สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทเรียนสำเร็จรูปวิชา Digital Circuit and Logic Design

Digital and Logic Design Courseware

T055124

นายนพชัย สัจจะประดิษฐ์

นายสุรศักดิ์ บุญจวง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่ 55124

เลขทะเบียน

วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ค. 2548

6

1

บทเรียนสำเร็จรูปวิชา Digital Circuit and Logic Design

Digital and Logic Design Courseware

โดย

นายนพชัย สัจจะประดิษฐ์

นายสุรศักดิ์ บุญจวง

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ประทีป บัญญัตินพรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง บทเรียนสำเร็จรูปวิชา Digital Circuit and Logic Design

Digital Circuit and Logic Design Courseware

คณะผู้จัดทำ นายนพชัย สัจจะประดิษฐ์ รหัส 44015330

นายสุรศักดิ์ บุญจวง รหัส 44015361

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ประทีป บัญญัตินพรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทเรียนสำเร็จรูปวิชา Digital Circuit and Logic Design

นายนพชัย สัจจะประดิษฐ์ 44015330
นายสุรศักดิ์ บุญจวง 44015361
รศ.ประทีป บัญญัตินพรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์นั้นมีความสำคัญในทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานเพื่อความสะดวกสบายของมนุษย์ ทั้งในด้านบันเทิงหรือทางธุรกิจ ความสำคัญอีกด้านหนึ่งของการใช้งานคอมพิวเตอร์ก็คือด้านการศึกษา คอมพิวเตอร์ที่ถูกใช้งานในด้านนี้ จะถูกเรียกว่า "คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยสื่อการสอน" หรือ CAI (Computer Assisted Instruction) ในส่วนของตัวโครงงานจะใช้ประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ด้านนี้มาสร้างบทเรียนสำเร็จรูปวิชา Digital Circuit and Logic Design โดยตัวบทเรียนส่วนที่เป็นเนื้อหานั้นถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint สำหรับส่วนที่เป็นแบบฝึกหัดนั้นใช้โปรแกรม Macromedia Author ware เป็นตัวสร้าง ตัวโครงงานนั้นได้รวมเอาลักษณะของการออกแบบการนำเสนอเนื้อหาของแต่ละบท โดยผู้ที่มีความรู้เกี่ยวกับตัวโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการทำบทเรียนนั้นสามารถนำเอาการออกแบบนี้ไปสร้างเป็นตัวโครงงานจริงได้อีก สำหรับตัวโครงงานที่สมบูรณ์แล้ว การจัดเก็บตัวโครงงานนั้นใช้ CD-ROM เป็นตัวจัดเก็บ เพื่อการนำไปใช้ในการศึกษาตามหลักสูตร หรือเพื่อการเรียนรู้ด้วยตัวเองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital and Logic Design Courseware

Mr. Noppachai Sadjapradit

Mr. Surasuk Boonjuang

Assoc.Prof. Pratheep Banyatnopparat Advisor

Academic Year 2003

ABSTRACT

Today computer is more important in every moment. It is used for convenience of human in the role of entertainment and business. Another important role of computer is used for education. Computer system is used for aiding instruction is called CAI system that refer to "Computer Assisted Instruction". This thesis has used advantage of computer for creating Digital and Logic Design Courseware. All of lessons in this thesis are created by Microsoft office PowerPoint. Exercises in this thesis are created by Macromedia Author ware. This thesis is combined the design for presentation of all lessons that will be used by another creator is aware of programs that are used for creating lessons. They can use this design for creating other courseware. For completed thesis is kept in CD-ROM for the purpose of studying by curriculum or self study.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้น ก็ด้วยคำแนะนำ คำติชมจากหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ประทีป บัญญัตินพรัตน์ ที่คอยให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี และแนะนำแนวทางในการสร้างสรรค์ตัวโครงงานให้มีความสมบูรณ์มาโดยตลอด ขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รวมไปถึงภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่ให้สถานที่สำหรับการค้นคว้าหาข้อมูลในการทำโครงงาน ไม่ว่าจะเป็นทางอินเตอร์เน็ต หรือการค้นคว้าจากห้องสมุด และประสบการณ์อื่นๆ อีกมากมายที่ได้รับจากการเป็นนักศึกษาของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแห่งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ห้อง 3P ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษา และให้กำลังใจที่ดีเสมอมา รวมไปถึงน้องๆ ที่คอยให้กำลังใจแก่พวกพี่ทุกคน

ขอขอบคุณ คุณเอกดนัย รุณผดุง เพื่อนผู้ให้ทางกลุ่มยืม Printer อันเป็นอุปกรณ์สำคัญในการสร้างสรรค์ปริญญานิพนธ์นี้ขึ้นมา

และสุดท้ายบุคคลที่สำคัญที่สุดก็คือ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นผู้ให้กำเนิดลูก รวมทั้งยังคอยส่งเสียค่าเล่าค่าเรียน เพื่อให้ลูกประสบผลสำเร็จในการศึกษาและการทำปริญญานิพนธ์นี้ อีกทั้งยังเป็นผู้ที่ให้กำลังใจที่ดีที่สุดในยามที่ลูกรู้สึกท้อแท้หรือผิดหวัง ขอขอบพระคุณอย่างสูง

นพชัย สัจจะประดิษฐ์

สุรศักดิ์ บุญจวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญตาราง		VI
สารบัญภาพ		VII
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มา	1
	1.2 ขอบเขตของงานวิจัย	1
	1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
	1.4 รายละเอียดของการจัดทำโครงงาน	2
	1.5 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2	สื่อการสอนสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ (CAI)	4
	2.1 ประเภทของบทเรียนสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์	4
	2.2 คุณสมบัติของ CAI	4
	2.3 การออกแบบบทเรียน (Course Designing)	5
บทที่ 3	ทฤษฎีโปรแกรม Microsoft Office PowerPoint	7
	3.1 เริ่มต้นใช้งาน Microsoft Office PowerPoint XP	7
	3.2 เริ่มการสร้างภาพนิ่ง	7
	3.3 เค้าโครงภาพนิ่ง	8
	3.4 ออกแบบภาพนิ่ง	9
	3.5 การออกแบบเอง	10
	3.6 การเชื่อมโยงหลายมิติ	10
	3.7 การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง	12
บทที่ 4	ทฤษฎีโปรแกรม Authorware	15
	4.1 บทนำ	15
	4.2 ลักษณะเด่นของโปรแกรม Authorware	15
	4.3 ความสามารถของโปรแกรม Authorware	16
	4.4 ตัวแปรและฟังก์ชัน	17
	4.5 การจัดพิมพ์เอกสารอัตโนมัติ	17
	4.6 ความสามารถในการทำงาน	18
	4.7 การพัฒนาโปรแกรมด้วย Authorware	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5	การสร้างระบบสื่อการสอน	22
	5.1 เนื้อหาที่ใช้ในการทำสื่อการสอน	22
	5.2 การจัดหาเครื่องมือที่ใช้ในการทำสื่อการสอน	23
	5.3 การออกแบบสื่อการสอน	23
	5.4 การจัดทำสื่อการสอน	26
บทที่ 6	การทดลองและทดสอบ	30
	6.1 การประเมินโดยการให้ผู้อื่นทดลองใช้ตัวสื่อการสอน	30
	6.2 บทสรุปของการประเมินผล	30
บทที่ 7	บทสรุป	31
	7.1 บทสรุป	31
	7.2 ปัญหาและอุปสรรค	31
	7.3 ข้อเสนอแนะ	31
ภาคผนวก ก. ส่วนการออกแบบการนำเสนอบทเรียนในแต่ละบท		32
บรรณานุกรม		261

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1-1 การดำเนินงานในปีการศึกษา 1 / 2546 2
ตารางที่ 1-2 การดำเนินงานในปีการศึกษา 2 / 2546 2
ตารางที่ 5-1 เนื้อหาวิชา Digital Circuit and Logic Design 31
ตารางที่ 5-2 แสดงรูปแบบของการออกแบบส่วนการนำเสนอโดยใช้ Microsoft PowerPoint ตัวอย่างที่ 1 33
ตารางที่ 5-3 แสดงรูปแบบของการออกแบบส่วนการนำเสนอโดยใช้ Microsoft PowerPoint ตัวอย่างที่ 2 33
ตารางที่ 6-1 ผลการประเมินสื่อการสอน 40
ตารางที่ ก-1 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 0 หลักการของดิจิตอล 51
ตารางที่ ก-2 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 1 ระบบตัวเลข 81
ตารางที่ ก-3 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 2 การกระทำทางคณิตศาสตร์กับเลขฐานสอง 103
ตารางที่ ก-4 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 3 เกต 125
ตารางที่ ก-5 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 4 ฟังก์ชันทางลอจิกและพีชคณิตบูลีน 160
ตารางที่ ก-6 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 5 การสร้างวงจรดิจิตอล 168
ตารางที่ ก-7 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 6 ฟลิปฟลอป ตอนที่ 1 186
ตารางที่ ก-8 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 6 ฟลิปฟลอป ตอนที่ 2 193
ตารางที่ ก-9 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 7 รีจิสเตอร์ 205
ตารางที่ ก-10 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 8 วงจรนับ 213
ตารางที่ ก-11 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 9 การเข้ารหัส การถอดรหัส และการแปลงรหัส 233
ตารางที่ ก-12 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 10 หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์ 241
ตารางที่ ก-13 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 11 หน่วยความจำ 257
ตารางที่ ก-14 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 12 ระบบดิจิตอล 250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ 1-1 การดำเนินงานในปีการศึกษา 1 / 2546 2
รูปที่ 1-2 การดำเนินงานในปีการศึกษา 2 / 2546 2
รูปที่ 3-1 หน้าต่างของ Microsoft Office PowerPoint XP 7
รูปที่ 3-2 เมื่อทำการสร้างภาพนิ่งอีกภาพขึ้นมา 8
รูปที่ 3-3 แสดงตัวอย่างการเลือกเค้าโครงข้อความและเนื้อหา 9
รูปที่ 3-4 ออกแบบแม่แบบ “Ocean” 10
รูปที่ 3-5 แสดงการเลือกข้อความที่ต้องการทำการเชื่อมโยงหลายมิติ 11
รูปที่ 3-6 หน้าต่างแทรกการเชื่อมโยงหลายมิติ 12
รูปที่ 3-7 แสดงแถบเครื่องมือการเคลื่อนไหวกำหนดเอง 13
รูปที่ 4-1 แสดง Menu Bar ของโปรแกรม Authorware 18
รูปที่ 4-2 แสดง Tool Bar ของโปรแกรม Authorware 18
รูปที่ 4-3 แสดง Flow Line ของโปรแกรม Authorware 19
รูปที่ 4-4 แสดง Icon Bar ของโปรแกรม Authorware 19
รูปที่ 5-1 แสดงหน้าแรกของแบบทดสอบ 34
รูปที่ 5-2 แสดงหน้าหลักของแบบทดสอบ 35
รูปที่ 5-3 แสดงหน้าสรุปผลการทดสอบ 35
รูปที่ 5-4 หน้าสไลด์ที่ได้จากการออกแบบตัวอย่างที่ 1 36
รูปที่ 5-5 หน้าสไลด์ที่ได้จากการออกแบบตัวอย่างที่ 2 37
รูปที่ 5-6 แสดงหน้า New Project ในโปรแกรม Authorware 38
รูปที่ 5-7 แสดงหน้า Wizard ในโปรแกรม Authorware 39
รูปที่ 5-8 แสดงตัวอย่างของแบบทดสอบ 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การศึกษาในปัจจุบันนี้ มีความก้าวหน้ามากกว่าอดีตที่ผ่านมามาก เนื่องจากได้มีการนำสื่อการสอนที่ทันสมัยในแบบต่างๆ เข้ามาใช้อย่างแพร่หลาย และคอมพิวเตอร์ก็เป็นหนึ่งในจำนวนนั้น ซึ่งคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนี้มีประโยชน์มากกว่าการใช้เป็นเครื่องคำนวณ หรือการใช้งานโปรแกรมด้านต่างๆ แต่เพียงเท่านั้น คอมพิวเตอร์ยังมีประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน เช่น สื่อการสอนวิชาคณิตศาสตร์สำหรับเด็ก บทเรียนการฝึกพูดภาษาอังกฤษสำหรับบุคคลทั่วไป หรือจะเป็นการสอนการใช้งานโปรแกรมต่างๆ โดยจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาด้วยตนเองของผู้ศึกษา จึงมีการทำให้ง่ายต่อการเข้าใจนั้นเอง สื่อการเรียนการสอนเหล่านี้เกิดขึ้นมาจากการใช้สื่อหลายๆประเภทรวมกัน (Multimedia) นำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดเป็นสื่อที่ประกอบไปด้วย ภาพเคลื่อนไหว เสียง ตัวอักษร และองค์ประกอบต่างๆ ที่ทำให้ผู้ศึกษาเกิดความรู้สึกเพลิดเพลินพร้อมกับได้รับความรู้ไปด้วยในตัวเอง จากแนวคิดนี้ จึงทำให้เกิดความแนวคิดที่ว่าจะสร้างบทเรียนสำเร็จรูปนี้กับรายวิชาต่างๆ เพื่อช่วยให้นักศึกษาได้รับความแปลกใหม่ในการเรียนการสอนนอกเหนือจากที่ได้รับในห้องเรียน โดยสามารถศึกษาได้ด้วยตนเอง และเนื่องจากข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลทางดิจิตอล (Digital) ซึ่งสามารถที่จะเก็บรักษาไว้ในรูปแบบของ ซีดีรอม ซึ่งเป็นสื่อที่เก็บรักษาได้ง่ายและราคาถูกและสามารถเคลื่อนย้ายและนำไปเผยแพร่ได้สะดวก และผู้ที่มีคอมพิวเตอร์ใช้ส่วนใหญ่ก็จะมีเครื่องอ่านซีดีรอมติดตั้งอยู่แล้ว

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

ออกแบบบทเรียนสำเร็จรูปวิชา Digital Circuit and Logic Design ให้ได้เนื้อหาตามหลักสูตรที่ใช้ในการเรียนการสอน แล้วนำมาสร้างเป็นบทเรียนสำเร็จรูปด้วยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่มีอยู่ คือ Microsoft Office PowerPoint และ Macromedia Author ware เพื่อสร้างตัวเนื้อหาของวิชา และส่วนของแบบทดสอบ โดยจะเน้นการใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย สามารถให้ผู้ที่สนใจนำไปศึกษาได้เอง หรือใช้ในการประกอบการเรียนการสอนตามหลักสูตรได้ ส่วนของเนื้อหาของวิชานั้นยังได้จัดทำเป็นรูปเล่มขึ้นมาเพื่อใช้ประกอบการเรียนอีกทางหนึ่งด้วย สำหรับบทเรียนที่สำเร็จรูปแล้วจะทำการบันทึกลงบนแผ่น CD-ROM เพื่อง่ายต่อการเก็บรักษาและการใช้งานต่อไป

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผู้จัดทำโครงงาน ได้เข้าใจหลักการของการออกแบบ ซึ่งเป็นการมองภาพโดยรวมของเนื้อหาทั้งหมดก่อน แล้วจึงทำการออกแบบและนำไปสู่การสร้างในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผู้จัดทำโครงงาน ได้รับความเข้าใจเกี่ยวกับการสื่อสารกับผู้อื่น ไม่ว่าจะเป็นส่วนของผู้จัดทำหรือผู้ที่จะนำไปศึกษา ว่าจะทำอย่างไรให้ผู้ที่จะนำไปศึกษาสามารถเข้าใจได้อย่างรวดเร็วและไม่เบื่อหน่ายกับเนื้อหาของวิชา
3. เป็นแนวทางเพื่อการนำไปใช้ในการสร้างบทเรียนสำเร็จรูปในวิชาอื่นๆ ต่อไป
4. สามารถนำโครงงานที่สำเร็จแล้ว ไปใช้เป็นสื่อการสอนที่ศึกษาได้ด้วยตนเองสำหรับนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ หรือผู้อื่นที่สนใจ

1.4 รายละเอียดของการจัดทำโครงงาน

1. เตรียมเนื้อหาให้ตรงกับหลักสูตร
2. ศึกษา software ที่ใช้ในการสร้างสื่อการสอน
3. ออกแบบสื่อการสอน
4. จัดทำสื่อการสอน
5. ประเมินผลและแก้ไขข้อผิดพลาดตัวสื่อการสอน
6. บันทึกสื่อการสอนที่สำเร็จแล้วลงบน CD-ROM และจัดทำตำราประกอบสื่อการสอนเพื่อใช้ในการเผยแพร่ต่อไป

1.5 วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงานของโครงงานแบ่งเป็นช่วงเวลาดังตารางข้างล่างนี้

วิธีการดำเนินงาน	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม
เตรียมเนื้อหา					
ศึกษา software					
ออกแบบสื่อการสอน					
จัดทำสื่อการสอน					

ตารางที่ 1-1 การดำเนินงานในปีการศึกษา 1 / 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการดำเนินงาน	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
ออกแบบสื่อการสอน	■	■	■		
จัดทำสื่อการสอน	■	■	■	■	
ประเมินผลและแก้ไข				■	■
บันทึกและจัดเก็บ					■

ตารางที่ 1-2 การดำเนินงานในปีการศึกษา 2 / 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
สื่อการสอนสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ (CAI)

สื่อการสอนสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ (Computer Assisted Instruction หรือ CAI) เป็นการนำบทเรียนประกอบเข้ากับสื่อ คือคอมพิวเตอร์ โดยจะสร้างบทเรียนก่อน จากนั้นจึงนำบทเรียนมาลำดับเนื้อหาและรูปแบบที่ต้องการแสดงโดยใช้ความสามารถของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการนำเสนอ โดยอาจมีทั้งภาพเคลื่อนไหว ภาพนิ่ง และเสียง ที่มีการทดสอบและสามารถตรวจสอบผลการทดสอบได้ จึงนับได้ว่าเป็นการพัฒนาบทเรียนโดยใช้สื่อที่ทันสมัยเพื่อให้ผู้เรียนสนใจยิ่งขึ้น

2.1 ประเภทของบทเรียนสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์

แบ่งตามการตอบสนองของผู้เรียน 2 แบบดังนี้

1. แบบเชิงเส้น (Linear) หมายถึง บทเรียนที่จัดลำดับการเรียนรู้จากการตอบสนองของผู้เรียนให้เหมือนกันทุกคน แบบเรียนมีการจัดลำดับการเรียนรู้จากง่ายไปหายาก ผู้เรียนจะต้องเริ่มจากหน่วยแรกและเรียนไปตามลำดับจนถึงหน่วยสุดท้ายเหมือนกันทุกคน
2. แบบไม่เชิงเส้น (Branching) หมายถึง บทเรียนที่จัดลำดับการเรียนรู้การตอบสนองของนักเรียนแต่ละคน ทุกคนได้มีโอกาสเรียนตามความสามารถของตนเอง ซึ่งอาจมีขบวนการเรียนรู้ไม่เหมือนคนอื่นๆ ผู้เรียนอาจข้ามหน่วยย่อยใดหน่วยหนึ่งซึ่งเข้าใจแล้วไปยังหน่วยต่อไปได้ การเรียนจะไม่ดำเนินไปตามลำดับขั้นแต่จะขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้เรียน

2.2 คุณสมบัติของ CAI

การใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวนำเสนอเนื้อหาสามารถให้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เหล่านี้ คือ เสนอเนื้อหาได้รวดเร็วกว่า แทนที่ผู้เรียนจะต้องเปิดหนังสือทีละหลายๆ หน้าก็เพียงแต่กดแป้นพิมพ์หรือคลิกเมาส์เพียงครั้งเดียวเท่านั้น สำหรับคุณสมบัติของ CAI นั้นจำแนกเป็นข้อย่อยๆ ได้ดังนี้

1. คอมพิวเตอร์สามารถเสนอรูปภาพเคลื่อนไหวได้
2. มีเสียงประกอบได้ ทำให้เกิดความน่าสนใจมากขึ้น
3. เก็บข้อมูลเนื้อหาได้มากกว่าหนังสือหลายเท่า
4. มีการตอบโต้กับผู้เรียนได้
5. สามารถประเมินผลการเรียนและประเมินตัวผู้เรียนได้
6. สามารถนำติดตัวไปเรียนในที่ต่างๆ ที่มีเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยไม่จำกัดด้านเวลาและสถานที่
7. เหมาะสำหรับการเรียนการสอนผ่านการสื่อสาร เช่น การจัดการศึกษาทางไกลผ่านดาวเทียม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การออกแบบบทเรียน (Course Designing)

การออกแบบบทเรียนมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.3.1 การวิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหา (Course Analysis)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนที่นับว่าสำคัญที่สุดของกระบวนการออกแบบบทเรียน คือ การวิเคราะห์ความต้องการของหลักสูตรที่จะนำมาสร้างเป็นบทเรียน CAI ส่วนเนื้อหาของบทเรียนจะได้มาจากการศึกษาและวิเคราะห์รายวิชาแต่ละวิชา

2.3.2 กำหนดวัตถุประสงค์ของบทเรียน

เป็นการกำหนดแนวทางที่คาดหวังให้ผู้เรียนมีความสามารถในเชิงรูปธรรมหลังจากที่จบบทเรียนแล้ว วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมนี้ จะครอบคลุมขอบข่ายของเนื้อหาที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 1 ซึ่งจะสอดคล้องกับหัวข้อเรื่องย่อยๆ ที่จะนำมาสร้างบทเรียน

2.3.3 การวิเคราะห์เนื้อหาและกิจกรรม

ขั้นตอนนี้จะยึดตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเป็นหลัก โดยทำการขยายรายละเอียด ดังนี้

1. กำหนดเนื้อหา กิจกรรมการเรียนและ Concept ที่คาดหวังให้ผู้เรียนเรียนรู้
2. เขียนเนื้อหาสั้นๆ ทุกหัวข้อย่อยให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
3. เขียน Concept ทุกๆ หัวข้อย่อยจากนั้นนำมาดำเนินตามขั้นตอนดังนี้
   - จัดลำดับเนื้อหา
   - เขียนผังงาน
   - การออกแบบจอภาพและแสดงผล

2.3.4 การกำหนดขอบข่ายของบทเรียน

หมายถึงการกำหนดความสัมพันธ์ ของเนื้อหาแต่ละหัวข้อย่อย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างบทเรียน จะได้ทราบถึงแนวทางที่ผู้เรียนจะต้องศึกษาต่อไป ถ้าบทเรียน CAI ที่ออกแบบขึ้นเพียงบทเรียนเรื่องเดียวก็อาจข้ามการพิจารณาขั้นตอนนี้ไปได้

2.3.5 การกำหนดวิธีการนำเสนอ

ได้แก่ การเลือกรูปแบบการนำเสนอเนื้อหาในแต่ละเฟรมว่าจะใช้วิธีการใด โดยสรุปจากขั้นตอนที่ 3 และ 4 นำมากำหนดรูปแบบการนำเสนอ เช่น การออกแบบเฟรม การแสดงภาพกราฟริกบนจอ ฯลฯ

2.3.6 การสร้าง Storyboard ของบทเรียน

Storyboard หมายถึง เรื่องราวของบทเรียน ที่ประกอบด้วยเนื้อหาที่แบ่งเป็นเฟรมตามวัตถุประสงค์และรูปแบบการนำเสนอ โดยร่างเป็นแต่ละเฟรมย่อยเรียงลำดับตั้งแต่เฟรมที่ 1 จนถึงเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้าย Storyboard จะต้องระบุภาพ พร้อมเงื่อนไขต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละเฟรม เช่น ลักษณะของภาพ เสียงประกอบ ความสัมพันธ์กับเฟรมอื่นๆ ของบทเรียน Storyboard จะใช้เป็นแนวทางในการสร้างบทเรียนจริงให้เป็นระบบมากขึ้น

2.3.7 การสร้างบทเรียน

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบ Storyboard แล้ว ขั้นตอนนี้จะดำเนินการตาม Storyboard ที่วางไว้ทั้งหมด ตั้งแต่การออกแบบเฟรม การกำหนดสี รูปแบบของตัวอักษร เงื่อนไขการโต้ตอบ การสร้างเสียง ความสัมพันธ์ระหว่างเฟรม ฯลฯ

2.3.8 การตรวจสอบและประเมินก่อนนำไปใช้

ขั้นตอนสุดท้ายก่อนการนำบทเรียน CAI ไปใช้งาน จำเป็นที่จะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบและการประเมินตัวบทเรียน CAI ว่ามีคุณภาพอย่างไร ซึ่งจะพิจารณาดังนี้

1. การตรวจสอบแต่ละขั้นตอนของการออกแบบบทเรียน
2. การทดสอบการใช้งานบทเรียน โปรแกรมบทเรียน CAI จำเป็นต้องมีการทดสอบก่อนการนำไปใช้งาน เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและความเหมาะสมของบทเรียน
3. การประเมินผลบทเรียน มีจุดประสงค์เพื่อประเมินตัวบทเรียน CAI และการประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

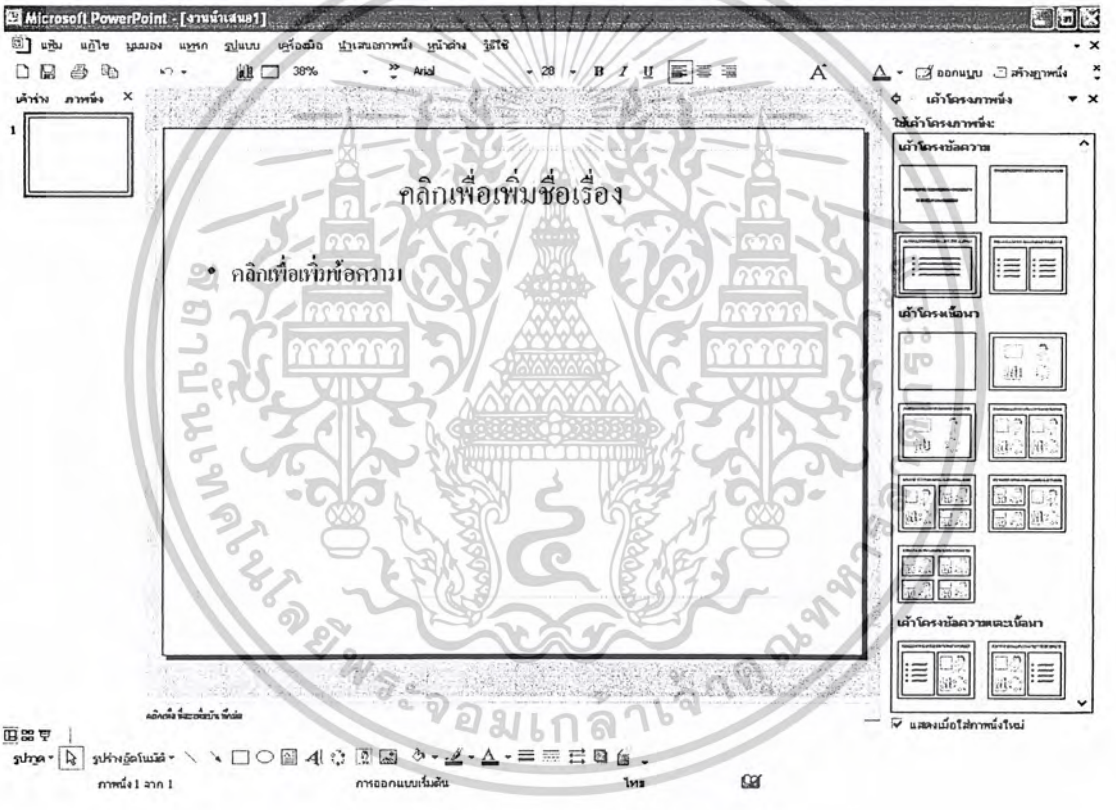
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การใช้งาน Microsoft Office PowerPoint XP

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงการใช้งาน Microsoft Office PowerPoint XP เพื่อทำเป็นส่วนนำเสนอ โดยจะไม่กล่าวรายละเอียดมากนัก เพียงแต่จะบอกถึงการใช้เทคนิคต่างๆ ที่มีในส่วนการนำเสนอที่จัดทำไปแล้ว

3.1 เริ่มต้นใช้งาน Microsoft Office PowerPoint XP

เมื่อเปิดโปรแกรม Microsoft PowerPoint XP ขึ้นมา หน้าตาของโปรแกรมจะเป็นดังรูปที่ 3-1



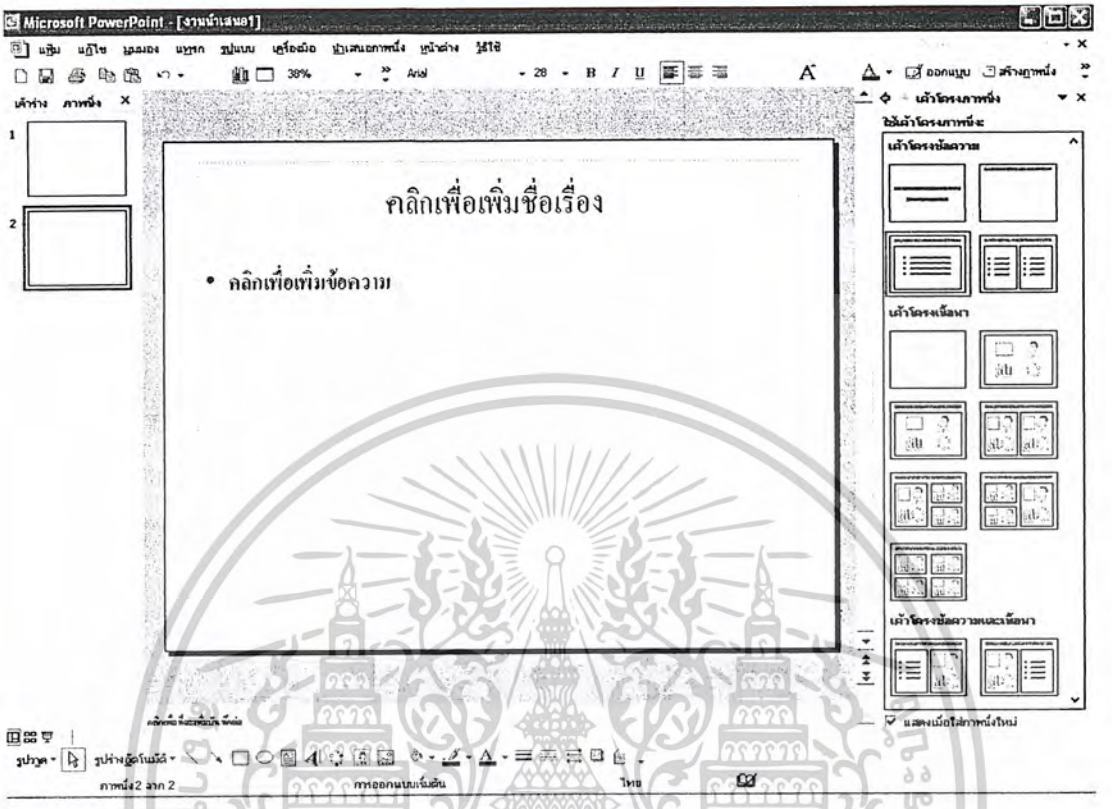
รูปที่ 3-1 หน้าต่างของ Microsoft Office PowerPoint XP

3.2 เริ่มการสร้างภาพนิ่ง

ภาพนิ่ง หรือสไลด์แต่ละหน้านั้น การสร้างขึ้นมาใหม่นั้นให้กด Ctrl + M หรือคลิกที่ไอคอน "สร้างภาพนิ่ง" โดยภาพที่สร้างขึ้นมาใหม่นั้นจะถูกนำไปวางที่เราใช้เมาส์ไปคลิกไว้ไม่ว่าจะเป็นการสร้างที่ก่อนหน้าภาพนิ่งเดิม หรือสร้างหลังภาพนิ่งเดิม ซึ่งในรูปที่ 3-1 นั้นเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาแล้ว จะมีภาพนิ่งขึ้นมาให้เลย อีกกรณีหนึ่งของการสร้างภาพนิ่งนั้นเรายังสามารถที่จะ copy ภาพนิ่งที่สร้างไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาทำเป็นภาพนิ่งใหม่ขึ้นมาได้อีก เมื่อต้องการสร้างภาพนิ่งขึ้นมาอีกภาพเพื่อต่อจากภาพนิ่งที่มีอยู่แล้ว ในรูปที่ 3-1 จะได้ดังรูปที่ 3-2 โดยสังเกตที่ Tab ภาพนิ่ง ซึ่งจะมีภาพนิ่งอีกตัวขึ้นมา



รูปที่ 3-2 เมื่อทำการสร้างภาพนิ่งอีกภาพขึ้นมา

3.3 เค้าโครงภาพนิ่ง

ใน Microsoft PowerPoint XP นั้นมีเค้าโครงภาพนิ่งที่เป็นต้นแบบให้เราเลือกใช้ได้อยู่แล้ว ซึ่งจะมีเค้าโครงต่างๆ ให้เลือกใช้งาน การเรียกใช้เค้าโครงภาพนิ่งนั้นทำได้โดยคลิกที่เมนู "รูปแบบ" แล้วเลือก "เค้าโครงภาพนิ่ง" จะปรากฏแถบเครื่องมือ "เค้าโครงภาพนิ่ง"ที่อยู่ทางขวาของหน้าจอ โดยรูปแบบที่มีมาให้คือ

3.3.1 เค้าโครงข้อความ

เค้าโครงข้อความนั้นจะสร้างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้ เลือกเพื่อการนำเสนอเฉพาะภาพนิ่งที่แสดงเป็นข้อความเท่านั้น

3.3.2 เค้าโครงเนื้อหา

เค้าโครงเนื้อหานั้นเลือกเมื่อต้องการแสดงภาพนิ่งที่มีส่วนประกอบของ ตาราง แผนผัง ภาพตัดปะ รูปภาพ ไดอะแกรมแผนผังองค์กร หรือแทรกส่วนที่เป็นไฟล์ Multimedia ต่างๆ

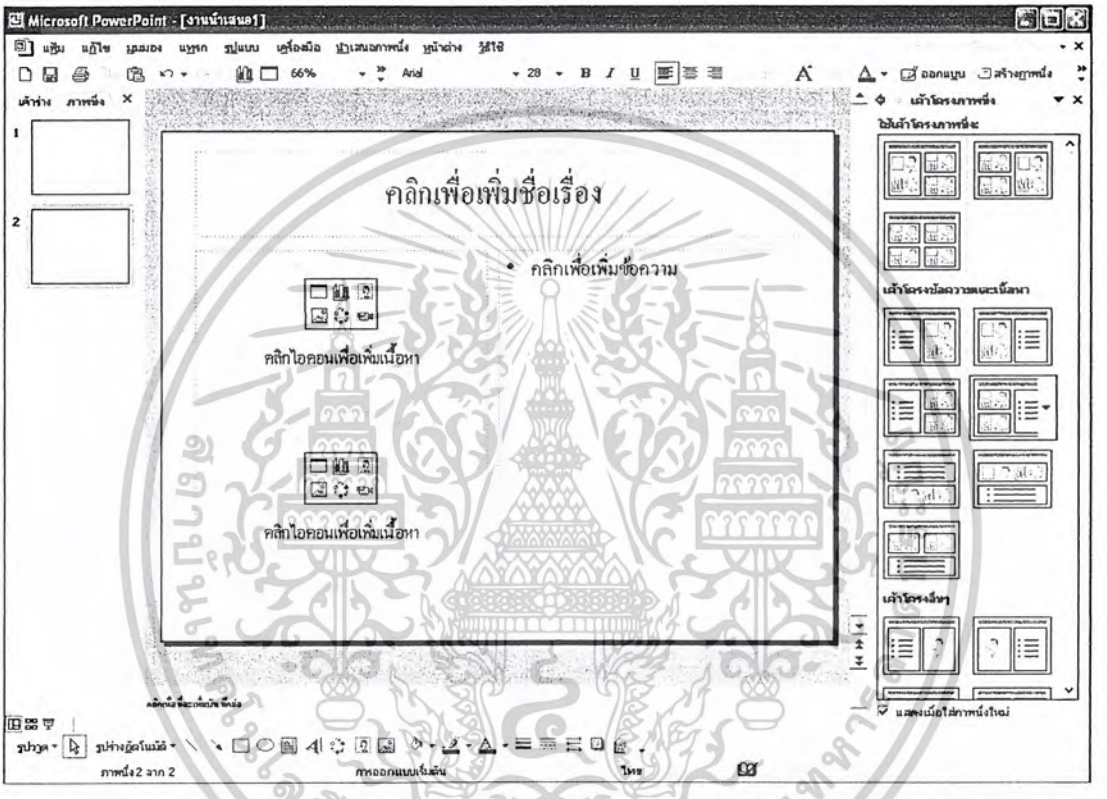
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 เค้าโครงข้อความและเนื้อหา

เค้าโครงนี้เป็นการรวมเข้าด้วยกันระหว่างเค้าโครงข้อความและเค้าโครงเนื้อหา เพื่อให้เกิดความหลากหลายของภาพนิ่ง

3.3.3 เค้าโครงอื่นๆ

ใช้เพื่อเลือกในการสร้างภาพนิ่งในรูปแบบอื่นๆ เช่น การสร้างภาพนิ่งที่มีชื่อเรื่องและแผนผังประกอบกันเป็นต้น



รูปที่ 3-3 แสดงตัวอย่างการเลือกเค้าโครงข้อความและเนื้อหา

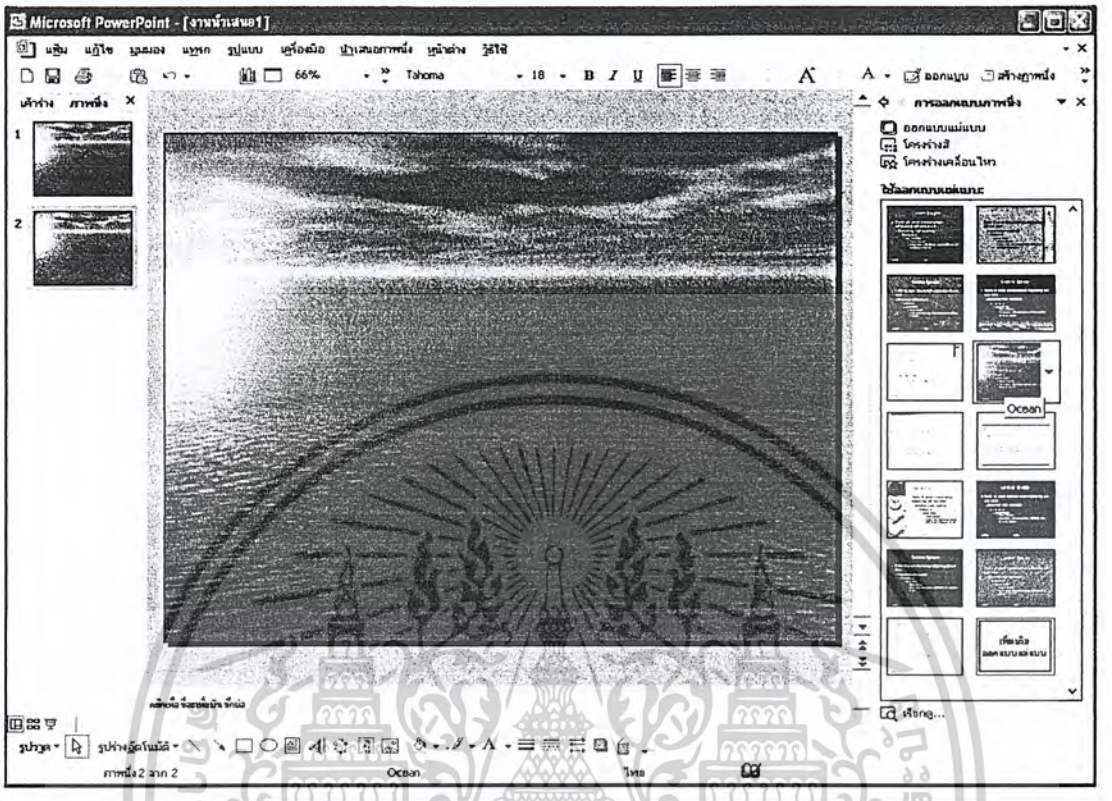
3.4 ออกแบบภาพนิ่ง

เป็นการเลือกพื้นหลังให้กับตัวภาพนิ่ง โดย Microsoft PowerPoint XP นั้นได้มีแบบพื้นหลังมาให้อยู่แล้ว โดยเรายังสามารถติดตั้งเพิ่มเติมได้อีกด้วย การเรียกใช้ออกแบบภาพนิ่งนั้นทำได้โดยคลิกที่เมนู “รูปแบบ” แล้วเลือก “ออกแบบภาพนิ่ง” จะปรากฏแถบเครื่องมือ “ออกแบบภาพนิ่ง”ที่อยู่ทางขวาของหน้าจอ โดยมีให้เลือกการออกแบบอยู่ 3 ส่วนคือ

3.4.1 ออกแบบแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการเลือกพื้นหลังว่าต้องการรูปในลักษณะใด ดังแสดงในรูปที่ 3-4 ซึ่งเป็นการเลือกการออกแบบแม่แบบที่ชื่อว่า Ocean



รูปที่ 3-4 ออกแบบแม่แบบ "Ocean"

3.4.2 โครงร่างสี

ใช้เมื่อต้องการเปลี่ยนสีพื้นหลัง ให้เป็นสีต่างๆ

3.4.3 โครงร่างเคลื่อนไหว

ใช้เลือกเมื่อต้องการนำเสนอภาพนิ่งในแบบต่างๆ โดยจะแสดงเมื่อตอนที่เปิดภาพนิ่งขึ้นมา ที่พิเศษก็คือ สามารถเลือกได้ว่าต้องการใช้งานกับภาพนิ่งที่เลือก หรือต้องการใช้งานกับภาพนิ่งทั้งหมด

