช้ในเนื้อหา						
2.2 ความเหมาะสมของรูปภาพ กับคำบรรยาย						
2.3 ความถูกต้องของภาษาที่ใช้ในเนื้อหา						
2.4 ความถูกต้องของสัญลักษณ์ที่ใช้ในเนื้อหา						
3. เวลา						
3.1 ความเหมาะสมของเวลากับเนื้อหาในแต่ละหน้า						

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบสอบถามความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

งานวิจัย บทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้วิจัย นาย ภัทราวุธ จันทร์เล็ก

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามฉบับนี้ต้องการทราบความคิดเห็นของท่านผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาต่อความสอดคล้องแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน กับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ในบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. โดยมีเกณฑ์การประเมิน ดังนี้
   - +1 สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
   - 0 ไม่แน่ใจว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
   - -1 ไม่มีสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
3. ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในตารางเกณฑ์การประเมิน
4. หากท่านผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าควรปรับปรุง หรือแก้ไขในส่วนใด ขอความกรุณากรอกข้อมูลในช่องเสนอแนะ

ตัวอย่าง

แบบสอบถามความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

หน่วยที่ 5 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	ความเห็น			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
สามารถอธิบายโครงสร้างและการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัดได้ (สำหรับข้อที่ 1. – 10.)				
1. ตัวกรองอนาลอกที่นำมาเป็นต้นแบบจะเป็นตัวกรองชนิดกรอง ชนิดใด				.....
ก. **ตัวกรองชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน**	✓			.....
ข. ตัวกรองชนิดกรองความถี่สูงผ่าน				.....
ค. ตัวกรองชนิดกรองความถี่แถบผ่าน				.....
ง. ตัวกรองชนิดกรองความถี่ใดก็ได้				.....

แบบสอบถามความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

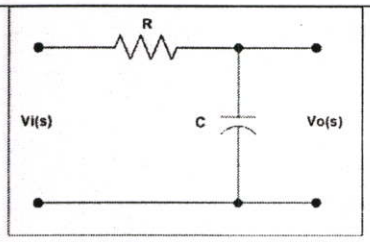
หน่วยที่ 5 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	ความเห็น			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
สามารถอธิบายโครงสร้างและการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัดได้ (สำหรับข้อที่ 1. – 10.)				
1. ตัวกรองอนาลอกที่นำมาเป็นต้นแบบจะเป็นตัวกรองชนิดกรอง ชนิดใด ก. **ตัวกรองชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน** ข. ตัวกรองชนิดกรองความถี่สูงผ่าน ค. ตัวกรองชนิดกรองความถี่แถบผ่าน ง. ตัวกรองชนิดกรองความถี่ใดก็ได้				....
2. ฟังก์ชันระบบของตัวกรองอนาลอกที่มีเสถียรภาพซึ่งโพลทั้งหมดจะมีตำแหน่งอยู่บริเวณใด ของระนาบเอส ก. บริเวณขวาของระนาบเอส ข. **บริเวณซ้ายของระนาบเอส** ค. บริเวณบนของระนาบเอส ง. บริเวณล่างของระนาบเอส				....
3. การแปลงคุณสมบัติในระนาบเอส ให้ไปเป็นระนาบแซด มีข้อกำหนด คือ ก. ที่แกน $j\Omega$ ในระนาบเอส จะถูกส่งถ่ายไปที่เส้นรอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด ข. พื้นที่ทั้งหมดทางด้านซ้ายมือในระนาบเอส จะถูกส่งถ่ายให้ไปอยู่ภายในพื้นที่ของวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด ค. พื้นที่ทั้งหมดทางด้านซ้ายมือในระนาบเอส จะถูกส่งถ่ายไปที่เส้นรอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด ง. **ข้อ ก. และ ข. ถูกต้อง**				....

4. ความมีเสถียรภาพของตัวกรองตัวกรองดิจิตอล ดูได้จาก สิ่งใด ก. เส้นรอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด **ข. พื้นที่ของวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด** ค. $j\Omega$ ในระนาบเอส ง. ถูกทุกข้อ				....
5. ระบบดิจิตอลจะสร้างสัญญาณเอาท์พุทเป็น y(n)– y(n – 1)/T มีฟังก์ชันระบบ คือ ก. **H(z) = 1 – z – 1 /T** ข. H(z) = 1 + z – 1 /T ค. H(z) = 1 – z + 1 /T ง. H(z) = 1 + z + 1 /T				....
6. ความสัมพันธ์ระหว่างโดเมนความถี่อนาลอกและความถี่ดิจิตอล คือ ก. $\mathbf{s} = \frac{1-z^{-1}}{T}$ ข. $s = \frac{1+z^{-1}}{T}$ ค. $s = \frac{1+z^{1}}{T}$ ง. $s = \frac{1+z^{1}}{T}$				....
7. ในการเปลี่ยนตัวกรองอนาลอกไปเป็นตัวกรองดิจิตอล เราจะกระทำได้ในเฉพาะตัวกรองชนิดใด ก. ตัวกรองชนิดความถี่ต่ำผ่าน ข. ตัวกรองชนิดกรองแถบความถี่ผ่าน ค. ตัวกรองชนิดความถี่สูงผ่าน ง. **ข้อ ก. และ ข. ถูกต้อง**				....

8. $H(s) = \frac{1}{(s+0.1)^2+9}$ จงเปลี่ยนให้เป็นฟังก์ชันระบบของตัวกรองดิจิตอล ก. $\frac{T^2(1-0.2T-9.01T^2)}{1-\frac{2(1+0.1T)}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-1}-1-\frac{1}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-2}}$ ข. $\frac{T^2(1+0.2T+9.01T^2)}{1+\frac{2(1+0.1T)}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-1}-1-\frac{1}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-2}}$ ค. $\frac{T^{-2}(1+0.2T+9.01T^{-2})}{1-\frac{2(1+0.1T)}{1+0.2T+9.01T^2}z^{1}+1-\frac{1}{1+0.2T+9.01T^2}z^{2}}$ ง. $\frac{T^2(1+0.2T+9.01T^2)}{1-\frac{2(1+0.1T)}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-1}+1-\frac{1}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-2}}$				.....
9. $z = \frac{1}{1+\Omega^2T^2}+j\frac{\Omega T}{1+\Omega^2T^2}$ ในระนาบแซด จะเกิดวงกลมรัศมี เท่าใด ก. 1 **ข. 1 / 2** ค. 1 / 3 ง. 1 / 4				.....
10. ในระบบดิจิตอลจะมีเสถียรภาพซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก ขึ้นอยู่กับ ก. ตำแหน่งของโพลจะต้องอยู่ภายนอกวงกลมรัศมีอย่างเดียว ข. ตำแหน่งของโพลจะต้องอยู่ภายนอกวงกลมรัศมี ไม่เกิน 0.5 ของค่าคงที่ **ค. ตำแหน่งของโพลจะต้องอยู่ภายในวงกลมรัศมี อย่างเดียว** ง. ไมมีข้อถูก				.....

สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดยใช้วิธีการ Impulse Invariance (สำหรับข้อที่ 11. – 15.)				
11. ความถี่ที่ถูกทำการ Normalized หาได้จาก ก. $F + F_S$ ข. $F - F_S$ ค. **F / F_S** ง. $F * F_S$				....
12. การ Alising จะเกิดขึ้น เมื่อใด ก. ความถี่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ F_S มีค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดที่ปรากฏใน X(F) ข. ความถี่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ F_S มีค่ามากกว่าหนึ่งเท่าของความถี่สูงสุดที่ปรากฏใน X(F) ค. ความถี่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ F_S มีค่าน้อยกว่าหนึ่งเท่าของความถี่สูงสุดที่ปรากฏใน X(F) ง. **ความถี่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ F_S มีค่าน้อยกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดที่ปรากฏใน X(F)**				....
13. ถ้า $r = e^{\sigma T}$ ที่แกนจริงถ้ากำหนดให้ $\sigma < 0$ เราจะได้ ค่า r เท่าใด ก. **$0 < r < 1$** ข. $0 > r < 1$ ค. $0 > r > 1$ ง. $0 < r > 1$				....
14. เมื่อ z สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Polar form ที่แกนจินตภาพ การส่งถ่ายไปที่ระนาบแซดจะไม่สามารถกระทำได้โดยตรง เนื่องจาก อะไร ก. **ค่าความถี่** ข. ค่าเฟส ค. ค่าแอมปริจูด ง. ค่าเวลา				....

15. 

หาผลตอบสนองของระบบ h(t)

ก. **$h(t) = ae^{-aT}$; $t \geq 0$**

ข. $h(t) = ae^{-aT}$; $t \leq 0$

ค. $h(t) = ae^{aT}$; $t \geq 0$

ง. $h(t) = ae^{aT}$; $t \leq 0$

สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัดโดยใช้วิธีการ Bilinear Transform

(สำหรับข้อที่ 16. – 26.)

16. การแปลง Bilinear (Bilinear transform) ที่แกนจินตภาพในระนาบเอสจะถูกเปลี่ยน

ก. ให้ไปอยู่ในเส้นขอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ข. ให้ไปอยู่ที่เส้นขอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ค. ให้ไปอยู่นอกเส้นขอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ง. ไม่มีข้อถูก

17. การส่งถ่ายจากระนาบเอสไปยังระนาบแซด ในการแปลง Bilinear นั้น คือ

ก. $s = \frac{2}{T}\left(\frac{1+z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)$

ข. $s = \frac{2}{T}\left(\frac{1-z^{-1}}{1-z^{-1}}\right)$

ค. **$s = \frac{2}{T}\left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)$**

ง. $s = \frac{2}{T}\left(\frac{1-z^{-1}}{1-z^{-1}}\right)$

18. ถ้าเรากำหนดให้ $r < 1$ พร้อมกับ $\sigma < 0$ นั่นคือพื้นที่ทางด้านซ้ายมือในระนาบเอสจะถูกส่งไปยังบริเวณใดในระนาบแซด ก. **ภายในวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด** ข. ภายนอกวงกลมในระนาบแซด ค. บริเวณเส้นรัศมีวงกลม ง. จุดศูนย์กลางวงกลม				....
19. ถ้าเรากำหนดให้ $r > 1$ พร้อมกับ $\sigma > 0$ พื้นที่ทางด้านขวามือในระนาบเอสจะถูกส่งไปยังบริเวณใดในระนาบแซด ก. ภายในวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด ข. **ภายนอกวงกลมในระนาบแซด** ค. บริเวณเส้นรัศมีวงกลม ง. จุดศูนย์กลางวงกลม				....
20. การบีบอัดความถี่ (Frequency compression) คือ ก. รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความถี่จะเป็นเชิงเส้น ข. รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นเชิงเส้น ที่ช่วงเวลา $t+1$ ค. **รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความถี่จะไม่เป็นเชิงเส้น** ง. รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความถี่จะไม่เป็นเชิงเส้น ที่ช่วงเวลา $t+1$				....
21. $H(s) = \frac{s+0.1}{(s+0.1)^2+9}$ โดยให้มีความถี่ Resonance $\omega r = \pi/2$ ดังนั้นฟังก์ชันระบบของตัวกรองดิจิตอลจะได้ ก. $H(z) = \frac{0.128+0.006z^{-1}+0.122z^{-2}}{1+0.0006z^{-1}+0.975z^{-2}}$ ข. $H(z) = \frac{0.128+0.006z^{-1}-0.122z^{-2}}{1-0.0006z^{-1}-0.975z^{-2}}$ ค. $H(z) = \frac{0.128+0.006z^{-1}+0.122z^{-2}}{1+0.0006z^{-1}+0.975z^{-2}}$ ง. $\mathbf{H(z) = \frac{0.128+0.006z^{-1}-0.122z^{-2}}{1+0.0006z^{-1}+0.975z^{-2}}}$				....

22. การแปลงความถี่กระทำได้ คือ ก. เปลี่ยนตัวกรองอนาลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านไปเป็นตัวกรองอนาลอกชนิดอื่น แล้วทำการเปลี่ยนตัวกรองอนาลอกชนิดใหม่ที่ได้ให้ไปเป็นตัวกรองดิจิตอล ข. เปลี่ยนตัวกรองแอนะลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านไปเป็นตัวกรองดิจิตอลชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านแล้วทำการแปลงความถี่ในดิจิตอลโดเมนจากตัวกรองดิจิตอลชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน ไปเป็นตัวกรองดิจิตอลชนิดอื่น ๆ ค. เปลี่ยนตัวกรองแอนะลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านไปเป็นตัวกรองดิจิตอลชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านแล้วโดยการส่งถ่ายตำแหน่งของโพลจากระนาบเอสไปเป็นระนาบแซด ง. **ข้อ ก. และ ข. ถูกต้อง**				.....
23. ตัวกรองแบบอนาลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน มีความถี่ตัด (Cutoff frequency) อยู่ที่ Ω_p และเราต้องการเปลี่ยนความถี่ตัดให้ไปเป็น Ω'_p ดังนั้นผลของการแปลงความถี่จะได้ ก. $s = \frac{\Omega_p}{\Omega'_p} s$ ข. $s = \frac{\Omega_s \Omega' p}{p}$ ค. $s = \frac{\Omega' p}{\Omega_p} s$ ง. $s = \frac{\Omega_p \Omega' p}{s}$				.....

24. จงทำการแปลงตัวกรองอนาลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน $H(s) = \frac{\Omega_p}{s+\Omega_p}$ ที่มีโพลหนึ่งตัวแบบ Buttherworth ให้เป็นตัวกรองอนาลอกชนิดกรองแถบความถี่ผ่าน ก. $H(z) = \frac{(\Omega_u - \Omega_l)s}{s^2 - (\Omega_u - \Omega_l)s - \Omega_u\Omega_l}$ ข. $H(z) = \frac{(\Omega_u - \Omega_l)s}{s^2 + (\Omega_u + \Omega_l)s + \Omega_u\Omega_l}$ ค. $H(z) = \frac{(\Omega_u + \Omega_l)s}{s^2 + (\Omega_u - \Omega_l)s + \Omega_u\Omega_l}$ ง. $H(z) = \frac{(\Omega_u - \Omega_l)s}{s^2 + (\Omega_u - \Omega_l)s + \Omega_u\Omega_l}$				.....
25. ในการแปลงจะกระทำได้โดยการแทนที่ตัวแปร z^{-1} ด้วยฟังก์ชัน ใด ก. $g(z^{-1})$ ข. $k(z^{-1})$ ค. $h(z^{-1})$ ง. $C(z^{-1})$				.....
26. ในระบบดิจิตอลจะสามารถแปลงตัวกรองดิจิตอลชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านให้ไปเป็นตัวกรองดิจิตอลชนิดอื่น ๆ ได้ ในการแปลงจะกระทำได้โดย มีข้อกำหนด คือ ก. การแทนที่ z^{-1} ด้วยฟังก์ชัน $g(z^{-1})$ จะต้องทำการถ่ายโอนภายในวงกลมรัศมีหนึ่งด้วยตัวของมันเองในระนาบแซด ข. การแทนที่ z^{-1} ด้วยฟังก์ชัน $H(z^{-1})$ จะต้องทำการถ่ายโอนภายในวงกลมรัศมีหนึ่งด้วยตัวของมันเองในระนาบแซด ค. ที่วงกลมรัศมีหนึ่งจะต้องถูกส่งถ่ายด้วยตัวของมัน ง. **ข้อ ก. และ ข. ถูกต้อง**				.....

หน่วยที่ 6 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	ความเห็น			ข้อเสนอแนะ
	+1	0	-1	
สามารถอธิบายโครงสร้างและการทำงานของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัดได้ (สำหรับข้อที่ 1. – 6.)				
1. ลักษณะเด่นของการออกแบบตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด (Finite Impulse Response : FIR) คือ ก. **เป็นตัวกรองที่ไม่มีโพล** ข. เป็นตัวกรองที่ไม่มีซีโร่ ค. เป็นตัวกรองที่ไม่มีโพล และ ซีโร่ ง. ไม่ข้อถูก				....
2. ข้อแตกต่างระหว่าง ตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัดและตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด คือ ก. ผลตอบสนองทางความถี่ ข. **ผลตอบสนองทางเฟส** ค. ผลตอบสนองทางแอมพริจูด ง. ความมีสเถียรภาพ				....
3. ค่า M ในผลตอบสนองหนึ่งหน่วย คือ ก. การกำหนดเฟสของตัวกรอง ข. การกำหนดความถี่ของตัวกรอง ค. **การกำหนดขนาดของตัวกรอง** ง. ไม่ข้อถูก				....
4. การกระโดดของเฟส (Phase jump) ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงค่าใด ก. $H_r(\pi)$ ข. $H(\pi)$ ค. $H(\omega)$ ง. **$H_r(\omega)$**				....

5. เงื่อนไขความสมมาตร ในกรณีที่ M เป็นคี่ คือ ก $H_r(\omega) = h\left(\frac{M-1}{2}\right) - 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\cos\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$ ข $H_r(\omega) = h\left(\frac{M-1}{2}\right) - 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\sin\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$ ค $H_r(\omega) = h\left(\frac{M-1}{2}\right) + 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\sin\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$ ง $H_r(\omega) = h\left(\frac{M-1}{2}\right) + 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\cos\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$				.....
6. เงื่อนไขปฏิสมมาตร ในกรณีที่ M เป็นคู่ คือ ก. $H_r(\omega)$ $2\sum_{n=0}^{(M/2)-1} h(n)\sin\omega\left(\frac{M-1}{2}+n\right)$ ข. $H_r(\omega)$ $2\sum_{n=0}^{(M/2)-1} h(n)\sin\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$ ค. $H_r(\omega)$ $2\sum_{n=0}^{(M/2)-1} h(n)\cos\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$ ง. $H_r(\omega)$ $2\sum_{n=0}^{(M/2)-1} h(n)\cos\omega\left(\frac{M-1}{2}+n\right)$				.....
สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัดโดยใช้วิธีการอนุกรมฟูเรียร์ได้ (สำหรับข้อที่ 7. – 11.)				
7. ขั้นตอนการออกแบบ การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัดโดยอนุกรมฟูเรียร์ คือ ก. **กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองอุดมคติในโดเมนความถี่และหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา** ข. กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองอุดมคติในโดเมนเวลาและหาผลตอบสนองในโดเมนความถี่ ค. กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองในโดเมนความถี่ และหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา ง. กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองในโดเมนเวลา และหาผลตอบสนองในโดเมนความถี่				.....

