

## ปริญญานิพนธ์

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน  
เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB  
COMPUTER ASSISTED INSTRUCTION ON  
ROOT LOCUS TOOL IN MATLAB



นายเทิดศักดิ์ สุนทรนนท์  
นายปรีชา มณฑากลิบ

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 51059  
วัน,เดือน,ปี 2.9 ส.ย. 2547

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน  
 MATLAB  
 Computer Assisted Instruction on Root Locus Tool in MATLAB

ชื่อนักศึกษา 1. นายเทคศักดิ์ สุนทรนนท์ รหัสประจำตัว 44035444  
 2. นารีชา มณฑากสิบ รหัสประจำตัว 44035449

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อำพล ทองระอา  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ปิยะ สุภวราสุวัฒน์	
2. อาจารย์อำพล ทองระอา	
3. อาจารย์สุชิน อาจหาญ	
4. ดร.สมชาย หมั่นสายญาติ	
5. ผศ.วิสุทธิ อธิพรธรรม	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพุธที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546 เวลา 10:00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(นายสุรสิทธิ์ ราตรี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 31 เดือน พ.ศ. 47



<BT4610402>

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่องการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ปริญญานิพนธ์

เรื่อง บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB  
Computer Assisted Instruction on Root Locus Tool in MATLAB

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการจัดทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วยโปรแกรม Authorware และการใช้งานเครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB
2. เพื่อออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB
3. เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB
4. เพื่อทดลองหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB
5. เพื่อนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB ไปใช้เสริมการเรียนการสอน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้ในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วยโปรแกรม Authorware และการใช้งานเครื่องมือวิเคราะห์การเดินรากใน MATLAB
2. ได้ต้นแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB
3. ได้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB
4. ได้ทราบคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB เพื่อนำไปปรับปรุง
5. ได้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB ไปใช้เสริมการเรียนการสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ ทางเดินรากใน MATLAB	
นักศึกษา	นายเทิดศักดิ์	สุนทรนนท์
	นายปรีชา	มณฑากลิบ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อำพล	ทองระอา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สุรสิทธิ์	ราตรี
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2546	

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB ในการใช้โปรแกรม Authorware 6.5 และใช้ร่วมกับโปรแกรม MATLAB 5.3 โดยมีเนื้อหาทั้งหมด 4 บท คือ บทที่ 1 ทฤษฎีทางเดินราก บทที่ 2 การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนเวลา บทที่ 3 การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ บทที่ 4 ตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบควบคุม โดยแต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหา ตัวอย่างและแบบทดสอบ เมื่อได้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนครบทุกขั้นตอนแล้ว ก็สามารถหาคุณภาพของบทเรียน ได้โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบคุณภาพโดยการประเมินคุณภาพทั้งด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อของบทเรียน ซึ่งการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาอยู่ในเกณฑ์ดีและด้านเทคนิคการผลิตสื่ออยู่ในเกณฑ์ดี นอกจากนั้นผู้เรียนสามารถนำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ไปใช้งานเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง

<b>Thesis Title</b>	Computer Assisted Instruction on Root Locus Tool in MATLAB
<b>Students</b>	Mr. Terdsak      Soontronnon Mr. Preecha      Montakleeb
<b>Advisor</b>	Mr. Amphon      Thongraar
<b>Co-Advisor</b>	Dr. Surasit      Ratree
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education
<b>Program in</b>	Industrial Instrument Technology
<b>Academic Year</b>	2003

### ABSTRACT

This thesis presents Computer Assisted Instruction on Root Locus Tool in MATLAB. This thesis constructed by Authorware 6.5 version and MATLAB 5.3 version. The Computer Assisted Instruction has 4 lessons; Lessons 1 The theory of Root Locus, Lessons 2 The using of Root Locus for analysis in time domain, Lessons 3 The using of Root Locus for analysis frequency domain, and Lessons 4 The exercises for solving problem in system control. Each lesson consisted contents and test. After finishing the development process, the instruction was evaluated by three content experts and three media-construction experts to determine its quality. The results of evaluation showed that content quality of the instruction was in the good level. The quality for the media construction techniques of the instruction was in the good level. Therefore, Computer Assisted Instruction on Root Locus Tool in MATLAB has a good quality and could be used as an instruction in the classroom and for self-learning.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ถูกล่วงไปด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลือจากอาจารย์อำพล ทองระอา และ คณะอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ตลอดจนคณาจารย์คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ รวมทั้งยังให้คำแนะนำ แนวความคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนแนวทางแก้ปัญหา ในการจัดพิมพ์ปริญญาานิพนธ์ ขอขอบคุณห้องสมุด คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล สุดท้ายที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง บิดาและมารดาที่เป็นผู้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและผู้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ชัดความสามารถของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ทฤษฎีทางเดินรากล	3
2.1.1 แนวคิดของการวิเคราะห์ทางเดินรากล	3
2.1.2 การเขียนทางเดินรากล	4
2.1.3 วิธีหาทางเดินรากล	6
2.1.4 สรุปขั้นตอนการหาเส้นทางเดินรากลของสมการคุณลักษณะ	16
2.2 การใช้งาน MATLAB	16
2.2.1 ข้อดีของ MATLAB	17
2.2.2 โครงสร้างของ MATLAB	17
2.2.3 คอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ MATLAB	19
2.2.4 การวิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนเวลา	19
2.2.5 รูปแบบโพลและศูนย์	23
2.2.6 การคำนวณค่าเรซิดิว	25
2.2.7 การวิเคราะห์ทางเดินรากล	26
2.2.8 การใช้ MATLAB วิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนความถี่	29
2.2.9 การใช้ MATLAB แปลงลาปลาซ	32
2.2.10 การใช้ MATLAB แปลงลาปลาซกลับ	34

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	37
3.1 เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการสร้าง	37
3.1.1 ทางด้านฮาร์ดแวร์	37
3.1.2 ทางด้านซอฟต์แวร์	37
3.2 การออกแบบบทเรียน	38
3.2.1 การศึกษาและวิเคราะห์เนื้อหา	38
3.2.2 การเลือกโปรแกรม	38
3.2.3 การสร้างสตอรี่บอร์ดของบทเรียน	39
3.3 การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	45
3.4 ขั้นตอนการออกแบบและการเขียนโปรแกรม	47
3.4.1 ขั้นตอนการออกแบบ	47
3.4.2 โครงสร้างของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	48
3.4.3 แผนผังการทำงานของหน้าหลักบทที่ 1	49
3.4.4 แผนผังการทำงานของหน้าหลักบทที่ 2	50
3.4.5 แผนผังการทำงานของหน้าหลักบทที่ 3	51
3.4.6 แผนผังการทำงานของหน้าหลักบทที่ 4	52
3.4.7 แผนผังการทำงานของเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 1	53
3.4.8 แผนผังการทำงานของเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 2	54
3.4.9 แผนผังการทำงานของเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 3	55
3.4.10 แผนผังการทำงานของเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 4	56
3.4.11 แผนผังการทำงานของแบบทดสอบบทที่ 1	57
3.4.12 แผนผังการทำงานของแบบทดสอบบทที่ 2	58
3.4.13 แผนผังการทำงานของแบบทดสอบบทที่ 3	59
3.4.14 แผนผังการทำงานของแบบทดสอบบทที่ 4	60
3.5 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	61
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	63

### 4.1 บทนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2 ผลการทดลอง	63
4.2.1 เริ่มต้นการใช้โปรแกรม	63
4.2.2 การเลือกรายละเอียดของเมนูในหน้าจอหลัก	64
4.2.3 การเลือกรายละเอียดของเมนูในหน้าจอหลักบทที่ 1	66
4.2.4 การเลือกรายละเอียดของเมนูในหน้าจอหลักบทที่ 2	67
4.2.5 การเลือกรายละเอียดของเมนูในหน้าจอหลักบทที่ 3	69
4.2.6 การเลือกรายละเอียดของเมนูในหน้าจอหลักบทที่ 4	70
4.3 วิธีการดำเนินการทดลองหาคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	72
4.4 ผลการหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนทั้งด้านเนื้อหา และด้านเทคนิคการผลิตสื่อ	72
4.4.1 ผลการหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหา	72
4.4.2 ผลการหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ	73
บทที่ 5 บทสรุป	74
5.1 สรุป	74
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	74
5.3 แนวทางการพัฒนา	75
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก ก แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของ โปรแกรม	77
ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งาน	108
ภาคผนวก ค ตัวอย่างใบประเมิน	128
ภาคผนวก ง หนังสือแต่งตั้งผู้ทรงคุณวุฒิ	137
ประวัติผู้แต่ง	142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คำสั่งใน MATLAB ที่วิเคราะห์ผลตอบสนองขั้นบันได	20
2.2 คำสั่งใน MATLAB ที่วิเคราะห์ผลตอบสนองอิมพัลส์	21
2.3 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบสนองบางอินพุต	22
2.4 คำสั่งใน MATLAB หาค่าตำแหน่งโพลและศูนย์	24
2.5 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้ในการแยกเศษส่วน โพลีโนเมียล	26
2.6 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้สำหรับคำนวณหาค่าทางเดินรากลของวงจรรีบ	28
2.7 คำสั่งใน MATLAB ที่วิเคราะห์เกณฑ์เสถียรภาพของไนควิสต์	29
2.8 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้วิเคราะห์การวาด โบค	30
2.9 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้ในการวิเคราะห์ การวาดนิโคล	31
2.10 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้แปลงลาปลาซ	33
2.11 การแปลงลาปลาซกลับ	34
2.11 (ต่อ) การแปลงลาปลาซกลับ	35
2.12 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้แปลงลาปลาซกลับ	35
3.1 สตอร์รี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากลใน MATLAB	39
3.1 (ต่อ) สตอร์รี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากลใน MATLAB	40
3.1 (ต่อ) สตอร์รี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากลใน MATLAB	41
3.1 (ต่อ) สตอร์รี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากลใน MATLAB	42
3.1 (ต่อ) สตอร์รี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากลใน MATLAB	43
3.1 (ต่อ) สตอร์รี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากลใน MATLAB	44
3.1 (ต่อ) สตอร์รี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากลใน MATLAB	45

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าเฉลี่ยและคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ด้านเนื้อหา) ในหัวข้อการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB	72
4.2 ค่าเฉลี่ยและระดับคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ) ในหัวข้อ เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB	73
ค.1 สรุปผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านเนื้อหา) จำนวน 3 ท่าน	137
ค.2 สรุปผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ) จำนวน 3 ท่าน	138



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับ	4
2.2 การหาค่ามุมของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด $[G(s)H(s)]$	13
2.3 การหามุมของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด $[G(s)H(s)]$ (แบบคอนจูเกต)	14
2.4 การใช้ MATLAB วิเคราะห์ผลตอบสนองขั้นบันได	21
2.5 การใช้ MATLAB วิเคราะห์ผลตอบสนองอิมพัลส์	22
2.6 ผลตอบสนองของระบบที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน	23
2.7 การใช้ MATLAB หาค่าแฉ่งโพลและศูนย์	25
2.8 การคำนวณใช้ MATLAB หาค่าเรซิดิว	26
2.9 แผนผังการทำงานของระบบควบคุม	27
2.10 การวิเคราะห์ทางเดินรากเพื่อหาเสถียรภาพของระบบ	28
2.11 การใช้ MATLAB วิเคราะห์เกณฑ์เสถียรภาพของไนควิสต์	30
2.12 การใช้ MATLAB วิเคราะห์การวาดโบด	31
2.13 การใช้ MATLAB แปลงลาปลาซ	33
2.14 การใช้ MATLAB แปลงลาปลาซกลับ	36
3.1 ผังงานการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	47
3.2 โครงสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	48
3.3 แผนผังหน้าหลักบทที่ 1	49
3.4 แผนผังหน้าหลักบทที่ 2	50
3.5 แผนผังหน้าหลักบทที่ 3	51
3.6 แผนผังหน้าหลักบทที่ 4	52
3.7 แผนผังเนื้อหาและแบบทดสอบบทที่ 1	53
3.8 แผนผังเนื้อหาและแบบทดสอบบทที่ 2	54
3.9 แผนผังเนื้อหาและแบบทดสอบบทที่ 3	55
3.10 แผนผังเนื้อหาและแบบทดสอบบทที่ 4	56
3.11 แผนผังแบบทดสอบบทที่ 1	57
3.12 แผนผังแบบทดสอบบทที่ 2	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 แผนผังแบบทดสอบบทที่ 3	59
3.14 แผนผังแบบทดสอบบทที่ 4	60
3.15 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	62
4.1 หน้าจอเมนูหลัก	63
4.2 หน้าจอหลักบทที่ 1	64
4.3 หน้าจอหลักบทที่ 2	64
4.4 หน้าจอหลักบทที่ 3	65
4.5 หน้าจอหลักบทที่ 4	65
4.6 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 1	66
4.7 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 1	66
4.8 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 1	67
4.9 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 2	67
4.10 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 2	68
4.11 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 2	68
4.12 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 3	69
4.13 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 3	69
4.14 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 3	70
4.15 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 4	70
4.16 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 4	71
4.17 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 4	71
ก.1 ผังงานการทำงานของเมนูหลัก	78
ก.2 ผังงานทำงานหน้าหลักบทที่ 1	79
ก.3 ผังงานทำงานหน้าหลักบทที่ 2	80
ก.4 ผังงานการทำงานของหน้าหลักบทที่ 3	81
ก.5 ผังงานการทำงานของหน้าหลักบทที่ 4	82
ก.6 ผังงานการทำงานเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 1	83
ก.7 ผังงานการทำงานหน้าหลักบทที่ 2	84

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.8 ผังงานการทำงานหน้าหลักบทที่ 3	85
ก.9 ผังงานการทำงานหน้าหลักบทที่ 4	86
ก.10 ผังงานการทำงานแบบทดสอบบทที่ 1	87
ก.11 ผังงานการทำงานแบบทดสอบบทที่ 2	88
ก.12 ผังงานการทำงานแบบทดสอบบทที่ 3	89
ก.13 ผังงานการทำงานแบบทดสอบบทที่ 4	90
ก.14 หน้าต่างการสร้างเมนูหลัก	91
ก.15 หน้าต่างการสร้างหน้าหลักบทที่ 1	91
ก.16 หน้าต่างการสร้างหน้าหลักบทที่ 2	92
ก.17 หน้าต่างการสร้างหน้าหลักบทที่ 3	92
ก.18 หน้าต่างการสร้างหน้าหลักบทที่ 4	93
ก.19 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 1	93
ก.20 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 1 (ต่อ)	94
ก.21 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 1 (ต่อ)	94
ก.22 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 1	95
ก.23 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 1 (ต่อ)	95
ก.24 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 1 (ต่อ)	96
ก.25 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 1 (ต่อ)	96
ก.26 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 1 (ต่อ)	97
ก.27 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 2	97
ก.28 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 2 (ต่อ)	98
ก.29 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 2 (ต่อ)	98
ก.30 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 2	99
ก.31 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 2 (ต่อ)	99
ก.32 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 2 (ต่อ)	100
ก.33 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 2 (ต่อ)	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.34 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 3	101
ก.35 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 3 (ต่อ)	101
ก.36 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 3 (ต่อ)	102
ก.37 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 3	102
ก.38 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 3 (ต่อ)	103
ก.39 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 3 (ต่อ)	103
ก.40 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 3 (ต่อ)	104
ก.41 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 3 (ต่อ)	104
ก.42 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 4	105
ก.43 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 4 (ต่อ)	105
ก.44 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 4	106
ก.45 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 4 (ต่อ)	106
ก.46 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 4 (ต่อ)	107
ก.47 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 4 (ต่อ)	107
ข.1 หน้าจอเมนูหลัก	111
ข.2 หน้าจอหลักบทที่ 1	112
ข.3 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 1	113
ข.4 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 1	114
ข.5 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 1	115
ข.6 หน้าจอหลักบทที่ 2	116
ข.7 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 2	117
ข. 8 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 2	118
ข.9 แบบทดสอบหน้าจอหลักบทที่ 2	119
ข.10 หน้าจอหลักบทที่ 3	120
ข.11 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 3	121
ข. 12 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 3	122
ข.13 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 3	123

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.14 หน้าจอหลักบทที่ 4	124
ข.15 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 4	125
ข.16 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 4	126
ข.17 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 4	127



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในการเรียนการสอนวิชาวิศวกรรมระบบและระบบควบคุม การหาเสถียรภาพของระบบควบคุม ตลอดจนการตอบสนองในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ มีวิธีการหาหลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีขั้นตอนในการหาที่ค่อนข้างยุ่งยาก

เทคนิคทางเดินราก (Root locus technique) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการหาเสถียรภาพของระบบควบคุม ตลอดจนการตอบสนองในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ แต่มีวิธีการที่ค่อนข้างสลับซับซ้อนและต้องใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์มาก ทำให้ค่อนข้างยุ่งยากในการทำงาน

ใน MATLAB มีเครื่องมือทางเดินราก (Root locus tool) ที่สามารถหาเสถียรภาพของระบบควบคุม ตลอดจนการตอบสนองในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ได้สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB เพื่อให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### 1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

1. เป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนจำนวน 4 บท
  - 1.1 บทที่ 1 ทฤษฎีทางเดินราก
  - 1.2 บทที่ 2 การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนเวลา
  - 1.3 บทที่ 3 การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่
  - 1.4 บทที่ 4 ตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบควบคุม
2. แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหา ตัวอย่างและแบบทดสอบ
3. มีเสียงประกอบคำบรรยาย

### 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาทั้งหมดของปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญญานิพนธ์ จิตความสามารถของโครงการและเนื้อหาต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงทฤษฎีทางเดินรากลซึ่งประกอบด้วย แนวคิดการวิเคราะห์ทางเดินราก การเขียนทางเดินราก วิธีหาทางเดินรากและสรุปขั้นตอนการหาเส้นทางเดินรากของสมการคุณลักษณะ การใช้ MATLAB ซึ่งประกอบซึ่งด้วย ข้อดีของ MATLAB โครงสร้างของ MATLAB คอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ MATLAB การวิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนเวลา รูปแบบโพลและศูนย์ การคำนวณค่าเรซิดิว การวิเคราะห์โลโก้ของราก การวิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนความถี่ การใช้ MATLAB แปลงลาปลาซและการใช้ MATLAB แปลงลาปลาซกลับ

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน เป็นการอธิบายถึงขั้นตอนและวิธีการในการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน การแบ่งเนื้อหาเพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และวิธีการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน พร้อมทั้งผังงานบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในแต่ละบทโดยละเอียด

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง เป็นการกล่าวถึงวิธีการดำเนินการทดลอง การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

บทที่ 5 บทสรุปผลการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข รวมทั้งแนวทางในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB เพื่อเป็นการกล่าวถึงข้อเสนอแนะแก่ผู้สนใจและผู้ใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ต้องการการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB ให้ดียิ่งขึ้น

ภาคผนวก ก แสดงแผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อประกอบการทำงานของโครงการ

ภาคผนวก ข เป็นคู่มือการใช้งานบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

ภาคผนวก ค เป็นตัวอย่างใบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

ภาคผนวก ง เป็นหนังสือแต่งตั้งผู้ทรงคุณวุฒิ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ทฤษฎีทางเดินรากล

การตรวจสอบสมรรถนะของระบบควบคุม เมื่อพารามิเตอร์ของระบบหนึ่งตัวหรือมากกว่านั้น แปรค่าไปเกินกว่าขอบเขตที่กำหนดให้ เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างหนึ่งในการพิจารณาออกแบบระบบควบคุม ดังที่ทราบกันคืออยู่แล้วว่าสมการคุณลักษณะของระบบมีความสำคัญในการวิเคราะห์ระบบเชิงเส้น วิธีเส้นทางเดินรากซึ่งเป็นวิธีที่ศึกษาพฤติกรรมทางเดินรากของสมการคุณลักษณะของระบบ เมื่อพารามิเตอร์แปรค่าไปจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งในการศึกษาระบบควบคุม

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำยังสามารถจะนำวิธีเส้นทางเดินรากนี้เพื่อไปประยุกต์เพื่อหารากของสมการทางพีชคณิตที่มีอันดับสูงๆ ได้อีกด้วย โดยทั่วไปวิธีของเส้นทางเดินรากจะใช้สำหรับพิจารณาทางเดินราก เมื่อพารามิเตอร์หนึ่งแปรค่าไป แต่ในกรณีที่พารามิเตอร์มากกว่าหนึ่งตัวแปรค่าไปนั้นก็สามารถจะใช้วิธีของเส้นทางเดินรากได้เหมือนกัน

##### 2.1.1 แนวคิดของการวิเคราะห์ทางเดินราก

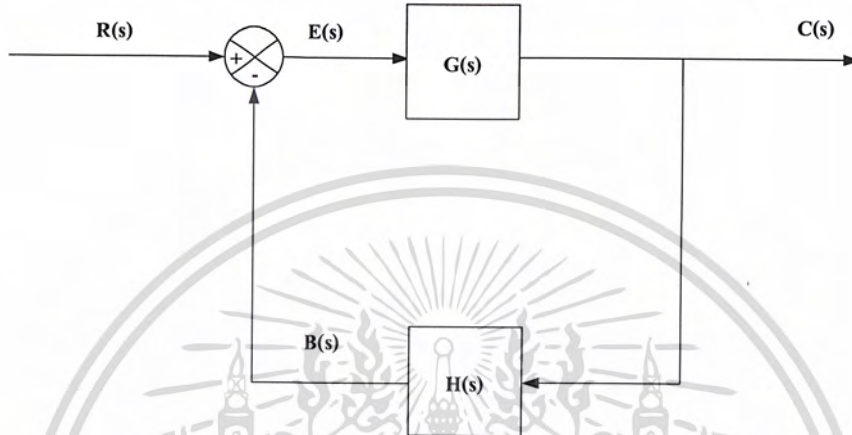
ทางเดินรากของสมการคุณลักษณะหรือโพลของระบบแบบปิดที่จะพิจารณาจากการแปรค่าของแฟคเตอร์อัตราขยายของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิดจากค่าที่เริ่มต้นเท่ากับศูนย์ไปจนถึงกระทั่งถึงค่าอนันต์ เนื่องจากตัวแปรเชิงซ้อนซึ่งให้แทนตำแหน่งของตักเป็นตัวแปรเชิงซ้อน

ดังนั้นการวิเคราะห์ทางเดินราก จึงเป็นวิธีที่จะทราบตำแหน่งของโพลและตำแหน่งของศูนย์ของระบบแบบเปิดจากการเขียนตำแหน่งของโพลและตำแหน่งของศูนย์ของระบบเปิด ในระบบเชิงซ้อน ด้วยการแปรค่าแฟคเตอร์อัตราขยายแบบเปิด ข้อดีของการวิเคราะห์ทางเดินรากโดยวิธีเส้นทางเดินราก ที่เห็นได้ชัดเจน คือ การที่จะเขียนหาค่าตำแหน่งของโพลและตำแหน่งของศูนย์ของระบบควบคุมแบบปิด โดยตรงเป็นขบวนการที่ยุ่งยากมาก วิธีเส้นทางเดินรากจะเขียนค่าของตำแหน่งของโพลและตำแหน่งของศูนย์ของระบบแบบเปิดซึ่งง่ายกว่า

ในการออกแบบระบบเชิงเส้น วิธีทางเดินรากมีประโยชน์มากเพราะการทราบตำแหน่งของโพลและศูนย์ของระบบควบคุมแบบเปิดสามารถที่จะสามารถอธิบาย ข้อกำหนดของสมรรถนะของการควบคุมระบบแบบปิดได้เป็นอย่างดี เป็นวิธีที่หาค่าโดยประมาณโดยกราฟ การวิเคราะห์จึงง่ายและรวดเร็ว

## 2.1.2 การเขียนทางเดินราก

เพื่อให้เข้าใจในการวิเคราะห์ระบบ โดยอาศัยแผนผังการทำงานที่เคยกล่าวมาแล้ว พิจารณาระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับที่อธิบายเป็นแผนผังการทำงาน



รูปที่ 2.1 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับ

จากรูปที่ 2.1 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเปิด} &= \frac{C(s)}{R(s)} \\ &= \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

และ

$$\text{ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเปิด} = G(s)H(s) \quad (2.2)$$

$$\text{สมการคุณลักษณะ} = 1 + KG(s)H(s) = 0 \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาสมการคุณลักษณะโดยจัดรูปแบบใหม่ เพื่อแสดงให้เห็นค่าแฟคเตอร์อัตราขยาย  $K$  จะได้ว่าดังนี้

$$1 + KG(s)H(s) = 0 \quad (2.4)$$

เมื่อ  $K =$  แฟคเตอร์อัตราขยาย

$$\therefore KG(s)H(s) = -1 \quad (2.5)$$

จากสมการหมายความว่า ขนาดของ  $|KG(s)H(s)| = 1$  และมีมุมเป็น  $180^\circ$

พิจารณาเฉพาะขนาดจะได้

$$|K| \cdot |G(s)H(s)| = 1 \quad (2.6)$$

$$\therefore |G(s)H(s)| = \frac{1}{|K|} \quad (2.7)$$

พิจารณาเฉพาะมุมจะได้

$$\begin{aligned} \angle K.G(s).H(s) &= 180 + K.360 \\ &= (2K + 1)180 \end{aligned} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 วิธีหาทางเดินราก

วิธีหาทางเดินรากของสมการคุณลักษณะจะพิจารณาที่ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$  โดยนำตำแหน่งของโพลและศูนย์ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$  ไปเขียนลงในระนาบเชิงซ้อนการเขียนเส้นทางเดินรากจะพิจารณาดังนี้

#### 1) จำนวนเส้นทางเดินราก

เส้นทางเดินรากจะเริ่มจากโพลของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$  ไปสู่ตำแหน่งศูนย์ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$

เมื่อกำหนดให้

$N$  = จำนวนเส้นทางเดินราก

$P$  = จำนวนโพลของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$

$Z$  = จำนวนศูนย์ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$N \begin{cases} = P, Z & \text{เมื่อ } P = Z \\ = P & \text{เมื่อ } P > Z \\ = Z & \text{เมื่อ } P < Z \end{cases}$$

#### 2) เส้นแอสซิมโทต (Asymtote) ของเส้นทางเดินราก

เส้นแอสซิมโทตเป็นเส้นตรงที่นำทางเดินของเส้นทางเดินราก เส้นแอสซิมโทตอาจจะทับแกนจริงหรืออยู่บนระนาบเชิงซ้อนก็ได้เพราะทางเดินรากไม่ได้อยู่บนแกนจริงเสมอไป เมื่อขนาดของ  $K$  เพิ่มขึ้นทางเดินรากจะโค้งเข้าหาแนวเส้นแอสซิมโทตเพื่อเป็นเส้นนำทางสู่ตำแหน่งของศูนย์ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$  การหาเส้นแอสซิมโทตมีขั้นตอนดังนี้

##### 2.1) มุมของเส้นแอสซิมโทต

มุมของเส้นแอสซิมโทตหาได้จากสูตร

$$\theta_k = \frac{(2K+1)180}{P-Z} \quad ; K > \quad (2.9)$$

เมื่อ  $K = 0, 1, 2, \dots, (P - Z - 1)$

$P =$  จำนวนโพลของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$

$Z =$  จำนวนศูนย์ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$

กรณีจำนวนโพลมากกว่าจำนวนศูนย์จะถือเสมือนว่าตำแหน่งของศูนย์ที่หายไป ปรากฏอยู่ที่ค่าอนันต์ ดังนั้นจะมีจำนวนเส้นทางเท่ากับผลต่างของจำนวนโพลกับจำนวนศูนย์ที่ไปสู่ค่าอนันต์ตามแนวเส้นแอสซิมโทต

กรณีจำนวนศูนย์มากกว่าจำนวนโพลจะถือว่าตำแหน่งของโพลที่หายไป ปรากฏอยู่ที่ค่าอนันต์ ดังนั้นจะมีจำนวนเส้นทางเท่ากับผลต่างของจำนวนศูนย์กับจำนวนโพลที่มาจากค่าอนันต์ตามแนวเส้นแอสซิมโทต

ตัวอย่างที่ 1 จงหามุมของเส้นแอสซิมโทตของสมการคุณลักษณะดังต่อไปนี้

$$G(s)H(s) = \frac{Ks}{(s+1)(s^2+1)}$$

วิธีทำ

$$G(s)H(s) = \frac{K(s)}{(s+1)(s^2+1)}$$

- ขั้นตอนที่ 1 เมื่อ  $K = 0$  พิจารณาตำแหน่งโพลของระบบอยู่ที่  
 $s = -1, -j, +j$  (โพลมี 3 ตำแหน่ง)
- ขั้นตอนที่ 2 เมื่อ  $K \rightarrow \infty$  พิจารณาตำแหน่งศูนย์ของระบบอยู่ที่  
 $s = 0, \infty, \infty$  (ศูนย์มี 1 ตำแหน่ง)
- ขั้นตอนที่ 3 จำนวนเส้นทางเดินราก  
 เมื่อโพลมีจำนวนเท่ากับ 3 ศูนย์มีจำนวนเท่ากับ 1  
 จำนวนเส้นทางเดินราก ( $N$ ) เท่ากับ 3 เพราะโพลมีค่ามากกว่าศูนย์ ( $P > Z$ )
- ขั้นตอนที่ 4 มุมของเส้นแอสซิมโทต

$$\theta = \frac{(2K+1)180}{P-Z} \quad \therefore K = (P-Z-1)$$

แทนค่า  $K$  เท่ากับ 0 เท่ากับ 1 จะ ได้

$$\theta_0 = \frac{[2(0)+1]180}{3-1} = 90^\circ$$

$$\theta_1 = \frac{[2(1)+1]180}{3-1} = 270^\circ$$

## 2.2) จุดตัดกันของเส้นแอสซิมโทต

จุดตัดกันของเส้นแอสซิมโทตจะต้องตัดกันบนแกนจริงเสมอ แกนจริงทำหน้าที่เป็นกระจกเงาเส้นแอสซิมโทตและสมมาตรกันระหว่างส่วนที่อยู่เหนือแกนจริงและใต้แกนจริงเพื่อพับระนาบตามแนวแกนจริง เส้นแอสซิมโทตที่อยู่เหนือและใต้เส้นแกนจริงจะต้องทับกันสนิท

### ก. จำนวนเส้นแอสซิมโทต

จำนวนเส้นแอสซิมโทตมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเส้นแอสซิมโทต} &= P - Z \quad \text{เมื่อ } P > Z \\ &= Z - P \quad \text{เมื่อ } P < Z \end{aligned}$$

### ข. ตำแหน่งจุดตัดกันของเส้นแอสซิมโทต

ตำแหน่งของจุดที่นำหน้าของรูปตก จุดตัดกันนี้ต้องอยู่บนแกนจริงเสมอ สามารถหาได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \frac{\sum_{j=1}^P P_j - \sum_{i=1}^Z Z_i}{P - Z} \\ &= \frac{\sum \text{โพลของ } G(s)H(s) - \sum \text{โพลของ } G(s)H(s)}{P - Z} \end{aligned} \quad (2.10)$$

หรือ

$$\sigma_a = \frac{\text{ผลรวมของตำแหน่งของโพล} - \text{ผลรวมของตำแหน่งซีโร}}{\text{จำนวนโพล} - \text{จำนวนซีโร}} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ  $\sigma_a$  = ตำแหน่งจุดตัดกันของเส้นแอสซิมโทต  
 $P_j$  = ตำแหน่งของโพลที่  $j$  ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$   
 $Z_i$  = ตำแหน่งของศูนย์ที่  $i$  ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$   
 $P$  = จำนวนโพลของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$   
 $Z$  = จำนวนศูนย์ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$

ตัวอย่างที่ 2 จงหาเส้นแอสซิมโทตของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$  ต่อไปนี้

$$G(s)H(s) = \frac{K(s+1)(s+2)}{s(s+3)}$$

วิธีทำ

$$G(s)H(s) = \frac{K(s+1)(s+2)}{s(s+3)}$$

- ขั้นตอนที่ 1 เมื่อ  $K = 0$  พิจารณาตำแหน่งโพลของระบบอยู่ที่  
 $s = 0, -3$
- ขั้นตอนที่ 2 เมื่อ  $K \rightarrow \infty$  พิจารณาตำแหน่งศูนย์ของระบบอยู่ที่  
 $s = -1, -2$
- ขั้นตอนที่ 3 จำนวนเส้นทางเดินราก เมื่อโพลมี 2 ตำแหน่งและศูนย์มี 2 ตำแหน่ง  
 จำนวนเส้นทางเดินราก (N) เท่ากับ 2 เพราะโพลเท่ากับศูนย์
- ขั้นตอนที่ 4 หาเส้นแอสซิมโทต  
 จำนวนเส้นแอสซิมโทต =  $P - Z = 0$

ดังนั้นกรณีนี้ จำนวนโพล = จำนวนศูนย์จะไม่มีเส้นแอสซิมโทตเพราะจะอยู่บนแกนจริง

2.3) จุดแยกออกจากแกนจริง

ทางเดินรากไม่ได้จำกัดอยู่บนแกนจริงเท่านั้น ทางเดินรากอาจจะเดินไปบน ระนาบ  
 เชิงซ้อนที่จุดใดๆก็ได้ จากตัวอย่างจะมีแนวเส้นแอสซิมโทต 3 เส้น ทำมุม 60, 180, 300 องศา  
 ตามลำดับ แสดงว่ามีเส้นทางเดินราก 3 เส้นทางที่ออกจากโพลทั้งสามจากฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$[G(s)H(s)]$  แต่โพลทั้งสามอยู่บนแกนจริงเพื่อวิ่งเข้าหาแนวเส้นแอสซิมโทตและวิ่งไปสู่ค่าอนันต์ตามแนวเส้นแอสซิมโทต จุดที่แยกออกจากแกนจริงของเส้นทางเดินรากสามารถหาได้จากสมการ

$$\sum_{i=1}^P \frac{1}{\sigma_b + P_i} = \sum_{i=1}^Z \frac{1}{\sigma_b + Z_i} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $\sigma_b$  = จุดที่แยกจากแกนจริงฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$   
 $P$  = จำนวนโพลของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$   
 $Z$  = จำนวนศูนย์ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$   
 $P_i$  = ตำแหน่งโพลของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$   
 $Z_i$  = ตำแหน่งศูนย์ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$

ข้อสังเกตพื้นฐานเพื่อพิจารณาว่า บริเวณใดน่าจะมีจุดแยกออกจากแกนจริงให้พิจารณาที่ตำแหน่งของโพลหรือตำแหน่งของศูนย์ ถ้าตำแหน่งของโพล 2 โพลอยู่ติดกันจะต้องมีจุดแยกออกจากแกนจริงระหว่างตำแหน่งของโพลทั้งสองนั้น ในกรณีจากตัวอย่างตำแหน่งของโพล 2 โพลอยู่ติดกัน คือ ตำแหน่งของโพลที่ 0 และ -0.5 แสดงว่าจะต้องมีจุดแยกออกจากแกนจริงอยู่ระหว่าง 0 กับ -0.5 ในทำนองเดียวกัน ถ้าศูนย์อยู่ในตำแหน่งติดกัน 2 ตำแหน่งจะมีจุดที่เส้นทางเดินราก 2 เส้นทางวิ่งเข้าสู่แกนจริงระหว่างตำแหน่งของศูนย์ที่อยู่ติดกัน การหาจุดแยกออกจากแกนจริงอาจจะหาได้จากสมการคุณลักษณะดังนี้

$$1 + G(s)H(s) = 0 \quad (2.13)$$

$$1 + K \frac{Z(s)}{P(s)} = 0 \quad (2.14)$$

$$P(s) + KZ(s) = 0 \quad (2.15)$$

$$\therefore K = \frac{-P(s)}{Z(s)} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จุดแยกออกจากแกนจริงหรือจุดที่เข้าหาแกนจริง สามารถหาได้ดังนี้

เมื่อ  $K$  มีค่าเป็นบวก 
$$\frac{dK}{ds} = \frac{-p'(s) \cdot Z(s) + Z'(s) \cdot P(s)}{Z^2(s)} \quad (2.17)$$