3.5 การออกแบบเอง

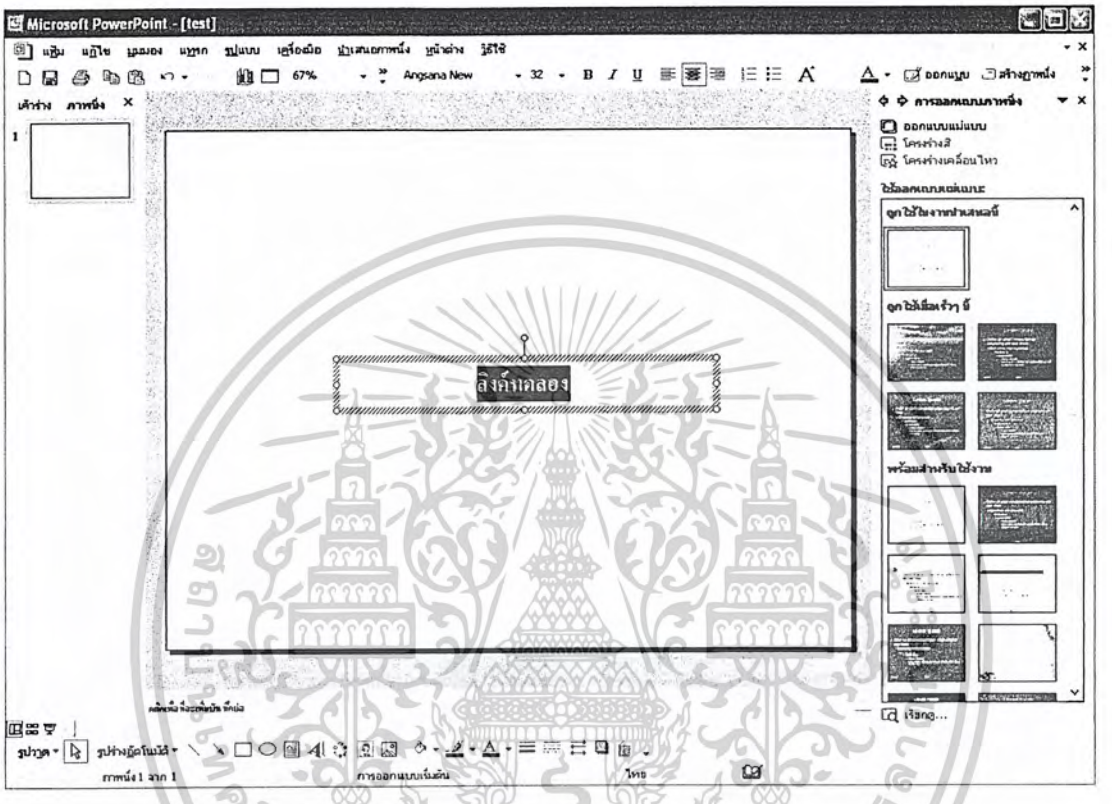
จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดเป็นการสร้างภาพนิ่งตามรูปแบบที่มีมาให้อยู่แล้ว แต่ถ้าต้องการสร้างภาพนิ่งที่มีความหลากหลายนั้น ก็ให้ลองคลิกที่เมนู "แทรก" ที่จะมีเมนูย่อยไว้เพื่อสำหรับการเพิ่มเติมส่วนประกอบอื่นๆ ของภาพนิ่งได้อีกตามแต่ความต้องการของผู้ใช้

3.6 การเชื่อมโยงหลายมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกใช้เมื่อต้องการเชื่อมโยงหน้าของการนำเสนอ ไปยังส่วนอื่นๆ โดยตัวที่ช้ำการเชื่อมโยงนั้นเป็นได้ทั้งข้อความ หรือส่วนของเนื้อหาก็ได้ การสร้างการเชื่อมโยงหลายมิตินั้นทำได้ดังนี้

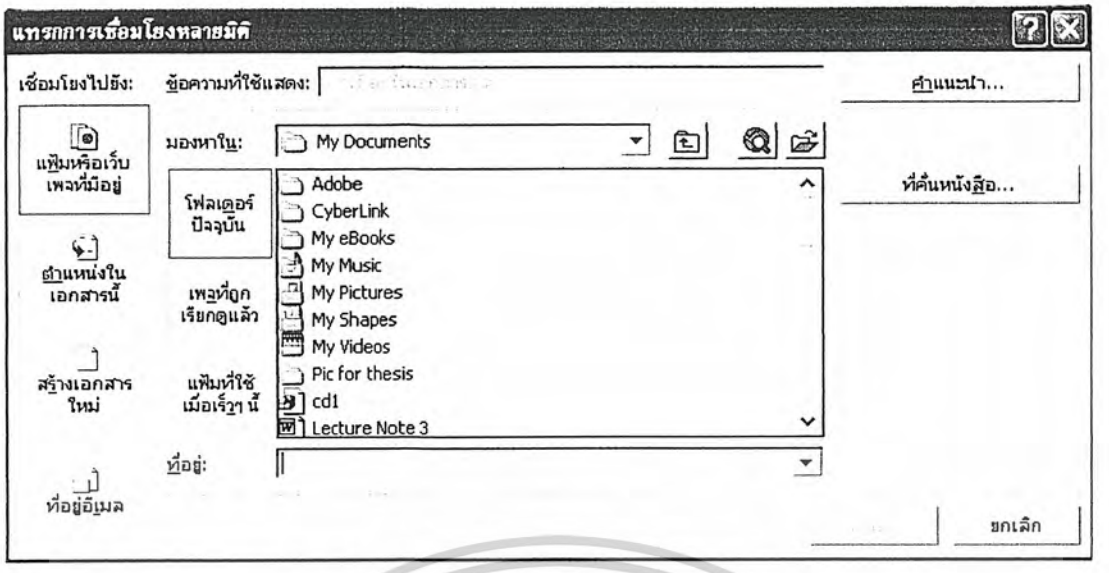
1. สร้างข้อความ หรือเนื้อหาที่ต้องการใช้เป็นตัวเชื่อมโยงขึ้นมา
2. ถ้าต้องการลิงค์ที่ตัวข้อความโดยตรงเลยก็ให้ทำการไฮไลท์ (Highlight) ที่ตัวข้อความเลย ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 แสดงการเลือกข้อความที่ต้องการทำการเชื่อมโยงหลายมิติ

3. หลังจากนั้นให้กด Ctrl + K หรือคลิกขวาที่ตัวข้อความจะมีเมนู Pop up ขึ้นมาแล้วเลือก “การเชื่อมโยงหลายมิติ” หรืออาจจะเลือกที่เมนู “แทรก” แล้วเลือก “การเชื่อมโยงหลายมิติ” จะปรากฏหน้าต่างเล็กๆ ขึ้นมาดังรูปที่ 3-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



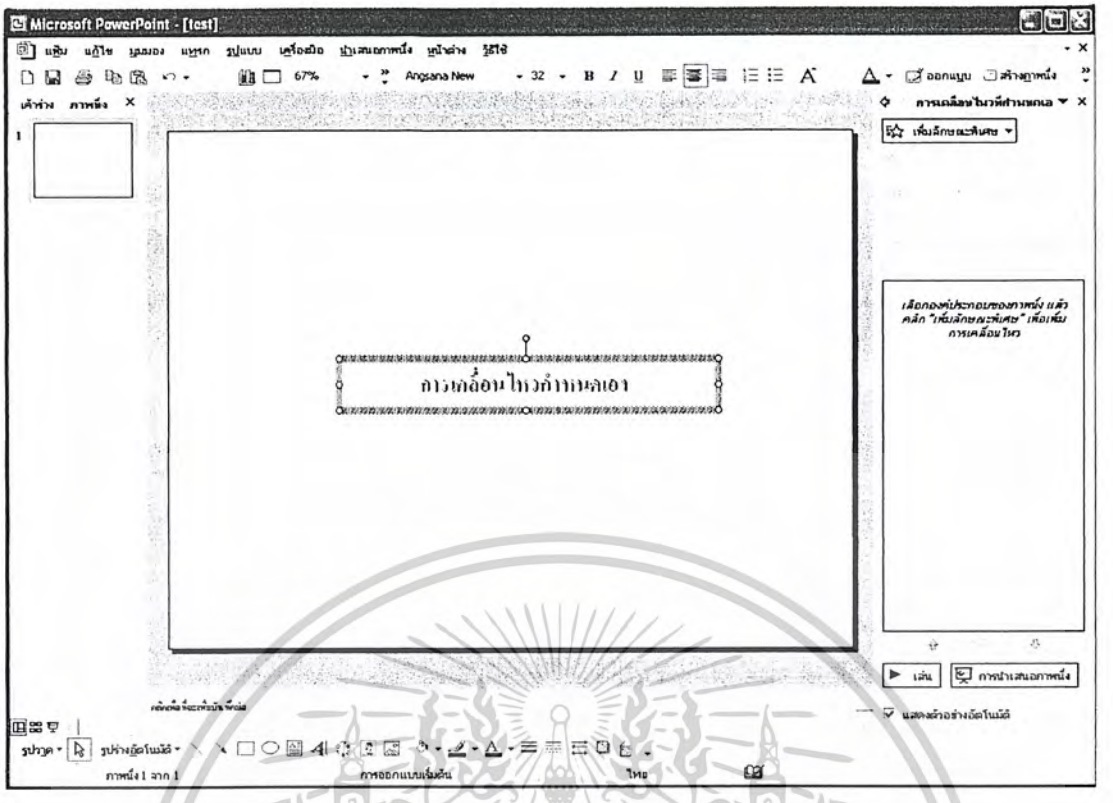
รูปที่ 3-6 หน้าต่างแทรกการเชื่อมโยงหลายมิติ

4. เลือกตำแหน่งที่ต้องการจะไป ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งที่จะไปยังหน้าอื่นๆ ของเอกสารนี้ หรือตำแหน่งของไฟล์อื่นๆ ที่มีอยู่ในเครื่องที่สามารถเปิดใช้งานได้เลย
5. เมื่อเลือกตำแหน่งที่ตองการแล้วตัวข้อความนั้นจะแสดงให้เห็นว่าเป็นข้อความที่มีการเชื่อมโยงหลายมิติ คือถ้ามีการเอาเมาส์มาคลิกที่ตัวข้อความ ก็จะสามารถเชื่อมโยงไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้

3.7 การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

ใช้เมื่อต้องการนำเสนอการเคลื่อนไหวของข้อความหรือเนื้อหา ทำได้โดยการคลิกที่ตัวข้อความหรือเนื้อหาที่ต้องการ แล้วคลิกขวา จะมีเมนู Pop up ขึ้นมาแล้วเลือก “การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง” หรือเลือกที่เมนู “นำเสนอภาพนิ่ง” แล้วเลือกการ “เคลื่อนไหวที่กำหนดเอง” เมื่อเลือกแล้วก็จะปรากฏแถบเครื่องมือการเคลื่อนไหวที่กำหนดเองดังรูปที่ 3-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 แสดงแถบเครื่องมือการเคลื่อนไหวกำหนดเอง

การสร้างการเคลื่อนไหวกำหนดเองนั้นทำได้โดย เมื่อปรากฏแถบเครื่องมือการเคลื่อนไหวกำหนดเองแล้ว ให้คลิกที่ "เพิ่มลักษณะพิเศษ" ซึ่งจะมีให้เลือกหลักอยู่ 4 แบบหลักๆ ดังนี้

3.7.1 ทางเข้า

ใช้เมื่อต้องการทำภาพเคลื่อนไหวในกรณีที่ให้วัตถุที่ถูกเลือกปรากฏขึ้นมา โดยในส่วนนี้ตัวของ PowerPoint นั้นมีมาให้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปใช้กับการแสดงแบบไหน ตามความต้องการของผู้ใช้

3.7.2 เน้น

ใช้เมื่อต้องการแสดงวัตถุที่เลือกให้เห็นเด่นสะดุดตา ซึ่งก็มีให้เลือกหลายแบบ

3.7.3 จบการทำงาน

ทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับทางเข้า คือจะใช้เมื่อต้องการให้วัตถุที่เลือกนั้นหายไปจากหน้าจอการนำเสนอ

3.7.4 เส้นทางการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ในกรณีที่ต้องการให้วัตถุเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งก็จะมีการวาดเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุออกมาให้เห็นด้วยว่าจะไปในทิศทางใด

สำหรับการสร้างการเคลื่อนไหวในแต่ละส่วนนั้นยังมีข้อปลีกย่อยอีกมาก ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดเวลาในการแสดง หรือกำหนดว่าจะเริ่มแสดงตอนไหน รวมทั้งการใช้งานอื่นๆ อีกมากมายจนไม่สามารถนำมากล่าวเป็นรายละเอียดปลีกย่อยได้หมด เพราะเกรงว่าจะทำให้เนื้อหาของปริญญานิพนธ์เล่มนี้ดูมากจนเกินความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ทฤษฎีโปรแกรม Authorware

4.1 บทนำ

โปรแกรม Authorware จัดเป็นโปรแกรมประเภท Authoring System ใช้สำหรับพัฒนาแอปพลิเคชั่นใช้งาน ที่มีความสามารถในการโต้ตอบกับผู้ใช้ โดยเฉพาะโปรแกรมด้านการเรียนการสอนการฝึกอบรมด้วยคอมพิวเตอร์ (Interactive Learning Program) รวมทั้งมีความสามารถในด้านมัลติมีเดียทำให้นำไปพัฒนาโปรแกรมที่เป็นมัลติมีเดียได้อย่างดี การพัฒนาโปรแกรม Authorware จะติดต่อกับผู้ใช้ด้วยเทคนิคที่เรียกว่า Object Interface ซึ่งเป็นการใช้สัญลักษณ์ (Icon) แทนคำสั่ง โดยสัญลักษณ์แต่ละอันจัดเป็นวัตถุ (Object) หนึ่ง โดยวัตถุนี้จะมีคุณสมบัติและความสามารถในการทำงานที่ซับซ้อนได้หลากหลายด้วยเหตุนี้ ทำให้การใช้งาน โปรแกรม Authorware มีความสะดวกและง่าย ไม่ว่าจะเป็นการสร้างแอปพลิเคชั่น การปรับปรุงและรวมทั้งการจัดเตรียมแอปพลิเคชั่นเพื่อส่งให้กับผู้ใช้ ภายในโปรแกรม Authorware จะประกอบด้วยความสามารถด้าน Interactive มีตัวแปรและฟังก์ชันให้กับผู้ใช้อย่างสมบูรณ์ จึงสามารถจัดสร้างแอปพลิเคชั่นที่มีประสิทธิภาพสูงและเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการใช้ ไม่ต้องเรียนรู้การเขียนโปรแกรมที่ยุ่งยากอีกทั้งยังสามารถใช้งานได้กับ Macintosh และ Microsoft Windows ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้ Authorware เป็นเครื่องมือที่ใช้พัฒนา Multimedia เป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน

4.2 ลักษณะเด่นของโปรแกรม Authorware

โปรแกรม Authorware นั้นมีลักษณะเด่นซึ่งเป็นข้อดีอยู่หลายประการดังนี้

4.2.1 Object Authoring

การสร้างแอปพลิเคชั่นด้วยเทคนิค Object Authoring เป็นการใช้สัญลักษณ์ทำงานแทนคำสั่งร่วมกับการวางโครงสร้างของโปรแกรมทำให้ผู้ใช้สามารถสร้างโปรแกรมทดสอบการทำงาน การโต้ตอบกับโปรแกรมได้โดยง่าย การสร้างโปรแกรมที่มีความซับซ้อนด้วย Authorware จะทำได้อย่างรวดเร็ว

4.2.2 Multiplatform Architecture

โปรแกรม Authorware เป็นโปรแกรมที่มีอยู่ทั้งที่ทำงานภายใต้ Microsoft Windows และ Macintosh ซึ่งทั้งสอบ Platform มีการใช้งานที่ไม่แตกต่างกัน และสามารถส่งข้อมูลจากโปรแกรมที่สร้างจากภายใต้ Macintosh มาใช้งานภายใต้ Microsoft Windows ได้

4.2.3 Superior Design

โปรแกรม Authorware จะสนับสนุนการพัฒนาแอปพลิเคชั่นที่เป็น Interactive Learning เป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างโปรแกรมที่ต้องติดต่อกับผู้ใช้ (Interaction) ได้หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบ ไม่ว่าเป็นการเติมข้อความ Pushbutton, Click/Touch Area รวมทั้งยังประกอบด้วย ตัวแปรและฟังก์ชัน ที่ช่วยในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของการใช้แอปพลิเคชั่นของ End User ยังสามารถใช้ความสามารถนี้ในการตรวจวัดการบรรลุวัตถุประสงค์ของบทเรียนของผู้ใช้และแอพพลิเคชั่นได้ ซึ่งเป็นการสนับสนุนการทำงานในลักษณะ Computer Managed Instruction (CMI)

4.2.4 Multimedia Tools

Authorware มีเครื่องมือที่ทำให้สามารถรวบรวมข้อมูลไม่ว่าจะเป็น ข้อความ, ภาพ, เสียง หรือภาพเคลื่อนไหว เข้าไปไว้ในแอปพลิเคชั่นที่สร้างได้โดยง่าย

4.2.5 Media Manager

Authorware มีระบบ Media Manager System สามารถเก็บข้อมูลไว้เป็น Library แยกไว้ต่างหากจากตัวแอปพลิเคชั่นเพื่อให้แอปพลิเคชั่นหลายตัวสามารถใช้ข้อมูลใน Library ของ Authorware ยังสามารถใช้งานภายใต้ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ทำให้คอมพิวเตอร์หลายตัวสามารถแบ่งกันใช้ได้ นอกจากนี้ยังมีความสามารถจัดสร้างโปรแกรมเป็นส่วนย่อย (Model) เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานและง่ายในการพัฒนาแอปพลิเคชั่น

4.3 ความสามารถของโปรแกรม Authorware

โปรแกรม Authorware นั้นมีความสามารถในหลายๆด้านดังนี้

4.3.1 Media Manager

การเก็บข้อมูลไม่ว่าจะเป็น ข้อความ, ภาพ, เสียง หรือ ภาพเคลื่อนไหวเข้าไว้ใน Library แทนที่จะเก็บไว้ในไฟล์ของแอปพลิเคชั่น ทำให้สามารถลดขนาดไฟล์ของแอปพลิเคชั่น ทำให้สามารถลดขนาดของไฟล์ของแอปพลิเคชั่นลงอย่างเห็นได้ชัด และการทำงานของแอปพลิเคชั่นก็มีความเร็วในการทำงานมากขึ้น นอกจากนี้การแก้ไขข้อมูลภายใน Library จะทำได้ง่ายและจะส่งผลถึงแอปพลิเคชั่นทั้งหมดที่เรียกใช้ Library นั้นด้วย

4.3.2 สามารถเรียกใช้ข้อมูลที่สร้างจากโปรแกรม Macromedia Director

โปรแกรมที่สร้างไว้จาก Macromedia Director ที่มีแฟ้มข้อมูลเป็น MMM สามารถนำมาใช้กับ Authorware โดยเรียกผ่าน Movie Icon

4.3.3 Clip Media และตัวอย่าง

Clip Media เป็นข้อมูลตัวอย่างที่ให้มาพร้อมกับโปรแกรมประกอบด้วยไฟล์ภาพเคลื่อนไหว, ไฟล์เสียง และ รูปภาพ ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างโปรแกรมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างงาน เช่น สร้าง Pull-down Menu สมุดโน้ต การออกแบบสอบถาม การวัดการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ใช้และอื่นๆ อีกมากมายและยังสามารถสร้างโปรแกรมเก็บไว้ใน Model ซึ่งเป็นชุดของ Icon ที่เรียงไว้เป็นโปรแกรมสำหรับทำงานใดงานหนึ่งที่สามารถเรียกเข้าไปใส่ในแอปพลิเคชั่นที่ต้องการได้ ดังนั้นถ้ามีแอปพลิเคชั่นมากกว่าหนึ่งตัวทำงานบางส่วนเหมือนกันก็ไม่ต้องสร้างโปรแกรมใหม่เพียงดึงจาก Model ที่สร้างไว้แล้วมาใช้เท่านั้น

4.4 ตัวแปรและฟังก์ชัน

Authorware มีตัวแปรและฟังก์ชันมากกว่า 200 ชุด ทำให้สามารถทำงานโปรแกรมในระดับลึกได้เช่นเดียวกับโปรแกรมภาษาอื่นๆ

4.5 การจัดพิมพ์เอกสารอัตโนมัติ

Authorware สามารถจัดพิมพ์เอกสารของแอปพลิเคชั่นได้โดยอัตโนมัติ โดยสามารถเลือกให้พิมพ์ Icon หรือไม่พิมพ์ ให้จัดทำดัชนีอ้างอิงการใช้ตัวแปรรวมทั้งพิมพ์ภาพหรือข้อความที่ปรากฏใน Icon

4.5.1 Text

Authorware สามารถแสดงตัวอักษรได้หลายรูปแบบ สามารถกำหนดสี ขนาด มี Scrolling Text Window สามารถใช้ Screen Font และ True Type Font ของ Windows

4.5.2 Graphics

มีเครื่องมือในการวาดภาพ เช่น วาดรูปหลายเหลี่ยม วงรี สี่เหลี่ยม ตีเส้น รวมทั้งสามารถใช้งานแฟ้มข้อมูลกราฟิกที่เป็น BMP, DIB, PCX, TIF, EPS และ RLE นอกจากนี้ยังทำงานได้กับไฟล์ Macintosh PICT&Paint และ Windows Metafile

4.5.3 Sound

สามารถควบคุมการใช้งานแฟ้มข้อมูลเสียง ไม่ว่าเป็นการเล่น หยุด หรือเล่นซ้ำข้อมูลทั้ง WAV และ PCM รวมทั้งไฟล์ MIDI และควบคุมการทำงานของ CD-ROM ผ่าน Microsoft's Multimedia Extensions สามารถดึงข้อมูลเสียงที่บันทึกจากโปรแกรม Macromedia's MexRecorder Sound System Pro

4.5.4 Animation

สามารถควบคุมการทำงานของ Animation File ไม่ว่าจะเป็นการเลือกเฟรมเวลา ความเร็ว เฟรมที่จะเริ่มหรือหยุด การแสดงผลซ้ำ หรือย้อนกลับ นอกจากนี้ยังมีความสามารถควบคุมการแสดงผลของ Animation ที่เป็นหลายระดับเมื่อมีการแสดงผลซ้อนกันบนจอภาพสามารถเรียกใช้ข้อมูลภายนอก ไม่ว่าจะเป็นไฟล์ FLC, FLI และ CEL รวมทั้งสามารถแสดงผลของข้อมูลที่สร้างจากโปรแกรม Macromedia Director (MMM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
55124

4.5.5 Digital Video

สามารถควบคุมการแสดงผลของไฟล์ที่อัดมาจากวีดีโอ ด้วยคำสั่งเพียง Icon เดียว สามารถเปลี่ยนขนาด ย้าย Window แสดงผลจากไฟล์โปรแกรม Microsoft Video for Windows, Apple Quick Time และ Indeo DVI สามารถควบคุม หยุดทำงาน กำหนดความเร็ว หรือแสดงผลซ้ำได้ตามต้องการ

4.5.6 Analog Video

สามารถใช้งานร่วมกับการเล่นวิดีโอบนจอคอมพิวเตอร์ (Video Overlay) โดยสามารถควบคุมการเล่น หยุดภาพวีดีโอ เล่นซ้ำ หรือกำหนดความเร็วของการแสดง สามารถควบคุมช่องสัญญาณเสียงได้สองช่องแยกจากสัญญาณวีดีโอ

4.6 ความสามารถในการทำงาน

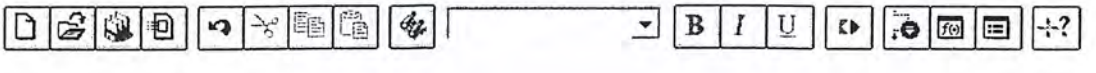
สามารถเพิ่มความสามารถให้กับโปรแกรม Authorware ได้โดยการพัฒนาโปรแกรมเป็น DLLs หรือ UCDs เพื่อเพิ่มเติมฟังก์ชันให้กับ Authorware นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการเรียกใช้โปรแกรมอื่นที่อยู่ภายนอกหรือข้อมูล เพื่อทำงานร่วมกับแอปพลิเคชั่นที่เสร็จแล้วสามารถติดตั้งไว้ในแผ่นดิสก์ ฮาร์ดดิสก์ หรือ Network File Server ก็ได้ซึ่งมีดังต่อไปนี้

- Graphics: BMP, DIB, PCX, TIF, EPS, RLE, Macintosh, Windows Metafiles
- Sound: PCM, WAV และ MIDI โดยผ่าน Microsoft's Multimedia Extension
- Animation: FLI, FLC, CEL และ MMM จาก Director
- Digital Video: Video for Windows, Indeo DVI

4.7 การพัฒนาโปรแกรมด้วย Authorware

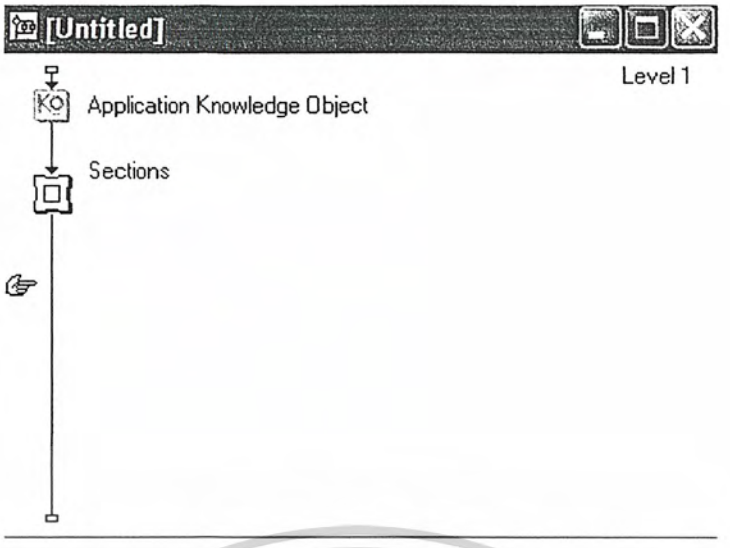
โปรแกรมของ Authorware นั้นจะประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้คือ Menu Bar (รูปที่ 4-1) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้สำหรับเลือกคำสั่งต่างๆ, Tool Bar (รูปที่ 4-2) เป็นส่วนที่ใช้แสดงแถบของเครื่องมือซึ่งทำให้ง่ายและรวดเร็วต่อการเรียกใช้งานเนื่องจากไม่ต้องเรียกใช้จาก Menu Bar และ Icon Bar (รูปที่ 4-4) ซึ่งเป็นสัญลักษณ์แทนคำสั่งที่นำมาวางบน Flow Line (รูปที่ 4-3) เพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรม

รูปที่ 4-1 แสดง Menu Bar ของโปรแกรม Authorware

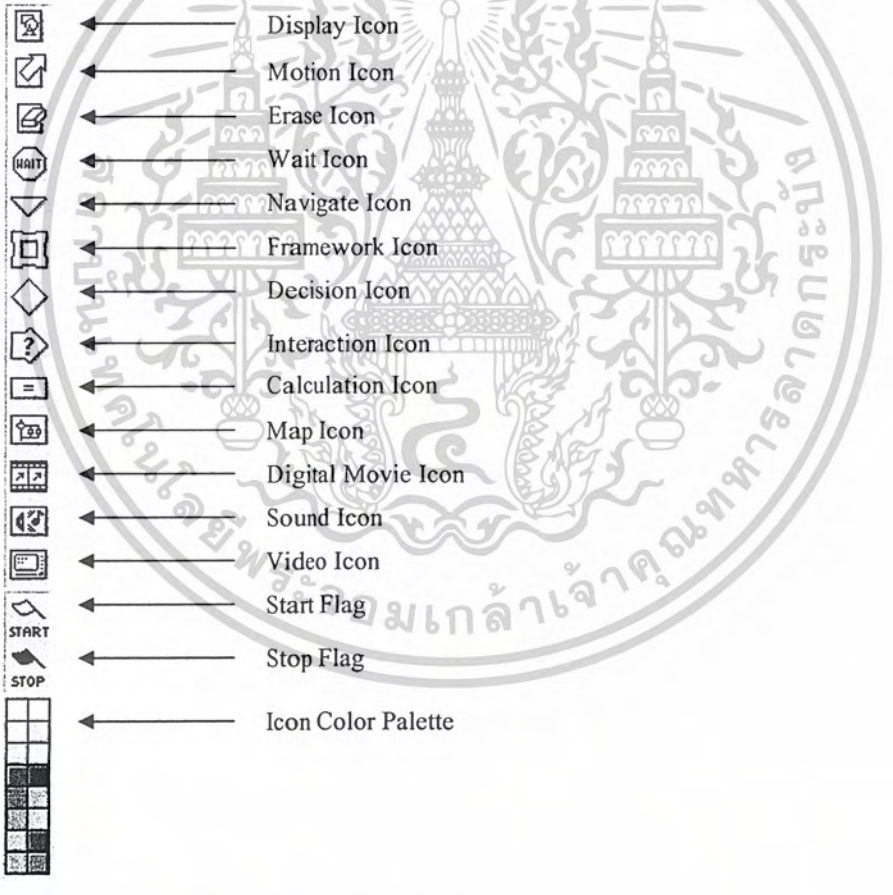


รูปที่ 4-2 แสดง Tool Bar ของโปรแกรม Authorware

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-3 แสดง Flow Line ของโปรแกรม Authorware



รูปที่ 4-4 แสดง Icon Bar ของโปรแกรม Authorware

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1 Display Icon

ใช้ในการแสดงภาพหรือข้อความ Authorware มีความสามารถในการ Import ภาพกราฟิกจากโปรแกรมภายนอกเข้ามาใช้ได้หลายรูปแบบ รวมทั้งมีความสามารถในการลบ Background ของภาพเหล่านั้น เมื่อแสดงผล

4.7.2 Motion Icon

เป็น Icon ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของวัตถุที่อยู่บนจอภาพด้วยการใช้ Dialog Box ทำให้ Authorware สามารถกำหนดให้เกิดการเคลื่อนที่ได้ห้าแบบประกอบด้วย Fixed Destination, Fixed Path, Scaled Path, Linear Scale และ Scale x-y ในการทำงานสามารถใช้ร่วมกับคำสั่งในการกำหนด Special Effect ได้

4.7.3 Erase Icon

เป็น Icon ที่ใช้ในการลบภาพ Movie และ Animation ออกจากจอภาพโดยการลบนั้นสามารถที่จะกำหนดให้มี Special Effect ได้

4.7.4 Wait Icon

จะทำให้โปรแกรมหยุดทำงานโดยที่สามารถกำหนดให้โปรแกรมกลับมาทำงานก็ต่อเมื่อครบเวลาที่กำหนดหรือเมื่อผู้ใช้กดเมาส์ คีย์บอร์ด หรือปุ่มบนจอภาพ

4.7.5 Decision Icon

ควบคุมการแตกกิ่งโปรแกรม โดยสามารถกำหนดเงื่อนไขให้มีการแตกกิ่งในการทำงานของโปรแกรมได้หลายแบบ ความสามารถนี้จะนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การสร้างโปรแกรมสำหรับผู้ที่มีความหลากหลาย หรือสร้างโปรแกรมที่เป็นธนาคารคำถามซึ่งจะสุ่มคำถามออกมาให้กับผู้ใช้

4.7.6 Interaction Icon

เป็น Icon ที่ช่วยให้การสร้างวิธีการโต้ตอบกับผู้ใช้เป็นไปได้โดยง่าย เช่นการสร้างเมนู เติมข้อความ สร้างคำถามที่เป็นตัวเลือก Authorware ยังสามารถเก็บค่าสถิติของการทำงานของ Interaction เช่น จำนวนครั้งที่ทดสอบ เวลาที่ใช้ในการตอบ หรือจำนวนคำถามที่ตอบถูกเป็นต้น

4.7.7 Calculation Icon

ช่วยให้สามารถเขียนโปรแกรมในระดับลึกได้โดยใน Authorware จะมีตัวแปรและฟังก์ชันจำนวนมากให้ใช้เพื่อการทำงานที่ซับซ้อน Icon นี้ยังอนุญาตให้ทำการติดต่อกับโปรแกรมภายนอก ทำให้มีความยืดหยุ่นในการทำงานมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.8 Map Icon

ในขณะที่สร้างโปรแกรมที่มีขนาดโตขึ้นเรื่อยๆ มักจะมีการรวมเอา Icon ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากเข้าด้วยกันเป็นกลุ่มเดียวกันในรูปของ Map Icon ภายใน Map Icon อาจจะมี Map Icon อยู่ด้วยก็ได้

4.7.9 Start และ Stop Flag

เป็นเครื่องช่วยในการพัฒนาและทดสอบโปรแกรม ทำให้สามารถทดสอบ โปรแกรมด้วยคำสั่ง Run from Flag ซึ่งจะเป็นการ Run โปรแกรมตั้งแต่จุดที่วาง Start Flag ไว้บน Flow Line จนถึงที่วาง Stop Flag สามารถทำให้โปรแกรมเป็นไปโดยสะดวก

4.7.10 Sound Icon

ใช้สำหรับนำเข้าและเล่นไฟล์ Digital Sound ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำเป็นเสียงประกอบของโปรแกรมซึ่งมี Sampling Rate 22 KHz และ 11 KHz โดยมีอัตราการบีบอัดข้อมูลเป็น 1:1, 3:1 และ 6:1 สามารถใช้แฟ้มข้อมูลเสียงทั้งของ Macintosh และ Microsoft Windows

4.7.11 Video Icon

ใช้สำหรับควบคุมเครื่องเล่น Video Disc และ Video Overlay Card โปรแกรมในส่วนควบคุมวีดีโอจะมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องเล่นวีดีโอทั่วไป นอกจากนี้ยังสารมารถกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการเล่นวีดีโอได้

4.7.12 Media Manage System

โปรแกรม Authorware ได้เพิ่มความสามารถให้มี Media Manager System ทำให้สามารถเก็บข้อมูลไว้เป็น Library เพื่อให้โปรแกรมหลายตัวใช้ร่วมกันได้ไม่ว่าจะใช้ในระบบที่เป็นคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวหรือเป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ข้อมูลไม่ว่าจะเป็นภาพ เสียง Animation หรืออื่นๆ สามารถเรียกใช้หรือแก้ไขจาก Library ได้โดยง่าย

ความสามารถต่างๆ ทั้งหมดทำให้โปรแกรม Authorware เป็นโปรแกรม Authoring System ที่เป็นมัลติมีเดียที่มีความสามารถมากด้วยหลักการทำงาน คือการลากและวาง Icon (Drag and Drop) การคัดลอก (Copy) และส่งผ่านข้อมูล (Paste) การแก้ไขและการออกแบบโปรแกรมที่มีลักษณะเป็นโฟลว์ชาร์ตที่สามารถเห็นรูปร่างของโปรแกรมอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การสร้างระบบสื่อการสอน

5.1 เนื้อหาที่ใช้ในการทำสื่อการสอน

สำหรับการสร้างสื่อการสอนนั้นได้ใช้เนื้อหาตามหลักสูตรในรายวิชา Digital Circuit and Logic Design แล้วนำออกมาจัดแบ่งเป็นบทย่อย ๆ 13 บท ซึ่งจะขอกล่าวถึงหลักสำคัญของแต่ละบท ดังแสดงในตารางที่ 5-1