8. ตัวกรองแบบ FIR ชนิดกรองผ่านความถี่ต่ำ ก. $h_d(0) = \frac{\omega_c}{\pi}$ ข. $h_d(0) = 1-\frac{\omega_c}{\pi} \quad ;n \neq 0$ ค. $h_d(0) = \frac{1}{2\pi}\left[\omega_{c2}-\omega_{c1}\right]$ ง. $h_d(0) = 1-\omega_{c2}+\omega_{c1}$				....
9. ตัวกรองแบบ FIR ชนิดตัดแถบความถี่ ก. $h_d(0) = \frac{\omega_c}{\pi}$ ข. $h_d(0) = 1-\frac{\omega_c}{\pi} \quad ;n \neq 0$ ค. $h_d(0) = \frac{1}{2\pi}\left[\omega_{c2}-\omega_{c1}\right]$ ง. $h_d(0) = 1-\omega_{c2}+\omega_{c1}$				....
10. ตัวกรองแบบ FIR ชนิดกรองผ่านความถี่สูง ก. $h_d(0) = \frac{\omega_c}{\pi}$ ข. $h_d(0) = 1-\frac{\omega_c}{\pi} \quad ;n \neq 0$ ค. $h_d(0) = \frac{1}{2\pi}\left[\omega_{c2}-\omega_{c1}\right]$ ง. $h_d(0) = 1-\omega_{c2}+\omega_{c1}$				....
11. ตัวกรองแบบ FIR ชนิดกรองผ่านแถบความถี่ ก. $h_d(0) = \frac{\omega_c}{\pi}$ ข. $h_d(0) = 1-\frac{\omega_c}{\pi} \quad ;n \neq 0$ ค. $h_d(0) = \frac{1}{2\pi}\left[\omega_{c2}-\omega_{c1}\right]$ ง. $h_d(0) = 1-\omega_{c2}+\omega_{c1}$				....

สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัดโดยใช้วิธีการหน้าต่างได้ (สำหรับข้อที่ 12. – 17.)				
12. วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด โดยหน้าต่าง เพื่อแก้ไขปัญหาใดในทางปฏิบัติ ก. **ผลตอบสนองทางด้านความถี่มีลักษณะที่ใกล้เคียงในทางอุดมคติ** ข. ผลตอบสนองทางด้านขนาดมีลักษณะที่ใกล้เคียงในทางอุดมคติ ค. ผลตอบสนองทางด้านเฟสมีลักษณะที่ใกล้เคียงในทางอุดมคติ ง. ผลตอบสนองทางด้านความถี่ ขนาด และเฟส มีลักษณะที่ใกล้เคียงในทางอุดมคติ				....
13. หน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular windows) ความกว้างของโหลบหลัก จะขึ้นอยู่ค่าของ อะไร ก. π ข. **M** ค. n ง. ไม่มีข้อถูก				....
14. หน้าต่างแบบ Hann (Hann windows) ตัวกรองมีผลตอบสนองในส่วนตัวแถบ ก. ความถี่เท่ากับหน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม ข. ความถี่มากกว่าหน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม ค. **ความถี่ต่ำกว่าหน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม** ง. ไม่มีข้อถูก				....
15. ความกว้างของโหลบหลัก ในหน้าต่างแบบ Hann (Hann windows) มีค่าประมาณ เท่าใด ก. $2\pi/M$ ข. $4\pi/M$ ค. $6\pi/M$ ง. **$8\pi/M$**				....

16. หน้าต่างแบบ Hamming (Hamming windows) ผลตอบสนองทางเวลาและผลตอบสนองทางความถี่ มีการแกว่งทุก ๆ ω = ก. π/M ข. $2\pi/M$ ค. $3\pi/M$ ง. **$4\pi/M$**				....
17. หน้าต่างแบบ Blackman (Blackman windows) ความกว้างของโหลบหลักประมาณ ก. $11\pi/M$ ข. **$12\pi/M$** ค. $13\pi/M$ ง. $14\pi/M$				....
สามารถออกแบบวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัดโดยใช้วิธีการสุ่มความถี่ได้ (สำหรับข้อที่ 18. – 20.)				
18. การออกแบบตัวกรองโดยวิธีการสุ่มความถี่ (Frequency sampling) เพื่อแก้ปัญหา ใด ก. ตัวกรองชนิดกรองผ่านความถี่ต่ำ ข. ตัวกรองชนิดกรองผ่านความถี่ ค. ตัวกรองชนิดกรองแถบผ่านความถี่ ง. **ตัวกรองชนิดกรองที่ไม่เป็นมาตรฐาน**				....
19. การหาสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเราสามารถทำได้โดยการแปลงผกผัน DFT (IDFT) และในกรณีที่ N เป็นคู่ คือ ก. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) + 2\sum_{k=1}^{(N/2)-1} \tilde{H}(k)\cos \frac{2\pi\pi n}{N}\right]$ ข. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) + 2\sum_{k=1}^{(N-2)/1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$ ค. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) - 2\sum_{k=1}^{(N-2)/1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$ ง. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) - 2\sum_{k=1}^{(N/2)-1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$				

20. การหาสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเราทำได้โดยการแปลงผกผัน DFT (IDFT) และในกรณีที่ N เป็นคี่ คือ ก. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) - 2\sum_{k=1}^{(N-2)/1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$ ข. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) + 2\sum_{k=1}^{(N-2)/1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$ ค. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) - 2\sum_{k=1}^{(N/2)/1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$ ง. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) + 2\sum_{k=1}^{(N/2)-1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi\pi n}{N}\right]$				…… …… …… …… …… …… …… …… …… ……

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

แบบประเมินสื่อการสอน (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)

งานวิจัย บทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลสัญญาณเชิงเลข หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้วิจัย นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามฉบับนี้ต้องการทราบความคิดเห็นของท่านผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อการสอนต่อการสร้างบทเรียนสำหรับการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลสัญญาณเชิงเลข (บนเว็บ) ซึ่งสามารถเข้าไปดูได้ที่ http://161.246.27.253/instructor/
2. โดยมีเกณฑ์การประเมิน ดังนี้
   - 5 หมายถึงมีคุณภาพดีมาก
   - 4 หมายถึงมีคุณภาพดี
   - 3 หมายถึงมีคุณภาพปานกลาง
   - 2 หมายถึงมีคุณภาพพอใช้
   - 1 หมายถึงมีคุณภาพควรปรับปรุง
3. ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในตาราง
4. หากท่านผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าควรปรับปรุง หรือแก้ไขในส่วนใด ขอความกรุณา กรอกข้อมูลในช่องเสนอแนะ

แบบประเมินสื่อการสอน (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

การประเมิน	เกณฑ์การประเมิน					ข้อเสนอแนะ
	5	4	3	2	1	
1. การจัดวางรูปแบบของบทเรียน						
1.1 การดึงดูดความสนใจ						
1.2 การจัดวางภาพประกอบ						
1.3 การจัดวางตัวอักษร						
1.4 การใช้สีสันประกอบ						
1.5 ความเหมาะสมของการจัดวางสมการภายในบทเรียน						
1.6 การเชื่อมโยงของสมการภายในบทเรียน						
2. ตัวอักษรที่ใช้ในบทเรียน						
2.1 ความเหมาะสมของรูปแบบการนำเสนอ						
2.2 ความเหมาะสมด้านการสื่อความหมายของสมการภายในบทเรียน						
2.3 ความเหมาะสมของแบบตัวอักษร						
2.4 ความเหมาะสมของสีตัวอักษร						
2.5 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร						
2.6 ความเหมาะสมของขนาดสมการ						
3. การใช้ภาพประกอบในบทเรียน						
3.1 ความชัดเจนของภาพประกอบ						

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

ภาคผนวก ค.

ความสอดคล้องของแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม
ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก ค่าความแปรปรวน และค่าความเชื่อมั่น

ความสอดคล้องของแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ตารางที่ ค1 ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา

บทเรียนที่	ข้อที่	คะแนนความคิดเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ			รวม	IOC	ความหมาย
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
5	1	0	0	0	0	0.00	ไม่สอดคล้อง/แก้ไข
	2	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	3	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	4	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	5	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	6	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	7	0	0	0	0	0.00	ไม่สอดคล้อง/แก้ไข
	8	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	9	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	10	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	11	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	12	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	13	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	14	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	15	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	16	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	17	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	18	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	19	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	20	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	21	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	22	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	23	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้

ตารางที่ ค1(ต่อ) ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา

บทเรียนที่	ข้อที่	คะแนนความคิดเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ			รวม	IOC	ความหมาย
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
5	24	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	25	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	26	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
6	1	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	2	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	3	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	4	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	5	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	6	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	7	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	8	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	9	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	10	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	11	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	12	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	13	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	14	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	15	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	16	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	17	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	18	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	19	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้
	20	1	1	1	3	1.00	สอดคล้อง/ใช้ได้

ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก ค่าความแปรปรวน และค่าความเชื่อมั่น

ตารางที่ ค2 ผลการหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก

หน่วยที่	ข้อที่	$f_H(N_H = 20)$	$f_H(N_L = 20)$	p	R
5	1	17	13	0.750	0.200
	2	15	10	0.625	0.250
	3	16	7	0.575	0.450
	4	15	7	0.550	0.400
	5	14	10	0.600	0.200
	6	14	8	0.550	0.300
	7	16	12	0.700	0.200
	8	13	7	0.500	0.300
	9	14	5	0.475	0.450
	10	17	12	0.725	0.250
	11	18	11	0.725	0.350
	12	16	11	0.675	0.250
	13	14	7	0.525	0.350
	14	12	7	0.475	0.250
	15	15	8	0.575	0.350
	16	14	7	0.525	0.350
	17	13	8	0.525	0.250
	18	13	6	0.475	0.350
	19	14	8	0.550	0.300
	20	13	4	0.425	0.450
	21	13	4	0.425	0.450
	22	16	11	0.675	0.250
	23	15	8	0.575	0.350
	24	13	4	0.425	0.450

ตารางที่ ค2 (ต่อ) ผลการหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก

หน่วยที่	ข้อที่	$f_H(N_H = 20)$	$f_H(N_L = 20)$	p	R
6	1	16	7	0.575	0.450
	2	15	10	0.625	0.250
	3	15	7	0.550	0.400
	4	14	8	0.550	0.300
	5	13	5	0.450	0.400
	6	14	8	0.550	0.300
	7	15	8	0.575	0.350
	8	17	9	0.650	0.400
	9	16	7	0.575	0.450
	10	14	5	0.475	0.450
	11	12	6	0.450	0.300
	12	15	6	0.525	0.450
	13	16	8	0.600	0.400
	14	17	8	0.625	0.450
	15	14	7	0.525	0.350
	16	12	6	0.450	0.300
	17	15	7	0.550	0.400
	18	16	8	0.600	0.400
	19	13	8	0.525	0.250
	20	13	6	0.475	0.350

ตารางที่ ค3 ค่าความแปรปรวนของแบบทดสอบ

กลุ่มสูง	คะแนนรวม	X	X^2
คนที่ 1	32	32	1024
คนที่ 2	36	36	1296
คนที่ 3	34	34	1156
คนที่ 4	31	31	961
คนที่ 5	26	26	676
คนที่ 6	26	26	676
คนที่ 7	29	29	841
คนที่ 8	33	33	1089
คนที่ 9	32	32	1024
คนที่ 10	32	32	1024
คนที่ 11	31	31	961
คนที่ 12	35	35	1225
คนที่ 13	30	30	900
คนที่ 14	34	34	1156
คนที่ 15	35	35	1225
คนที่ 16	34	34	1156
คนที่ 17	34	34	1156
คนที่ 18	34	34	1156
คนที่ 19	32	32	1024
คนที่ 20	32	32	1024
กลุ่มต่ำ	คะแนนรวม	X	X^2
คนที่ 1	17	17	289
คนที่ 2	17	17	289
คนที่ 3	17	17	289
คนที่ 4	20	20	400
คนที่ 5	16	16	256
คนที่ 6	17	17	289
คนที่ 7	20	20	400

ตารางที่ ค3 (ต่อ) ค่าความแปรปรวนของแบบทดสอบ

กลุ่มต่ำ	คะแนนรวม	X	X^2
คนที่ 8	17	17	289
คนที่ 9	18	18	324
คนที่ 10	19	19	361
คนที่ 11	17	17	289
คนที่ 12	16	16	256
คนที่ 13	16	16	256
คนที่ 14	15	15	225
คนที่ 15	17	17	289
คนที่ 16	18	18	324
คนที่ 17	14	14	196
คนที่ 18	18	18	324
คนที่ 19	15	15	225
คนที่ 20	14	14	196
รวม		980	26516

จากสูตรหาค่าความแปรปรวน

$$S^2 = \frac{n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2}{n(n-1)}$$

$$S^2 = \frac{40(26516) - (980)^2}{40(40-1)}$$

$$S^2 = \frac{100240}{1560} = 64.256$$

ตารางที่ ค4 ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

ข้อที่	p	q=(1-p)	p.q
ข้อที่ 1	0.750	0.250	0.188
ข้อที่ 2	0.625	0.375	0.234
ข้อที่ 3	0.575	0.425	0.244
ข้อที่ 4	0.550	0.450	0.248
ข้อที่ 5	0.600	0.400	0.240
ข้อที่ 6	0.550	0.450	0.248
ข้อที่ 7	0.700	0.300	0.210
ข้อที่ 8	0.500	0.500	0.250
ข้อที่ 9	0.475	0.525	0.249
ข้อที่ 10	0.725	0.275	0.199
ข้อที่ 11	0.725	0.275	0.199
ข้อที่ 12	0.675	0.325	0.219
ข้อที่ 13	0.525	0.475	0.249
ข้อที่ 14	0.475	0.525	0.249
ข้อที่ 15	0.575	0.425	0.244
ข้อที่ 16	0.525	0.475	0.249
ข้อที่ 17	0.525	0.475	0.249
ข้อที่ 18	0.475	0.525	0.249
ข้อที่ 19	0.550	0.450	0.248
ข้อที่ 20	0.425	0.575	0.244
ข้อที่ 21	0.425	0.575	0.244
ข้อที่ 22	0.675	0.325	0.219
ข้อที่ 23	0.575	0.425	0.244
ข้อที่ 24	0.425	0.575	0.244
ข้อที่ 25	0.575	0.425	0.244
ข้อที่ 26	0.625	0.375	0.234
ข้อที่ 27	0.550	0.450	0.248
ข้อที่ 28	0.550	0.450	0.248

ตารางที่ ค4 (ต่อ) ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

ข้อที่	p	q=(1-p)	p.q
ข้อที่ 29	0.450	0.550	0.248
ข้อที่ 30	0.550	0.450	0.248
ข้อที่ 31	0.575	0.425	0.244
ข้อที่ 32	0.650	0.350	0.228
ข้อที่ 33	0.575	0.425	0.244
ข้อที่ 34	0.475	0.525	0.249
ข้อที่ 35	0.450	0.550	0.248
ข้อที่ 36	0.525	0.475	0.249
ข้อที่ 37	0.600	0.400	0.240
ข้อที่ 38	0.625	0.375	0.234
ข้อที่ 39	0.525	0.475	0.249
ข้อที่ 40	0.450	0.550	0.248
ข้อที่ 41	0.550	0.450	0.248
ข้อที่ 42	0.600	0.400	0.240
ข้อที่ 43	0.525	0.475	0.249
ข้อที่ 44	0.475	0.525	0.249
		$\sum$p.q	10.553

จากสูตรหาความเชื่อมั่น

$$r_H = \frac{K}{K-1}\left\{\frac{1-\sum pq}{S^2}\right\}$$

$$r_H = \frac{44}{44-1}\left\{1-\frac{10.553}{64.256}\right\}$$

$$r_H = 1.023(1-0.164) = 0.855$$

ภาคผนวก ง.