ตัวอย่างที่ 3 จงหาจุดแยกออกจากแกนจริงของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิดดังนี้

a) 
$$G(s)H(s) = \frac{K}{s(s+2)}$$

b) 
$$G(s)H(s) = \frac{K}{s(s+0.5)(s+4)}$$

วิธีทำ

a) จากฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิดที่กำหนดให้พบว่าตำแหน่งของโพลอยู่ที่ติดต่อกันระหว่าง 0 กับ 2 แสดงว่าจะจุดที่แยกออกจากแกนจริงระหว่าง 0 กับ -2 จากสมการจะได้

$$\frac{1}{\sigma_b + P_1} + \frac{1}{\sigma_b + P_2} = 0$$

$$\frac{1}{\sigma_b + 0} + \frac{1}{\sigma_b + 2} = 0$$

$$\sigma_b + 2 + \sigma_b = 0$$

$$\therefore \sigma_b = -1$$

∴ จะมีจุดแยกออกจากแกนจริงที่ตำแหน่ง -1 หรืออาจจะหาได้จากสมการ

$$1 + G(s)H(s) = 0$$

$$1 + \frac{K}{s(s+2)} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s(s+2) + K = 0$$

$$\frac{dK}{ds} = -2s - 2 = 0$$

$$\therefore s = -1$$

b) จากฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$  ที่กำหนดให้พบว่าตำแหน่งของโพลอยู่ติดกันระหว่าง 0 กับ -0.5 และ -4 แต่เนื่องจากทางเดินรากที่อยู่ทางขวามือสุดจะต้องเดินทางไปทางซ้ายมือเสมอ ดังนั้นกรณีนี้จะมีจุดแยกออกจากแกนจริงจะอยู่ระหว่าง 0 กับ -0.5 จากสมการ จะได้

$$\frac{1}{\sigma_b + P_1} + \frac{1}{\sigma_b + P_2} + \frac{1}{\sigma_b + P_3} = 0$$

$$\frac{1}{\sigma_b} + \frac{1}{\sigma_b + \frac{1}{2}} + \frac{1}{\sigma_b + 4} = 0$$

$$\sigma_b^2 + 4.5\sigma_b + 2 + \sigma_b^2 + 4\sigma_b + \sigma_b^2 + \frac{\sigma_b}{2} = 0$$

$$\therefore \sigma_b = \frac{-9 \pm \sqrt{9^2 - (4 \times 3 \times 2)}}{2 \times 3}$$

$$= -28, -0.24$$

ดังนั้นเลือกค่าที่เป็นไปได้คือ  $\sigma_b = -0.24$

หรืออีกวิธีหนึ่งอาจหาได้จากสมการ

$$\frac{dK}{ds} = -\frac{d}{ds} \left[ -s \left( s + \frac{1}{2} \right) (s + 4) \right]$$

$$= 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

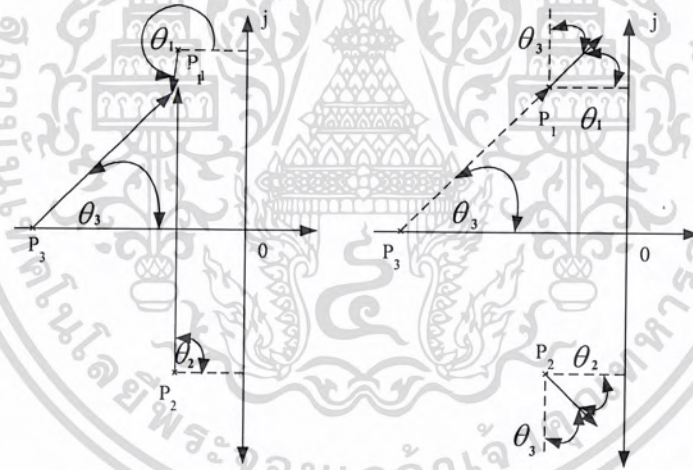
#### 2.4) มุมจากโพลหรือมุมเข้าหาศูนย์ของเส้นทางเดินราก

มุมจากโพลของเส้นทางเดินรากเป็นมุมที่ต่างกันระหว่างมุมที่โพลที่เคลื่อนที่หนีกับมุมที่ศูนย์ไปลบออกจาก  $\pm 180 (2K+1)$  มุมเข้าหาศูนย์ก็หาได้ในลักษณะเดียวกัน มุมจากโพลหรือมุมเข้าหาศูนย์จะพิจารณาเฉพาะ โพลหรือศูนย์ที่เป็นตำแหน่งเชิงซ้อน เพื่อช่วยในการเขียนเส้นทางเดินรากสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เพื่อให้ความเข้าใจขอให้พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิดลำดับที่สามดังสมการ

$$G(s)H(s) = \frac{K}{(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)(s + P_3)} \quad (2.18)$$

ซึ่งมีโพลคู่หนึ่งเป็นค่าเชิงซ้อนและอีกโพลหนึ่งเป็นค่าจริงเมื่อนำไปเขียนลงในระนาบเชิงซ้อนจะได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การหาค่ามุมของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$

สมมติให้  $s_1$  เป็นจุดทดสอบที่อยู่ใกล้โพล  $P_1$  จากเกณฑ์ของมุมของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$  จะได้

$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 180^\circ$$

$$\theta_1 = (180^\circ) - \theta_2 - \theta_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่  $\theta_2 \sim 90^\circ$  เมื่อจุด  $s_1$  อยู่ใกล้จุด  $P_1$  มากๆ

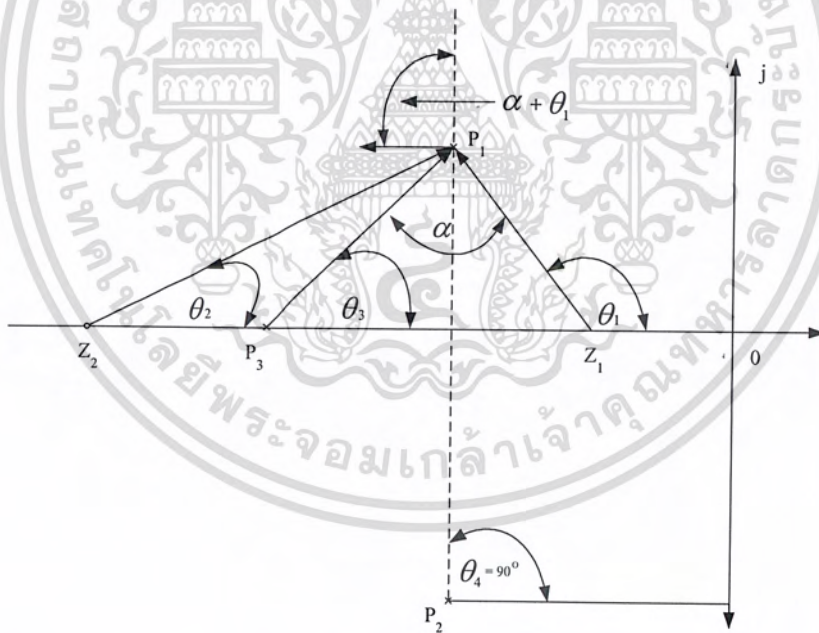
$$\therefore \theta_1 = (90^\circ) - \theta_3$$

ซึ่งแสดงได้ดังรูป (b)

เนื่องจาก  $P_1$  และ  $P_2$  เป็นค่าคอนจูเกตซึ่งกันและกันมุมจากโพลจึงมีค่าสมมาตรกัน  
กรณีที่  $[G(s)H(s)]$  มีทั้งค่าของโพลและศูนย์ดังสมการ

$$G(s)H(s) = \frac{K(s+Z_1)(s+Z_2)}{(s+P_1)(s+P_2)(s+P_3)} \quad (2.19)$$

$P_1$  และ  $P_2$  เป็นค่าคอนจูเกตซึ่งกันและกัน เมื่อเขียนลงในระนาบเชิงซ้อนจะได้ดังรูป



รูปที่ 2.3 การหามุมของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$  (แบบคอนจูเกต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะได้

$$(\theta_1 + \theta_2) - (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) = 180^\circ$$

มุม  $\theta$  คือ มุมจากโพล  $P_1$

$$\begin{aligned} \theta &= (-180^\circ) + (\theta_1 + \theta_2) - (\theta_4 + \theta_3) \\ &= (-180^\circ) + \theta_1 + \theta_2 - (90^\circ) - \theta_3 \\ &= (-270^\circ) + \theta_1 + \theta_2 - \theta_3 \\ \therefore \theta &= (90^\circ) + \alpha + \theta_2 \end{aligned}$$

## 2.5) จุดตัดแกนจินตภาพของเส้นทางเดินราก

ในบางกรณีเมื่อขนาด  $K$  เพิ่มขึ้นเส้นทางเดินรากอาจจะตัดผ่านแกนจินตภาพซึ่งหมายความว่า จะมีค่าของแฟกเตอร์อัตราขยาย  $K$  จะมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งของรากอยู่บนแกนจินตภาพพอดีเพราะถ้าค่าของ  $K$  มากกว่านี้จะทำให้ตำแหน่งของรากข้ามไปทางด้านขวามือของระนาบเชิงซ้อนทำให้ระบบไม่เสถียรภาพ จุดตัดแกนจินตภาพของเส้นทางของราก คือ จุดที่ค่าของ  $K$  มีค่าสูงสุดที่ระบบยังคงอยู่ในสถานะเสถียรภาพค่าของ  $K$  สูงสุดนี้ สามารถหาได้จากการนำสมการคุณลักษณะไปสร้างเป็นตารางเพื่อหาเสถียรภาพ โดยอาศัยวิธีการทดสอบแบบเร้าท์เฮอร์วิทซ์ คือ ค่าของ  $K$  สูงสุดในบรรดาตัวประกอบทุกๆ ตัวในคอลัมน์แรกของตารางที่มีเครื่องหมายเหมือนกันนำค่า  $K$  สูงสุดที่ต้องการนี้ไปแทนค่าลงในสมการคุณลักษณะ ค่ารากของสมการคุณลักษณะ เมื่อค่าอัตราขยายสูงสุดนี้ คือ จุดตัดแกนจินตภาพของเส้นทางเดินราก

### 2.1.4 สรุปขั้นตอนการหาเส้นทางเดินรากลของสมการคุณลักษณะ

มีดังต่อไปนี้

- 1) เขียนฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด  $[G(s)H(s)]$
- 2) หาค่าแห่งโพลและศูนย์ของ  $[G(s)H(s)]$
- 3) หาจำนวนโพลและศูนย์ของ  $[G(s)H(s)]$  เพื่อหาเส้นทางเดินรากที่แยกจากกัน
- 4) หามุมและจุดตัดกันของเส้นแอสซิมโทต
- 5) หาจุดแยกออกจากแกนจริง
- 6) หามุมจากโพลและมุมเข้าหาศูนย์บนระนาบเชิงซ้อน
- 7) หาจุดตัดแกนจินตภาพของทางเดินราก

## 2.2 การใช้งาน MATLAB

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ขั้นสูงสำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วย การคำนวณเชิงตัวเลข กราฟที่ซับซ้อนและการจำลองแบบเพื่อให้มองเห็นภาพพจน์ได้ง่ายและชัดเจน ชื่อของ MATLAB ย่อมาจาก Matrix laboratory เดิม MATLAB ได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทาง Matrix หรือเป็น Matrix software ที่พัฒนาจากโครงการที่ชื่อ Linkpack และ Eispack

MATLAB มีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้มากมายในบางมหาวิทยาลัยได้ใช้ MATLAB เป็นหลักสูตรพื้นฐานในการศึกษาด้านคณิตศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ ตลอดจนในด้านอุตสาหกรรมได้ใช้ MATLAB เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในงานวิจัยพัฒนาและวิเคราะห์

MATLAB จะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการหาคำตอบเรียกว่า Toolbox โดย MATLAB จะมี Toolbox ในแต่ละสาขา เช่น การประมวลผลสัญญาณ การประมวลผลภาพ ระบบควบคุม โครงข่ายประสาท พืชซึ่งล่อจิก เวฟเลท การติดต่อสื่อสาร สถิติและสาขาอื่นๆ มากมาย ภายใน Toolbox แต่ละสาขาก็จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้นๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก

### 2.2.1 ข้อดีของ MATLAB

1) มีฟังก์ชันคณิตศาสตร์ให้เลือกใช้ในการคำนวณมากมาย ตลอดจนสามารถสร้างฟังก์ชันขึ้นมาใช้งานได้เองในสาขาที่ต้องการ

2) Algorithm พัฒนาได้ง่ายไม่ยุ่งยากสามารถแก้ไขปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนได้ง่ายและรวดเร็วกว่าโปรแกรมภาษาอื่นๆ เช่น C, Fortran, Basic เป็นต้น

3) มีโครงสร้างแบบจำลองซึ่งเป็น Package ที่นำไปสร้างแผนผังการทำงานเพื่อใช้ทดสอบและประเมินผลระบบ Dynamic ต่างๆ ก่อนนำไปใช้งานจริง

4) สามารถวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว

5) นำไปใช้ในงานทางด้านกราฟิกได้เป็นอย่างดีทั้งในด้านการแสดงภาพตั้งแต่สองมิติรวมทั้งภาพสามมิติในรูปแบบพื้นผิวและระดับสูงต่ำ ตลอดจนสามารถนำภาพมาต่อกันและเก็บไว้เพื่อที่จะสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหวได้อีกด้วย

6) ประยุกต์ใช้ในการสร้างรูปแบบ การเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟิกโดยการเลือกใช้ตัวเลือก และเมนูต่างๆ โดย MATLAB จะมีเครื่องมือให้เลือกใช้ เช่น เมนู รายการ ปุ่มกดและ Fieds object ต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกนำไปใช้ในการทำงานปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

7) ทำการประมวลผลร่วมกับโปรแกรมอื่นได้ เช่น Fortran, Borland, C/C++, Microsoft Visual C++ และ Watcom C/C++ ด้วยการเขียนฟังก์ชันที่เป็น Mex ไฟล์โดย MATLAB จะเรียกใช้รูทีนจากภาษา C และ Fortran

8) MATLAB สามารถทำการแก้ปัญหาทางเทคนิคต่างๆ ได้มากใช้เวลาในการประมวลผลน้อยและดีกว่าโปรแกรมภาษา C และ Fortran

### 2.2.2 โครงสร้างของ MATLAB

โครงสร้างของ MATLAB ประกอบด้วย 5 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1) ภาษา MATLAB

MATLAB เป็นโปรแกรมภาษาขั้นสูงที่ใช้ในการควบคุม Flow statements ฟังก์ชัน โครงสร้างข้อมูลอินพุต/เอาต์พุตและลักษณะโปรแกรม Object Oriented Programming ทำให้การเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยาก เมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาอื่นๆ เช่น C, Fortran, Basic เป็นต้น

2) สถาปัตยกรรมในการทำงานของ MATLAB

MATLAB จะมีกลุ่มของเครื่องมือที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำงานของผู้ใช้โปรแกรม หรือโปรแกรมเมอร์ ประโยชน์ที่กล่าวนี้ คือ การจัดการตัวแปรใน Workspace การนำข้อมูลหรือการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านค่าตัวแปรเข้า/ออกและกลุ่มของเครื่องมือต่างๆ นี้ก็จะใช้สำหรับพัฒนา จัดการ ตรวจสอบ ความผิดพลาดของโปรแกรม (Debugging) ที่ได้เขียนขึ้น

### 3) ฟังก์ชันในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ (The MATLAB mathematical function library)

MATLAB จะมีไลบรารีทั่วไปที่ใช้ในการคำนวณอย่างกว้าง เช่น Sine Cosine และพีชคณิตเชิงซ้อน โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟังก์ชันหรือไลบรารีเพิ่มเติมขึ้นจากไลบรารีที่ใช้กันอยู่ โดยทั่วไป เช่น ฟังก์ชันในการหา Eigenvalues และ Eigenvectors การแยกตัวประกอบและ ส่วนประกอบของเมทริกซ์ด้วยวิธีต่างๆ การวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณหาค่าความน่าจะเป็น และการแก้ปัญหาหาระบบของสมการเชิงเส้นที่เป็นพื้นฐานของสาขาวิชาต่างๆ ทำให้โปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันสำหรับใช้งานค่อนข้างมากและครอบคลุมในรายละเอียดของการคำนวณใน สาขาวิชาต่างๆ ได้มากขึ้น

### 4) Handle graphics

ระบบกราฟิกของ MATLAB จะประกอบด้วยคำสั่งชั้นสูงสำหรับการวาดกราฟโดยมี พื้นฐานอยู่บนแนวความคิดที่ว่าทุกๆ สิ่งบนหน้าต่างรูปภาพของ MATLAB จะเป็นวัตถุซึ่งมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว Handle graphics ประกอบด้วยคำสั่งชั้นสูงให้ได้เลือกใช้ในการสร้างการ เชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟิกบนพื้นฐานการประยุกต์ใช้งานของผู้ใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน นอกจากนี้ MATLAB ยังมีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการแสดงภาพสองมิติ ภาพสามมิติและการสร้าง ภาพเคลื่อนไหว

### 5) The MATLAB Application Program Interface (API)

API จะใช้เพื่อสนับสนุนการติดต่อจากภายนอกโดยใช้โปรแกรมที่เป็น Mex ไฟล์ซึ่งเป็น ไฟล์ที่เขียนขึ้นโดยใช้ Mex ฟังก์ชันของ MATLAB ซึ่งจะเรียกใช้รูทีนจากโปรแกรมภาษา C และ Fortran หรืออาจกล่าวได้ว่า API เป็นไลบรารีที่เขียนด้วยโปรแกรมภาษา C และ Fortran ที่มี การเชื่อมต่อกับ MATLAB ด้วยไฟล์ Mex ฟังก์ชันอีกทั้ง MATLAB API นี้ยังมีความสามารถ สำหรับการเรียก Routine จาก MATLAB (Dynamic linking) ก็ได้

Simulink เป็นที่ควบคู่กับ MATLAB ซึ่งเป็นระบบ Interactive สำหรับการจำลองและ วิเคราะห์ระบบไดนามิกต่างๆ ที่เป็นระบบเชิงเส้น ระบบไม่เชิงเส้น Simulink เป็น โปรแกรม Mouse driver ที่ให้ใช้ระบบจำลองโดยการวาดแผนผังการทำงานบนจอภาพด้วยการใช้เมาส์ทำให้ MATLAB สามารถทำการจำลองระบบได้หลายรูปแบบ เช่น เชิงเส้น ไม่เชิงเส้น เวลาต่อเนื่อง เวลา ไม่ต่อเนื่องและระบบหลายอัตราซึ่งแต่ละรูปแบบที่นำมาสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์นี้ ผู้ใช้ จะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของแต่ละแผนผังการทำงานได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเข้าใจระบบโดยรวมของการทำงานที่ต้องการกระทำด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Blocksets เป็นสิ่งที่เพิ่มเติมใน Simulink โดยจะเป็นไลบรารีของแผนผังการทำงาน สำหรับการประยุกต์เฉพาะ เช่น การติดต่อสื่อสาร การประมวลผลข้อมูล และระบบไฟฟ้ากำลัง

Real – Time workshop เป็นที่ให้ผู้ใช้งานเขียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสร้าง C code แผนผังการทำงานของผู้ใช้งานเขียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและสามารถกระทำกับแผนผังการทำงาน ได้หลากหลายด้วยระบบเวลาจริง

MATLAB มีอยู่หลายรูปแบบซึ่งรูปแบบดั้งเดิมของ MATLAB จะใช้งานบน DOS ที่มีการคำนวณไม่ยุ่งยาก เหมาะสำหรับผู้เริ่มศึกษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่หน่วยความจำมากใช้ได้กับ CPU ที่มีความเร็วต่ำแต่มีข้อเสียคือ ฟังก์ชันที่นำมาใช้งานมีน้อย ทำให้เขียนโปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควรเพราะมีประสิทธิภาพและความเร็วในการประมวลผลต่ำ ต่อมาเมื่อระบบคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงควบคู่ไปกับ MATLAB ก็ได้มีการพัฒนาให้มีฟังก์ชันให้เลือกใช้ได้มากมายจึงทำให้ MATLAB มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการประมวลผลที่เร็วขึ้นรูปแบบใหม่ที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ให้ดีขึ้นนี้จะใช้งานบนหน้าต่างโปรแกรม ทำให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ข้อดีของรูปแบบใหม่นี้คือ มีประสิทธิภาพดีขึ้น การประมวลโปรแกรมที่ซับซ้อนมีความเร็วสูงขึ้นและมีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้ในสาขาต่างๆ มากมายแต่ต้องใช้กับคอมพิวเตอร์ที่มีพื้นที่หน่วยความจำมาก CPU มีความเร็วสูงและต้องการ Co – processor ในการช่วยคำนวณแต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลดีที่ได้

### 2.2.3 คอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ MATLAB

เนื่องจาก MATLAB เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์และกราฟิกที่ซับซ้อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูง คอมพิวเตอร์ที่มีความเหมาะสมกับ MATLAB คือ มีซีพียูรุ่นเพนเทียมขึ้นไป หน่วยความจำถาวรควรมีอย่างน้อย 32 เมกกะไบต์ ส่วนฮาร์ดดิสก์ควรมีเนื้อที่ว่างเกินกว่า 80 เมกกะไบต์ขึ้นไป

### 2.2.4 การวิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนเวลา

การวิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนเวลาจะใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมของระบบที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพ ความถูกต้องแม่นยำและความเร็วของระบบ การศึกษาผลตอบสนองในโดเมนเวลาของระบบ เนื่องจากสัญญาณอินพุตที่กำหนดจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- 1) ผลตอบสนองชั่วคราว (Transient response) จะเกิดขึ้นขณะหนึ่งในช่วงที่ระบบเสถียร โดยผลตอบสนองจะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น
- 2) ผลตอบสนองในสถานะคงตัว (Steady state response) จะเป็นผลตอบสนองที่เหลือหลังจากหมดสถานะชั่วคราวแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1) ใช้ MATLAB หาผลตอบสนองจากฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function)

ถ้าทราบฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบก็สามารถวิเคราะห์ Steady state error ของระบบ และผลตอบสนองของระบบได้ โดยการป้อนสัญญาณอินพุตต่างๆ เข้าสู่ระบบโดยทั่วไปจะใช้สัญญาณอินพุตเป็น ฟังก์ชันขั้นบันได ฟังก์ชันอิมพัลส์และฟังก์ชันอินพุตอื่นๆ ซึ่งสามารถอธิบายสัญญาณอินพุตแต่ละสัญญาณได้ดังนี้

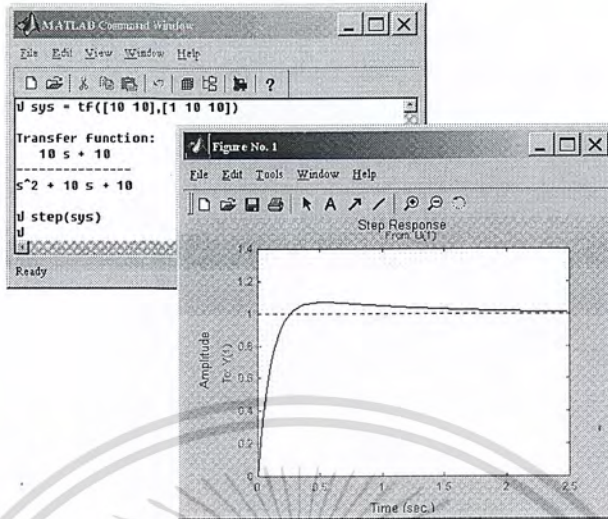
#### 1.1) ผลตอบสนองขั้นบันได (Step response)

สัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดจะเป็นสัญญาณที่มีค่าหรือตำแหน่งคงที่ ดังนั้นจึงมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ความสามารถของระบบควบคุมและตำแหน่งของวัตถุโดยจะควบคุมวัตถุให้คงที่

ตารางที่ 2.1 คำสั่งใน MATLAB ที่วิเคราะห์ผลตอบสนองขั้นบันได

คำสั่ง	รายละเอียด
tf(num,den)	การสร้างฟังก์ชันถ่ายโอน โดยมี num เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวเศษและ den เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวส่วน
Step(sys)	การพล็อตค่าผลตอบสนองขั้นบันไดของเชิงเส้น
Step(sys,t)	การพล็อตค่าผลตอบสนองขั้นบันไดของเชิงเส้นในช่วงเวลา t
Step(sys1,'color',sys2'line')	การพล็อตค่าผลตอบสนองขั้นบันไดของเชิงเส้นสองระบบเปรียบเทียบกันในแกนเดียวกัน

การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ บนหน้าต่างคำสั่งและหาค่าผลตอบสนองขั้นบันไดของระบบโดยฟังก์ชันผลตอบสนองขั้นบันไดทำได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การใช้ MATLAB วิเคราะห์ผลตอบสนองขั้นบันได

### 1.2) ผลตอบสนองอิมพัลส์

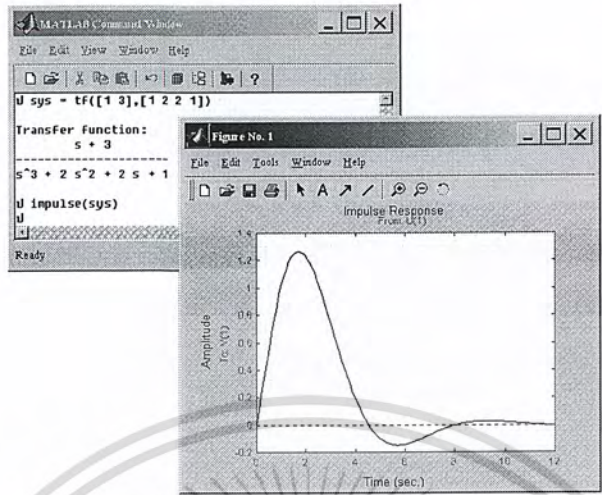
สัญญาณอินพุตแบบอิมพัลส์ นี้จะใช้กับระบบที่ต้องตอบสนองกับอินพุตที่มีลักษณะเป็นสัญญาณกระตุ้น (Shape input)

ตารางที่ 2.2 คำสั่งใน MATLAB ที่วิเคราะห์ผลตอบสนองอิมพัลส์

คำสั่ง	รายละเอียด
impulse(sys)	การพล็อตค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของเชิงเส้น
impulse(sys,t)	การพล็อตค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของเชิงเส้นในช่วงเวลา t
impulse (sys1,'color',sys2'line')	การพล็อตค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของเชิงเส้นสองระบบเปรียบเทียบกัน ในแกนเดียวกัน

การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ บนหน้าต่างคำสั่งและหาค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของระบบ โดยฟังก์ชันผลตอบสนองอิมพัลส์ทำได้ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การใช้ MATLAB วิเคราะห์ผลตอบสนองของอิมพัลส์

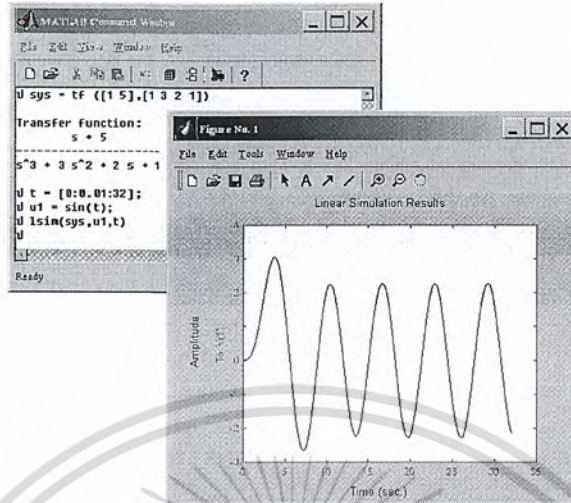
1.3) ผลตอบสนองบางอินพุตที่กำหนด (Response to any input)

นอกจากการป้อนอินพุตที่เป็นฟังก์ชันขั้นบันไดและฟังก์ชันอิมพัลส์ให้กับระบบแล้ว สามารถป้อนสัญญาณอินพุตใดๆ ให้กับระบบได้ เช่น ฟังก์ชัน Sin, ฟังก์ชัน Cos, ฟังก์ชัน เอกโปเนนเชียล เป็นต้น MATLAB จะเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการหาผลตอบสนองของระบบ เชิงเส้น ด้วยอินพุตต่างๆ ที่กำหนดดังนี้

ตารางที่ 2.3 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบสนองบางอินพุต

คำสั่ง	รายละเอียด
<code>lsim(sys, u,t)</code>	การพล็อตค่าผลตอบสนองของระบบเชิงเส้นเมื่อป้อนสัญญาณอินพุต u ในช่วงเวลา t
<code>impz(sys1,'color',sys2,'line',u,)</code>	การพล็อตค่าผลตอบสนองของระบบเชิงเส้นสองระบบ เปรียบเทียบกันในแกนเดียวกัน เมื่อป้อนสัญญาณอินพุต u ในช่วงเวลา t

การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ บนหน้าต่างคำสั่งและหาค่าผลตอบสนองของระบบเมื่ออินพุต เป็นสัญญาณชายนั้ทำได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ผลตอบสนองของระบบที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน

### 2.2.5 รูปแบบโพลและศูนย์

ถ้าให้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเข้า – สัญญาณออกอยู่ในรูปแบบฟังก์ชันถ่ายโอน ดังต่อไปนี้

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\text{output}}{\text{input}} = G(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{K(s+z_1)(s+z_2)\dots(s+z_m)}{(s+p_1)(s+p_2)\dots(s+p_p)} \quad (2.20)$$

เมื่อ  $z_1, z_2, \dots, z_m$  เป็นค่าของเชิงซ้อนที่ทำให้ตัวเศษของฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นศูนย์ ( $N(s) = 0$ ) เรียกว่า ค่าศูนย์ (Zero) ของระบบซึ่งแทนโพลบนระนาบเชิงซ้อนด้วยสัญลักษณ์ '0'

$p_1, p_2, \dots, p_p$  เป็นค่าของเชิงซ้อนที่ทำให้ส่วนของฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นศูนย์ ( $D(s) = 0$ ) เรียกค่าเหล่านี้ว่า โพล ของระบบซึ่งแทนโพลบนระนาบเชิงซ้อนด้วยสัญลักษณ์ 'x' และเรียกสมการพหุนามของส่วนเท่ากับศูนย์นี้ว่า สมการลักษณะเฉพาะ (Characteristic equation)

เมื่อพล็อตค่าโพลและศูนย์บนระนาบเชิงซ้อนหรือระนาบ  $s$  เนื่องจาก  $s = \sigma \pm j\omega$  โดยส่วนจริง  $\sigma$  จะถูกพล็อตบนแกนจริงของระนาบและส่วนจินตภาพ  $\omega$  จะถูกพล็อตบนแกนจินตภาพและค่าผลตอบสนองชั่วครู่ของโพลคู่หนึ่งจะมีค่าเท่ากับ  $Re^{\sigma t} \cos(\omega t + \theta)$

ถ้าผลตอบสนองชั่วครู่ลดลงตามเวลา  $Re^{\sigma t} \cos(\omega t + \theta)$  ค่าส่วนจริง ( $\sigma$ ) ต้องเป็นลบ กล่าวคือ โพลจะต้องอยู่บนครึ่งซ้ายของแกนจินตภาพ (ด้านซ้ายของแกนจินตภาพ) บนระนาบเชิงซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

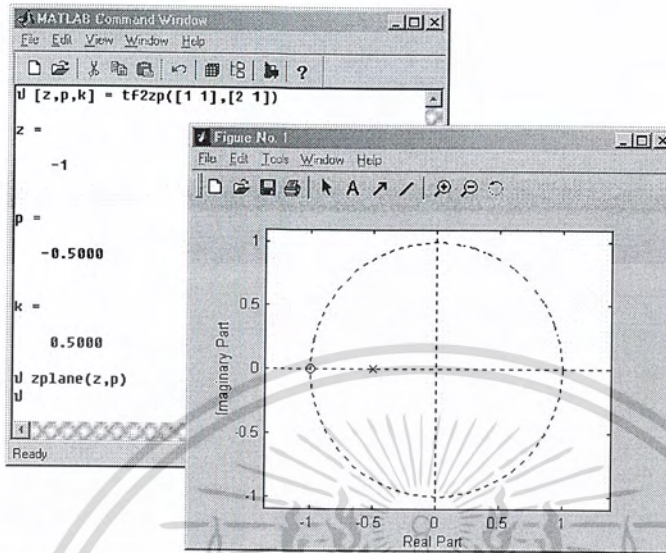
และยังโพลอยู่ด้านซ้ายมากเพียงไร ผลตอบสนองชั่วคราวสามารถลดลงจนเป็นศูนย์หรือหายไปจากระบบเรียกว่า ระบบเสถียร

ถ้าโพลอยู่ด้านขวาของแกนจินตภาพ (ค่าส่วนจริง  $\sigma$  เป็นบวก) จะทำให้ฟังก์ชันเอกซ์โปเนนเชียลเป็นฟังก์ชันเพิ่มขึ้นตามเวลาและยังโพลอยู่ด้านขวามากเพียงไรก็จะยิ่งทำให้อัตราการเพิ่มของฟังก์ชันเพิ่มขึ้นตามเวลาและยังโพลอยู่ด้านขวาของแกนจินตภาพบนระนาบเชิงซ้อนนี้เรียกว่า ระบบไม่เสถียร

#### ตารางที่ 2.4 คำสั่งใน MATLAB หาค่าตำแหน่ง โพลและศูนย์

คำสั่ง	รายละเอียด
<code>[z,p,k] = tf2zp(num,den)</code>	การหาค่าตำแหน่ง โพลและศูนย์และค่าอัตราขยาย โดยตรงจากฟังก์ชันถ่ายโอน
<code>[num, den] = zp2tf(z, p, k)</code>	การหาฟังก์ชันถ่ายโอนเมื่อกำหนดค่าตำแหน่ง โพลและศูนย์และค่าอัตราขยาย
<code>[num,den] = Cloop(num, den, Sign)</code>	การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงปิดที่มีการป้อนกลับเป็นแบบ Unity Feedback และถ้าให้ Sign = 1 จะเป็นการป้อนกลับแบบบวกและถ้าให้ Sing = -1 จะเป็นการป้อนกลับแบบลบ
<code>zplane(zero,pole)</code>	การพล็อตกราฟ โพลและซีโรบนระนาบ

การใช้ MATLAB หาค่าตำแหน่ง โพลและศูนย์ทำได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การใช้ MATLAB หาค่าตำแหน่งโพลและศูนย์

## 2.2.6 การคำนวณค่าเรซิดิว

สามารถจัดการฟังก์ชันถ่ายโอนให้สอดคล้องกับโพลิโนเมียลที่เป็นเศษส่วนย่อย (Partial Function Decomposition) ดังสมการที่ 2.21

$$\frac{b(s)}{a(s)} = \frac{r_1}{s-p_1} + \frac{r_2}{s-p_2} + \dots + \frac{r_n}{s-p_n} + K(s) \quad (2.21)$$

MATLAB จะมีคำสั่งสำหรับการแยกเศษส่วนของโพลิโนเมียลให้อยู่ในรูปเศษส่วนย่อยได้ คำสั่งที่ใช้สำหรับการแยกเศษส่วนของโพลิโนเมียล คือ เรซิดิวซึ่งมีโครงสร้างของคำสั่งดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 2.5 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้ในการแยกเศษส่วน โพลีโนเมียล

คำสั่ง	รายละเอียด
$[r,p,k] = \text{residue}(b,a)$	การหาค่าเศษส่วนย่อยดังสมการเมื่อกำหนดฟังก์ชันถ่ายโอนหรือฟังก์ชันเศษส่วน $b(s)/a(s)$
$[b,a] = \text{residue}(r,p,k)$	การหาฟังก์ชันเศษส่วน $b(s)/a(s)$ เมื่อกำหนดโพลีโนเมียลที่เป็นเศษส่วนย่อยของโพลีโนเมียล ดังสมการที่ให้มา

การกำหนดค่าต่างๆ บนหน้าต่างคำสั่งของ MATLAB โดยใช้คำสั่งเรชิตัวในการหาค่าทำได้ดังรูปที่ 2.8

```

MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
> [r,p,k] = residue(b,a)
r = [12 3];
p = [-3 +2 1];
k = 1;
> [b,a] = residue(r,p,k)
b =
    1    10    21
a =
    1     4     1    -6
  
```

รูปที่ 2.8 การคำนวณใช้ MATLAB หาค่าเรชิตัว

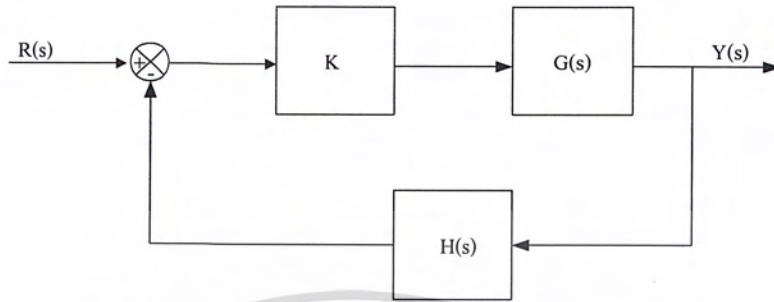
#### 2.2.7 การวิเคราะห์ทางเดินราก

วิธีการวิเคราะห์ทางเดินราก คือ วิธีการทางกราฟิกในการหาค่าโพลของระบบปิด ของฟังก์ชันถ่ายโอน โดยมีค่าของอัตราขยายถูกแปรค่าเป็นค่าต่างๆ การวิเคราะห์ทางเดินรากเพื่อหาเสถียรภาพของระบบ

Root-locus plot คือ การวาดเส้นทางเดินรากของฟังก์ชันซึ่งอยู่ในรูปอัตราส่วนเมื่อตัวแปรของระบบซึ่ง คือ ค่าอัตราขยายเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาแบบดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แผนผังการทำงานของระบบควบคุม