บทที่	หัวข้อ	หลักสำคัญ
0	หลักการของดิจิตอล	กล่าวถึงหลักการทำงานของระบบดิจิตอล รวมไปถึงการใช้งานในชีวิตประจำวัน รวมไปถึงความแตกต่างของดิจิตอลกับอนาลอก
	0.1 บทนำ	ยกตัวอย่างอุปกรณ์ทางดิจิตอล
	0.2 หลักการของดิจิตอล	กล่าวถึงหลักการการทำงานของระบบดิจิตอล
	0.3 เปรียบเทียบระบบอนาลอกกับระบบดิจิตอล	แสดงความแตกต่างของระบบดิจิตอลกับระบบอนาลอก
1	ระบบตัวเลข (Number System)	บทนี้จะกล่าวถึงระบบตัวเลขฐานต่างๆ รวมถึงรหัสโค้ดขั้นพื้นฐาน
	1.1 บทนำ	ระบบตัวเลขคืออะไร การนิยามความหมาย
	1.2 ระบบเลขฐานสอง (Binary Number System)	นิยามความหมาย ประโยชน์การใช้งานของระบบเลขฐานสอง
	1.2.1 การนับในระบบเลขฐานสอง (Counting in Binary)	แสดงวิธีการนับเลขฐานสอง แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวเลข
	1.2.2 การแปลงเลขฐานสองให้อยู่ในรูปของเลขฐานสิบ (Binary-to-Decimal Conversion)	อธิบายถึงวิธีการแปลงเลข พร้อมแสดงตัวอย่าง
	1.2.3 การแปลงเลขฐานสิบให้อยู่ในรูปของเลขฐานสอง (Decimal-to-Binary Conversion)	อธิบายการแปลงเลขโดยการใช้วิธีการหารซ้ำ พร้อมแสดงตัวอย่าง
	1.3 ระบบเลขฐานแปด (Octal Number System)	นิยามความหมาย ประโยชน์การใช้งานของระบบเลขฐานแปด
	1.3.1 การนับในระบบเลขฐานแปด (Counting in Octal)	แสดงวิธีการนับเลขฐานแปด แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวเลข
	1.3.2 การแปลงเลขฐานแปดให้อยู่ในรูปของ	อธิบายถึงวิธีการแปลงเลข พร้อมแสดงตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	เลขฐานสิบ (Octal-to-Decimal Conversion)	
	1.3.3 การแปลงเลขฐานสิบให้อยู่ในรูปของเลขฐานแปด (Decimal-to-Octal Conversion)	อธิบายการแปลงเลขโดยการใช้วิธีการหารซ้ำ พร้อมแสดงตัวอย่าง
	1.3.4 การแปลงเลขฐานแปดให้อยู่ในรูปของเลขฐานสอง (Octal-to-Binary Conversion)	อธิบายถึงวิธีการแปลง รวมทั้งแสดงตัวอย่าง
	1.3.5 การแปลงเลขฐานสองให้อยู่ในรูปของเลขฐานแปด (Binary-to-Octal Conversion)	อธิบายถึงวิธีการแปลง รวมทั้งแสดงตัวอย่าง
	1.4 ระบบเลขฐานสิบหก (Hexadecimal Number System)	นิยามความหมาย ประโยชน์การใช้งาน
	1.4.1 การนับในระบบเลขฐานสิบหก (Counting in Hexadecimal)	แสดงวิธีการนับเลขฐานสิบหก แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวเลข
	1.4.2 การแปลงเลขฐานสิบหกให้อยู่ในรูปของเลขฐานสิบ (Hex-to-Decimal Conversion)	อธิบายถึงวิธีการแปลงเลข พร้อมแสดงตัวอย่าง
	1.4.3 การแปลงเลขฐานสิบให้อยู่ในรูปของเลขฐานสิบหก (Decimal-to-Hex Conversion)	อธิบายการแปลงเลขโดยการใช้วิธีการหารซ้ำ พร้อมแสดงตัวอย่าง
	1.4.4 การแปลงเลขฐานสิบหกให้อยู่ในรูปของเลขฐานสอง (Hex-to-Binary Conversion)	อธิบายถึงวิธีการแปลงเลข พร้อมแสดงตัวอย่าง
	1.4.5 การแปลงเลขฐานสองให้อยู่ในรูปของเลขฐานสิบหก (Binary-to-Hex Conversion)	อธิบายถึงวิธีการแปลง รวมทั้งแสดงตัวอย่าง
	1.4.6 การแปลงเลขฐานสิบหกให้อยู่ในรูปของเลขฐานแปด (Hex-to-Octal Conversion)	อธิบายถึงวิธีการแปลง รวมทั้งแสดงตัวอย่าง
	1.4.7 การแปลงเลขฐานแปดให้อยู่ในรูปของเลขฐานสิบหก (Octal-to- Hex Conversion)	อธิบายถึงวิธีการแปลง รวมทั้งแสดงตัวอย่าง
	1.5 รหัส(Codes)	หัวข้อนี้จะบอก 2 รหัส คือรหัสเกรย์(Gray) และรหัสบีซีดี(BCD) และการแปลงรหัส
	1.5.1 รหัสเกรย์(GRAY CODE)	บอกถึงความหมาย และประโยชน์ใช้งาน
	1.5.2 การแปลงจากเลขฐานสองไปเป็นรหัสเกรย์(Binary-to-Gray Conversion)	อธิบายถึงวิธีการแปลง รวมทั้งแสดงตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	1.5.3 การแปลงจากรหัสเกรย์ไปเป็นเลขฐานสอง (GRAY-to-Binary Conversion)	อธิบายถึงวิธีการแปลง รวมทั้งแสดงตัวอย่าง
	1.5.4 รหัสบีซีดี(BCD CODE)	บอกถึงความหมาย และประโยชน์ใช้งาน
	1.5.5 การเปรียบเทียบเลขฐานสิบกับรหัสบีซีดี	อธิบายโดยการใช้ตารางให้เข้าใจ
2	**การกระทำทางคณิตศาสตร์กับเลขฐานสอง (Binary Arithmetic)**	บทนี้จะบอกถึงการกระทำบางอย่างทางคณิตศาสตร์กับเลขฐานสอง เช่นการบวก การลบ
	2.1 บทนำ	บอกถึงความเกี่ยวข้องกันของกระทำทางคณิตศาสตร์กับเลขฐานสองกับ ALU
	2.2 การบวกเลขฐานสอง(Adding Binary Numbers)	วิธีการบวกเลขฐานสอง พร้อมทั้งตัวอย่าง
	2.3 การลบเลขฐานสอง(Subtracting Binary Numbers)	วิธีการลบเลขฐานสองด้วยวิธีการต่างๆ หลักการของการลบ
	2.3.1 การลบเลขฐานสองแบบธรรมดา (Subtracting Binary Numbers Using The Conventional Method)	อธิบายหลักการ พร้อมทั้งแสดงตัวอย่าง
	2.3.2 การลบเลขฐานสองโดยใช้การคอมพลีเมนท์(Subtracting Binary Numbers Using The Complement Method)	อธิบายหลักการ
	2.3.2.1 One's Complement	การลบเลขฐานสองโดยการใช้ One's Complement
	2.3.2.2 Two's Complement	การลบเลขฐานสองโดยการใช้ Two's Complement
	2.4 Signed Numbers	บอกถึงความจำเป็นที่ต้องมี ประโยชน์การใช้งาน
	2.5 การบวกและการลบเลข Signed (Adding and Subtracting Singed Numbers)	อธิบายถึงการบวกและการลบพร้อมทั้งตัวอย่าง
	2.6 Overflow	ความหมาย และสาเหตุของการเกิด
	2.7 Sixteen's and Eight's Complement Method's	อธิบายถึงหลักการทำคอมพลีเมนต์ในระบบเลขฐานแปดและเลขฐานสิบหก
	2.8 การบวกและการลบเลขบีซีดี (BCD Addition and Subtraction)	แสดงการบวกลบเลขบีซีดีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง พร้อมทั้งตัวอย่าง
3	**เกต(Digital Logic Gate)**	บทนี้จะบอกถึงสัญลักษณ์และตารางความจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ของวงจรลอจิกชนิดต่างๆ รวมไปถึงการแปลงเกตจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิด
	3.1 บทนำ	บอกความหมายว่าเกตคืออะไร
	3.2 นอตเกต(NOT Gate)	บอกว่านอตเกตคืออะไร อธิบายหลักการทำงาน
	3.2.1 สัญลักษณ์ของ NOT Gate	แสดงสัญลักษณ์ของนอตเกต
	3.3 แอนด์เกต(AND Gate)	บอกว่าแอนด์เกตคืออะไร อธิบายหลักการทำงาน
	3.3.1 สัญลักษณ์ของ AND Gate	แสดงสัญลักษณ์ของแอนด์เกต
	3.3.2 ตารางความจริงของ AND Gate	แสดงตารางความจริงของแอนด์เกต
	3.4 ออร์เกต(OR Gate)	บอกว่าออร์เกตคืออะไร อธิบายหลักการทำงาน
	3.4.1สัญลักษณ์ของ OR Gate	แสดงสัญลักษณ์ของออร์เกต
	3.4.2 ตารางความจริงของ OR Gate	แสดงตารางความจริงของออร์เกต
	3.5 แนนด์เกต(NAND Gate)	บอกว่าแนนด์เกตคืออะไร อธิบายหลักการทำงาน
	3.5.1 สัญลักษณ์ของ NAND Gate	แสดงสัญลักษณ์ของแนนด์เกต
	3.5.2 ตารางความจริงของ NAND Gate	แสดงตารางความจริงของแนนด์เกต
	3.6 นอร์เกต(NOR Gate)	บอกว่านอร์เกตคืออะไร อธิบายหลักการทำงาน
	3.6.1 สัญลักษณ์ของ NOR Gate	แสดงสัญลักษณ์ของนอร์เกต
	3.6.2 ตารางความจริงของ NOR Gate	แสดงตารางความจริงของนอร์เกต
	3.7 เอ็กซ์คลูซีพออร์เกต(EXCLUSIVE OR Gate)	บอกว่าเอ็กซ์คลูซีพออร์เกตคืออะไร อธิบายหลักการทำงาน
	3.7.1 สัญลักษณ์ของ EXCLUSIVE OR Gate	แสดงสัญลักษณ์ของเอ็กซ์คลูซีพออร์เกต
	3.7.2 ตารางความจริงของ EXCLUSIVE OR Gate	แสดงตารางความจริงของเอ็กซ์คลูซีพออร์เกต
	3.8 เอ็กซ์คลูซีพนอร์เกต(EXCLUSIVE NOR Gate)	บอกว่าเอ็กซ์คลูซีพนอร์เกตคืออะไร อธิบายหลักการทำงาน
	3.8.1สัญลักษณ์ของ EXCLUSIVE NOR Gate	แสดงสัญลักษณ์ของเอ็กซ์คลูซีพนอร์เกต
	3.8.2 ตารางความจริงของ EXCLUSIVE NOR Gate	แสดงตารางความจริงของเอ็กซ์คลูซีพนอร์เกต
	3.9 การแปลงเกต	แสดงการแปลงเกตจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง อธิบายด้วยตารางความจริง
4	**ฟังก์ชันทางลอจิกและพีชคณิตของบูลีน (Logic Functions and Boolean Algebra)**	แสดงให้เห็นฟังก์ชันทางลอจิกของเกตแต่ละชนิด และทฤษฎีของบูลีนในช่วงท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	4.1 บทนำ	บอกถึงที่มาของพีชคณิตของบูลีนว่าพัฒนามาอย่างไร และการนำไปใช้งาน
	4.2 ตัวแปรทางลอจิก(Logic Variables)	ยกตัวอย่างการอ้างตัวแปรทางลอจิก ว่ามีค่าได้แค่เท่าไหร่
	4.3 เครื่องหมายทางลอจิก(Logic Operators)	บอกว่ามีกี่ชนิดอะไรบ้าง
	4.4 ฟังก์ชันทางลอจิก(Logic Functions)	บอกถึงฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ทางลอจิก เช่น การแอนด์ ออร์ นอต รวมทั้งการเอ็กซ์คลูซีพออร์
	4.4.1 ฟังก์ชันแอนด์(The AND function)	อธิบายความหมายของฟังก์ชันแอนด์ พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างโดยแสดงให้เห็นจากตารางความจริง
	4.4.2 ฟังก์ชันออร์(The OR function)	อธิบายความหมายของฟังก์ชันออร์ พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างโดยแสดงให้เห็นจากตารางความจริง
	4.4.3 ฟังก์ชันนอต(The NOT function)	อธิบายความหมายของฟังก์ชันนอต พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างโดยแสดงให้เห็นจากตารางความจริง
	4.4.4 ฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีพออร์(The EXCLUSIVE OR function)	บอกถึงที่มาของฟังก์ชัน และแสดงตารางความจริง
	4.5 Boolean Expressions	กล่าวถึงการกระทำทางคณิตศาสตร์โดยใช้ทฤษฎีของบูลีน โดยแสดงให้เห็นจากวงจรเกต จนได้เป็นสมการออกมา
	4.6 หลักการและทฤษฎีของบูลีน (Boolean Postulates and Theorems)	บอกถึงหลักการต่างๆ เช่นการเปลี่ยนกลุ่ม การสลับที่ และกล่าวถึงทฤษฎีของเดอร์มอร์แกน (DeMorgan's Theorem)
	4.6.1 Postulates (หลักการพื้นฐาน)	แสดงทฤษฎีพร้อมทั้งแสดงรูปประกอบ
	4.6.2 Algebraic Properties (คุณสมบัติเกี่ยวกับพีชคณิต)	แสดงทฤษฎีพร้อมทั้งแสดงรูปประกอบ
	4.6.2.1 Commutative (การสลับที่)	แสดงทฤษฎีพร้อมทั้งแสดงรูปประกอบ
	4.6.2.2 Associative (การเปลี่ยนกลุ่ม)	แสดงทฤษฎีพร้อมทั้งแสดงรูปประกอบ
	4.6.2.3 Distributive (การกระจาย)	แสดงทฤษฎีพร้อมทั้งแสดงรูปประกอบ
	4.6.3 Theorems (ทฤษฎีทั่วไป)	แสดงทฤษฎีพร้อมทั้งแสดงรูปประกอบ
	4.6.4 DeMorgan's Theorem (ทฤษฎีของเดอร์มอร์แกน)	แสดงทฤษฎีพร้อมทั้งแสดงรูปประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	4.6.5 Absorption Theorem (ทฤษฎีการดูดกลืน)	แสดงทฤษฎีพร้อมทั้งแสดงรูปประกอบ
	4.7 การพิจารณาโดยใช้ตารางความจริง (Verification using Truth Tables)	การใช้ตารางอย่างความจริงเข้าช่วยในการ ลดรูปของสมการ
	4.8 การลดรูปของสมการลอจิก (Simplification of Logic Expressions)	กล่าวถึงวิธีการลดรูปสมการ โดยการประยุกต์จากกฎและทฤษฎีต่างๆ
	4.8.1 การลดรูปโดยการพิจารณาจากหลักการและทฤษฎีของบูลีน	อธิบายถึงหลักการพร้อมทั้งยกตัวอย่าง
	4.8.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)	อธิบายถึงหลักการพร้อมทั้งยกตัวอย่าง
5	**การสร้างวงจรดิจิตอล (Implement of Digital Circuit)**	บทนี้จะเป็นการสร้างวงจรลอจิกขึ้นมา โดยใช้หลักการและทฤษฎีที่มาจากบทก่อนหน้า เริ่มต้นจากมีโจทย์มาให้ไปจนกระทั่งออกแบบเป็นวงจรเกตที่พร้อมใช้งานได้จริง ยกตัวอย่างเช่น การสร้างวงจร Half Adder และวงจร Half Subtractor เป็นต้น
	5.1 บทนำ	กล่าวนำรายละเอียดเนื้อหาในบท
	5.2 การสร้างวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์	วิธีในการสร้างวงจร
	5.2.1 ศึกษาแนวคิดของวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์	แสดงแนวคิดของวงจรพร้อมรูปภาพประกอบ
	5.2.2 สร้างตารางความจริงของวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์	การสร้างตารางความจริงของวงจร
	5.2.3 สร้างสมการทางลอจิกของวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์	สร้างสมการจากตารางความจริง
	5.2.4 สร้างวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์	แสดงการต่อวงจรที่แล้วเสร็จ
	5.2.5 การนำวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์ไปใช้งาน	บอกถึงการนำไปใช้งาน ของวงจร
	5.3 การสร้างวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์	วิธีในการสร้างวงจร
	5.3.1 ศึกษาแนวคิดของวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์	แสดงแนวคิดของวงจรพร้อมรูปภาพประกอบ
	5.3.2 สร้างตารางความจริงของวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์	การสร้างตารางความจริงของวงจร
	5.3.3 สร้างสมการทางลอจิกของวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์	สร้างสมการจากตารางความจริง
	5.3.4 สร้างวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์	แสดงการต่อวงจรที่แล้วเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	5.3.5 การนำวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์ไปใช้งาน	บอกถึงการนำไปใช้งาน ของวงจร
	5.4 การประยุกต์ใช้เพื่อสร้างวงจรชนิดอื่น	แนะแนวทางในการประยุกต์เพื่อสร้างวงจรอื่น
6	**ฟลิปฟลอป (FLIP-FLOPS)**	บทนี้จะบอกถึงประโยชน์ของการมีวงจรฟลิปฟลอป การนำไปใช้งาน กล่าวถึงฟลิปฟลอปชนิดต่างๆ อธิบายโครงสร้างและการทำงาน
	6.1 บทนำ	FLIP-FLOP คืออะไร
	6.2 R-S FLIP-FLOP	อธิบายการทำงานลักษณะการเก็บข้อมูล และขาต่างๆ
	6.2.1 การสร้าง R-S FLIP-FLOP ด้วย NOR Gate	การสร้างวงจร R-S FLIP-FLOP ด้วยการใช้นอร์เกต แสดงให้เห็นรูปแบบของวงจร
	6.2.2 การสร้าง R-S FLIP-FLOP ด้วย NAND Gate	การสร้างวงจร R-S FLIP-FLOP ด้วยการใช้แนนด์เกต แสดงให้เห็นรูปแบบของวงจร
	6.2.3 GATED R-S FLIP-FLOP	การสร้างวงจรR-S FLIP-FLOPS ให้มีการใช้ค่าเก่าโดยการเพิ่มขาที่เป็นตัวกำหนดการทำงานมา
	6.2.4 การสร้าง GATED R-S FLIP-FLOP ด้วย NAND Gate	การสร้างวงจร R-S FLIP-FLOP ด้วยการใช้นอร์เกต แสดงให้เห็นรูปแบบของวงจร
	6.2.5 รูปคลื่นของ R-S FLIP-FLOP	แสดงรูปคลื่นของ R-S FLIP-FLOP พร้อมทั้งอธิบาย
	6.3 J-K FLIP-FLOP	อธิบายการทำงานลักษณะการเก็บข้อมูล และขาต่างๆ
	6.3.1 Edge Triggered J-K FLIP-FLOP	อธิบายการทำงานลักษณะการเก็บข้อมูล และขาต่างๆ
	6.3.2 รูปคลื่นของ J-K FLIP-FLOP	แสดงรูปคลื่นของ J-K FLIP-FLOP พร้อมทั้งอธิบาย
	6.4 D FLIP-FLOP	อธิบายการทำงานลักษณะการเก็บข้อมูล และขาต่างๆ
	6.4.1 รูปคลื่นของ D FLIP-FLOP	แสดงรูปคลื่นของ D FLIP-FLOP พร้อมทั้งอธิบาย
	6.5 T FLIP-FLOP	อธิบายการทำงานลักษณะการเก็บข้อมูล และขาต่างๆ
	6.5.1 รูปคลื่นของ T FLIP-FLOP	แสดงรูปคลื่นของ T FLIP-FLOP พร้อมทั้งอธิบาย
	6.6 Master-Slave R-S FLIP-FLOP	อธิบายถึงการทำงานของวงจร และหลักการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		วงจร
	6.7 Positive Edge Triggered D FLIP-FLOP	อธิบายถึงการทำงานของวงจร และหลักการสร้างวงจร
	6.8 Negative Edge Triggered D FLIP-FLOP	อธิบายถึงการทำงานของวงจร และหลักการสร้างวงจร
	6.9 Master-Slave J-K FLIP-FLOP	อธิบายถึงการทำงานของวงจร และหลักการสร้างวงจร
7	**รีจิสเตอร์ (Registers)**	บอกความหมายและประโยชน์ในการใช้งาน สร้างขึ้นมาจากอะไร
	7.1 บทนำ	อธิบายความหมายของรีจิสเตอร์
	7.2 Asynchronous Parallel Entry	แสดงวงจร อธิบายวิธีการทำงาน แสดงสัญญาณของแต่ละขา
	7.3 Synchronous Parallel Entry	แสดงวงจร อธิบายวิธีการทำงาน แสดงสัญญาณของแต่ละขา
	7.4 Shift Registers	แสดงวงจร อธิบายวิธีการทำงาน แสดงสัญญาณของแต่ละขา
	7.5 Left-Right Shift Registers	อธิบายวิธีการทำงาน แนวคิดในการทำงาน
8	**วงจรนับ (Counters)**	อธิบายถึงการสร้างวงจรนับในรูปแบบต่างๆ
	8.1 บทนำ	บอกถึงหน้าที่ของวงจรนับ
	8.2 Binary Ripple-Carry Counter	แสดงตัวอย่างและอธิบายการทำงานของวงจร
	8.3 BCD Ripple-Carry Counter	การใช้วงจรนับในการนับเลขแบบบีซีดี
	8.4 Synchronous Binary Counter	การนับเลขฐานสองในแบบซิงโครนัสเพื่อช่วยให้วงจรนับทำงานเร็วขึ้น
	8.5 Synchronous BCD Counter	การนับเลขบีซีดีในแบบซิงโครนัสเพื่อช่วยให้วงจรนับทำงานเร็วขึ้น
	8.6 Down Counter	แสดงวงจรนับถอยหลัง
	8.7 Up-Down Counter	แสดงวงจรนับขึ้น-นับลง
9	**การเข้ารหัส การถอดรหัส และการแปลงรหัส (Encoders, Decoders and Code Converters)**	สาเหตุของการเข้ารหัส ยกตัวอย่างวงจรเข้ารหัส ถอดรหัสมาแสดงให้ดู
	9.1 บทนำ	บอกถึงประโยชน์ของการเข้ารหัสและการถอดรหัส
	9.2 การเข้ารหัส (Encoder)	บอกวิธีในการเข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	9.3 การถอดรหัส	บอกวิธีในการถอดรหัส
	9.3.1 การถอดรหัสเลขฐานสิบหก (Decoding Hexadecimal)	แสดงวิธีการในการถอดรหัสเลขฐานสิบหก
	9.3.2 การถอดรหัสเลขบีซีดี (Decoding BCD)	แสดงวิธีการในการถอดรหัสเลขบีซีดี
	9.3.3 การถอดรหัสวงจรเซเว่นเซกเมนต์ (Seven-Segment Decoders)	แสดงวิธีการในการถอดรหัสวงจรเซเว่นเซกเมนต์
	9.4 การแปลงรหัส (Code Converter)	การแปลงรหัสจากรหัสหนึ่งไปอีกรหัสหนึ่ง
	9.5 วงจรเลือกออกหนึ่ง (Multiplexer หรือ Data Selector)	แสดงการทำงานของวงจร Multiplexer ยกตัวอย่างตารางความจริง พร้อมรูปตัวอย่างวงจร
	9.6 วงจรเลือกออกหลาย (Demultilexer)	อธิบายการทำงาน พร้อมทั้งแสดงรูปวงจร
10	**หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Logic Unit : ALU)**	บอกถึงการใช้งานในคอมพิวเตอร์ บอกถึงความสำคัญ
	10.1 บทนำ	หน้าที่และความสำคัญของ ALU
	10.2 Half Adder	วงจรบวกเลขฐานสอง แสดงหลักการทำงานและวงจร
	10.3 Full Adder	วงจรบวกเลขฐานสองที่มีตัวทดด้วย แสดงหลักการจนถึงวงจร
	10.4 Adder 4-bit (วงจรบวกเลขขนาด 4 บิท)	วงจรบวกเลขฐานสองขนาด 4 บิท แสดงหลักการทำงานและวงจร
	10.5 Half Subtracter	วงจรลบเลขฐานสอง แสดงหลักการทำงานและวงจร
	10.6 Comparator (วงจรเปรียบเทียบ)	วงจรการเปรียบเทียบพร้อมทั้งอธิบายการทำงานและตัวอย่างวงจร
11	**Memory**	จำแนกหน่วยความจำในแต่ละชนิด แสดงลักษณะขององค์ประกอบภายใน
	11.1 บทนำ	บอกถึงปะโยชน์การใช้งานของหน่วยความจำในคอมพิวเตอร์
	11.2 ความจุของหน่วยความจำ (Memory Capacity)	การบอกความจุของหน่วยความจำ
	11.3 องค์ประกอบภายในของหน่วยความจำ (Memory Organization)	การกำหนดลักษณะขององค์ประกอบภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	11.4 ความเร็ว (Speed)	ความเร็วของตัว Memory
	11.5 รอม (ROM: Read Only Memory)	บอกรายละเอียด และลักษณะของการใช้งาน การทำงาน การเก็บข้อมูล
	11.5.1 พีรอม (PROM: Programmable ROM)	บอกรายละเอียด และลักษณะของการใช้งาน การทำงาน
	11.5.2 อีพรอม (EPROM: Erasable Programmable ROM)	บอกรายละเอียด และลักษณะของการใช้งาน การทำงาน
	11.5.3 อีสแควร์พรอม (EEPROM: Electrically erasable programmable ROM)	บอกรายละเอียด และลักษณะของการใช้งาน การทำงาน
	11.5.4 แฟลชอีพรอม (Flash EPROM)	บอกรายละเอียด และลักษณะของการใช้งาน การทำงาน
	11.5.5 มาสก์รอม (Mask ROM)	บอกรายละเอียด และลักษณะของการใช้งาน การทำงาน
	11.6 แรม (RAM: Random Access Memory)	บอกรายละเอียด และลักษณะของการใช้งาน การทำงาน การเก็บข้อมูล
	11.6.1 เอสแรม (SRAM: Static RAM)	บอกรายละเอียด และลักษณะของการใช้งาน การทำงาน
	11.6.2 ดีแรม (DRAM: Dynamic RAM)	บอกรายละเอียด และลักษณะของการใช้งาน การทำงาน
	11.6.3 เอ็นวีแรม (NV-RAM: Nonvolatile RAM)	บอกรายละเอียด และลักษณะของการใช้งาน การทำงาน
12	**Digital System**	ยกตัวอย่างวงจรเบื้องต้นของระบบดิจิตอลที่สำเร็จรูปแล้ว ที่มีทั้งหน่วยความจำ และส่วนของอินพุทและเอาท์พุทที่สำเร็จรูปแล้ว

ตารางที่ 5-1 เนื้อหาวิชา Digital Circuit and Logic Design

หลังจากที่จัดแบ่งแล้วว่าแต่ละบทนั้นมีเนื้อหาอย่างไร ต่อไปก็เป็นการเรียบเรียงเนื้อหาให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้ โดยการเรียบเรียงเนื้อหาจากตำราทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ รวมทั้งจากความเข้าใจของผู้จัดโครงงานเองโดยการเรียบเรียงนี้ได้ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย

5.2 การจัดหาเครื่องมือที่ใช้ในการทำสื่อการสอน

ขั้นตอนการศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการทำ ในขั้นตอนนี้ได้ทำ การศึกษาเครื่องมืออยู่ 2 ชนิด คือ Macromedia Authorware และ Microsoft PowerPoint หลังจากที่ได้ศึกษาดูแล้ว ปรากฏว่าสำหรับการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของเนื้อหาแต่ละบทนั้นเหมาะที่จะใช้ Microsoft PowerPoint เนื่องจากรูปแบบจะเน้นไปที่ตัวอักษรเป็นหลัก ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานมีความเห็นว่าความสามารถของ Microsoft PowerPoint ก็เพียงพอแล้วที่จะใช้ทำการนำเสนอ ในส่วนของเนื้อหาและผู้ที่จัดทำโครงงานยังมีความชำนาญกับ Microsoft PowerPoint เป็นพื้นฐานอยู่แล้ว สำหรับในส่วนของแบบทดสอบท้ายบทเรียนนั้นผู้จัดทำโครงงานได้พิจารณาแล้วว่า Microsoft PowerPoint นั้นไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ทำในส่วนของแบบทดสอบ เนื่องจากตัวของ Microsoft PowerPoint นั้นไม่เหมาะที่จะสร้างภาพนิ่งที่มีลักษณะโต้ตอบกับผู้ใช้ (Interactive) ถึงแม้ว่า Microsoft PowerPoint จะมี VBA (Visual Basic for Application) ที่สามารถจัดการกับส่วนดังกล่าวได้ก็ตาม แต่เนื่องจากไม่มีความยืดหยุ่นในการสร้างเท่าที่ควร ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานจึงได้พิจารณาถึงโปรแกรม Macromedia Authorware ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถและเหมาะสมในการสร้างส่วนของแบบทดสอบท้ายบทเรียนซึ่งมีลักษณะเป็นโปรแกรมที่สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานจึงได้เลือก Macromedia Authorware มาใช้ในการทำส่วนของแบบทดสอบท้ายบท

5.3 การออกแบบสื่อการสอน

ในขั้นตอนนี้จะแสดงการออกแบบสื่อการสอนอย่างคร่าวๆ เพราะว่าส่วนการออกแบบทั้งหมดนั้นได้จัดไว้ในส่วนของภาคผนวกของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

5.3.1 การออกแบบในส่วนของเนื้อหา

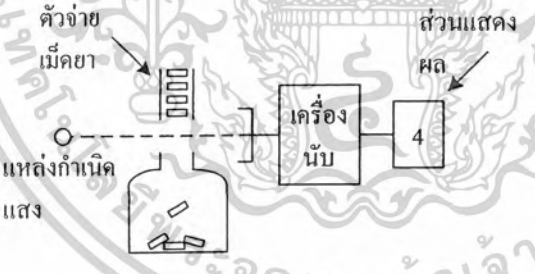
ส่วนของการออกแบบเนื้อหาซึ่งจัดทำโดยการใช้ Microsoft PowerPoint ซึ่งการออกแบบนั้นจะแสดงคำอธิบายในตารางที่ประกอบไปด้วยคอลัมน์อยู่ 3 คอลัมน์ โดยคอลัมน์แรกนั้นจะแสดงลำดับหมายเลขของหน้าสไลด์ ส่วนคอลัมน์ที่สองนั้นจะเป็นการแสดงถึงหน้าตาของสไลด์หน้านั้นๆ ส่วนคอลัมน์ที่สามนั้นจะบอกถึงเทคนิคที่ใช้ในสไลด์หน้านั้น ๆ ดังจะแสดงตัวอย่างการออกแบบในตารางที่ 5-2

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
30	ตัวอย่างที่ 1-12 จงแปลง 9638_{10} ให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง 9638 / 16 = 602 เศษ 6 เป็น LSB 602 / 16 = 37 เศษ 10 37 / 16 = 2 เศษ 5	-แสดงการหารโดยการดึงผลหารที่ได้มาเป็นตัวตั้งของการหารครั้งต่อไปด้วยการใช้เทคนิค "เส้นทางกำหนดเอง" -ส่วนที่เหลือของแต่ละบรรทัดให้ค่อยแสดงขึ้นมาทีละตัวโดยการใช้เทคนิคเลื่อน -บรรทัดที่สองเศษ 10 ให้เปลี่ยนเป็น A ใช้เทคนิค "เลื่อน" -เศษของการหารที่ได้ให้ใช้เทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	2 / 16 = 0 เศษ 2 เป็น MSB ดังนั้น $9638_{10} = 25A6_{16}$	"เส้นทางกำหนดเอง" เพื่อให้ลงมาแสดงเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค "แทรกออกนอก" ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค "แทรกเข้าใน" จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ "ดังนั้น" -ใช้เทคนิค "แทรกเข้าไหน" จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ -แสดงข้อความเพื่ออธิบายแต่ละบรรทัดให้เข้าใจ

ตารางที่ 5-2 แสดงรูปแบบของการออกแบบส่วนการนำเสนอโดยใช้ Microsoft PowerPoint ตัวอย่างที่ 1

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
6	*รูปที่ 0-7 ระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับนับเม็ดยาบรรจุขวด*  	- ทำให้รูปเคลื่อนไหวได้ ตัวเลขแสดงผลต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปให้เห็น - ใช้เทคนิค "เส้นทางกำหนดเอง" เพื่อแสดงการตกลงมาของเม็ดยา - เวลาที่มีเม็ดยาตกลงมาเส้นทางของแหล่งกำเนิดแสงจะต้องถูกตัดไป

ตารางที่ 5-3 แสดงรูปแบบของการออกแบบส่วนการนำเสนอโดยใช้ Microsoft PowerPoint ตัวอย่างที่ 2

5.3.2 การออกแบบในส่วนของแบบทดสอบ

ทำการกำหนดรูปแบบของหน้าจอที่จะใช้เป็นแบบทดสอบซึ่งมีอยู่สามหน้าหลักคือ หน้าแรก (รูปที่ 5-1) หน้านี้ใช้อธิบายเกี่ยวกับตัวแบบทดสอบว่ามีรายละเอียดอย่างไรบ้างเช่น เวลาในการทำแบบทดสอบ, จำนวนข้อของแบบทดสอบ, คะแนนของแบบทดสอบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่อไปคือหน้าหลักของแบบทดสอบ (รูปที่ 5-2) ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้ คือ

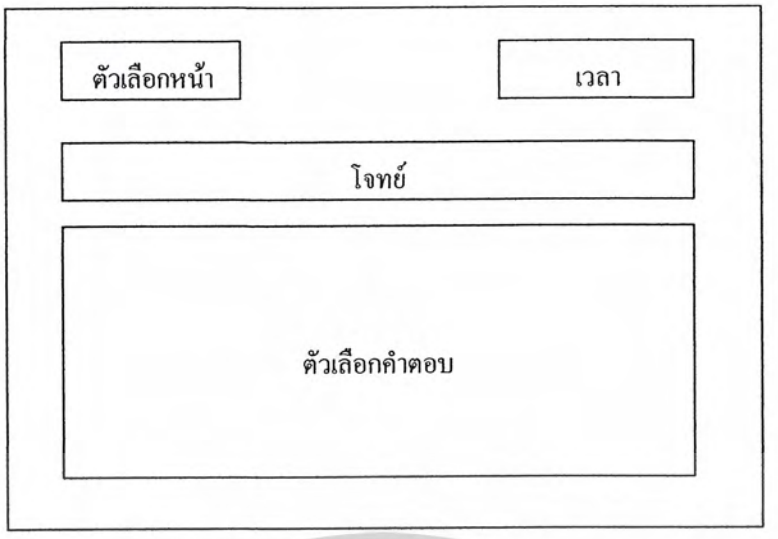
1. ตัวเลือกหน้า ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเลือกหน้าว่าจะไปหน้าถัดไปหรือจะกลับไปยังหน้าที่แล้ว
2. เวลา ทำหน้าที่จับเวลาในการทำแบบทดสอบเมื่อเวลาหมดการทดสอบจะสิ้นสุดในกรณีที่ทำแบบทดสอบไม่ทัน
3. โจทย์ เป็นส่วนที่เป็นคำถามของแบบทดสอบ
4. ตัวเลือกคำตอบ เป็นตัวเลือกในการตอบคำถามในแต่ละข้อซึ่งจะมีเพียงตัวเลือกเดียวที่ถูกและจำนวนของตัวเลือกอาจจะมีสี่หรือห้าตัวเลือกก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสมของเนื้อหาในแต่ละบทเรียน

และหน้าสุดท้ายคือหน้าสรุปคะแนน (รูปที่ 5-3) ที่ได้จากการทดสอบซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. จำนวนข้อทั้งหมด คือจำนวนข้อของแบบทดสอบทั้งหมด
2. จำนวนข้อที่ตอบถูก
3. จำนวนข้อที่ตอบผิด
4. สรุปคะแนน คือคะแนนรวมที่ได้จากการทำแบบทดสอบ

รูปที่ 5- 1 แสดงหน้าแรกของแบบทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-2 แสดงหน้าหลักของแบบทดสอบ

รูปที่ 5- 3 แสดงหน้าสรุปผลการทดสอบ

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้างโจทย์ (คำถามของแบบทดสอบ) จากเนื้อหาในแต่ละบทของบทเรียน

5.4 การจัดทำสื่อการสอน

หลังจากที่เราได้การออกแบบทั้งหมดแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการของการจัดทำสื่อการสอน โดยสื่อการสอนที่ได้นั้นจะนำไปใช้ในการศึกษาของผู้ที่สนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1 การจัดทำสื่อการสอนในส่วนของเนื้อหา

ขอยกตัวอย่างการจัดทำสื่อการสอน โดยใช้การออกแบบจากตารางที่ 5-2 ซึ่งใช้เทคนิคดังนี้

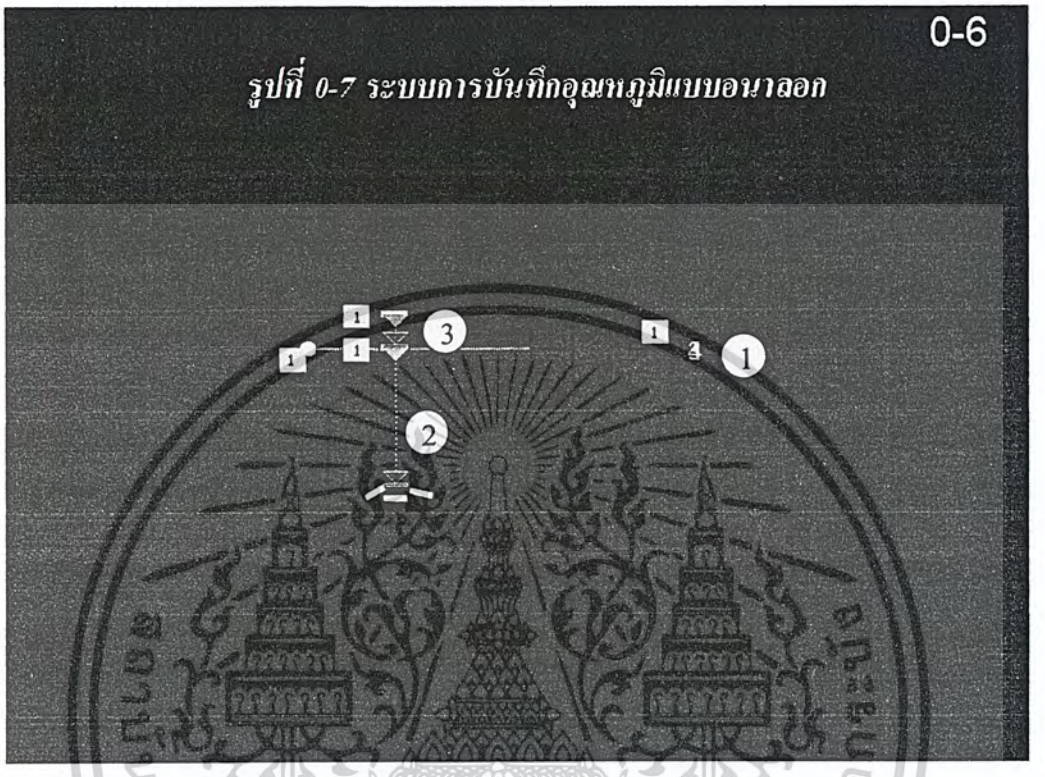
- แสดงการหาร โดยการดึงผลหารที่ได้มาเป็นตัวตั้งของการหารครั้งต่อไปด้วยการใช้เทคนิค "เส้นทางกำหนดเอง" (1)
- ส่วนที่เหลือของแต่ละบรรทัดให้ค่อยแสดงขึ้นมาทีละตัวโดยการใช้เทคนิคเลื่อน (2)
- บรรทัดที่สองเศษ 10 ให้เปลี่ยนเป็น A ใช้เทคนิค "เลือน"
- เศษของการหารที่ได้ให้ใช้เทคนิค "เส้นทางกำหนดเอง" เพื่อให้ลงมาแสดงเป็นคำตอบ (3)
- ใช้เทคนิค "แทรกออกนอก" ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง (4)
- ใช้เทคนิค "แทรกเข้าใน" จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ "ดังนั้น" (5)
- ใช้เทคนิค "แทรกเข้าไหน" จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐาน ของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ (6)
- แสดงข้อความเพื่ออธิบายแต่ละบรรทัดเพื่อให้เกิดความเข้าใจ (7)

รูปที่ 5-4 หน้าสไลด์ที่ได้จากการออกแบบตัวอย่างที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกตัวอย่างหนึ่งคือการจัดทำสื่อการสอน โดยใช้การออกแบบจากตารางที่ 5-3 ซึ่งใช้เทคนิคดังนี้

- ทำให้รูปเคลื่อนไหวได้ ตัวเลขแสดงผลต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปให้เห็น (1)
- ใช้เทคนิค "เส้นทางกำหนดเอง" เพื่อแสดงการตกลงมาของเม็ดยา (2)
- เวลาที่มีเม็ดยาตกลงมาเส้นทางของแหล่งกำเนิดแสงจะต้องถูกตัดไป (3)



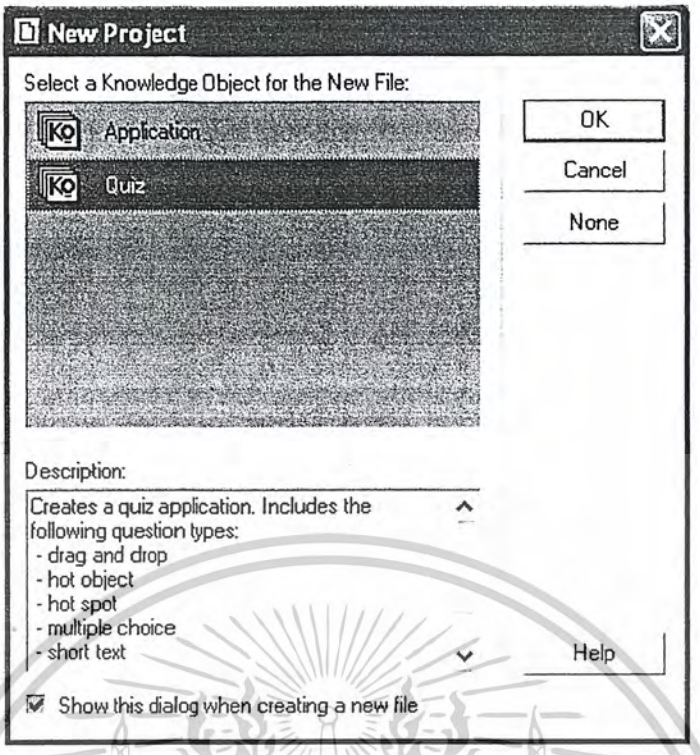
รูปที่ 5-5 หน้าสไลด์ที่ได้จากการออกแบบตัวอย่างที่ 2

5.4.2 การสร้างแบบทดสอบ

เมื่อออกแบบทดสอบและสร้างโจทย์เสร็จแล้วต่อไปคือการสร้างแบบทดสอบซึ่งโปรแกรมที่จะนำมาสร้างแบบทดสอบในที่นี้คือ Macromedia Authorware ซึ่งมีขั้นตอนพื้นฐานดังต่อไปนี้

- สร้าง New Project ขึ้นมาใหม่ซึ่งจะมี Knowledge Object ให้เลือกอยู่ 2 ประเภท (รูปที่ 5-6) คือ Application ใช้สำหรับสร้างงานแอปพลิเคชั่นทั่วไป และ Quiz ใช้สำหรับสร้างแบบทดสอบดังนั้นต้องเลือก Quiz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

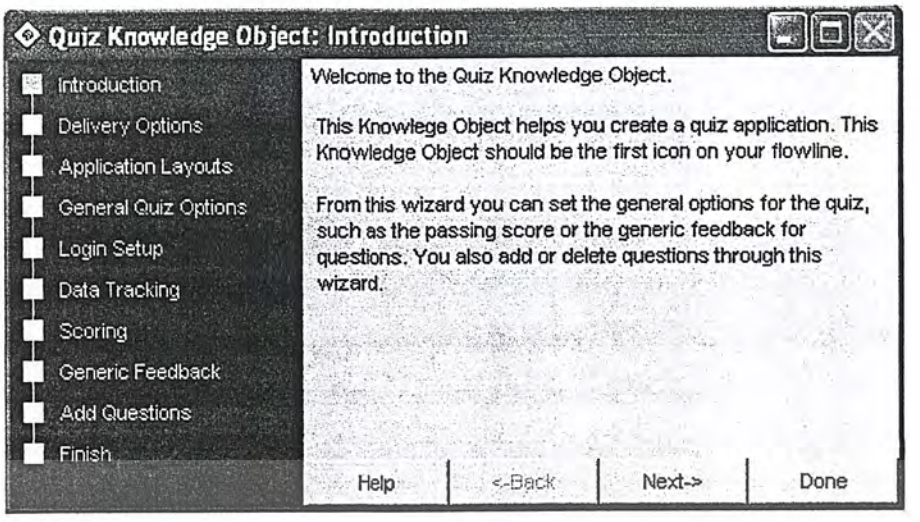


รูปที่ 5-6 แสดงหน้า New Project ในโปรแกรม Authorware

- หลังจากนั้นจะเข้าสู่หน้าต่าง Wizard (รูปที่ 5-7) ซึ่งใช้การกำหนดรายละเอียดต่างๆของแบบทดสอบซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

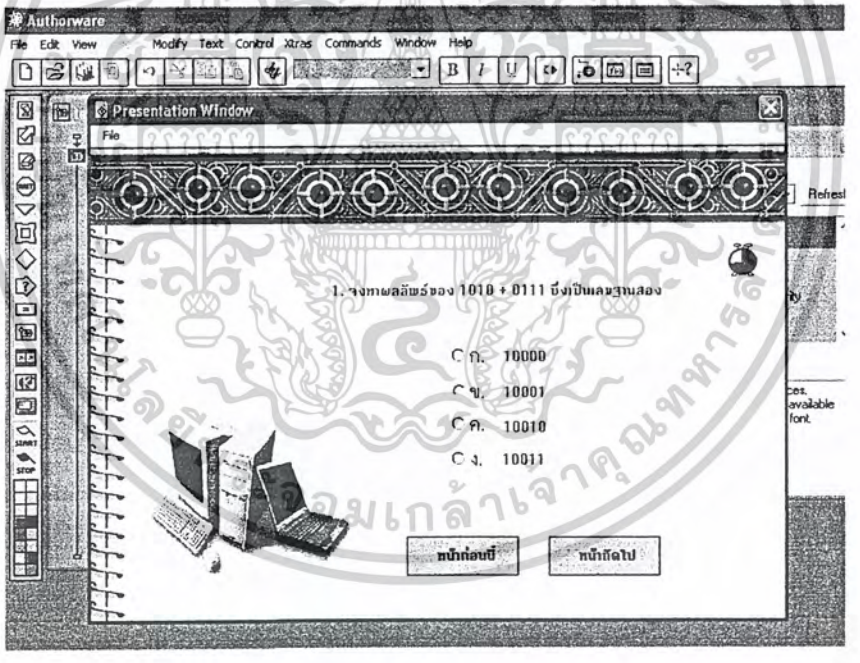
1. Introduction เป็นการแนะนำเกี่ยวกับ Wizard
2. Delivery Option เป็นส่วนที่ให้เลือกขนาดหน้าจอแสดงผลของแบบทดสอบ
3. Application Layouts เป็นการเลือกรูปแบบของหน้าจอแบบทดสอบ
4. General Quiz Option เป็นการเลือกรูปแบบของตัวเลือกคำตอบ
5. Login Setup เป็นส่วนที่ใช้กำหนดการ Login เข้ามาใช้งานแบบทดสอบ
6. Data Tracking เป็นส่วนที่ใช้กำหนดว่าจะให้มีการเก็บสถิติของผู้ทดสอบไว้ที่ใด
7. Scoring ใช้กำหนดเกณฑ์ของคะแนน
8. Generic Feedback เป็นการกำหนดรูปแบบของการโต้ตอบเมื่อผู้ที่ทดสอบตอบถูกหรือผิด
9. Add Questions เป็นส่วนที่ใช้เพิ่มคำถามในแบบทดสอบ
10. Finish จบหน้าจอ Wizard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-7 แสดงหน้า Wizard ในโปรแกรม Authorware

- จากนั้นจึงทำการจัดรูปแบบของแบบทดสอบและเพิ่มเติมส่วนต่างๆที่ต้องการก็จะได้แบบทดสอบที่เสร็จสมบูรณ์ดังรูปที่ 5-8



รูปที่ 5-8 แสดงตัวอย่างของแบบทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การทดลองและทดสอบ

6.1 การประเมินโดยการให้ผู้อื่นทดลองใช้ตัวสื่อการสอน

หลังจากที่ให้นักศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และนักศึกษาในภาควิชาอื่นๆ ทดสอบตัวของสื่อการสอน แล้วทำการประเมินผล โดยการประเมินผลงานนั้นจะใช้เกณฑ์ในการประเมินดังนี้

1. มีความเข้าใจเนื้อหาของบทเรียนมากน้อยเพียงใด
2. ความสนใจในรูปแบบของการนำเสนอว่ามีความน่าสนใจมากน้อยแค่ไหน
3. ความสอดคล้องของเนื้อหาว่ามีมากน้อยแค่ไหน

โดยในแต่ละส่วนจะมีคะแนนในการประเมินอยู่ 3 ระดับ คือ ดี ปานกลาง และต้องแก้ไข

6.1.1 ข้อจำกัดในการทดสอบ

การประเมินในลักษณะของการประเมินจากผลตอบรับของแบบสอบถาม มีขั้นตอนคือการให้ผู้ที่ประเมินทดลองใช้โปรแกรม และกรอกแบบสอบถามหลังการใช้โปรแกรม การทดลองของผู้ใช้โปรแกรม ไม่ได้มีการจำกัดเวลาในการประเมิน โดยขึ้นอยู่กับความพอใจของผู้ถูกประเมิน โดยการใช้ผู้ทำการประเมินจำนวน 10 คน

6.1.2 ผลของการประเมิน

ผลของการประเมินที่ได้นั้นจะแสดงในตารางที่ 6-1

หัวข้อ	ดี	ปานกลาง	ไม่ดี
1. ความเข้าใจในเนื้อหา	6	4	0
2. ความน่าสนใจของรูปแบบการนำเสนอ	7	3	0
3 ความสอดคล้องของเนื้อหากับสื่อที่ใช้ในการนำเสนอ	6	3	1

ตารางที่ 6-1 ผลการประเมินสื่อการสอน

6.2 บทสรุปของการประเมินผล

จากการประเมินผลที่ผ่านมา พอจะสรุปผลงานออกมาได้ดังนี้

1. เนื้อหามีความกระชับเข้าใจง่าย การจัดภาพต่างๆ มีความน่าสนใจ
2. ตัวบทเรียนแสดงการเคลื่อนไหวได้หลากหลาย ในแต่ละบทนั้นพยายามทำให้การนำเสนอไม่ซ้ำแบบกัน
3. ความสอดคล้องของเนื้อหาแต่ละบทนั้นยังต้องมีการปรับปรุง เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
บทสรุป

7.1 บทสรุป

จากเนื้อหาของโครงงานที่ได้แสดงรายละเอียดดังที่ผ่านมา โครงงานนี้ได้ทำการศึกษาถึงการออกแบบและสร้างโปรแกรมเพื่อใช้ในการสร้างสื่อการสอน ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบโปรแกรมขนาดใหญ่ได้อย่างมีระบบต่อไป ทำให้เข้าใจถึงการสร้างสื่อทาง Multimedia โดยมีระบบ User Interface ต่างๆ

ผลงานที่ได้จากตัวโครงงานนี้ ประกอบไปด้วย CD-ROM สื่อการสอนที่สมบูรณ์แล้ว รวมถึงตำราที่ใช้ประกอบเป็นแบบเรียน เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

จากประโยชน์ที่ได้รับที่คาดหวังไว้ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นการทำโครงงาน ถือว่าประสบผลสำเร็จในระดับหนึ่ง คือ สามารถสื่อถึงเนื้อหาทางวิชาการที่มีอยู่ให้กับผู้ใช้ทำความเข้าใจอย่างรวดเร็วและตรงไปตรงมา รวมทั้งได้ใช้ความรู้ความสามารถในการประยุกต์เพื่อสร้างระบบสื่อการสอน ที่ผสานการใช้รูปแบบต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยสำเร็จเป็นผลงาน พร้อมกับรายละเอียดแนวทางการศึกษาทั้งหมด ที่สามารถใช้เพื่อศึกษาและทำการพัฒนาต่อไป

7.2 ปัญหาและอุปสรรค

- ในการสร้างสื่อการสอนให้มีความกระชับ สื่อความหมายให้เข้าใจได้โดยง่าย นั้นเป็นเรื่องที่สำคัญและต้องใช้เวลาในการวางแผนเรื่องนี้นานพอสมควร
- ในการทำสื่อการสอนในแต่ละบทนั้นต้องใช้เวลานานพอสมควร เพราะว่าตัวโครงงานนั้นจะเน้นในระบบที่ไม่ยึดติดหลักการตายตัวของบทใดบทหนึ่ง

7.3 ข้อเสนอแนะ

จากการที่ให้ผู้ใช้ได้ทดลองใช้งานโปรแกรม แล้วได้แนะนำมาว่าควรที่จะมีการใช้เกมส์ประกอบกับตัวสื่อการสอนด้วย ซึ่งจะทำให้ดูน่าสนใจยิ่งขึ้น ซึ่งเห็นได้ว่าสื่อในการช่วยสอนควรมีความสอดคล้องกับความเพลิดเพลินควบคู่กันไป ดังนั้นหากมีการนำโครงงานไปพัฒนาต่อควรมีการแทรกเกมส์ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่นำมาใช้ในการทำสื่อการสอนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

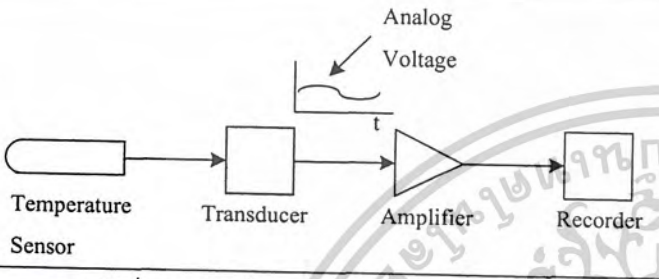
ภาคผนวก ก.