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียนในบทเรียนที่ 5 และ 6

หน่วยที่ 5 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด

1. ฟังก์ชันระบบของตัวกรองอนาลอกที่มีเสถียรภาพ

ซึ่งโพลทั้งหมดจะมีตำแหน่งอยู่บริเวณใด ของระนาบเอส

ก. บริเวณขวาของระนาบเอส

ข. บริเวณซ้ายของระนาบเอส

ค. บริเวณบนของระนาบเอส

ง. บริเวณล่างของระนาบเอส

2. การแปลงคุณสมบัติในระนาบเอส ให้ไปเป็นระนาบแซด มีข้อกำหนด คือ

ก. ที่แกน $j\Omega$ ในระนาบเอส จะถูกส่งถ่ายไปที่เส้นรอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ข. พื้นที่ทั้งหมดทางด้านซ้ายมือในระนาบเอส จะถูกส่งถ่ายให้ไปอยู่ภายในพื้นที่ของวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ค. พื้นที่ทั้งหมดทางด้านซ้ายมือในระนาบเอส จะถูกส่งถ่ายไปที่เส้นรอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ง. ข้อ ก. และ ข. ถูกต้อง

3. ความมีเสถียรภาพของตัวกรองตัวกรองดิจิตอล ดูได้จาก สิ่งใด

ก. เส้นรอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ข. พื้นที่ของวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ค. $j\Omega$ ในระนาบเอส

ง. ถูกทุกข้อ

4. ระบบดิจิตอลจะสร้างสัญญาณเอาท์พุทเป็น $y(n)- y(n-1)/T$ มีฟังก์ชันระบบ คือ

ก. $\mathbf{H(z) = 1 - z - 1/T}$

ข. $H(z) = 1 + z - 1/T$

ค. $H(z) = 1 - z + 1/T$

ง. $H(z) = 1 + z + 1/T$

5. ความสัมพันธ์ระหว่างโดเมนความถี่อนาลอกและความถี่ดิจิตอล คือ

ก. $\mathbf{s} = \dfrac{1 - z^{-1}}{T}$

ข. $s = \dfrac{1 + z^{-1}}{T}$

ค. $s = \dfrac{1 + z^{1}}{T}$

ง. $s = \dfrac{1 + z^{1}}{T}$

6. $H(s) = \dfrac{1}{(s+0.1)^2+9}$ จงเปลี่ยนให้เป็นฟังก์ชันระบบของตัวกรองดิจิตอล

ก. $\dfrac{T^2(1-0.2T-9.01T^2)}{1-\dfrac{2(1+0.1T)}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-1}-1-\dfrac{1}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-2}}$

ข. $\dfrac{T^2(1+0.2T+9.01T^2)}{1+\dfrac{2(1+0.1T)}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-1}-1-\dfrac{1}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-2}}$

ค. $\dfrac{T^{-2}(1+0.2T+9.01T^{-2})}{1-\dfrac{2(1+0.1T)}{1+0.2T+9.01T^2}z^{1}+1-\dfrac{1}{1+0.2T+9.01T^2}z^{2}}$

ง. $\dfrac{T^2(1+0.2T+9.01T^2)}{1-\dfrac{2(1+0.1T)}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-1}+1-\dfrac{1}{1+0.2T+9.01T^2}z^{-2}}$

7. $z = \dfrac{1}{1+\Omega^2T^2}+j\dfrac{\Omega T}{1+\Omega^2T^2}$ ในระนาบแซด จะเกิดวงกลมรัศมี เท่าใด

ก. 1

ข. 1 / 2

ค. 1 / 3

ง. 1 / 4

8. ในระบบดิจิตอลจะมีเสถียรภาพซึ่งเป็นค่าที่น้อยมาก ขึ้นอยู่กับ

ก. ตำแหน่งของโพลจะต้องอยู่ภายนอกวงกลมรัศมีอย่างเดียว

ข. ตำแหน่งของโพลจะต้องอยู่ภายนอกวงกลมรัศมี ไม่เกิน 0.5 ของค่าคงที่

ค. ตำแหน่งของโพลจะต้องอยู่ภายในวงกลมรัศมี อย่างเดียว

ง. ไมมีข้อถูก

9. ความถี่ที่ถูกทำการ Normalized หาได้จาก

ก. $F + F_S$

ข. $F - F_S$

ค. $\mathbf{F / F_S}$

ง. $F * F_S$

10. การ Alising จะเกิดขึ้น เมื่อใด

ก. ความถี่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ F_S มีค่ามากกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดที่ปรากฏใน X(F)

ข. ความถี่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ F_S มีค่ามากกว่าหนึ่งเท่าของความถี่สูงสุดที่ปรากฏใน X(F)

ค. ความถี่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ F_S มีค่าน้อยกว่าหนึ่งเท่าของความถี่สูงสุดที่ปรากฏใน X(F)

ง. ความถี่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ F_S มีค่าน้อยกว่าสองเท่าของความถี่สูงสุดที่ปรากฏใน X(F)

11. ถ้า $r = e^{\sigma T}$ ที่แกนจริงถ้ากำหนดให้ $\sigma < 0$ เราจะได้ ค่า r เท่าใด

ก. $0 < r < 1$

ข. $0 > r < 1$

ค. $0 > r > 1$

ง. $0 < r > 1$

12. เมื่อ z สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Polar form ที่แกนจินตภาพ การส่งถ่ายไปที่ระนาบแซดจะไม่สามารถกระทำได้โดยตรง เนื่องจาก อะไร

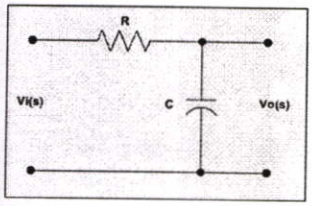
ก. ค่าความถี่

ข. ค่าเฟส

ค. ค่าแอมปริจูด

ง. ค่าเวลา

13. หาผลตอบสนองของระบบ h(t)



ก. $h(t) = ae^{-aT}$; $t \geq 0$

ข. $h(t) = ae^{-aT}$; $t \leq 0$

ค. $h(t) = ae^{aT}$; $t \geq 0$

ง. $h(t) = ae^{aT}$; $t \leq 0$

14. การแปลง Bilinear (Bilinear transform) ที่แกนจินตภาพในระนาบเอสจะถูกเปลี่ยน

ก. ให้ไปอยู่ในเส้นขอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ข. ให้ไปอยู่ที่เส้นขอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ค. ให้ไปอยู่นอกเส้นขอบวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ง. ไม่มีข้อถูก

15. การส่งถ่ายจากระนาบเอสไปยังระนาบแซด ในการแปลง Bilinear นั้น คือ

ก. $s = \frac{2}{T}\left(\frac{1+z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)$

ข. $s = \frac{2}{T}\left(\frac{1-z^{-1}}{1-z^{-1}}\right)$

ค. $\mathbf{s = \frac{2}{T}\left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)}$

ง. $s = \frac{2}{T}\left(\frac{1-z^{-1}}{1-z^{-1}}\right)$

16. ถ้าเรากำหนดให้ $r < 1$ พร้อมกับ $\sigma < 0$ นั่นคือพื้นที่ทางด้านซ้ายมือในระนาบเอสจะถูกส่งไปยังบริเวณใดในระนาบแซด

ก. **ภายในวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด**

ข. ภายนอกวงกลมในระนาบแซด

ค. บริเวณเส้นรัศมีวงกลม

ง. จุดศูนย์กลางวงกลม

17. ถ้าเรากำหนดให้ $r > 1$ พร้อมกับ $\sigma > 0$ พื้นที่ทางด้านขวามือในระนาบเอสจะถูกส่งไปยังบริเวณใดในระนาบแซด

ก. ภายในวงกลมรัศมีหนึ่งในระนาบแซด

ข. **ภายนอกวงกลมในระนาบแซด**

ค. บริเวณเส้นรัศมีวงกลม

ง. จุดศูนย์กลางวงกลม

18. การบีบอัดความถี่ (Frequency compression) คือ

ก. รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความถี่จะเป็นเชิงเส้น

ข. รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นเชิงเส้น ที่ช่วงเวลา $t + 1$

ค. **รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความถี่จะไม่เป็นเชิงเส้น**

ง. รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความถี่จะไม่เป็นเชิงเส้น ที่ช่วงเวลา $t + 1$

19. $H(s) = \frac{s+0.1}{(s+0.1)^2+9}$ โดยให้มีความถี่ Resonance $\omega r = \pi/2$ ดังนั้นฟังก์ชันระบบของตัวกรองดิจิตอลจะได้

ก. $H(z) = \frac{0.128+0.006z^{-1}+0.122z^{-2}}{1+0.0006z^{-1}+0.975z^{-2}}$

ข. $H(z) = \frac{0.128+0.006z^{-1}-0.122z^{-2}}{1-0.0006z^{-1}-0.975z^{-2}}$

ค. $H(z) = \frac{0.128+0.006z^{-1}+0.122z^{-2}}{1+0.0006z^{-1}+0.975z^{-2}}$

ง. $\mathbf{H(z) = \frac{0.128+0.006z^{-1}-0.122z^{-2}}{1+0.0006z^{-1}+0.975z^{-2}}}$

20. การแปลงความถี่กระทำได้ คือ

ก. เปลี่ยนตัวกรองอนาลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านไปเป็นตัวกรองอนาลอกชนิดอื่น แล้วทำการเปลี่ยนตัวกรองอนาลอกชนิดใหม่ที่ได้ให้ไปเป็นตัวกรองดิจิตอล

ข. เปลี่ยนตัวกรองแอนะลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน ไปเป็นตัวกรองดิจิตอลชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านแล้วทำการแปลงความถี่ในดิจิตอลโดเมนจากตัวกรองดิจิตอลชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน ไปเป็นตัวกรองดิจิตอลชนิดอื่น ๆ

ค. เปลี่ยนตัวกรองแอนะลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน ไปเป็นตัวกรองดิจิตอลชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านแล้วโดยการส่งถ่ายตำแหน่งของโพลจากระนาบเอสไปเป็นระนาบแซด

ง. ข้อ ก. และ ข. ถูกต้อง

21. ตัวกรองแบบอนาลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน มีความถี่ตัด (Cutoff frequency) อยู่ที่ Ω_p และเราต้องการเปลี่ยนความถี่ตัดให้ไปเป็น Ω'_p ดังนั้นผลของการแปลงความถี่จะได้

ก. $\mathbf{s = \frac{\Omega_p}{\Omega'_p}s}$

ข. $s = \frac{\Omega_s \Omega'_p}{p}$

ค. $s = \frac{\Omega' p}{\Omega_p}s$

ง. $s = \frac{\Omega_p \Omega'_p}{s}$

22. จงทำการแปลงตัวกรองอนาลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน $H(s) = \frac{\Omega_p}{s+\Omega_p}$ ที่มีโพลหนึ่งตัวแบบ Buttherworth ให้เป็นตัวกรองอนาลอกชนิดกรองแถบความถี่ผ่าน

ก. $H(z) = \frac{(\Omega_u - \Omega_l)s}{s^2 - (\Omega_u - \Omega_l)s - \Omega_u\Omega_l}$

ข. $H(z) = \frac{(\Omega_u - \Omega_l)s}{s^2 + (\Omega_u + \Omega_l)s + \Omega_u\Omega_l}$

ค. $H(z) = \frac{(\Omega_u + \Omega_l)s}{s^2 + (\Omega_u - \Omega_l)s + \Omega_u\Omega_l}$

ง. $H(z) = \frac{(\Omega_u - \Omega_l)s}{s^2 + (\Omega_u - \Omega_l)s + \Omega_u\Omega_l}$

23. ในการแปลงจะกระทำได้โดยการแทนที่ตัวแปร z^{-1} ด้วยฟังก์ชัน ใด

ก. **$g(z^{-1})$**

ข. $k(z^{-1})$

ค. $h(z^{-1})$

ง. $C(z^{-1})$

24. ในระบบดิจิตอลจะสามารถแปลงตัวกรองดิจิตอลชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านให้ไปเป็นตัวกรองดิจิตอลชนิดอื่น ๆ ได้ ในการแปลงจะกระทำได้โดย มีข้อกำหนด คือ

ก. การแทนที่ z^{-1} ด้วยฟังก์ชัน $g(z^{-1})$ จะต้องทำการถ่ายโอนภายในวงกลมรัศมีหนึ่งด้วยตัวของมันเองในระนาบแซด

ข. การแทนที่ z^{-1} ด้วยฟังก์ชัน $H(z^{-1})$ จะต้องทำการถ่ายโอนภายในวงกลมรัศมีหนึ่งด้วยตัวของมันเองในระนาบแซด

ค. ที่วงกลมรัศมีหนึ่งจะต้องถูกส่งถ่ายด้วยตัวของมัน

ง. **ข้อ ก. และ ข. ถูกต้อง**

หน่วยที่ 6 วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด

1. ลักษณะเด่นของการออกแบบตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด (Finite Impulse Response : FIR) คือ

ก. **เป็นตัวกรองที่ไม่มีโพล**

ข. เป็นตัวกรองที่ไม่มีซีโร่

ค. เป็นตัวกรองที่ไม่มีโพล และ ซีโร่

ง. ไม่ข้อถูก

2. ข้อแตกต่างระหว่าง ตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด และตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด คือ

ก. ผลตอบสนองทางความถี่

ข. **ผลตอบสนองทางเฟส**

ค. ผลตอบสนองทางแอมพริจูด

ง. ความมีสเถียรภาพ

3. ค่า M ในผลตอบสนองหนึ่งหน่วย คือ

ก. การกำหนดเฟสของตัวกรอง

ข. การกำหนดความถี่ของตัวกรอง

ค. **การกำหนดขนาดของตัวกรอง**

ง. ไม่ข้อถูก

4. การกระโดดของเฟส (Phase jump) ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงค่าใด

ก. $H_r(\pi)$

ข. $H(\pi)$

ค. $H(\omega)$

ง. $\mathbf{H_r(\omega)}$

5. เงื่อนไขความสมมาตร ในกรณีที่ M เป็นคี่ คือ

ก. $H_r(\omega) = h\left(\frac{M-1}{2}\right) - 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\cos\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$

ข. $H_r(\omega) = h\left(\frac{M-1}{2}\right) - 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\sin\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$

ค. $H_r(\omega) = h\left(\frac{M-1}{2}\right) + 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\sin\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$

ง. $H_r(\omega) = h\left(\frac{M-1}{2}\right) + 2\sum_{n=0}^{(M-3)/2} h(n)\cos\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$

6. เงื่อนไขปฏิสมมาตร ในกรณีที่ M เป็นคู่ คือ

ก. $H_r(\omega) \quad 2\sum_{n=0}^{(M/2)-1} h(n)\sin\omega\left(\frac{M-1}{2}+n\right)$

ข. $H_r(\omega) \quad 2\sum_{n=0}^{(M/2)-1} h(n)\sin\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$

ค. $H_r(\omega) \quad 2\sum_{n=0}^{(M/2)-1} h(n)\cos\omega\left(\frac{M-1}{2}-n\right)$

ง. $H_r(\omega) \quad 2\sum_{n=0}^{(M/2)-1} h(n)\cos\omega\left(\frac{M-1}{2}+n\right)$

7. ขั้นตอนการออกแบบ การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัดโดยอนุกรมฟูเรียร์ คือ

ก. **กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองอุดมคติในโดเมนความถี่ และหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา**

ข. กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองอุดมคติในโดเมนเวลา และหาผลตอบสนองในโดเมนความถี่

ค. กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองในโดเมนความถี่ และหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา

ง. กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองในโดเมนเวลา และหาผลตอบสนองในโดเมนความถี่

8. ตัวกรองแบบ FIR ชนิดกรองผ่านความถี่ต่ำ

ก. $h_d(0) = \frac{\omega_c}{\pi}$

ข. $h_d(0) = 1-\frac{\omega_c}{\pi} \quad ;n \neq 0$

ค. $h_d(0) = \frac{1}{2\pi}\left[\omega_{c2}-\omega_{c1}\right]$

ง. $h_d(0) = 1-\omega_{c2}+\omega_{c1}$

9. ตัวกรองแบบ FIR ชนิดตัดแถบความถี่

ก. $h_d(0) = \frac{\omega_c}{\pi}$

ข. $h_d(0) = 1-\frac{\omega_c}{\pi} \quad ;n \neq 0$

ค. $h_d(0) = \frac{1}{2\pi}\left[\omega_{c2}-\omega_{c1}\right]$

ง. $h_d(0) = 1-\omega_{c2}+\omega_{c1}$

10. ตัวกรองแบบ FIR ชนิดกรองผ่านความถี่สูง

ก. $h_d(0) = \frac{\omega_c}{\pi}$

ข. $h_d(0) = 1-\frac{\omega_c}{\pi} \quad ;n \neq 0$

ค. $h_d(0) = \frac{1}{2\pi}\left[\omega_{c2} - \omega_{c1}\right]$

ง. $h_d(0) = 1-\omega_{c2}+\omega_{c1}$

11. ตัวกรองแบบ FIR ชนิดกรองผ่านแถบความถี่

ก. $h_d(0) = \frac{\omega_c}{\pi}$

ข. $h_d(0) = 1-\frac{\omega_c}{\pi} \quad ;n \neq 0$

ค. $h_d(0) = \frac{1}{2\pi}\left[\omega_{c2} - \omega_{c1}\right]$

ง. $h_d(0) = 1-\omega_{c2}+\omega_{c1}$

12. วงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด โดยหน้าต่าง เพื่อแก้ไขปัญหาใดในทางปฏิบัติ

ก. ผลตอบสนองทางด้านความถี่มีลักษณะที่ใกล้เคียงในทางอุดมคติ

ข. ผลตอบสนองทางด้านขนาดมีลักษณะที่ใกล้เคียงในทางอุดมคติ

ค. ผลตอบสนองทางด้านเฟสมีลักษณะที่ใกล้เคียงในทางอุดมคติ

ง. ผลตอบสนองทางด้านความถี่ ขนาด และเฟส มีลักษณะที่ใกล้เคียงในทางอุดมคติ

13. หน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular windows) ความกว้างของโหลบหลัก จะขึ้นอยู่ค่าของอะไร

ก. π

ข. **M**

ค. n

ง. ไม่มีข้อถูก

14. หน้าต่างแบบ Hann (Hann windows) ตัวกรองมีผลตอบสนองในส่วนตัวแถบ

ก. ความถี่เท่ากับหน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม

ข. ความถี่มากกว่าหน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม

ค. ความถี่ต่ำกว่าหน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม

ง. ไม่มีข้อถูก

15. ความกว้างของโหลบหลัก ในหน้าต่างแบบ Hann (Hann windows) มีค่าประมาณ เท่าใด

ก. $2\pi/M$

ข. $4\pi/M$

ค. $6\pi/M$

ง. **$8\pi/M$**

16. หน้าต่างแบบ Hamming (Hamming windows) ผลตอบสนองทางเวลาและผลตอบสนองทางความถี่ มีการแกว่งทุก ๆ ω =

ก. π/M

ข. $2\pi/M$

ค. $3\pi/M$

ง. **$4\pi/M$**

17. หน้าต่างแบบ Blackman (Blackman windows) ความกว้างของโหลบหลักประมาณ

ก. $11\pi/M$

ข. **$12\pi/M$**

ค. $13\pi/M$

ง. $14\pi/M$

18. การออกแบบตัวกรองโดยวิธีการสุ่มความถี่ (Frequency sampling) เพื่อแก้ปัญหา ใด

ก. ตัวกรองชนิดกรองผ่านความถี่ต่ำ

ข. ตัวกรองชนิดกรองผ่านความถี่

ค. ตัวกรองชนิดกรองแถบผ่านความถี่

ง. **ตัวกรองชนิดกรองที่ไม่เป็นมาตรฐาน**

19. การหาสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเรากระทำได้โดยการแปลงผกผัน DFT (IDFT) และในกรณีที่ N เป็นคู่ คือ