จากรูปจะมีฟังก์ชันถ่ายโอนจะเป็นดังนี้

$$T(s) = \frac{KG(s)}{1 + KG(s)H(s)} \quad (2.22)$$

โดยมีค่าคงที่  $K$  เป็นตัวแปรที่สนใจและจะมีค่าโพลเป็นรากของสมการซึ่งจะขึ้นกับพารามิเตอร์  $K$  ด้วย  $1 + KG(s)H(s) = 0$  ค่าโพลและศูนย์ของ  $[G(s)H(s)]$  และฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิดจะถูกกำหนดโดยสมการ  $\frac{N(s)}{D(s)}$  ดังนี้

$$1 + KG(s)H(s) = 1 + K \frac{N(s)}{D(s)} = 0 \quad (2.23)$$

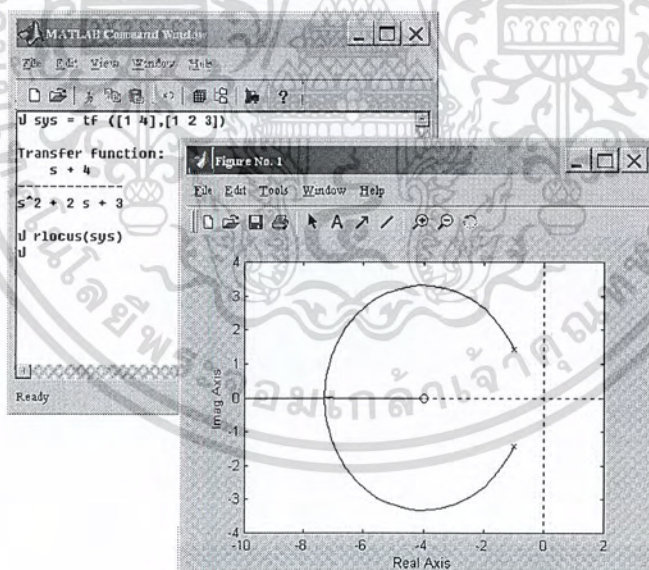
จากสมการ ทำให้สามารถหาค่าของทางเดินรากของระบบวงปิดได้เมื่อค่า  $K$  เปลี่ยนไป  $N(s)$  และ  $D(s)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้สำหรับคำนวณหาค่าทางเดินรากของวงปิด

คำสั่ง	รายละเอียด
<code>rlocus(sys,k)</code>	การหาทางเดินรากของระบบวงปิด <code>sys</code> เมื่อกำหนดอัตราขยายเท่ากับ <code>K</code>
<code>rlocus(sys)</code>	การหาทางเดินรากของระบบวงปิด <code>sys</code>
<code>[k,poles] = rlocfind(sys)</code>	การหาค่าอัตราขยาย <code>K</code> และตำแหน่งโพลของระบบโดยการกดเมาส์เพื่อระบุตำแหน่งของโพลบนทางเดินรากที่จะพล็อต
<code>[k,poles] = rlocfind(sys,p)</code>	การหาค่าอัตราขยาย <code>K</code> และตำแหน่งโพล โดยกำหนดตำแหน่งราก ( <code>P</code> ) ที่ต้องการ

การกำหนดค่าตัวแปรและใช้ฟังก์ชัน `rlocus` เพื่อสร้างทางเดินรากทำได้ดังรูป 2.10



รูปที่ 2.10 การวิเคราะห์ทางเดินรากเพื่อหาเสถียรภาพของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.8 การใช้ MATLAB วิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนความถี่

การวิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนความถี่เป็นวิธีการดั้งเดิมที่เป็นประโยชน์มากในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ การวิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนความถี่มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การวาดเกณฑ์เสถียรภาพไนควิสต์ (Nyquist plot) การวาดโบด (Bode plot) และการวาดนิโคล (Nichol plot) เป็นต้น การวาดโบดและการวาดนิโคล จะมีส่วนช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมในโดเมนความถี่โดยจะบ่งชี้ว่าจะต้องเปลี่ยนแปลง ฟังก์ชันถ่ายโอนอย่างไรเพื่อให้ได้ผลตอบสนองชั่วคราวที่ต้องการ

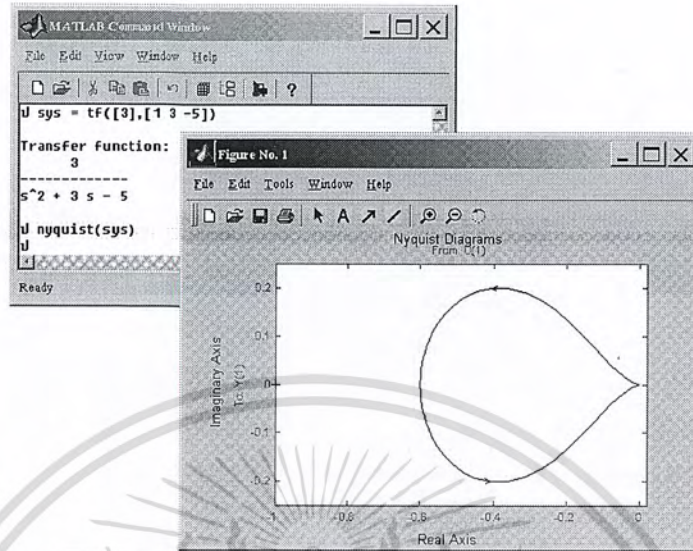
### 1) การวาดเกณฑ์เสถียรภาพของไนควิสต์

เกณฑ์เสถียรภาพของไนควิสต์ จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิดกับจำนวนศูนย์และจำนวนโพลของสมการคุณลักษณะที่อยู่ครึ่งขวาของระนาบเชิงซ้อน ข้อดีของเกณฑ์เสถียรภาพของไนควิสต์ คือ ทำให้สามารถตัดสินเสถียรภาพของระบบได้โดยดูจากรูปภาพของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิด โดยไม่ต้องแยกสัมประสิทธิ์ของสมการคุณลักษณะเฉพาะเพื่อหาตำแหน่งโพลของระบบแบบเปิดแต่ละตัวบนระนาบเชิงซ้อน

ตารางที่ 2.7 คำสั่งใน MATLAB ที่วิเคราะห์เกณฑ์เสถียรภาพของไนควิสต์

คำสั่ง	รายละเอียด
Nyquist(sys)	การพล็อตค่าผลตอบสนองทางความถี่ไนควิสต์ของระบบ sys
Nyquist(sys, { $\omega_{\min}$ , $\omega_{\max}$ })	การพล็อตค่าผลตอบสนองทางความถี่ไนควิสต์ของระบบ sys ในช่วง $\omega_{\min}$ ถึง $\omega_{\max}$
Nyquist(sys,w)	การพล็อตค่าผลตอบสนองทางความถี่ไนควิสต์ของระบบ sys ในช่วงความถี่ $\omega$
Nyquist(sys1,'r',sys2,'y--', gx)	การพล็อตค่าผลตอบสนองทางความถี่ไนควิสต์ของระบบเปรียบเทียบกัน

การวิเคราะห์เกณฑ์เสถียรไนควิสต์โดยใช้ MATLAB ทำได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การใช้ MATLAB วิเคราะห์เกณฑ์เสถียรภาพของไนควิสต์

## 2) การวาดโบด

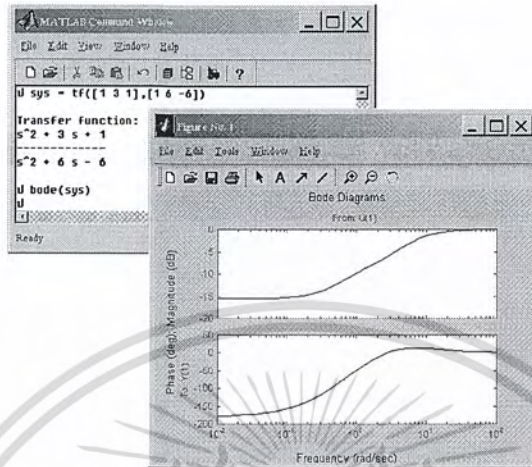
การวาดโบด จะประกอบด้วยกราฟสองชุด คือ กราฟของขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนของวงเปิดในหน่วย db กับความถี่เชิงมุม  $\log \omega$  ในหน่วย rad/s และกราฟของเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนของวงเปิดในหน่วยองศา กับความถี่เชิงมุม  $\log \omega$  ในหน่วย rad/s

ตารางที่ 2.8 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้วิเคราะห์การวาดโบด

คำสั่ง	รายละเอียด
bode(sys)	การวาดโบดของผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ sys
bode(sys, { $\omega_{\min}$ , $\omega_{\max}$ })	การวาดโบดของผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ sys ในช่วง $\omega_{\min}$ ถึง $\omega_{\max}$
bode(sys, $\omega$ )	การวาดโบดของผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ sys ในช่วง ความถี่ $\omega$
bode(sys1, 'r', sys2, 'y--', sys3, 'gx')	การวาดโบดของผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบเปรียบเทียบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การวางโคโดโดย MATLAB ทำได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การใช้ MATLAB วิเคราะห์การวางโคโด

### 3) การวางโคโด

การวางโคโด จะช่วยในการหาผลตอบสนองในโดเมนความถี่ของระบบวงปิดจากนิโคโดโดยตรงซึ่งการวางโคโด จะกำหนดให้แกนตั้งเป็นอัตราขยายซึ่งมีหน่วยเป็น db และให้แกนนอนเป็นเฟสซึ่งมีหน่วยเป็นองศา

MATLAB มีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับคำนวณผลตอบสนองเชิงความถี่ การวางโคโด ของระบบเชิงเส้น ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้

ตารางที่ 2.9 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้ในการวิเคราะห์ การวางโคโด

คำสั่ง	รายละเอียด
nichols (sys)	การวางโคโด ของผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ sys
nichols (sys, {wmin,wmax})	การวางโคโด ของผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ sys ในช่วง $\omega_{main}$ ถึง $\omega_{max}$
nichols (sys,w)	การวางโคโดของผลตอบสนองเชิงความถี่ของระบบ sys ในช่วงความถี่ $\omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.9 การใช้ MATLAB แปลงลาปลาซ

ถ้า  $f$  เป็นฟังก์ชันค่าจริงของตัวแปรจริงของ  $t$  เมื่อ  $t > 0$  และให้  $s$  เป็นตัวแปรใดๆ ที่สมมติให้เป็นค่าจริง ดังนั้นจะได้ฟังก์ชัน  $F$  เป็นดังนี้

$$F(s) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt \quad (2.24)$$

เรียกฟังก์ชัน  $F$  จากสมการว่าผลการแปลงลาปลาซของฟังก์ชัน  $f$  จะแทน  $F(s)$  เป็น  $L\{f(t)\}$  เรียกตัว  $L$  ว่าตัวแปลงลาปลาซ (Laplace transform operator)

เนื่องจากไม่สามารถปริพันธ์สมการที่ได้โดยตรงเพราะลิมิตของฟังก์ชันไม่จำกัด ดังนั้นจึงใช้รูปแบบการปริพันธ์เพื่อหาค่าผลการแปลงลาปลาซได้ดังนี้

$$\int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt = \lim_{p \rightarrow \infty} \int_0^p e^{-st} f(t) dt \quad (2.25)$$

ในการหาค่าผลการแปลงลาปลาซของอนุพันธ์ที่มีอันดับสูงกว่าหนึ่งนั้น จะใช้คำจำกัดความและการปริพันธ์ที่ละส่วน โดยกำหนดให้  $f(t) = y'(t)$  ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} L\{y''(t)\} &= L\{f'(t)\} = sL\{f(t)\} - f(0) \\ &= sL\{y'(t)\} - y'(0) = s[sY(s) - y'(0)] \\ &= s^2Y(s) - sy(0) - y'(0) \end{aligned} \quad (2.26)$$

ดังนั้น

$$L\{y''(t)\} = s^2Y(s) - s^{n-1}y(0) - s^{n-2}y'(0) - \dots - y^{(n-1)}(0) \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติเชิงเส้นของการหาค่าผลการแปลงลาปลาซ

$$1) L\{f(t) + g(t)\} = L\{f(t)\} + L\{g(t)\} = F(s) + G(s) \quad (2.28)$$

$$2) L\{cf(t)\} = cL\{f(t)\} = cF(s) \quad (2.29)$$

ตารางที่ 2.10 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้แปลงลาปลาซ

คำสั่ง	รายละเอียด
$L = \text{laplace}(F)$	การหาผลการแปลงลาปลาซของฟังก์ชัน $F$
$L = \text{laplace}(F,t)$	การหาผลการแปลงลาปลาซของฟังก์ชัน $F$ โดยที่จะแทน $t$ ด้วยค่าของ $s$
$L = \text{laplace}(F,w,z)$	การหาผลการแปลงลาปลาซของฟังก์ชัน $F$ เมื่ออินทิกรัลคอนเวอจด้วยค่าของ $\omega$ โดยจะแทน $z$ ด้วยค่าของ $s$

การกำหนดค่าตัวแปร symbolic ด้วยคำสั่ง syms แล้วใช้คำสั่งฟังก์ชัน laplace ในการหาค่าผลการแปลงลาปลาซทำได้ดังรูปที่ 2.13

```

MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
[Icons]
> syms a x
> laplace(sin(a*x)+cos(a*x))

ans =
a/(s^2+a^2)+s/(s^2+a^2)
>
Ready NUM
  
```

รูปที่ 2.13 การใช้ MATLAB แปลงลาปลาซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.10 การใช้ MATLAB แปลงลาปลาซกลับ

ได้พิจารณาผลการแปลงลาปลาซ  $F(s)$  ของฟังก์ชัน  $f(x)$  จากหัวข้อข้างต้นแล้ว ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการหาฟังก์ชัน  $f(x)$  เมื่อทราบผลการแปลงลาปลาซของ  $f(x)$  จะพิจารณาเฉพาะ  $f(x)$  ที่มีความต่อเนื่องเป็นช่วงบนช่วงใดๆ ในรูป  $[0, t]$  และเป็นอันดับเอกซ์โปเนนเชียล

การหาค่าการแปลงผกผันลาปลาซ  $f(x)$  เมื่อให้ผลการแปลงลาปลาซ  $F(s)$  จะทำให้สามารถหาค่าได้ดังนี้ คือ

$$f(x) = L^{-1}\{F(s)\} \quad (2.30)$$

ตารางที่ 2.11 การแปลงลาปลาซกลับ

$F(t) = L^{-1}\{F(s)\}$	$F(s) = L\{F(t)\}$
1	$\frac{1}{s}$
$\frac{1}{t^2}$	$\frac{\sqrt{\pi}}{2} s^{-3/2}$
$\frac{1}{t^{1/2}}$	$\frac{\sqrt{\pi}}{2}$
$t^n ; n = 1, 2, \dots$	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
$e^{at}$	$\frac{1}{s-a}$
$t^n e^{at} ; n = 1, 2, \dots$	$\frac{n!}{(s-a)^{n+1}}$
$\sin at$	$\frac{a}{s^2 + a^2}$
$\cos at$	$\frac{s}{s^2 + a^2}$
$\sinh at$	$\frac{a}{s^2 - a^2}$
$\cosh at$	$\frac{s}{s^2 - a^2}$
$t \sin at$	$\frac{2as}{(s^2 + a^2)^2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 (ต่อ) การแปลงลาปลาซกลับ

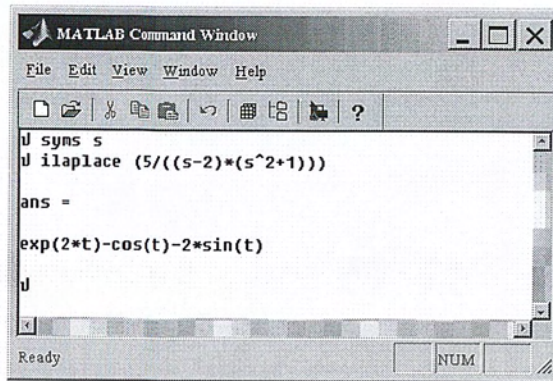
$F(t) = L^{-1}\{F(s)\}$	$F(s) = L\{F(t)\}$
$t \cos at$	$\frac{s^2 - a^2}{(s^2 + a^2)^2}$
$t \sinh at$	$\frac{2as}{(s^2 - a^2)^2}$
$t \cosh at$	$\frac{s^2 - a^2}{(s^2 - a^2)^2}$
$e^{at} \sin bt, e^{-at} \sin bt$	$\frac{b}{(s-a)^2 + b^2}, \frac{b}{(s+a)^2 + b^2}$
$e^{at} \cos bt, e^{-at} \cos bt$	$\frac{s-a}{(s-a)^2 + b^2}, \frac{s+a}{(s+a)^2 + b^2}$
$e^{at} \sinh bt$	$\frac{b}{(s-a)^2 - b^2}$
$e^{at} \cosh bt$	$\frac{s-a}{(s-a)^2 - b^2}$

ตารางที่ 2.12 คำสั่งใน MATLAB ที่ใช้แปลงลาปลาซกลับ

คำสั่ง	รายละเอียด
<code>F = ilaplace(L)</code>	การหาผลการแปลงลาปลาซผกผัน เมื่อผลการแปลงลาปลาซ คือ L
<code>F = ilaplace(L,y)</code>	การหาผลการแปลงลาปลาซผกผัน เมื่อผลการแปลงลาปลาซ คือ L โดยที่จะแทนค่า y ด้วยค่าของ t
<code>F = ilaplace(L,y,x)</code>	การหาผลการแปลงลาปลาซผกผัน เมื่อผลการแปลงลาปลาซ คือ L และอินทิกรัลคอนเวอร์จด้วยค่าของ y โดยจะแทน x ด้วยค่าของ t