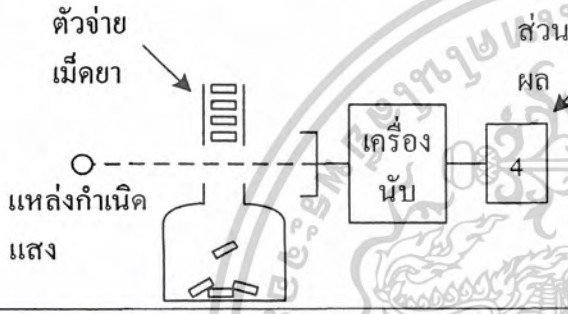
ส่วนการออกแบบการนำเสนอบทเรียนในแต่ละบท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	*หลักการของดิจิตอล* ***บทนำ*** ในชีวิตประจำวันของเราทุกวันนี้ต้องเกี่ยวข้องกับวงจรดิจิตอล (Digital Circuit) มากมาย เป็นต้นว่าเครื่องคิดเลขขนาดเล็กดังรูปที่ 0-1 นาฬิกาข้อมือดิจิตอลดังรูปที่ 0-2 เครื่องวัดระบบดิจิตอลในรูปที่ 0-3 ปั๊มน้ำมันที่บอกปริมาณและราคาเป็นตัวเลขดิจิตอล ในรูปที่ 0-4 ตลอดจนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปในรูปที่ 0-5 จนอาจกล่าวได้ว่าวงจรดิจิตอลได้ถูกนำไปใช้ในเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์แทบทุกชนิด เช่นในเครื่องมือทางการแพทย์ เครื่องมือสื่อสาร ตลอดจนวงจรควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ และนับวันการนำเอาวงจรดิจิตอลไปใช้งานจะยิ่งกว้างขวางขึ้น ในบทนี้จะกล่าวถึงเรื่องราวเบื้องต้นของวงจรดิจิตอล รวมไปถึงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างดิจิตอลกับอนาลอก	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - ทำลิงค์บริเวณที่ขีดเส้นใต้ไปยังหน้าที่มีรูป - เมื่อลิงค์ไปยังรูปแล้วให้กลับมายังสไลด์หน้าเดิม - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
2	*หลักการของดิจิตอล* โดยทั่วๆ ไประบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นระบบที่ประกอบขึ้นจากการรวมเอาวงจรอิเล็กทรอนิกส์มาต่อรวมกันเพื่อการทำงานตามฟังก์ชั่นที่กำหนด ตัวอย่างระบบอิเล็กทรอนิกส์เช่น คอมพิวเตอร์ดิจิตอล ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) นาฬิกาอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องคิดเลขอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อพิจารณาลักษณะการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่อสัญญาณที่ป้อนเข้า	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

	มายังระบบ และผลตอบสนองที่เกิดขึ้น เราสามารถแบ่งระบบอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็นสองชนิด คือ • ระบบอิเล็กทรอนิกส์อนาลอก (Analog Electronic System) • ระบบอิเล็กทรอนิกส์ดิจิตอล (Digital Electronic System)	
3	*ระบบอิเล็กทรอนิกส์อนาลอก (Analog Electronic System)* เป็นระบบที่ทำงานต่อจำนวนที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องกัน เช่นอุณหภูมิหรือแรงดัน จำนวนดังกล่าวนี้เราเรียกว่าจำนวนอนาลอก เมื่อจำนวนดังกล่าวนี้ถูกเปลี่ยนเป็นแรงดัน เราเรียกแรงดันนี้ว่าแรงดันอนาลอก การเปลี่ยนแปลงของแรงดันก็ต้องเป็นไปแบบต่อเนื่องกัน ตัวอย่างของอุปกรณ์อนาลอกเช่น เครื่องขยาย (Amplifier) ซึ่งสามารถใช้ขยายแรงดันอนาลอก รูปที่ 0-6 แสดงถึงระบบอนาลอกอย่างง่ายเกี่ยวกับการบันทึกอุณหภูมิ ในระบบประกอบไปด้วยตัวรับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เรียกว่าเซ็นเซอร์อุณหภูมิ (Temperature Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) สำหรับการเปลี่ยนค่าการเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องกันของอุณหภูมิเป็นแรงดันอนาลอกส่งไปยังวงจรขยาย แรงดันอนาลอกที่ถูกขยายแล้วจะถูกส่งไปยังเครื่องบันทึก (Recorder) ซึ่งจะบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินี้	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
4	*รูปที่ 0-6 ระบบการบันทึกอุณหภูมิแบบอนาลอก*	- ทำให้รูปเคลื่อนไหวได้ เช่นลักษณะทิศทางของการไหลของลูกศร

		
5	***ระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบดิจิตอล (Analog Electronic System)*** เป็นระบบที่ไม่ทำงานต่อจำนวนที่ไม่ต่อเนื่องกันเรียกว่า แบบดีสครีท (Discrete) เช่นค่าตัวเลขในฐานสิบ (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) จำนวนที่เป็นดีสครีสเหล่านี้สามารถเขียนแสดงเป็นค่าแรงดันได้ เราเรียกว่าแรงดันดิจิตอล แรงดันดิจิตอลอาจเปลี่ยนแปลงได้แต่การเปลี่ยนแปลงจะเป็นแบบไม่ต่อเนื่องกัน รูปที่ 0-7 แสดงให้เห็นถึงระบบดิจิตอลอย่างง่าย ๆ สำหรับนับจำนวนเม็ดยาที่ใส่ลงในขวด ทุกๆ ครั้งที่ใส่เม็ดยาลงไป เม็ดยาจะไปตัดแสงทำให้เครื่องนับนับไป 1 ถ้าวงจรนับนับได้จาก 0, 1, 2 ...9 และเราใช้แรงดัน 0, 1, 2 ... 9 โวลต์แทนค่าการนับเราจะได้ค่าการนับเป็นแรงดันที่ไม่ต่อเนื่องกันคือ 0, 1, 2 ... 9 โวลต์เป็นต้น ค่า 1.5 โวลต์จะไม่เกิดขึ้นในระบบมีระบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นจำนวนมากที่มีทั้งวงจรอนาลอกและวงจรดิจิตอลอยู่ภายในและมีระบบเป็นจำนวนมากเหมือนกันที่ประกอบด้วยวงจรดิจิตอลหรืออนาลอกเพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

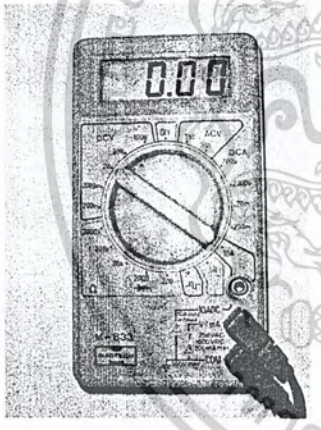
6	*รูปที่ 0-7 ระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับนับเม็ดยาบรรจุขวด*  	- ทำให้รูปเคลื่อนไหวได้ ตัวเลขแสดงผลต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปให้เห็น - ใช้เทคนิค "เส้นทางกำหนดเอง" เพื่อแสดงการตกลงมาของเม็ดยา - เวลาที่มีเม็ดยาตกลงมาเส้นทางของแหล่งกำเนิดแสงจะต้องถูกตัดไป
7	*เปรียบเทียบระบบอนาลอกกับระบบดิจิตอล* คุณสมบัติของแต่ละระบบนั้นจะเป็นดังนี้ ระบบอนาลอก 1) มีขอบเขตของจำนวนหลัก ผลลัพธ์มาจากกฎเกณฑ์ 2) วิธีการทำง่ายจึงประหยัดเวลา 3) ทำงานด้วยความเร็วสูง ด้วยการทำงานแบบขนาน (Parallel Operation) 4) เป็นเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel Machine) ระบบดิจิตอล 1) ไม่มีขอบเขตจำนวนหลัก 2) ใช้เวลามากในการทำโปรแกรม	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

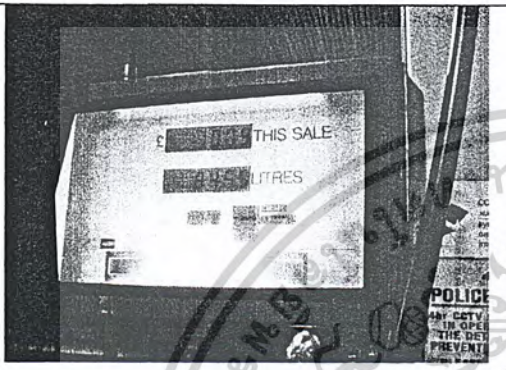
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

	3) ทำงานด้วยความเร็วต่ำ เป็นผลมาจากการทำงานที่เป็นขั้น ๆ 4) เป็นเครื่องจักรที่เป็นลำดับ (Sequential Machine)	
8	ตารางที่ 0-1 ตารางเปรียบเทียบระหว่างระบบอนาลอกกับระบบดิจิตอล	-ใช้เทคนิค “เลือน” เพื่อนำเสนอตาราง

สิ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	ระบบอนาลอก	ระบบดิจิตอล
สัญญาณ	ต่อเนื่องและสอดคล้องดีกับระบบฟิสิกส์ เหมาะสำหรับสถานการณ์ทั้งปวง	ไม่ต่อเนื่อง เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบจุดที่กำหนดเจาะจงอย่างละเอียด
การแปลระหว่างระบบกับตัวแปรภายนอกและคน	โดยตรง	ทางอ้อม เพราะต้องมีตัวแปรจากอนาลอกเป็นดิจิตอล หรือจากดิจิตอลเป็นอนาลอก
ความเร็วในกาทำงาน	ความเร็วสูงมาก	ความเร็วต่ำ
การจัดเก็บ	ยาก	ง่าย
ช่วงระยะการทำงาน	จำกัด	ไม่จำกัด พร้อมกับการเพิ่มจำนวนหลัก
การเชื่อถือและบำรุงรักษา	สูงพอ และบำรุงรักษาง่าย	จำต้องตรวจสอบและบำรุงรักษาอย่างดี

9	<u>จบการนำเสนอ</u>	- ข้อความ “จบการนำเสนอ” นั้นทำเป็นลิงค์เพื่อข้ามไปยังหน้าสุดท้าย
10	*รูปที่ 0-1เครื่องคิดเลขขนาดเล็ก* << <u>กลับไป</u>	- หน้านี้จะแสดงรูปโดยใช้เทคนิค “เลือน” - มีลิงค์กลับไปยังหน้าที่แล้วที่ “กลับไป”
11	*รูปที่ 0-2นาฬิกาข้อมือดิจิตอล*	- หน้านี้จะแสดงรูปโดยใช้เทคนิค “เลือน” - มีลิงค์กลับไปยังหน้าที่แล้วที่ “กลับไป”

	 << กลับไป	
12	*รูปที่ 0-3เครื่องวัดแรงดันไฟแบบดิจิตอล*  << กลับไป	- หน้านี้จะแสดงรูปโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - มีลิงค์กลับไปยังหน้าที่แล้วที่ “กลับไป”
13	*รูปที่ 0-4ปั๊มน้ำมันแบบดิจิตอล*	- หน้านี้จะแสดงรูปโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - มีลิงค์กลับไปยังหน้าที่แล้วที่ “กลับไป”

	 << กลับไป	
14	*รูปที่ 0-5ดิจิตอลคอมพิวเตอร์* << กลับไป	- หน้านี้จะแสดงรูปโดยใช้เทคนิค “เลือน” - มีลิงค์กลับไปยังหน้าที่แล้วที่ “กลับไป”
15		

ตารางที่ ค-1 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 0 หลักการของดิจิตอล

บทที่ 0 หลักการดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	*ระบบตัวเลข (Number Systems)* ***บทนำ*** โดยทั่วไปแล้ว ตัวเลขสามารถนิยามได้ดังนี้ **นิยาม** $a_n b^n + a_{n-1}b^{n-1} + \ldots + a_1 b^1 + a_0 b^0 + a_{-1}b^{-1} + \ldots + a_{-n+1}b^{-n+1} + a_{-n}b^{-n}$ เมื่อ a คือ ตัวเลขในตำแหน่ง n และ b คือ ฐาน ยกตัวอย่างเลขฐานสิบ **ตัวอย่าง** $(156.72)_{10} = 1x10^2 + 5x10^1 + 6x10^0 + 7x10^{-1} + 2x10^{-2}$	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -ส่วนนิยามใช้เทคนิค“ลอยเข้า”จากด้านล่าง -ตัวอย่างใช้เทคนิค“ลอยเข้า”จากด้านล่างทีละตัว
2	*ระบบตัวเลข (Number System)* ***Select Topics*** Binary Number System > Binary-to-Decimal Conversion > Decimal-to-Binary Conversion Octal Number System > Octal-to-Decimal Conversion > Decimal-to-Octal Conversion > Octal-to-Binary Conversion > Binary-to-Octal Conversion Hexadecimal Number System > Hexadecimal-to-Decimal Conversion > Decimal-to-Hexadecimal Conversion > Hexadecimal-to-Binary Conversion > Binary-to-Hexadecimal Conversion > Hexadecimal-to-Octal Conversion > Octal-to-Hexadecimal Conversion CODES > GRAY CODE	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -ส่วนSelect Topicsใช้เทคนิค“แทรกเข้าใน”จากด้านล่าง -ส่วนของหัวข้อฝั่งซ้ายใช้เทคนิค“ลอยเข้า”จากด้านซ้าย -ส่วนของหัวข้อฝั่งขวาใช้เทคนิค“ลอยเข้า”จากด้านขวา -แต่ละหัวข้อให้สามารถลิงค์ไปยังหน้าที่มีหัวข้อนั้นได้

<table>
<tr><td></td><td></td><td>> BCD CODE</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td>ระบบเลขฐานสอง (Binary Number System)

ระบบเลขฐานสองนั้นประกอบด้วยตัวเลข 1 และ 0 ซึ่งเลขฐานสองนี้จะนิยมใช้ในวงจรดิจิตอล ระบบคอมพิวเตอร์ หรือแม้แต่การนำไปประยุกต์ใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เลข 1 และ 0 แทนการปิด-เปิด สวิทช์ของอุปกรณ์บางชนิด หรือแม้แต่นำไปควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆ</td><td>-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง
-เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”</td></tr>
<tr><td>4</td><td>ตารางที่ 1-1 เปรียบเทียบเลขฐานสองกับฐานสิบ

<table><tr><th>Decimal</th><th>Binary</th><th>Decimal</th><th>Binary</th></tr><tr><td>0</td><td>0000</td><td>8</td><td>1000</td></tr><tr><td>1</td><td>0001</td><td>9</td><td>1001</td></tr><tr><td>2</td><td>0010</td><td>10</td><td>1010</td></tr><tr><td>3</td><td>0011</td><td>11</td><td>1011</td></tr><tr><td>4</td><td>0100</td><td>12</td><td>1100</td></tr><tr><td>5</td><td>0101</td><td>13</td><td>1101</td></tr><tr><td>6</td><td>0110</td><td>14</td><td>1110</td></tr><tr><td>7</td><td>0111</td><td>15</td><td>1111</td></tr></table></td><td>-แยกตารางเป็นสองส่วนใช้เทคนิค“เลื่อน” ขึ้นมาทีละตาราง</td></tr>
</table>

5	*การนับเลขฐานสอง (Counting in Binary)* ถ้าเรามีเลขฐานสองจำนวน N บิท เราสามารถนับเลขได้ทั้งหมด 2^N รูปแบบ เริ่มจากการนับตั้งแต่ 0 ถึง $2^N - 1$ ยกตัวอย่างเช่น ให้ N = 4 เราสามารถนับได้จาก 0000_2 ถึง 1111_2 ซึ่งก็คือ 0_{10} ถึง 15_{10} หรือเป็นจำนวนตัวเลขต่างกัน 16 แบบ ดังแสดงให้เห็นจากสูตรว่าจำนวนที่เป็นเลขฐานสิบที่มากที่สุด คือ $2^4 - 1 = 15$ และมันมีจำนวนที่ต่างกันอยู่ 2^4 จำนวน ดังนั้นจะได้ว่าถ้าใช้การนับแบบ N บิท เราจะแสดงจำนวนของเลขฐานสิบได้จาก 0 จนถึง $2^N - 1$ โดยมีตัวเลขที่ต่างกันอยู่ 2^N ตัว	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
6	*การแปลงเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบ* *(Binary-to-Decimal Conversion)* ในระบบเลขฐานสองตัวเลขในแต่ละตำแหน่ง (แต่ละบิท) นั้นจะมีค่าประจำหลักของตัวมันเอง เลขฐานสองทุกๆ ตัว สามารถที่จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของเลขฐานสิบได้โดยการรวมค่าน้ำหนักประจำหลักของหลักที่มีเลข 1 อยู่ ส่วนที่เป็นเลข 0 เราไม่ต้องสนใจ ซึ่งจะแสดงดังในตัวอย่างหน้าถัดไป	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
7	ตัวอย่างที่ 1-1 จงแปลง 11011_2 ให้เป็นเลขฐานสิบ $11011_2 = 1x2^4 + 1x2^3 + 0x2^2 + 1x2^1 + 1x2^0$ $= 16 + 8 + 0 + 2 + 1$ $= 27_{10}$	-ตัวอย่างแต่ละตัวให้ดึงตัวเลขที่เป็นโจทย์ลงมาเป็นส่วนของวิธีทำ -ส่วนที่แสดงวิธีทำให้ใช้เทคนิค "เลื่อน" ขึ้นมาทีละหลักให้ตรงกัน -ส่วนคำตอบใช้เทคนิค "แทรกเข้าใน" จากด้านซ้าย -ดึงตัวเลขแสดงฐานมาต่อท้ายคำตอบโดยใช้เทคนิค "แทรกเข้า

	ตัวอย่างที่ 1-2 จงแปลง 100101_2 ให้เป็นเลขฐานสิบ $11011_2 = 1x2^5 + 0x2^4 + 0x2^3 + 1x2^2 + 0x2^1 + 1x2^0$ $= 32 + 0 + 0 + 4 + 0 + 1$ $= 37_{10}$	ใน" จากด้านขวา
8	*การแปลงเลขฐานสิบเป็นเลขฐานสอง* *(Decimal-to-Binary Conversion)* การแปลงเลขฐานสิบให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง โดยการใช้การหารซ้ำด้วย 2 ซึ่งวิธีการก็คือ เมื่อหารเสร็จในแต่ละครั้งจะต้องเขียนเศษที่ได้ของการหารด้วย แล้วนำผลลัพธ์ในการหารแต่ละครั้งมาเป็นตัวตั้งของการหารครั้งต่อไปจนกว่าผลลัพธ์ของการหารเป็น 0 จำไว้ด้วยว่าผลลัพธ์ที่ได้ที่แสดงเป็นเลขฐานสองก็คือการเขียนเศษของการหารครั้งแรกที่ตำแหน่งบิทต่ำ (LSB) เรื่อยมาจนเศษของการหารตัวสุดท้ายที่ตำแหน่งบิทสูง (MSB) ดังตัวอย่างในหน้าถัดไป	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
9	ตัวอย่างที่ 1-3 จงแปลง 25_{10} ให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง $25 / 2 = 12$ เศษ 1 เป็น LSB $12 / 2 = 6$ เศษ 0 $6 / 2 = 3$ เศษ 0 $3 / 2 = 1$ เศษ 1 $1 / 2 = 0$ เศษ 1 เป็น MSB ดังนั้น $25_{10} = 11001_2$	-แสดงการหารโดยการดึงผลหารที่ได้มาเป็นตัวตั้งของการหารครั้งต่อไปด้วยการใช้เทคนิค "เส้นทางกำหนดเอง" -ส่วนที่เหลือของแต่ละบรรทัดให้ค่อยแสดงขึ้นมาทีละตัวโดยการใช้เทคนิคเลื่อน -เศษของการหารที่ได้ให้ใช้เทคนิค "เส้นทางกำหนดเอง" เพื่อให้ลงมาแสดงเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค "แทรกออกนอก" ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้

		เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค "แทรกเข้าใน" จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ "ดังนั้น" -ใช้เทคนิค "แทรกเข้าไหน" จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ -แสดงข้อความเพื่ออธิบายแต่ละบรรทัดให้เข้าใจ
10	*ระบบเลขฐานแปด (Octal Number System)* ระบบเลขฐานแปดมักจะนิยมใช้ในระบบคอมพิวเตอร์ ระบบเลขฐานแปดนั้นจะใช้เลข 8 ตัว เป็นตัวแทน นั้นคือ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ดังนั้นตัวเลขในแต่ละตำแหน่งของเลขฐานแปดจึงมีค่าได้เพียง 0 ถึง 7 เท่านั้น	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
11	*การนับเลขฐานแปด (Counting in Octal)* ตัวเลขที่ใหญ่ที่สุดของระบบเลขฐานแปดนั้นก็คือ 7 ดังนั้นการนับเลขในระบบเลขฐานแปด ตัวเลขจะเริ่มนับจาก 0 ถึง 7 เมื่อมันนับมาจนถึง 7 แล้วมันก็จะกลับไปนับ 0 ใหม่อีกครั้ง ตัวเลขที่อยู่หลักสูงกว่ามัน 1 หลักก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งค่าดังตัวอย่างการนับต่อไปนี้ 65, 66, 67, 70, 71 หรืออีกตัวอย่าง 275, 276, 277, 300, 301 เป็นต้น จำนวนตัวเลขฐานแปด N ตัวนั้นสามรถนับได้จาก 0 จนถึง 8^{N-1} และมีรูปแบบที่แตกต่างกันอยู่ 8^{N} รูปแบบ ยกตัวอย่างเช่น มีเลขฐานแปดอยู่ 3 หลัก สามารถนับได้จาก 000_8 ถึง	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

	777_8 ซึ่งก็คือ 0_{10} ถึง 511_{10} และมีรูปแบบที่ต่างกัน $8^3 = 512_{10}$ รูปแบบของตัวเลขฐานแปด	
12	*การแปลงเลขฐานแปดเป็นเลขฐานสิบ* *(Octal-to-Decimal Conversion)* ในระบบเลขฐานแปดนั้นสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของเลขฐานสิบได้ด้วยการคูณเลขฐานแปดแต่ละหลักด้วยค่าน้ำหนักประจำหลักที่มันอยู่ ดังตัวอย่างในหน้าถัดไป	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
13	ตัวอย่างที่ 1-4 จงแปลง 576_8 ให้เป็นเลขฐานสิบ $576_8 = 5x8^2 + 7x8^1 + 6x8^0$ $= 320 + 56 + 6$ $= 382_{10}$ ตัวอย่างที่ 1-5 จงแปลง 2415_8 ให้เป็นเลขฐานสิบ $2415_8 = 2x8^3 + 4x8^2 + 1x8^1 + 5x8^0$ $= 1024 + 256 + 8 + 5$ $= 1293_{10}$	-ตัวอย่างแต่ละตัวให้ดึงตัวเลขที่เป็นโจทย์ลงมาเป็นส่วนของวิธีทำ -ส่วนที่แสดงวิธีทำให้ใช้เทคนิค "เลื่อน" ขึ้นมาทีละหลักให้ตรงกัน -ส่วนคำตอบใช้เทคนิค "แทรกเข้าใน" จากด้านซ้าย -ดึงตัวเลขแสดงฐานมาต่อท้ายคำตอบโดยใช้เทคนิค "แทรกเข้าใน" จากด้านขวา
14	*การแปลงเลขฐานสิบให้เป็นเลขฐานแปด* *(Decimal-to-Octal Conversion)* การแปลงเลขฐานแปดให้อยู่ในรูปเลขฐานสิบนั้นสามารถทำได้เหมือนกับวิธีการหารซ้ำ ที่ได้	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

	เห็นมาแล้วจากวิธีการแปลงเลขฐานสิบให้อยู่ในรูปของเลขฐานสอง เพียงแต่เราจะเปลี่ยนตัวหารให้เป็น 8 แทนเลข 2 โดยจำไว้ว่าเศษของการหารตัวแรกจะเป็นเลขค่าต่ำ (Least Significant Digit: LSD) ของเลขฐานแปด และเศษของการหารตัวสุดท้ายนั้นจะเป็นเลขค่าสูง (Most Significant Digit: MSD) ซึ่งจะแสดงตัวอย่างหน้าถัดไป	
15	ตัวอย่างที่ 1-6 จงแปลง 2856_{10} ให้อยู่ในรูปเลขฐานแปด 2856 / 8 = 357 เศษ 0 เป็น LSD 357 / 8 = 44 เศษ 5 44 / 8 = 5 เศษ 4 4 / 8 = 0 เศษ 5 เป็น MSD ดังนั้น $2856_{10} = 5450_8$	-แสดงการหาร โดยการดึงผลหารที่ได้มาเป็นตัวตั้งของการหารครั้งต่อไปด้วยการใช้เทคนิค “เส้นทางกำหนดเอง” -ส่วนที่เหลือของแต่ละบรรทัดให้ค่อยแสดงขึ้นมาทีละตัวโดยการใช้เทคนิคเลื่อน -เศษของการหารที่ได้ให้ใช้เทคนิค “เส้นทางกำหนดเอง” เพื่อให้ลงมาแสดงเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ -แสดงข้อความเพื่ออธิบายแต่ละบรรทัดให้เข้าใจ
16	*การแปลงเลขฐานแปดให้เป็นเลขฐานสอง* *(Octal-to-Binary Conversion)*	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

<table>
<tr><td></td><td>การแปลงเลขฐานแปดให้อยู่ในรูปแบบของเลขฐานสองนั้นทำได้ง่ายมาก เพียงแค่การกลับตำแหน่งของเลขฐานแปดแต่ละตัวให้อยู่ในรูปของเลขฐานสอง โดยที่เลขฐานแปด 1 ตัวนั้นจะแทนด้วยเลขฐานสอง 3 บิท ซึ่งจะแสดงให้เห็นดัง ตารางที่ 1-2 การใช้การกลับค่าจากตารางนี้สามารถที่จะแปลงค่าจากเลขฐานแปดทุกๆ ตัวให้เป็นเลขฐานสองได้ด้วยการแปลงค่าเลขฐานแปดทีละตำแหน่ง</td><td></td></tr>
<tr><td>17</td><td>ตารางที่ 1-2 เปรียบเทียบเลขฐานแปดกับฐานสอง
<table><tr><th>Octal</th><th>Binary</th></tr><tr><td>0</td><td>000</td></tr><tr><td>1</td><td>001</td></tr><tr><td>2</td><td>010</td></tr><tr><td>3</td><td>011</td></tr><tr><td>4</td><td>100</td></tr><tr><td>5</td><td>101</td></tr><tr><td>6</td><td>110</td></tr><tr><td>7</td><td>111</td></tr></table></td><td>-ใช้เทคนิค “เลื่อน” เพื่อนำเสนอตาราง</td></tr>
<tr><td>18</td><td>ตัวอย่างที่ 1-7 จงแปลง 357_8 ให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง</td><td>-ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้าน MSD ก่อนค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลื่อน”</td></tr>
</table>

	MSD LSD 3 5 7 ↓ ↓ ↓ 011 101 111 ดังนั้น $357_8 = 011101111_2$	- ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นเลขฐานสองทีละหลัก หลักละ 3 บิท โดยใช้เทคนิค “เลื่อน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
19	*การแปลงเลขฐานสองเป็นเลขฐานแปด* *(Binary-to-Octal Conversion)* การทำการแปลงเลขฐานสองให้อยู่ในรูปของเลขฐานแปดนั้น ทำได้โดยการกลับวิธีการของการแปลงเลขฐานแปดให้อยู่ในรูปของเลขฐานสอง โดยให้จัดกลุ่มของเลขฐานสองให้อยู่ในรูปของเลขฐานสองกลุ่มละ 3 บิท เริ่มต้นจาก LSB หลังจากนั้นให้ทำการเปลี่ยนค่าของแต่ละกลุ่มที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบของเลขฐานแปด ไปจนถึง MSB ดูตัวอย่างหน้าถัดไป	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
20	ตัวอย่างที่ 1-8 จงแปลง 101110011_2 ให้อยู่ในรูปเลขฐานแปด	-ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้าน MSD ก่อนค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน

	MSB LSB 101 101 011 ↓ ↓ ↓ 5 6 3 ดังนั้น $101101011_2 = 563_8$	-แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นเลขฐานแปดทีละหลัก หลักละตัว โดยใช้เทคนิค “เลื่อน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
21	ในบางครั้งแล้ว เลขฐานสองที่เราจัดนั้นอาจจะไม่ครบกลุ่มของตัวเลข 3 บิทก็เป็นได้ สำหรับกรณีเหล่านั้น เราสามารถที่จะเพิ่มตัวเลข “0” เข้าไปที่ตำแหน่งทางซ้ายมือของ MSB ได้ เพื่อให้กลุ่มสุดท้ายนั้นสมบูรณ์ง่ายต่อการหาค่า เช่น เลขฐานสองที่มีจำนวนบิทหารด้วย 3 ไม่ลงตัว ซึ่งเมื่อแบ่งเป็นกลุ่มแล้วกลุ่มสุดท้ายที่อยู่ทางด้าน MSB นั้นจะมีจำนวน บิทไม่ครบ 3 บิท นั้นก็คือจะต้องเติมเลข “0” เข้าไปที่กลุ่มสุดท้ายให้ครบ 3 บิท จำไว้ด้วยว่า “0” ที่เติมเข้ามานั้นเพียงเพื่อต้องการให้ตัวเลขที่อยู่ทางด้าน MSB นั้นมีบิทครบ 3 บิท เท่านั้น ซึ่งจะแสดงวิธีการดังกล่าวในหน้าถัดไป	-เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
22	ตัวอย่างที่ 1-9 จงแปลง 1100101_2 ให้อยู่ในรูปเลขฐานแปด	-ตัวเลขโจทย์จะถูกเพิ่มเข้ามา 2 บิท(ที่ขีดเส้นใต้)ใช้เทคนิค “เคลื่อนลง” เพื่อให้เหมือนมันเคลื่อนมาจากด้านบน -ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้าน MSD ก่อนค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลื่อน”

	MSB LSB 001 100 101 ↓ ↓ ↓ 1 4 5 ดังนั้น $1100101_2 = 145_8$	- ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นเลขฐานแปดทีละหลัก หลักละตัว โดยใช้เทคนิค “เลื่อน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
23	*ระบบเลขฐานสิบหก* *(Hexadecimal Number System)* เลขฐานสิบหกนั้นจะใช้ตัวเลขจาก 0 ถึง 9 รวมไปถึงการใช้ตัวอักษร A, B, C, D, E และ F ในการแสดงผลตารางที่ 1-3 จะแสดงความ สัมพันธ์ระหว่าง เลขฐานสิบหก เลขฐานสิบ และเลขฐานสอง จำไว้ด้วยว่าเลขฐานสิบหกนั้นจะแทนค่าด้วยเลขฐานสองจำนวน 4 บิท และจำไว้ให้ดีว่าตัวอักษร A ถึง F นั้นจะแทนด้วยเลขฐานสิบจาก 10 ถึง 15	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
24	ตารางที่ 1-3 เปรียบเทียบเลขฐานสองกับฐานสิบหก	-แยกตารางเป็นสองส่วนใช้เทคนิค“เลื่อน” ขึ้นมาทีละตาราง

	<table><tr><th>Decimal</th><th>Hexadecimal</th><th>Binary</th><th>Decimal</th><th>Hexadecimal</th><th>Binary</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0000</td><td>8</td><td>8</td><td>1000</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0001</td><td>9</td><td>9</td><td>1001</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>0010</td><td>10</td><td>A</td><td>1010</td></tr><tr><td>3</td><td>3</td><td>0011</td><td>11</td><td>B</td><td>1011</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>0100</td><td>12</td><td>C</td><td>1100</td></tr><tr><td>5</td><td>5</td><td>0101</td><td>13</td><td>D</td><td>1101</td></tr><tr><td>6</td><td>6</td><td>0110</td><td>14</td><td>E</td><td>1110</td></tr><tr><td>7</td><td>7</td><td>0111</td><td>15</td><td>F</td><td>1111</td></tr></table>	
25	*การนับเลขฐานสิบหก* *(Counting in Hexadecimal)* การนับในระบบเลขฐานสิบหกนั้นจะทำการนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทีละ 1 จาก 0 จนถึง F ถ้าตำแหน่งใดนับไปจนถึง F นับครั้งต่อไปมันก็จะเริ่มต้นนับที่ 0 และเพิ่มค่าตำแหน่งที่มีค่าสูงกว่าขึ้นอีกหนึ่ง ดังตัวอย่างที่จะนำเสนอต่อไปนี้ 38, 39, 3A, 3B, 3C, 3D, 3E, 3F, 40, 41, 42 เป็นต้น หรือ 6F8, 6F9, 6FA, 6FB, 6FC, 6FD, 6FE, 6FF, 700	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
26		-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง

	การนับเลขฐานสิบหก *(Counting in Hexadecimal)* *(ต่อ)* สำหรับเลขฐานสิบหก N ตำแหน่งนั้นสามารถนับเป็นหลักสิบได้จาก 0 ถึง $16^N - 1$ ซึ่งก็หมายความว่ามีตัวเลขที่แตกต่างกันอยู่ 16^N แบบ ตัวอย่างเช่น เลขฐานสิบหก 3 ตำแหน่งนั้นสามารถนับได้จาก 000_{16} ถึง FFF_{16} ซึ่งก็คือ 0_{10} ถึง 4095_{10} โดยมีรูปแบบที่แตกต่างกันอยู่ $16^3 = 4096_{10}$ แบบนั่นเอง	-เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
27	*การแปลงเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสิบ* *(Hexadecimal-to-Decimal Conversion)* เลขฐานสิบหกนั้นสามรถที่จะทำให้อยู่ในรูปของเลขฐานสิบได้ด้วยการใช้ความจริงที่ว่าตำแหน่งตัวเลขของเลขฐานสิบหกแต่ละตัวนั้นจะมีค่าน้ำหนักประจำหลักของมันอยู่ นั้นก็คือค่าของน้ำหนักประจำหลักของตัวมันเอง นั้นก็คือค่ายกกำลังของ 16 นั้นเอง โดยที่ตำแหน่งของ LSD นั้นจะมีค่าน้ำหนักคือ 16^0 ตำแหน่งต่อไปที่สูงกว่าถัดไปก็จะเป็น 16^1 โดยจะเพิ่มค่ายกกำลังทีละ 1 ไปเรื่อยๆ จนถึงตำแหน่งของ MSD ดังตัวอย่างที่จะนำเสนอต่อไปนี้	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
28	ตัวอย่างที่ 1-10 จงแปลง $79A_{16}$ ให้เป็นเลขฐานสิบ $79A_{16} = 7x16^2 + 9x16^1 + 10x16^0$ $= 1972 + 144 + 10$ $= 1946_{10}$	-ตัวอย่างแต่ละตัวให้ดึงตัวเลขที่เป็นโจทย์ลงมาเป็นส่วนของวิธีทำ -ส่วนที่แสดงวิธีทำให้ใช้เทคนิค “เลื่อน” ขึ้นมาทีละหลักให้ตรงกัน -ส่วนคำตอบใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านซ้าย -ดึงตัวเลขแสดงฐานมาต่อท้ายคำตอบโดยใช้เทคนิค “แทรกเข้า

	ตัวอย่างที่ 1-11 จงแปลง $3BF_{16}$ ให้เป็นเลขฐานสิบ $3BF_{16} = 3x16^2 + 11x16^1 + 15x16^0$ $= 768 + 176 + 15$ $= 959_{10}$	ใน" จากด้านขวา
29	*การแปลงเลขฐานสิบเป็นเลขฐานสิบหก* *(Decimal-to-Hexadecimal Conversion)* การแปลงเลขฐานสิบให้อยู่ในรูปเลขฐานสิบหก สามารถทำได้โดยการหารด้วย 16 เมื่อหารเสร็จในแต่ละครั้งจะต้องเขียนเศษที่ได้ของการหารด้วย แล้วนำผลลัพธ์ในการหารแต่ละครั้งมาเป็นตัวตั้งของการหารครั้งต่อไปจนกว่าผลลัพธ์ของการหารเป็น 0 แล้วนำเศษของการหารครั้งแรกที่ตำแหน่งบิทต่ำ (LSB) มาเรียงจนถึงเศษของการหารตัวสุดท้ายที่ตำแหน่งบิทสูง (MSB) ก็จะได้ผลลัพธ์ออกมา ดังตัวอย่างในหน้าถัดไป	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
30	ตัวอย่างที่ 1-12 จงแปลง 9638_{10} ให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง 9638 / 16 = 602 เศษ 6 เป็น LSB 602 / 16 = 37 เศษ 10 37 / 16 = 2 เศษ 5 2 / 16 = 0 เศษ 2 เป็น MSB ดังนั้น $9638_{10} = 25A6_{16}$	-แสดงการหารโดยการดึงผลหารที่ได้มาเป็นตัวตั้งของการหารครั้งต่อไปด้วยการใช้เทคนิค "เส้นทางกำหนดเอง" -ส่วนที่เหลือของแต่ละบรรทัดให้ค่อยแสดงขึ้นมาทีละตัวโดยการใช้เทคนิคเลื่อน -บรรทัดที่สองเศษ 10 ให้เปลี่ยนเป็น A ใช้เทคนิค "เลือน" -เศษของการหารที่ได้ให้ใช้เทคนิค "เส้นทางกำหนดเอง" เพื่อให้ลงมาแสดงเป็นคำตอบ

		-ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ -แสดงข้อความเพื่ออธิบายแต่ละบรรทัดให้เข้าใจ
31	*การแปลงเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสิบ* *(Hexadecimal-to-Binary Conversion)* ในการแปลงเลขฐานสิบหกไปเป็นเลขฐานสองนั้นมีความคล้ายคลึงกับกับการแปลงเลขฐานแปดไปเป็นเลขฐานสอง เพียงแต่ว่าเลขฐานสิบหกนั้นแต่ละตัวจะใช้เลขฐานสองจำนวน 4 บิท เพื่อแสดงตัวมันเอง 1 ตัว ดังตัวอย่างต่อไปนี้	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
32	ตัวอย่างที่ 1-13 จงแปลง $9CD_{16}$ ให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง MSD LSD 9 C D ↓ ↓ ↓ 1001 1100 1101 ดังนั้น $9CD_{16} = 100111001101_2$	-ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้าน MSD ก่อนค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลือน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นเลขฐานสองทีละหลัก หลักละ 4 บิท โดยใช้เทคนิค “เลือน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้

		เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
33	*การแปลงเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบหก* *(Binary-to-Hexadecimal conversion)* ทำได้โดยการทำกลับกันจากการแปลงจากเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสอง โดยการจัดกลุ่มให้เลขฐานสองกลุ่มละ 4 บิท ถ้ากลุ่มที่อยู่ทาง MSB บิทนั้นมีไม่ครบ 4 บิทนั้นก็ให้เติมเลข 0 ลงไปจนครบ ดังตัวอย่างต่อไปนี้	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
34	ตัวอย่างที่ 1-14 จงแปลง 1011010111_2 ให้อยู่ในรูปเลขฐานแปด MSB LSB 0010 1101 0111 ↓ ↓ ↓ 2 D 7 ดังนั้น $1011010111_2 = 2D7_{16}$	-ตัวเลขโจทย์จะถูกเพิ่มเข้ามา 2 บิท(ที่ขีดเส้นใต้)ใช้เทคนิค “เคลื่อนลง” เพื่อให้เหมือนมันเคลื่อนมาจากด้านบน -ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้าน MSD ก่อนค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นเลขฐานแปดทีละหลัก หลักละตัว โดยใช้เทคนิค “เลื่อน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้

		เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
35	*การแปลงเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานแปด* *(Hexadecimal-to-Octal Conversion)* จะใช้วิธีการแปลงเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสองก่อนแล้วจึงแยกเลขฐานสองที่ได้จากการแปลงออกเป็นกลุ่มๆละ 3 บิท (ในกรณีที่กลุ่มทางซ้ายสุดมีไม่ครบ 3 บิทให้เพิ่มจำนวนบิทขึ้นให้จนครบ 3 บิท) จากนั้นจึงใช้วิธีการแปลงเลขฐานสองเป็นเลขฐานแปดอีกทีหนึ่งดังเช่นตัวอย่างต่อไปนี้	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
36	ตัวอย่างที่ 1-15 จงแปลง $7AC_{16}$ ให้อยู่ในรูปเลขฐานแปด MSD LSD 7 A C 0111 1010 1100 011 110 101 100 3 6 5 4 ดังนั้น $7AC_{16} = 3654_8$	-ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้าน MSD ก่อนค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นเลขฐานสองทีละหลัก หลักละ 4 บิท โดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แตกเลขฐานสองแต่ละกลุ่มจากกลุ่มละ 4 บิท เป็นกลุ่มละ 3 บิท

		- ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แปลงจากเลขฐานสองแต่ละหลัก เป็นเลขฐานแปดแสดงเป็นผลลัพธ์ใช้เทคนิค “เลือน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
37	ตัวอย่างที่ 1-16จงแปลง $5E_{16}$ ให้อยู่ในรูปเลขฐานแปด MSD LSD 5 E 0101 1110 001 011 110 1 3 6 ดังนั้น $5E_{16} = 136_8$	-ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้าน MSD ก่อนค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลือน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นเลขฐานสองทีละหลัก หลักละ 4 บิท โดยใช้เทคนิค “เลือน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แตกเลขฐานสองแต่ละกลุ่มจากกลุ่มละ 4 บิท เป็นกลุ่มละ 3 บิท -กลุ่มของเลขฐานสองที่แตกครั้งที่ 2 ที่อยู่ทางฝั่ง MSD ตัวเลขจะมีเพียง 2 บิท ให้ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบน เพื่อเพิ่มอีก 1 บิทเข้าไป

		-แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นเลขฐานสองทีละหลัก หลักละ 3 บิท โดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แปลงจากเลขฐานสองแต่ละหลัก เป็นเลขฐานแปดแสดงเป็นผลลัพธ์ใช้เทคนิค “เลื่อน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
38	*การแปลงเลขฐานแปดเป็นเลขฐานสิบหก* *(Octal-to-Hexadecimal Conversion)* คล้ายกับวิธีการแปลงเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานแปด โดยจะใช้วิธีการแปลงเลขฐานแปดเป็นเลขฐานสองก่อนแล้วจึงแยกเลขฐานสองที่ได้จากการแปลงออกเป็นกลุ่มๆละ 4 บิท (ในกรณีที่กลุ่มทางซ้ายสุดมีไม่ครบ 4 บิทให้เพิ่มจำนวนบิทขึ้นให้จนครบ 4 บิท) จากนั้นจึงใช้วิธีการแปลงเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบหกอีกทีหนึ่งดังเช่นตัวอย่างต่อไปนี้	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
39	ตัวอย่างที่ 1-17จงแปลง 674_8 ให้อยู่ในรูปเลขฐานสิบหก	-ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้าน MSD ก่อน

	6 7 4 ↓ ↓ ↓ 110 111 100 ↓ ↓ ↓ 0001 1011 1100 ↓ ↓ ↓ 1 B C ดังนั้น $674_8 = 1BC_{16}$	ค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นเลขฐานสองทีละหลัก หลักละ 3 บิท โดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แตกเลขฐานสองแต่ละกลุ่มจากกลุ่มละ 3 บิท เป็นกลุ่มละ 4 บิท -กลุ่มของเลขฐานสองที่แตกครั้งที่ 2 ที่อยู่ทางฝั่ง MSD ตัวเลขจะมีเพียง 1 บิท ให้ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบน เพื่อเพิ่มอีก 3 บิทเข้าไป - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แปลงจากเลขฐานสองแต่ละหลัก เป็นเลขฐานสิบหกแสดงเป็นผลลัพธ์ใช้เทคนิค “เลื่อน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
40		-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง

	รหัส (CODES) **ข้อมูลที่ติดต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆกับหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) จะต้องมีการเข้ารหัส (Encoder) เพื่อที่จะสื่อสารกับ CPU ได้อย่างเข้าใจ เช่นเมื่อเรากดคีย์บอร์ด ก็จะมีการสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าขึ้นซึ่งสัญญาณไฟฟ้าที่ว่านี้ก็จะได้รับการเข้ารหัสเป็นตัวเลข ยกตัวอย่างเมื่อเรากดแป้นคีย์บอดที่ตัวอักษร 'a' ซึ่งมีรหัสแอสกี (ASCII) เท่ากับ 61_{16} ก็จะมีสัญญาณไฟฟ้าที่ถูกเข้ารหัสเป็น 1100001_2 (เพราะว่าการติดต่อสื่อสารของระบบคอมพิวเตอร์ในระดับล่างสุดจะใช้เลขฐานสอง) เมื่อมีอินเตอร์รัพท์จากคีย์บอร์ดเกิดขึ้น CPU ก็จะรู้ว่ามีการกดแป้น** **คีย์บอร์ดตัวอักษร 'a' เข้ามา**	-เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
41	*รหัส (CODES)* *(ต่อ)* **ในหลายสิบปีที่ผ่านมาได้มีการคิดค้นรหัสตัวเลขขึ้นมา และหนึ่งในนั้นได้มีการนำเลขฐานสิบไปเข้ารหัสเป็นเลขฐานสอง ซึ่งก็คือ รหัส BCD (Binary-Coded-Decimal) นั่นเองซึ่งรหัส BCD นี้ได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย นอกจากรหัส BCD แล้วก็ยังมีรหัสอื่นๆอีก เช่น BCO (Binary-Coded-Octal), BCH (Binary-Coded-Hexadecimal) และ GRAY CODE**	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
42	*รหัส (CODES)* *(ต่อ)*	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

นอกจากนี้ยังมีรหัสที่ใช้แทนอักขระต่างๆที่เรารู้จักกันดี คือ รหัสแอสกี (American Standard Code for Information Interchange : ASCII) และรหัสอีกตัวหนึ่งที่ถูกคิดค้นขึ้นโดยบริษัท IBM คือ EBCDIC (Extended-Binary Coded Decimal Interchange Code)

ซึ่งรหัส ASCII ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและคอมพิวเตอร์เมนเฟรมที่ไม่ใช่ของ IBM ส่วนรหัส EBCDIC นั้นจะใช้เฉพาะในระบบคอมพิวเตอร์ของ IBM เท่านั้นจึงไม่เป็นที่แพร่หลายเท่าไหร่

43

รหัสเกรย์ (GRAY CODE)

รหัส GRAY CODE นั้นจะคล้ายกับ BCD CODE มาก แต่ต่างตรงที่ค่าที่ใช้แทนในเลขฐานสิบ, GRAY CODE นี้นิยมใช้ในการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล

-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง
-เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

44

ตารางที่ 1-4 เปรียบเทียบระหว่างเลขฐานสิบ, เลขฐานสอง และGRAY CODE

Decimal	Binary	GRAY	Decimal	Binary	GRAY
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011

-แยกตารางเป็นสองส่วนใช้เทคนิค"เลื่อน" ขึ้นมาทีละตาราง

6	0110	0101	14	1110	1001	
7	0111	0100	15	1111	1000	

45

การแปลงเลขฐานสองเป็นรหัสเกรย์

Binary-to-GRAY CODE Conversion

ใช้หลักการดึง MSB (Most Significant Bit) ที่อยู่ทางซ้ายสุดลงมารอไว้ก่อนแล้วจึงทำการบวก MSB กับบิทที่อยู่ทางขวามือโดยคิดเฉพาะผลลัพธ์ไม่รวมตัวทด จากนั้นนำผลการบวกที่ได้ดึงลงมาต่อท้าย MSB ที่ดึงลงมาก่อนหน้านี้ แล้วจึงทำการบวกบิทที่อยู่ติดกับ MSB กับบิทที่อยู่ทางขวามือของบิทนั้นอีกทีหนึ่งแล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไม่รวมตัวทดดึงลงมาอีกทีหนึ่งทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนถึงบิท LSB (Least Significant Bit) ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง

-เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

46

ตัวอย่างที่ 1-18 จงแปลง 1111 ที่อยู่ในรูปของเลขฐานสองไปเป็น GRAY CODE

ดังนั้น $1111_2 = 1000_{GRAY}$

-แตกตัวเลขของโจทย์ออกเป็น 4 ส่วน

-ส่วนที่เป็นลูกศรชี้ลงให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน

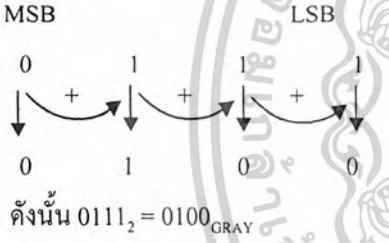
-ลูกศรที่ชี้ไปทางขวาให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากทางซ้าย

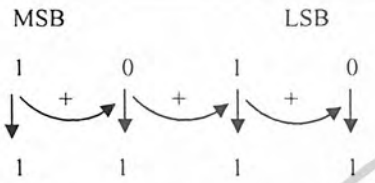
-ทำทีละหลักจากซ้ายไปขวาแล้วแทรก “+” เข้ามา โดยใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบน

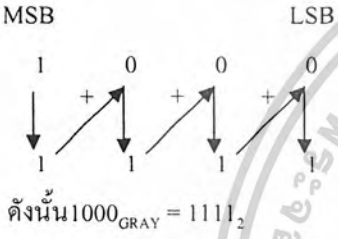
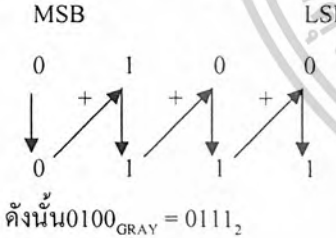
-ส่วนที่เป็นคำตอบให้ใช้เทคนิค “เลือน” แสดงขึ้นมา

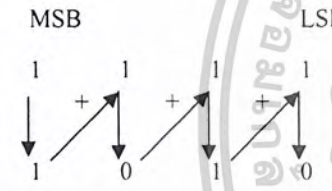
-ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ

-ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้

		เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงชนิดของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
47	ตัวอย่างที่ 1-19จงแปลง 0111 ที่อยู่ในรูปของเลขฐานสองไปเป็น GRAY CODE  ดังนั้น $0111_2 = 0100_{GRAY}$	-แตกตัวเลขของโจทย์ออกเป็น 4 ส่วน -ส่วนที่เป็นลูกศรชี้ลงให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -ลูกศรที่ชี้ไปทางขวาให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากทางซ้าย -ทำทีละหลักจากซ้ายไปขวาแล้วแทรก “+” เข้ามา โดยใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบน -ส่วนที่เป็นคำตอบให้ใช้เทคนิค “เลือน” แสดงขึ้นมา -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงชนิดของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
48	ตัวอย่างที่ 1-20จงแปลง 1010 ที่อยู่ในรูปของเลขฐานสองไปเป็น GRAY CODE	-แตกตัวเลขของโจทย์ออกเป็น 4 ส่วน -ส่วนที่เป็นลูกศรชี้ลงให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน

	 ดังนั้น $1010_2 = 1111_{GRAY}$	-ลูกศรที่ชี้ไปทางขวาให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากทางซ้าย -ทำทีละหลักจากซ้ายไปขวาแล้วแทรก “+” เข้ามา โดยใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบน -ส่วนที่เป็นคำตอบให้ใช้เทคนิค “เลื่อน” แสดงขึ้นมา -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงชนิดของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
49	*การแปลงรหัสเกรย์เป็นเลขฐานสอง* *(GRAY CODE-to-Binary Conversion)* ใช้หลักการดึง MSB (Most Significant Bit) ที่อยู่ทางซ้ายสุดลงมารอไว้ก่อนแล้วจึงทำการบวกบิทที่ดึงลงมากับบิทที่อยู่ทางขวามือโดยคิดเฉพาะผลลัพธ์ไม่รวมตัวทด จากนั้นนำผลการบวกที่ได้ดึงลงมาต่อท้ายบิทที่ดึงลงมาก่อนหน้านี้ แล้วจึงทำการบวกบิทผลลัพธ์ที่ดึงลงมานี้กับบิทที่อยู่ทางขวามือของบิทตัวตั้งนั้นอีกทีหนึ่งแล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ไม่รวมตัวทดดึงลงมาอีกทีหนึ่งทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนถึงบิท LSB (Least Significant Bit) ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

50	ตัวอย่างที่1-21จงแปลง 1000 ที่อยู่ในรูปของ GRAY CODE ให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง  ดังนั้น$1000_{GRAY} = 1111_2$	-แตกตัวเลขของโจทย์ออกเป็น 4 ส่วน -ส่วนที่เป็นลูกศรชี้ลงให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -ลูกศรที่ชี้เฉียงขึ้นไปทางขวาให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากทางซ้าย -ทำทีละหลักจากซ้ายไปขวาแล้วแทรก “+” เข้ามา โดยใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบน -ส่วนที่เป็นคำตอบให้ใช้เทคนิค “เลื่อน” แสดงขึ้นมา -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงชนิดของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
51	ตัวอย่างที่1-22จงแปลง 0100 ที่อยู่ในรูปของ GRAY CODE ให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง  ดังนั้น$0100_{GRAY} = 0111_2$	-แตกตัวเลขของโจทย์ออกเป็น 4 ส่วน -ส่วนที่เป็นลูกศรชี้ลงให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -ลูกศรที่ชี้เฉียงขึ้นไปทางขวาให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากทางซ้าย -ทำทีละหลักจากซ้ายไปขวาแล้วแทรก “+” เข้ามา โดยใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบน -ส่วนที่เป็นคำตอบให้ใช้เทคนิค “เลื่อน” แสดงขึ้นมา -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ

		-ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงชนิดของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
52	ตัวอย่างที่1-23จงแปลง 1111 ที่อยู่ในรูปของ GRAY CODE ให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง  ดังนั้น $1111_{GRAY} = 1010_2$	-แตกตัวเลขของโจทย์ออกเป็น 4 ส่วน -ส่วนที่เป็นลูกศรชี้ลงให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -ลูกศรที่ชี้เฉียงขึ้นไปทางขวาให้ใช้เทคนิค “คลี่” จากทางซ้าย -ทำทีละหลักจากซ้ายไปขวาแล้วแทรก “+” เข้ามา โดยใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบน -ส่วนที่เป็นคำตอบให้ใช้เทคนิค “เลื่อน” แสดงขึ้นมา -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงชนิดของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ

<table>
<tr><td>53</td><td>รหัสบีซีดี (BCD CODE)

รหัส BCD จะใช้ในการแทนค่าของเลขฐานสิบตั้งแต่ 0 ถึง 9 ซึ่งจะใช้เลขฐานสองจำนวน4 บิท ในการแทนค่าโดยเริ่มตั้งแต่ 0000 ถึง 1001 โดยที่ 6 ตัวสุดท้ายนั้นรหัส BCD จะไม่ใช้ซึ่งก็คือ 1010 ถึง 1111 สาเหตุที่ไม่ใช้ 1010 แทน 1010 ก็เพราะว่ารหัส BCD นั้นจะแทนเลขฐานสิบเพียง ตัวเดียวซึ่งค่าที่มากกว่า 9 เช่น 10 นั้นจะเป็นต้องแทนด้วยรหัส BCD จำนวน 2 ชุดในการแทนเลข 1 และ 0 เพราะฉะนั้น 1010 = 0001 0000BCD นั่นเอง</td><td>-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง
-เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”</td></tr>
<tr><td>54</td><td>การเปรียบเทียบเลขฐานสิบกับรหัสบีซีดี

ตารางที่ 1-5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเลขฐานสิบและBCD CODE
<table>
<tr><th>Decimal</th><th>BCD</th><th>Decimal</th><th>BCD</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0000</td><td>5</td><td>0101</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0001</td><td>6</td><td>0110</td></tr>
<tr><td>2</td><td>0010</td><td>7</td><td>0111</td></tr>
<tr><td>3</td><td>0011</td><td>8</td><td>1000</td></tr>
<tr><td>4</td><td>0100</td><td>9</td><td>1001</td></tr>
</table></td><td>-แยกตารางเป็นสองส่วนใช้เทคนิค“เลื่อน” ขึ้นมาทีละตาราง</td></tr>
<tr><td>55</td><td>ตัวอย่างที่ 1-24 จงแปลง 567_{10} เป็นรหัส BCD</td><td>-ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้านซ้ายมือก่อนค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลื่อน”
- ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน
-แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นรหัสบีซีดีทีละหลัก หลักละ 4 บิท โดยใช้</td></tr>
</table>

	5 6 7 0101 0110 0111 ดังนั้น $567_{10} = 010101100111_{BCD}$	เทคนิค “เลื่อน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ
56	ตัวอย่างที่ 1-25จงแปลง 1672_{10} เป็นรหัส BCD 1 6 7 2 0001 0110 0111 0010 ดังนั้น $1672_{10} = 0001011001110010_{BCD}$	-ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้านซ้ายมือก่อนค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นรหัสบีซีดีทีละหลัก หลักละ 4 บิท โดยใช้เทคนิค “เลื่อน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ

57	ตัวอย่างที่ 1-26จงแปลง 1998_{10} เป็นรหัส BCD 1 9 9 8 ↓ ↓ ↓ ↓ 0001 1001 1001 1000 ดังนั้น $1998_{10} = 0001100110011000_{BCD}$	-ทำการแปลงทีละหลักโดยเริ่มจากหลักที่อยู่ทางด้านซ้ายมือก่อน ค่อยแสดงขึ้นมาโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - ทำเส้นให้เป็นเส้นทางลงมาใช้เทคนิค “คลี่” จากด้านบน -แสดงผลลัพธ์ที่ได้เป็นรหัสบีซีดีทีละหลัก หลักละ 4 บิท โดยใช้เทคนิค “เลื่อน” -ดึงผลลัพธ์ของแต่ละหลักมารวมกันเพื่อทำเป็นคำตอบ -ใช้เทคนิค “แทรกออกนอก” ไปด้านล่างกับตัวเลขโจทย์เพื่อให้เหมือนกับว่ามันเคลื่อนที่ลอดส่วนของวิธีทำลงมาด้านล่าง -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าใน” จากด้านบนให้สอดคล้องกับตัวโจทย์แสดงต่อจากข้อความ “ดังนั้น” -ใช้เทคนิค “แทรกเข้าไหน” จากด้านขวา เพื่อให้ตัวเลขแสดงฐานของคำตอบมาต่อท้ายคำตอบ

ตารางที่ ก-2 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 1 ระบบตัวเลข

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	**บทที่ 2** **การกระทำทางคณิตศาสตร์กับเลขฐานสอง (Binary Arithmetic)**	- ส่วนของ **บทที่ 2** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เหวี่ยง" - ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "หมุนรอบศูนย์กลาง"
2	**บทนำ** ข้อมูลที่ถูกเก็บอยู่ในคอมพิวเตอร์จะอยู่ในรูปของเลขฐานสอง (Binary Digits) ซึ่งมีหน่วยเรียกเป็นบิท (BIT). ซึ่งในคอมพิวเตอร์นั้นมีหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า ALU (Arithmetic Logic Unit) ซึ่งการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ใน ALU ถูกลดให้เหลือเพียงการบวกหรือการลบเท่านั้นเพื่อให้ง่ายในการออกแบบ ถึงแม้ว่าจะเจอกับการประมวลผลที่เป็นการคูณหรือหารก็สามารถให้คำตอบที่ถูกต้องได้โดยจะใช้เทคนิคในการคำนวณที่มีพื้นฐานบนการบวกและการลบเท่านั้น	- ส่วนของ บทนำ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เด้ง" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ตารางหมากรุก"
3	**หัวข้อเรื่อง** **2.1 การบวกเลขฐานสอง (Adding Binary Numbers)** **2.2 การลบเลขฐานสอง (Subtracting Binary Numbers)** **2.2.1 การลบเลขฐานสองแบบธรรมดา (Subtracting Binary Numbers Using The** **2.3 Signed Numbers** **2.4 การบวกและการลบเลขที่มีเครื่องหมาย (Adding and Subtracting Singed Numbers)** **2.5 Overflow**	- ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ แต่ละหัวข้อ (2.1-2.7) ใช้เทคนิค "การเชื่อมโยงหลายมิติ" เพื่อใช้เชื่อมโยงไปยังหน้าของภาพนิ่งที่มีหัวข้อนั้นอยู่

	Conventional Method) **2.2.2 การลบเลขฐานสองโดยใช้การคอมพลีเมนท์ (Subtracting Binary Numbers Using The Complement Method)** **2.2.2.1 One's Complement** **2.2.2.2 Two's Complement** **2.6 Sixteen's and Eight's Complement Method's** **2.7 การบวกและการลบเลขบีซีดี (BCD Addition and Subtraction)**	
4	**2.1 การบวกเลขฐานสอง (Adding Binary Numbers)** การบวกเลขฐานสองมีหลักการเหมือนกับการบวกเลขฐานสิบ คือนำตัวตั้งมาบวกกับตัวบวกทีละหลักจากหลักที่มีค่าต่ำสุดไปยังหลักที่มีค่าสูงสุด (LSD ไปยัง MSD สำหรับเลขฐานสิบ) (LSB ไปยัง MSB สำหรับเลขฐานสอง) ในกรณีเลขฐานสิบเมื่อผลลัพธ์จากการบวกที่ได้มีค่ามากกว่า 9 (ในกรณีเลขฐานสองเมื่อค่าที่ได้มากกว่า 1) ก็ให้ทำการลบผลลัพธ์ที่ได้ด้วย 10 (ในกรณีเลขฐานสองต้องลบด้วย 2) แล้วนำเศษที่เหลือไปเป็นผลลัพธ์ของหลักนั้นและทดไปหลักถัดไปด้วยค่า 1 ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนครับทุกหลัก ดังในตัวอย่างต่อไปนี้	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เทรกเข้าใน"
5	จงหาผลบวกของ 256 + 178	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ วิธีทำ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" เพื่อใช้แสดงการบวกเลขและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละ

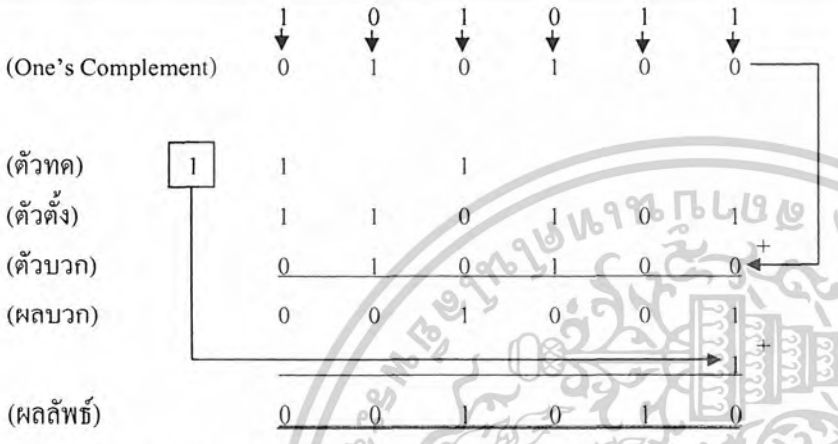
	(ตัวทด) 1 1 (ตัวตั้ง) 2 5 6 (ตัวบวก) 1 7 8 + (ผลบวก) 4 13 14 => ผลลัพธ์มากกว่า 10 ต้องลบออก (ค่าที่ใช้ลบ) 10 10 => เลขฐานสิบต้องลบออกด้วย 10 (ผลลัพธ์) 4 3 4 $\therefore$ 256 + 178 = 434	หลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
6	จงหาผลบวกของ $1011_2 + 1101_2$ (ตัวทด) 1 1 1 1 (ตัวตั้ง) 1 0 1 1 + (ตัวบวก) 1 1 0 1 (ผลบวก) 3 2 2 2 => ผลลัพธ์มากกว่า 1 ต้องลบออก (ค่าที่ใช้ลบ) 2 2 2 2 => เลขฐานสองต้องลบออกด้วย 2 (ผลลัพธ์) 1 1 0 0 0 $\therefore 1011_2 + 1101_2 = 11000_2$	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ วิธีทำ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" เพื่อใช้แสดงการบวกเลขฐานสองและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
7	จงหาผลบวกของ $1011_2 + 1010_2$	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ วิธีทำ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" เพื่อใช้แสดงการบวกเลขฐานสองและผลลัพธ์ที่ได้

	(ตัวทด) 1 1 (ตัวตั้ง) 1 0 1 1 (ตัวบวก) 1 0 1 0 + (ผลบวก) 2 1 2 1 => ผลลัพธ์มากกว่า 1 ต้องลบออก (ค่าที่ใช้ลบ) 2 2 - => เลขฐานสองต้องลบออกด้วย 2 (ผลลัพธ์) 1 0 1 0 1 $\therefore 1011_2 + 1010_2 = 10101_2$	ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
8	**2.2 การลบเลขฐานสอง (Subtracting Binary Numbers)** การลบเลขฐานสองนั้นมีอยู่ 2 วิธี คือวิธีการลบแบบธรรมดาเหมือนกับที่ใช้ลบเลขฐานสิบ และอีกวิธีหนึ่งคือการลบแบบใช้วิธีของการทำคอมพลีเมนท์เข้ามาช่วยในการลบ	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “คลี่”
9	**2.2.1 การลบเลขฐานสองแบบธรรมดา (Subtracting Binary Numbers Using The Conventional Method)** การลบเลขฐานสองมีหลักการเหมือนกับการลบเลขฐานสิบ คือนำตัวตั้งมาลบออกจากตัวลบทีละหลักจากหลักที่มีค่าต่ำสุดไปยังหลักที่มีค่าสูงสุด (LSD ไปยัง MSD สำหรับเลขฐานสิบ) (LSB ไปยัง MSB สำหรับเลขฐานสอง) ในกรณีที่หลักใดๆที่ตัวตั้งมีค่าน้อยกว่าตัวลบก็ให้ยืมมาจากหลักที่มีค่าสูงกว่าซึ่งหลักที่ถูกยืมจะต้องลบออกด้วย 1 และหลักที่ยืมมาจะบวกเพิ่มด้วย 10 (บวกเพิ่มด้วย 2 ในกรณีเลขฐานสอง) แล้วจึงนำไปลบกับตัวลบอีกทีหนึ่ง ทำอย่างนี้ไปจนครบทุกหลัก ดังในตัวอย่างต่อไปนี้	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “การย่อ/ขยาย”

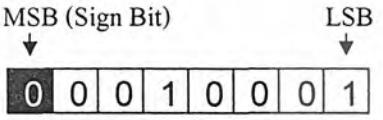
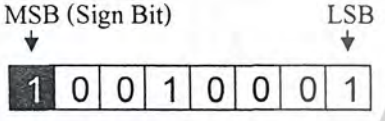
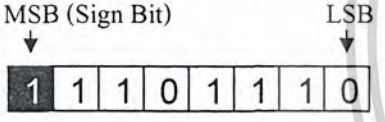
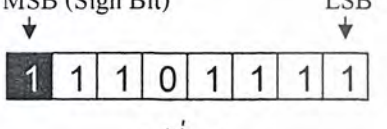
10	จงหาผลลัพธ์ของ 423 – 198 (ตัวตั้ง) 4 2 3 => ตัวตั้งน้อยกว่าตัวลบต้องยืม (ตัวลบ) 1 9 8 (ตัวตั้ง) 4 1 13 => นำ 3 ไปบวกกับตัวที่ยืมมา (ตัวลบ) 1 9 8 (ตัวที่ยืมมามีค่าเท่ากับ 10) 5 (ตัวตั้ง) 3 11 13 => นำ 1 ไปบวกกับตัวที่ยืมมา (ตัวลบ) 1 9 8 (ตัวที่ยืมมามีค่าเท่ากับ 10) (ผลลัพธ์) 2 2 5 ∴ 423 – 198 = 225	- ในส่วนของ **โจทย์** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการลบเลขและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ **คำตอบ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
11	จงหาผลลัพธ์ของ 110_2 - 011_2 (ตัวตั้ง) 1 1 0 => ตัวตั้งน้อยกว่าตัวลบต้องยืม (ตัวลบ) 0 1 1	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการ

	(ตัวตั้ง) 0 1 0 2 (ตัวลบ) 0 1 1 - 1 (ตัวตั้ง) 0 2 2 (ตัวลบ) 0 1 1 - 0 1 1 $\therefore 110_2 - 011_2 = 011_2$	=> นำ 0 ไปบวกกับตัวที่ยืมมา (ตัวที่ยืมมามีค่าเท่ากับ 2) => นำ 0 ไปบวกกับตัวที่ยืมมา (ตัวที่ยืมมามีค่าเท่ากับ 2)	ทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทาง การเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการลบเลขฐานสองและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
12	จงหาผลลัพธ์ของ $100_2 - 011_2$ MSB LSB 1 1 (ตัวตั้ง) 0 0 (ตัวลบ) 0 1 1 - (เนื่องจากถูก LSBยืมไป เดิมยืมมาจาก MSB มาบวกกับ 0 เท่ากับ 2 แต่ถูก LSB ยืมไปอีกทอดหนึ่งจึงเหลือมีค่าเท่ากับ 1)	=> ตัวตั้งน้อยกว่าตัวลบต้องยืม	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ วิธีทำ ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการลบเลขฐานสองและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก

	(ตัวตั้ง) 0 [1] → [2] => นำ 0 ไปบวกกับตัวที่ยืมมา (ตัวลบ) 0 1 1 (ตัวที่ยืมมามีค่าเท่ากับ 2) 0 0 1 $\therefore 100_2 - 011_2 = 001_2$	- ในส่วนของ **คำตอบ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
13	**2.2.2 การลบเลขฐานสองโดยใช้การคอมพลีเมนท์ (Subtracting Binary Numbers Using The Complement Method)** การลบเลขฐานสองโดยใช้การคอมพลีเมนท์นั้นมีอยู่ 2 แบบคือ One's Complement และ Two's Complement	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ **เนื้อหา** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ความเร็วสูง"
14	**2.2.2.1 One's Complement** การลบเลขฐานสองโดยใช้ One's Complement มีหลักการดังนี้ ให้ทำการคอมพลีเมนท์แบบ One's Complement กับตัวที่นำมาลบ คือให้ทำการกลับบิทที่เป็น '1' ให้เป็น '0' และ กลับบิทที่เป็น '0' ให้เป็น '1' ทำอย่างนี้ให้ครบทุกบิท จากนั้นนำตัวเลขที่ได้จากการทำคอมพลีเมนท์ มาบวกกับตัวตั้ง ในกรณีที่การบวกในบิท MSB มีตัวทดเกิดขึ้นให้นำตัวทดที่ได้ไปบวกกับบิท LSB ของผลลัพธ์อีกทีหนึ่งก็จะได้ผลลัพธ์สุดท้ายออกมา ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ **เนื้อหา** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "วงล้อ"
15	จงหาผลลัพธ์ของ 110101_2 - 101011_2 โดยใช้วิธีการ One's Complement นำตัวลบ มาทำ One's Complement	- ในส่วนของ **โจทย์** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้

	 $\therefore 110101_2 - 101011_2 = 001010_2$	การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการลบเลขฐานสองโดยใช้วิธี One's Complement และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
16	**2.2.2.2 Two's Complement** การลบเลขฐานสองโดยใช้ Two's Complement มีหลักการดังนี้ ให้ทำการคอมพลีเมนท์แบบ One's Complement กับตัวที่นำมาลบ คือให้ทำการกลับบิทที่เป็น '1' ให้เป็น '0' และ กลับบิทที่เป็น '0' ให้เป็น '1' ทำอย่างนี้ให้ครบทุกบิท จากนั้นนำตัวเลขที่ได้จากการทำคอมพลีเมนท์ มาบวกกับ 1 แล้วจึงนำมาบวกกับตัวตั้งอีกทีหนึ่ง ในกรณีที่การบวกในบิท MSB มีตัวทดเกิดขึ้นก็ไม่ต้องนำมาคิด ตัวอย่างต่อไปนี้	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน"
17	จงหาผลลัพธ์ของ $110101_2 - 101011_2$ โดยใช้วิธีการ Two's Complement นำตัวลบ มาทำ Two's Complement	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ วิธีทำ ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้

	1 0 1 0 1 1 (One's Complement) 0 1 0 1 0 0 + 1 (Two's Complement) 0 1 0 1 0 1 ไม่ต้องนำมาคิด (ตัวทด) 1 1 1 1 (ตัวตั้ง) 1 1 0 1 0 1 (ตัวบวก) 0 1 0 1 0 1 + (ผลลัพธ์) 0 0 1 0 1 0 $\therefore 110101_2 - 101011_2 = 001010_2$	การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลื่อน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการลบเลขฐานสองโดยใช้วิธี Two's Complement และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
18	**2.3 Signed Numbers** ในระบบตัวเลขนั้นมีทั้งตัวเลขที่เป็นค่าบวก (Positive) และตัวเลขที่เป็นค่าลบ (Negative) ซึ่งจะใช้เครื่องหมายบวก (+) นำหน้าตัวเลขที่เป็นค่าบวก และใช้เครื่องหมายลบ (-) นำหน้าตัวเลขที่เป็นค่าลบ ซึ่งเราเรียกเลขพวกนี้ว่า Signed Numbers ตัวเลขที่ถูกเก็บอยู่ในคอมพิวเตอร์นั้น ตำแหน่งของ MSB ในรีจิสเตอร์นั้นจะถูกสงวนไว้สำหรับบิทที่เรียกว่า Sign Bit , ซึ่งจะใช้ในการแสดงเครื่องหมายของตัวเลขที่ถูกเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ว่าเป็นบวกหรือลบนั่นเอง ถ้าตัวเลขในตำแหน่ง MSB เป็น 0 หมายความว่าตัวเลขที่ถูกเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์นั้นมีค่าเป็นบวก ในทางกลับกันถ้าตัวเลขในตำแหน่ง MSB เป็น 1 หมายความว่าตัวเลขที่ถูกเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์มีค่าเป็นลบ ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน"

19	 *รูปที่ 2-1*	จากรูปที่ 2-1 แสดงตัวอย่างของรีจิสเตอร์ ขนาด 8 bit ที่เก็บตัวเลขซึ่งมีค่าเป็น 17 เนื่องจาก Sing Bit มีค่าเป็น 0	- ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ส่วนของ **คำอธิบาย** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
20	 *รูปที่ 2-2*	จากรูปที่ 2-2 แสดงตัวอย่างของรีจิสเตอร์ ขนาด 8 bit ที่เก็บตัวเลขซึ่งมีค่าเป็น -17 เนื่องจาก Sing Bit มีค่าเป็น 1	- ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ส่วนของ **คำอธิบาย** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
21	 *รูปที่ 2-3*	จากรูปที่ 2-3 แสดงตัวอย่างของรีจิสเตอร์ ขนาด 8 bit ที่เก็บตัวเลขซึ่งมีค่าเป็น -17 ซึ่งอยู่ในรูปของ One's Complement	- ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ส่วนของ **คำอธิบาย** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
22	 *รูปที่ 2-4*	จากรูปที่ 2-4 แสดงตัวอย่างของรีจิสเตอร์ ขนาด 8 bit ที่เก็บตัวเลขซึ่งมีค่าเป็น -17 ซึ่งอยู่ในรูปของ Two's Complement	- ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ส่วนของ **คำอธิบาย** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"

23	**2.4 การบวกและการลบเลขที่มีเครื่องหมาย (Adding and Subtracting Singed Numbers)** กฎในการบวกและลบเลขที่มีเครื่องหมายนั้น มีหลักการเหมือนกับการบวกและลบเลขฐานสิบที่มีเครื่องหมายโดยทั่วไป ดังนี้คือ 1. การบวกเลขที่มีเครื่องหมายเหมือนกัน ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะมีเครื่องหมายเหมือนเดิม เช่น การบวกเลขที่มีเครื่องหมายบวกเหมือนกันผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเป็นเลขบวก และการบวกเลขที่มีเครื่องหมายลบเหมือนกันก็จะได้ผลลัพธ์เป็นเลขลบเช่นกัน 2. การบวกเลขที่มีเครื่องหมายต่างกัน ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะมีเครื่องหมายเหมือนกับเลขที่มีค่ามากกว่า (พิจารณาที่ค่าของตัวเลขไม่ต้องพิจารณาเครื่องหมาย) เช่นตัวตั้งเป็นเลขลบและตัวบวกเป็นเลขบวกซึ่งมีค่ามากกว่าตัวตั้งผลลัพธ์ที่ได้ก็จะมีค่าเป็นเลขบวก	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ **เนื้อหา** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน"
24	**2.4 การบวกและการลบเลขที่มีเครื่องหมาย (Adding and Subtracting Singed Numbers)** *ต่อ* 3. การลบเลขที่มีเครื่องหมาย ให้ทำเปลี่ยนเครื่องหมายของตัวลบเป็นตรงกันข้ามกับของเดิม เช่นถ้าตัวลบเป็นเลขบวกก็ให้เปลี่ยนเป็นเลขลบ และถ้าตัวตั้งเป็นเลขลบก็ให้เปลี่ยนเป็นเลขบวก แล้วทำการบวกเลขตามกฎในข้อที่ 1 และ 2 <u>หมายเหตุ</u> การบวกเลขที่มีเครื่องหมายในรูปของเลขฐานสองจำเป็นต้องทำ Two's Complement กับเลขที่มีเครื่องหมายเป็นลบ ทั้งที่เป็นตัวตั้งและตัวบวก ถ้าผลลัพธ์ที่ได้เป็นเลขลบ จะถูกแสดงอยู่ในรูปของ Two's Complement	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ **เนื้อหา** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน" - ส่วนของ **หมายเหตุ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ความเร็วสูง"
25	จงหาผลลัพธ์ของ +7 บวกด้วย +10 ในรูปของเลขฐานสอง	- ในส่วนของ **โจทย์** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ

	+7 แปลงเป็นเลขฐานสอง => 00000111_2 +10 แปลงเป็นเลขฐานสอง => 00001010_2 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 + 0 0 0 1 0 0 0 1 ∴ +7 บวกด้วย +10 = +17 (00010001_2)	- ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลื่อน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการบวกเลขฐานสองที่มีเครื่องหมายและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ **คำตอบ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
26	จงหาผลลัพธ์ของ -5 บวกด้วย -14 ในรูปของเลขฐานสอง -5 ทำเป็น Two's Complement => 11111011_2 -14 ทำเป็น Two's Complement => 11110010_2 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 0 + 1 1 1 0 1 1 0 1 ∴ -5 บวกด้วย -14 = -19 (11101101_2) (ผลลัพธ์อยู่ในรูปของ Two's Complement)	- ในส่วนของ **โจทย์** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลื่อน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการบวกเลขฐานสองที่มีเครื่องหมายและผลลัพธ์ที่ได้ใน

		แต่ละหลัก - ในส่วนของ **คำตอบ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
27	**จงหาผลลัพธ์ของ** +8 บวกด้วย -11 ในรูปของเลขฐานสอง +8 แปลงเป็นเลขฐานสอง => 00001000_2 -11 ทำเป็น Two's Complement => 11110101_2 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 1 + 1 1 1 1 1 1 0 1 ∴ +8 บวกด้วย -11 = -3 (11111101_2) (ผลลัพธ์อยู่ในรูปของ Two's Complement)	- ในส่วนของ **โจทย์** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการบวกเลขฐานสองที่มีเครื่องหมายและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ **คำตอบ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
28	**จงหาผลลัพธ์ของ** +15 ลบด้วย +5 ในรูปของเลขฐานสอง +15 แปลงเป็นเลขฐานสอง => 00001111_2 +5 เปลี่ยนเครื่องหมายของตัวลบ => -5 (ตามกฎข้อที่ 3) -5 ทำเป็น Two's Complement => 11111011_2 0 0 0 0 1 1 1 1 +	- ในส่วนของ **โจทย์** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการ

	1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 ∴ +15 ลบด้วย +5 = +10 (00001010_2)	ทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการลบเลขฐานสองที่มีเครื่องหมายและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
29	จงหาผลลัพธ์ของ -14 ลบด้วย -3 ในรูปของเลขฐานสอง -14 ทำเป็น Two's Complement => 11110010_2 -3 เปลี่ยนเครื่องหมายของตัวลบ => +3 (ตามกฎข้อที่ 3) +3 แปลงเป็นเลขฐานสอง => 00000011_2 1 1 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 1 + 1 1 1 1 0 1 0 1 ∴ -14 ลบด้วย -3 = -11 (11110101_2) (ผลลัพธ์อยู่ในรูปของ Two's Complement)	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ วิธีทำ ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการลบเลขฐานสองที่มีเครื่องหมายและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
30	**2.5 Overflow**	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

	ความหมายของ Overflow คือ ล้น เหมือนกับที่เรารินน้ำใส่แก้วแล้วปริมาณของน้ำที่เราใส่มีมากกว่าความจุของแก้วก็จะเกิดการล้นขึ้น ในระบบตัวเลขก็เหมือนกันถ้าผลลัพธ์ที่ได้จากการกระทำทางคณิตศาสตร์นั้นมีค่ามากเกินกว่าที่จะเก็บเอาไว้ได้ก็จะเกิดการล้นเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ในรีจิสเตอร์ขนาด 8 bit ตัวเลขที่มีเครื่องหมายเป็นบวกที่สามารถเก็บได้สูงสุดคือ 01111111_2(+127) และตัวเลขที่มีเครื่องหมายเป็นลบที่สามารถเก็บได้มีค่าสูงสุดคือ 10000000_2(-128) ดังนั้นถ้าผลลัพธ์ที่ได้จากการกระทำทางคณิตศาสตร์นั้นมีค่ามากกว่าค่าดังกล่าวแล้วจะทำให้เกิด Overflow ขึ้นนั่นเอง	-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน"
31	**2.5 Overflow *ต่อ*** การเกิด Overflow เกิดจากข้อผิดพลาดซึ่งสามารถตรวจพบได้ดังต่อไปนี้ 1. มีการทดเลข (Carry) ไปยังตำแหน่งของบิทเครื่องหมาย (Sign Bit) โดยที่ไม่มี Carry-Out ออกจากบิทดังกล่าว 2. ไม่มีการทดเลข (Carry) ไปยังตำแหน่งของบิทเครื่องหมาย (Sign Bit) โดยที่มี Carry-Out ออกจากบิทดังกล่าว	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน"
32	**2.6 Sixteen's and Eight's Complement Method's** ในการบวกหรือลบเลขฐานสองที่มีเครื่องหมายซึ่งมีจำนวนบิทมากๆ นั้นทำให้ไม่มีความสะดวกสักเท่าไหร่ ดังนั้นจึงได้มีการนำ Sixteen's Complement มาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การทำ Sixteen's Complement ได้จากการทำ Fifteen's Complement บวกด้วยหนึ่ง มีหลักการเหมือนกับการทำ Two's Complement จาก One's Complement โดยที่การทำ Fifteen's Complement นั้นได้จากการนำเลขฐานสิบหกมาแยกตัวเลขแต่ละหลักออกจากกันแล้วแทนแต่ละหลักที่แยกออกมาด้วยเลขฐานสองขนาด 4 บิทแล้วจึงทำ One's Complement กับเลขฐานสองนั้นจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้แปลงกลับไปเป็นเลขฐานสิบหกอีกทีหนึ่งโดยทำทีละ 4 บิท จะได้ Fifteen's Complement แล้วจึง	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน"