ก. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) + 2\sum_{k=1}^{(N/2)-1} \tilde{H}(k)\cos \frac{2\pi\, \pi n}{N}\right]$

ข. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) + 2\sum_{k=1}^{(N-2)/1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$

ค. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) - 2\sum_{k=1}^{(N-2)/1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$

ง. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) - 2\sum_{k=1}^{(N/2)-1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$

20. การหาสัมประสิทธิ์ของตัวกรองเราทำได้โดยการแปลงผกผัน DFT (IDFT) และในกรณีที่ N เป็นคี่ คือ

ก. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) - 2\sum_{k=1}^{(N-2)/1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$

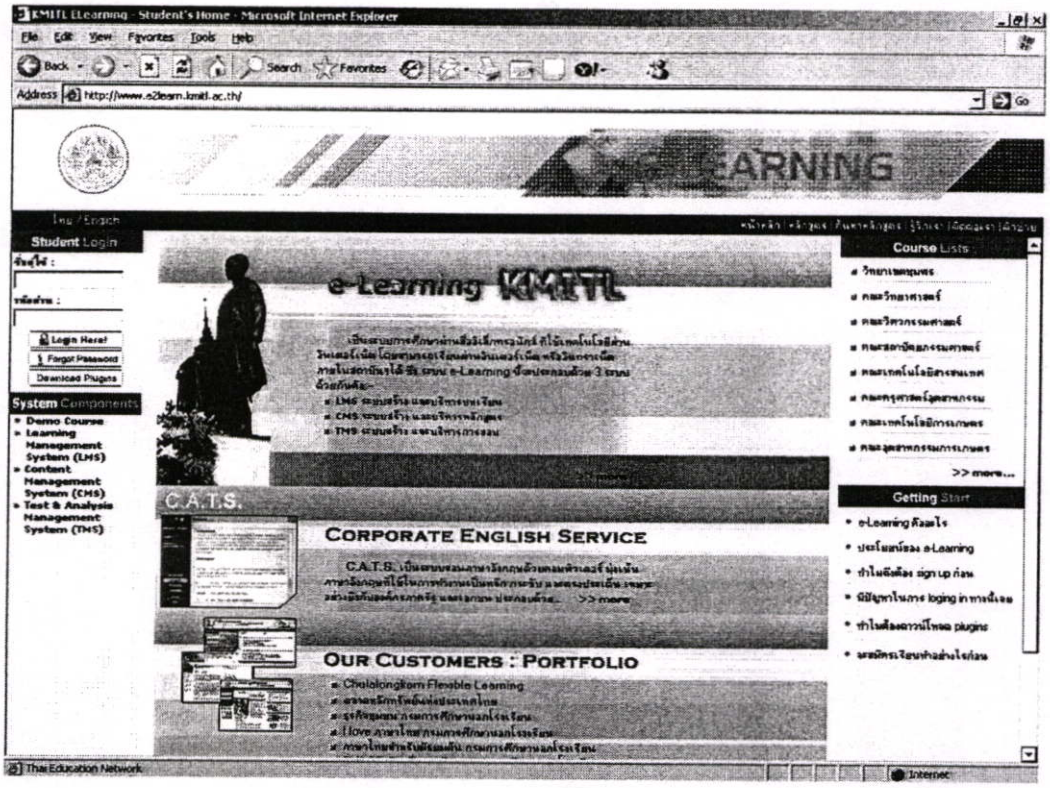
ข. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) + 2\sum_{k=1}^{(N-2)/1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$

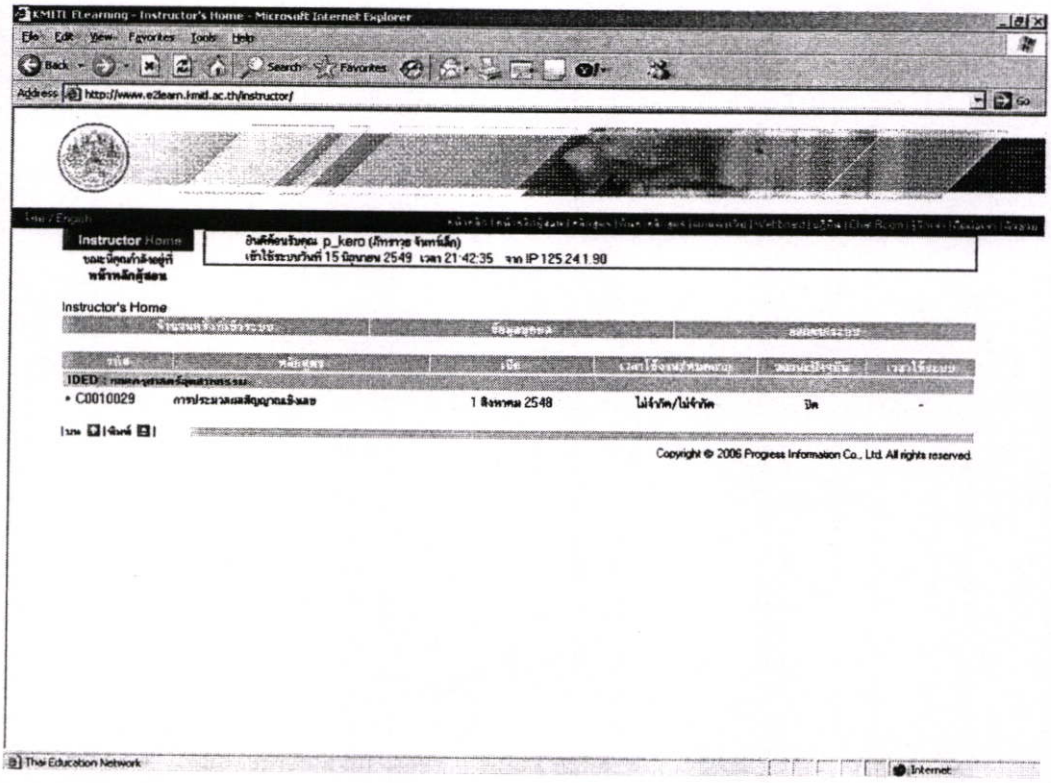
ค. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) - 2\sum_{k=1}^{(N/2)/1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi nk}{N}\right]$

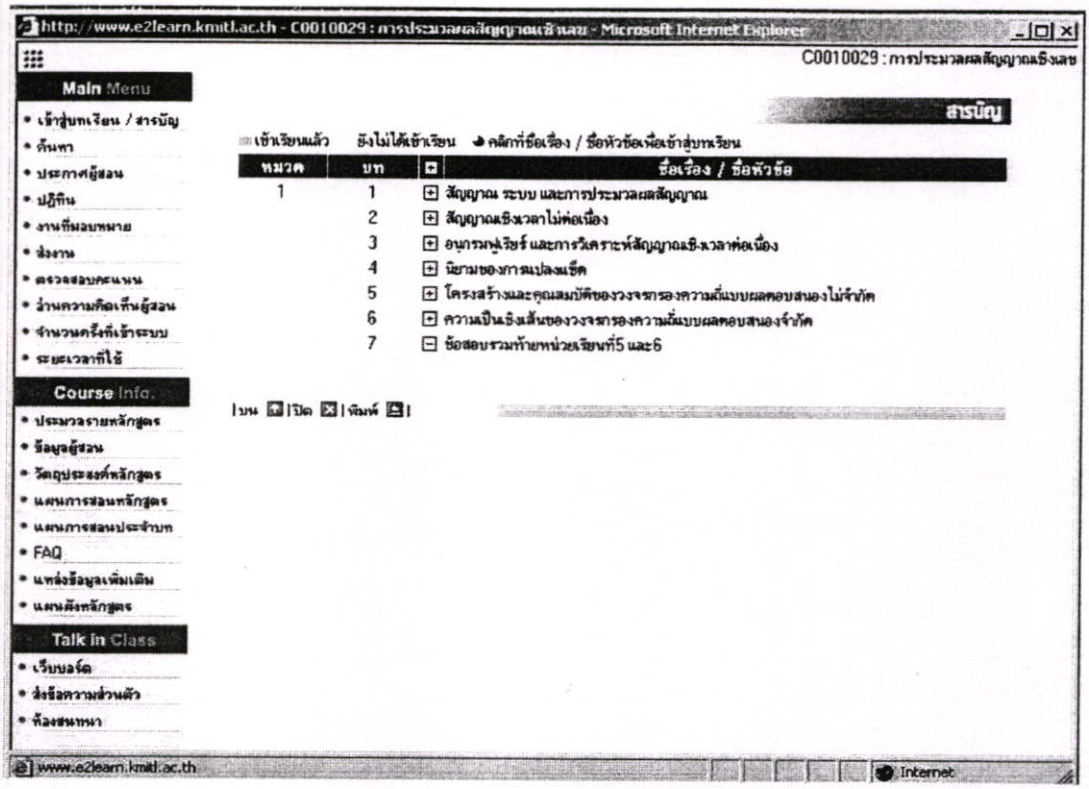
ง. $h(n) = \frac{1}{N}\left[\tilde{H}(0) + 2\sum_{k=1}^{(N/2)-1} \tilde{H}(k)\cos\frac{2\pi\pi n}{N}\right]$

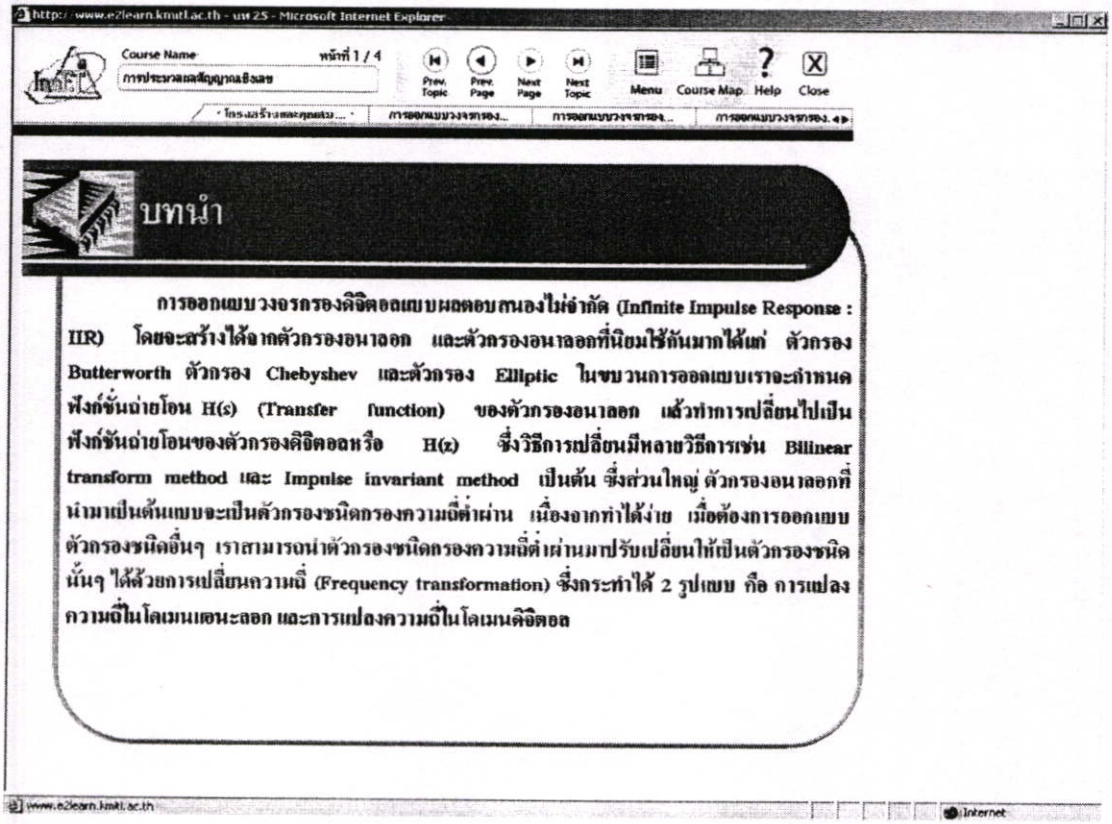
ภาคผนวก จ.

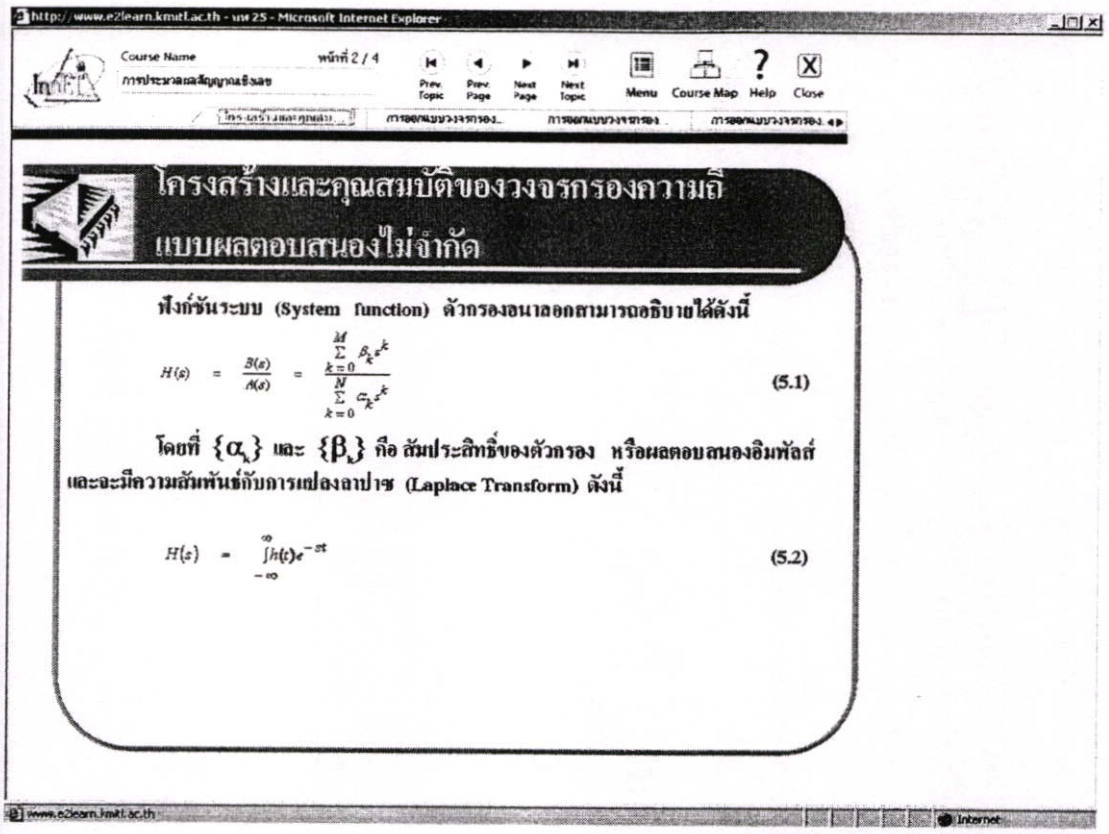
ตัวอย่างบทเรียนเพื่อการเรียนรู้แบบอิเล็กทรอนิกส์ วิชาการประมวลผลสัญญาณดิจิตอล

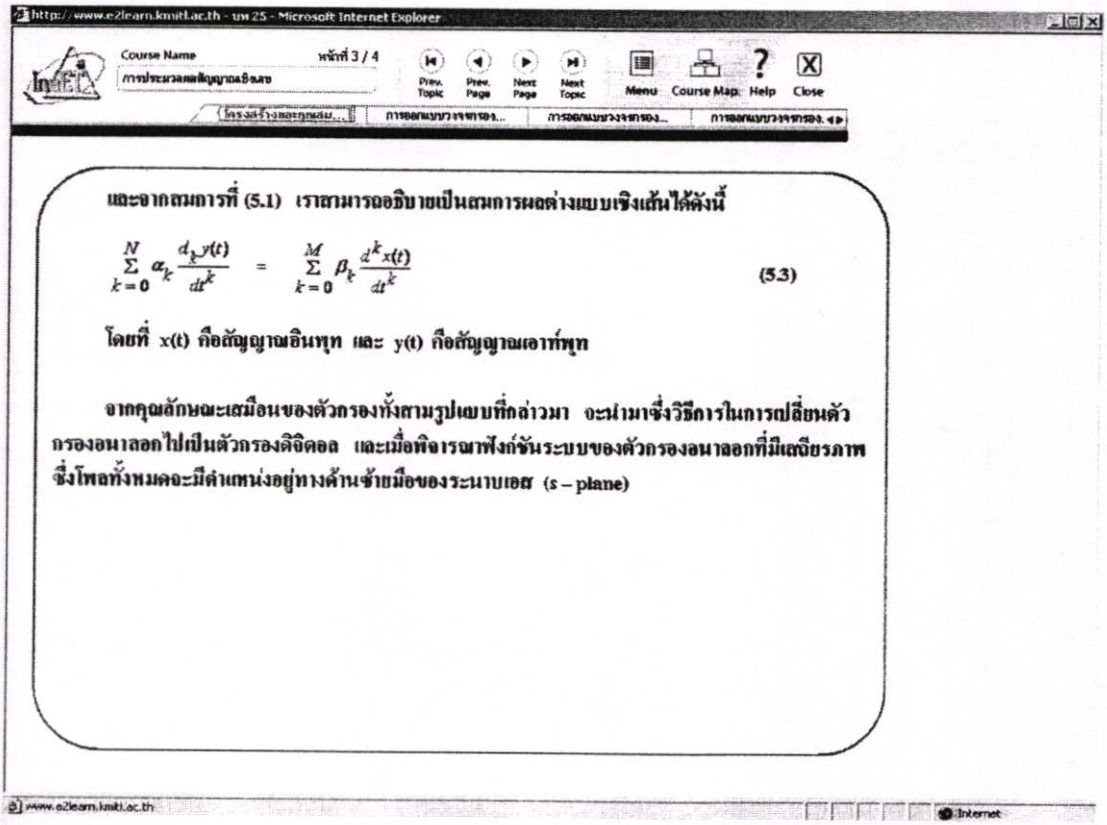

KMITL ELearning - Student's Home - Microsoft Internet Explorer
Address http://www.e2learn.kmitl.ac.th/
Student Login
Login Here!
Forgot Password
Download Plugins
System Components
Demo Course
Learning Management System (LMS)
Content Management System (CMS)
Test & Analysis Management System (TMS)
e-Learning KMITL
C.A.T.S.
CORPORATE ENGLISH SERVICE
OUR CUSTOMERS : PORTFOLIO
Course Lists
Getting Start
Thai Education Network
Internet