การกำหนดค่าตัวแปร symbolic ด้วยคำสั่ง `syms` แล้วใช้คำสั่งฟังก์ชัน `ilaplace` ในการหาค่าผลการแปลงลาปลาซผกผันทำได้ดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
[Icons]
>
> syms s
> ilaplace (5/((s-2)*(s^2+1)))
ans =
exp(2*t)-cos(t)-2*sin(t)
>
Ready NUM

```

รูปที่ 2.14 การใช้ MATLAB แปลงลาปลาซกลับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

การออกแบบและการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB นี้เป็นโปรแกรมสื่อการสอน เน้นทางด้านกราฟิก สี สัน ความสวยงาม และเทคนิคในการสื่อความหมายเข้าใจง่าย สะดวกและรวดเร็ว จึงต้องมีองค์ประกอบด้านเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและสร้างให้มีคุณภาพตามขั้นตอนของการออกแบบที่มีแนวคิดแปลกใหม่ ทันสมัยและถูกต้องรวมทั้งเทคนิคในการสร้างโดยการใช้โปรแกรม Authorware Version 6.5 ซึ่งภายในของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB จะประกอบด้วย ทฤษฎีทางเดินราก การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนเวลา การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่และตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบควบคุม

#### 3.1 เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการสร้าง

##### 3.1.1 ทางด้านฮาร์ดแวร์

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium 100 ขึ้นไป
- 2) หน่วยความจำ 128 เมกะไบต์ ขึ้นไป
- 3) ฮาร์ดดิสก์ 20 กิกะไบต์ ขึ้นไป
- 4) เม้าส์
- 5) คีย์บอร์ด
- 6) สแกนเนอร์
- 7) ไมโครโฟน
- 8) การ์ดเสียง

##### 3.1.2 ทางด้านซอฟต์แวร์

- 1) Windows ME
- 2) Authorware Version 6.5
- 3) MATLAB Version 5.3
- 4) Visio 2002
- 5) Lotus screen cam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) Goldwave

7) Microsoft Word

## 3.2 การออกแบบบทเรียน

ขั้นตอนการออกแบบประกอบด้วย การศึกษาและวิเคราะห์เนื้อหา, การสร้างสตอรี่บอร์ด (Story board) ของบทเรียนและการสร้างบทเรียน ซึ่งจะได้อีกกล่าวดังต่อไปนี้

### 3.2.1 การศึกษาและวิเคราะห์เนื้อหา

1) รวบรวมเนื้อหา เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB  
 2) ศึกษาเนื้อหา เรื่อง การวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB โดยสามารถแบ่งเนื้อหาได้ดังนี้

2.1) ทฤษฎีทางเดินราก

2.2) การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนเวลา

2.3) การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่

2.4) ตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบควบคุม

### 3.2.2 การเลือกโปรแกรม

การเลือกโปรแกรมเพื่อใช้สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีรายละเอียดดังนี้

1) ใช้ Window ME เป็นระบบปฏิบัติการ

2) ใช้โปรแกรม Authorware 6.5 ในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

3) ใช้ MATLAB ในการอธิบายการใช้งานเครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินราก

4) ใช้โปรแกรม Adobe Photoshop 7.0 ในการสร้างไตเติ้ลหน้าเมนูหลัก ไตเติ้ลหน้า

หลักและไอคอนต่าง ๆ

5) ใช้โปรแกรม Visio 2002 ในการสร้างภาพเกี่ยวกับเนื้อหา

6) ใช้โปรแกรม Lotus screen cam ในการควบคุมการแสดง Video

7) ใช้โปรแกรม Goldwave ในการอัดเสียงคำบรรยายประกอบ


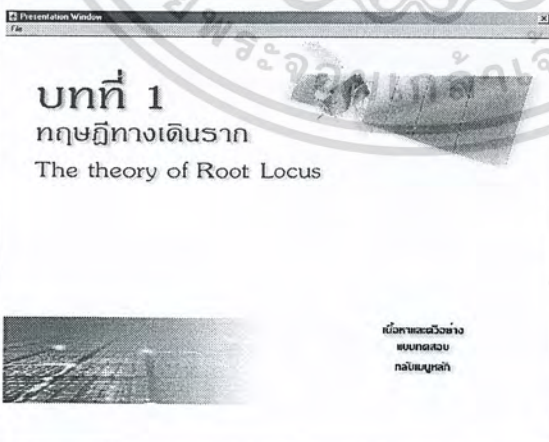
8) ใช้โปรแกรม Microsoft Word ในการสร้างตัวอักษรและสมการคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การสร้างสตอรี่บอร์ดของบทเรียน

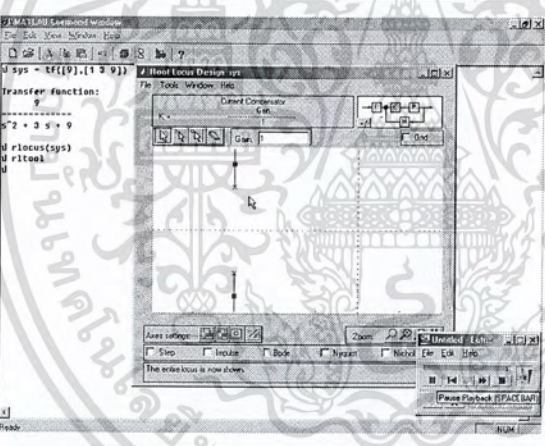
สตอรี่บอร์ด หมายถึง เรื่องราวของบทเรียนที่ประกอบด้วยเนื้อหาที่แบ่งเป็นเฟรมๆ ตามรูปแบบการนำเสนอ โดยร่างเป็นแต่ละเฟรมย่อยๆ เรียงลำดับตั้งแต่เฟรมที่ 1 จนถึงเฟรมสุดท้ายของแต่ละหัวข้อและเป็นตัวกำหนดระบุลักษณะของภาพและเสียงประกอบที่ใช้ในแต่ละเฟรมการสร้างสตอรี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB สามารถทำได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สตอรี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

รูปที่	ภาพ	คำบรรยาย
1		<ul style="list-style-type: none"> <li>- แสดงหน้าจอเมนูหลัก</li> <li>- เมื่อเริ่มเข้าสู่บทเรียน</li> <li>- คอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง</li> <li>- การใช้เครื่องมือวิเคราะห์</li> <li>- ทางเดินรากใน MATLAB</li> <li>- มีเสียงบรรยายประกอบ</li> </ul>
2		<ul style="list-style-type: none"> <li>- จากหน้าจอเมนูหลัก เมื่อ</li> <li>- เลือกหัวข้อ ทฤษฎีทางเดิน</li> <li>- ราก จะเข้าสู่บทที่ 1</li> <li>- แสดงหน้าจอหลักบทที่1</li> <li>- มีเสียงบรรยายประกอบ</li> </ul>

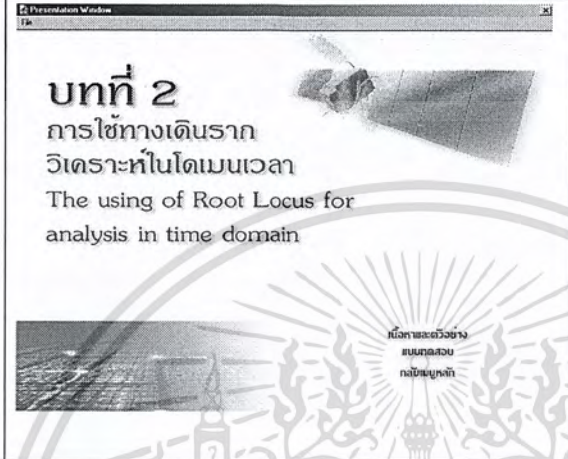
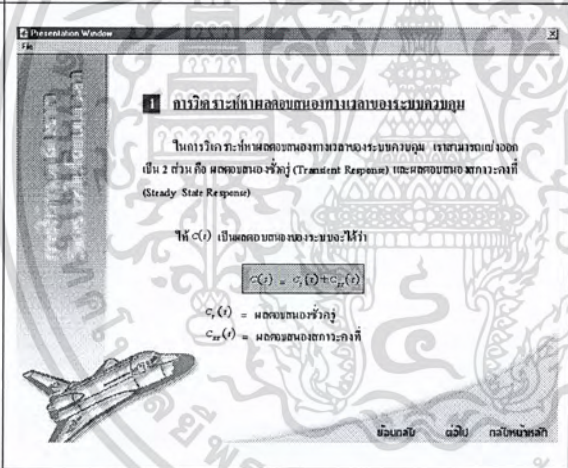
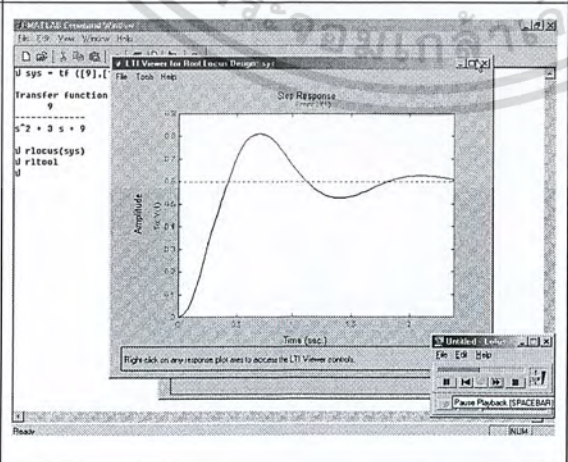
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สตอรี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

รูปที่	ภาพ	คำบรรยาย
3		<p>- เมื่อเลือกหัวข้อเนื้อหาและตัวอย่างจะแสดงหน้าจอเนื้อหาบทที่ 1</p> <p>- แสดงเนื้อหาบทที่ 1</p> <p>- มีเสียงบรรยายประกอบ</p>
4		<p>- เมื่อแสดงเนื้อหาบทที่ 1 จนครบจะแสดงตัวอย่างการใช้งานเครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB ในบทที่ 1 ซึ่งเป็นโปรแกรม Lotus screen cam ต่อไป</p>
5		<p>- เมื่อเลือกหัวข้อแบบทดสอบจะแสดงหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 1 ซึ่งมีแบบทดสอบทั้งหมด 7 ข้อ</p> <p>- มีเสียงบรรยายประกอบ</p>

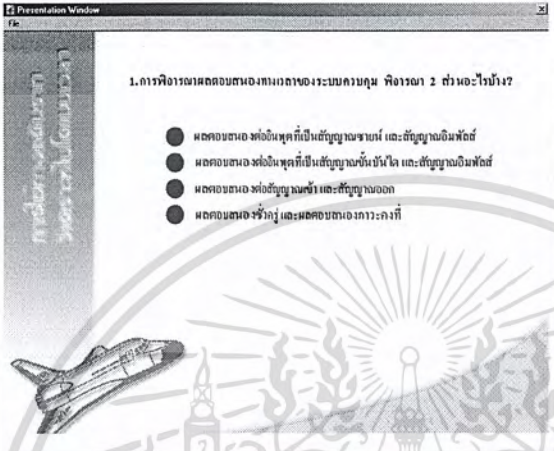

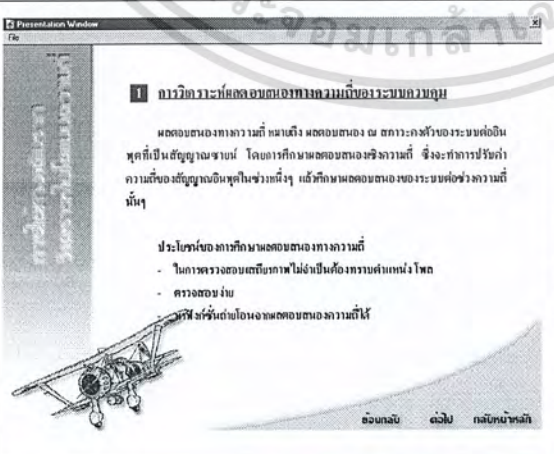
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สตอร์รี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

รูปที่	ภาพ	คำบรรยาย
6		<ul style="list-style-type: none"> <li>- จากหน้าจอเมนูหลัก เมื่อเลือกหัวข้อ การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนเวลา จะเข้าสู่บทที่ 2</li> <li>- แสดงหน้าจอหลักบทที่ 2</li> <li>- มีเสียงบรรยายประกอบ</li> </ul>
7		<ul style="list-style-type: none"> <li>- เมื่อเลือกหัวข้อเนื้อหาและตัวอย่างจะแสดงหน้าจอเนื้อหาบทที่ 2</li> <li>- แสดงเนื้อหาบทที่ 2</li> <li>- มีเสียงบรรยายประกอบ</li> </ul>
8		<ul style="list-style-type: none"> <li>- เมื่อแสดงเนื้อหาบทที่ 2 จบครบจะแสดงตัวอย่างการใช้งานเครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB ในบทที่ 2 ซึ่งเป็นโปรแกรม Lotus screen cam ต่อไป</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สตอรี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

รูปที่	ภาพ	คำบรรยาย
9	 <p>1.การพิจารณาเสถียรภาพของทางเดินรากของระบบควบคุม พิจารณา 2 ส่วนอะไรบ้าง?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● แสดงสถานะของโหนดที่เป็นสัญญาณขาเข้า และสัญญาณอินพุต</li> <li>● แสดงสถานะของโหนดที่เป็นสัญญาณขาเข้า โดเมน และสัญญาณอินพุต</li> <li>● แสดงสถานะของสัญญาณขาเข้า และสัญญาณออก</li> <li>● แสดงสถานะของโหนด และแสดงสถานะของโหนด</li> </ul>	<p>- เมื่อเลือกหัวข้อ แบบทดสอบจะแสดงหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 2 ซึ่งมีแบบทดสอบทั้งหมด 6 ข้อ</p> <p>- มีเสียงบรรยายประกอบ</p>
10	 <p><b>บทที่ 3</b> การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ The using of Root Locus for analysis in frequency domain</p>	<p>-จากหน้าจอเมนูหลัก เมื่อเลือกหัวข้อ การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่จะเข้าสู่บทที่ 3</p> <p>- แสดงหน้าจอหลักบทที่ 3</p> <p>- มีเสียงบรรยายประกอบ</p>
11	 <p><b>1</b> การวิเคราะห์เสถียรภาพของทางเดินรากของระบบควบคุม</p> <p>แสดงสถานะของทางเดินรากที่ หนึ่ง แสดงสถานะของ ๗ สถานะของทางเดินรากที่หนึ่ง เป็นสัญญาณขาเข้า โดเมนที่หนึ่งแสดงสถานะของทางเดินรากที่หนึ่ง ซึ่งจะทำการปรับค่าความถี่ของสัญญาณขาเข้าในวงจรรวม แล้วก็แสดงสถานะของทางเดินรากที่หนึ่ง</p> <p>ประโยชน์ของการวิเคราะห์เสถียรภาพของทางเดินรากที่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ในการตรวจสอบเสถียรภาพไม่จำเป็นต้องทราบตำแหน่งโหนด</li> <li>- ตรวจสอบง่าย</li> <li>- ใช้ทำนายแนวโน้มของเสถียรภาพของทางเดินรากได้</li> </ul>	<p>- เมื่อเลือกหัวข้อเนื้อหาและตัวอย่างจะแสดงหน้าจอเนื้อหาบทที่ 3</p> <p>- แสดงเนื้อหาบทที่ 3</p> <p>- มีเสียงบรรยายประกอบ</p>


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สตอรี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

รูปที่	ภาพ	คำบรรยาย
12		<p>- เมื่อแสดงเนื้อหาบทที่ 3 จนครบจะแสดงตัวอย่างการใช้งานเครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB ในบทที่ 3 ซึ่งเป็นโปรแกรม Lotus screen cam ต่อไป</p>
13		<p>- เมื่อเลือกหัวข้อแบบทดสอบจะแสดงหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 3 ซึ่งมีแบบทดสอบทั้งหมด 5 ข้อ</p> <p>- มีเสียงบรรยายประกอบ</p>
14		<p>- จากหน้าจอเมนูหลัก เมื่อเลือกหัวข้อ ตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบควบคุม จะเข้าสู่บทที่ 4</p> <p>- แสดงหน้าจอหลักบทที่ 4</p> <p>- มีเสียงบรรยายประกอบ</p>

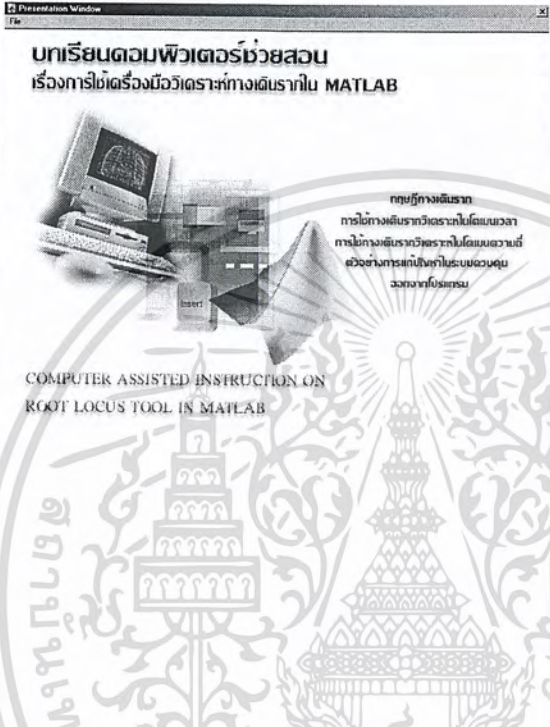
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สตอรี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

รูปที่	ภาพ	คำบรรยาย
15		<ul style="list-style-type: none"> <li>- เมื่อเลือกหัวข้อเนื้อหาและตัวอย่างจะแสดงหน้าจอเนื้อหาบทที่ 4</li> <li>- แสดงเนื้อหาบทที่ 4</li> <li>- มีเสียงบรรยายประกอบ</li> </ul>
16		<ul style="list-style-type: none"> <li>- เมื่อแสดงเนื้อหาบทที่ 4 จนครบจะแสดงตัวอย่างการใช้งานเครื่องมือวิเคราะห์ทางรากใน MATLAB ในบทที่ 4 ซึ่งเป็นโปรแกรม Lotus screen cam ต่อไป</li> </ul>
17		<ul style="list-style-type: none"> <li>- เมื่อเลือกหัวข้อแบบทดสอบจะแสดงหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 4 ซึ่งมีแบบทดสอบทั้งหมด 5 ข้อ</li> <li>- มีเสียงบรรยายประกอบ</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) สตอรี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

รูปที่	ภาพ	คำบรรยาย
18		<p>- เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้ไปที่หน้าจอหลักของแต่ละบทและเลือกหัวข้อ กลับเมนูหลักจะปรากฏหน้าจอเมนูหลักขึ้น</p> <p>- แสดงหน้าจอเมนูหลัก</p> <p>เมื่อต้องการออกจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB ให้เลือกหัวข้อออกจากโปรแกรม</p>

### 3.3 การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Courseware Construction)

การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้จะดำเนินการตามสตอรี่บอร์ดที่วางไว้ทั้งหมด นับตั้งแต่การออกแบบเฟรมเปล่าหน้าจอ การกำหนดสีที่ใช้งานจริง รูปแบบของตัวอักษรที่ใช้ ขนาดของตัวอักษร สีพื้นและสีของตัวอักษรและข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งรวมไปถึงการสร้างภาพ การสร้างเสียง การสร้างเงื่อนไขของบทเรียน และการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาแต่ละเฟรมแต่ละหัวข้อ

ในการจัดสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB นี้มีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

- 1) ศึกษาหลักสูตร เนื้อหารายวิชาและเอกสารต่างๆ
- 2) วิเคราะห์เนื้อหา กำหนดวัตถุประสงค์ทั่วไปและกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) นำเนื้อหา วัตถุประสงค์ทั่วไปและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเสนออาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ผู้ประเมินเนื้อหาตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขจนกว่าจะเหมาะสม