	นำไปบวกกับหนึ่ง ก็จะได้ Sixteen's Complement	
33	**2.6 Sixteen's and Eight's Complement Method's** *ต่อ* การทำ Eight's Complement ก็มีหลักการคล้ายกับการทำ Sixteen's Complement เพียงแต่ Eight's Complement จะได้มาจากการนำ Seven's Complement มาบวกด้วยหนึ่ง โดยที่เราจะนำเลขฐานแปดและเมื่อเราแยกเลขฐานแปดแต่ละหลักออกจากกันก็จะแทนที่เลขฐานแปดเหล่านั้นด้วยเลขฐานสองจำนวน 3 บิทแล้วจึงทำ One's Complement กับเลขฐานสองที่ได้ เมื่อได้ผลลัพธ์จากการทำ One's Complement แล้วจึงทำการแปลงเลขฐานสองที่ได้กลับไปเป็นเลขฐานแปดอีกทีหนึ่งโดยทำทีละ 3 บิท ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ Seven's Complement จากนั้นจึงนำไปทำเป็น Eight's Complement โดยการบวกเพิ่มเข้าไปอีกหนึ่ง <u>หมายเหตุ</u> การทำ Sixteen's Complement และ Eight's Complement ใช้กับเลขที่มีเครื่องหมายเป็นลบซึ่งทำให้สะดวกในการคำนวณ และถ้าผลลัพธ์จากการคำนวณอยู่ในรูปของ Sixteen's Complement และ Eight's Complement หมายถึงคำตอบเป็นเลขลบ	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ **เนื้อหา** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน" - ส่วนของ **หมายเหตุ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ความเร็วสูง"
34	จงหาผลลัพธ์ของ –D76 บวกกับ +52A โดยใช้วิธีของ Sixteen's Complement นำ –D76 มาทำ Sixteen's Complement (-) D 7 6 ↓ ↓ ↓ 1101 0111 0110 ↓ ↓ ↓ 0010 1000 1001 ↓ ↓ ↓ 2 8 9 => Fifteen's Complement + 1	- ในส่วนของ **โจทย์** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้

	2 8 A => Sixteen's Complement 5 2 A + 7 B 4 ∴ –D76 บวกกับ +52A = $7B4_{16}$ (ผลลัพธ์อยู่ในรูปของ Sixteen's Complement)	แสดงการบวกเลขฐานสิบหกโดยใช้วิธีของ Sixteen's Complement และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
35	จงหาผลลัพธ์ของ +456 ลบกับ +357 โดยใช้วิธีของ Eight's Complement เปลี่ยนเครื่องหมายของตัวลบจาก +357 ไปเป็น -357 แล้วจึงทำ Eight's Complement (-) 3 5 7 011 101 111 100 010 000 4 2 0 => Seven's Complement + 1 4 2 1 => Eight's Complement 4 5 6 + 4 2 1 0 7 7 ∴ +456 ลบกับ +357 = 077_8	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ วิธีทำ ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการลบเลขฐานสิบหกโดยใช้วิธีของ Sixteen's Complement และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
36	**2.7 การบวกและการลบเลขบีซีดี (BCD Addition and Subtraction)**	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

	ถึงแม้ว่าคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้เลขฐานสองในการกระทำทางคณิตศาสตร์ แต่ก็ยังมีคอมพิวเตอร์บางชนิดที่ใช้เลขบีซีดีในการประมวลผลตัวอย่างเช่นเครื่องคิดเลขเป็นต้น แต่การใช้เลขบีซีดีนั้นมีข้อเสียคือ เลขบีซีดีจะใช้เลขฐานสองจำนวน 4 บิทในการแทนตัวเลขหนึ่งหลักซึ่งค่าที่เป็นไปได้คือ 0 ถึง 9 ซึ่งต่างกับเลขฐานสองที่มีขนาด 4 บิทเพราะค่าที่เป็นไปได้คือ 0 ถึง 15 การบวกเลขบีซีดีนั้นจะใช้หลักการคล้ายกับการบวกเลขฐานสอง แต่ก็มีข้อแตกต่างดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ดังนั้นเมื่อทำการบวกเลขบีซีดี (ในแต่ละหลัก) แล้วค่าที่ได้เกินกว่า 9 ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะผิด ดังนั้นจึงต้องมีการนำผลลัพธ์ที่ผิดนั้นมาบวกด้วย 6 ซึ่งเป็นเลขบีซีดีก็จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง	-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ **เนื้อหา** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน"
37	จงหาผลลัพธ์ของ $0101_{BCD} + 0111_{BCD}$ ซึ่งเป็นเลขบีซีดี 5 <= 0 1 0 1 (BCD) 7 <= 0 1 1 1 (BCD) + ผลลัพธ์ที่ได้ผิด => 1 1 0 0 (BCD) ต้องบวกด้วย 6 => 0 1 1 0 (BCD) + 0 0 0 1 (BCD) 0 0 1 0 (BCD) 1 2 $\therefore 0101_{BCD} + 0111_{BCD} = 0001\ 0010_{BCD}$	- ในส่วนของ **โจทย์** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการบวกเลข BCD และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ **คำตอบ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
38	จงหาผลลัพธ์ของ 138 + 259 ในรูปของเลขบีซีดี	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ

	หลักร้อยหลักสิบ หลักหน่วย 1 ← (ตัวทด) 0001 0011 1000 0010 0101 + 1001 0001 (ผลลัพธ์ที่ได้มากกว่า 9 ถือว่าผิด) + 0110 (ต้องนำไปบวกด้วย 6) 0111 (ผลลัพธ์ที่ถูกต้องของหลักหน่วย) 1001 (ผลลัพธ์ที่ถูกต้องของหลักสิบ) 0011 (ผลลัพธ์ที่ถูกต้องของหลักร้อย) ∴ 138 + 259 = 397 ($0011\ 1001\ 0111_{BCD}$)	- ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการบวกเลข BCD และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ **คำตอบ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
39	**การลบเลขบีซีดี** ในการลบเลขบีซีดีนั้นจำเป็นต้องมีการทำ Nine's Complement ให้กับตัวลบ แล้วจึงนำไปบวกกับตัวตั้ง ซึ่งคล้ายกับการลบเลขฐานสองที่ต้องทำ Two's Complement นั่นเอง แต่การลบเลขบีซีดีด้วยวิธีการทำ Nine's Complement นี้ต้องพิจารณาตัวทดที่อยู่เกิดจากหลัก MSB ด้วย ซึ่งถ้าตัวทดที่ได้จาก MSB คือ 0 แสดงว่าไม่มีการทด หมายความว่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นเลขลบให้นำผลลัพธ์ที่ได้ไปทำ Nine's Complement อีกทีหนึ่งก็จะได้คำตอบที่ถูกต้อง แต่ถ้าตัวทดจาก MSB คือ 1 แสดงว่าผลลัพธ์เป็นเลขบวกให้นำตัวทดดังกล่าวไปบวกกับ LSB อีกทีหนึ่ง	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน"
40		- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

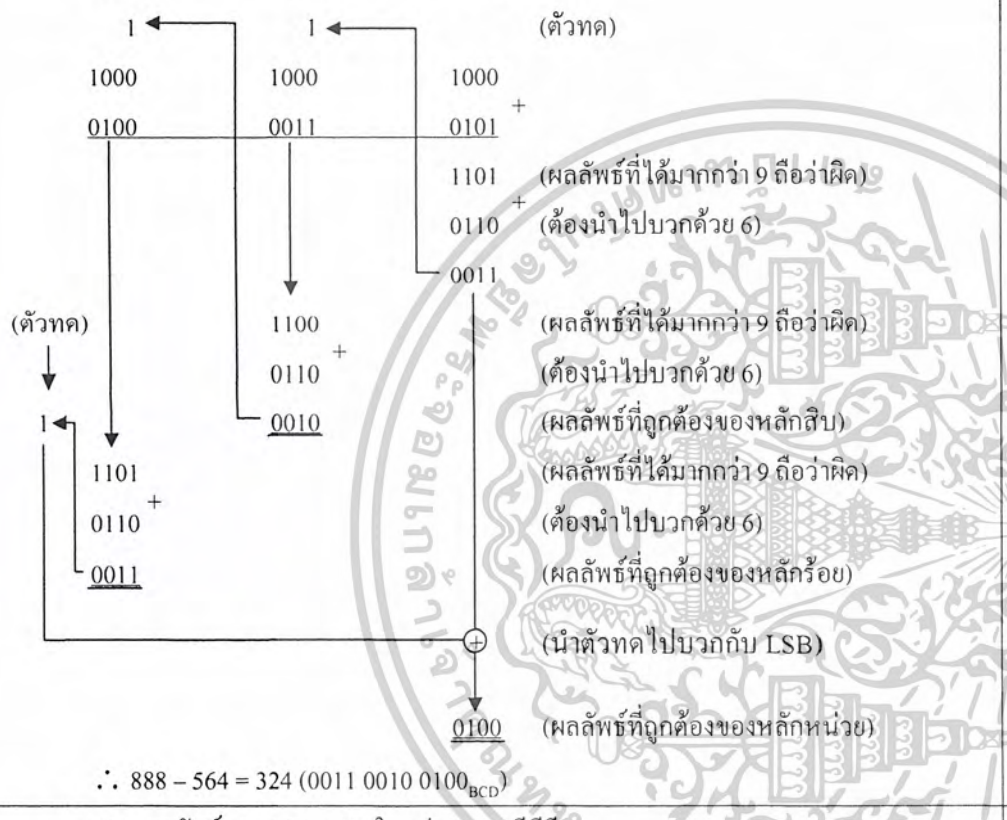
DECIMAL	BCD	Nine's Complement of BCD
0	0000	1001

	1	0001	1000
	2	0010	0111
	3	0011	0110
	4	0100	0101
	5	0101	0100
	6	0110	0011
	7	0111	0010
	8	1000	0001
	9	1001	0000

-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “คลี่”

ตารางที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเลขฐานสิบ เลขบีซีดี และ Nine's Complement ของบีซีดี

41	จงหาผลลัพธ์ของ 888 – 564 ในรูปของเลขบีซีดี 564 => 0101 0110 0100 (BCD) 0100 0011 0101 (Nine's Complement of BCD)	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ วิธีทำ ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” และ “ปรากฏ” การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” และ “เลือน” การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> “เส้น” เพื่อใช้แสดงการลบเลข BCD โดยใช้วิธี Nine's Complement และ



ผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก

- ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"

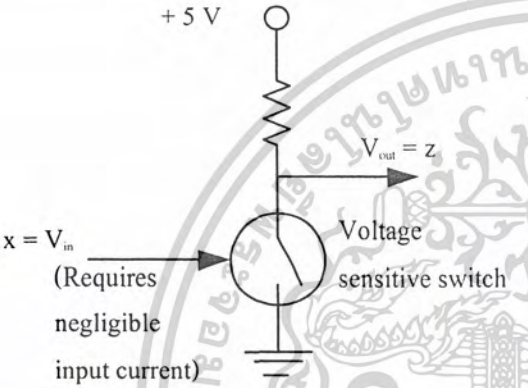
42	จงหาผลลัพธ์ของ 342 – 436 ในรูปของเลขบีซีดี 436 => 0100 0011 0110 (BCD) 0101 0110 0011 (Nine's Complement of BCD)	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ วิธีทำ ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า

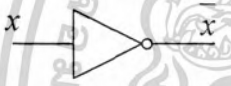
	หลักร้อยหลักสิบ หลักหน่วย 1 (ตัวทด) 0011 0100 0010 0101 0110 0011 + 0101 1010 (ผลลัพธ์ที่ได้มากกว่า 9 ถือว่าผิด) 0110 + (ต้องนำไปบวกด้วย 6) 0000 1001 (ไม่มีตัวทดเกิดขึ้นในตำแหน่ง MSB แสดงว่าผลลัพธ์ติดลบ ต้องทำ Nine's Complement) (-) 0000 1001 0100 (ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง) ∴ 342 – 436 = -94 ($-1001\ 0100_{BCD}$)	-> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> จบการทำงาน -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" และ "เลือน" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการลบเลข BCD โดยใช้วิธี Nine's Complement และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละหลัก - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"

ตารางที่ ก-3 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 2 การกระทำทางคณิตศาสตร์กับเลขฐานสอง

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	***เกต (Digital Logic Gate)*** ***บทนำ*** เกต คือ อุปกรณ์ที่มี 1 เอาท์พุต และมีหนึ่งหรือหลายๆ อินพุต ในวงจรดิจิตอล ค่าเอาท์พุตของเกตจะมีอยู่สองค่า คือ ค่า HIGH ซึ่งแทนด้วย "0" และค่า LOW ซึ่งแทนด้วย "1" ขึ้นอยู่กับค่าของอินพุตที่ป้อนเข้ามา วงจรดิจิตอลทั้งหมดจะถูกสร้างขึ้นจากวงจรเกตทั้งสิ้น	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
2	จากที่ทราบว่าวงจรดิจิตอลนั้นจะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลชนิดเลขฐานสอง ซึ่งก็สามารถบอกได้ว่าต้องได้ค่าหนึ่งค่าใดในสองค่าของแรงดันเอาท์พุทที่ได้ของวงจรลอจิกที่ได้นั้นก็จะมีค่าลอจิก "0" และ ลอจิก "1" ซึ่งไม่ได้หมายความว่าค่าแรงดันเอาท์พุทที่ได้จริงนั้นจะเป็นค่า 0 โวลต์ หรือ 1 โวลต์ ค่าเอาท์พุทที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับการทำงานของวงจรว่าจะให้แรงดันที่เป็นลอจิก 0 และ ลอจิก 1 มีค่าเท่าใด ยกตัวอย่างเช่น วงจร อิมิตเตอร์-คอล์ปเปอร์ ลอจิก ค่า 1.5 โวลต์จะแทนค่าของลอจิก "0" และค่า 0 โวลต์ จะแทนค่าของลอจิก "1" เป็นต้น	- เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง" - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน "ตารางหมากรุก" ทิศทางลง
3	เกต *(Digital Logic Gate)*	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง

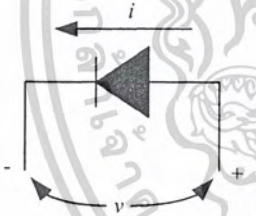
	Select Topics NOT GATE > สัญลักษณ์ของ NOT GATE > ตารางความจริงของ NOT GATE AND GATE > สัญลักษณ์ของ AND GATE > ตารางความจริงของ AND GATE OR GATE > สัญลักษณ์ของ OR GATE > ตารางความจริงของ OR GATE NAND GATE > สัญลักษณ์ของ NAND GATE > ตารางความจริงของ NAND GATE NOR GATE > สัญลักษณ์ของ NOR GATE > ตารางความจริงของ NOR GATE EXCLUSIVE OR GATE > สัญลักษณ์ของ EXCLUSIVE OR GATE > ตารางความจริงของ EXCLUSIVE OR GATE EXCLUSIVE NOR GATE > สัญลักษณ์ของ EXCLUSIVE NOR GATE > ตารางความจริงของ EXCLUSIVE NOR GATE การแปลงเกต	-ส่วน**Select Topics**ใช้เทคนิค“แทรกเข้าใน”จากด้านล่าง -ส่วนของหัวข้อฝั่งซ้ายใช้เทคนิค“ลอยเข้า”จากด้านซ้าย -ส่วนของหัวข้อฝั่งขวาใช้เทคนิค“ลอยเข้า”จากด้านขวาล่าง -แต่ละหัวข้อให้สามารถลิงค์ไปยังหน้าที่มีหัวข้อนั้นได้
4	*นอตเกต (NOT GATE)* การทำงานของนอตเกตจะทำงานโดยการให้ค่าเอาท์พุทที่ให้ของวงจรมีค่าตรงกันข้ามกับค่าอินพุทที่ป้อนเข้ามา เช่น ค่าอินพุทที่ป้อนเข้ามาเป็น “1” ค่าเอาท์พุทที่ได้	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง -เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

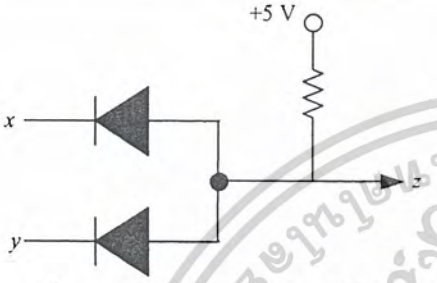
	จะเป็น “0” ถ้าค่าอินพุทที่ป้อนเข้ามามีค่าเป็น “0” ค่าเอาท์พุทที่ได้ก็จะเป็น “1” เป็นต้น	
5	 *รูปที่ 3-1 วงจรนอตเกต*	- คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลื่อน”
6	จากรูปที่ 3-1 เป็นวงจรนอตเกต โดยวงจรนี้จะใช้อุปกรณ์ที่เป็น Voltage sensitive switch เช่น ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่ในการเป็นตัวกำหนดค่าเอาท์พุตให้กับวงจร สวิตซ์จะปิดเมื่อแรงดันอินพุทมีค่ามากกว่า 0 โวลต์ ซึ่งก็จะทำให้ได้แรงดันเอาท์พุทเกือบเป็น 0โวลต์ ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวอุปกรณ์เอง เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจดังนั้นจะขอแทนด้วย 0 โวลต์ แต่ถ้าแรงดันอินพุทที่ถูกป้อนเข้ามามีค่าเป็น 0 โวลต์ สวิตซ์ก็จะเปิดและทำให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าใกล้เคียงกับแรงดัน 5 โวลต์ที่ต่ออยู่ ดังตารางที่จะ	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - ตารางใช้เทคนิค “เลื่อน” เพื่อแสดงผล - ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง

	แสดงให้เห็นดังต่อไปนี้ V_{in} | V_{out} 0 v | 5 v 5 v | 0 v *ตารางที่ 3-1 แสดงค่าอินพุทเอาท์พุทที่ได้ของวงจรนอตเกต*	
7	*สัญลักษณ์ของ NOT GATE*  *รูปที่ 3-2 สัญลักษณ์ของนอตเกต* จากรูปที่ 3-2 จะเป็นสัญลักษณ์ของนอตเกต โดยค่าเอาท์พุทที่ได้จะเขียนแทนด้วย $\overline{X}$	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง - ตรง X ของรูป นั้นอาจจะใช้ "0" หรือ "I" แสดงแทน แสดงให้เห็น ลักษณะของการวิ่งผ่านด้วย - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน "ตารางหมากรุก" ทิศทางลง
8	*ตารางความจริงของ NOT GATE* จากตารางแสดงผลการทำงานของวงจรนอตเกตที่แสดงไว้ในตารางที่ 3-1 ก็จะได้ตารางความจริงของ NOT GATE ดังจะแสดงต่อไปนี้	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง - ตารางใช้เทคนิค "เลื่อน" เพื่อแสดงผล - ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง

X	$\overline{X}$
0	1
1	0

ตารางที่ 3-2 ตารางความจริงของ NOT GATE

9	*แอนด์เกต (AND GATE)* การทำงานของแอนด์เกตนั้นจะทำการตรวจสอบอินพุทที่รับเข้ามา โดยถ้าอินพุทที่รับเข้ามามีค่า "1" ทุกตัว ค่าเอาท์พุทที่ได้ก็จะมีค่าเป็น "1" แต่ถ้าอินพุทตัวใดตัวหนึ่งมีค่าเป็น "0" ค่าเอาท์พุทที่ได้ก็จะมีค่าเป็น "0"  *รูปที่ 3-3 ไดโอด* รูปที่ 3-3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของไดโอด กระแสที่ไหลผ่านไดโอด (*i*) จะไหลไปตามทิศทางของลูกศร โดยค่าแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด (*v*) ซึ่งมีค่าน้อยมาก	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง" - รูปแสดงให้เห็นทิศทางการไหลของกระแส - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน "ตารางหมากรุก" ทิศทางลง

10	 *รูปที่ 3-4 วงจร AND GATE โดยใช้ไดโอด* จากรูปที่ 3-4 จะเป็นตัวอย่างวงจรแอนด์เกตที่สร้างจากไดโอด ไดโอดจะถูกต่อเข้ากับสายอินพุทของแต่ละสาย (ในที่นี้จะแสดงให้เห็นในกรณีที่มีสองอินพุท) ไดโอดนั้นเป็นอุปกรณ์ที่กระแสจะไหลได้เพียงทิศทางเดียว ทิศทางที่มันไหลมันจะไหลไปตามทิศทางของลูกศรของไดโอด	- แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลื่อน” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
11	การทำงานของแอนด์เกตจะอาศัยคุณสมบัติของไดโอดดังนี้ คือ ถ้าอินพุทตัวใดตัวหนึ่งมีค่าเป็น 0 โวลต์ ก็จะเปรียบเสมือนว่าตัวมันมีคุณสมบัติเป็นกราวด์ กระแสก็จะไหลผ่านตัวไดโอดที่ต่ออยู่กับอินพุทตัวนั้นไปครบวงจรที่ตัวมัน ทำให้ค่าเอาท์พุทที่ได้ก็จะมีค่าเป็น 0 โวลต์ หรือเป็นค่าแรงดันที่ตกคร่อมไดโอด ถึงแม้ว่าจะมีอินพุทตัวใดตัวหนึ่งมีค่า +5 โวลต์อยู่ก็ตาม แต่ถ้าอินพุทมีค่าเป็น +5 โวลต์ทั้งหมดก็จะทำให้กระแสไหลผ่านไดโอดตัวใดตัวหนึ่งไม่ได้ ทำให้แรงดันเอาท์พุทที่ได้นั้นก็จะมีค่าเทียบเท่ากับแรงดัน +5 โวลต์ที่ป้อนให้กับวงจร ดังตารางที่จะแสดงให้เห็นดังต่อไปนี้	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

12		- ตารางใช้เทคนิค “เลื่อน” เพื่อแสดงผล

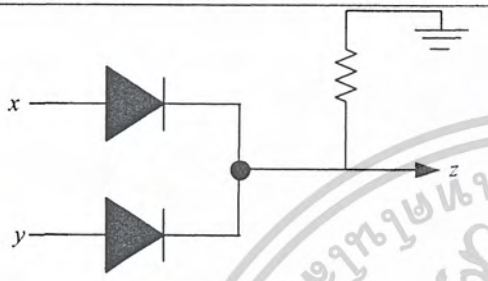
X	Y	Z
0 v	0 v	0 v
0 v	5 v	0 v
5 v	0 v	0 v
5 v	5 v	5 v

ตารางที่ 3-3 แสดงค่าอินพุทเอาท์พุทที่ได้ของวงจรแอนด์เกต

13	*สัญลักษณ์ของ AND GATE* *รูปที่ 3-5 สัญลักษณ์ของแอนด์เกต* จากรูปที่ 3-5 จะเป็นสัญลักษณ์ของแอนด์เกตชนิด 2 อินพุต โดย *x* กับ *y* จะเป็นอินพุท และ *z* จะเป็นเอาท์พุท เราสามารถเขียนสมการแทนได้โดย x ● y ได้เอาท์พุทเป็น z	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - แสดงอินพุตและเอาท์พุทของวงจรให้เห็นทุกค่า - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง

14	*ตารางความจริงของ AND GATE* จากตารางแสดงผลการทำงานของวงจรแอนด์เกตที่แสดงไว้ในตารางที่ 3-3 ก็จะได้ตารางความจริงของ AND GATE ดังจะแสดงต่อไปนี้ *ตารางที่ 3-4 ตารางความจริงของ AND GATE*	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - ตารางใช้เทคนิค “เลือน” เพื่อแสดงผล - ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง
15	*ออร์เกต (OR GATE)* การทำงานของออร์เกตนั้นจะทำการตรวจสอบอินพุทที่เข้ามาถ้ามีอินพุทตัวใดตัวหนึ่งมีค่าเป็น “1” ก็จะทำให้เอาท์พุทที่ได้มีค่าเป็น “1” แต่ถ้าหากว่าอินพุทมีค่าเป็น “0” หมดทุกตัวเอาท์พุทที่ได้ก็จะมีค่าเป็น “0” ด้วย ซึ่งก็ทำให้การสร้างวงจร OR GATE นั้นมีการสร้างคล้ายกับวงจร AND GATE เพียงแต่กลับทิศทางของไดโอดและไม่มีแหล่งจ่ายให้วงจร ซึ่งลักษณะของวงจรจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3-6	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - รูปแสดงขึ้นโดยใช้เทคนิค “เลือน” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง

x	y	z = x • y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



รูปที่ 3-6 วงจร OR GATE โดยใช้ไดโอด

16

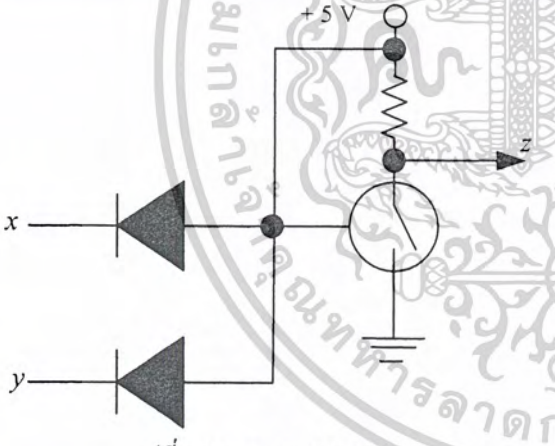
จากรูปถ้าอินพุท *X* หรือ *Y* ที่เข้ามาตัวใดตัวหนึ่งนั้นมีค่าเป็น +5 โวลต์ ก็จะทำให้กระแสไหลไปตกคร่อม R และไหลลงกราวด์ ค่าเอาท์พุท *Z* ที่วัดได้นั้นก็จะมีค่าประมาณ +5 โวลต์ แต่ถ้าอินพุททั้งสองของวงจรนั้นมีค่าเป็น 0 โวลต์เหมือนกัน กระแสก็จะไม่ไหลทำให้เอาท์พุทที่วัดได้มีค่าเป็น 0 โวลต์ด้วย ซึ่งก็พอจะสรุปได้ว่า ถ้า x หรือ y ตัวใดตัวหนึ่งเป็น "1" เอาท์พุทที่ได้ก็จะเป็น "1" แต่ถ้าอินพุทเป็น "0" ทั้งหมด เอาท์พุทที่ได้ก็จะเป็น "0" ด้วย

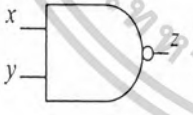
X	Y	Z
0 v	0 v	0 v
0 v	5 v	5 v
5 v	0 v	5 v
5 v	5 v	5 v

ตารางที่ 3-5 แสดงค่าอินพุทเอาท์พุทที่ได้ของวงจรออร์เกต

- เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
- ตารางใช้เทคนิค "เลื่อน" เพื่อแสดงผล
- ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง

17	*สัญลักษณ์ของ OR GATE* *รูปที่ 3-7 สัญลักษณ์ของออร์เกต* จากรูปที่ 3-7 จะเป็นสัญลักษณ์ของออร์เกตชนิด 2 อินพุต โดย x กับ y จะเป็นอินพุท และ z จะเป็นเอาท์พุท เราสามารถเขียนสมการแทนได้โดย $x + y$ ได้เอาท์พุทเป็น z	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - แสดงอินพุตและเอาท์พุทของวงจรให้เห็นทุกค่า - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
18	*ตารางความจริงของ OR GATE* จากตารางแสดงผลการทำงานของวงจรออร์เกตที่แสดงไว้ในตารางที่ 3-5 ถึ จะได้ตารางความจริงของ OR GATE ดังจะแสดงต่อไปนี้ x | y | z = x + y 0 | 0 | 0 0 | 1 | 1 1 | 0 | 1 1 | 1 | 1 *ตารางที่ 3-6 ตารางความจริงของ OR GATE*	-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - ตารางใช้เทคนิค “เลื่อน” เพื่อแสดงผล - ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง

19	*แนนด์เกต (NAND GATE)* การทำงานของแนนด์เกตก็คือเอาท์พุตที่ได้จะมีค่าตรงกันข้ามกับแอนด์เกต เช่น ถ้าอินพุทของเกตทั้งสองมีค่าเหมือนกันถ้าแอนด์เกตมีเอาท์พุตเท่ากับ "1" แสดงว่าแนนด์เกตนั้นจะมีเอาท์พุตเป็น "0" และในทางตรงกันข้ามถ้าแอนด์เกตมีเอาท์พุตเท่ากับ "0" แสดงว่าแนนด์เกตนั้นจะมีเอาท์พุตเป็น "1" นั่นเอง ซึ่งก็หมายความว่าการสร้างวงจรแนนด์เกตก็คือการนำวงจรของแอนด์เกตมาต่อเข้ากลับวงจรของนอตเกตนั้นเอง ดังรูปที่จะแสดงดังต่อไปนี้	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
20	 *รูปที่3- 8 วงจร NAND GATE*	- รูปแสดงขึ้นโดยใช้เทคนิค "เลื่อน" - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน "ตารางหมากรุก" ทิศทางลง

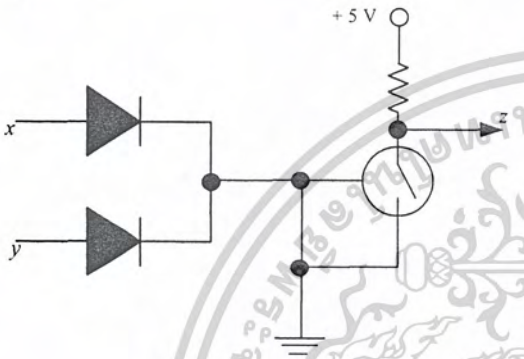
21	จากรูปที่ 3-8 ถ้าอินพุท *X* หรือ *Y* ตัวใดตัวหนึ่งที่ถูกป้อนเข้ามามีค่าเป็น 0 โวลต์ ก็จะส่งผลให้ไม่มีกระแสไหลเข้าไปยังVoltage sensitive switch ทำให้สวิตซ์เปิดวงจร ส่งผลให้แรงดันของเอาท์พุต *Z* ที่ได้ก็จะมีค่าเท่ากับแรงดัน +5 โวลต์ที่ป้อนให้กับวงจร แต่ถ้าอินพุท *X* หรือ *Y* ที่เข้ามาทั้งสองตัวเป็น +5 โวลต์ ก็จะทำให้กระแสไม่สามารถไหลผ่านไดโอดไปได้ทำให้กระแสไหลเข้าที่ Voltage sensitive switch ซึ่งจะส่งผลให้สวิตซ์ปิดวงจรทำให้กระแสไหลผ่านลงกราวด์ ทำให้เอาท์พุท *Z* มีค่าเป็น 0 โวลต์ ดังตารางต่อไปนี้ X | Y | Z 0 v | 0 v | 5 v 0 v | 5 v | 5 v 5 v | 0 v | 5 v 5 v | 5 v | 0 v *ตารางที่ 3-7 แสดงค่าอินพุทเอาท์พุทที่ได้ของวงจรแนนด์เกต*	- ตารางใช้เทคนิค “เลือน” เพื่อแสดงผล - ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
22	*สัญลักษณ์ของ NAND GATE*  *รูปที่ 3-9 สัญลักษณ์ของแนนด์เกต* จากรูปที่ 3-9 จะเป็นสัญลักษณ์ของแนนด์เกตชนิด 2 อินพุต โดย *x* กับ *y* จะ	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - แสดงอินพุตและเอาท์พุทของวงจรให้เห็นทุกค่า - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง

<table>
<tr><td></td><td>เป็นอินพุท และ z จะเป็นเอาท์พุท เราสามารถเขียนสมการแทนได้โดย $\overline{x \cdot y}$
ได้เอาท์พุทเป็น z</td><td></td></tr>
<tr><td>23</td><td>ตารางความจริงของ NAND GATE

จากตารางแสดงผลการทำงานของวงจรแนนด์เกตที่แสดงไว้ในตารางที่ 3-7 ก็จะได้ตารางความจริงของ NAND GATE ดังจะแสดงต่อไปนี้

<table>
<tr><th>x</th><th>y</th><th>$z = \overline{x \cdot y}$</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr>
</table>
ตารางที่ 3-8 ตารางความจริงของ NAND GATE</td><td>- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง
- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
- ตารางใช้เทคนิค “เลือน” เพื่อแสดงผล
- ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง</td></tr>
<tr><td>24</td><td>นอร์เกต (NOR GATE)

การทำงานของนอร์เกตนั้นก็มีการทำงานที่คล้ายกับ การทำงานของแนนด์เกต เพียงแต่ว่านอร์เกตนั้นจะให้เอาท์พุตตรงกันข้ามกับเอาท์พุตของออร์เกต ซึ่งก็หมายความว่านำออร์เกตมาต่อเข้ากับนอตเกตนั่นเอง ซึ่งวงจรการทำงานของนอร์</td><td>- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง
- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
- รูปแสดงขึ้นโดยใช้เทคนิค “เลือน”
- คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง</td></tr>
</table>

	เกตนั้นจะเป็นดังรูปที่ 3-10  *รูปที่ 3-10 วงจร NOR GATE*	
25	จากรูปที่ 3-10 แสดงให้เห็นถึงการนำเอาวงจรออร์เกตมาเป็นอินพุทของวงจรนอต เกต เพื่อให้ได้วงจรนอร์เกต ถ้าอินพุท x หรือ y ตัวใดตัวหนึ่งมีค่า +5 โวลต์ก็จะส่งผลให้มีกระแสไหลเข้าไปใน Voltage sensitive switch ทำให้ตัวมันปิดวงจร ส่งผลให้แรงดัน +5 โวลต์ที่จ่ายให้วงจรไหลผ่านตัว Voltage sensitive switch ลงกราวด์ทำให้ค่าเอาท์พุท z ที่ได้นั้นมีค่าเป็น 0 โวลต์ แต่ถ้าอินพุท x และ y มีค่าเป็น 0 โวลต์ก็จะทำให้ Voltage sensitive switch ไม่เปิดวงจร ส่งผลให้กระแสจากแหล่งจ่าย +5 โวลต์ไม่สามารถไหลผ่านลงกราวด์ไปได้ เอาท์พุท z จึงมีค่าเท่ากับแรงดันของแหล่งจ่ายคือ +5 โวลต์ ดังจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 3-9	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

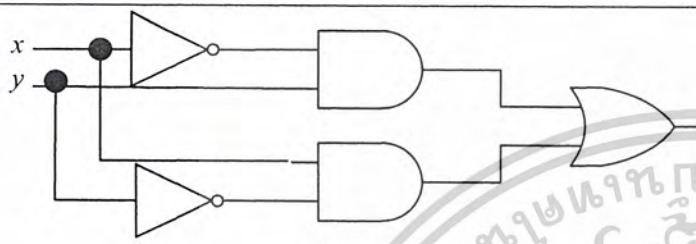
26		- ตารางใช้เทคนิค “เลื่อน” เพื่อแสดงผล - ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง
27	*สัญลักษณ์ของ NOR GATE* *รูปที่ 3-11 สัญลักษณ์ของนอร์เกต* จากรูปที่ 3-11 จะเป็นสัญลักษณ์ของนอร์เกตชนิด 2 อินพุต โดย *x* กับ *y* จะเป็นอินพุต และ *z* จะเป็นเอาท์พุท เราสามารถเขียนสมการแทนได้โดย $\overline{x + y}$ ได้เอาท์พุทเป็น z	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - แสดงอินพุตและเอาท์พุทของวงจรให้เห็นทุกค่า - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
28	*ตารางความจริงของ NOR GATE* จากตารางแสดงผลการทำงานของวงจรนอร์เกตที่แสดงไว้ในตารางที่ 3-9 ก็จะได้	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - ตารางใช้เทคนิค “เลื่อน” เพื่อแสดงผล

X	Y	Z
0 v	0 v	5 v
0 v	5 v	0 v
5 v	0 v	0 v
5 v	5 v	0 v

ตารางที่ 3-9 แสดงค่าอินพุทเอาท์พุทที่ได้ของวงจรนอร์เกต

	ตารางความจริงของ NOR GATE ดังจะแสดงต่อไปนี้ *ตารางที่ 3-10 ตารางความจริงของ NOR GATE*	- ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง
29	*เอ็กคลูซีพออร์เกต(EXCLUSIVE OR GATE)* เกตที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งก็คือเกตที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าอินพุทว่าเหมือนหรือต่างกัน เช่น ถ้าอินพุทมีค่าลอจิกเหมือนกันก็ให้เอาท์พุทที่มีค่าลอจิก “0” ถ้าต่างกันก็ให้ค่าลอจิก “1” เราเรียกเกตชนิดนี้ว่า “เอ็กคลูซีพออร์เกต” ซึ่งสมการของเกตชนิดนี้ก็คือ $(x \cdot \overline{y}) + (\overline{x} \cdot y)$ โดยรูปที่ 3-12 จะแสดงการนำเกตพื้นฐานต่างๆ มาต่อกันเพื่อให้ได้เอ็กคลูซีพออร์เกต	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - รูปแสดงขึ้นโดยใช้เทคนิค “เลือน” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง

x	y	$z = \overline{x + y}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



รูปที่ 3-12 วงจร EXCLUSIVE OR GATE

30 จากรูปที่ 3-12 เริ่มต้นที่การนำอินพุท x มาเป็นอินพุตของนอตเกตซึ่งจะได้ค่าเอาท์พุต เป็น $\bar{x}$ ส่วนอินพุต y ก็นำมาเป็นอินพุทของนอตเกตอีกตัวจะได้ค่าเอาท์พุตเป็น $\bar{y}$ หลังจากนั้นก็นำ x กับ $\bar{y}$ มาเป็นอินพุทของแอนด์เกตจะได้เอาท์พุตเป็น $x \cdot \bar{y}$ แล้วเอา $\bar{x}$ กับ y มาเป็นอินพุตของแอนด์เกตอีกตัวจะได้เอาท์พุตเป็น $\bar{x} \cdot y$ หลังจากนั้นก็นำเอาท์พุตทั้งสองมาเป็นอินพุตของออร์เกต แล้วจะได้เอาท์พุต z เป็น $(x \cdot \bar{y}) + (\bar{x} \cdot y)$ ซึ่งตรงกับสมการของเอ็กคลูซีพออร์เกตนั่นเอง เพื่อความเข้าใจจะแสดงรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ ตามตารางที่ 3-11

- เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

31

x	y	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$x \cdot \bar{y}$	$\bar{x} \cdot y$	$z = (x \cdot \bar{y}) + (\bar{x} \cdot y)$
0	0	1	1	0	0	0

- ตารางใช้เทคนิค "เลื่อน" เพื่อแสดงผล
- ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง

0	1	1	0	0	1	1
1	0	0	1	1	0	1
1	1	0	0	0	0	0

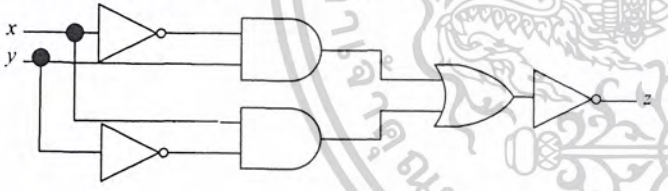
ตารางที่ 3-11 แสดงที่มาของเอ็กคลูซีพออร์เกต

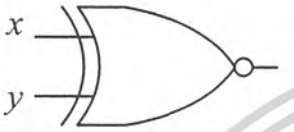
32	*สัญลักษณ์ของ EXCLUSIVE OR GATE* *รูปที่ 3-13 สัญลักษณ์ของเอ็กคลูซีพออร์เกต* จากรูปที่ 3-13 จะเป็นสัญลักษณ์ของเอ็กคลูซีพออร์เกตชนิด 2 อินพุต โดย x กับ y จะเป็นอินพุท และ z จะเป็นเอาท์พุท เราสามารถเขียนสมการแทนได้โดย $x \oplus y$ ได้เอาท์พุทเป็น z	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - แสดงอินพุตและเอาท์พุทของวงจรให้เห็นทุกค่า - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
33	*ตารางความจริงของ EXCLUSIVE OR GATE* จากตารางแสดงที่มาของวงจรเอ็กคลูซีพออร์เกตที่แสดงไว้ในตารางที่ 3-11 ก็จะได้ตารางความจริงของ EXCLUSIVE OR GATE ดังจะแสดงต่อไปนี้	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - ตารางใช้เทคนิค “เลือน” เพื่อแสดงผล - ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง

34	*เอ็กคลูซีพนอร์เกต (EXCLUSIVE NOR GATE)* เอ็กคลูซีพนอร์เกต เป็นเกตอีกชนิดหนึ่งที่มีการทำงานโดยการเปรียบเทียบอินพุท เหมือนกับการทำงานของเอ็กคลูซีพออร์เกต เพียงแต่ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะต้องข้ามกัน ซึ่งก็หมายความว่าวงจรของเอ็กคลูซีพนอร์เกตก็คือการนำเอ็กคลูซีพออร์เกตมาต่อเข้ากับนอตเกตนั้นเอง ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3-14 *รูปที่ 3-14 วงจร EXCLUSIVE NOR GATE*	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - รูปแสดงขึ้นโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
35	*สัญลักษณ์ของ EXCLUSIVE NOR GATE*	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง

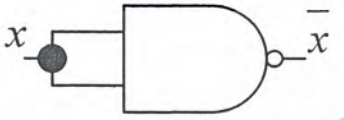
x	y	$z = x \oplus y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ตารางที่ 3-12 ตารางความจริงของ EXCLUSIVE OR GATE



	 *รูปที่3- 15 สัญลักษณ์ของเอ็กคลูซีพนอร์เกต* จากรูปที่ 3-15 จะเป็นสัญลักษณ์ของเอ็กคลูซีพนอร์เกตชนิด 2 อินพุต โดย x กับ y จะเป็นอินพุท และ z จะเป็นเอาท์พุท เราสามารถเขียนสมการแทนได้โดย $\overline{x \oplus y}$ ได้เอาท์พุทเป็น z	- แสดงอินพุตและเอาท์พุทของวงจรให้เห็นทุกค่า - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
36	*ตารางความจริงของ EXCLUSIVE NOR GATE* จากการทำงานของวงจรเอ็กคลูซีพนอร์ตามที่กล่าวมา ก็ส่งผลให้ตารางความจริงของเอ็กคลูซีพนอร์เกตนั้นมีค่าเอาท์พุทตรงกันข้ามกับเอ็กคลูซีพออร์เกต ซึ่งตารางความจริงของเอ็กคลูซีพนอร์เกตนั้นจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 3-13	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - ตารางใช้เทคนิค “เลื่อน” เพื่อแสดงผล - ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง

	<table><tr><th>x</th><th>y</th><th>$z = \overline{x \oplus y}$</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table> *ตารางที่ 3-13 ตารางความจริงของ EXCLUSIVE NOR GATE*	
37	*การแปลงเกต* ในบางครั้งเมื่อเราต่อวงจรดิจิตอลอาจเกิดปัญหาของการที่มีจำนวนเกตไม่เพียงพอ หรือหาเกตบางชนิดไม่ได้ซึ่งปัญหาเหล่านี้ เราสามารถแก้ไขได้ถ้าเรารู้ถึงวิธีการแปลงเกตจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง นอกจากนี้การแปลงเกตอาจทำให้เราประหยัดจำนวนของ IC GATE ที่ใช้วงจรอีกด้วยเช่นกัน	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
38	วิธีการแปลงเกตนั้นก็เพียงแต่เราเข้าใจสมการของเกตแต่ละตัวว่ามีสมการเป็นอย่างไร ยกตัวอย่างเช่นถ้าเรามีแนนด์เกต 2 อินพุทอยู่หนึ่งตัว ซึ่งสมการของมันก็คือ $z = x \cdot y$ โดย x และ y จะเป็นอินพุท ส่วน z จะเป็นเอาท์พุท ถ้าเราเปลี่ยนอินพุท y ให้มีค่าเท่ากับ x ก็จะได้สมการใหม่คือ $z = \overline{x \cdot x}$ เมื่อยุบสมการแล้วจะได้ $z = \overline{x}$ เมื่อสังเกตดูจะเห็นว่ามันเป็นสมการของนอตเกต ดังนั้นจึงทำให้เราสามารถสร้างนอตเกตขึ้นมาได้จากแนนด์เกต ดังจะแสดงให้ดูในรูปที่ 3-16 และตารางการทำงานจะแสดงในตารางที่ 3-14	