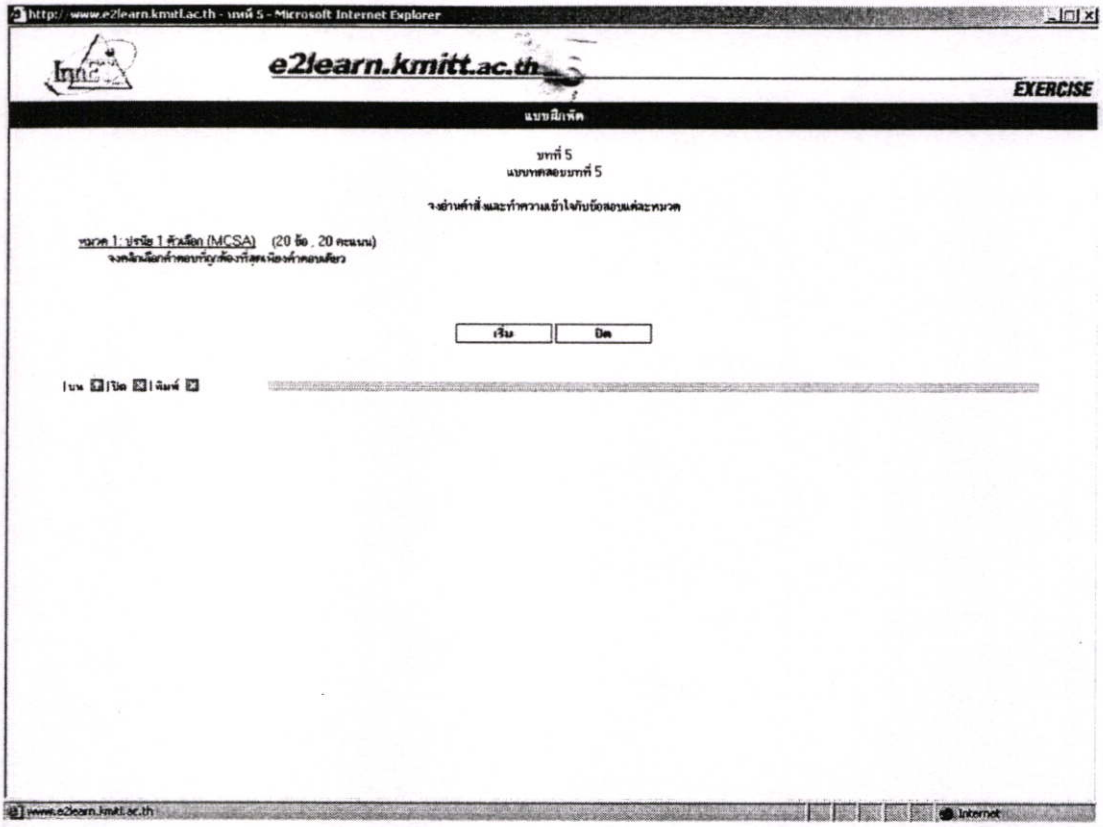

KMITL ELearning - Instructor's Home - Microsoft Internet Explorer
Address http://www.e2learn.kmitl.ac.th/instructor/
Instructor Home
Instructor's Home
IDED :
C0010029
1 สิงหาคม 2548
ไม่จำกัด/ไม่จำกัด
Copyright © 2006 Progress Information Co., Ltd. All rights reserved.
Thai Education Network
Internet

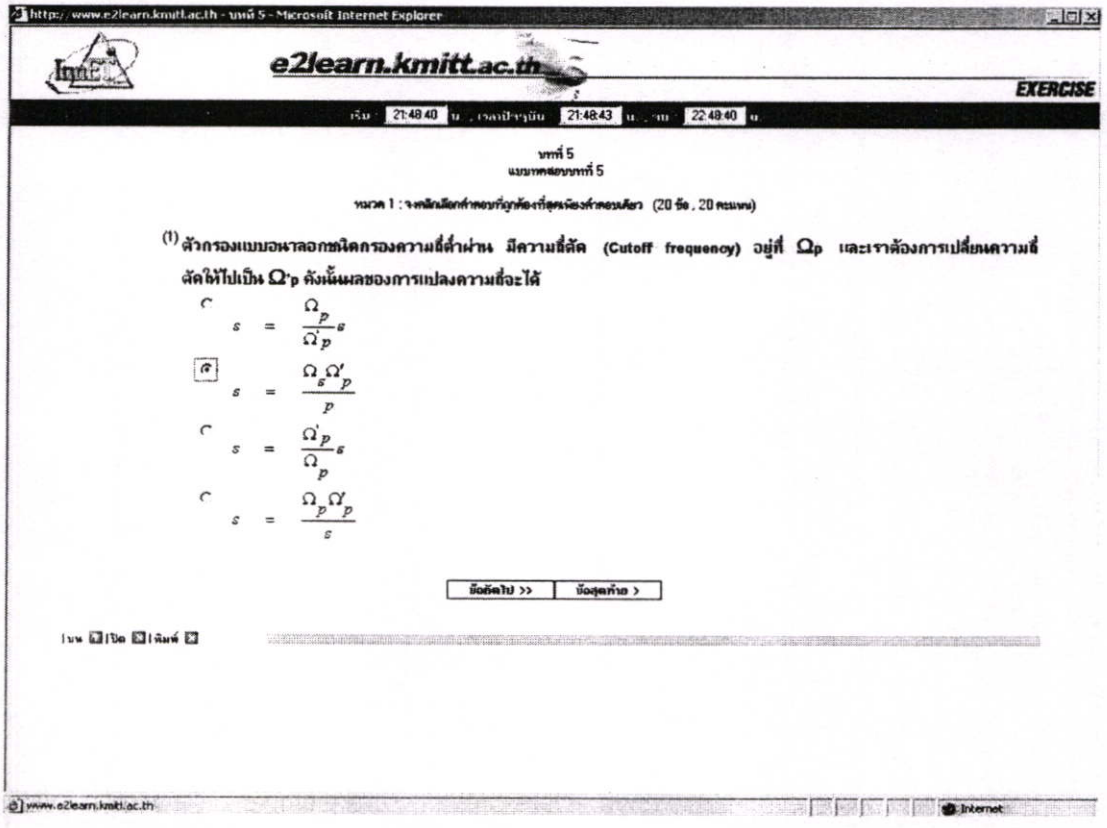

http://www.e2learn.kmutl.ac.th - C0010029 : การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข - Microsoft Internet Explorer
C0010029 : การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข
Main Menu
เข้าสู่บทเรียน / สารบัญ
ค้นหา
ประกาศผู้สอน
ปฏิทิน
งานที่มอบหมาย
ส่งงาน
ตรวจสอบคะแนน
อ่านความคิดเห็นผู้สอน
จำนวนครั้งที่เข้าระบบ
ระยะเวลาที่ใช้
Course Info.
ประมวลรายหลักสูตร
ข้อมูลผู้สอน
วัตถุประสงค์หลักสูตร
แผนการสอนหลักสูตร
แผนการสอนประจำบท
FAQ
แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม
แผนผังหลักสูตร
Talk in Class
เว็บบอร์ด
ส่งข้อความส่วนตัว
ห้องสนทนา
สารบัญ
เข้าเรียนแล้ว
ยังไม่ได้เข้าเรียน
คลิกที่ชื่อเรื่อง / ชื่อหัวข้อเพื่อเข้าสู่บทเรียน
หมวด
บท
ชื่อเรื่อง / ชื่อหัวข้อ
1 1 สัญญาณ ระบบ และการประมวลผลสัญญาณ
2 สัญญาณเชิงเวลาไม่ต่อเนื่อง
3 อนุกรมฟูเรียร์ และการวิเคราะห์สัญญาณเชิงเวลาต่อเนื่อง
4 นิยามของการแปลงแซ็ด
5 โครงสร้างและคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด
6 ความเป็นเชิงเส้นของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด
7 ข้อสอบรวมท้ายหน่วยเรียนที่5 และ6
บน
ปิด
พิมพ์
www.e2learn.kmutl.ac.th
Internet

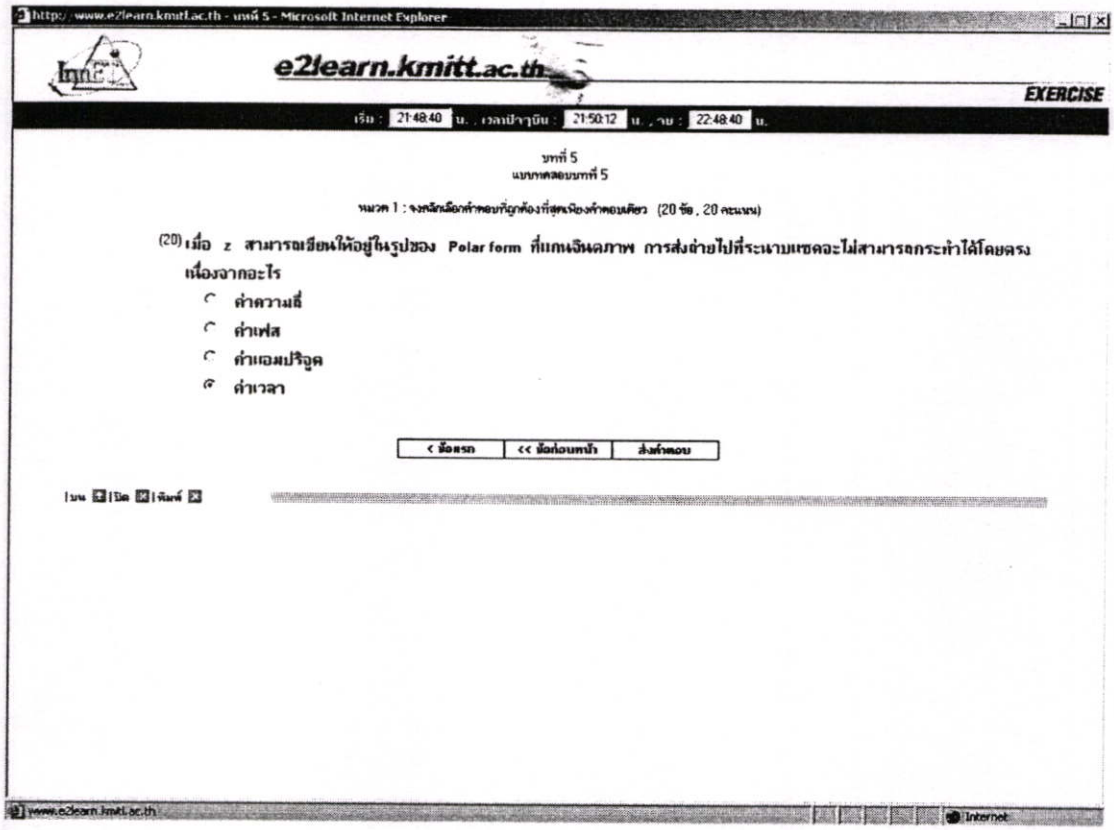

http://www.e2learn.kmutl.ac.th - unit 25 - Microsoft Internet Explorer
Course Name
หน้าที่ 1 / 4
การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข
Prev. Topic
Prev. Page
Next Page
Next Topic
Menu
Course Map
Help
Close
บทนำ
การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด (Infinite Impulse Response : IIR) โดยจะสร้างได้จากตัวกรองอนาลอก และตัวกรองอนาลอกที่นิยมใช้กันมากได้แก่ ตัวกรอง Butterworth ตัวกรอง Chebyshev และตัวกรอง Elliptic ในขบวนการออกแบบเราจะกำหนดฟังก์ชั่นถ่ายโอน H(s) (Transfer function) ของตัวกรองอนาลอก แล้วทำการเปลี่ยนไปเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองดิจิตอลหรือ H(z) ซึ่งวิธีการเปลี่ยนมีหลายวิธีการเช่น Bilinear transform method และ Impulse invariant method เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ ตัวกรองอนาลอกที่นำมาเป็นต้นแบบจะเป็นตัวกรองชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน เนื่องจากทำได้ง่าย เมื่อต้องการออกแบบตัวกรองชนิดอื่นๆ เราสามารถนำตัวกรองชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านมาปรับเปลี่ยนให้เป็นตัวกรองชนิดนั้นๆ ได้ด้วยการเปลี่ยนความถี่ (Frequency transformation) ซึ่งกระทำได้ 2 รูปแบบ คือ การแปลงความถี่ในโดเมนแอนะลอก และการแปลงความถี่ในโดเมนดิจิตอล
www.e2learn.kmutl.ac.th
Internet

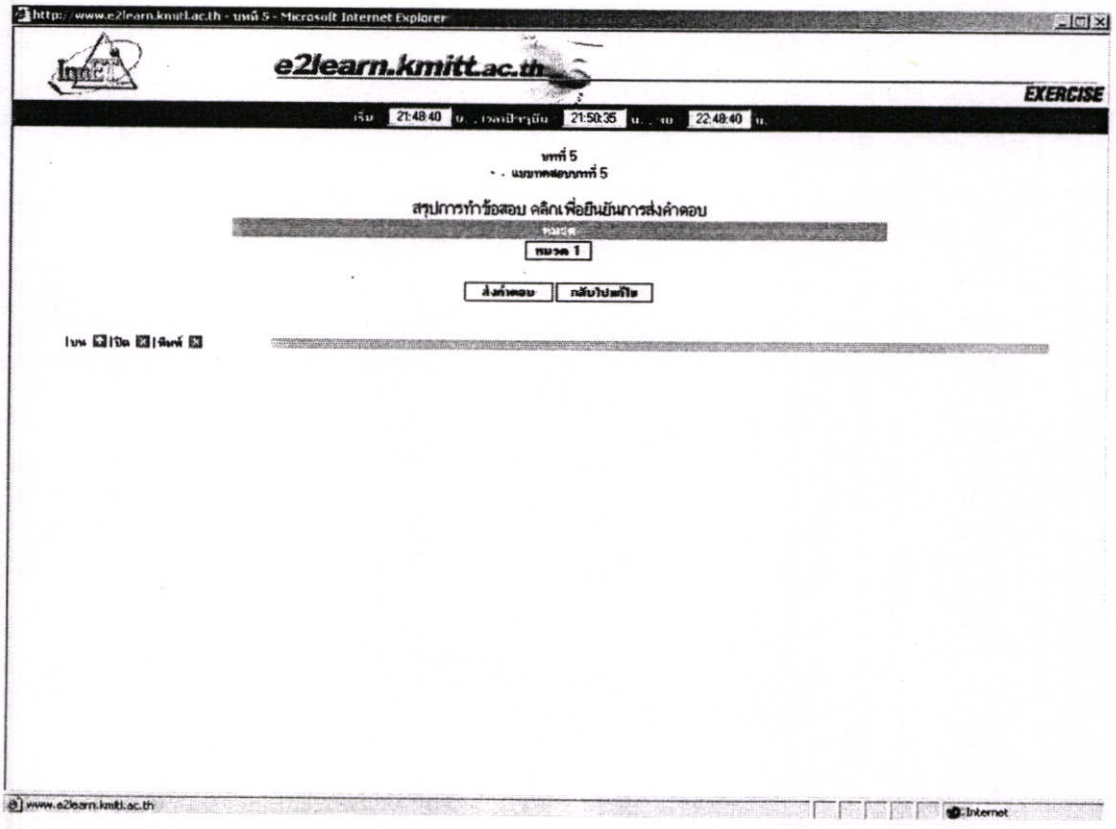

http://www.e2learn.kmutt.ac.th - บท 25 - Microsoft Internet Explorer
Course Name
หน้าที่ 2 / 4
Prev. Topic
Prev. Page
Next Page
Next Topic
Menu
Course Map
Help
Close
โครงสร้างและคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองไม่จำกัด
ฟังก์ชันระบบ (System function) ตัวกรองอนาลอกสามารถอธิบายได้ดังนี้
$$H(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{\sum_{k=0}^{M} \beta_k s^k}{\sum_{k=0}^{N} \alpha_k s^k} \quad (5.1)$$
โดยที่ $\{\alpha_k\}$ และ $\{\beta_k\}$ คือ สัมประสิทธิ์ของตัวกรอง หรือผลตอบสนองอิมพัลส์ และจะมีความสัมพันธ์กับการแปลงลาปาซ (Laplace Transform) ดังนี้
$$H(s) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-st} \quad (5.2)$$
www.e2learn.kmutt.ac.th
Internet