4) ร่างเค้าโครงเรื่องและสร้างสตอรี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

5) นำเค้าโครงเรื่องที่สร้างเสร็จแล้วและสตอรี่บอร์ดของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเสนอ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขจนกว่าจะเหมาะสม

6) สร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามสตอรี่บอร์ดที่วางไว้ โดยการใช้เครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและการสร้างดังที่กล่าวมาในขั้นต้น

7) นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างเสร็จแล้วเสนออาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขจนกว่าจะเหมาะสม

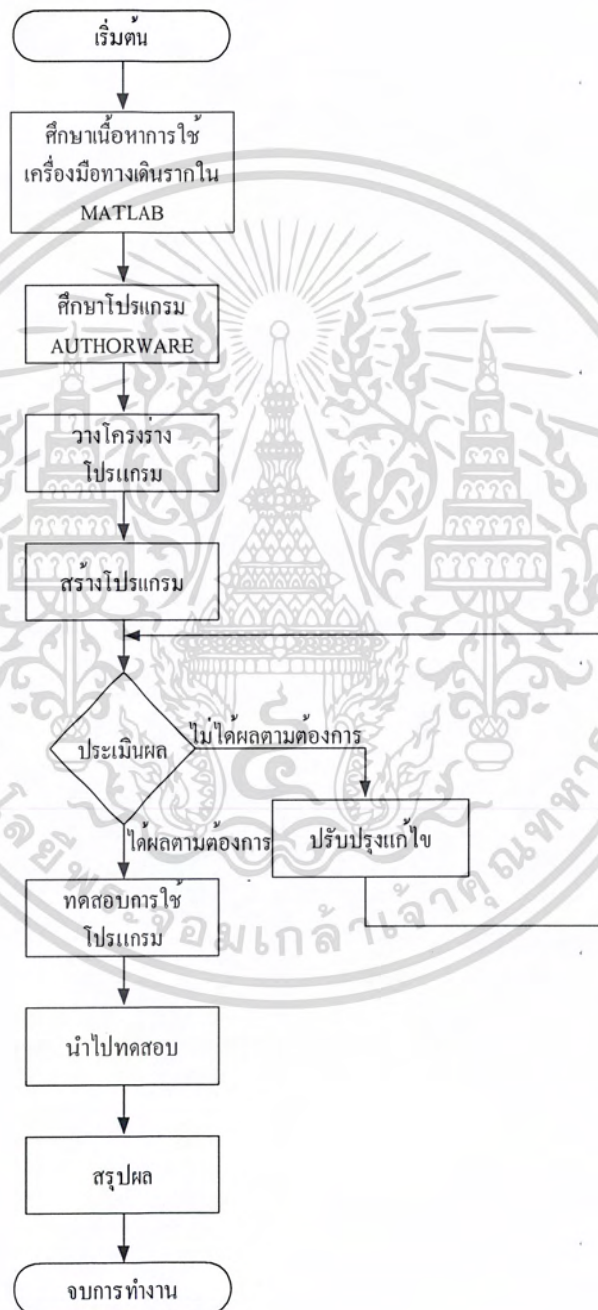
8) นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างเสร็จแล้ว เสนอผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมและประเมินคุณภาพของบทเรียน ซึ่งแบ่งออกเป็นสองด้าน คือ ด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

9) ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ โดยปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

10) นำผลที่ได้จากการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อมาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนว่าอยู่ในระดับใด

### 3.4 ขั้นตอนการออกแบบและการเขียนโปรแกรม

#### 3.4.1 ขั้นตอนการออกแบบ

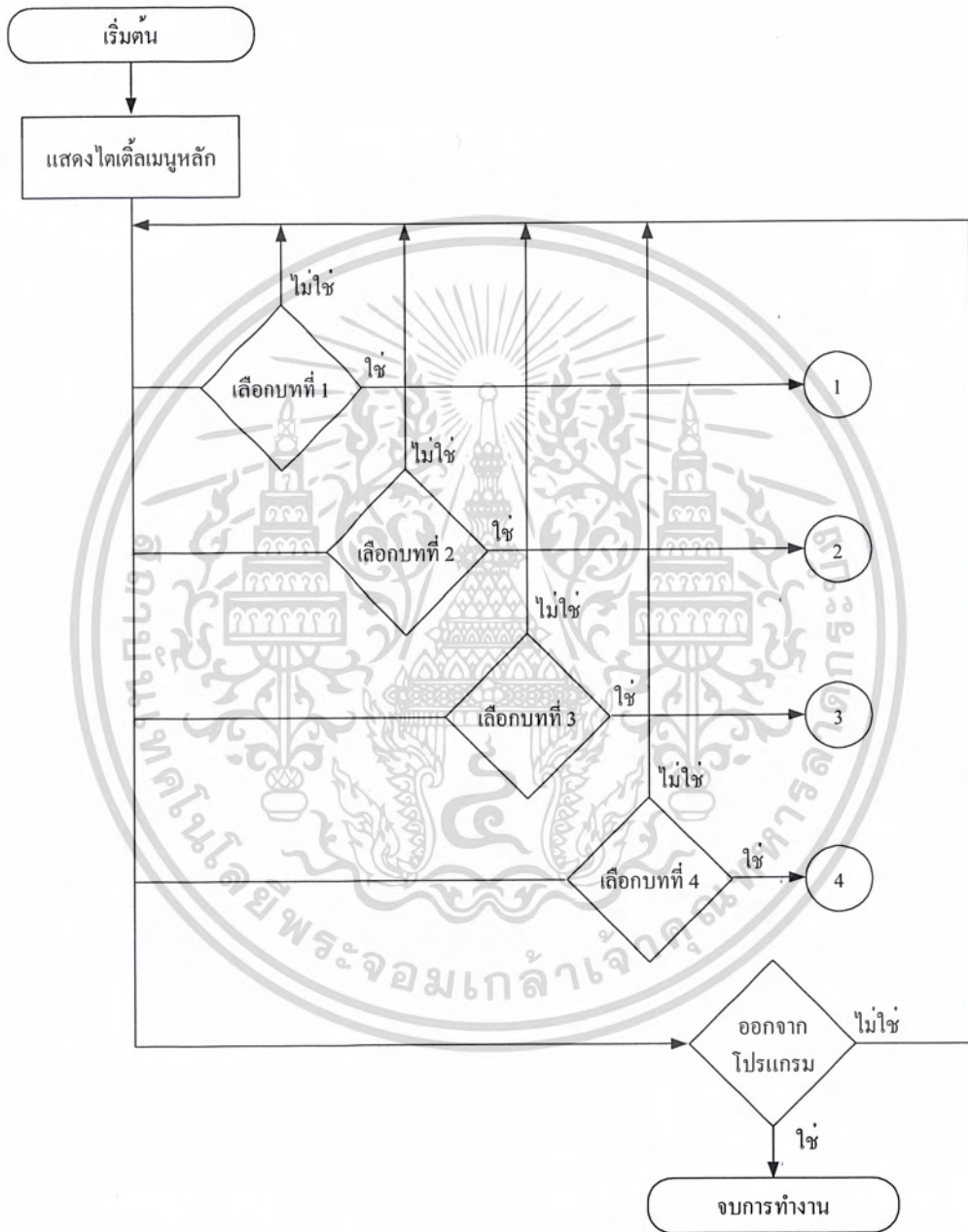


รูปที่ 3.1 ผังงานการออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 โครงสร้างของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

โครงสร้างของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีการทำงานดังรูปที่ 3.2

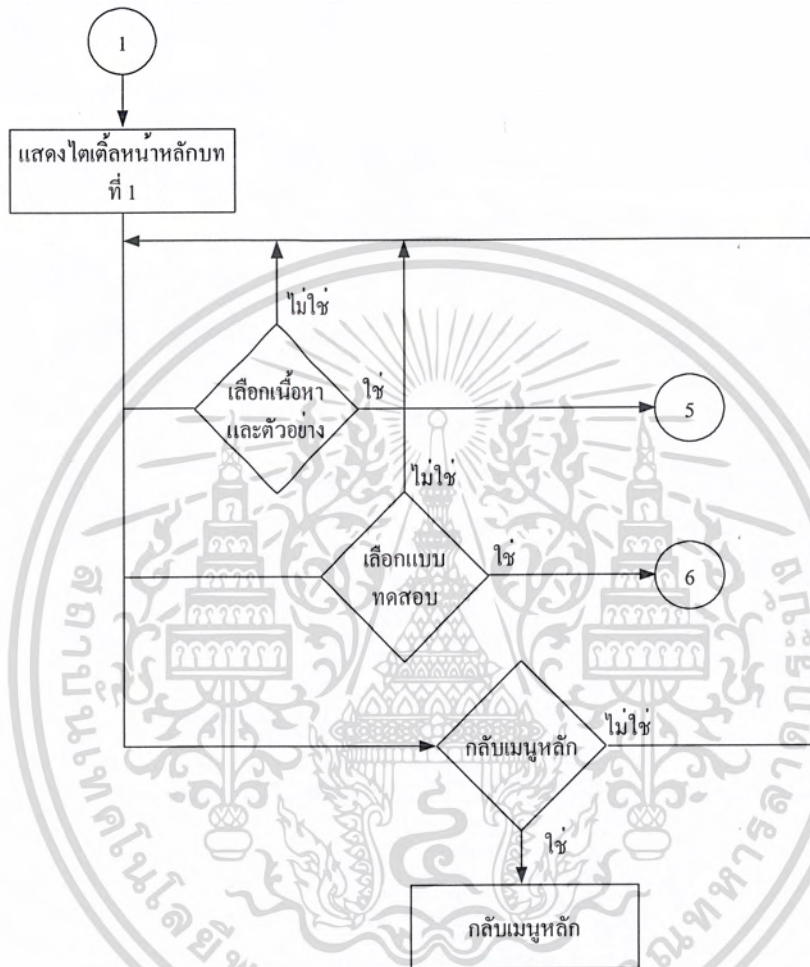


รูปที่ 3.2 โครงสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 แผนผังการทำงานของหน้าหลักบทที่ 1

หน้าหลักบทที่ 1 มีการทำงานดังรูปที่ 3.3

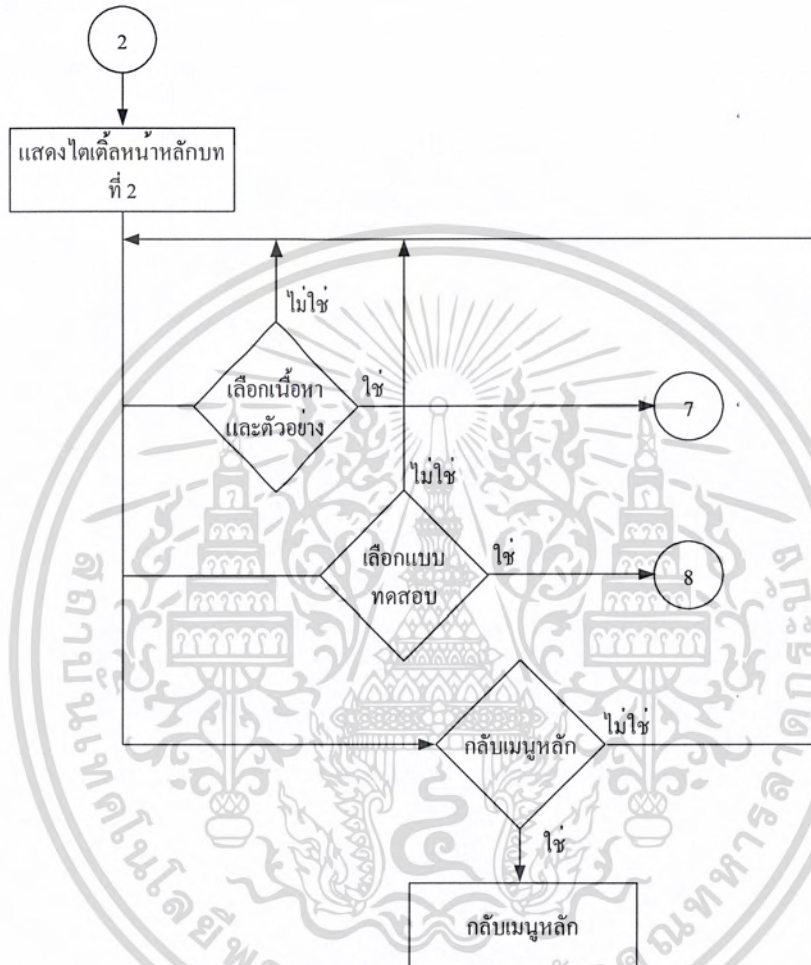


รูปที่ 3.3 แผนผังหน้าหลักบทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.4 แผนผังการทำงานของหน้าหลักบทที่ 2

หน้าหลักบทที่ 2 มีการทำงานดังรูปที่ 3.4

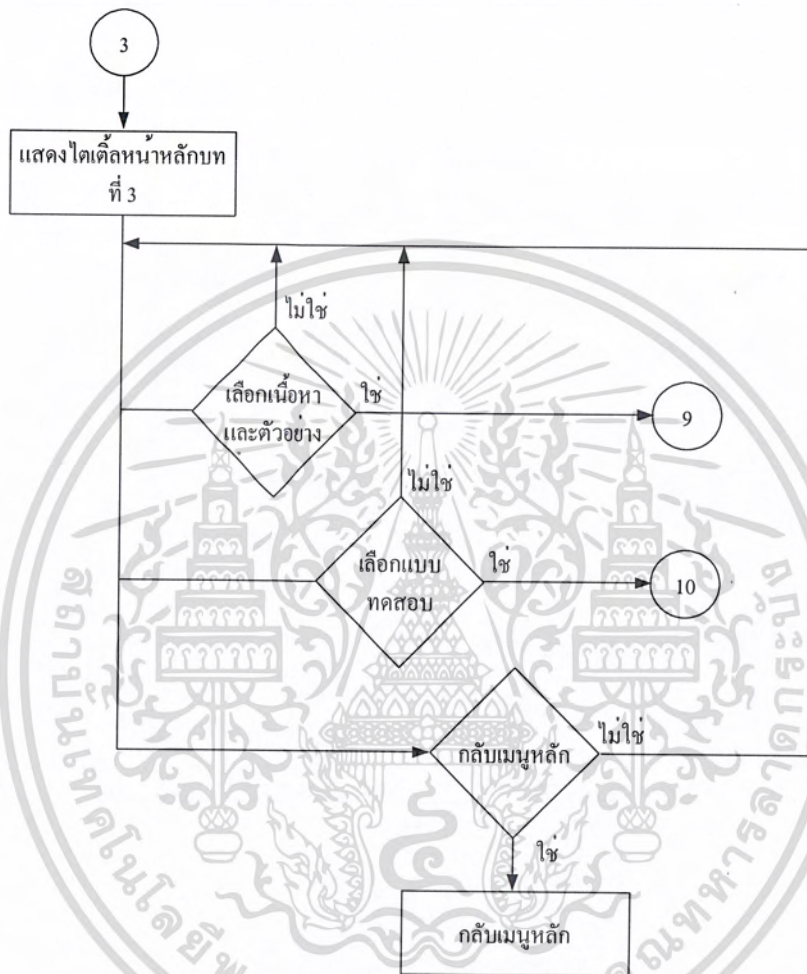


รูปที่ 3.4 แผนผังหน้าหลักบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 แผนผังหน้าการทำงานหลักบทที่ 3

หน้าหลักบทที่ 3 มีการทำงานดังรูปที่ 3.5

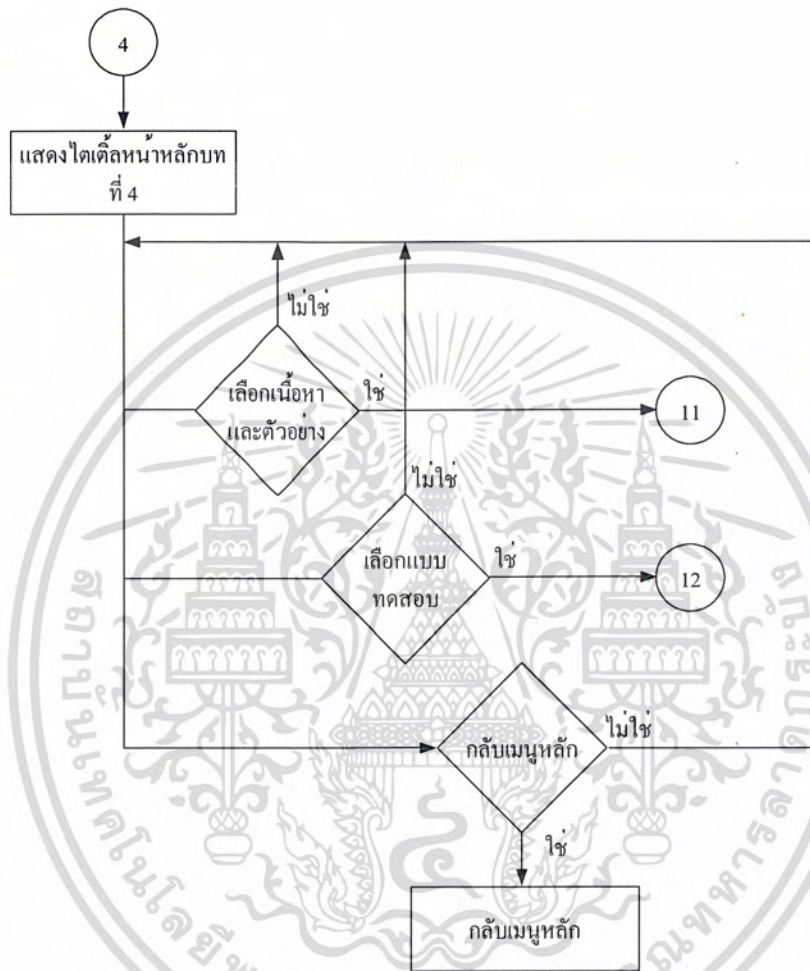


รูปที่ 3.5 แผนผังหน้าหลักบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.6 แผนผังการทำงานของหน้าหลักบทที่ 4

หน้าหลักบทที่ 4 มีการทำงานดังรูปที่ 3.6

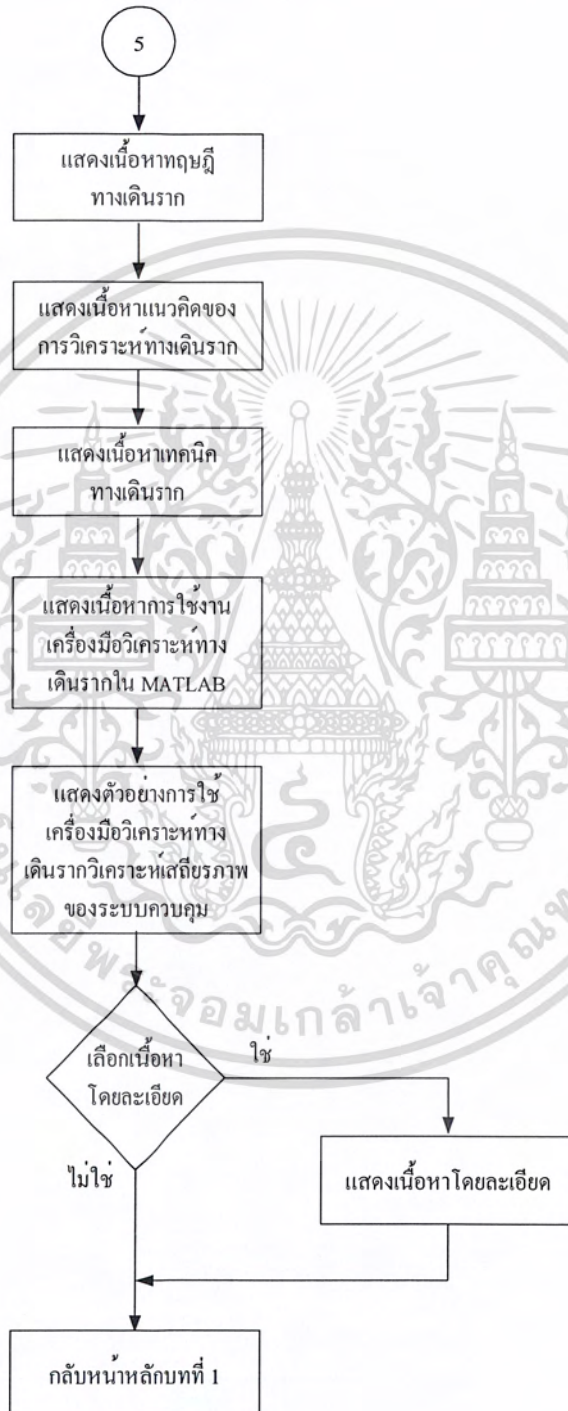


รูปที่ 3.6 แผนผังหน้าหลักบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.7 แผนผังการทำงานของเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 1

เนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 1 มีการทำงานดังรูปที่ 3.7

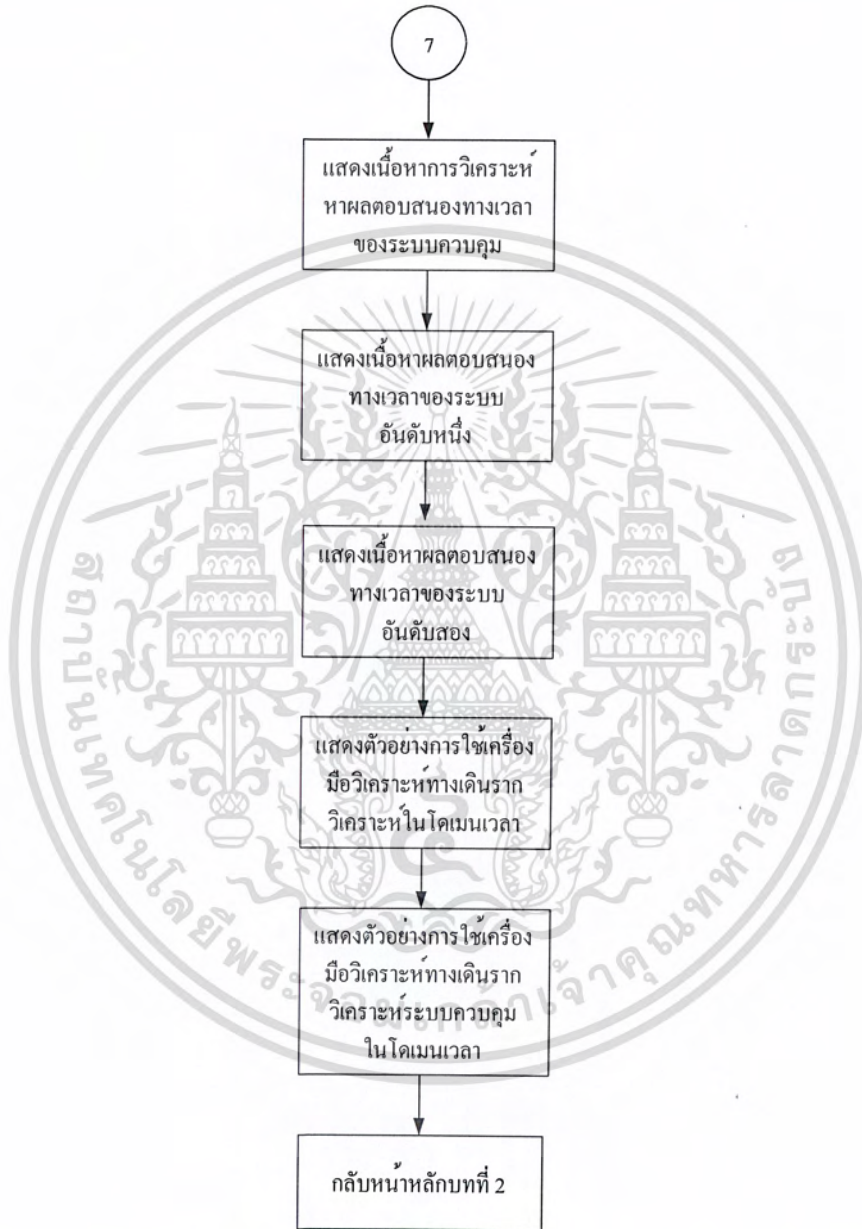


รูปที่ 3.7 แผนผังเนื้อหาและแบบทดสอบบทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.8 แผนผังการทำงานของเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 2

เนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 2 มีการทำงานดังรูปที่ 3.8

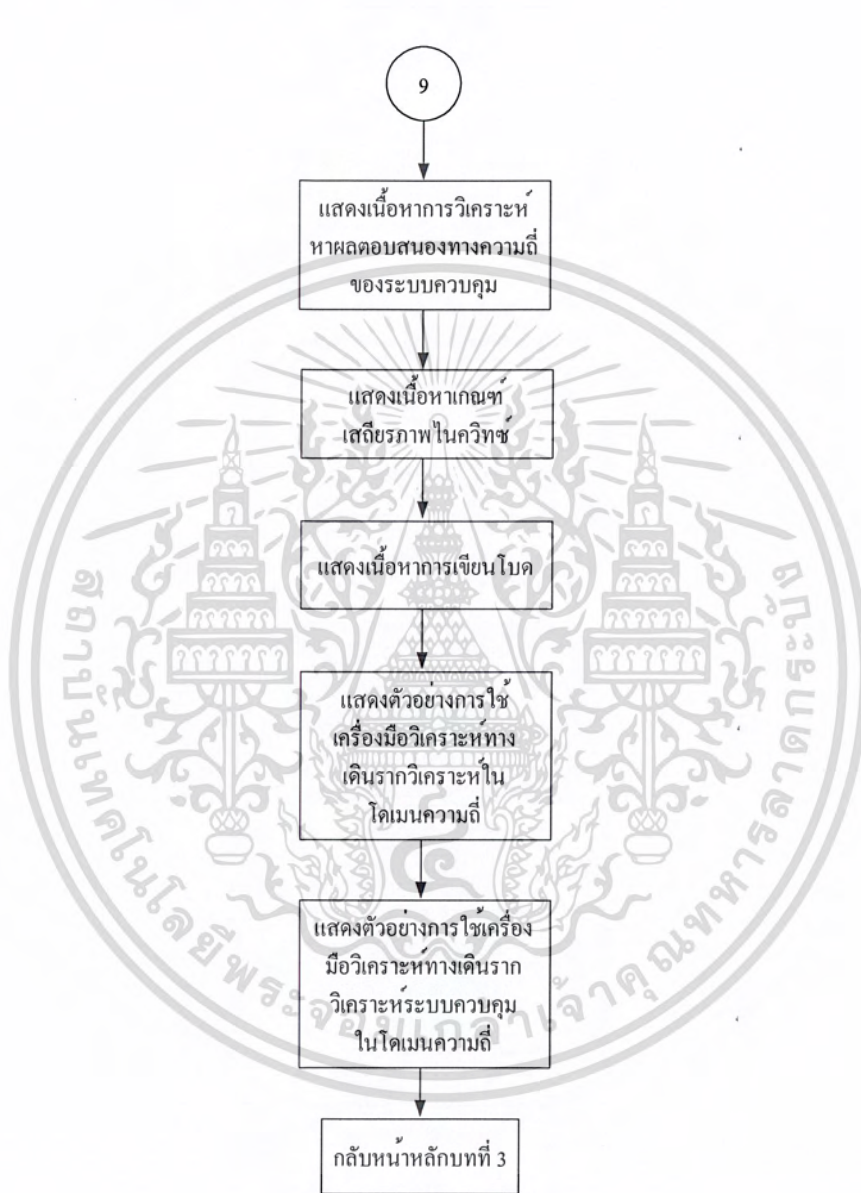


รูปที่ 3.8 แผนผังเนื้อหาและแบบทดสอบบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.9 แผนผังการทำงานของเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 3

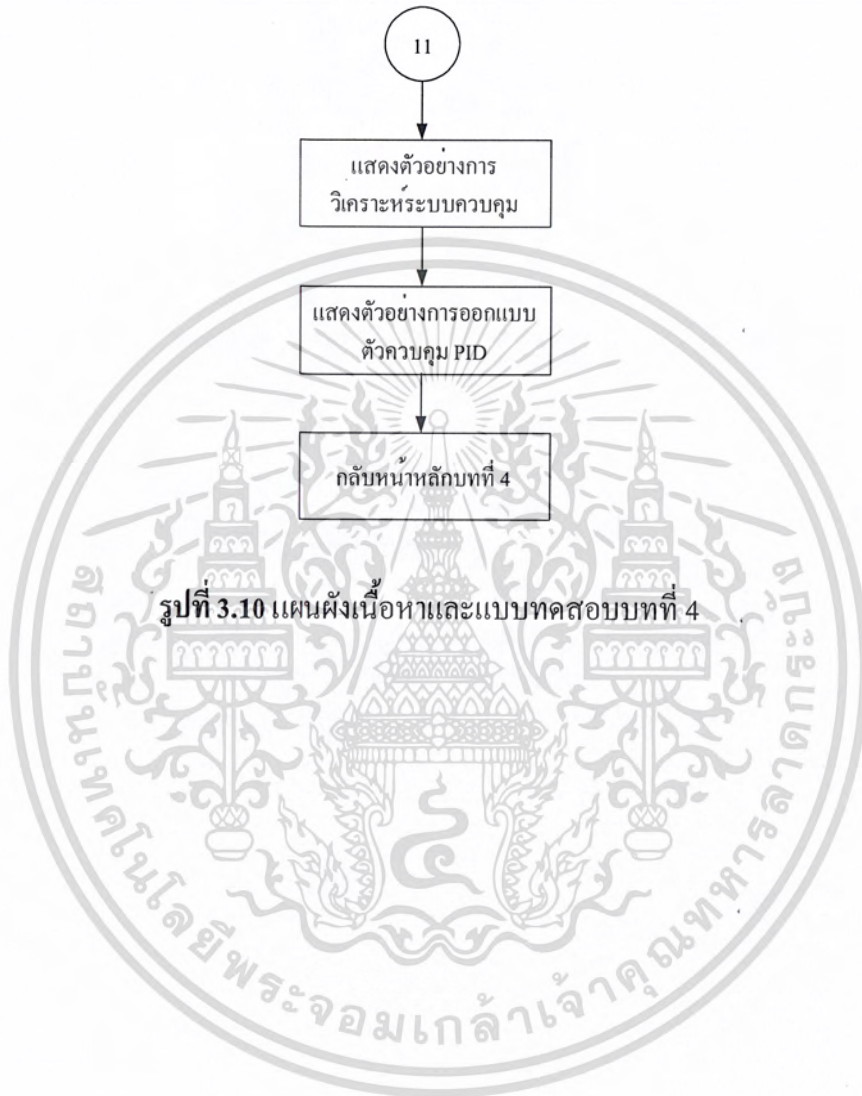
เนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 3 มีการทำงานดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผนผังเนื้อหาและแบบทดสอบบทที่ 3

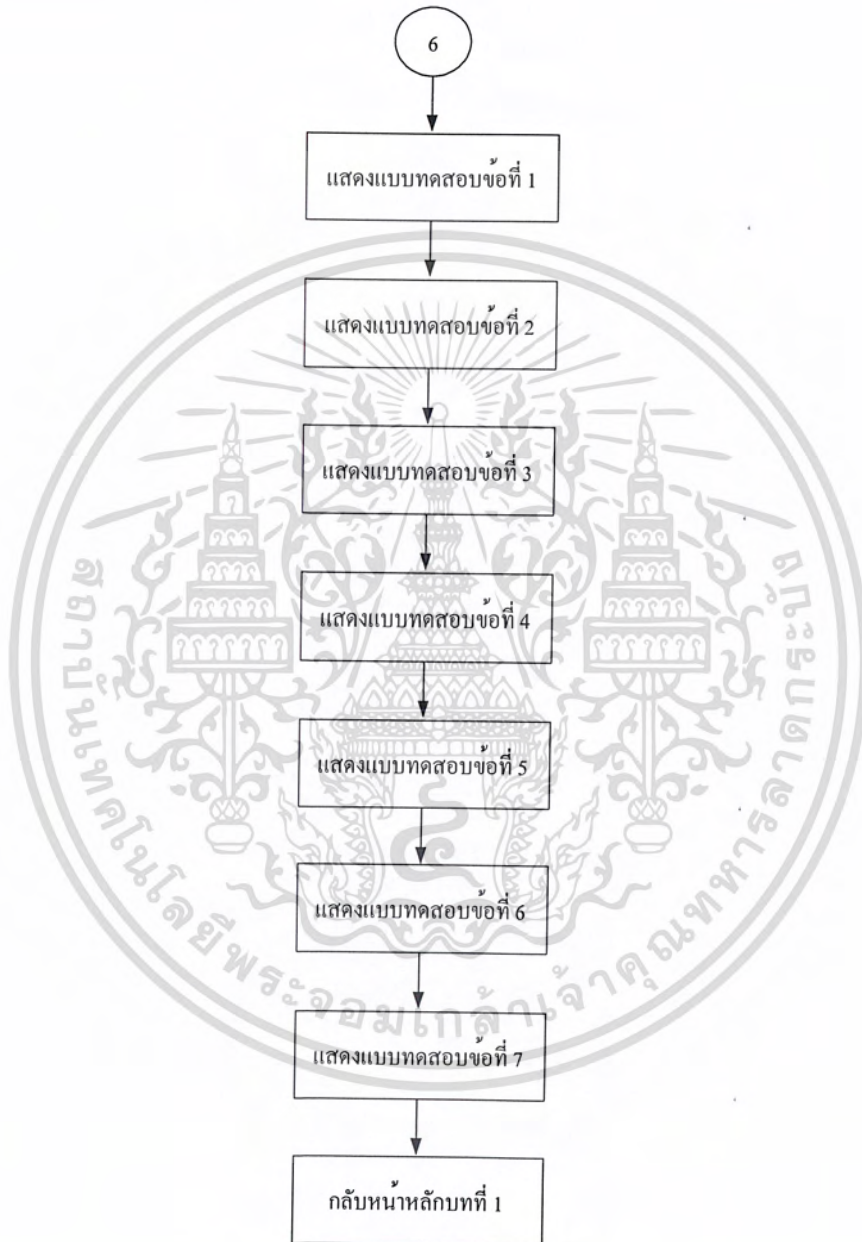
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.10 แผนผังการทำงานของเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 4  
เนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 4 มีการทำงานดังรูปที่ 3.10



### 3.4.11 แผนผังการทำงานของแบบทดสอบบทที่ 1

แบบทดสอบบทที่ 1 มีการทำงานดังรูปที่ 3.11

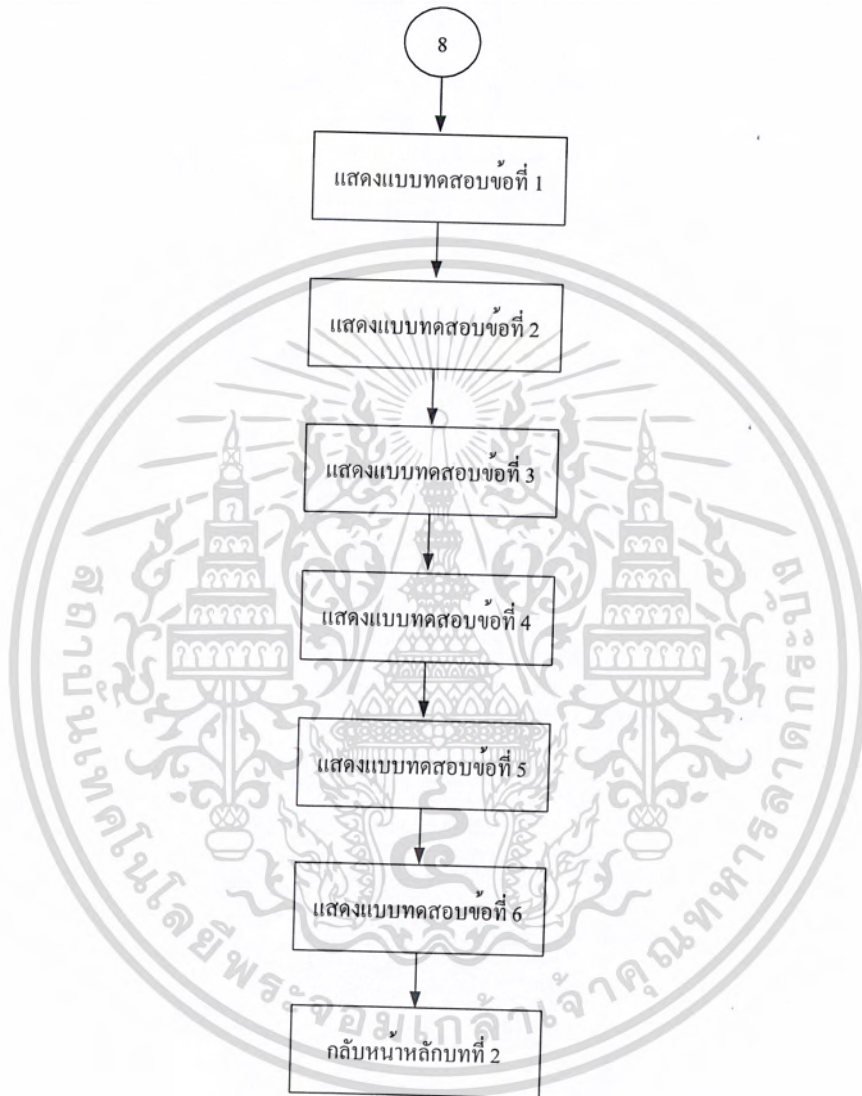


รูปที่ 3.11 แผนผังแบบทดสอบบทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.12 แผนผังการทำงานของแบบทดสอบบทที่ 2

แบบทดสอบบทที่ 2 มีการทำงานดังรูปที่ 3.12

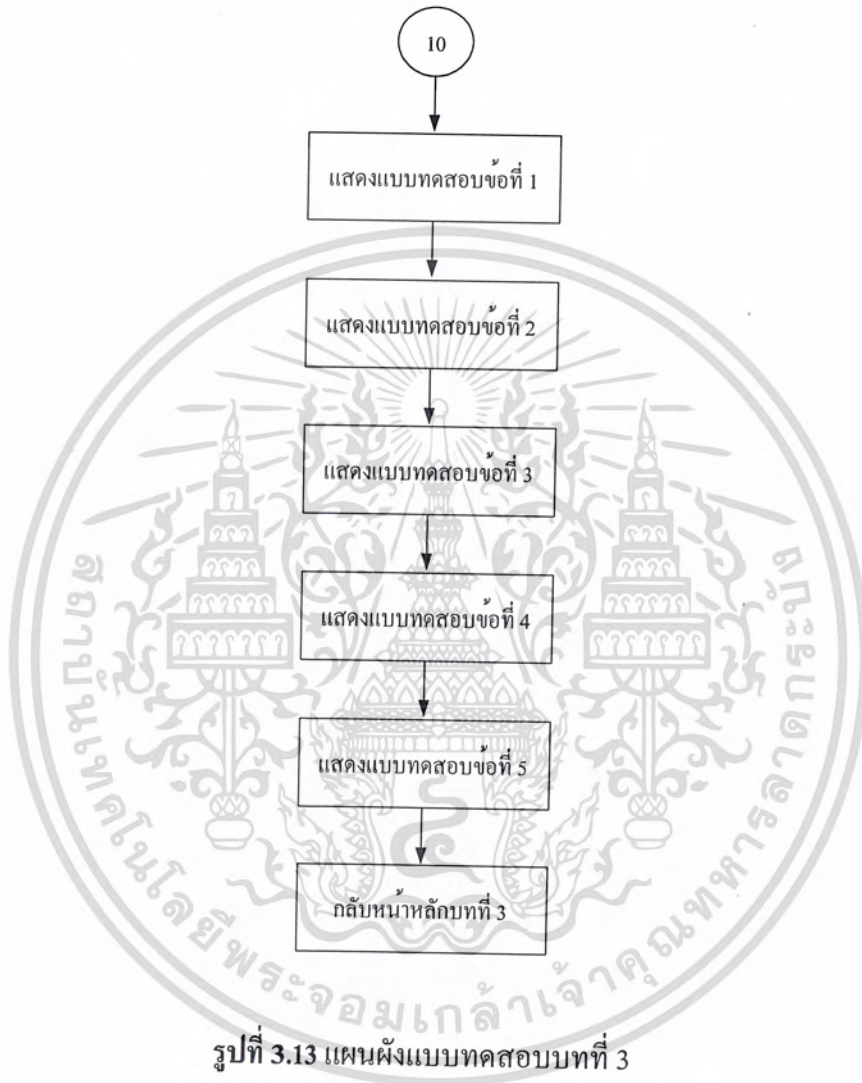


รูปที่ 3.12 แผนผังแบบทดสอบบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.13 แผนผังการทำงานของแบบทดสอบบทที่ 3

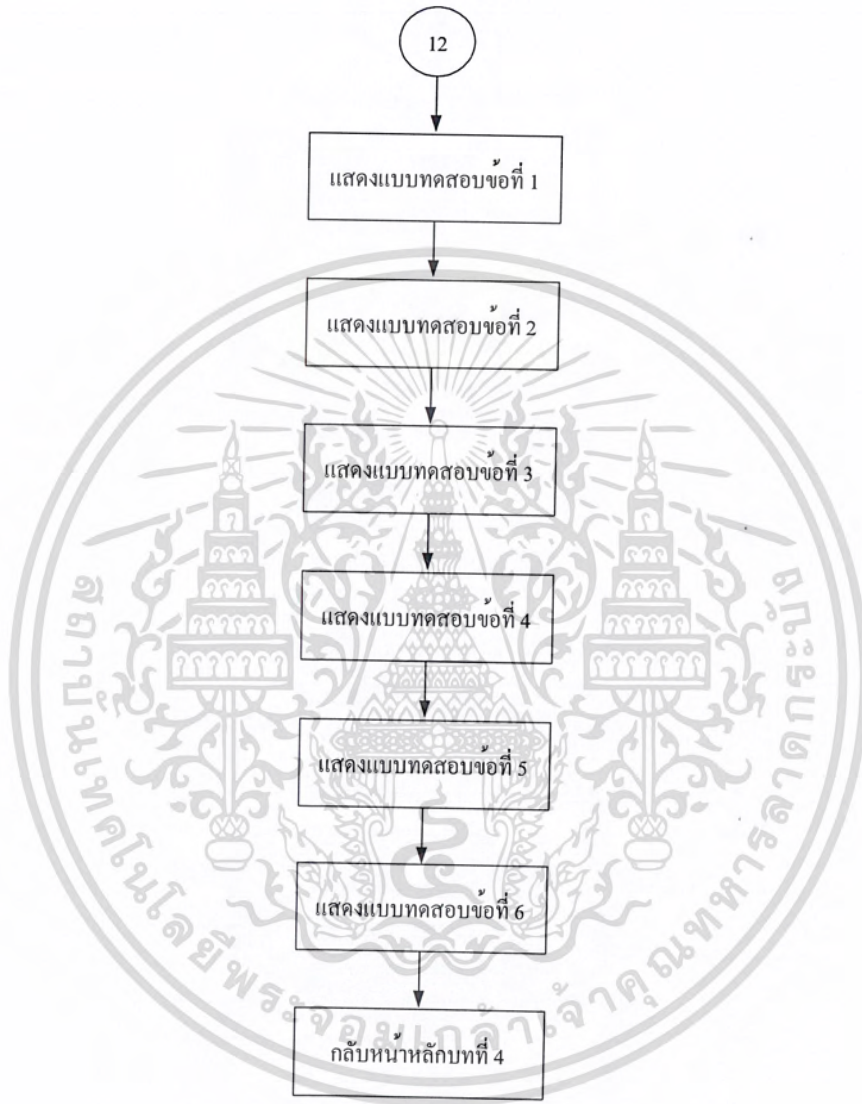
แบบทดสอบบทที่ 3 มีการทำงานดังรูปที่ 3.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.14 แผนผังการทำงานของแบบทดสอบบทที่ 4

แบบทดสอบบทที่ 4 มีการทำงานดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนผังแบบทดสอบบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การสร้างแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

การสร้างแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1) ศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินคุณภาพของบทเรียน

2) กำหนดหัวข้อและสร้างแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยได้แบ่งการประเมินออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา จำนวน 2 หน่วยย่อย หน่วยละ 8 ข้อและด้านเทคนิคการผลิตสื่อ จำนวน 2 หน่วยย่อย หน่วยละ 12 ข้อ โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ในการให้คะแนน โดยมีสูตรและเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

2.1) ระดับความคิดเห็น 5 ระดับ

5 คะแนน คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ดีมาก

4 คะแนน คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ดี

3 คะแนน คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ปานกลาง

2 คะแนน คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ น้อย

1 คะแนน คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ควรปรับปรุง

2.2) เกณฑ์การประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

4.50-5.00 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ดีมาก

3.50-4.49 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ดี

2.50-3.49 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ปานกลาง

1.50-2.49 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ น้อย

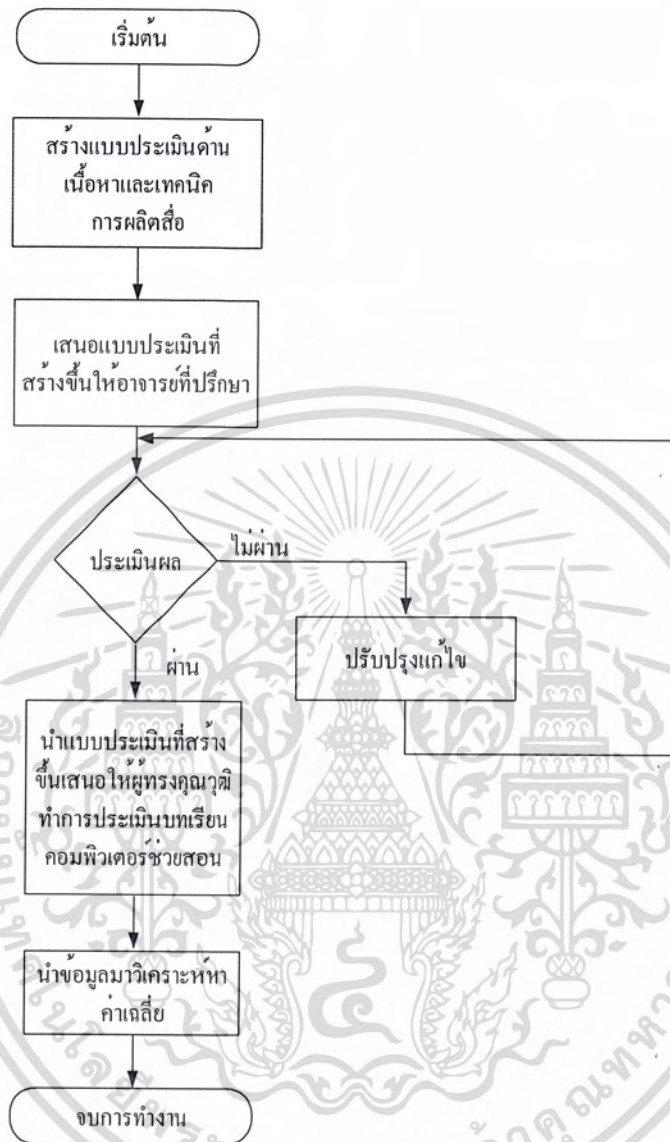
1.00-1.49 คุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนอยู่ในระดับ ควรปรับปรุง

3) นำแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ได้ เสนออาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมตรวจสอบ เพื่อไปปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ

4) ให้ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อทำการประเมิน

5) นำแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ประเมินแล้วมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ซึ่งผลการประเมินแต่ละรายการจะต้องมีค่าเฉลี่ย 3.50 ขึ้นไป จึงจะถือว่ามีความคุณภาพ แต่ถ้าผลการประเมินต่ำกว่า 3.50 ก็ต้องทำการแก้ไขในส่วนที่บกพร่องเพื่อให้มีคุณภาพที่เหมาะสม

ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

บทนี้เป็นการกล่าวถึงผลการทดลองในการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB และสามารถหาคุณภาพของตัวบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินผลทั้งด้านเนื้อหาและเทคนิคการผลิตสื่อ

#### 4.2 ผลการทดลอง

การทดลองการทำงานของ โปรแกรม มีผลการทดลองในแต่ละขั้นตอนดังนี้

##### 4.2.1 เริ่มต้นการใช้โปรแกรม

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนั้น เมื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรม จะแสดงหน้าจอเมนูหลัก ดังรูปที่ 4.1



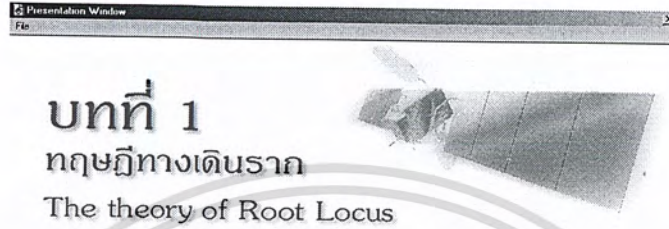
รูปที่ 4.1 หน้าจอเมนูหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 การเลือกรายละเอียดของเมนูในหน้าจอหลัก

เมื่อทำการคลิกเลือกเมนูในหน้าจอหลัก ซึ่งมีการทำงานดังนี้

- 1) เมื่อเลือกบทที่ 1 ทฤษฎีทางเดินรากจะปรากฏหน้าจอหลักบทที่ 1 ดังรูปที่ 4.2



เมื่อกาและตัวอย่าง  
แบบทดสอบ  
กลับเมนูหลัก

รูปที่ 4.2 หน้าจอหลักบทที่ 1

- 2) เมื่อเลือกบทที่ 2 การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนเวลา จะปรากฏหน้าจอหลักบทที่ 2 ดังรูปที่ 4.3



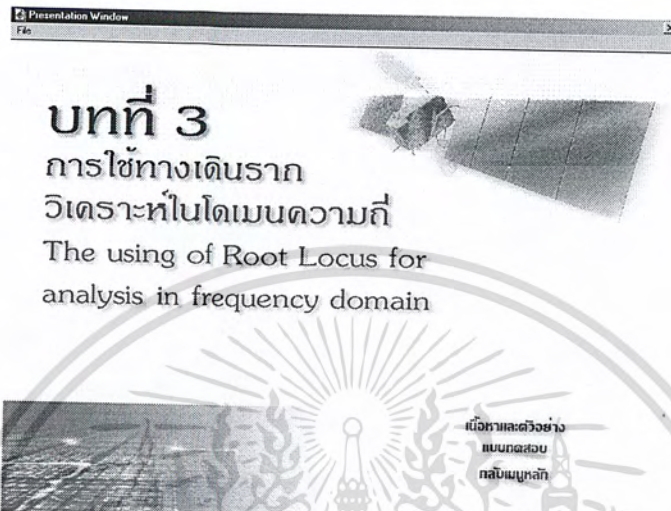
เมื่อกาและตัวอย่าง  
แบบทดสอบ  
กลับเมนูหลัก

เมื่อกาและตัวอย่าง  
แบบทดสอบ  
กลับเมนูหลัก

รูปที่ 4.3 หน้าจอหลักบทที่ 2

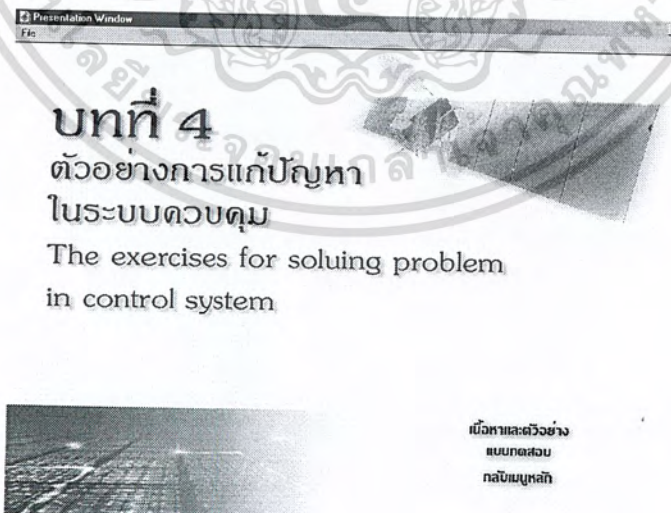
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เมื่อเลือกบทที่ 3 การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ จะปรากฏหน้าจอหลักบทที่ 3 ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 หน้าจอหลักบทที่ 3

4) เมื่อเลือกบทที่ 4 ตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบควบคุม จะปรากฏหน้าจอหลักบทที่ 4 ดังรูปที่ 4.5

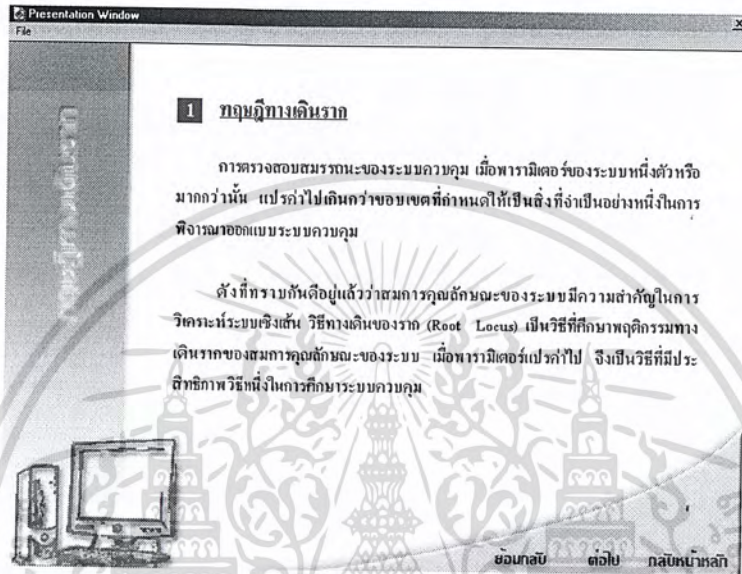


รูปที่ 4.5 หน้าจอหลักบทที่ 4

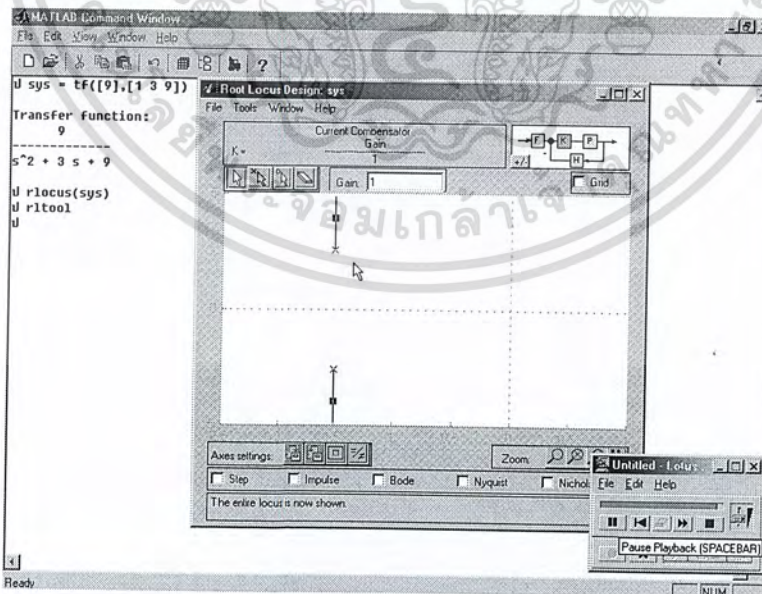
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 การเลือกรายละเอียดของเมนูในหน้าจอหลักบทที่ 1

1) เมื่อเลือกเนื้อหาและตัวอย่าง จะปรากฏหน้าจอเนื้อหาและตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7



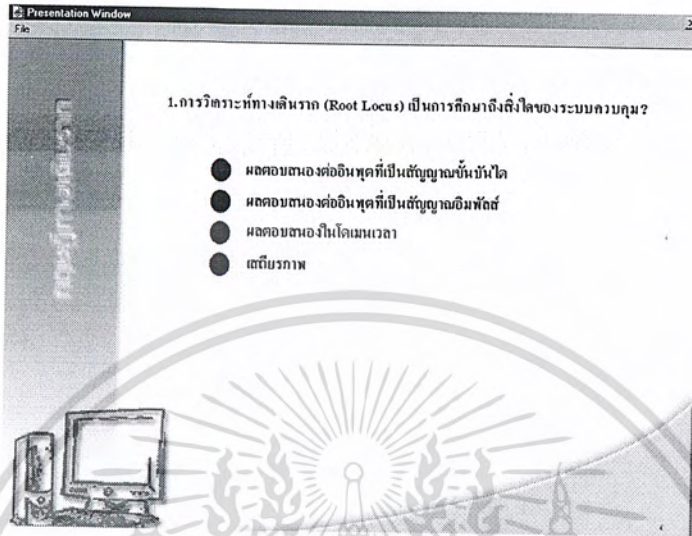
รูปที่ 4.6 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 1



รูปที่ 4.7 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

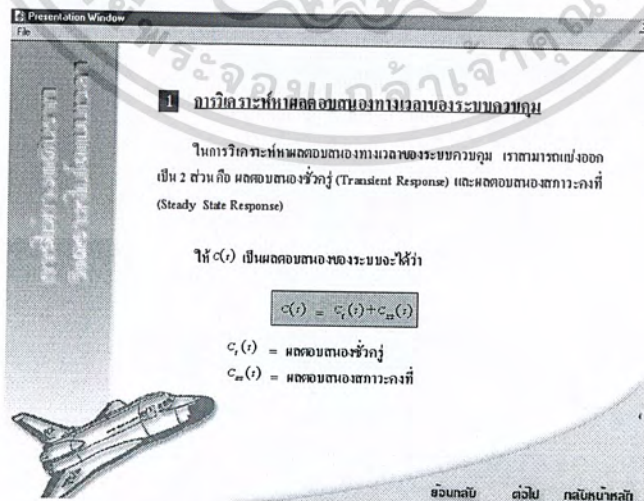
2) เมื่อเลือกแบบทดสอบ จะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 1 ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 1

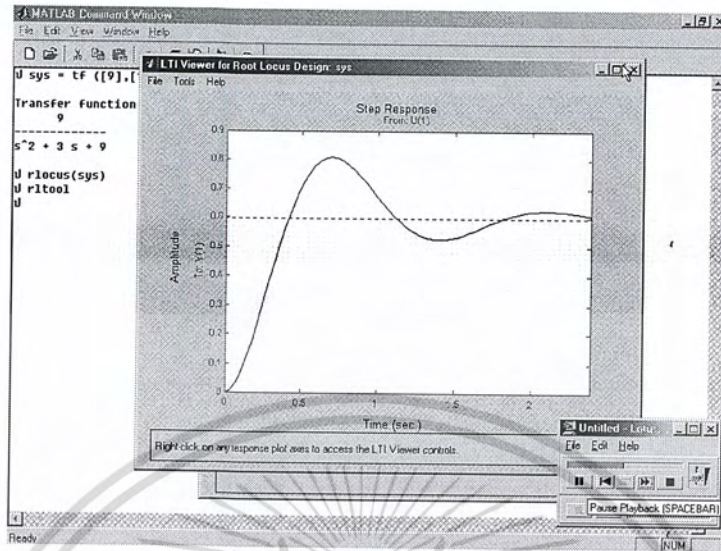
#### 4.2.4 การเลือกรายละเอียดของเมนูในหน้าจอหลักบทที่ 2

1) เมื่อเลือกเนื้อหาและตัวอย่าง จะปรากฏหน้าจอเนื้อหาและตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10



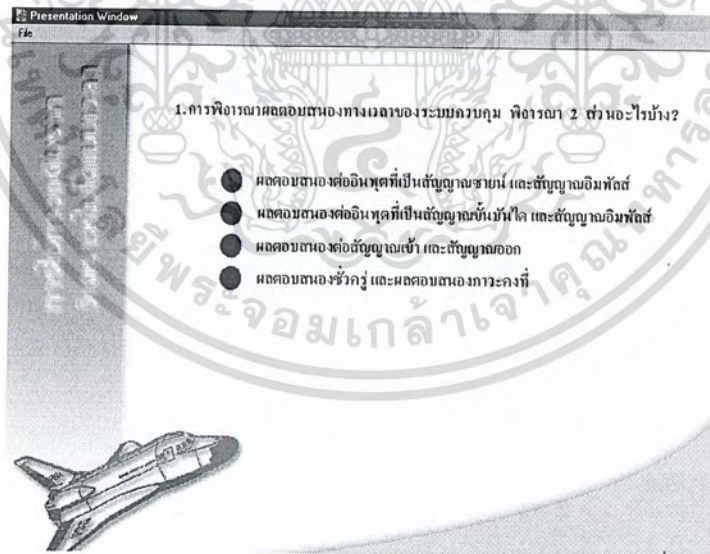
รูปที่ 4.9 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 2

2) เมื่อเลือกแบบทดสอบ จะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 2 ดังรูปที่ 4.11

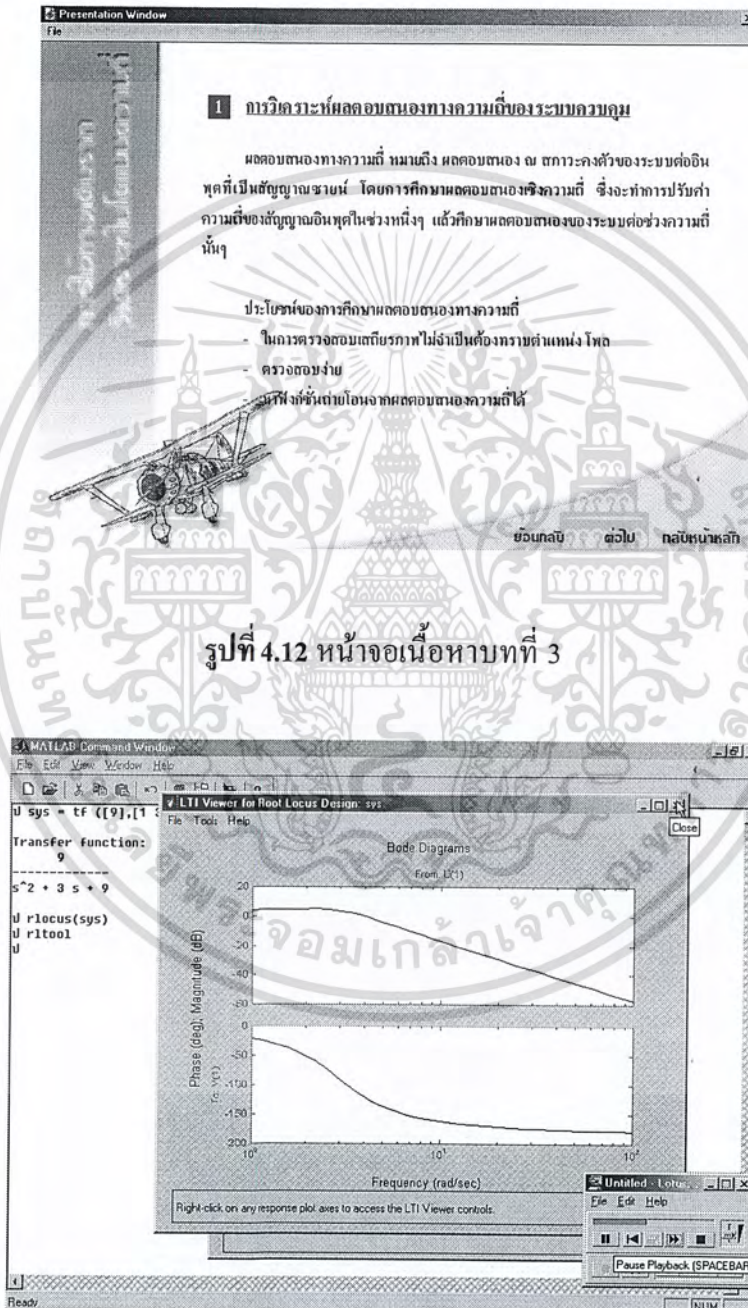


รูปที่ 4.11 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5 การเลือกรายละเอียดของเมนูในหน้าจอหลักบทที่ 3

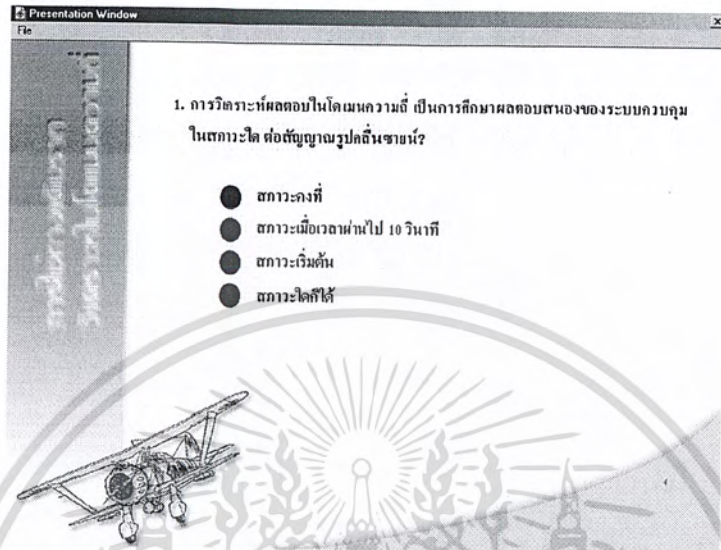
1) เมื่อเลือกเนื้อหาและตัวอย่าง จะปรากฏหน้าจอเนื้อหาและตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

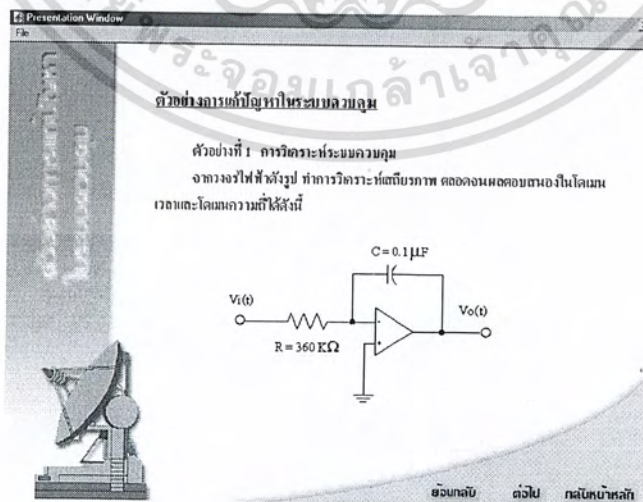
2) เมื่อเลือกแบบทดสอบ จะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 3 ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 3

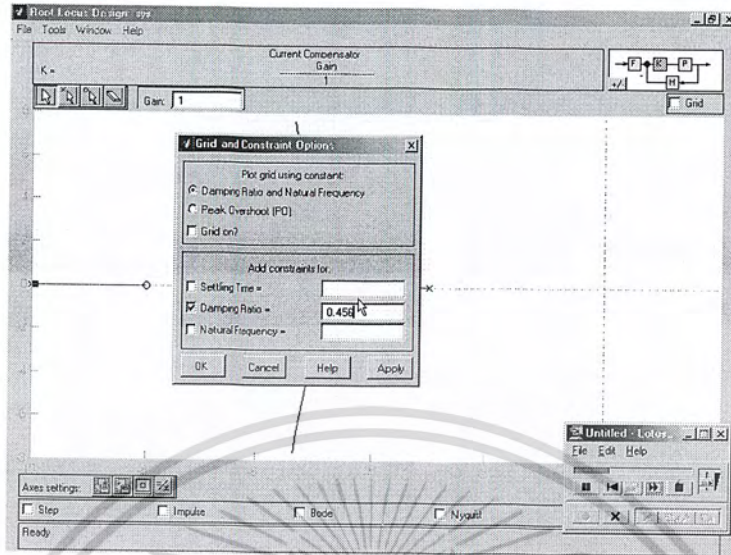
#### 4.2.6 การเลือกรายละเอียดของเมนูในหน้าจอหลักบทที่ 4

1) เมื่อเลือกเนื้อหาและตัวอย่าง จะปรากฏหน้าจอเนื้อหาและตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16



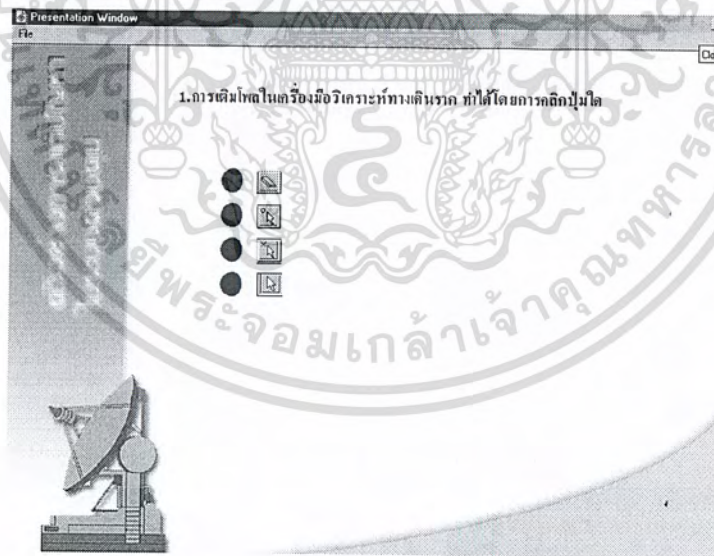
รูปที่ 4.15 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 4