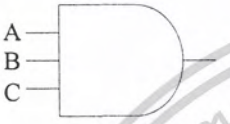
39	 *รูปที่ 3-16 การสร้างนอตเกตจากแนนด์เกต* | x	x•x	$\overline{x•x}$	$\overline{x}$
---	---	---	---
0	0	1	1
1	1	0	0 | *ตารางที่ 3-14 ตารางแสดงขั้นตอนของการแปลงแนนด์เกตมาเป็นนอตเกต*	- แสดงอินพุตและเอาท์พุทของวงจรให้เห็นทุกค่า - ตารางใช้เทคนิค “เลื่อน” เพื่อแสดงผล - ส่วนคำอธิบายตารางใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
40	เมื่ออินพุทที่เข้ามาเป็น “0” จะได้ 0 • 0 = 0 เมื่อ “0” ผ่านนอตเกตก็จะเปลี่ยนเป็น “1” ซึ่งก็เป็นเอาท์พุทของวงจรนั้นเอง ในทางกลับกันถ้าอินพุทที่เข้ามามีค่าเป็น “1” ก็จะทำให้เอาท์พุทที่ได้ของวงจรมีค่าเท่ากับ “0” ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 3-14 สำหรับการแปลงเกตชนิดอื่นก็ขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้งานจะประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสม เพียงแค่เรารู้สมการของวงจรเกต มีความรู้เรื่องพีชคณิตของบลูลีนเราก็สามารถทำการแปลงเกตได้	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

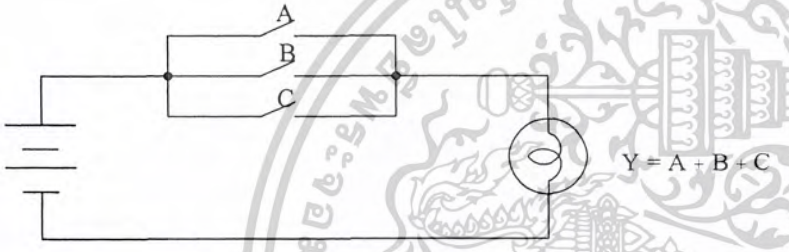
ตารางที่ ก-4 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 3 เกต

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	**บทที่ 4** **ฟังก์ชันทางลอจิกและพีชคณิตบูลีน (Logic Functions and Boolean Algebra)**	- ส่วนของ บทที่ 4 ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ความเร็วสูง"
2	**บทนำ** ฟังก์ชันทางลอจิกนั้นใช้สำหรับออกแบบวงจรลอจิก เพราะง่ายในการทำความเข้าใจ เนื่องจากในการออกแบบวงจรลอจิกนั้นถ้าเราเขียนวงจรลอจิกโดยใช้สัญลักษณ์ของตัวลอจิกเกตลงไปโดยตรงจะทำให้การออกแบบวงจรนั้นทำได้ยากกว่า พีชคณิตบูลีน (Boolean Algebra) นั้นถูกคิดขึ้นโดยชาวอังกฤษที่ชื่อว่า George Boole ในปี ค.ศ.1847 ซึ่งในบางครั้งเรียกว่า "Algebra of Logic" ซึ่งใช้มีพื้นฐานจากตัวเลขเพียงสองตัวคือ '0' และ '1' โดยที่ '0' จะแทน False และ '1' จะแทน True ซึ่งใช้ในระบบคอมพิวเตอร์ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ซึ่งเครื่องหมายทางลอจิกที่ใช้ในพีชคณิตบูลีนมีอยู่ 4 ประเภทด้วยกันคือ AND, OR, NOT และ EXCLUSIVE OR	- ส่วนของ บทนำ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ตารางหมากรุก"
3	**หัวข้อเรื่อง** **4.1 ตัวแปรทางลอจิก (Logic Variables)** **4.2 เครื่องหมายทางลอจิก (Logic Operators)** **4.3 ฟังก์ชันทางลอจิก (Logic Functions)** **4.4 Boolean Expressions** **4.5 หลักการและทฤษฎีของบูลีน (Boolean Postulates and Theorems)** **4.6 การพิจารณาโดยใช้ตารางความจริง (Verification using Truth Tables)**	- ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ แต่ละหัวข้อ (4.1-4.7) ใช้เทคนิค "การเชื่อมโยงหลายมิติ" เพื่อใช้เชื่อมโยงไปยังหน้าของภาพนิ่งที่มีหัวข้อนั้นอยู่

	4.3.1 ฟังก์ชันแอนด์ (The AND function) **4.3.2 ฟังก์ชันออร์ (The OR function)** **4.3.3 ฟังก์ชันนอต (The NOT function)** **4.3.4 ฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีพออร์ (The EXCLUSIVE OR function)**	**4.7 การลดรูปของสมการลอจิก (Simplification of Logic Expressions)** **4.7.1 การลดรูปโดยการพิจารณาจากหลักการและทฤษฎีของบูลีน** **4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)**	
4	**4.1 ตัวแปรทางลอจิก (Logic Variables)** พีชคณิตบูลีนนั้นถูกนำไปใช้กับตัวแปรทางลอจิก ซึ่งตัวแปรทางลอจิกนั้นมีค่าที่เป็นไปได้อยู่สองค่าคือ ถูก (True) หรือ ผิด (False) ซึ่งจะใช้ '1' ในการแทนถูกและใช้ '0' ในการแทนผิด ในวงจรไฟฟ้านั้นจะใช้ตัวแปรทางลอจิกในการแทนสถานะของสวิทช์คือ Closed (True) และ Open (False) ดังแสดงในรูปที่ 4-1 และ 4-2 True *รูปที่ 4-1* False *รูปที่ 4-2*		- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
5	**4.2 เครื่องหมายทางลอจิก (Logic Operators)** เครื่องหมายทางลอจิกนั้นมีอยู่ 4 ประเภทด้วยกัน คือ 1. เครื่องหมาย AND หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "Conjunction" สัญลักษณ์ที่ใช้แทนคือ (•) 2. เครื่องหมาย OR หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "Disjunction" สัญลักษณ์ที่ใช้แทนคือ (+)		- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

	3. เครื่องหมาย NOT หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “Negation” สัญลักษณ์ที่ใช้แทนคือ (′) หรือ (—) 4. เครื่องหมาย EXCLUSIVE OR เป็นเครื่องหมายที่เพิ่มเข้ามานอกเหนือจากเครื่องหมายพื้นฐานทั้ง 3 (AND, OR, NOT) สัญลักษณ์ที่ใช้แทนคือ (⊕)	
6	**4.3 ฟังก์ชันทางลอจิก (Logic Functions)** ฟังก์ชันทางลอจิกนั้นมี 4 ประเภทเหมือนกับเครื่องหมายทางลอจิก โดยมีฟังก์ชันพื้นฐาน 3 ฟังก์ชัน (AND, OR และ NOT) และฟังก์ชันพิเศษ (EXCLUSIVE OR)	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
7	**4.3.1 ฟังก์ชันแอนด์ (The AND function)** ในฟังก์ชันแอนด์นั้น ถ้าเปรียบ ‘1’ เป็น “True” และ ‘0’ เป็น “False” แล้ว ผลลัพธ์ (Output) ที่ได้จากฟังก์ชันแอนด์นี้จะเป็นจริง (True) ได้ก็ต่อเมื่อตัวแปร (Input) ในฟังก์ชันเป็นจริงทั้งหมด แต่ถ้ามีตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเป็นเท็จ (False) แล้วผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเป็นเท็จทันที ซึ่งก็เหมือนกับ Output ที่ได้จาก AND GATE นั่นเอง	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
8	**4.3.1 ฟังก์ชันแอนด์ (The AND function)** *ต่อ* 	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

	รูปที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบวงจรสวิทซ์แบบอนุกรมกับฟังก์ชันแอนด์	
9	**4.3.1 ฟังก์ชันแอนด์ (The AND function)** *ต่อ*  *รูปที่ 4-4 แสดงฟังก์ชันแอนด์* **Input** / **Output** A B C | Y = A • B • C 0 0 0 | 0 0 0 1 | 0 0 1 0 | 0 0 1 1 | 0 1 0 0 | 0 1 0 1 | 0 1 1 0 | 0 1 1 1 | 1	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ” - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลื่อน”

	ตารางที่ 4-1 แสดงตารางความจริงของฟังก์ชันแอนด์	
10	**4.3.2 ฟังก์ชันออร์ (The OR function)** ผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันออร์นั้นเหมือนกับผลลัพธ์ (Output) ที่ได้จาก OR GATE คือ ถ้าตัวแปร (Input) ตัวใดตัวหนึ่งเป็นจริง (True) ก็จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นจริงเช่นกัน  *รูปที่ 4-5 แสดงการเปรียบเทียบวงจรสวิทช์แบบขนานกับฟังก์ชันออร์*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
11	**4.3.2 ฟังก์ชันออร์ (The OR function)** *ต่อ* 	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ” - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลื่อน”

รูปที่ 4-6 แสดงฟังก์ชันออร์

Input			Output
A	B	C	Y = A + B + C
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

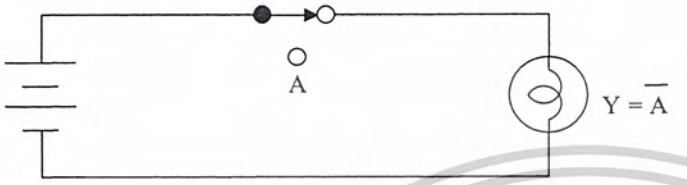
ตารางที่ 4-2 แสดงตารางความจริงของฟังก์ชันออร์

12 **4.3.3 ฟังก์ชันนอต (The NOT function)**

ฟังก์ชันนอตจะให้ผลลัพธ์ (Output) ตรงข้ามกับค่าของตัวแปร (Input) ที่อยู่ในฟังก์ชันนอต ซึ่งมีลักษณะเดียวกับเอาท์พุตที่ได้จาก NOT GATE

$\overline{A}$

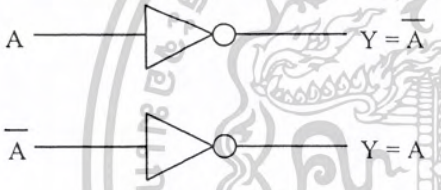
- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
- ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
- ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง



รูปที่ 4-7 แสดงการเปรียบเทียบวงจรสวิทช์กับฟังก์ชันนอต

-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

13 **4.3.3 ฟังก์ชันนอต (The NOT function)** *ต่อ*



รูปที่ 4-8 แสดงฟังก์ชันนอต

Input	Output
A	Y = $\overline{A}$
0	1
1	0

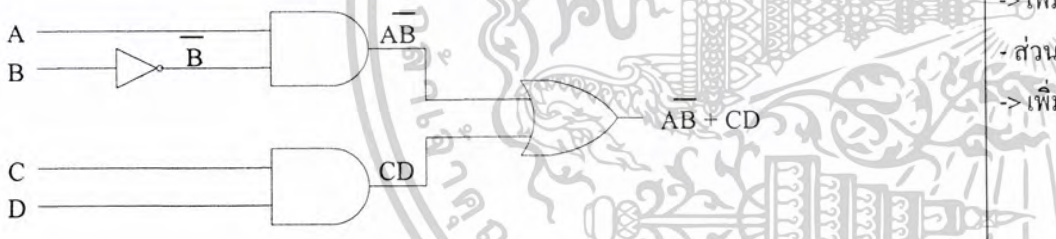
- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
- ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
- ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลื่อน”

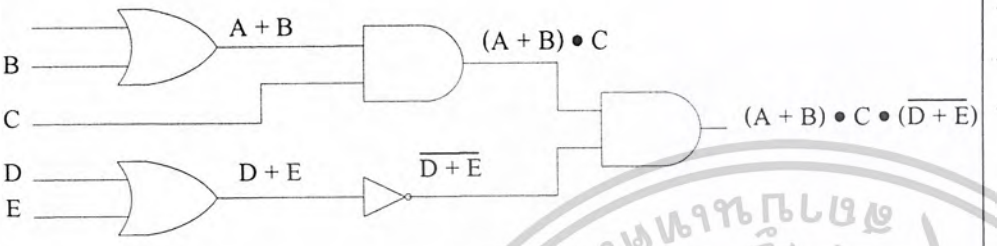
<table>
<tr><td></td><td>ตารางที่ 4-3 แสดงตารางความจริงของฟังก์ชันนอต</td><td></td></tr>
<tr><td>14</td><td>4.3.4 ฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีพออร์ (The EXCLUSIVE OR function)
ฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีพออร์เป็นฟังก์ชันพิเศษที่เพิ่มขึ้นมาจากฟังก์ชันพื้นฐาน (AND, OR และ NOT) ผลลัพธ์ (Output) ที่ได้จากฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีพออร์นั้นถ้าตัวแปร (Input) เป็นจริง (True) ทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเป็นเท็จ (False) แต่ถ้าตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งเป็นเท็จแล้วอีกตัวหนึ่งเป็นจริง ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเป็นจริง เหมือนกับเอาท์พุตที่ได้จาก EXCLUSIVE OR</td><td>- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
- ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”</td></tr>
<tr><td>15</td><td>4.3.4 ฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีพออร์ (The EXCLUSIVE OR function) ต่อ

รูปที่ 4-9 แสดงฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีพออร์
<table>
<tr><th colspan="2">Input</th><th>Output</th></tr>
<tr><th>A</th><th>B</th><th>Y = A ⊕ B</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr>
</table></td><td>- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
- ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
- ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลื่อน”</td></tr>
</table>

1	0	1
1	1	0

ตารางที่ 4-4 แสดงตารางความจริงของฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีพออร์

16	**4.4 Boolean Expressions** ฟังก์ชันพื้นฐานทางลอจิกทั้ง 3 ฟังก์ชัน (AND, OR และ NOT) สามารถใช้แบบแยกกันหรือรวมกันได้ และการใช้รวมกันในบางครั้งก็ทำให้เกิดฟังก์ชันใหม่ขึ้นมาคือ เอ็กซ์คลูซีพออร์ ซึ่งฟังก์ชันทั้ง 4 นี้เราใช้ในการเขียนเพื่ออธิบายการทำงานของวงจรลอจิกเกต โดยการเขียนแสดงอินพุทและเอาท์พุตที่ได้จากวงจรลอจิกเกต ดังแสดงในตัวอย่างดังต่อไปนี้ <u>หมายเหตุ</u> การเขียนฟังก์ชันแอนด์บางครั้งอาจเขียน Y = AB แทน Y = A • B ก็ได้	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
17	**4.4 Boolean Expressions *ต่อ***  *รูปที่ 4-10 แสดงตัวอย่าง Boolean Expression*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
18	**4.4 Boolean Expressions *ต่อ***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง



รูปที่ 4-11 แสดงตัวอย่าง Boolean Expression

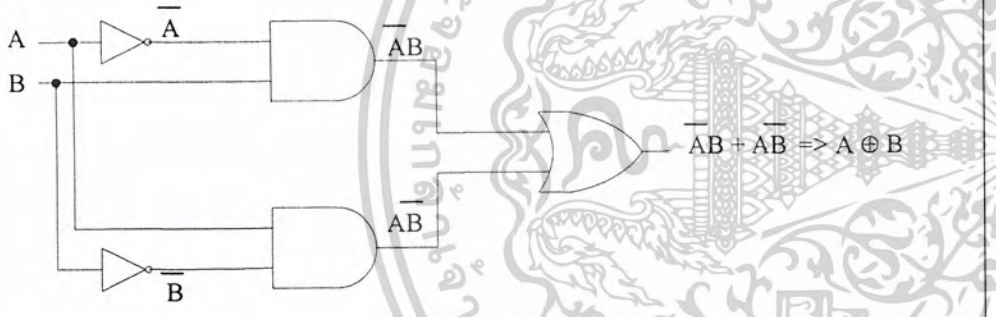
-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"

- ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

19

4.4 Boolean Expressions *ต่อ*



รูปที่ 4-12 แสดงตัวอย่าง Boolean Expression

จากรูปที่ 4-12 ทำให้เกิดเป็นฟังก์ชันแอ็กซ์คลูซีพออร์ ซึ่งเกิดจากการใช้ฟังก์ชันแอนด์, ออร์

- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"

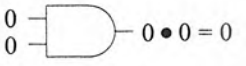
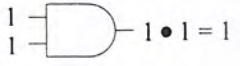
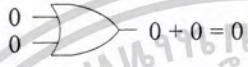
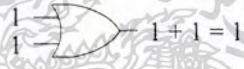
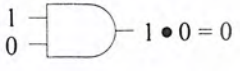
- ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

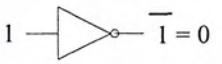
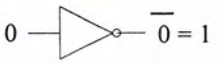
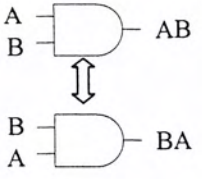
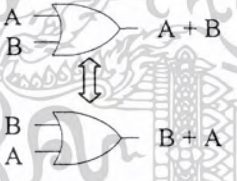
-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

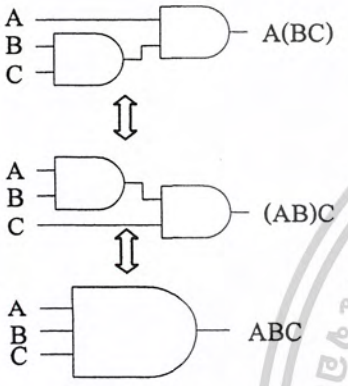
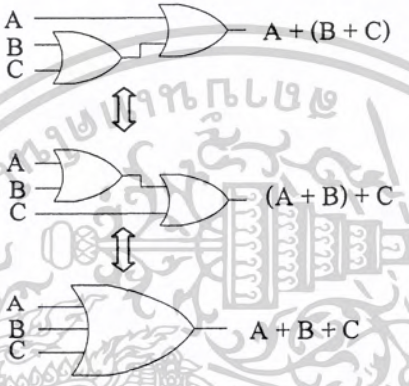
- ส่วนของ **เนื้อหา** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

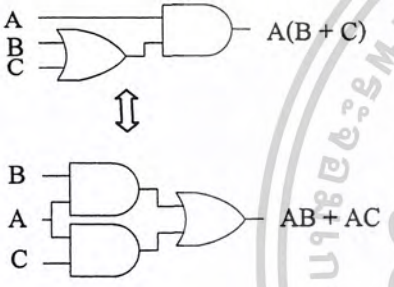
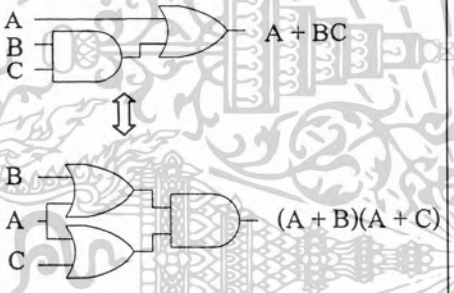
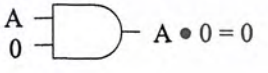
	และ นอต รวมกัน ซึ่งสามารถเขียนเป็น Boolean Expression ใหม่คือ A ⊕ B ซึ่งมีประโยชน์ในการลดรูป Boolean Expression และทำให้ลดจำนวนของการใช้ลอจิกเกตลงได้ดังรูปที่ 4-13	
20	**4.4 Boolean Expressions *ต่อ*** A ***รูปที่ 4-13 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการลดรูป Boolean Expression***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
21	**4.5 หลักการและทฤษฎีของบูลีน (Boolean Postulates and Theorems)** การศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการ กฎ และทฤษฎีของบูลีนมีความสำคัญมาก เพื่อให้มีความเข้าใจในการใช้ได้อย่างถูกต้อง หลักการและทฤษฎีของบูลีนสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 5 กลุ่มดังนี้ 1) Postulates (หลักการพื้นฐาน) 2) Algebraic Properties (คุณสมบัติเกี่ยวกับพีชคณิต) ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 กลุ่มคือ 2.1) Commutative (การสลับที่) 2.2) Associative (การเปลี่ยนกลุ่ม) 2.3) Distributive (การกระจาย) 3) Theorems (ทฤษฎีทั่วไป) 4) DeMorgan's Theorem (ทฤษฎีของเดอร์มอร์แกน) 5) Absorption Theorem (ทฤษฎีการดูดกลืน)	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
22	**4.5.1 Postulates (หลักการพื้นฐาน)**	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

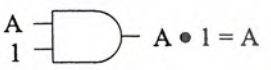
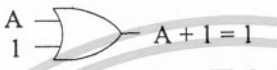
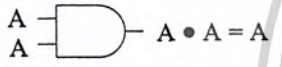
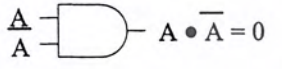
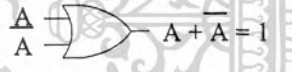
	1a. A = 1 (ถ้า A ≠ 0) 2a. 0 ● 0 = 0  *รูปที่ 4-14* 3a. 1 ● 1 = 1  *รูปที่ 4-16*	1b. A = 0 (ถ้า A ≠ 1) 2b. 0 + 0 = 0  *รูปที่ 4-15* 3b. 1 + 1 = 1  *รูปที่ 4-17*	-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ทฤษฎีแต่ละข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
23	**4.5.1 Postulates (หลักการพื้นฐาน)** *ต่อ* 4a. 1 ● 0 = 0  *รูปที่ 4-18* 5a. $\overline{1} = 0$	4b. 1 + 0 = 1 *รูปที่ 4-19* 5b. $\overline{0} = 1$	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ทฤษฎีแต่ละข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ” - ส่วนของ หมายเหตุ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ความเร็วสูง”

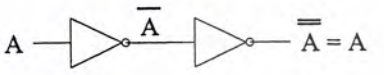
	 *รูปที่ 4-20*  *รูปที่ 4-21* <u>หมายเหตุ</u> ตัวแปร A, B, C, ... มีค่าที่เป็นไปได้คือ 0 หรือ 1	
24	**4.5.2 Algebraic Properties (คุณสมบัติเกี่ยวกับพีชคณิต)** **4.5.2.1 Commutative (การสลับที่)** 6a. AB = BA  *รูปที่ 4-22* 6b. A + B = B + A  *รูปที่ 4-23*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ทฤษฎีแต่ละข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

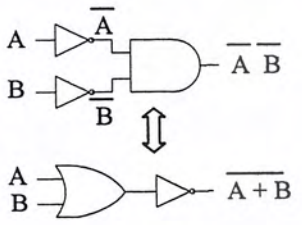
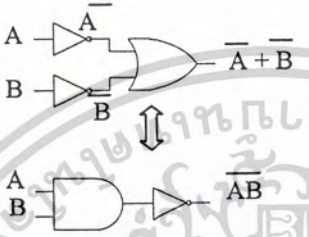
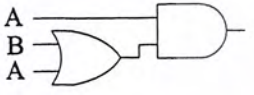
25	**4.5.2.2 Associative (การเปลี่ยนกลุ่ม)** 7a. A(BC) = (AB)C  *รูปที่ 4-24* 7b. A + (B + C) = (A + B) + C  *รูปที่ 4-25*	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ทฤษฎีแต่ละข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลื่อน” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

26	**4.5.2.3 Distributive (การกระจาย)** 8a. A(B + C) = AB + AC = A(B + C) 8b. A + BC = (A + B)(A + C) = AA + AC + AB + BC (ข้อ 11a) = A(1 + C + B) + BC (กฎข้อ 10b) = A + BC  *รูปที่ 4-26*  *รูปที่ 4-27*	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ **ทฤษฎีแต่ละข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” - ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
27	**4.5.3 Theorems (ทฤษฎีทั่วไป)** 9a. A • 0 = 0  *รูปที่ 4-28* 9b. A + 0 = A *รูปที่ 4-29*	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ **ทฤษฎีแต่ละข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” - ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

	10a. A ● 1 = A  *รูปที่ 4-30* 10b. A + 1 = 1  *รูปที่ 4-31*	
28	**4.5.3 Theorems (ทฤษฎีทั่วไป)** *ต่อ* 11a. A ● A = A  *รูปที่ 4-32* 11b. A + A = A *รูปที่ 4-33* 12a. A ● $\underline{A}$ = 0  *รูปที่ 4-34* 12b. A + $\underline{A}$ = 1  *รูปที่ 4-35*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ทฤษฎีแต่ละข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
29	**4.5.3 Theorems (ทฤษฎีทั่วไป)** *ต่อ*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”

	13a. $\overline{\overline{A}} = A$  *รูปที่ 4-36* 13b. $\overline{\overline{A}} = A$ *รูปที่ 4-37*	- ส่วนของ **ทฤษฎีแต่ละข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน" - ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
30	**4.5.4 DeMorgan's Theorem** (ทฤษฎีของเดอร์มอร์แกน) 14a. $\overline{A}\ \overline{B} = \overline{A + B}$ **Input** / **Output** A B | $\overline{A}\ \overline{B}$ | $\overline{A + B}$ 0 0 | 1 | 1 0 1 | 0 | 0 1 0 | 0 | 0 1 1 | 0 | 0 เท่ากัน *ตารางที่ 4-5* 14b. $\overline{A} + \overline{B} = \overline{AB}$ **Input** / **Output** A B | $\overline{A} + \overline{B}$ | $\overline{AB}$ 0 0 | 1 | 1 0 1 | 1 | 1 1 0 | 1 | 1 1 1 | 0 | 0 เท่ากัน *ตารางที่ 4-6*	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ **ทฤษฎีแต่ละข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน" - ส่วนของ **ตาราง** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
31	**4.5.4 DeMorgan's Theorem** (ทฤษฎีของเดอร์มอร์แกน) *ต่อ*	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

	 *รูปที่ 4-38*  *รูปที่ 4-39*	
32	**4.5.5 Absorption Theorem** (ทฤษฎีการดูดกลืน) 15a. A(A + B) = A A(A + B) = AA + AB (กฎข้อ 11a) = A + AB = A(1 + B) (กฎข้อ 10b) = A 15b. A + AB = A A + AB = A(1 + B) (กฎข้อ 10b) = A  A(A + B) = A *รูปที่ 4-40* A + AB = A *รูปที่ 4-41*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ทฤษฎีแต่ละข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
33	**4.5.5 Absorption Theorem** (ทฤษฎีการดูดกลืน) *ต่อ* 16a. A(A + B) = AB	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”

	$A(\bar{A} + B) = \bar{A}A + AB$ (กฎข้อ 12a) $= AB$ *รูปที่ 4-42*	- ส่วนของ **ทฤษฎีแต่ละข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
34	**4.5.5 Absorption Theorem (ทฤษฎีการดูดกลืน) ต่อ** 16b. $A + AB = A + B$ $A + \bar{A}B = (A + \bar{A})(A + B)$ (กฎข้อ 8b) $= 1(A + B)$ (กฎข้อ 12b) $= A + B$ *รูปที่ 4-43*	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ ทฤษฎีแต่ละข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

35	**4.6 การพิจารณาโดยใช้ตารางความจริง (Verification using Truth Tables)** สมการทางลอจิกสามารถเรียนรู้ด้วยความสะดวกและสามารถทำความเข้าใจง่ายโดยใช้ตารางความจริง ตารางความจริงใช้แสดงคอลัมน์จากความเป็นไปได้ในการรวมกันของทั้งหมดที่มีอยู่ ซึ่งจำนวนของความเป็นไปได้ในการรวมกันคือ ฟังก์ชันของจำนวนของตัวแปรในในสมการทางลอจิก ซึ่งตัวแปรแต่ละตัวมีค่าที่เป็นไปได้อยู่สองค่าคือ 0 และ 1 , ดังนั้นจำนวนของความเป็นไปได้เท่ากับ 2^n โดยที่ n คือจำนวนของตัวแปร เช่นมีตัวแปร A และ B อยู่สองตัวดังนั้นค่าที่เป็นไปได้คือ $2^2 = 4$ คือ A และ B สามารถแทนค่าได้สี่ค่า (สี่กรณี) คือ 00, 01, 10 และ 11 ดังนั้นถ้ามีตัวแปร A, B และ C ค่าที่เป็นไปได้คือ $2^3 = 8$ คือ A, B และ C สามารถแทนค่าได้แปดค่า คือ 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 และ 111ดังตัวอย่างต่อไปนี้	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
36	**4.6 การพิจารณาโดยใช้ตารางความจริง (Verification using Truth Tables)** *ต่อ*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

Input			Output				
A	**B**	**C**	**B + C**	**A + (B + C)**	**A + B**	**(A + B) + C**	**A + B + C**
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1

1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

เท่ากัน

ตารางที่ 4-7 แสดงตัวอย่างตารางความจริงของทฤษฎีการเปลี่ยนกลุ่ม

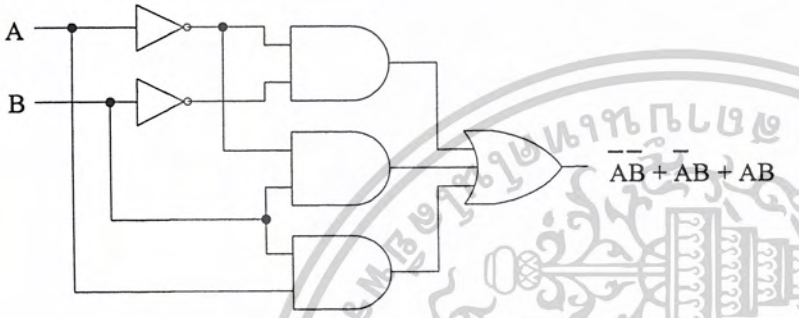
37 **4.6 การพิจารณาโดยใช้ตารางความจริง (Verification using Truth Tables) *ต่อ***

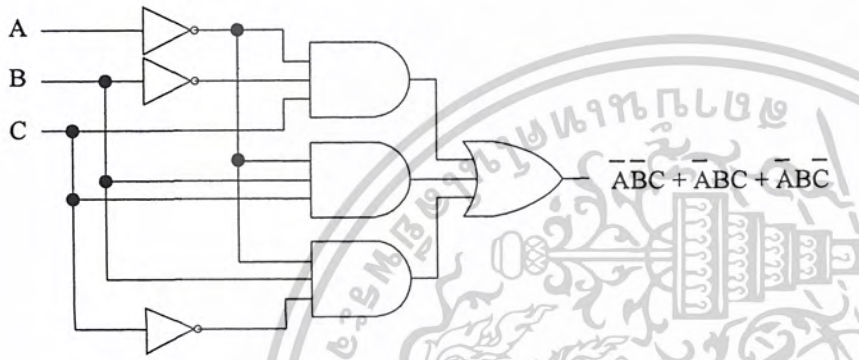
Input			Output				
A	**B**	**C**	**BC**	**A + BC**	**A + B**	**A + C**	**(A + B)(A + C)**
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

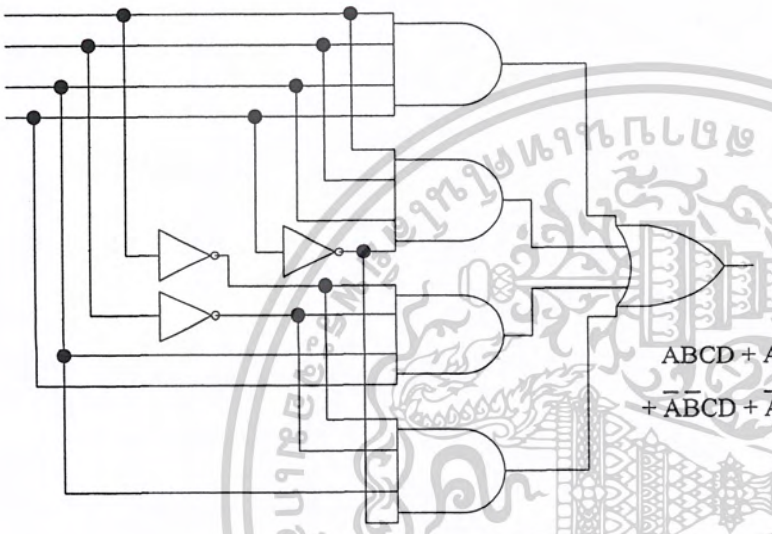
เท่ากัน

- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
- ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

	ตารางที่ 4-8 แสดงตัวอย่างตารางความจริงของทฤษฎีการกระจาย	
38	**4.7 การลดรูปของสมการลอจิก (Simplification of Logic Expressions)** ในการออกแบบวงจรลอจิกนั้นได้มาจากการที่เราออกแบบสมการลอจิก ซึ่งสมการลอจิกที่ได้จากการออกแบบส่วนใหญ่สามารถลดรูปของสมการลงได้เพื่อทำให้ความซับซ้อนของวงจรลอจิกที่ได้ลดลงและประหยัดจำนวนของลอจิกเกตที่ใช้อีกด้วย การลดรูปของสมการลอจิกสามารถทำได้ 3 แบบคือ การพิจารณาจากหลักการและทฤษฎีของบูลีน, การใช้ตารางคาร์นอ(Karnaugh Map : K-Map) และการใช้ทฤษฎีของควินเม็คคลอสกี (Quine-McCluskey Tabular Method) ซึ่งผู้ใช้ส่วนใหญ่จะนิยมใช้วิธีที่สอง (K-Map) มากที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว (ในบทนี้จะขอพูดถึงการพิจารณาจากหลักการและทฤษฎีของบูลีน, การใช้ตารางคาร์นอเท่านั้นเนื่องจากการใช้ ใช้ Quine-McCluskey Tabular Method นั้นเป็นวิธีที่ยุ่งยากซับซ้อนและไม่ค่อยเป็นที่นิยม)	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
39	**4.7.1 การลดรูปโดยการพิจารณาจากหลักการและทฤษฎีของบูลีน** จากหัวข้อที่ 4.5 ได้กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีของบูลีนไปแล้วดังนั้น เรามาลองดูตัวอย่างของการลดรูปสมการบูลีนโดยใช้หลักการและทฤษฎีที่ได้ศึกษาไปแล้ว	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”

40	จากรูปจงเขียนสมการบูลีนที่ได้ทำการลดรูปแล้ว  $\overline{A}\overline{B} + \overline{A}B + AB = (\overline{A}\overline{B} + \overline{A}B) + AB$ (กฎข้อ 7b) $= \overline{A}(\overline{B} + B) + AB$ (กฎข้อ 8a) $= \overline{A}(1) + AB$ (กฎข้อ 12b) $= \overline{A} + B$ (กฎข้อ 16b)	- ในส่วนของ **โจทย์** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ” - ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” และ “ปรากฏ”

41	จากรูปจงเขียนสมการบูลีนที่ได้ทำการลดรูปแล้ว  $\bar{A}\bar{B}C + \bar{A}BC + A\bar{B}\bar{C} = \bar{A}\bar{B}C + (\bar{A}BC + A\bar{B}\bar{C})$ (กฎข้อ 7b) $= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B(C + \bar{C})$ (กฎข้อ 8a) $= \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}B(1)$ (กฎข้อ 12b) $= \bar{A}(\bar{B}C + B)$ (กฎข้อ 8a) $= A(C + B)$ (กฎข้อ 16b) $= A(B + C)$ (กฎข้อ 6b)	- ในส่วนของ **โจทย์** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ” - ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” และ “ปรากฏ”
42	จากรูปจงเขียนสมการบูลีนที่ได้ทำการลดรูปแล้ว	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”



$ABCD + ABC\bar{D}$

$+ \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}\bar{B}C\bar{D}$

$$ABCD + ABC\bar{D} + \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}\bar{B}C\bar{D} = ABC(D + \bar{D}) + \bar{A}\bar{B}C(D + \bar{D}) \quad \text{(กฎข้อ 8a)}$$

$$= ABC(1) + \bar{A}\bar{B}C(1) \quad \text{(กฎข้อ 12b)}$$

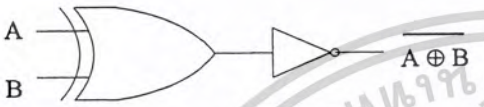
$$= (AB + \bar{A}\bar{B})C \quad \text{(กฎข้อ 8a)}$$

$$= \overline{(A \oplus B)}C$$

(มีต่อในหน้าถัดไป)

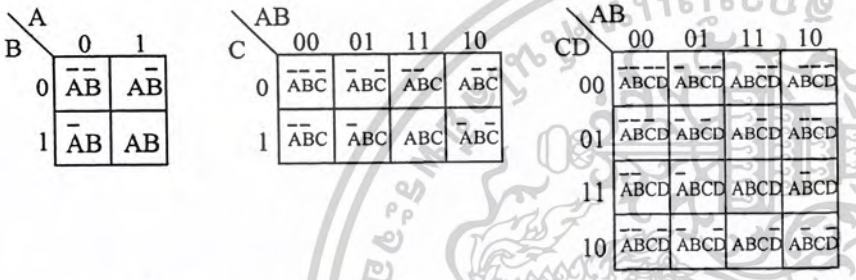
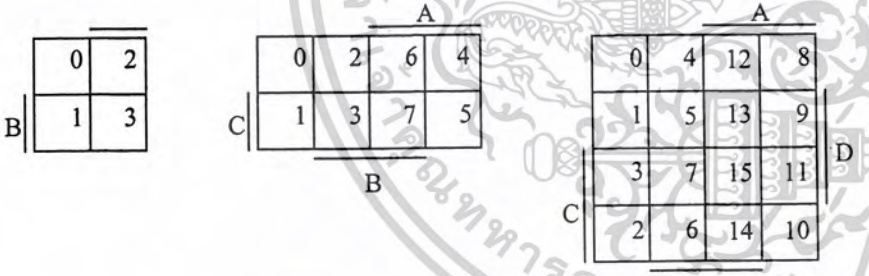
- ในส่วนของ **วิธีทำ** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้

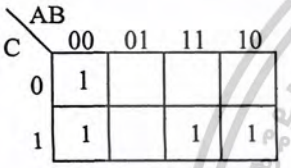
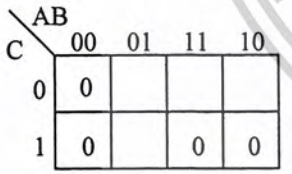
การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” และ “ปรากฏ”

43	(ต่อจากหน้าที่แล้ว) ผลลัพธ์ของการลดรูปจะมีเทอมที่เป็นฟังก์ชันแอ็กซ์คลูซีพนอร์อยู่ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้  *รูปที่ 4-44 แสดงฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีพนอร์* **ตารางที่ 4-9 แสดงตารางความจริงของฟังก์ชันเอ็กซ์คลูซีพะนอร์**	- ส่วนของ **คำอธิบาย** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ” - ส่วนของ **ตาราง** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลื่อน”
44	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)** การลดรูปสมการบูลีนโดยใช้ตารางคาร์นอนั้นเป็นวิธีที่สะดวกและทำได้ง่าย แต่สมการที่ได้จากการลดรูปจากตารางคาร์นอในบางครั้งผลลัพธ์ที่ได้อาจจะไม่สั้นที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้หลักการและทฤษฎีของบูลีนมาช่วยอีกทีหนึ่ง	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ **เนื้อหา** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”

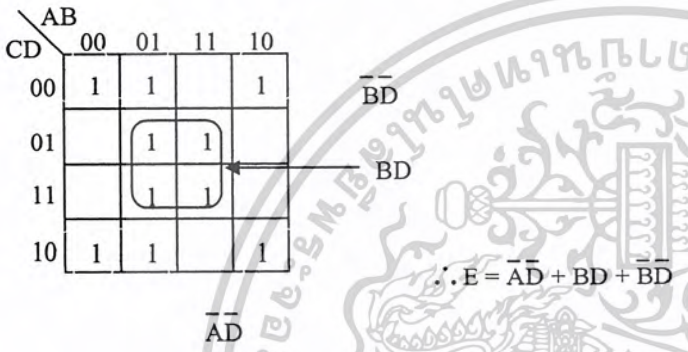
Condition	Input		Output	
	A	B	$AB + \overline{A}\overline{B}$	$\overline{A \oplus B}$
0	0	0	1	1
1	0	1	0	0
2	1	0	0	0
3	1	1	1	1

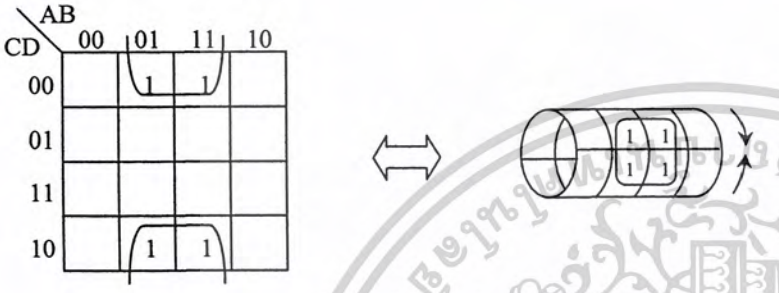
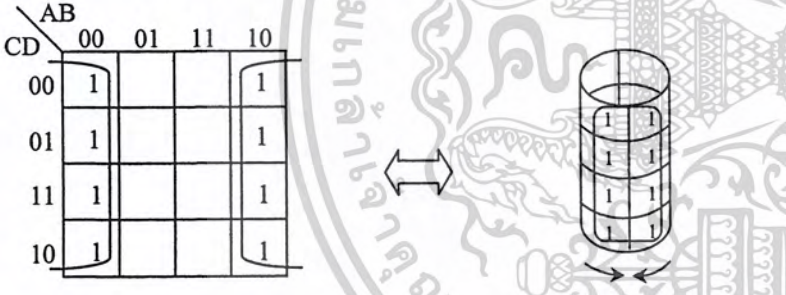
เท่ากัน

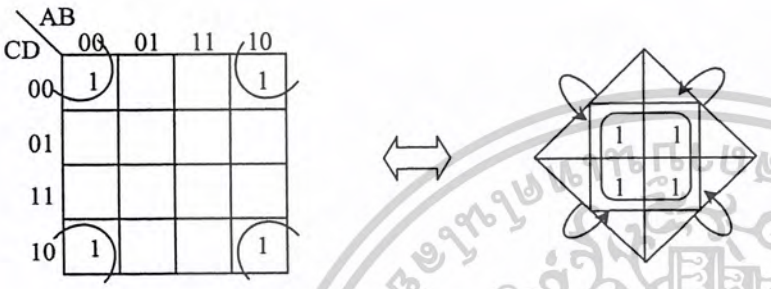
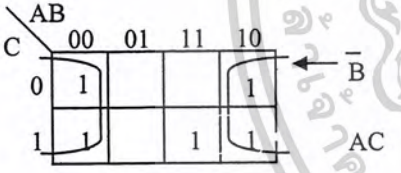
	ตารางคาร์นอมีอยู่หลายขนาดขึ้นอยู่กับตัวแปรในสมการ ซึ่งขนาดของตารางคาร์นอมีความสัมพันธ์กับตัวแปร คือ ขนาดของตารางคาร์นอเท่ากับ 2" โดยที่ n คือจำนวนของตัวแปรในสมการและ n มีค่ามากกว่า 1 ดังนั้นถ้ามีตัวแปรอยู่ 2 ขนาดของตารางก็คือ $2^2 = 4$ ช่องนั่นเอง	
45	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)** *ต่อ*  *รูปที่ 4-45 แสดงตัวอย่างของตารางคาร์นอในแบบ 2 , 3 และ 4 ตัวแปร*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
46	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)** *ต่อ*  *รูปที่ 4-45 แสดงตัวอย่างของตารางคาร์นอในแบบ 2 , 3 และ 4 ตัวแปร*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