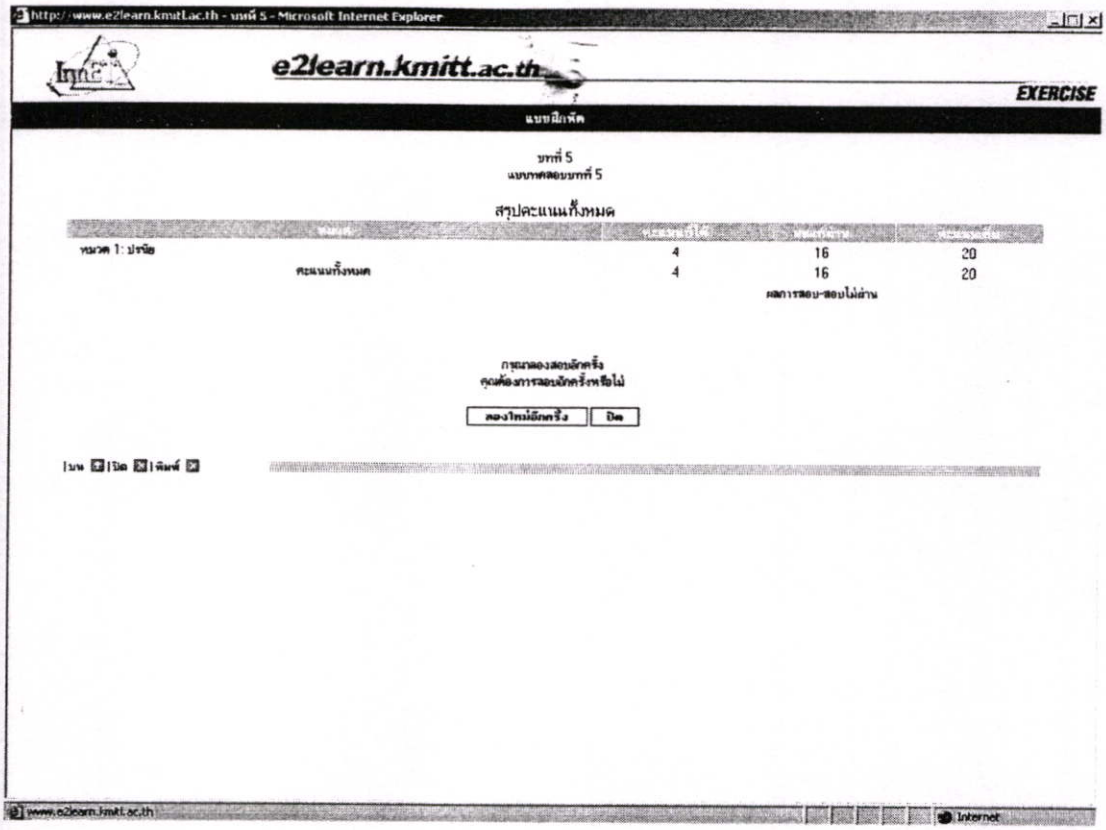

http://www.e2learn.kmutt.ac.th - บท 25 - Microsoft Internet Explorer
Course Name
หน้าที่ 3 / 4
Prev. Topic
Prev. Page
Next Page
Next Topic
Menu
Course Map
Help
Close
และจากสมการที่ (5.1) เราสามารถอธิบายเป็นสมการผลต่างแบบเชิงเส้นได้ดังนี้
$$\sum_{k=0}^{N} \alpha_k \frac{d_k y(t)}{dt^k} = \sum_{k=0}^{M} \beta_k \frac{d^k x(t)}{dt^k} \quad (5.3)$$
โดยที่ x(t) คือสัญญาณอินพุท และ y(t) คือสัญญาณเอาท์พุท
จากคุณลักษณะเสมือนของตัวกรองทั้งสามรูปแบบที่กล่าวมา จะนำมาซึ่งวิธีการในการเปลี่ยนตัวกรองอนาลอกไปเป็นตัวกรองดิจิตอล และเมื่อพิจารณาฟังก์ชันระบบของตัวกรองอนาลอกที่มีเสถียรภาพ ซึ่งโพลทั้งหมดจะมีตำแหน่งอยู่ทางด้านซ้ายมือของระนาบเอส (s – plane)
www.e2learn.kmutt.ac.th
Internet

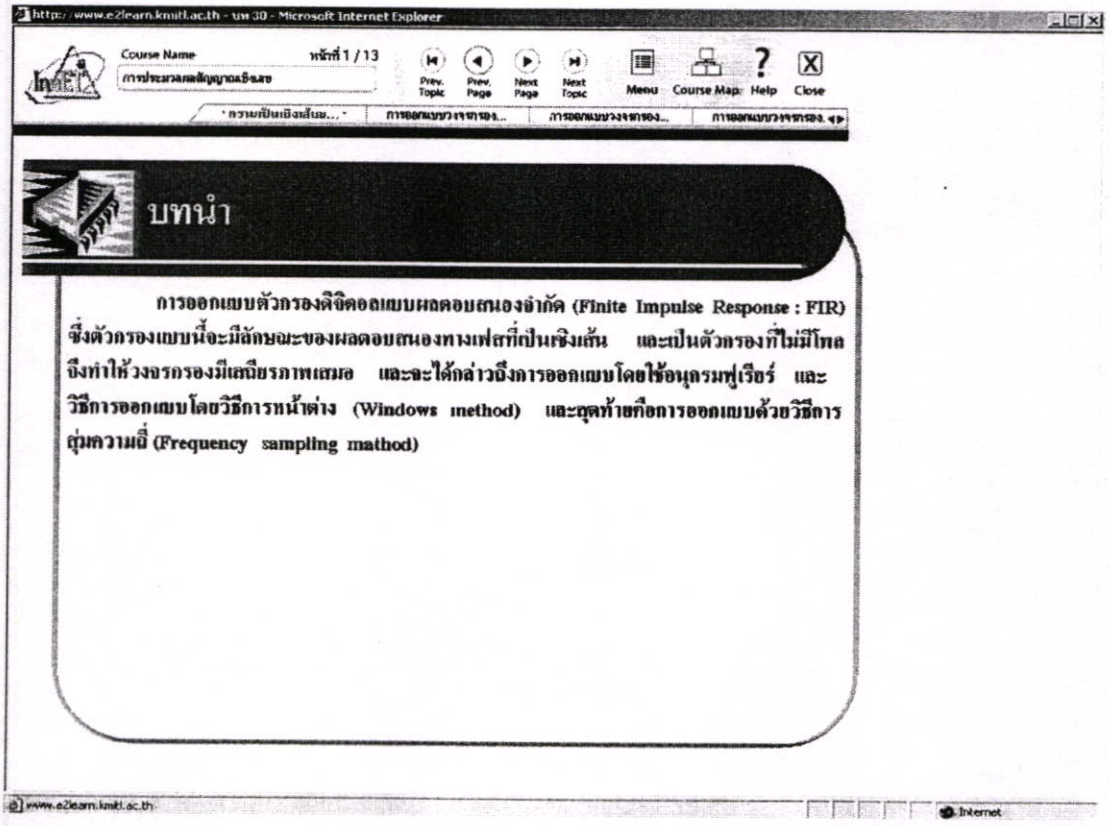

http://www.e2learn.kmitl.ac.th - บทที่ 5 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
แบบฝึกหัด
บทที่ 5
แบบทดสอบบทที่ 5
จงอ่านคำสั่งและทำความเข้าใจกับข้อสอบแต่ละหมวด
หมวด 1: ประเภท 1 ตัวเลือก (MCSA) (20 ข้อ , 20 คะแนน)
จงคลิกเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว
เริ่ม
ปิด
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet

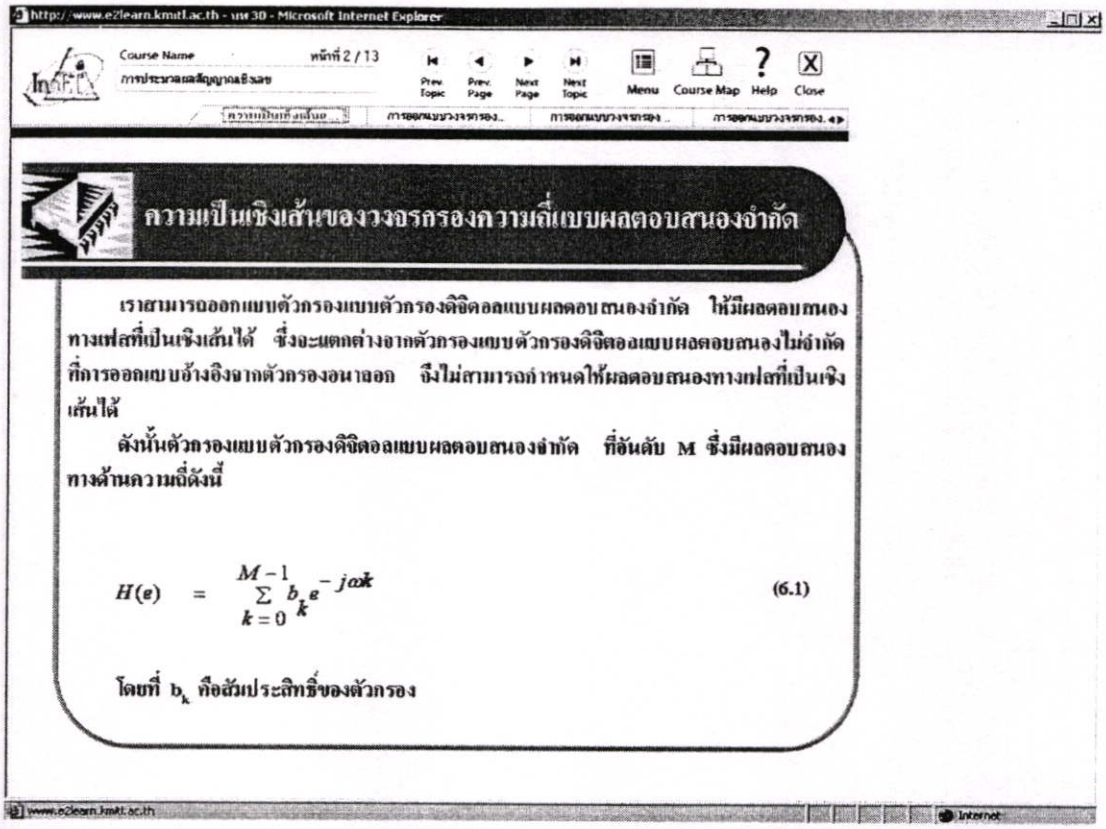

http://www.e2learn.kmitl.ac.th - บทที่ 5 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
เริ่ม : 21:48:40 น. , เวลาปัจจุบัน : 21:48:43 น. , เวลา : 22:48:40 น.
บทที่ 5
แบบทดสอบบทที่ 5
หมวด 1 : จงคลิกเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว (20 ข้อ , 20 คะแนน)
(1) ตัวกรองแบบอนาลอกชนิดกรองความถี่ต่ำผ่าน มีความถี่ตัด (Cutoff frequency) อยู่ที่ Ωp และเราต้องการเปลี่ยนความถี่ตัดให้ไปเป็น Ω'p ดังนั้นผลของการเปลงความถี่จะได้
s = (Ωp / Ω'p) s
s = (Ωs Ω'p) / p
s = (Ω'p / Ωp) s
s = (Ωp Ω'p) / s
ข้อถัดไป >>
ข้อสุดท้าย >
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet

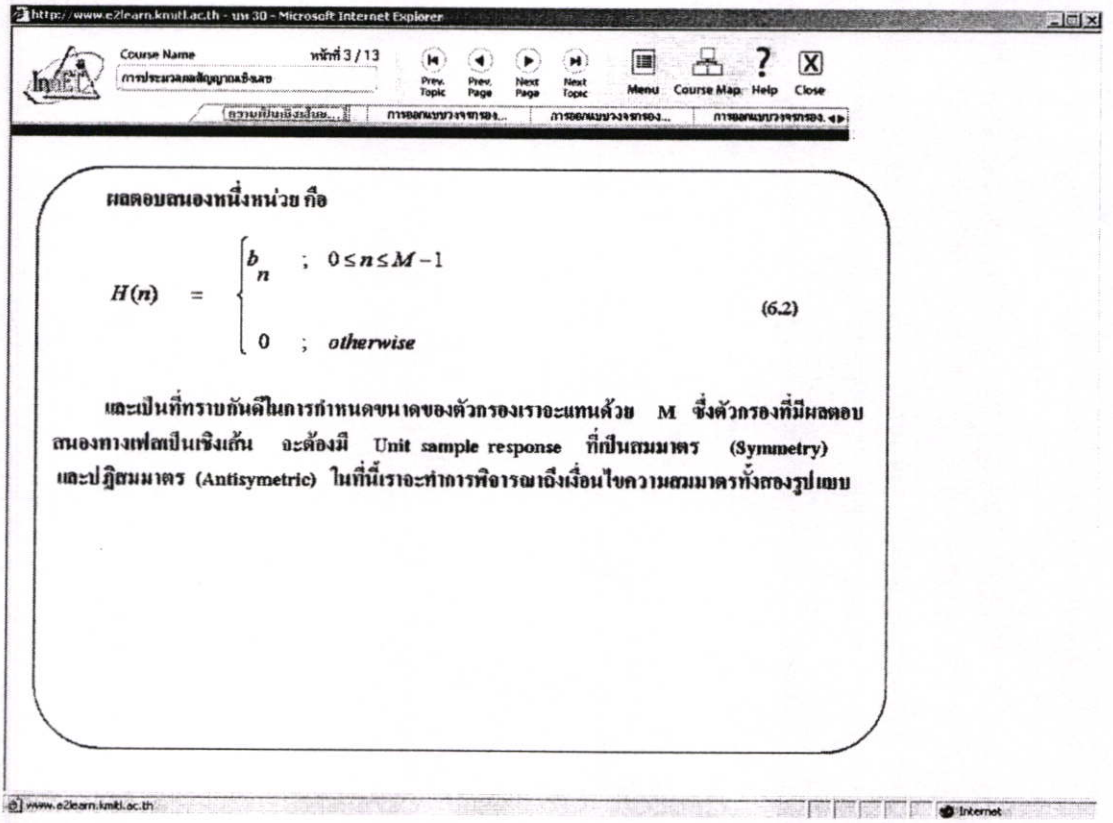

http://www.e2learn.kmutl.ac.th - บทที่ 5 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
เริ่ม : 21:48:40 น. , เวลาปัจจุบัน : 21:50:12 น. , จบ : 22:48:40 น.
บทที่ 5
แบบทดสอบบทที่ 5
หมวด 1 : จงคลิกเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว (20 ข้อ , 20 คะแนน)
(20) เมื่อ z สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Polar form ที่แกนจินตภาพ การส่งถ่ายไปที่ระนาบเชคอะไม่สามารถกระทำได้โดยตรง เนื่องจากอะไร
ค่าความถี่
ค่าเฟส
ค่าแอมปริจูด
ค่าเวลา
< ข้อแรก
<< ข้อก่อนหน้า
ส่งคำตอบ
www.e2learn.kmutl.ac.th
Internet

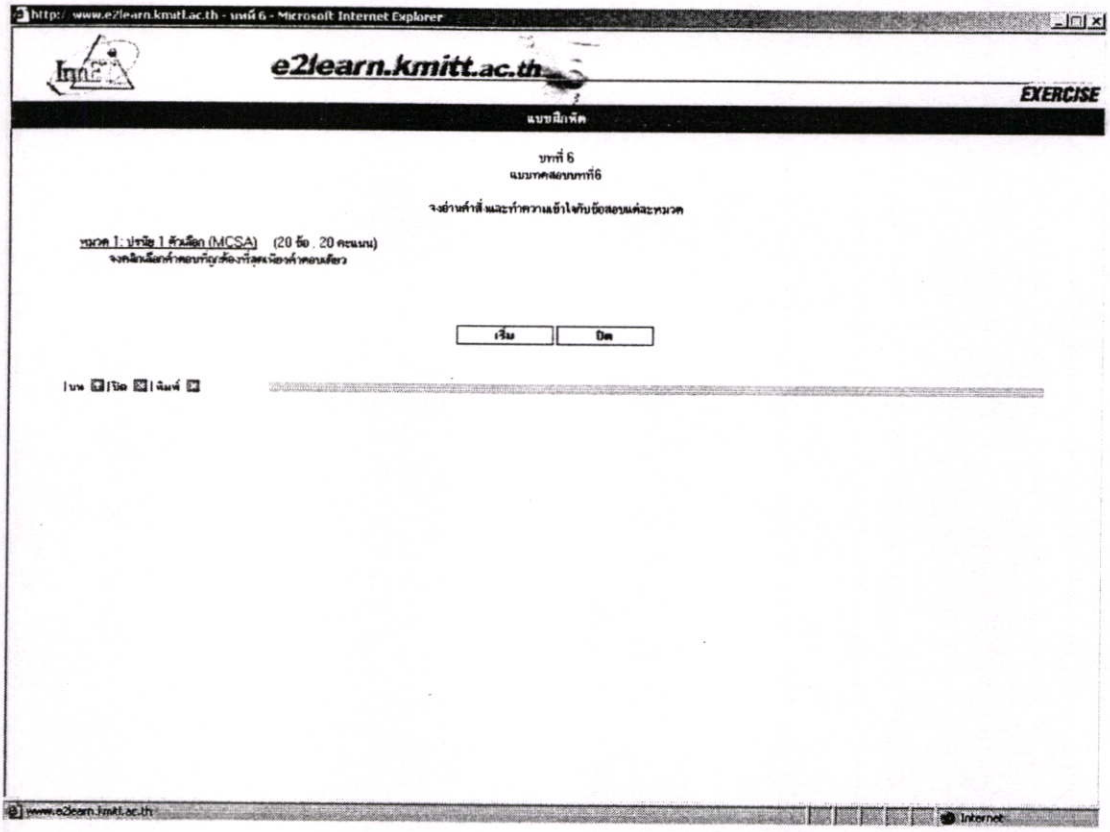

http://www.e2learn.kmutl.ac.th - บทที่ 5 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
เริ่ม 21:48:40 น. , เวลาปัจจุบัน 21:50:35 น. , จบ 22:48:40 น.
บทที่ 5
แบบทดสอบบทที่ 5
สรุปการทำข้อสอบ คลิกเพื่อยืนยันการส่งคำตอบ
หมวด 1
ส่งคำตอบ
กลับไปแก้ไข
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet

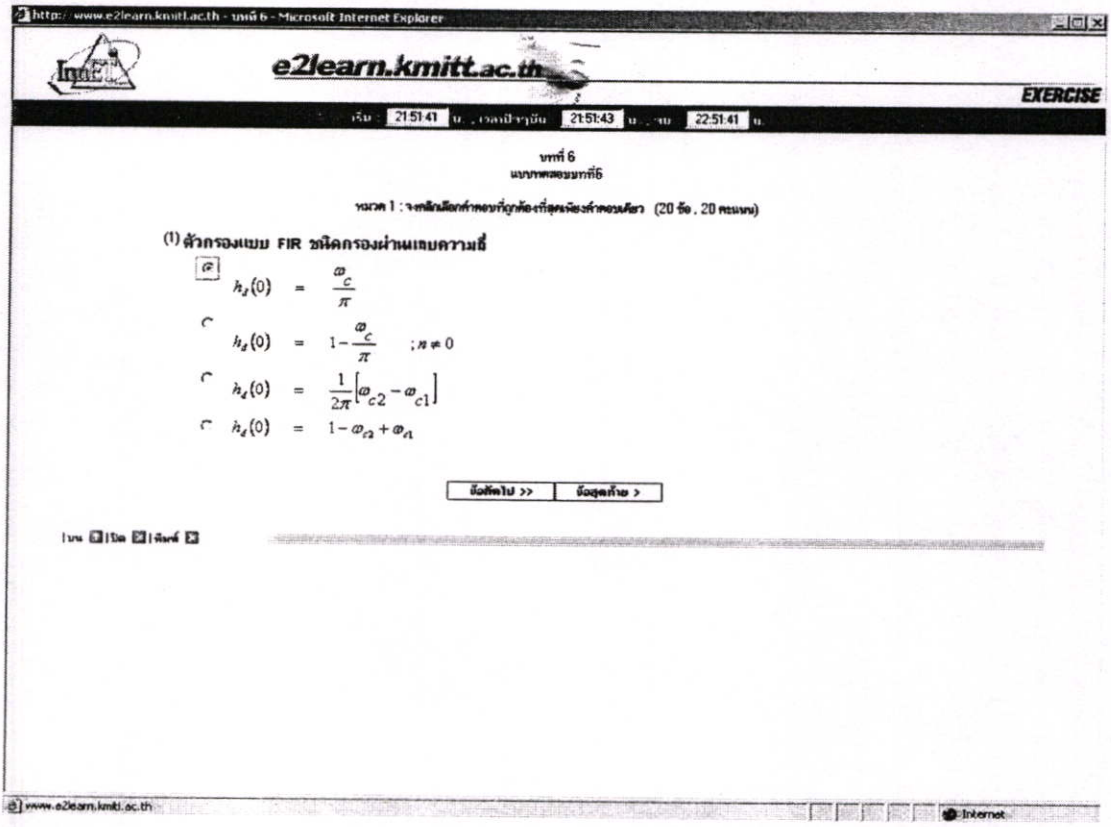

e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
แบบฝึกหัด
บทที่ 5
แบบทดสอบบทที่ 5
สรุปคะแนนทั้งหมด
หมวด 1: ปรนัย
4
16
20
คะแนนทั้งหมด
4
16
20
ผลการสอบ-สอบไม่ผ่าน
กรุณาลองสอบอีกครั้ง
คุณต้องการสอบอีกครั้งหรือไม่
ลองใหม่อีกครั้ง
ปิด
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet

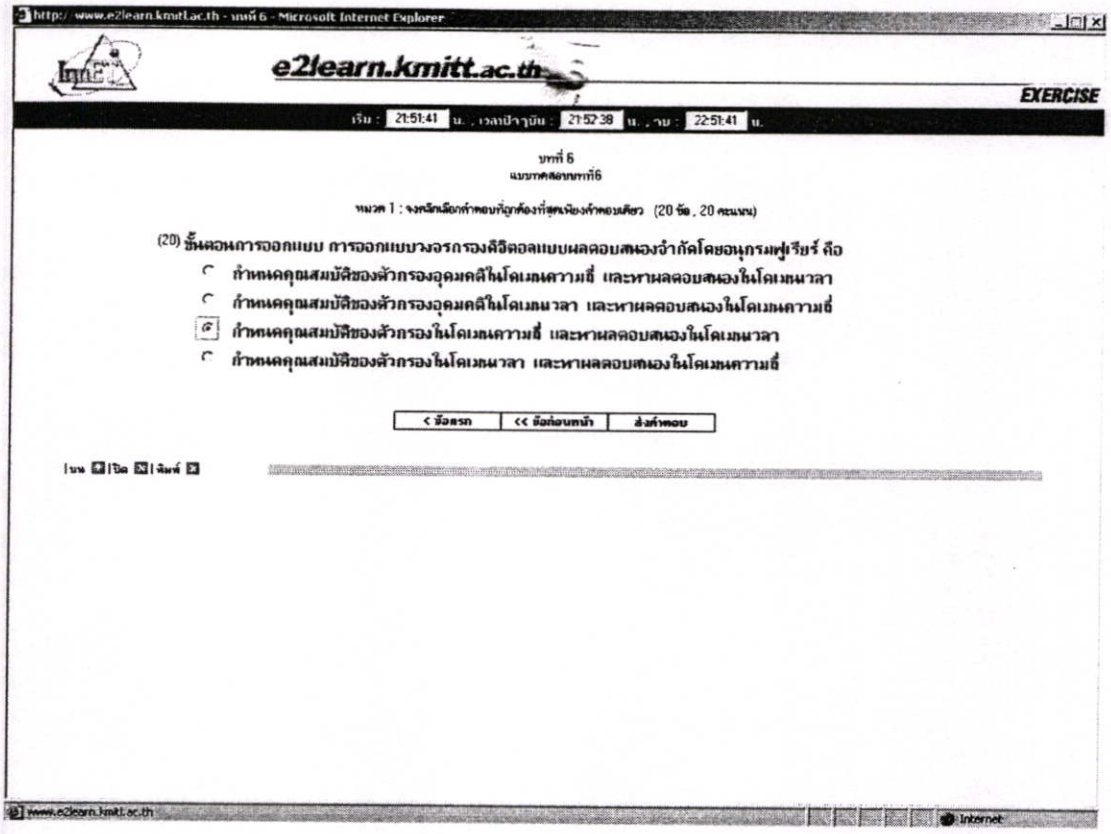

Course Name
หน้าที่ 1 / 13
Prev. Topic
Prev. Page
Next Page
Next Topic
Menu
Course Map
Help
Close
บทนำ
การออกแบบตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด (Finite Impulse Response : FIR) ซึ่งตัวกรองแบบนี้จะมีลักษณะของผลตอบสนองทางเฟสที่เป็นเชิงเส้น และเป็นตัวกรองที่ไม่มีโพล จึงทำให้วงจรกรองมีเสถียรภาพเสมอ และจะได้กล่าวถึงการออกแบบโดยใช้อนุกรมฟูเรียร์ และวิธีการออกแบบโดยวิธีการหน้าต่าง (Windows method) และสุดท้ายคือการออกแบบด้วยวิธีการสุ่มความถี่ (Frequency sampling mathod)
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet

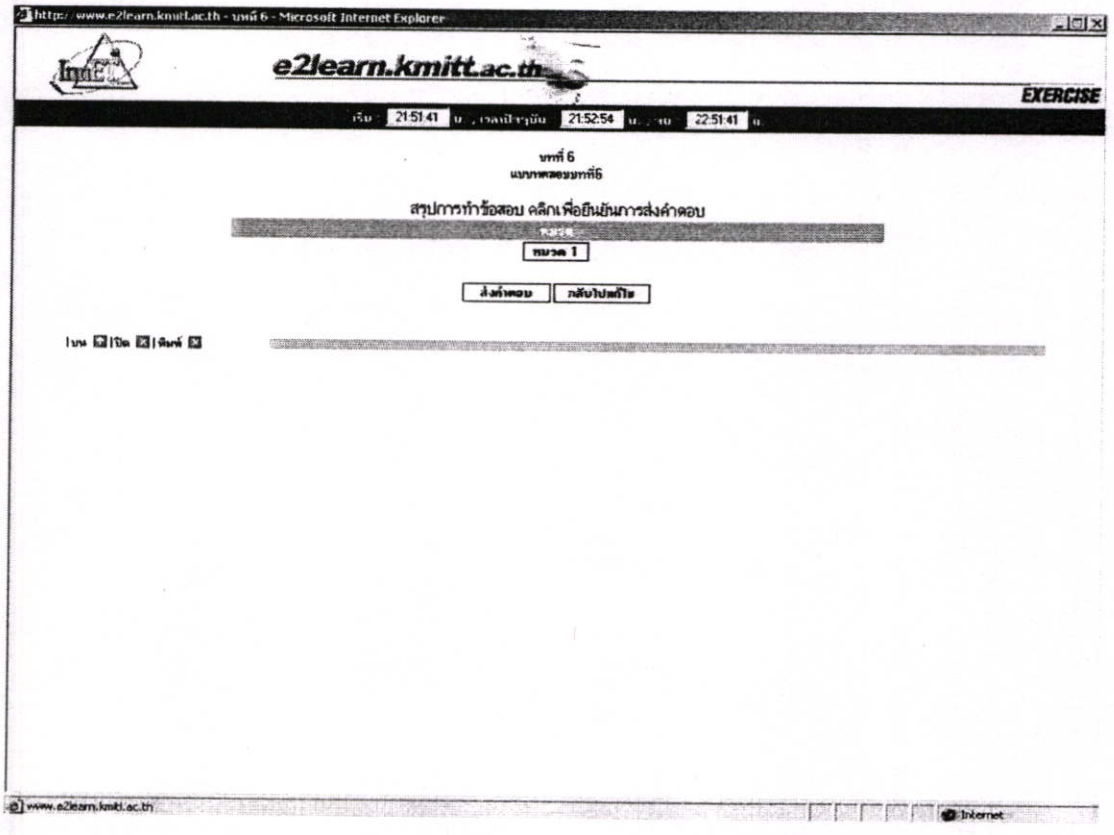

http://www.e2learn.kmutl.ac.th - บท 30 - Microsoft Internet Explorer
Course Name
หน้าที่ 2 / 13
Prev. Topic
Prev. Page
Next Page
Next Topic
Menu
Course Map
Help
Close
ความเป็นเชิงเส้น...
การออกแบบวงจรกรอง...
การออกแบบวงจรกรอง...
การออกแบบวงจรกรอง...
ความเป็นเชิงเส้นของวงจรกรองความถี่แบบผลตอบสนองจำกัด
เราสามารถออกแบบตัวกรองแบบตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด ให้มีผลตอบสนองทางเฟสที่เป็นเชิงเส้นได้ ซึ่งจะแตกต่างจากตัวกรองแบบตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองไม่จำกัด ที่การออกแบบอ้างอิงจากตัวกรองอนาลอก จึงไม่สามารถกำหนดให้ผลตอบสนองทางเฟสที่เป็นเชิงเส้นได้
ดังนั้นตัวกรองแบบตัวกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัด ที่อันดับ M ซึ่งมีผลตอบสนองทางด้านความถี่ดังนี้
$$H(e) = \sum_{k=0}^{M-1} b_k e^{-j\omega k} \quad (6.1)$$
โดยที่ b_k คือสัมประสิทธิ์ของตัวกรอง
www.e2learn.kmtl.ac.th
Internet

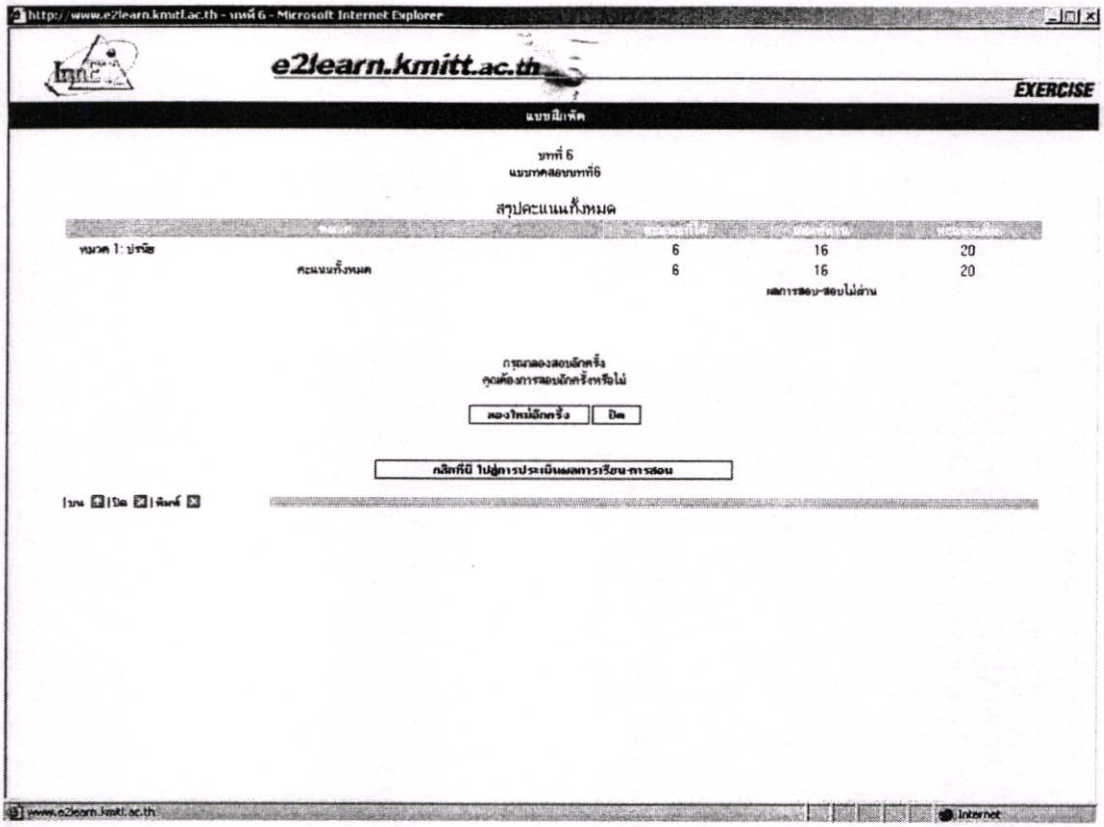

http://www.e2learn.kmutl.ac.th - บท 30 - Microsoft Internet Explorer
Course Name
หน้าที่ 3 / 13
Prev. Topic
Prev. Page
Next Page
Next Topic
Menu
Course Map
Help
Close
ความเป็นเชิงเส้น...
การออกแบบวงจรกรอง...
การออกแบบวงจรกรอง...
การออกแบบวงจรกรอง...
ผลตอบสนองหนึ่งหน่วย คือ
$$H(n) = \begin{cases} b_n & ; \ 0 \le n \le M-1 \\ 0 & ; \ otherwise \end{cases} \quad (6.2)$$
และเป็นที่ทราบกันดีในการกำหนดขนาดของตัวกรองเราจะแทนด้วย M ซึ่งตัวกรองที่มีผลตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้น จะต้องมี Unit sample response ที่เป็นสมมาตร (Symmetry) และปฏิสมมาตร (Antisymetric) ในที่นี้เราจะทำการพิจารณาเงื่อนไขความสมมาตรทั้งสองรูปแบบ
www.e2learn.kmtl.ac.th
Internet

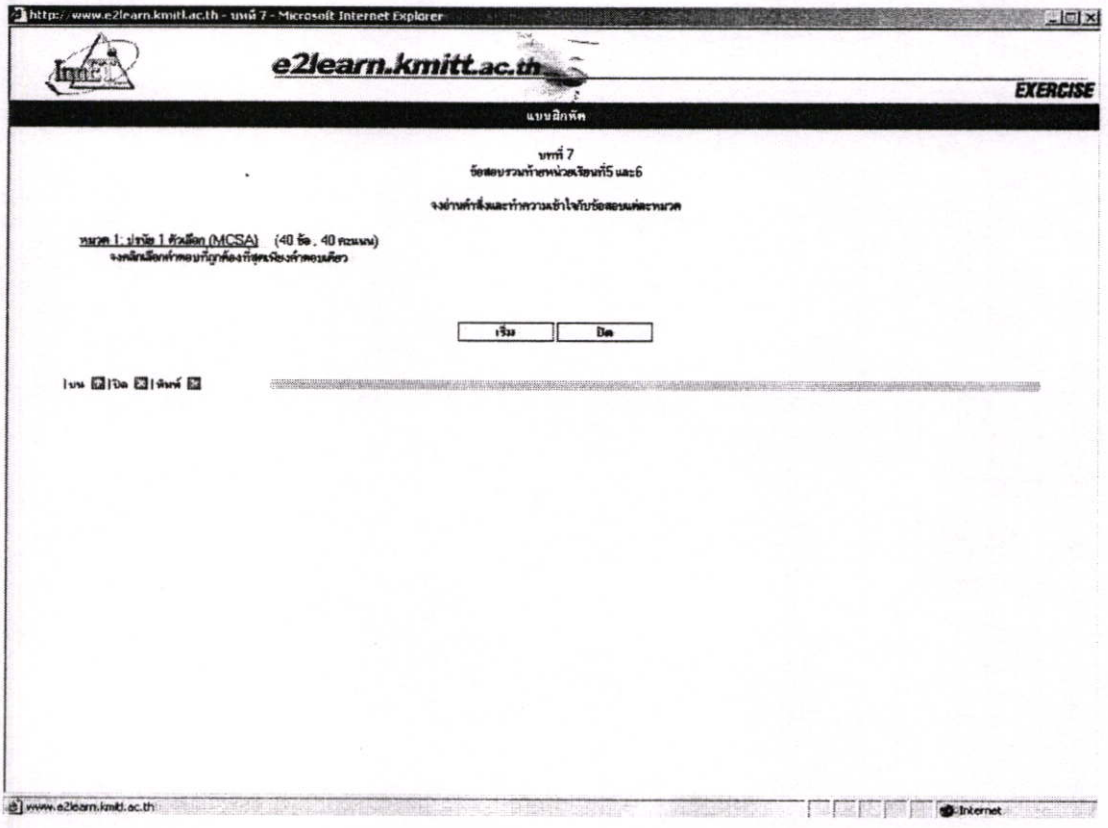

http://www.e2learn.kmitl.ac.th - บทที่ 6 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
แบบฝึกหัด
บทที่ 6
แบบทดสอบบทที่6
จงอ่านคำสั่งและทำความเข้าใจกับข้อสอบแต่ละหมวด
หมวด 1: ปรนัย 1 ตัวเลือก (MCSA) (20 ข้อ , 20 คะแนน)
จงคลิกเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว
เริ่ม
ปิด
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet

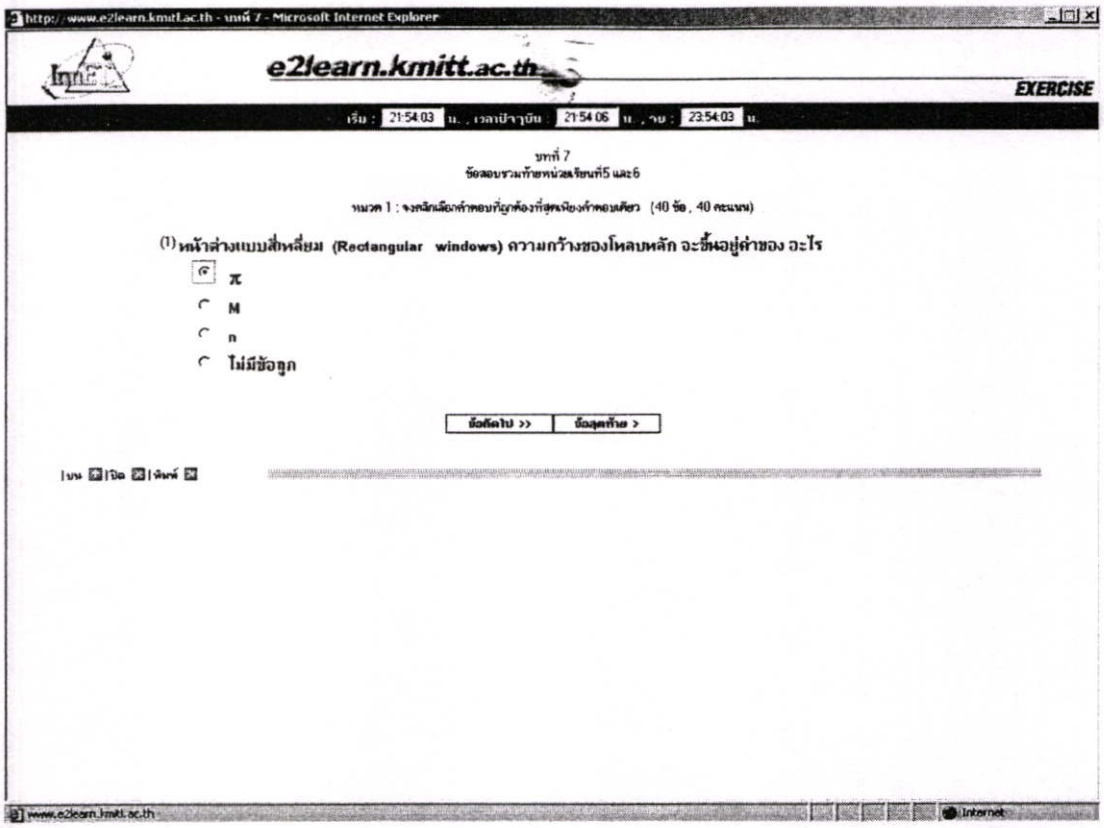

http://www.e2learn.kmitl.ac.th - บทที่ 6 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
เริ่ม : 21:51:41 น. , เวลาปัจจุบัน 21:51:43 น. , หมด 22:51:41 น.
บทที่ 6
แบบทดสอบบทที่6
หมวด 1 : จงคลิกเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว (20 ข้อ , 20 คะแนน)
(1) ตัวกรองแบบ FIR ชนิดกรองผ่านแถบความถี่
$h_d(0) = \frac{\omega_c}{\pi}$
$h_d(0) = 1-\frac{\omega_c}{\pi} \quad ;n \neq 0$
$h_d(0) = \frac{1}{2\pi}\left[\omega_{c2}-\omega_{c1}\right]$
$h_d(0) = 1-\omega_{c2}+\omega_{c1}$
ข้อถัดไป >>
ข้อสุดท้าย >
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet

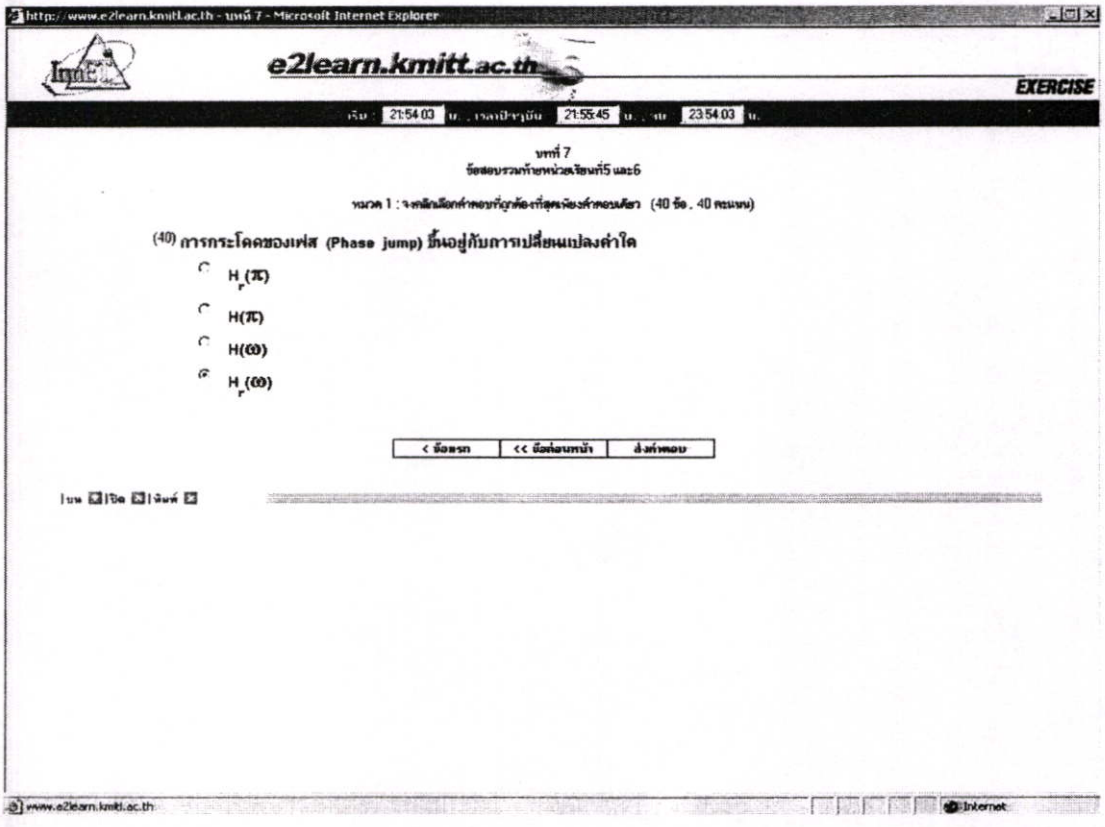

http://www.e2learn.kmitl.ac.th - บทที่ 6 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
เริ่ม : 21:51:41 น. , เวลาปัจจุบัน : 21:52:38 น. , จบ : 22:51:41 น.
บทที่ 6
แบบทดสอบบทที่6
หมวด 1 : จงคลิกเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว (20 ข้อ , 20 คะแนน)
(20) ขั้นตอนการออกแบบ การออกแบบวงจรกรองดิจิตอลแบบผลตอบสนองจำกัดโดยอนุกรมฟูเรียร์ คือ
กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองอุดมคติในโดเมนความถี่ และหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา
กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองอุดมคติในโดเมนเวลา และหาผลตอบสนองในโดเมนความถี่
กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองในโดเมนความถี่ และหาผลตอบสนองในโดเมนเวลา
กำหนดคุณสมบัติของตัวกรองในโดเมนเวลา และหาผลตอบสนองในโดเมนความถี่
< ข้อแรก
<< ข้อก่อนหน้า
ส่งคำตอบ
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet

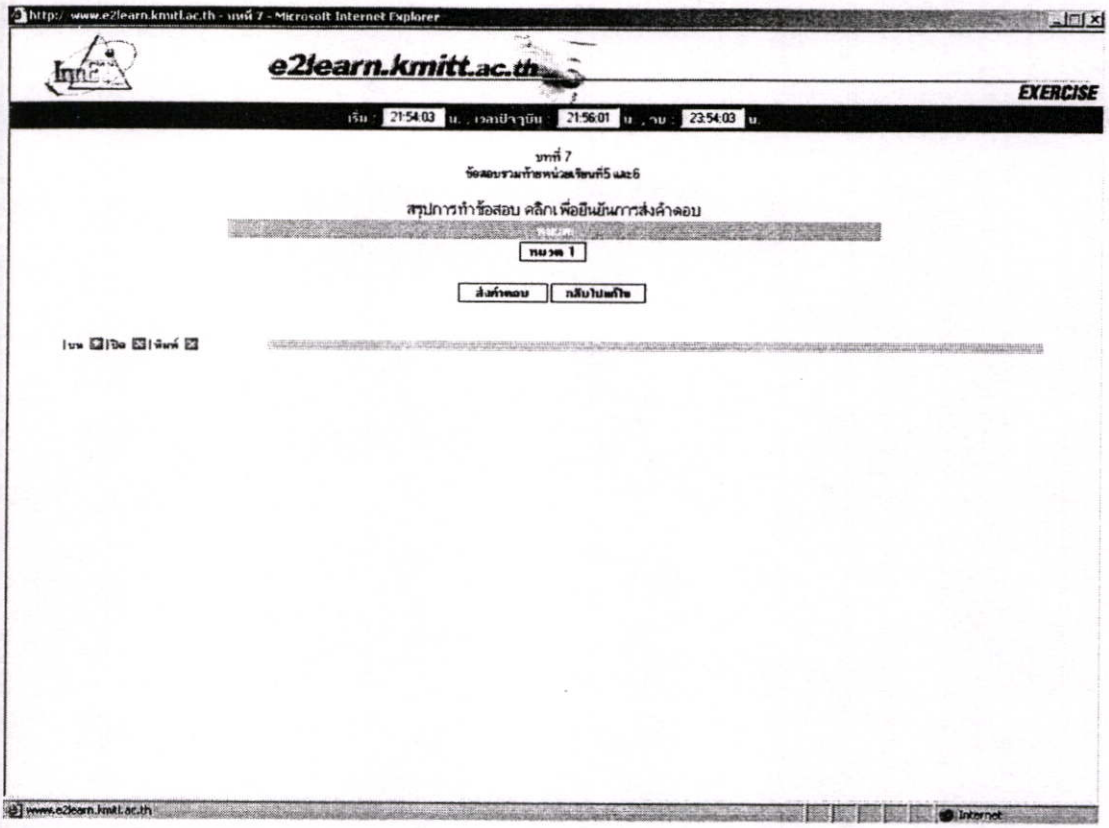

http://www.e2learn.kmitl.ac.th - บทที่ 6 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
เริ่ม : 21:51:41 น. , เวลาปัจจุบัน : 21:52:54 น. , จบ : 22:51:41 น.
บทที่ 6
แบบทดสอบบทที่6
สรุปการทำข้อสอบ คลิกเพื่อยืนยันการส่งคำตอบ
หมวด 1
ส่งคำตอบ
กลับไปแก้ไข
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet

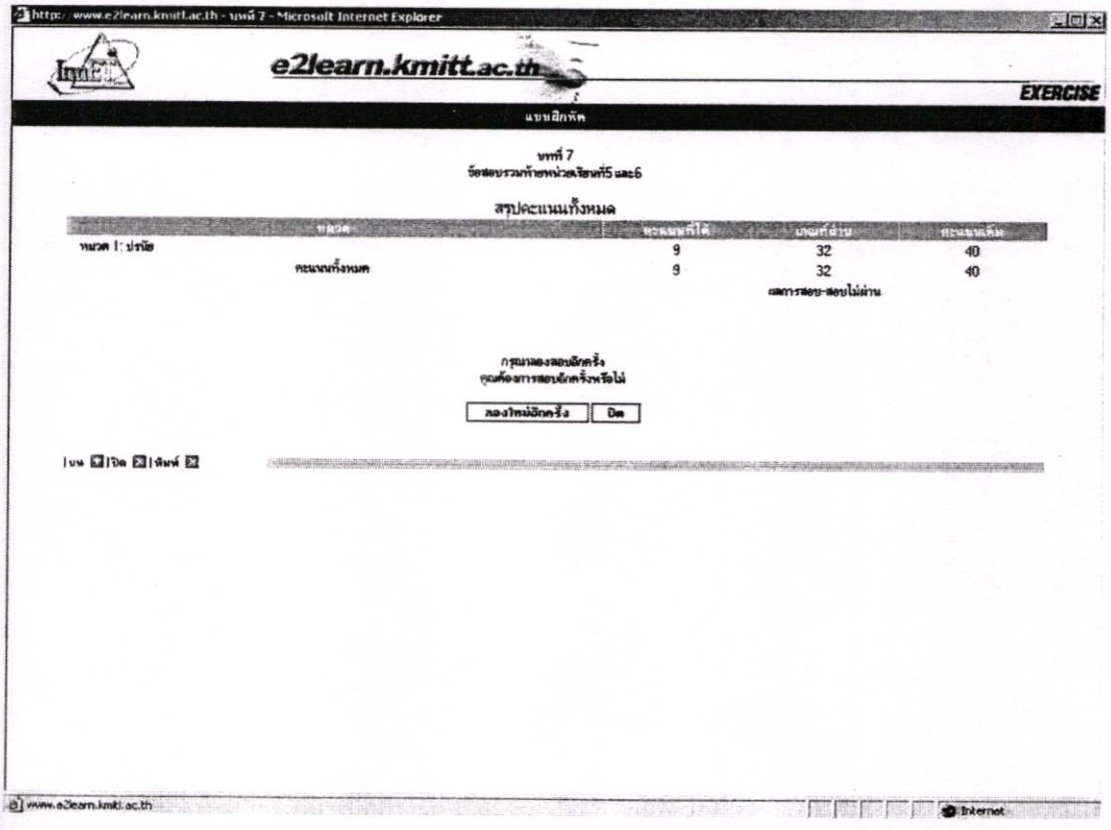

http://www.e2learn.kmitl.ac.th - บทที่ 6 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
แบบฝึกหัด
บทที่ 6
แบบทดสอบบทที่6
สรุปคะแนนทั้งหมด
หมวด 1: ปรนัย 6 16 20
คะแนนทั้งหมด 6 16 20
ผลการสอบ-สอบไม่ผ่าน
กรุณาลองสอบอีกครั้ง
คุณต้องการสอบอีกครั้งหรือไม่
ลองใหม่อีกครั้ง
ปิด
กลิกที่นี่ ไปสู่การประเมินผลการเรียน-การสอน
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet


http://www.e2learn.kmitl.ac.th - บทที่ 7 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
แบบฝึกหัด
บทที่ 7
ข้อสอบรวมท้ายหน่วยเรียนที่5 และ6
จงอ่านคำสั่งและทำความเข้าใจกับข้อสอบแต่ละหมวด
หมวด 1: ปรนัย 1 ตัวเลือก (MCSA) (40 ข้อ , 40 คะแนน)
จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว
เริ่ม
ปิด
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet


http://www.e2learn.kmitl.ac.th - บทที่ 7 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
เริ่ม : 21:54:03 น. , เวลาปัจจุบัน : 21:54:06 น. , จบ : 23:54:03 น.
บทที่ 7
ข้อสอบรวมท้ายหน่วยเรียนที่5 และ6
หมวด 1 : จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว (40 ข้อ , 40 คะแนน)
(1) หน้าต่างแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular windows) ความกว้างของโหลบหลัก จะขึ้นอยู่กับของ อะไร
π
M
n
ไม่มีข้อถูก
ข้อถัดไป >> ข้อสุดท้าย >
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet


http://www.e2learn.kmitl.ac.th - บทที่ 7 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
เริ่ม : 21:54:03 น. , เวลาปัจจุบัน : 21:55:45 น. , จบ : 23:54:03 น.
บทที่ 7
ข้อสอบรวมท้ายหน่วยเรียนที่5 และ6
หมวด 1 : จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว (40 ข้อ , 40 คะแนน)
(40) การกระโดดของเฟส (Phase jump) ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงค่าใด
H_r(π)
H(π)
H(ω)
H_r(ω)
< ข้อแรก << ข้อก่อนหน้า ส่งคำตอบ
www.e2learn.kmitl.ac.th
Internet


http://www.e2learn.kmutl.ac.th - บทที่ 7 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
เริ่ม : 21:54:03 น. , เวลาปัจจุบัน : 21:56:01 น. , จบ : 23:54:03 น.
บทที่ 7
ข้อสอบรวมท้ายหน่วยเรียนที่5 และ6
สรุปการทำข้อสอบ คลิกเพื่อยืนยันการส่งคำตอบ
หมวด 1
ส่งคำตอบ
กลับไปแก้ไข
บน
ปิด
พิมพ์
www.e2learn.kmutl.ac.th
Internet


http://www.e2learn.kmutl.ac.th - บทที่ 7 - Microsoft Internet Explorer
e2learn.kmitt.ac.th
EXERCISE
แบบฝึกหัด
บทที่ 7
ข้อสอบรวมท้ายหน่วยเรียนที่5 และ6
สรุปคะแนนทั้งหมด
หมวด
คะแนนที่ได้
บทที่ผ่าน
คะแนนเต็ม
หมวด 1: ปรนัย
9
32
40
คะแนนทั้งหมด
9
32
40
ผลการสอบ-สอบไม่ผ่าน
กรุณาสอบอีกครั้ง
คุณต้องการสอบอีกครั้งหรือไม่
สอบใหม่อีกครั้ง
ปิด
บน
ปิด
พิมพ์
www.e2learn.kmutl.ac.th
Internet

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายภัทราวุธ จันทร์เล็ก
วัน เดือน ปี	เกิด 9 มิถุนายน 2520 ที่สมุทรสงคราม
ที่อยู่	10 หมู่ 7 ต.นางตะเคียน อ.เมืองสมุทรสงคราม
	จ.สมุทรสงคราม 75000
ประวัติการศึกษา	2543 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ -
	โทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
	2549 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	
	พ.ศ.2543 - 2545 ตำแหน่งอาจารย์พิเศษ วิทยาลัยการอาชีพกาญจนบุรี
	พ.ศ.2545 – 2547 ประกอบอาชีพอิสระ
	พศ.2547 – ปัจจุบัน วิศวกร บ.ทรูมูพ จำกัด