2) เมื่อเลือกแบบทดสอบ จะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 4 ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 วิธีการดำเนินการทดลองหาคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

1. นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นนี้ไปหาคุณภาพของตัวบทเรียน โดยการนำเอาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้ไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินผลทั้งด้านเนื้อหาและด้านการผลิตสื่อ
2. วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ

### 4.4 ผลการหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนทั้งด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

#### 4.4.1 ผลการหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ด้านเนื้อหา

การประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB (ด้านเนื้อหา) ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน โดยประเมินเนื้อหาของแต่ละหัวข้อเรื่องย่อยของบทเรียนที่ใช้ในการเรียนการสอนซึ่งประกอบไปด้วยเรื่อง ทฤษฎีทางเดินราก, การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนเวลา, การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่และตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบควบคุม ซึ่งผลการประเมินดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ด้านเนื้อหา) ในหัวข้อเรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

ด้านที่ประเมิน	$\bar{X}$	ระดับคุณภาพ
1. เนื้อหามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์	4	ดี
2. การแบ่งเนื้อหามีความเหมาะสม	4	ดี
3. ความถูกต้องของเนื้อหา	4	ดี
4. ความเหมาะสมในการจัดลำดับการนำเสนอเนื้อหา	3.66	ดี
5. ความถูกต้องของภาษาที่ใช้	4	ดี
6. ความเหมาะสมของภาพในด้านการสื่อความหมาย	3.66	ดี
7. บทเรียนมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียน	4	ดี
8. บทเรียนสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนทั่วไปได้	4.66	ดีมาก
เฉลี่ยรวม	4	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 ผลการหาคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

การประเมินคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่องการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ) ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน โดยประเมินเทคนิคการผลิตสื่อของแต่ละหัวข้อเรื่องย่อยของบทเรียน ซึ่งประกอบไปด้วย เรื่อง ทฤษฎีทางเดินราก, การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนเวลา, การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่และตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบควบคุม ซึ่งผลการประเมินดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยและระดับคุณภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ) ในหัวข้อ เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

ด้านที่ประเมิน	$\bar{X}$	ระดับคุณภาพ
1. การวางรูปแบบของหน้าจอ	4.33	ดี
2. ความเหมาะสมในการนำเสนอบทเรียน	4.33	ดี
3. ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร	4	ดี
4. ความเหมาะสมของสีตัวอักษรหรือหน้าฉาก	4	ดี
5. ความเหมาะสมของสีพื้นหลัง	4	ดี
6. ความเหมาะสมของเสียงบรรยายความเหมาะสมของเสียงประกอบ	4	ดี
7. ความเหมาะสมของเสียงประกอบ	3.66	ดี
8. ความเหมาะสมของสีของกราฟิก	3.66	ดี
9. ความเหมาะสมของภาพในด้านการสื่อความหมาย	3.33	ปานกลาง
10. ความเหมาะสมของภาพกราฟิก	3.66	ดี
11. บทเรียนมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียน	4	ดี
12. ความสะดวกและการง่ายต่อการใช้โปรแกรม	4	ดี
เฉลี่ยรวม	3.88	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

## บทสรุป

### 5.1 สรุป

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB โดยมีเนื้อหาทั้งหมด 4 บท ประกอบด้วย ทฤษฎีทางเดินราก การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนเวลา การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ ตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบควบคุมซึ่งบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้จะอธิบายเนื้อหาอย่างสรุปและเข้าใจง่าย ตลอดจนมีตัวอย่างอธิบายโดยใช้โปรแกรม Lotus screen cam ซึ่งทำให้เข้าใจง่ายและมองเห็นภาพการใช้งานจริง

### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนนี้ยังมีข้อบกพร่องและปัญหาหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ปัญหา การเขียนโปรแกรม Authorware ต้องใช้เวลาในการศึกษานาน  
แนวทางแก้ไข ต้องพยายามศึกษาโปรแกรม Authorware โดยสื่อการสอนหลายๆ ด้าน เช่น หนังสือ Authorware และบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง Authorware เป็นต้น เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นและเพื่อใช้เวลาในการศึกษาได้รวดเร็วยิ่งขึ้นด้วย
2. ปัญหา การอธิบายการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Authorware ทำได้ยาก  
แนวทางแก้ไข ทำการเชื่อมกับโปรแกรมอื่นๆ เพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจได้ง่ายขึ้น
3. ปัญหา การเขียนสมการคณิตศาสตร์ในโปรแกรม Authorware ทำได้ยาก  
แนวทางแก้ไข ทำการเขียนสมการคณิตศาสตร์ลงในโปรแกรมอื่นแล้วนำมาวางในโปรแกรม Authorware

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ช่วยสอนให้มีเนื้อหาเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ตามต้องการ ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในอนาคต
2. นำโปรแกรมอื่นๆ ที่สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรม Authorware ได้เพื่อทำให้เกิดบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรูปแบบใหม่ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพิ่มความสามารถในการติดต่อกับผู้ใช้ให้มากขึ้น
4. เพิ่มลูกเล่นและสีสัน เพื่อดึงดูดความสนใจของผู้ใช้ให้มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

สุมาลี อุณหวนิชย์. ระบบควบคุม (Control System). กรุงเทพฯ : บริษัท ว.เพ็ชรกุล จำกัด. 2545  
 วีระพนธ์ คำดี. เทคนิคการใช้งานมัลติมีเดียอย่างมืออาชีพ (AUTHORWARE6 WORKSHOP).

กรุงเทพฯ : บริษัท ชัคเซส มีเดีย จำกัด. 2544

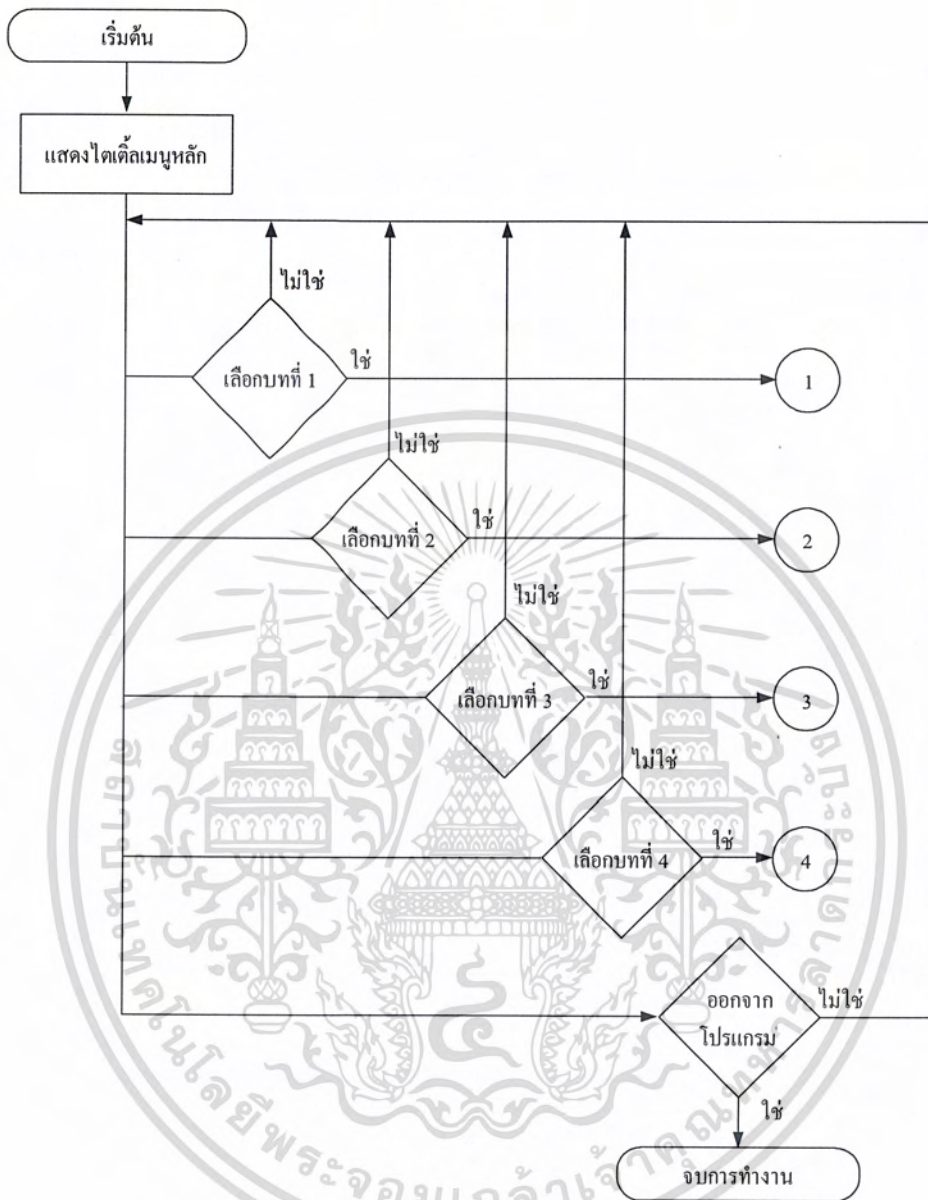
มานิตย์ กิ่งรัมย์. ตัวอย่างงาน AUTHORWARE. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ Bluesoft. 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

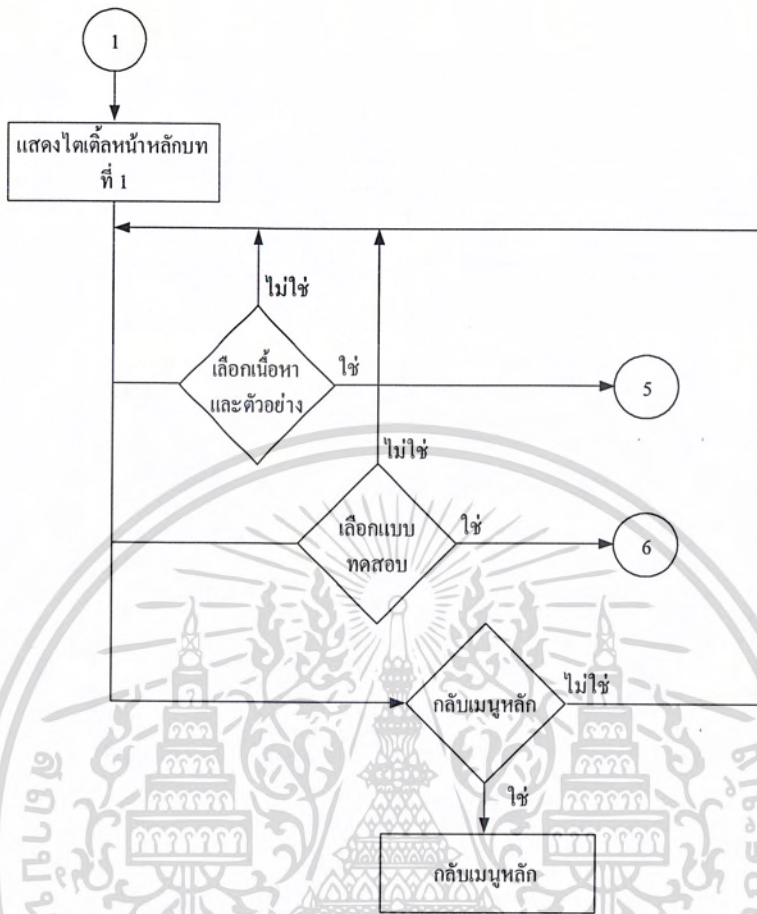


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



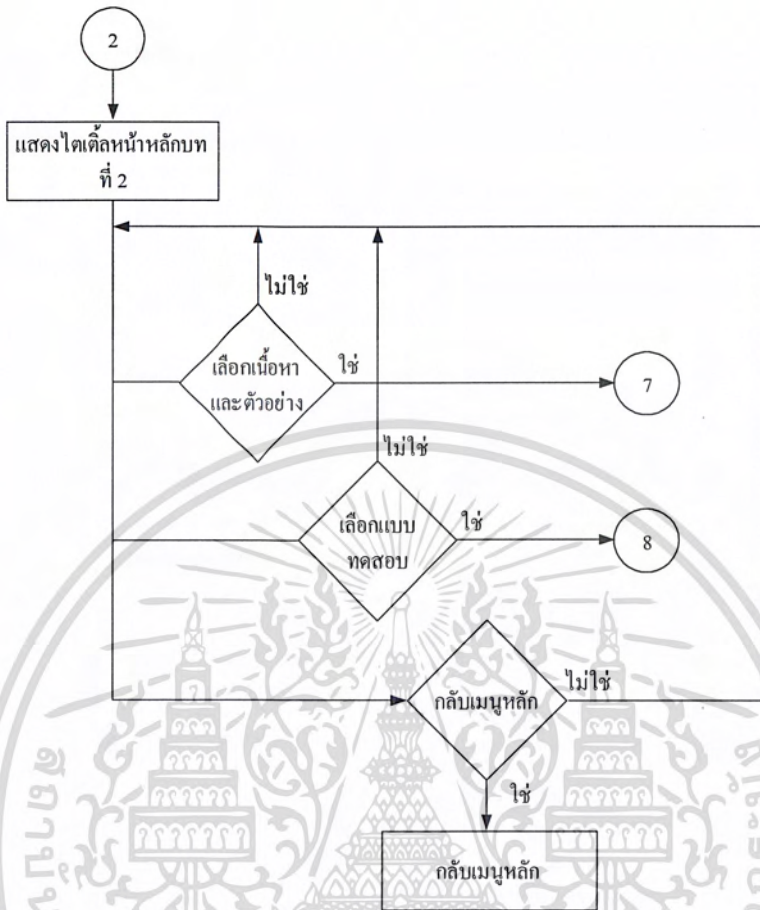
รูปที่ ก.1 ผังงานการทำงานของเมนูหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



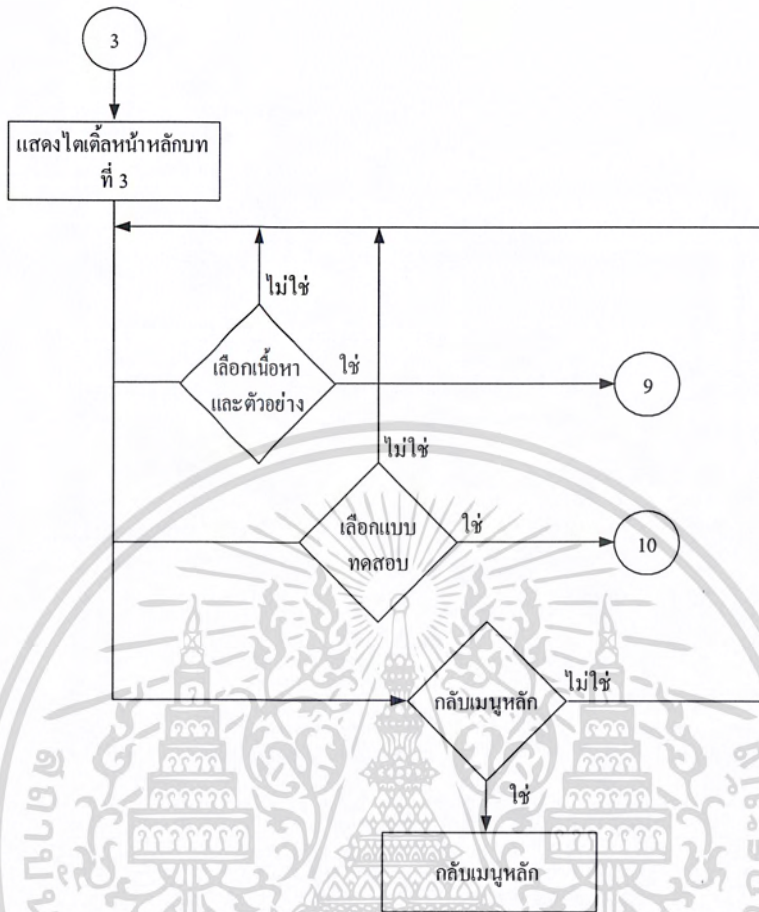
รูปที่ ก.2 ผังงานทำงานหน้าหลักทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



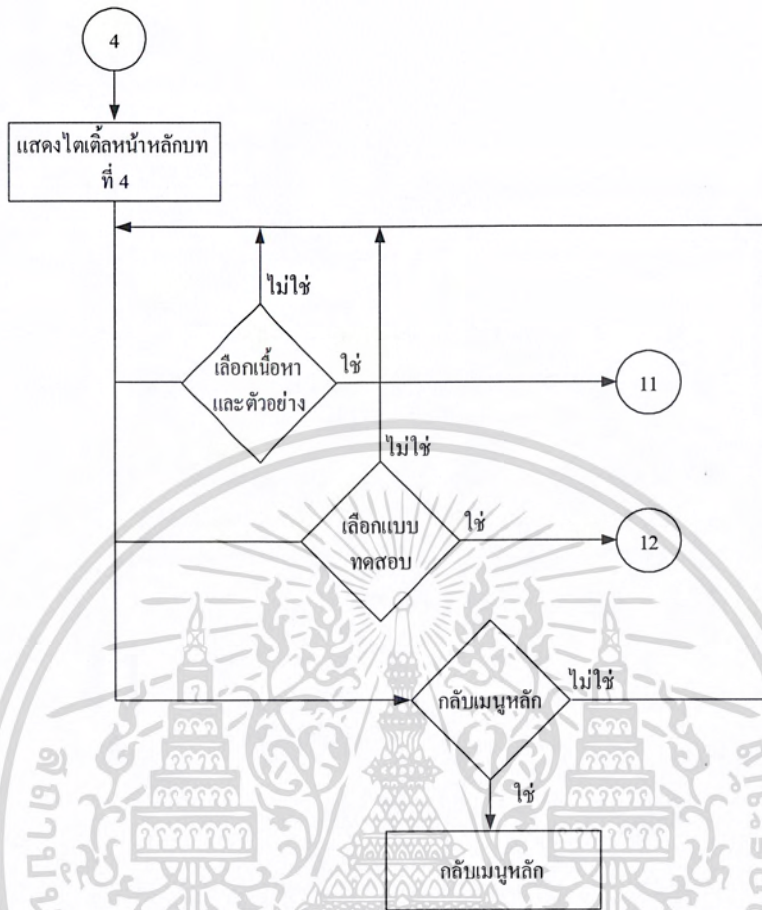
รูปที่ ก.3 ผังงานทำงานหน้าหลักทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



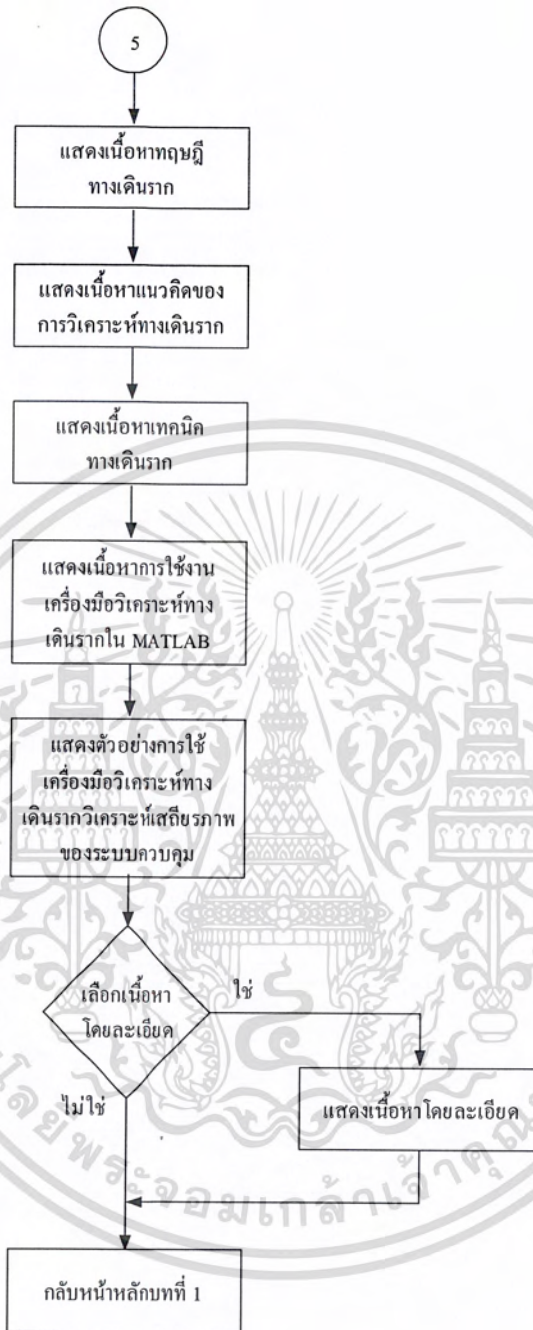
รูปที่ ก.4 ผังงานการทำงานหน้าหลักทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



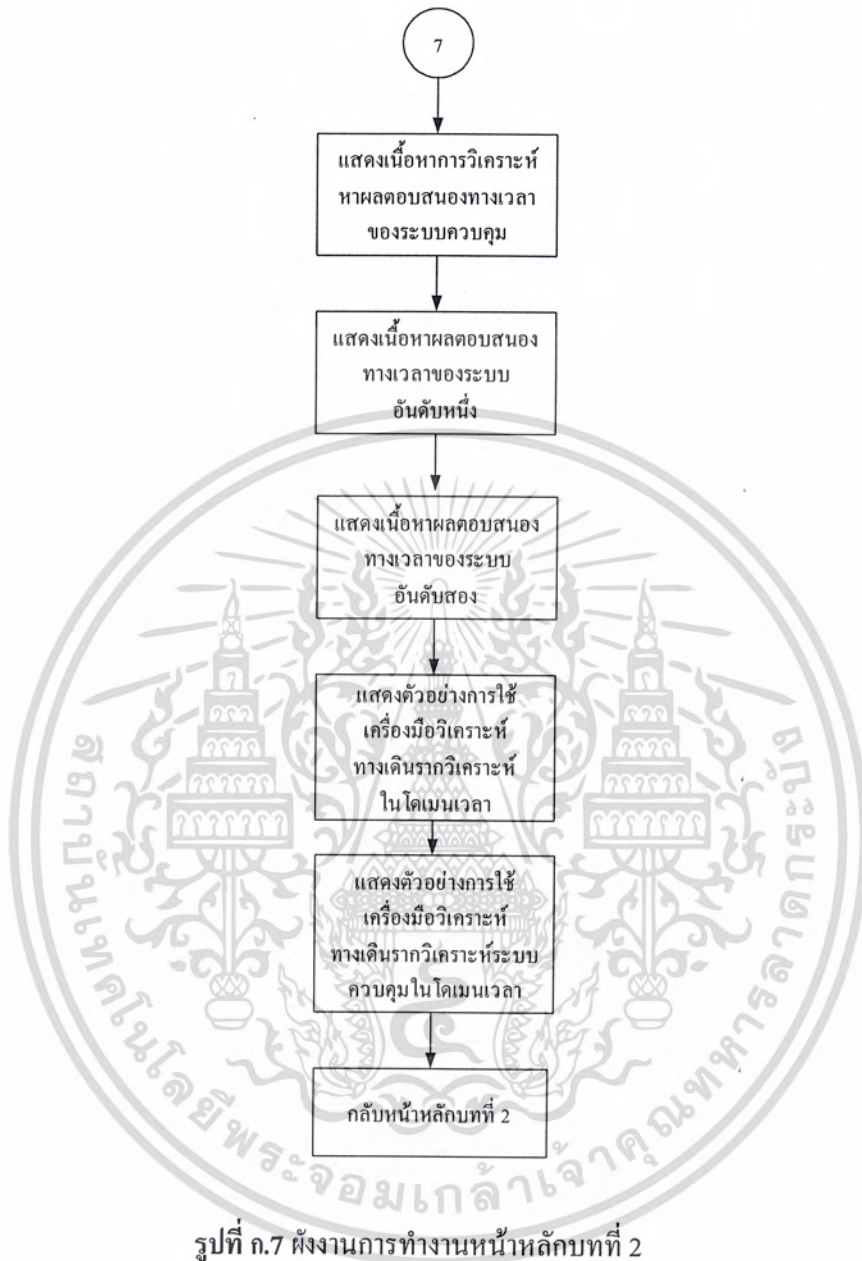
รูปที่ ก.5 ผังงานการทำงานหน้าหลักทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

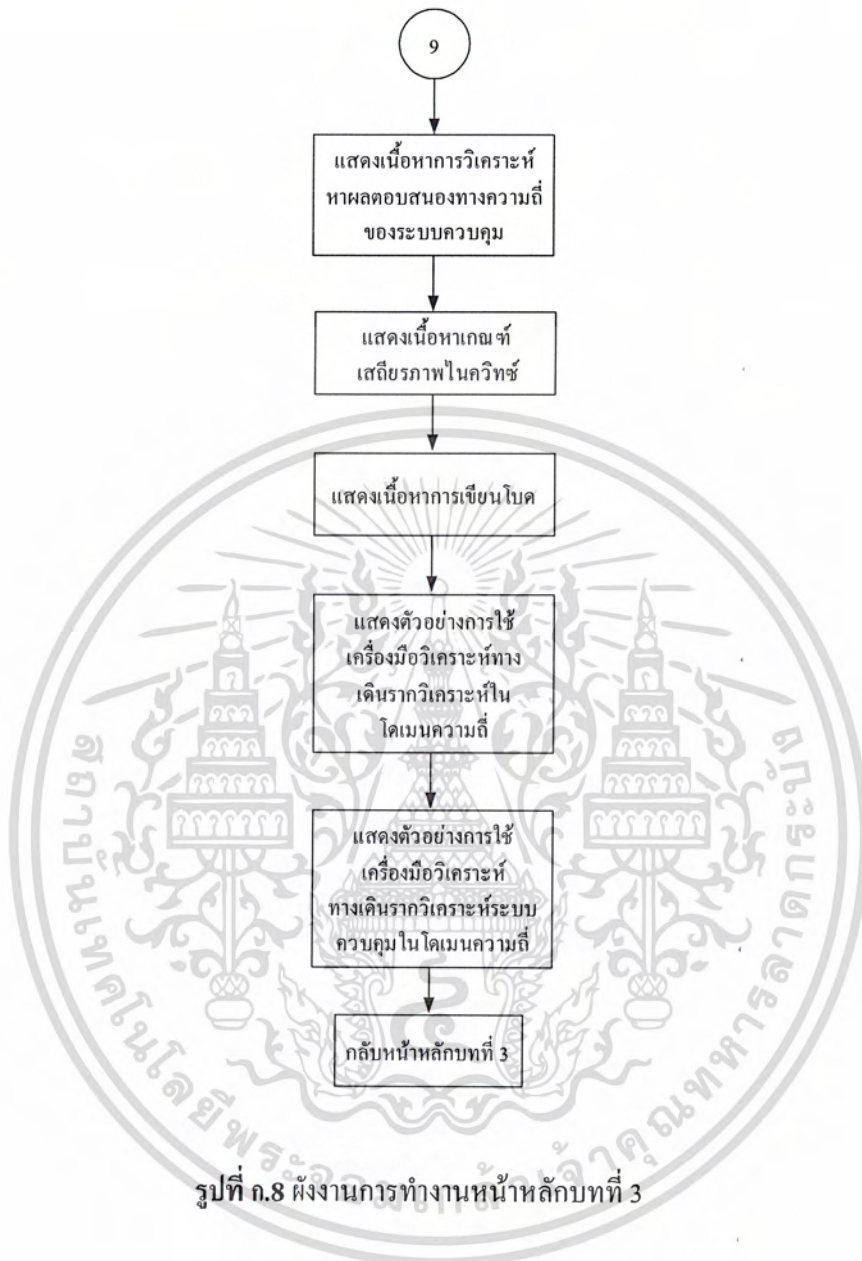


รูปที่ ก.6 ผังงานการทำงานเนื้อหาและตัวอย่างบทที่1

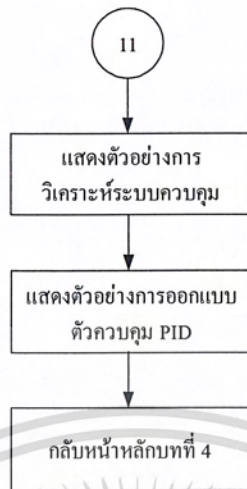
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



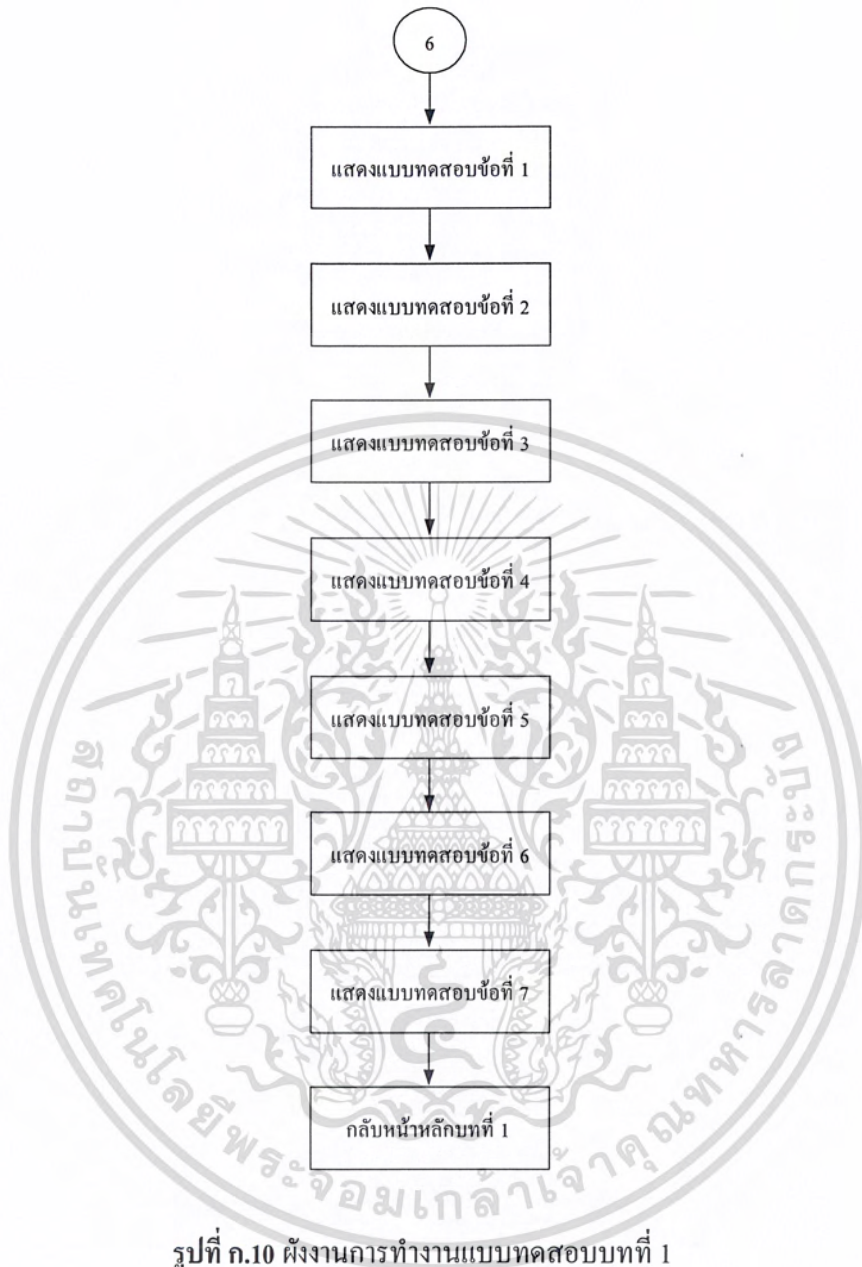
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



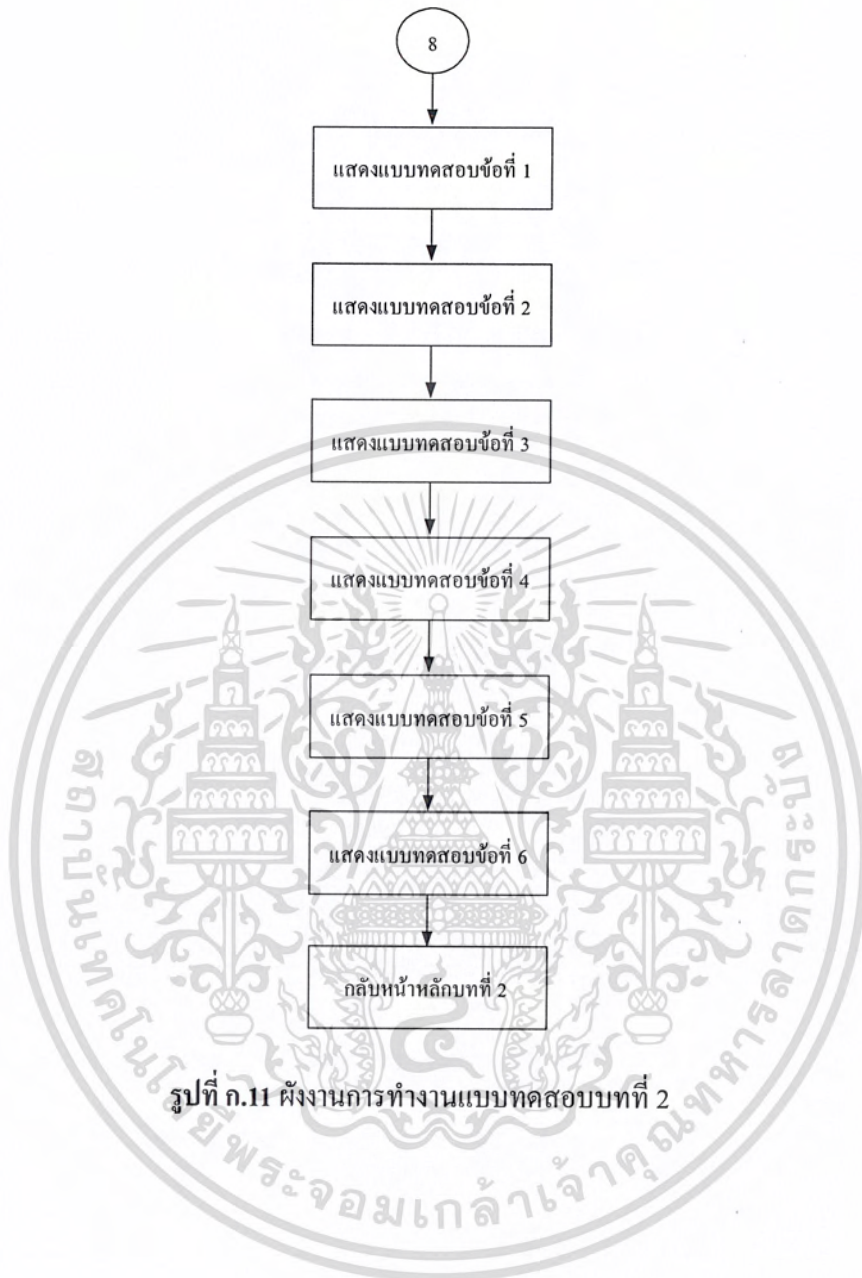
รูปที่ ก.9 ผลงานการทำงานหน้าหลักที่ 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

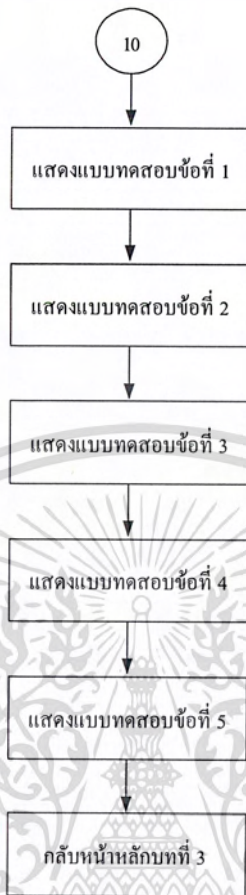


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



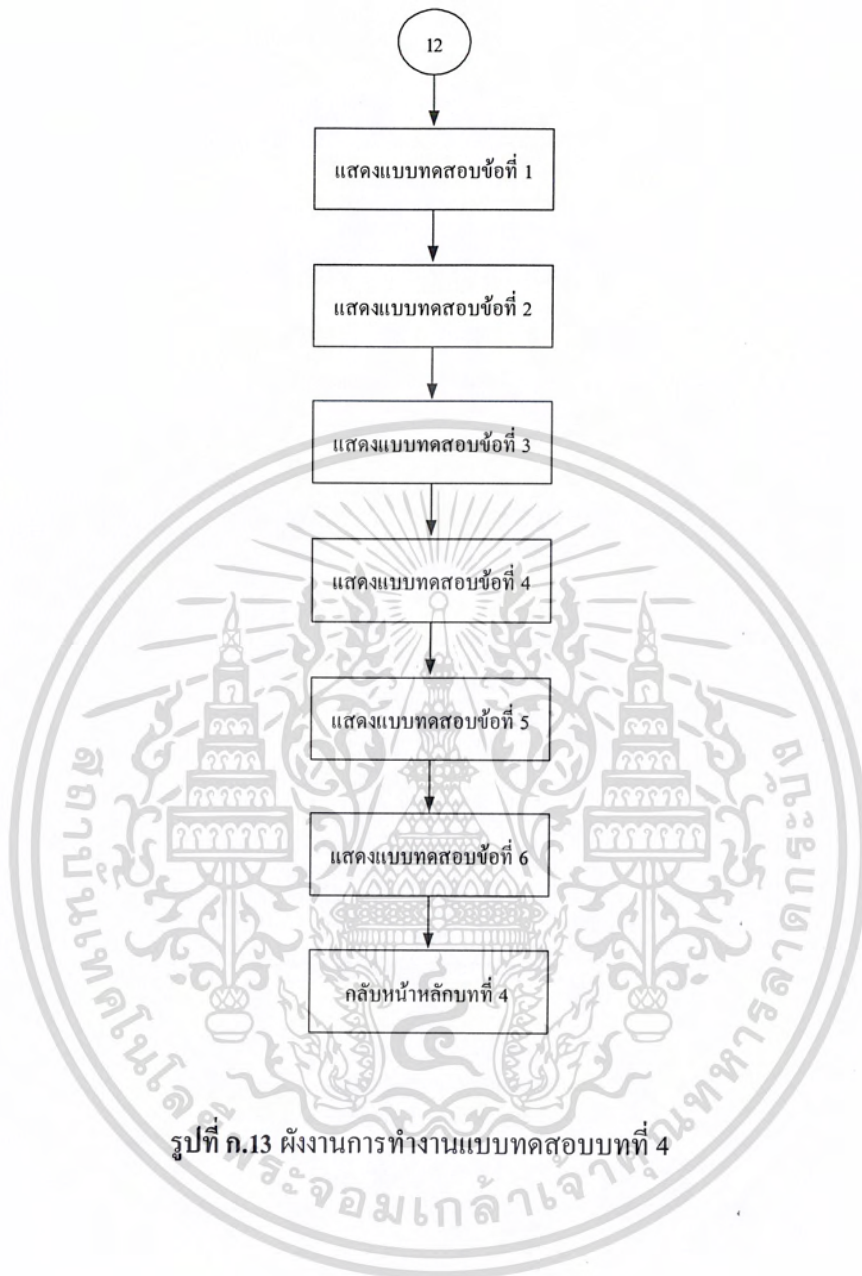
รูปที่ ก.11 ผังงานการทำงานแบบทดสอบบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



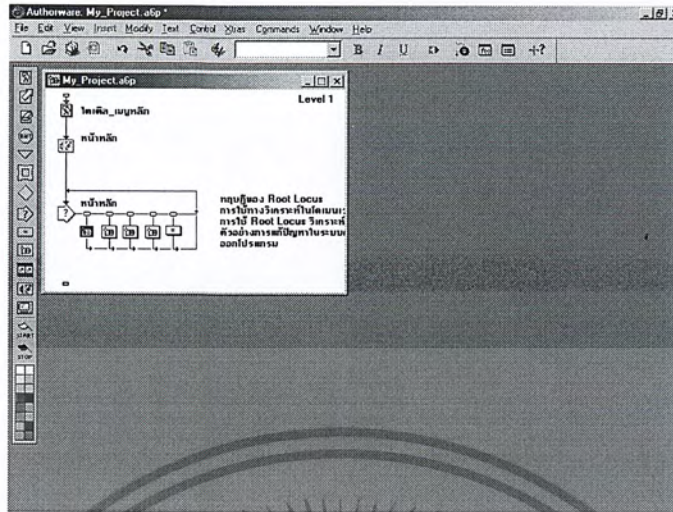
รูปที่ ก.12 ผังงานการทำงานแบบทดสอบบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

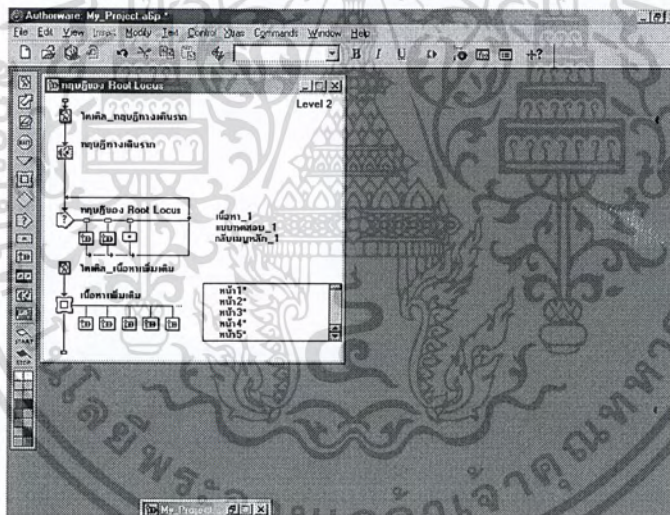


รูปที่ ๑.๑๓ ผังงานการทำงานแบบทดสอบบทที่ ๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

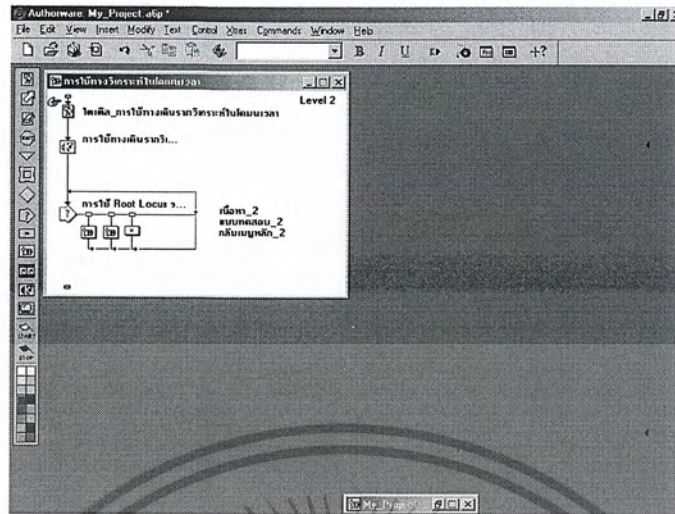


รูปที่ ก.14 หน้าต่างการสร้างเมนูหลัก



รูปที่ ก.15 หน้าต่างการสร้างหน้าหลักบทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

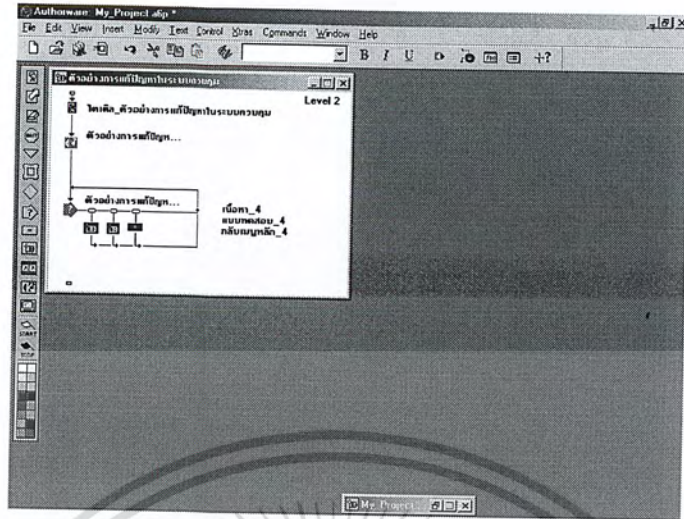


รูปที่ ก.16 หน้าต่างการสร้างหน้าหลักบทที่ 2

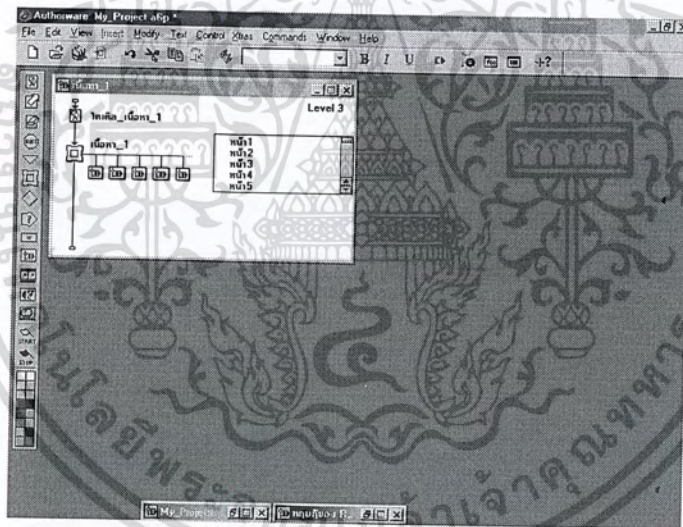


รูปที่ ก.17 หน้าต่างการสร้างหน้าหลักบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

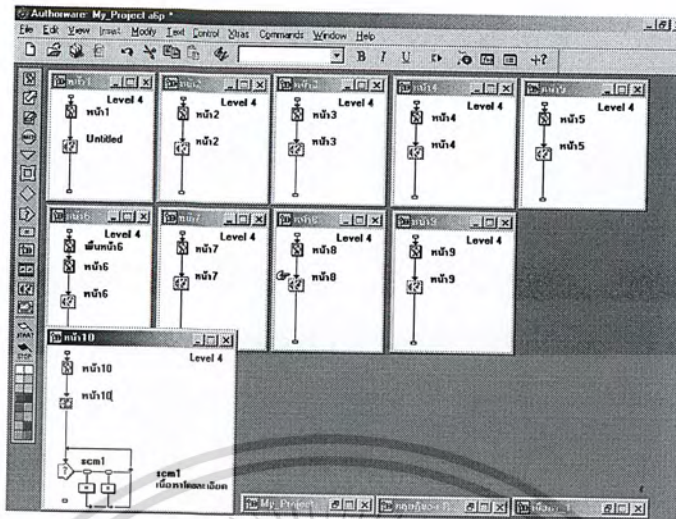


รูปที่ ก.18 หน้าต่างการสร้างหน้าหลักบทที่ 4

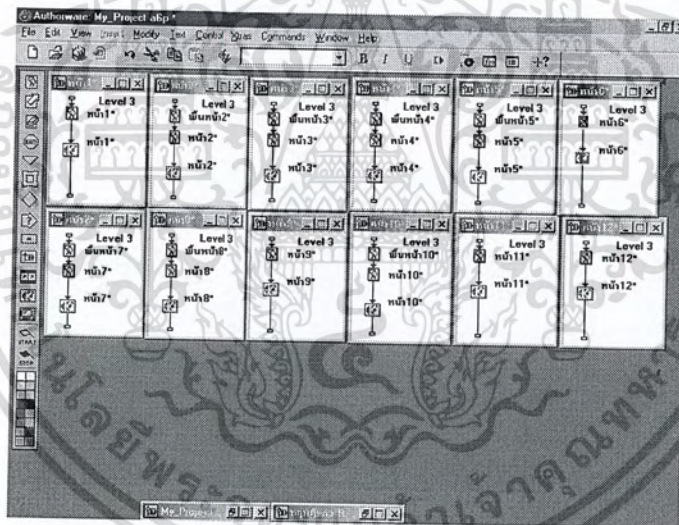


รูปที่ ก.19 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

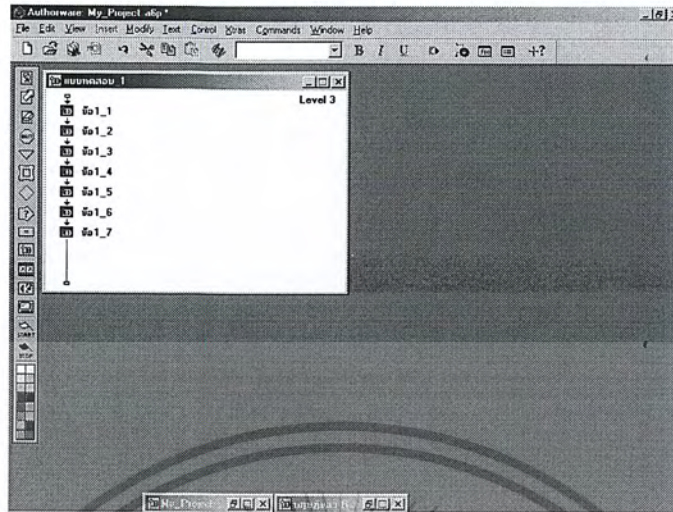


รูปที่ ก.20 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 1 (ต่อ)

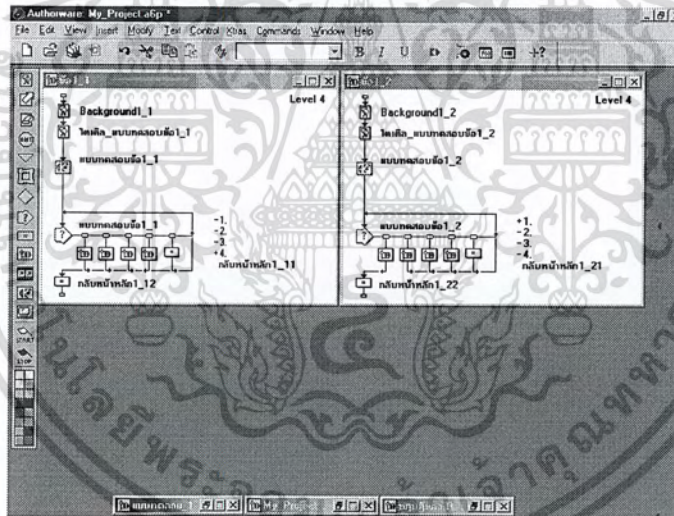


รูปที่ ก.21 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 1 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

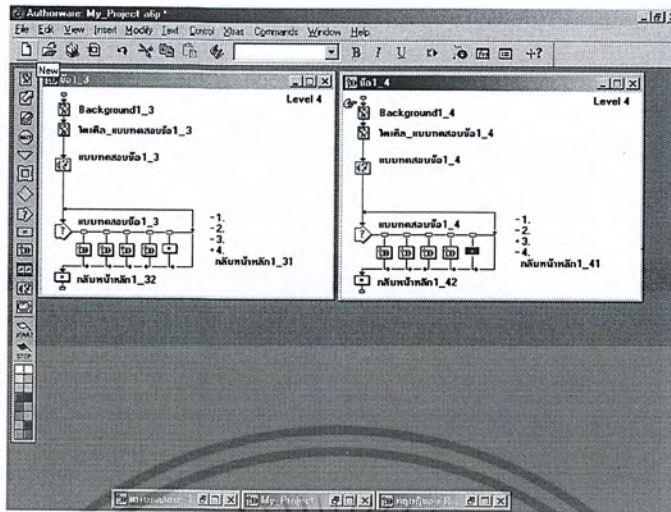


รูปที่ ก.22 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 1

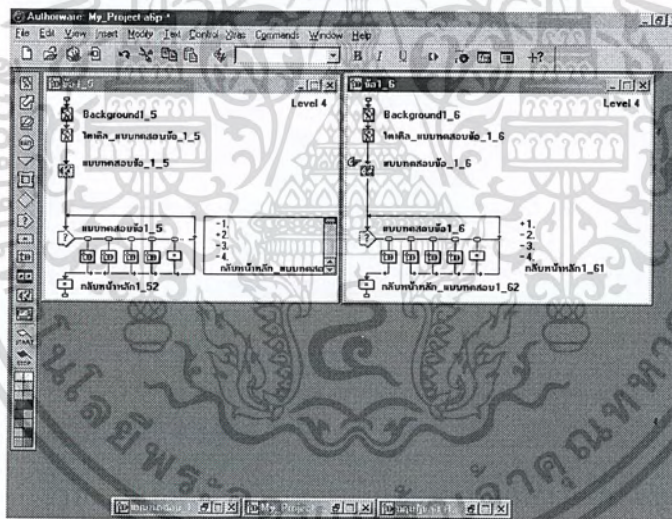


รูปที่ ก.23 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 1 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

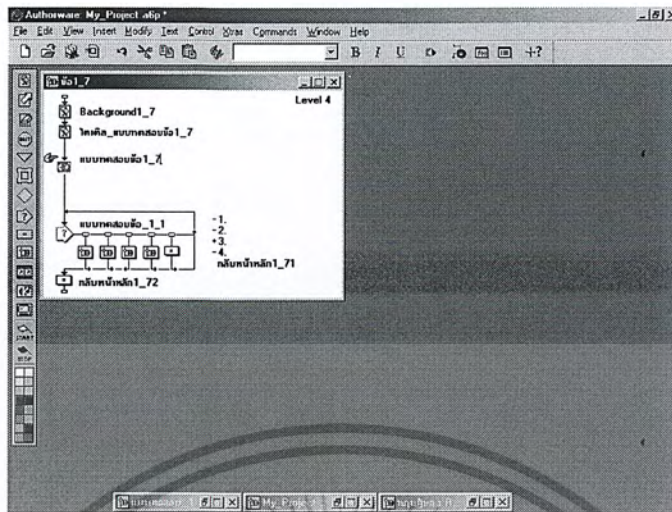


รูปที่ ก.24 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 1 (ต่อ)



รูปที่ ก.25 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 1 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

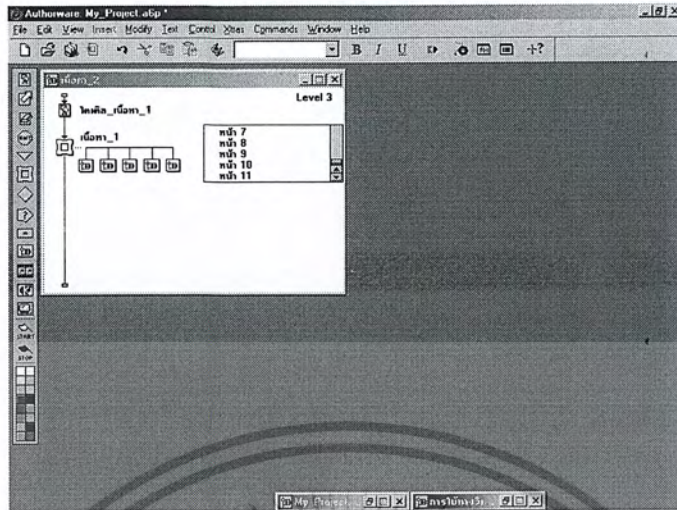


รูปที่ ก.26 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบที่ 1 (ต่อ)

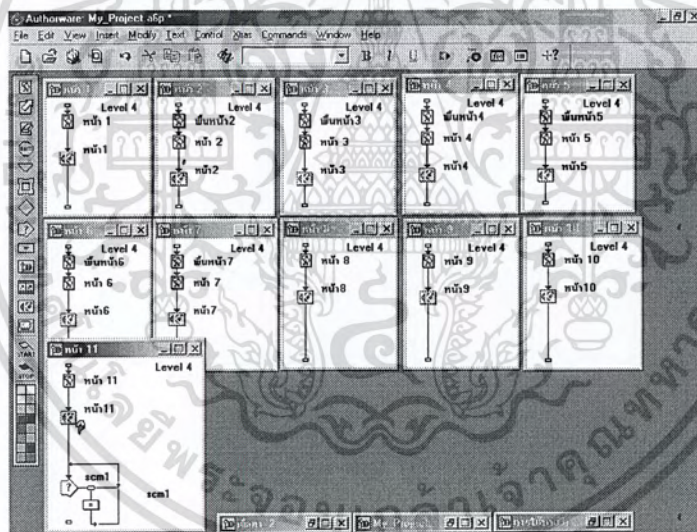


รูปที่ ก.27 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบที่ 1 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

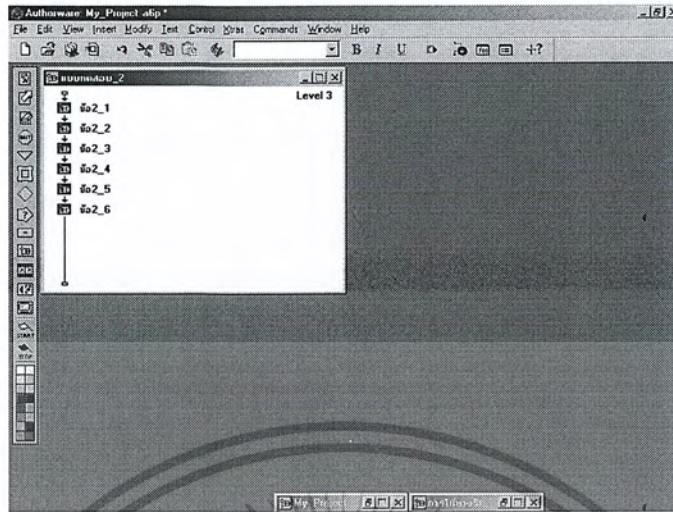


รูปที่ ก.28 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 2

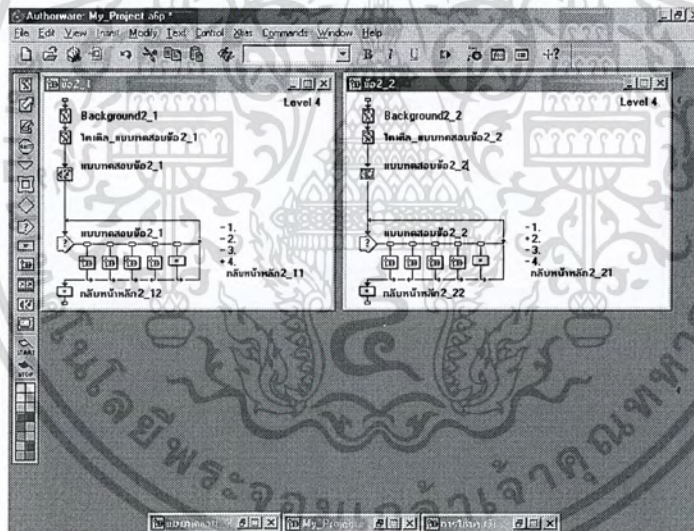


รูปที่ ก.29 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 2 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

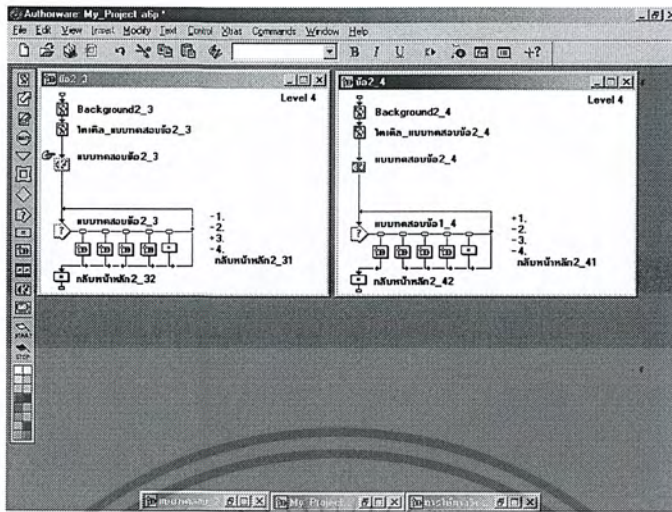


รูปที่ ก.30 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 2

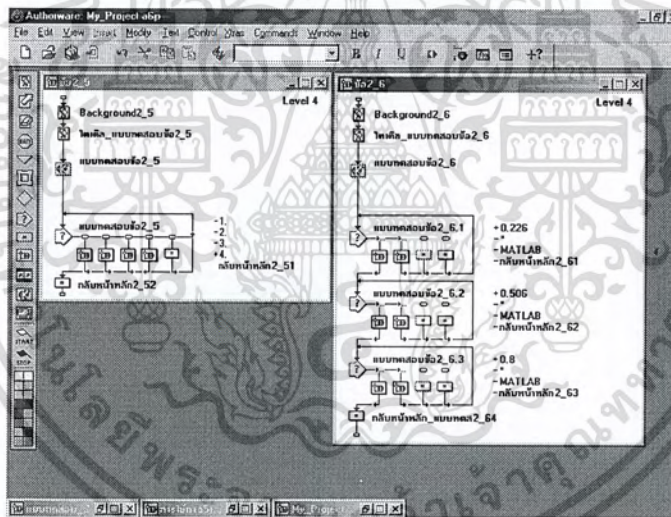


รูปที่ ก.31 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 2 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

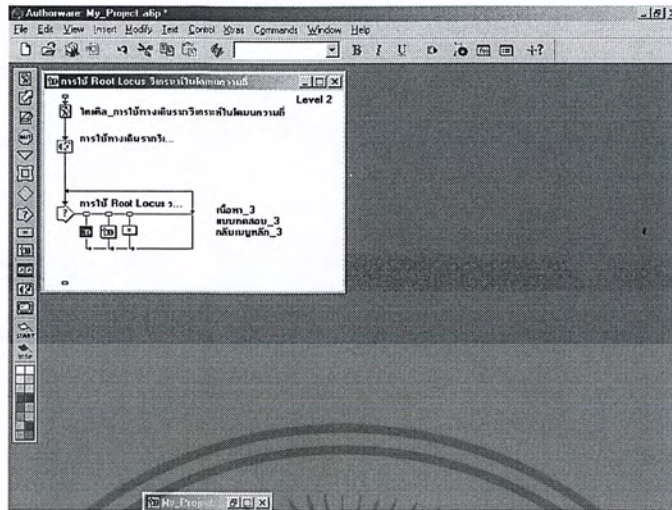


รูปที่ ก.32 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 2 (ต่อ)



รูปที่ ก.33 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 2 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

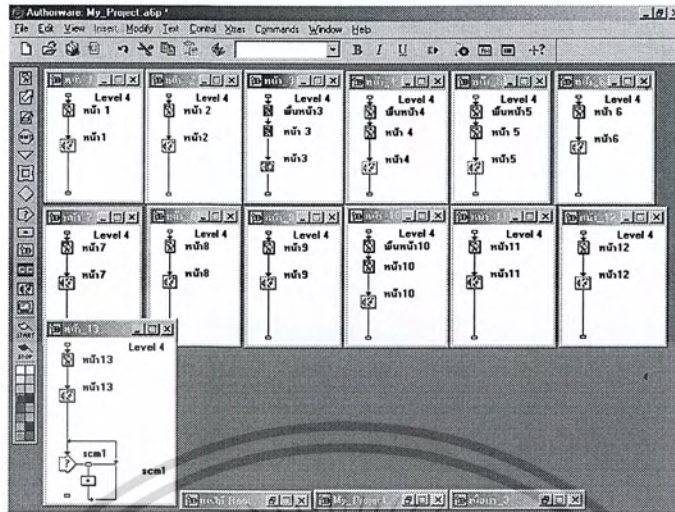


รูปที่ ก.34 หน้าต่างการสร้างหน้าหลักบทที่ 3

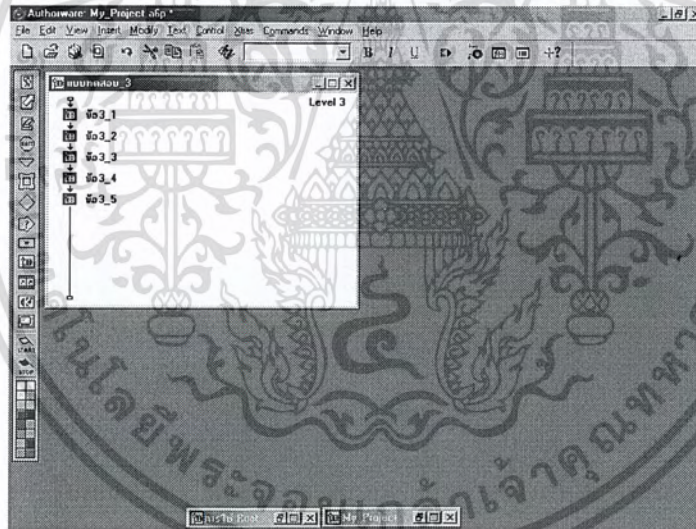


รูปที่ ก.35 หน้าต่างการสร้างหน้าหลักบทที่ 3 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

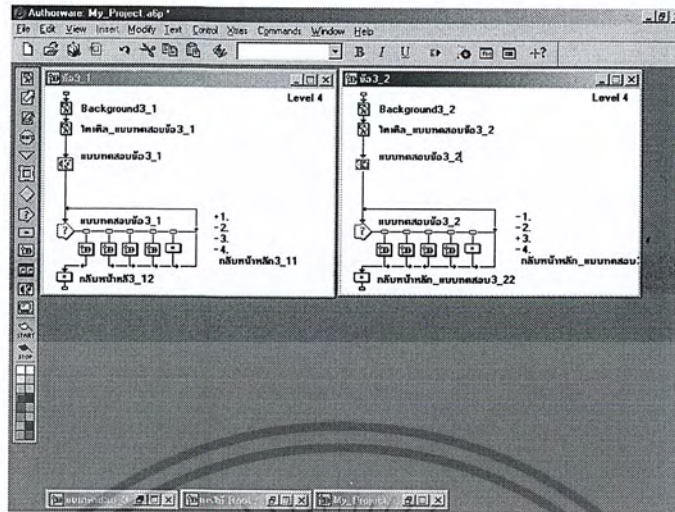


รูปที่ ก.36 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 3 (ต่อ)

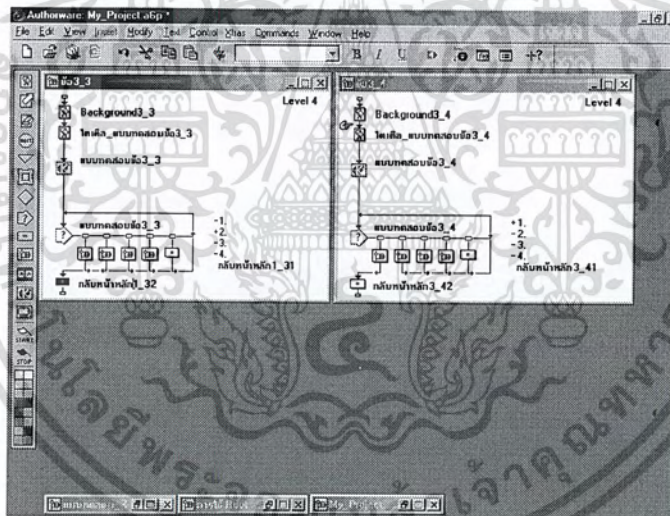


รูปที่ ก.37 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

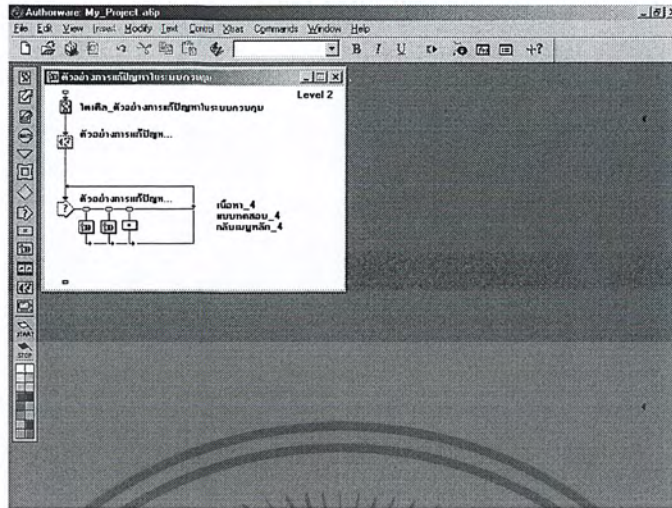


รูปที่ ก.38 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 3 (ต่อ)

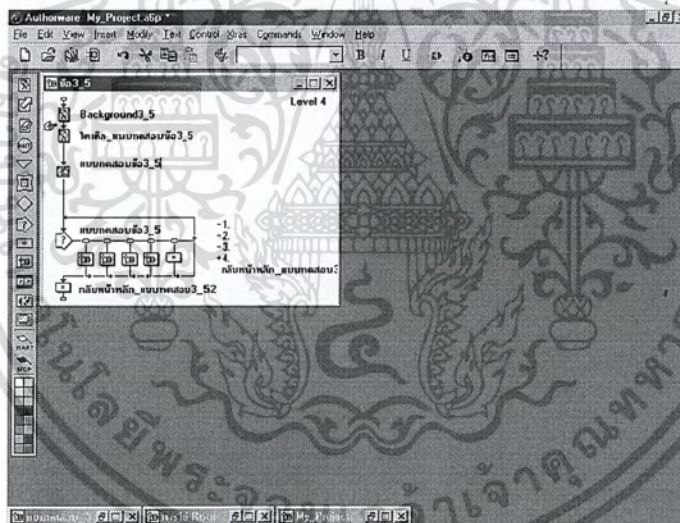


รูปที่ ก.39 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 3 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

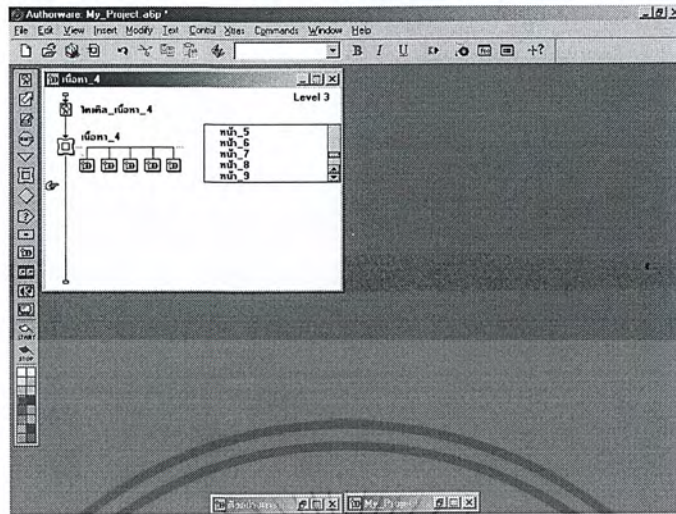


รูปที่ ก.40 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 3 (ต่อ)

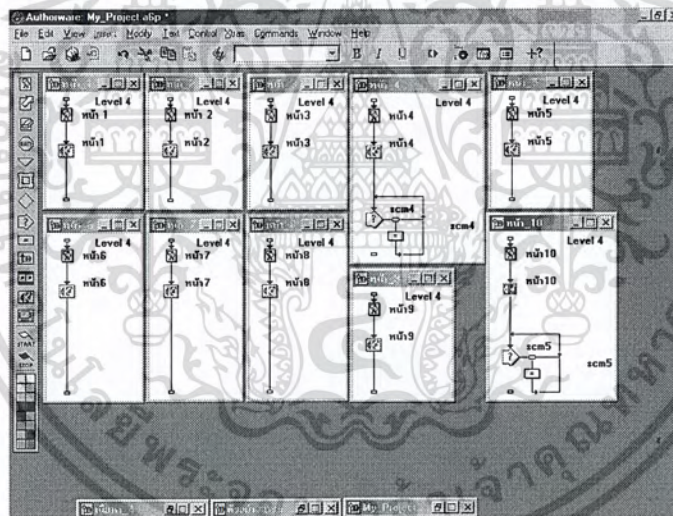


รูปที่ ก.41 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 3 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

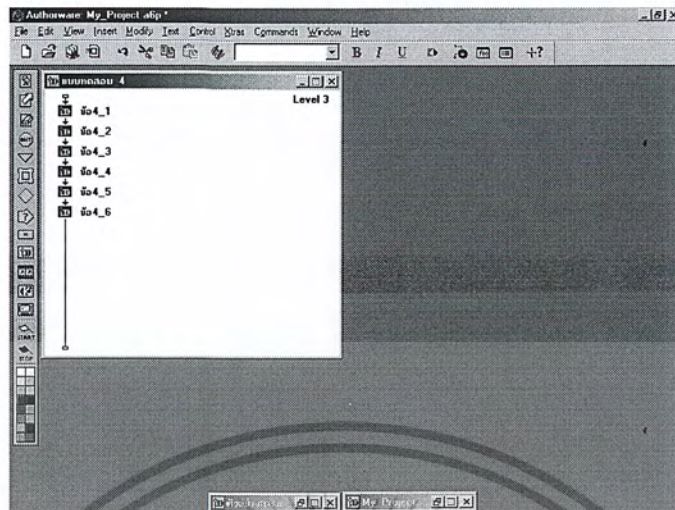


รูปที่ ก.42 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 4

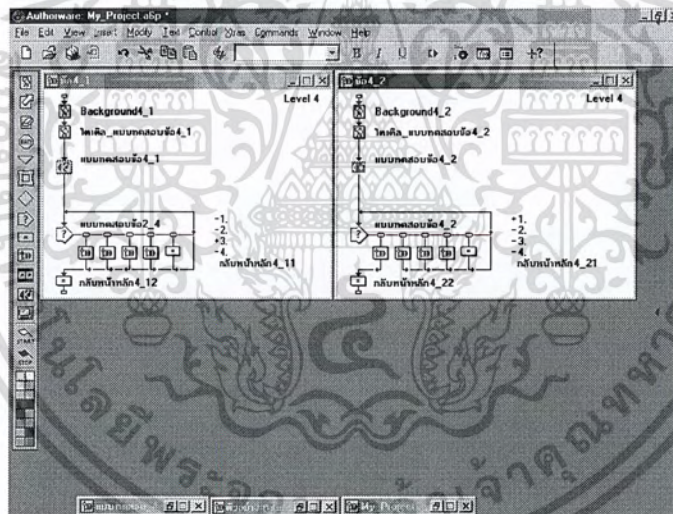


รูปที่ ก.43 หน้าต่างการสร้างเนื้อหาและตัวอย่างบทที่ 4 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

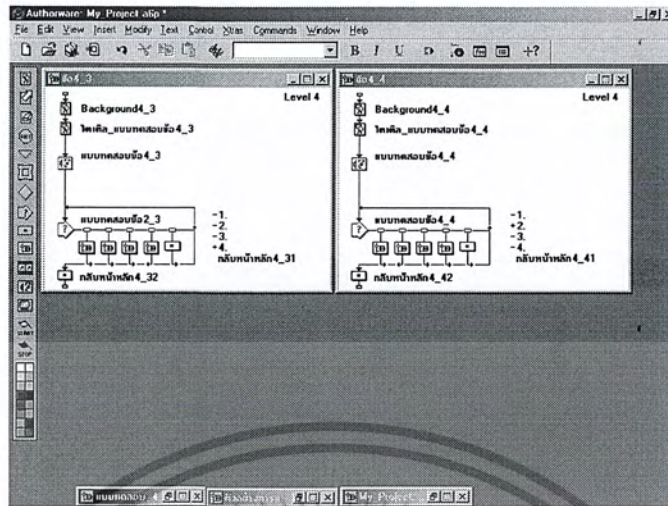


รูปที่ ก.44 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 4

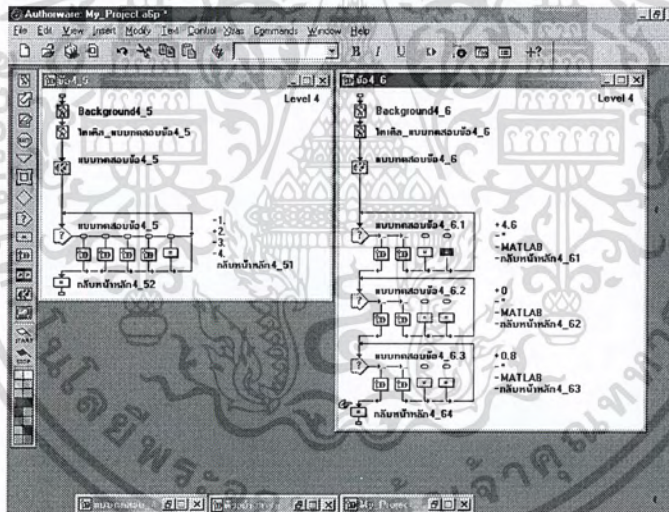


รูปที่ ก.45 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 4 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.46 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 4 (ต่อ)



รูปที่ ก.47 หน้าต่างการสร้างแบบทดสอบบทที่ 4 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน  
บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน  
เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. คำแนะนำเบื้องต้น

1.1 คอมพิวเตอร์ที่จะใช้งานบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดิน รากใน MATLAB ควรมีระบบต่างๆ ดังนี้

- คอมพิวเตอร์ระบบ Pentium
- หน่วยความจำ 16 เมกะไบต์ขึ้นไป
- CD ROM 16 X ขึ้นไป
- ระบบ Window 95, 98, NT, 2000, ME และ XP
- ระบบแสดงผล 800 × 600 บิตสี

## 1.2 โปรแกรมที่ต้องการ

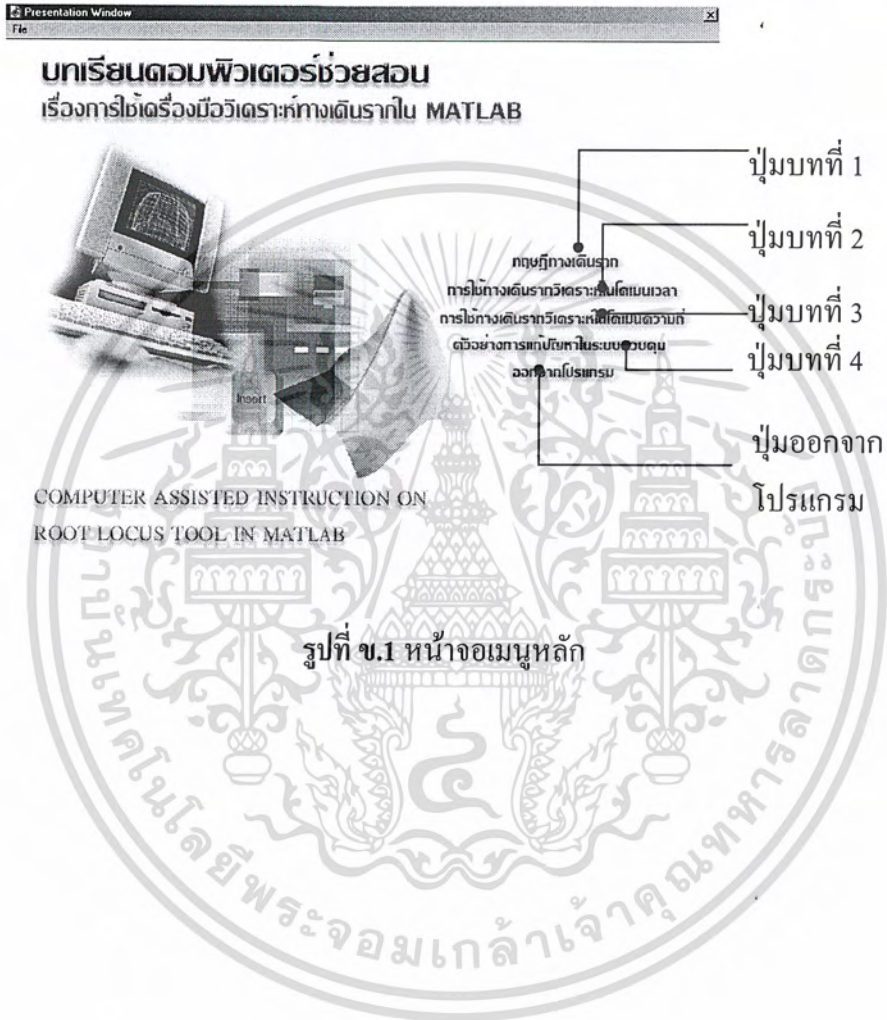
ควรติดตั้ง MATLAB Version 5.3 ไว้ด้วยเพราะในแบบทดสอบ บางข้อจะเป็นแบบทดสอบที่สามารถทำได้จริงและสามารถติดต่อกับ MATLAB ได้โดยตรงจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน



## 2. วิธีการใช้งาน

### 2.1 เมื่อเริ่มใช้งานบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

จะปรากฏหน้าจอเมนูหลักขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 เมื่อเลือกปุ่มต่างๆ ในหน้าเมนูหลัก

จากรูปที่ ข.1 (หน้าจอเมนูหลัก) ผู้ใช้สามารถเลือกปุ่มต่างๆ ตามความต้องการ ได้ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกทีละหนึ่งปุ่มเท่านั้น สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ผู้ใช้เลือก ปุ่มบทที่ 1 (ทฤษฎีทางเดินราก)

จะปรากฏหน้าจอหลักบทที่ 1 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

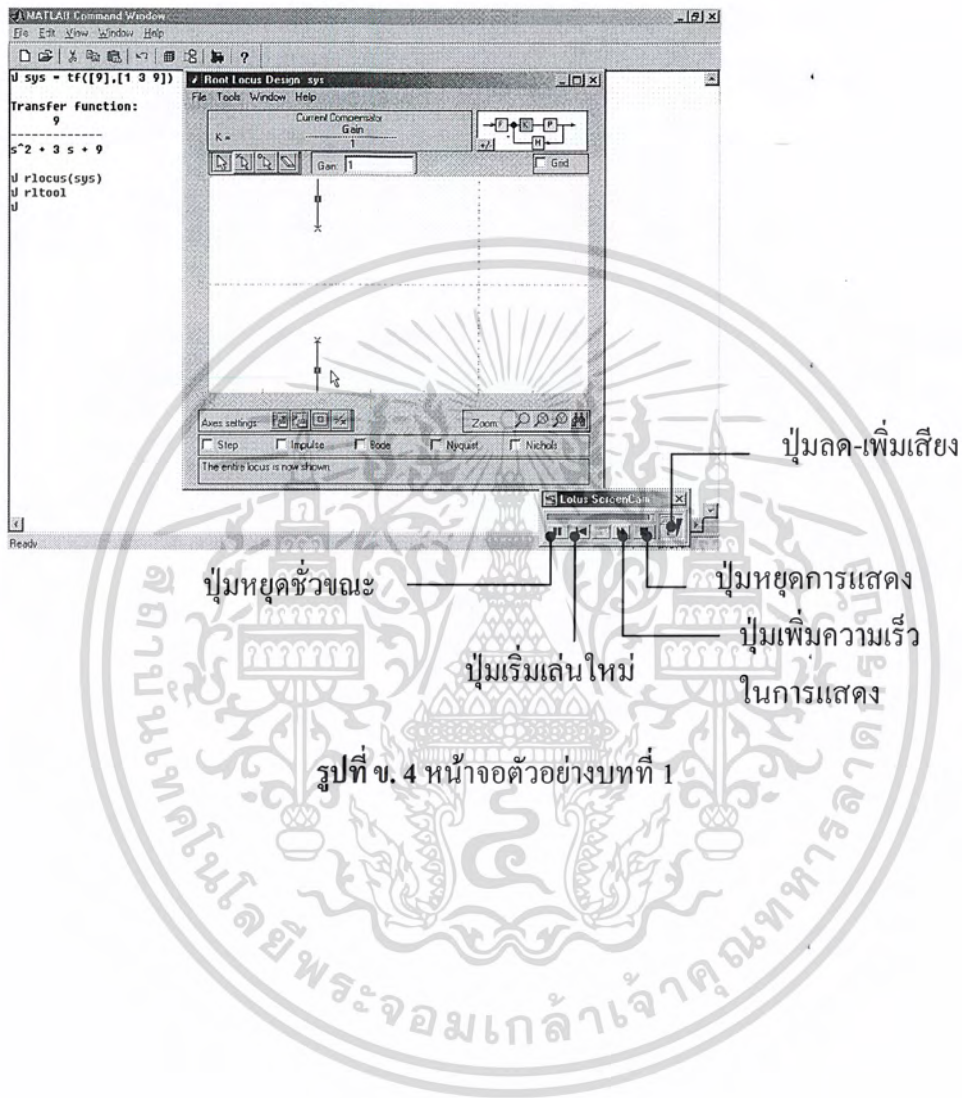
จากรูปที่ ข.2 (หน้าจอหลักบทที่ 1) ผู้ใช้สามารถเลือกปุ่มต่างๆ ตามความต้องการได้ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกทีละหนึ่งปุ่มเท่านั้น สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

เมื่อเลือก ปุ่มเนื้อหาและตัวอย่าง ในหน้าจอหลักบทที่ 1 จะปรากฏหน้าจอเนื้อหาบทที่ 1 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อผู้ใช้งานทำการศึกษาในส่วนของเนื้อหาจนเสร็จจะปรากฏหน้าจอตัวอย่างบทที่ 1 ขึ้น โดยจะแสดงเป็น โปรแกรม Lotus screen cam การใช้งานเป็นดังรูปที่ ข. 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ข.2 (หน้าจอหลักบทที่ 1) เมื่อเลือก ปุ่มแบบทดสอบในหน้าจอหลักบทที่ 1 จะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 1 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 ผู้ใช้เลือก ปุ่มบทที่ 2 (การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนเวลา)

จะปรากฏหน้าจอหลักบทที่ 2 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 หน้าจอหลักบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ข.6 (หน้าจอหลักบทที่ 2) ผู้ใช้สามารถเลือกปุ่มต่างๆ ตามความต้องการได้ ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกทีละหนึ่งปุ่มเท่านั้น สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

เมื่อเลือก ปุ่มเนื้อหาและตัวอย่าง ในหน้าจอหลักบทที่ 2 จะปรากฏหน้าจอเนื้อหาบทที่ 2 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.7

**1 การวิเคราะห์หาคงตนของทางเวลาของระบบควบคุม**

ในการวิเคราะห์หาคงตนของทางเวลาของระบบควบคุม เราสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ **ผลตอบสนองชั่วครู่ (Transient Response)** และ **ผลตอบสนองถาวรคงที่ (Steady State Response)**

ให้  $c(t)$  เป็นผลตอบสนองของระบบจะได้ว่า

$$c(t) = c_t(t) + c_{ss}(t)$$

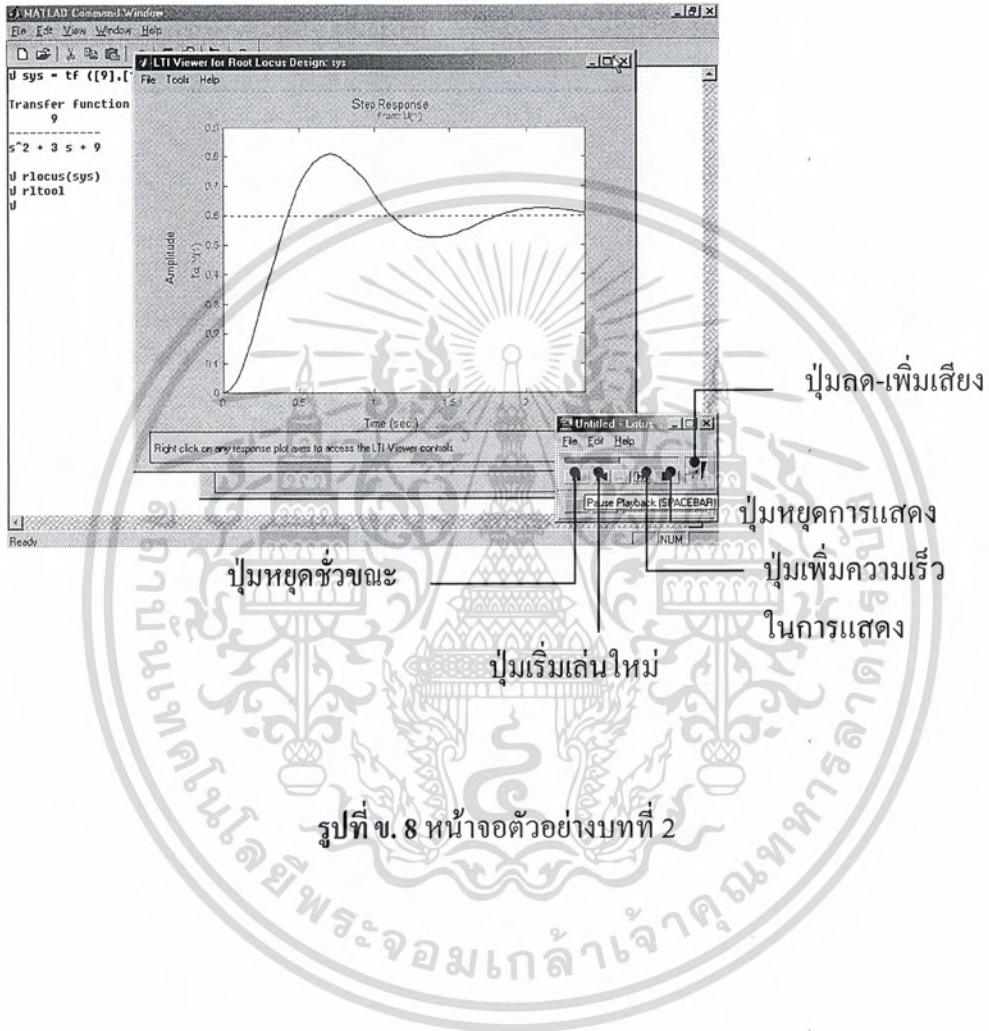
$c_t(t)$  = ผลตอบสนองชั่วครู่  
 $c_{ss}(t)$  = ผลตอบสนองถาวรคงที่

ปุ่มกลับหน้าหลัก  
 ปุ่มแสดงหน้าถัดไป  
 ปุ่มแสดงหน้าย้อนกลับ

รูปที่ ข.7 หน้าจอเนื้อหาบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อผู้ใช้ทำการศึกษาในส่วนของเนื้อหาจนเสร็จจะปรากฏหน้าจอตัวอย่างบทที่ 2 ขึ้น โดยจะแสดงเป็นโปรแกรม Lotus screen cam การใช้งานเป็นดังรูปที่ ข. 8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ข.6 (หน้าจอหลักบทที่ 2) เมื่อเลือก ปุ่มแบบทดสอบในหน้าจอหลักบทที่ 2 จะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 2 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษา 3 ผู้ใช้เลือก ปุ่มบทที่ 3 (การใช้ทางเดินรากวิเคราะห์ในโดเมนความถี่)

จะปรากฏหน้าจอหลักบทที่ 3 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

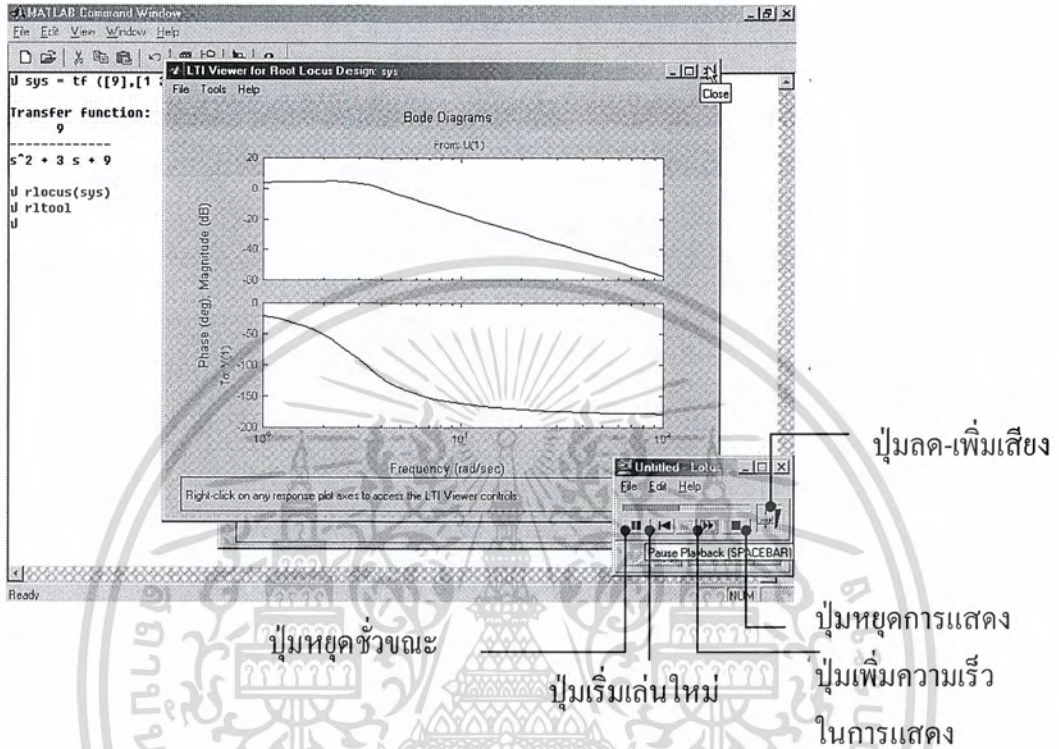
จากรูปที่ ข.10 (หน้าจอหลักบทที่ 3) ผู้ใช้สามารถเลือกปุ่มต่างๆ ตามความต้องการได้ ซึ่งผู้  
 ผู้ใช้สามารถเลือกทีละหนึ่งปุ่มเท่านั้น สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

เมื่อเลือก ปุ่มเนื้อหาและตัวอย่าง ในหน้าจอหลักบทที่ 3 จะปรากฏหน้าจอเนื้อหาบทที่ 3  
 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดัง รูปที่ ข.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อผู้ใช้งานทำการศึกษาในส่วนของเนื้อหาจนเสร็จจะปรากฏหน้าจอตัวอย่างบทที่ 3 ขึ้น โดยจะแสดงเป็น โปรแกรม Lotus screen cam การใช้งานเป็นดังรูปที่ ข. 12



รูปที่ ข. 12 หน้าจอตัวอย่างบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

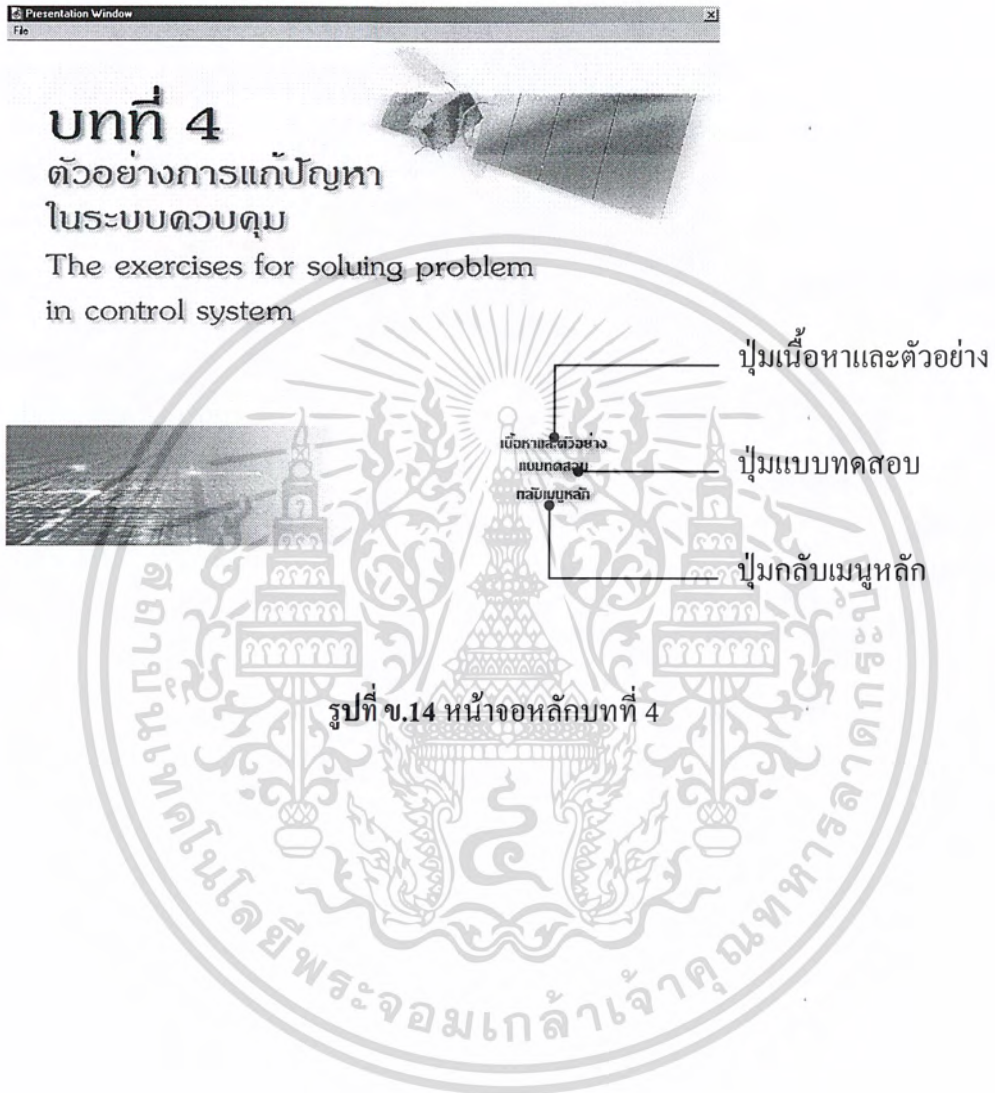
จากรูปที่ ข.10 (หน้าจอหลักบทที่ 3) เมื่อเลือก ปุ่มแบบทดสอบในหน้าจอหลักบทที่ 3 จะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 3 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดัง รูปที่ ข.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 4 ผู้ใช้เลือก ปุ่มบทที่ 4 (การใช้ทางเดินรากลวิเคราะห์ในโดเมนเวลา)

จะปรากฏหน้าจอหลักบทที่ 4 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.14



รูปที่ ข.14 หน้าจอหลักบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

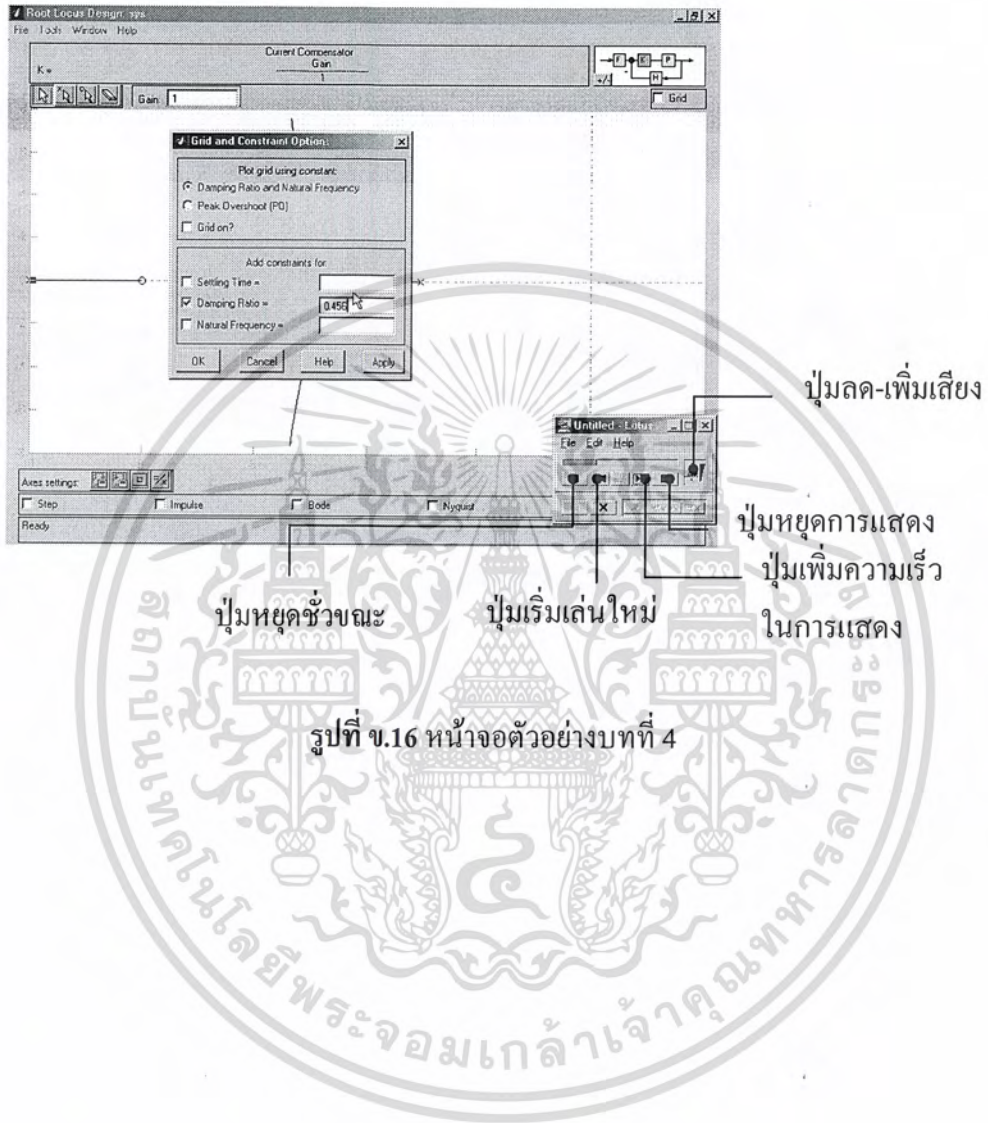
จากรูปที่ ข.14 (หน้าจอหลักบทที่ 4) ผู้ใช้สามารถเลือกปุ่มต่างๆ ตามความต้องการได้ ซึ่งผู้  
ผู้ใช้สามารถเลือกทีละหนึ่งปุ่มเท่านั้น สามารถอธิบายดังต่อไปนี้

เมื่อเลือก ปุ่มเนื้อหาและตัวอย่าง ในหน้าจอหลักบทที่ 4 จะปรากฏหน้าจอเนื้อหาบทที่ 4  
ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อผู้ใช้ทำการศึกษาในส่วนของเนื้อหาจนเสร็จจะปรากฏหน้าจอตัวอย่างของแต่ละบทขึ้น โดยจะแสดงเป็นโปรแกรม Lotus screen cam การใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ข.14 (หน้าจอหลักบทที่ 4) เมื่อเลือก ปุ่มแบบทดสอบในหน้าจอหลักบทที่ 4 จะปรากฏหน้าจอแบบทดสอบบทที่ 4 ขึ้น พร้อมเสียงบรรยายประกอบการใช้งานเป็นดังรูปที่ ข.17



ปุ่มเลือกคำตอบ

รูปที่ ข.17 หน้าจอแบบทดสอบบทที่ 4

กรณีที่ 5 ผู้ใช้เลือก ปุ่มออกจากโปรแกรม

จะออกจากโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค  
ตัวอย่างใบประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคผนวก ค

#### รายละเอียดการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ

- รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ
- ผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ
- สรุปผลการประเมินคุณภาพสื่อสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ด้านเนื้อหา)

1. ผศ.กิตติพงษ์ มะโน
2. อาจารย์ สุชิน อาจหาญ
3. อาจารย์ สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

(ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)

1. ผศ. พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
2. อาจารย์ พิศุทธิ์ ศิริพันธุ์
3. ดร. ฉันทนา โหมดมณี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านเนื้อหา) เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย  $\checkmark$  ลงในช่องตามความคิดเห็นของท่าน

คะแนนระดับความคิดเห็น คือ ดีมาก = 5, ดี = 4, ปานกลาง = 3, น้อย = 2, ควรปรับปรุง = 1

ด้านที่ประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ด้านเนื้อหา					
1.1 เนื้อหา มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.2 การแบ่งเนื้อหา มีความเหมาะสม		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.3 ความถูกต้องของเนื้อหา		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.4 ความเหมาะสมในการจัดลำดับการนำเสนอ		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.5 ความถูกต้องของภาษาที่ใช้		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.6 ความเหมาะสมของภาพด้านสื่อความหมาย		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.7 บทเรียนมีลักษณะมีลักษณะจูงใจ	<input checked="" type="checkbox"/>				
1.8 บทเรียนสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนต่างๆ ได้	<input checked="" type="checkbox"/>				

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

ควรปรับปรุงตัวหนังสือ และรูปภาพให้สวยงาม น่าสนใจยิ่งขึ้น

ลงชื่อ.....  ผู้ประเมิน

(..... นศ. วิชาคณิตศาสตร์.....)

..... 14, 10, 256.....

## แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านเนื้อหา) เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

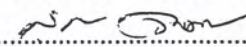
คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย  $\checkmark$  ลงในช่องตามความคิดเห็นของท่าน

คะแนนระดับความคิดเห็น คือ ดีมาก = 5, ดี = 4, ปานกลาง = 3, น้อย = 2, ควรปรับปรุง = 1

ด้านที่ประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ด้านเนื้อหา					
1.1 เนื้อหามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.2 การแบ่งเนื้อหามีความเหมาะสม		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.3 ความถูกต้องของเนื้อหา		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.4 ความเหมาะสมในการจัดลำดับการนำเสนอ			<input checked="" type="checkbox"/>		
1.5 ความถูกต้องของภาษาที่ใช้		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.6 ความเหมาะสมของภาพด้านสื่อความหมาย			<input checked="" type="checkbox"/>		
1.7 บทเรียนมีลักษณะมีลักษณะงูจใจ			<input checked="" type="checkbox"/>		
1.8 บทเรียนสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนต่างๆ ได้		<input checked="" type="checkbox"/>			

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....

ลงชื่อ.....  ผู้ประเมิน

(นาย สุชัย อธิวงศา)

..... 13 / ๓๑ / ๕๖ .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านเนื้อหา) เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน MATLAB

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย  $\checkmark$  ลงในช่องตามความคิดเห็นของท่าน

คะแนนระดับความคิดเห็น คือ ดีมาก = 5, ดี = 4, ปานกลาง = 3, น้อย = 2, ควรปรับปรุง = 1

ด้านที่ประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ด้านเนื้อหา					
1.1 เนื้อหา มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.2 การแบ่งเนื้อหา มีความเหมาะสม		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.3 ความถูกต้องของเนื้อหา		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.4 ความเหมาะสมในการจัดลำดับการนำเสนอ		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.5 ความถูกต้องของภาษาที่ใช้		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.6 ความเหมาะสมของภาพด้านสื่อความหมาย		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.7 บทเรียนมีลักษณะมีลักษณะ น่าสนใจ		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.8 บทเรียนสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนทั่วๆ ไปได้	<input checked="" type="checkbox"/>				

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

ตรงมรมมรม ในข้อมรมมรมยาเนตเนให้ส่งตรงทักสนใจทอนเ

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(.....)

15, 10, 46

แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ  
(ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ) เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน  
MATLAB

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย  $\checkmark$  ลงในช่องตามความคิดเห็นของท่าน

คะแนนระดับความคิดเห็น คือ ดีมาก = 5, ดี = 4, ปานกลาง = 3, น้อย = 2, ควรปรับปรุง = 1

ด้านที่ประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ					
1.1 การวางรูปแบบของหน้าจอ		$\checkmark$			
1.2 ความเหมาะสมในการนำเสนอบทเรียน			$\checkmark$		
1.3 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร			$\checkmark$		
1.4 ความเหมาะสมของสีตัวอักษรหรือหน้าฉาก		$\checkmark$			
1.5 ความเหมาะสมของสีพื้นหลัง		$\checkmark$			
1.6 ความเหมาะสมของเสียงบรรยาย		$\checkmark$			
1.7 ความเหมาะสมของเสียงประกอบ			$\checkmark$		
1.8 ความเหมาะสมของสีของภาพกราฟิก			$\checkmark$		
1.9 ความเหมาะสมของภาพในด้านการสื่อ ความหมาย			$\checkmark$		
1.10 ความเหมาะสมของภาพกราฟิก		$\checkmark$			
1.11 บทเรียนมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียน		$\checkmark$			
1.12 ความสะดวกและง่ายต่อการใช้โปรแกรม		$\checkmark$			

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

สลับเสียงบรรยายกับเสียง 1.2, 1.7, 1.10

แก้ไขภาพเคลื่อนไหวเพื่อ

เสริมภาพเคลื่อนไหว

ลงชื่อ.....ผู้ประเมิน

(ผ.พ.ดร. สุรพล จิตวิทย์)

14 / พ.ค. / 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ  
(ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ) เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน  
MATLAB

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย  $\checkmark$  ลงในช่องตามความคิดเห็นของท่าน

คะแนนระดับความคิดเห็น คือ ดีมาก = 5, ดี = 4, ปานกลาง = 3, น้อย = 2, ควรปรับปรุง = 1

ด้านที่ประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ					
1.1 การวางรูปแบบของหน้าจอ		✓			
1.2 ความเหมาะสมในการนำเสนอบทเรียน		✓			
1.3 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร		✓			
1.4 ความเหมาะสมของสีตัวอักษรหรือหน้าฉาก		✓			
1.5 ความเหมาะสมของสีพื้นหลัง		✓			
1.6 ความเหมาะสมของเสียงบรรยาย		✓			
1.7 ความเหมาะสมของเสียงประกอบ		✓			
1.8 ความเหมาะสมของสีของภาพกราฟิก			✓		
1.9 ความเหมาะสมของภาพในด้านการสื่อ ความหมาย		✓			
1.10 ความเหมาะสมของภาพกราฟิก		✓			
1.11 บทเรียนมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียน		✓			
1.12 ความสะดวกและง่ายต่อการใช้โปรแกรม		✓			

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

.....  
 ลงชื่อ..... ผู้ประเมิน  
 (พิศุทธิ์ ศรีพันธ์)  
 14 / ๒๕๖๕ / 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ  
(ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ) เรื่อง การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากใน  
MATLAB

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย  $\checkmark$  ลงในช่องตามความคิดเห็นของท่าน

คะแนนระดับความคิดเห็น คือ ดีมาก = 5, ดี = 4, ปานกลาง = 3, น้อย = 2, ควรปรับปรุง = 1

ด้านที่ประเมิน	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ					
1.1 การวางรูปแบบของหน้าจอ	<input checked="" type="checkbox"/>				
1.2 ความเหมาะสมในการนำเสนอบทเรียน	<input checked="" type="checkbox"/>				
1.3 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.4 ความเหมาะสมของสีตัวอักษรหรือหน้าฉาก		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.5 ความเหมาะสมของสีพื้นหลัง		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.6 ความเหมาะสมของเสียงบรรยาย		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.7 ความเหมาะสมของเสียงประกอบ	<input checked="" type="checkbox"/>				
1.8 ความเหมาะสมของสีของภาพกราฟิก		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.9 ความเหมาะสมของภาพในด้านการสื่อ ความหมาย			<input checked="" type="checkbox"/>		
1.10 ความเหมาะสมของภาพกราฟิก			<input checked="" type="checkbox"/>		
1.11 บทเรียนมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียน		<input checked="" type="checkbox"/>			
1.12 ความสะดวกและง่ายต่อการใช้โปรแกรม		<input checked="" type="checkbox"/>			

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

..... สัจธรรม ๆ ฤทธิวิเศษใจกว่านี้ แะไม่กลืนกับสัญชาตญาณ

ลงชื่อ / สัจธรรม ไชยวัฒน์ ผู้ประเมิน

(ดร.ดิเรก วัฒนศิริ.....)

..... 14 / ๑๖ / ๒๕๔๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ

ตารางที่ ค.1 สรุปผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านเนื้อหา) จำนวน 3 ท่าน

ด้านที่ประเมิน	ระดับความคิดเห็น			เฉลี่ย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	
1. ด้านเนื้อหา				
1.1 เนื้อหา มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์	4	4	4	4
1.2 การแบ่งเนื้อหา มีความเหมาะสม	4	4	4	4
1.3 ความถูกต้องของเนื้อหา	4	4	4	4
1.4 ความเหมาะสมในการจัดลำดับการนำเสนอ	4	3	4	3.66
1.5 ความถูกต้องของภาษาที่ใช้	4	4	4	4
1.6 ความเหมาะสมของภาพด้านสื่อความหมาย	4	3	4	3.66
1.7 บทเรียนมีลักษณะมีลักษณะจูงใจ	5	3	4	4
1.8 บทเรียนสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนต่างๆ ได้	5	4	5	4.66
เฉลี่ยรวม	4.25	3.63	4.13	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 สรุปผลการประเมินคุณภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ) จำนวน 3 ท่าน

ด้านที่ประเมิน	ผู้ทรงคุณวุฒิ			เฉลี่ย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	
1. ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ				
1.1 การวางรูปแบบของหน้าจอ	4	4	5	4.33
1.2 ความเหมาะสมในการนำเสนอบทเรียน	3	4	5	4
1.3 ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร	3	4	5	4
1.4 ความเหมาะสมของสีตัวอักษรหรือหน้าฉาก	4	4	4	4
1.5 ความเหมาะสมของสีพื้นหลัง	4	4	4	4
1.6 ความเหมาะสมของเสียงบรรยาย	4	4	4	4
1.7 ความเหมาะสมของเสียงประกอบ	3	4	4	3.66
1.8 ความเหมาะสมของสีของภาพกราฟิก	3	3	5	3.66
1.9 ความเหมาะสมของภาพในด้านการสื่อความหมาย	3	4	3	3.33
1.10 ความเหมาะสมของภาพกราฟิก	4	4	3	3.66
1.11 บทเรียนมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียน	4	4	4	4
1.12 ความสะดวกและง่ายต่อการใช้โปรแกรม	4	4	4	4
เฉลี่ยรวม	3.58	3.91	4.16	3.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ง**  
**หนังสือแต่งตั้งผู้ทรงคุณวุฒิ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวรธรรม

โทร. 2702-3

ที่ ศธ 0524.04(5)/016

วันที่ 2 ตุลาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

เรียน อาจารย์พิศุทธิ์ ศิริพันธุ์

ด้วย นายเทิดศักดิ์ สุนทรนนท์ และนายปรีชา มณฑากลิบ นักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวรธรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้จัดทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง “การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากในโปรแกรม MATLAB” ในวิชาโครงการการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอน และภาควิชาครุศาสตร์วิศวรธรรมพิจารณาเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ ประสบการณ์ และเชี่ยวชาญในเรื่องการผลิตสื่อ จึงมีความประสงค์ขอเรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ จักขอบคุณยิ่ง และขอขอบคุณมา ณ

โอกาสนี้ด้วย

วิจิตต์ ๑๐๓๓๓๓

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตต์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวรธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

โทร. 2702-3

ที่ ศธ 0524.04(5)/๐๑๗

วันที่ 2 ตุลาคม 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

เรียน ดร.ฉันทนา โหมดมณี

ด้วย นายเทิดศักดิ์ สุนทรนนท์ และนายปรีชา มณฑากลิบ นักศึกษาชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้จัดทำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง “การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเดินรากในโปรแกรม MATLAB” ในวิชาโครงการการสร้างอุปกรณ์เพื่อการสอน และภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมพิจารณาเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถ ประสบการณ์ และเชี่ยวชาญในเรื่องการผลิตสื่อ จึงมีความประสงค์ขอเรียนเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคนิคการผลิตสื่อ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ จักขอบคุณยิ่ง และขอขอบคุณมา ณ

โอกาสนี้ด้วย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายเทิดศักดิ์ สุนทรนนท์
วัน เดือน ปีเกิด	12 พฤษภาคม พ.ศ.2522
ภูมิลำเนา	16/31 ถนนเทศบาล 5 ตำบลปากเพรียว อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 18000 โทรศัพท์ 0-7115-1642
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาล 7 (วัดแก่งขนุน)
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเสนาให้วิมลวิทยานุกูล
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	เราต้องทำให้คนที่เรารักและรักเราภูมิใจให้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล

นายปรีชา มณฑากลิบ

วัน เดือน ปีเกิด

6 ธันวาคม พ.ศ. 2521

ภูมิลำเนา

45/1 หมู่ 5 แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี  
กรุงเทพมหานคร 10510 โทรศัพท์ 0-2517-5821

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนคลองสองต้นนุ่น

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนหนองจอกพิทยาสรรพ์ มัชฌม

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

คติพจน์

ความหวังยังมีเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้