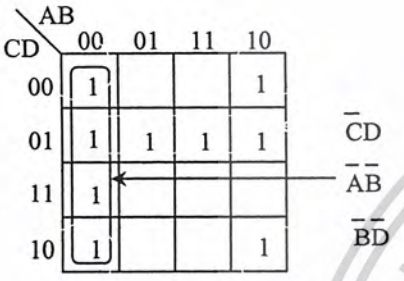
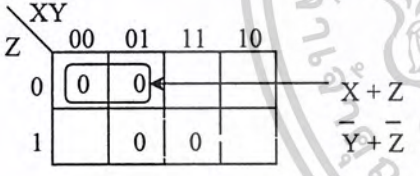
47	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map) *ต่อ*** ตารางคาร์นอมีอยู่ 2 แบบคือ 1) Sum of Products ($\sum$) หรือเรียกว่า Min Term ซึ่งจะมีรูปแบบดังนี้ $E = \sum(0, 1, 5, 7)$ หรือ $E(A, B, C) = \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}C + A\bar{B}C + ABC$  ***รูปที่ 4-46 แสดงตัวอย่างของตารางคาร์นอในแบบ Sum of Products***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
48	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map) *ต่อ*** 2) Product of Sums ($\prod$) หรือเรียกว่า Max Term มีรูปแบบดังต่อไปนี้ $E = \prod(0, 1, 5, 7)$ หรือ $E(A, B, C) = (A + B + C)(A + B + \bar{C})(\bar{A} + B + \bar{C})(\bar{A} + \bar{B} + \bar{C})$ 	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

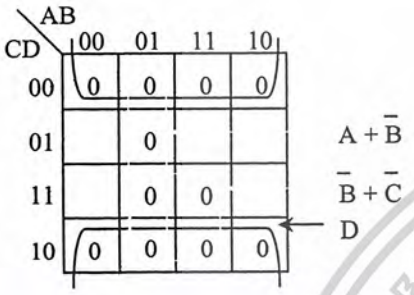
	รูปที่ 4-47 แสดงตัวอย่างของตารางคาร์นอในแบบ Product of Sums จะสังเกตเห็นว่า Product of Sums จะใส่ '0' แทนไม่ใช่ '1' แบบ Sum of Products	
49	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)** ***ต่อ*** หลักการในการลดรูปสมการลอจิกของตารางคาร์นอมีดังนี้ 1) จากรูปที่ 4-18 และ 4-19 จะเห็นได้ว่ามีการนำค่าจากสมการมาเติมในตำแหน่งต่างๆ ของตารางคาร์นอโดยพิจารณาจากค่าของตัวแปรที่สอดคล้องกับค่าในแต่ละตำแหน่งของตารางคาร์นอดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4-17	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
50	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)** ***ต่อ*** 2) เมื่อนำค่ามาใส่ในตำแหน่งต่างๆของตารางแล้วก็จะทำการวงรอบๆตัวเลขที่เติมลงไปเพื่อจับกลุ่มตัวเลข('1' สำหรับ Sum of Products และ '0' สำหรับ Product of Sums) โดยการจับกลุ่มตัวเลขนั้นจะทำได้ในแนวตั้งและแนวนอนเท่านั้นและจำนวนของตัวเลขที่สามารถจับกลุ่มได้คือ 2^n โดยที่ n มีค่า 0, 1, 2, 3, และ 4 นั่นคือสามารถจับกลุ่มตัวเลขได้ที่ละ 1, 2, 4, 8 และ 16 ตัว โดยการจับกลุ่มตัวเลขนี้จะต้องจับกลุ่มให้ใหญ่ที่สุดเท่าที่จะทำได้ และให้เกิดกลุ่มของตัวเลขที่ถูกจับกลุ่มให้น้อยที่สุดเพื่อที่จะทำให้สมการที่ได้สั้นที่สุด และตัวเลขในแต่ละตำแหน่งของตารางคาร์นอจะต้องถูกวงรอบๆ จนครบทุกตัวและตัวที่ถูกวงรอบและสามารถวงซ้ำได้ ดังเช่นตัวอย่างต่อไปนี้	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
51	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)** ***ต่อ***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

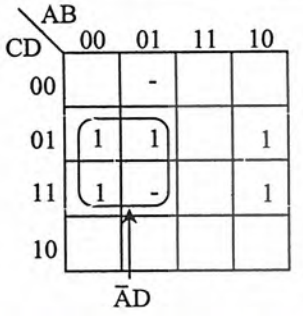
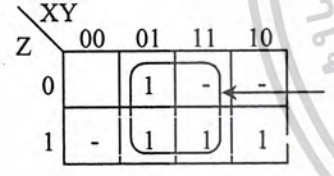
	 ***รูปที่ 4-48 แสดงตัวอย่างของการจับกลุ่มของตัวเลขในตารางคาร์นอ***	-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ในส่วนของ **คำตอบ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
52	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)** *ต่อ* จากตัวอย่างจะสังเกตเห็นว่าการจับกลุ่มตัวเลขที่อยู่ในตารางคาร์นอนั้นสามารถจับกลุ่มตัวเลขที่อยู่ขอบตารางที่อยู่ตรงข้ามกันได้ เพื่อความง่ายในการทำความเข้าใจให้สมมุติว่าตารางคาร์นอเหมือนกับกระดาษที่เราสามารถม้วนขอบของตารางมาบรรจบกันในทั้งในแนวตั้งและแนวนอนดังตัวอย่างต่อไปนี้	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ **เนื้อหา** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
53	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)** *ต่อ*	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"

	 *รูปที่ 4-49 แสดงตัวอย่างของการจับกลุ่มของตัวเลขในตารางคาร์นอ*	- ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
54	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)** *ต่อ*  *รูปที่ 4-49 แสดงตัวอย่างของการจับกลุ่มของตัวเลขในตารางคาร์นอ*	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ **รูปภาพ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
55	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map)** *ต่อ*	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

	 ***รูปที่ 4-49 แสดงตัวอย่างของการจับกลุ่มของตัวเลขในตารางคาร์นอ***	-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
56	จงลดรูปสมการบูลีนที่กำหนดให้ต่อไปนี้ 1) $E(A, B, C) = \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}BC + A\bar{B}\bar{C} + A\bar{B}C + ABC$  $\therefore E = AC + \bar{B}$	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ส่วนของ โจทย์ย่อย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ในส่วนของ วิธีทำ (รูปภาพ) ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน" และ "ความเร็วสูง" - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
57	จงลดรูปสมการบูลีนที่กำหนดให้ต่อไปนี้ 2) $E = \sum(0, 1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 13)$	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ส่วนของ โจทย์ย่อย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

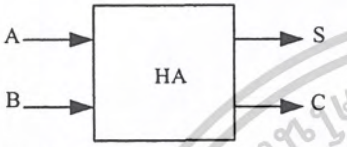
	 $\therefore E = \overline{A}\overline{B} + \overline{B}\overline{D} + \overline{C}\overline{D}$	- ในส่วนของ **วิธีทำ (รูปภาพ)** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน" และ "ความเร็วสูง" - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
58	จงลดรูปสมการบูลีนที่กำหนดให้ต่อไปนี้ 3) $E(X, Y, Z) = (X + Y + Z) + (X + Y + Z) + (X + Y + Z) + (X + Y + Z)$  $\therefore E = (X + Z)(\overline{Y} + \overline{Z})$	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ส่วนของ โจทย์ย่อย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ในส่วนของ วิธีทำ (รูปภาพ) ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน" และ "ความเร็วสูง" - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
59	จงลดรูปสมการบูลีนที่กำหนดให้ต่อไปนี้ 4) $E = \prod(0, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 15)$	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ส่วนของ โจทย์ย่อย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนด

	 $\therefore E = (A + \bar{B}) \bullet (\bar{B} + \bar{C}) \bullet D$	เอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ในส่วนของ **วิธีทำ (รูปภาพ)** ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน" และ "ความเร็วสูง" - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
60	**4.7.2 การลดรูปโดยการใช้ตารางคาร์นอ (Karnaugh Map) *ต่อ*** ในบางครั้งการใช้ตารางคาร์นอเพื่อลดรูปสมการมักจะเจอสมการที่มี Don't Care รวมอยู่ด้วยซึ่ง Don't Care นี้เมื่อนำไปใส่ในตารางคาร์นอจะใช้สัญลักษณ์ 'd', '-', 'x' หรือสัญลักษณ์อื่นๆ แล้วแต่ผู้แต่งหนังสือแต่ละเล่ม โดยที่ Don't Care นี้เราจะสามารถจับกลุ่มร่วมกับ '1' ในกรณีของ Min Term หรือ '0' ในกรณีของ Max Term ซึ่ง Don't Care นี้เราจะจับกลุ่มด้วยหรือไม่ก็ได้ ถ้าหากการจับ Don't Care เข้ากลุ่มด้วยแล้วทำให้สามารถจับกลุ่มได้ใหญ่ขึ้นก็จะจับเอา Don't Care เข้ากลุ่มเพราะจะทำให้สมการที่ได้สั้นลง ดังตัวอย่างต่อไปนี้	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
61	จงลดรูปสมการบูลีนที่กำหนดให้ต่อไปนี้ 1) $E(A, B, C, D) = A\bar{B}D + \bar{A}\bar{B}D + \bar{A}B\bar{C}D \quad D = \bar{A}BCD + \bar{A}B\bar{C}\bar{D}$	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ส่วนของ โจทย์ย่อย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ในส่วนของ วิธีทำ (รูปภาพ) ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้

	 $A\bar{B}D = A\bar{B}CD + A\bar{B}\bar{C}D$ $\bar{A}\bar{B}D = \bar{A}\bar{B}CD + \bar{A}\bar{B}\bar{C}D$ $\therefore E = \bar{A}D + \bar{B}D = D(\bar{A} + \bar{B})$ (ตามกฎข้อ 8a)	การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” และ “ความเร็วสูง” - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
62	จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของการลดรูปสมการลอจิกที่ได้จากตารางคาร์นอบางครั้งอาจจะไม่ใช้สมการที่สั้นที่สุดจึงจำเป็นต้องอาศัยการพิจารณาจากทฤษฎีของบูลีนเข้าช่วยจงลดรูปสมการบูลีนที่กำหนดให้ต่อไปนี้ 2) $E = \sum(2, 3, 5, 7)$ $D = (1, 4, 6)$  $\therefore E = Y + Z$	- ในส่วนของ คำอธิบาย และ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ส่วนของ โจทย์ย่อย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ” - ในส่วนของ วิธีทำ (รูปภาพ) ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” และ “ความเร็วสูง” - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”

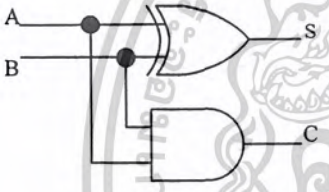
ตารางที่ ก-5 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 4 ฟังก์ชันทางลอจิกและพีชคณิตบูลีน

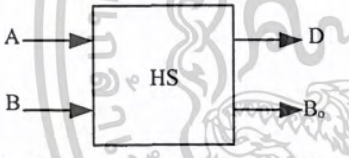
Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	***การสร้างวงจรดิจิตอล (Implement of Digital Circuit)*** ***บทนำ*** หลังจากที่เราได้ศึกษาการทำงานของวงจรลอจิกมาบ้างแล้วจากบทก่อนหน้านี้ เราก็สามารถนำความรู้เรานี้มาสร้างเป็นวงจรที่ใช้งานได้จริง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบวงจรที่มีขนาดใหญ่ต่อไป วงจรที่เป็นพื้นฐานที่น่าศึกษาก็ได้แก่วงจรฮาล์ฟแอดเดอร์ (Half Adder) หรือวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์ (Half Subtractor) ซึ่งถ้าเราสามารถสร้างวงจรพื้นฐานนี้ได้ด้วยตัวเองแล้ว ก็จะส่งผลให้เราสามารถที่จะประยุกต์ใช้กับวงจรที่มีขนาดใหญ่ขึ้นต่อไปนั่นเอง	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
2	***การสร้างวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์*** วงจรฮาล์ฟแอดเดอร์นั้นเป็นวงจรพื้นฐานที่สามารถนำไปสร้างเป็นวงจรชนิดอื่นได้ เช่น วงจรลบ วงจรคูณเลข ต่างๆ เป็นต้น	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
3	***ศึกษาแนวคิดของวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์*** แนวคิดของวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์นี้จะเป็นวงจรบวกเลขที่มีอินพุทเข้ามา 2 ตัว เพื่อนำมาบวกกัน โดยเอาท์พุทของวงจรจะเป็นผลบวก และตัวทด	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลือน”

	โดยบล็อกไดอะแกรมของวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์จะแสดงดังรูปที่ 5-1  *รูปที่ 5-1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์* จากรูปที่ 5-1 นั้น A และ B จะเป็นอินพุทไบนารี่ชนิด 1 บิต ส่วน S คือ ผลบวก C คือตัวทด ในลำดับขั้นตอนต่อไปเราจะสร้างตารางความจริง โดยอ้างอิงจากอินพุทแต่ละชนิด	
4	***สร้างตารางความจริงของวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์*** จากการที่ได้เข้าใจถึงแนวคิดของวงจรแล้ว ต่อไปก็จะเป็นการสร้างตารางความจริง โดยให้เลือกอินพุทในแต่ละรูปแบบเข้ามาเปรียบเทียบ ซึ่งในที่นี้เป็นการบวกทางลอจิก ซึ่งประกอบไปด้วย 4 รูปแบบดังนี้ ● 0 + 0 = 0 ทด 0 ● 0 + 1 = 1 ทด 0 ● 1 + 0 = 1 ทด 0 ● 1 + 1 = 0 ทด 1	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - แสดงการบวกโดยใช้เทคนิค “เลือน” ทีละตัว

5	โดยกำหนดให้ A แทนตัวตั้ง B แทนตัวบวก S แทนผลบวก และ C แทนตัวทด ซึ่งเมื่อแทนค่าต่างๆ ลงในตารางจะเป็นดังตารางที่ 5-1 *ตารางที่ 5-1 ตารางความจริงของวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์*	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - ตารางใช้เทคนิคแถบแยกแบบ “แนวตั้ง” - คำอธิบายตารางใช้เทคนิค “ขยาย”
6	***สร้างสมการทางลอจิกของวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์*** เมื่อเราได้ตารางแล้ว เราก็มาสร้างสมการทางลอจิกของเอาท์พุทแต่ละตัว ซึ่งจะได้สมการในแต่ละตัวดังต่อไปนี้ $S = \overline{A}B + A\overline{B}$ $= A \oplus B$ และ $C = AB$ ซึ่งอธิบายได้ว่า S นั้นจะเป็น “1” นั้นก็ต่อเมื่อ A หรือ B นั้นมีค่าต่างกัน เช่น ถ้า A เป็น “1” B ต้องเป็น “0” หรือถ้า A เป็น “0” B ต้องเป็น “1” เป็นต้น ส่วน C นั้นจะมีค่าเป็น “1” ก็ต่อเมื่อ A และ B มีค่าเป็น “1” นั้นเอง	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - แสดงสมการ โดยใช้เทคนิค “เลือน” ทีละตัว

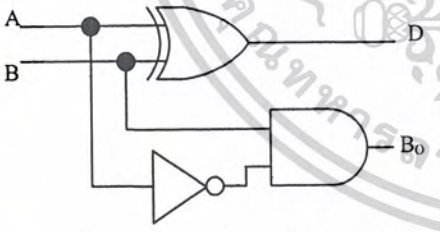
Input		Output	
A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

7	***สร้างวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์*** เมื่อเราได้สมการของ S และ C แล้วเราก็นำอินพุทมาต่อเข้ากับเกตเพื่อให้ได้เอาท์พุทตามสมการ โดยลักษณะการต่อสมการนั้นทำได้โดย S นั้นได้จากการเอา A และ B มาต่อเข้ากับเอ็กคลูซีพออร์เกต ส่วน C นั้นก็คือการเอา A และ B มาต่อเข้ากับเกตแอน ดังรูปที่ 5-2  *รูปที่ 5-2 วงจรสำหรับอาล์ฟแอดเดอร์*	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - รูปแสดงให้เห็นการป้อนอินพุทด้วย และผลของเอาท์พุทที่ได้ด้วย
8	***การนำวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์ไปใช้งาน*** วงจรนี้จะเป็นพื้นฐานในการสร้างวงจรฟูลแอดเดอร์ (Full Adder) โดยจะต้องมีอินพุทเป็นตัวทดอีกหนึ่งตัว จึงจะเป็นวงจรบวกที่สมบูรณ์ ซึ่งเราจะได้ศึกษาอย่างละเอียดในบทที่ 10 เรื่องหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์อีกครั้งหนึ่ง	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
9	***การสร้างวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์***	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

	หลังจากที่ได้ทำการสร้างวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์ไปแล้ว คราวนี้เรามาลองสร้างวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์กันดู โดยหลักการและวิธีการต่างๆ นั้นจะทำตามขั้นตอน 5 ข้อของการสร้างวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์เลย และยึดถือหลักการนี้ในการสร้างวงจรอื่นๆ ต่อไป	
10	***ศึกษาแนวคิดของวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์*** แนวคิดของวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์ก็คือการนำอินพุทสองตัวมาลบกัน ซึ่งการลบกันนั้นจะมีเอาท์พุทคือผลของการลบ และตัวยืมถ้าการลบนั้นตัวตั้งมีค่าน้อยกว่าตัวลบ ซึ่งบล็อกไดอะแกรมของวงจรจะเป็นดังรูปที่ 5-3  *รูปที่ 5-3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์* จากรูป A และ B จะเป็นอินพุทของวงจร โดย A จะเป็นตัวตั้ง ส่วน B นั้นจะเป็นตัวลบ ส่วนผลของการลบออกมาทาง D และถ้าการลบนั้นตัวตั้งมีค่าน้อยกว่าตัวลบก็จะมีการยืม ซึ่งค่าถ้ามีการยืม B_o นั้นก็จะถูกเซตให้เป็น “1” ซึ่งก็จะใช้ไปลบออกจากหลักต่อที่มีค่ามากกว่า	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลือน”

11	***สร้างตารางความจริงของวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์*** ก็เหมือนกับการออกแบบวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์ซึ่งก็คือ ทำได้ด้วยการทดลองให้มีอินพุทแต่ละแบบ เพื่อมาทำการลบกัน ซึ่งมีด้วยกัน 4 รูปแบบดังนี้ ● 0 - 0 = 0 ยืม 0 ● 0 - 1 = 1 ยืม 1 ● 1 - 0 = 1 ยืม 0 ● 1 - 1 = 0 ยืม 0	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - แสดงสมการโดยใช้เทคนิค “เลือน” ทีละตัว
12	โดยกำหนดให้ A แทนตัวตั้ง B แทนตัวลบ D นั้นจะแทนผลของการลบ B_o จะเซตถ้ามีการยืม ซึ่งจะแสดงค่าต่างๆ ดังตารางที่ 5-2 *ตารางที่ 5-2 ตารางความจริงของวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์*	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - ตารางใช้เทคนิคแถบแยกแบบ “แนวตั้ง” - คำอธิบายตารางใช้เทคนิค “ขยาย”

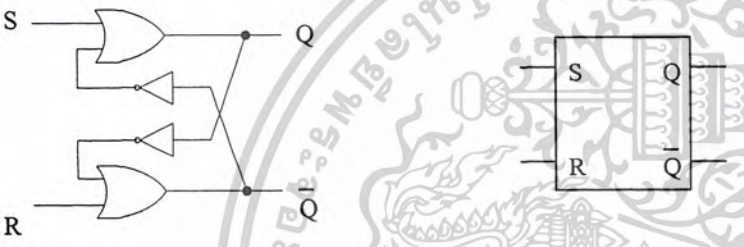
Input		Output	
A	B	D	B_o
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0

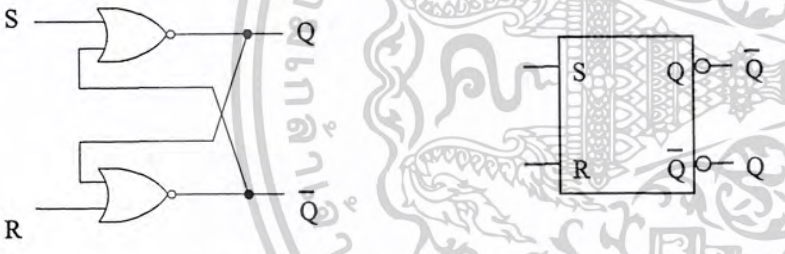
13	***สร้างสมการทางลอจิกของวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์*** จากตารางความจริงของวงจรเราจะได้สมการ โดยสมการของวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์ที่เอาท์พุทแต่ละตัวจะเป็นดังนี้ $D = \overline{A}B + A\overline{B}$ $= A \oplus B$ และ $B_o = \overline{A}B$	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - แสดงสมการโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” ทีละตัว
14	***สร้างวงจรฮาล์ฟซัพแทคเตอร์*** เมื่อได้สมการของเอาท์พุทต่างๆ แล้ว เราก็มาสร้างวงจรกันเลย ซึ่งการต่อวงจรจะเป็นดังรูปที่ 5-4  *รูปที่ 5-4 วงจรสำหรับฮาล์ฟซัพแทคเตอร์*	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - รูปแสดงให้เห็นการป้อนอินพุทด้วย และผลของเอาท์พุทที่ได้ด้วย

15	***การนำวงจรฮาล์ฟแอดเดอร์ไปใช้งาน*** วงจรนี้จะเป็นพื้นฐานในการสร้างวงจรฟูลซัพแทคเตอร์ (Full Subtractor) โดยจะต้องมีอินพุทเป็นตัวทดอีกหนึ่งตัว จึงจะเป็นวงจรบวกที่สมบูรณ์ ซึ่งเราจะได้ศึกษาอย่างละเอียดในบทที่ 10 เรื่องหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์อีกครั้งหนึ่ง	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
16	***การประยุกต์ใช้เพื่อสร้างวงจรชนิดอื่น*** เมื่อได้ทดลองสร้างและออกแบบวงจรตามขั้นตอนต่างๆ แล้วเพื่อให้เป็นพื้นฐานในการสร้างวงจรที่ขนาดใหญ่อีกต่อไป การสร้างวงจรทางดิจิตอลนั้นหากผู้ที่สร้างมีความรู้ความเข้าใจ ในการออกแบบขั้นพื้นฐานต่างๆ ก็สามารถนำไปพัฒนาสร้างวงจรที่มีขนาดใหญ่ได้อีกต่อไป	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

ตารางที่ ก-6 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 5 การสร้างวงจรดิจิตอล

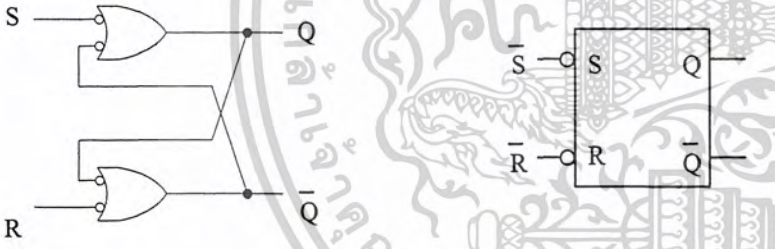
Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	**บทที่ 6** **ฟลิปฟลอป (FLIP-FLOPS)**	- ส่วนของ บทที่ 6 ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ความเร็วสูง"
2	บทนำ อุปกรณ์ที่สามารถจดจำสถานะของวงจรได้เรียกว่า "ไบสเตเบิล" (Bistables) หรือ "ฟลิป-ฟลอป" (FLIP-FLOPS) ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้สามารถเก็บข้อมูลขนาด 1 บิทซึ่งอาจจะเป็นลอจิก '0' หรือลอจิก '1' ในปัจจุบัน FLIP-FLOP มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดก็มีลักษณะแตกต่างกันไปซึ่งจะแสดงให้เห็นในหัวข้อต่อไป	- ส่วนของ บทนำ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ตารางหมากรุก"
3	**หัวข้อเรื่อง** **6.1 R-S FLIP-FLOP** **6.1.1 การสร้าง R-S FLIP-FLOP ด้วย NOR Gate** **6.1.2 การสร้าง R-S FLIP-FLOP ด้วย NAND Gate** **6.1.3 GATED R-S FLIP-FLOP** **6.1.4 การสร้าง GATED R-S FLIP-FLOP ด้วย NAND Gate** **6.1.5 รูปคลื่นของ R-S FLIP-FLOP** **6.2.1 Edge Triggered J-K FLIP-FLOP** **6.2.2 รูปคลื่นของ J-K FLIP-FLOP** **6.3 D FLIP-FLOP** **6.3.1 รูปคลื่นของ D FLIP-FLOP** **6.4 T FLIP-FLOP** **6.4.1 รูปคลื่นของ T FLIP-FLOP**	- ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ แต่ละหัวข้อ (6.1-6.41) ใช้เทคนิค "การเชื่อมโยงหลายมิติ" เพื่อใช้เชื่อมโยงไปยังหน้าของภาพนิ่งที่มีหัวข้อนั้นอยู่

	6.2 J-K FLIP-FLOP	
4	**6.1 R-S FLIP-FLOP** R-S FLIP-FLOP หรือบางครั้งเรียกว่า "S-R FLIP-FLOP" โดยปกติแล้วมีขาอินพุทจำนวน 2 ขา คือ S และ R และขาเอาท์พุทจำนวน 2 ขา คือ Q และ $\overline{Q}$ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6-1  ***รูปที่ 6-1 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ R-S FLIP-FLOP***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
5	**6.1 R-S FLIP-FLOP *ต่อ*** <table><tr><th colspan="2">Input</th><th colspan="2">Output</th><th>ความหมาย</th></tr><tr><td>S</td><td>R</td><td>Q</td><td>$\overline{Q}$</td><td></td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>Q</td><td>$\overline{Q}$</td><td>ไม่เปลี่ยนแปลง</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>รีเซ็ต</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>เซ็ต</td></tr></table>	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน"

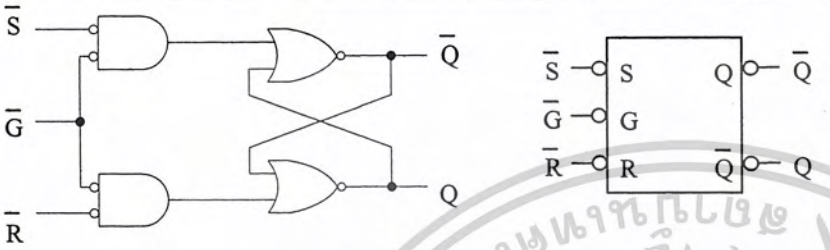
	ตารางที่ 6-1 แสดงตารางความจริงของ R-S FLIP-FLOP	
6	**6.1 R-S FLIP-FLOP** *ต่อ* จากตารางที่ 6-1 ของ R-S FLIP-FLOP จะสังเกตเห็นว่าเอาท์พุท Q จะมีค่าเหมือนกับอินพุท S และเอาท์พุท $\overline{Q}$ มีความเหมือนกับอินพุท R และถ้า S และ R มีค่าเป็น 0 ทั้งคู่ Q และ $\overline{Q}$ ก็จะคงค่าเอาท์พุทเดิมไว้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และถ้า S และ R เป็น 1 ทั้งคู่ก็จะเป็นกรณีที่ไม่มีการใช้งานคือไม่สามารถระบุค่าของเอาท์พุทได้ว่าจะออกมาเป็นอย่างไร	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
7	**6.1.1 การสร้าง R-S FLIP-FLOP ด้วย NOR Gate** R-S FLIP-FLOP ที่สร้างจาก NOR Gate นี้มีขาอินพุท S และ R เหมือนกับ R-S FLIP-FLOP แบบปกติแต่จะต่างกันตรงเอาท์พุทที่จะมีการสลับ Q และ $\overline{Q}$ เท่านั้น  *รูปที่ 6-2 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ R-S FLIP-FLOP ที่สร้างจาก NOR Gate*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
8	**6.1.1 การสร้าง R-S FLIP-FLOP ด้วย NOR Gate** *ต่อ* Input (S, R) / Output (Q, $\overline{Q}$) / ความหมาย	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน"

0	0	Q	$\overline{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
0	1	0	1	รีเซ็ต
1	0	1	0	เซ็ต
1	1	-	-	ไม่ใช้งาน

ตารางที่ 6-2 แสดงตารางความจริงของ R-S FLIP-FLOP ที่สร้างจาก NOR Gate

9	**6.1.2 การสร้าง R-S FLIP-FLOP ด้วย NAND Gate** R-S FLIP-FLOP ที่สร้างจาก NAND Gate นั้นจะต่างจาก R-S FLIP-FLOP แบบปกติเพียงเล็กน้อยคืออินพุท S และ R นั้นเป็นแบบ Active Low คืออินพุท S และ R ต้องการสัญญาณที่เป็น '0' ซึ่งจะต่างจาก R-S FLIP-FLOP แบบปกติที่เป็น Active High ซึ่งต้องการอินพุทเป็น '1'  ***รูปที่ 6-3 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ R-S FLIP-FLOP ที่สร้างจาก NAND Gate***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
10	**6.1.2 การสร้าง R-S FLIP-FLOP ด้วย NAND Gate *ต่อ***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"

	<table><tr><th colspan="2">Input</th><th colspan="2">Output</th><th rowspan="2">ความหมาย</th></tr><tr><th>$\overline{S}$</th><th>$\overline{R}$</th><th>Q</th><th>$\overline{Q}$</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>-</td><td>-</td><td>ไม่ใช้งาน</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>เซ็ต</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>รีเซ็ต</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>Q</td><td>$\overline{Q}$</td><td>ไม่เปลี่ยนแปลง</td></tr></table> ***ตารางที่ 6-3 แสดงตารางความจริงของ R-S FLIP-FLOP ที่สร้างจาก NAND Gate*** จากตารางความจริงของ R-S FLIP-FLOP ที่สร้างจาก NAND Gate นั้นจะมีเอาท์พุทที่ตรงข้ามกับ R-S FLIP-FLOP แบบปกติเนื่องจากอินพุทที่รับเข้ามาเป็น Active Low ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้จึงมีลักษณะตรงข้าม	- ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
11	**6.1.3 GATED R-S FLIP-FLOP** R-S FLIP-FLOP ที่มีขาควบคุมเอาท์พุทเราเรียกว่า “GATED R-S FLIP-FLOP” ซึ่งตัวอย่างของ GATED R-S FLIP-FLOP ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 6-4 นั้นเป็นชนิดที่มีขาอินพุทและเอาท์พุทแบบ Active Low ซึ่งขา G (Gate) ที่เพิ่มเข้ามานี้ทำหน้าที่ควบคุมว่าจะให้เอาท์พุทเปลี่ยนแปลงตามอินพุทหรือว่าจะให้คงค่าเดิมไว้	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”



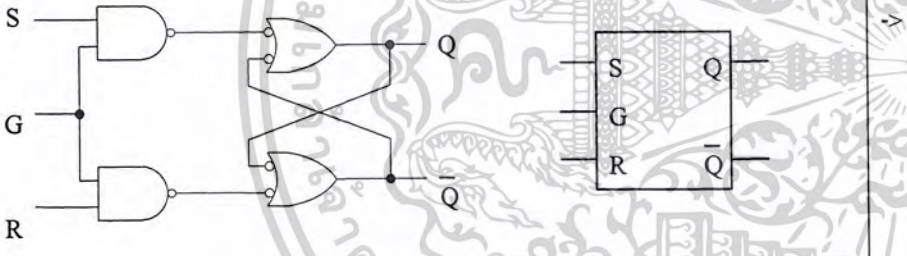
รูปที่ 6-4 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ GATED R-S FLIP-FLOP

12

6.1.3 GATED R-S FLIP-FLOP *ต่อ*

Input			Output		ความหมาย
$\bar{S}$	$\bar{R}$	$\bar{G}$	Q	$\bar{Q}$	
0	0	0	-	-	ไม่ใช้งาน
0	0	1	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
0	1	0	1	0	เซ็ต
0	1	1	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
1	0	0	0	1	รีเซ็ต
1	0	1	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
1	1	0	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
1	1	1	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง

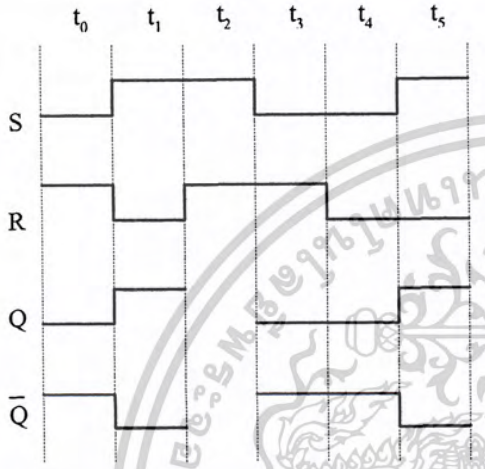
- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
- ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลื่อน”

	ตารางที่ 6-4 แสดงตารางความจริงของ GATED R-S FLIP-FLOP	
13	**6.1.3 GATED R-S FLIP-FLOP** *ต่อ* จากตารางความจริงของ GATED R-S FLIP-FLOP จะสังเกตเห็นว่าเมื่อขา G ได้รับอินพุทที่เป็น '1' แล้วเอาท์พุทจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากขา G นั้น Active Low ดังนั้นอินพุทที่เข้ามาต้องเป็น '0' จึงจะมีการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทตามค่าของอินพุทที่เข้ามายังขา S และ R	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
14	**6.1.4 การสร้าง GATED R-S FLIP-FLOP ด้วย NAND Gate** จาก 6.1.3 ได้แสดงให้เห็น GATED R-S FLIP-FLOP ที่เป็นแบบ Active Low แล้วต่อไปนี้จะเป็นการแสดงตัวอย่างของ GATED R-S FLIP-FLOP ที่เป็นแบบ Active High ที่สร้างจาก NAND Gate  *รูปที่ 6-5 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ GATED R-S FLIP-FLOP ที่สร้างจาก NAND Gate*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
15	**6.1.4 การสร้าง GATED R-S FLIP-FLOP ด้วย NAND Gate** *ต่อ* Input | Output | ความหมาย	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

			-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน"
16	**6.1.4 การสร้าง GATED R-S FLIP-FLOP ด้วย NAND Gate ต่อ** จากตารางที่ 6-5 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออินพุทที่ขา G เป็น '0' จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทเนื่องจากขา G เป็นแบบ Active High และเมื่อขา G ได้รับอินพุท '1' ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทเหมือนกับ R-S FLIP-FLOP แบบปกติ	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
17	**6.1.5 รูปคลื่นของ R-S FLIP-FLOP**	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

S	R	G	Q	$\bar{Q}$	
0	0	0	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
0	0	1	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
0	1	0	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
0	1	1	0	1	รีเซ็ต
1	0	0	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
1	0	1	1	0	เซ็ต
1	1	0	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
1	1	1	-	-	ไม่ใช้งาน

ตารางที่ 6-5 แสดงตารางความจริงของ GATED R-S FLIP-FLOP ที่สร้างจาก NAND Gate



รูปที่ 6-6 แสดงตัวอย่างรูปคลื่นของ R-S FLIP-FLOP

18

6.1.5 รูปคลื่นของ R-S FLIP-FLOP

จากรูปที่ 6-6

ณ เวลา t_0 อินพุท S = 0, R = 1 หมายถึงรีเซ็ต ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 0, $\bar{Q}$ = 1

ณ เวลา t_1 อินพุท S = 1, R = 0 หมายถึงเซ็ต ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 1, $\bar{Q}$ = 0

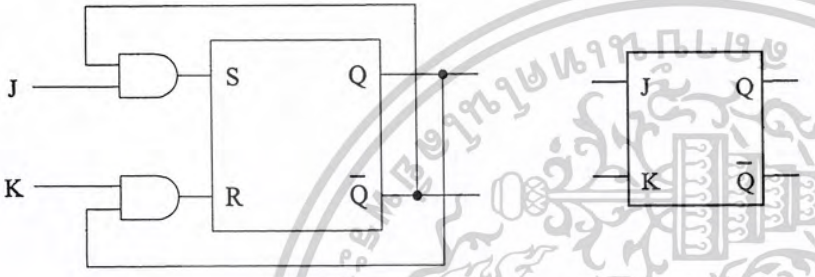
ณ เวลา t_2 อินพุท S = 1, R = 1 ไม่มีนิยาม ดังนั้นจึงไม่มีการแสดงเอาท์พุท

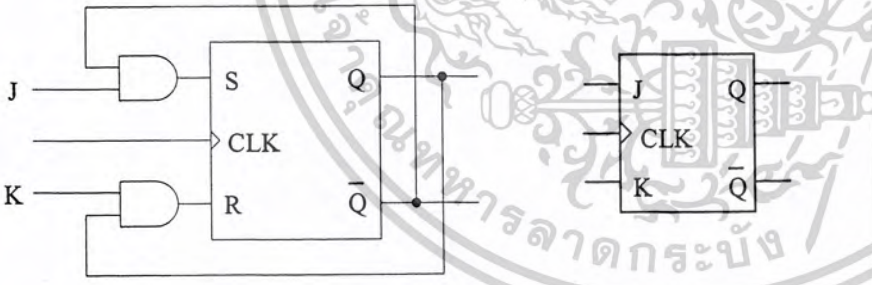
ณ เวลา t_3 อินพุท S = 0, R = 1 หมายถึงรีเซ็ต ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 0, $\bar{Q}$ = 1

ณ เวลา t_4 อินพุท S = 0, R = 0 คือไม่เปลี่ยน ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 0, $\bar{Q}$ = 1

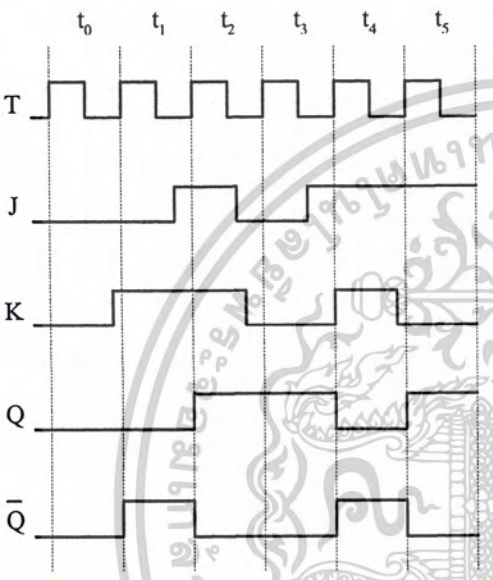
ณ เวลา t_1 อินพุท S = 1, R = 0 หมายถึงเซ็ต ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 1, $\bar{Q}$ = 0

- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
- ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”

19	**6.2 J-K FLIP-FLOP** เนื่องจาก R-S FLIP-FLOP นั้นมีปัญหากับอินพุทที่เป็น '1' ทั้งคู่ดังนั้นจึงได้มีการสร้าง J-K FLIP-FLOP ขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้  *รูปที่ 6-7 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ J-K FLIP-FLOP*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
20	**6.2 J-K FLIP-FLOP *ต่อ*** Input: J, K; Output: Q, $\bar{Q}$; ความหมาย 0 0 0 0 ไม่เปลี่ยนแปลง 0 1 0 1 รีเซ็ต 1 0 1 0 เซ็ต 1 1 $\bar{Q}$ Q สลับเอาท์พุท	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

	ตารางที่ 6-6 แสดงตารางความจริงของ J-K FLIP-FLOP จากตารางที่ 6-6 แสดงให้เห็นเอาท์พุทที่ได้จาก J-K FLIP-FLOP ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ R-S FLIP FLOP แต่จะต่างกันตรงที่เมื่อมีอินพุทเป็น '1' ทั้งคู่ในกรณีของ J-K FLIP-FLOP จะทำการสลับเอาท์พุทจาก Q เป็น $\overline{Q}$ และ $\overline{Q}$ เป็น Q	
21	**6.2.1 Edge Triggered J-K FLIP-FLOP** ในวงจรดิจิตอลส่วนใหญ่มักจะมีสัญญาณนาฬิกา (Clock) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้ยกตัวอย่างของ J-K FLIP-FLOP ที่มีการทำงานโดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกระตุ้น (Trigger) จากรูปที่ 6-8 แสดง J-K FLIP-FLOP ชนิด Positive Edge Triggered ซึ่งจะทำงานเมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้น จะต่างจากแบบ Negative Edge Triggered ที่จะทำงานในขอบขาลง ของสัญญาณนาฬิกา	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
22	**6.2.1 Edge Triggered J-K FLIP-FLOP *ต่อ*** 	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

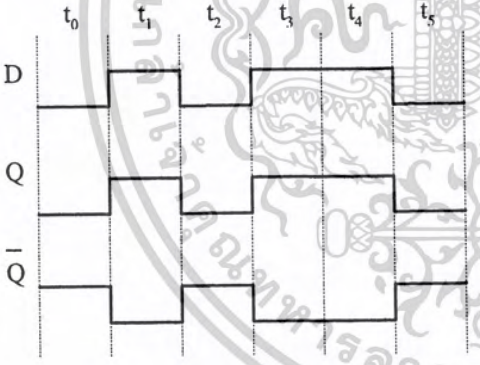
	รูปที่ 6-8 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ Positive Edge Triggered J-K FLIP-FLOP	
23	**6.2.1 Edge Triggered J-K FLIP-FLOP** *ต่อ* Input: J, K, T — Output: Q, $\overline{Q}$ — ความหมาย 0 0 ↑ 0 0 ไม่เปลี่ยนแปลง 0 1 ↑ 0 1 รีเซ็ต 1 0 ↑ 1 0 เซ็ต 1 1 ↑ $\overline{Q}$ Q สลับเอาท์พุท ***ตารางที่ 6-7 แสดงตารางความจริงของ Positive Edge Triggered J-K FLIP-FLOP*** จากตารางที่ 6-7 จะสังเกตเห็นว่ามีอินพุตเพิ่มเข้ามาคือ T ซึ่งก็คือสัญญาณนาฬิกา และเมื่อพิจารณาจากอินพุทและเอาท์พุทก็จะเห็นว่ามีลักษณะเหมือนกับ J-K FLIP-FLOP แบบปกติ (6.2) จะ	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
24	**6.2.2 รูปคลื่นของ J-K FLIP-FLOP**	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

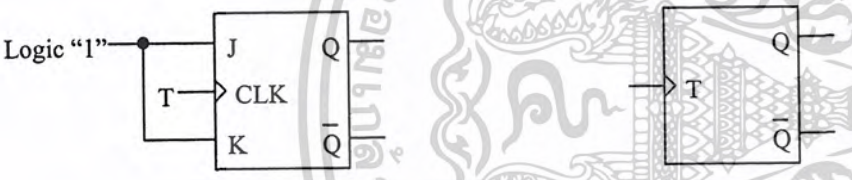


รูปที่ 6-9 แสดงตัวอย่างรูปคลื่นของ Positive Edge Triggered J-K FLIP-FLOP

25	**6.2.2 รูปคลื่นของ J-K FLIP-FLOP** *ต่อ* จากรูปที่ 6-9 ณ เวลา t_0 อินพุท J = 0, K = 0 หมายถึงไม่เปลี่ยน ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 0, $\overline{Q}$ = 0 ณ เวลา t_1 อินพุท J = 0, K = 1 หมายถึงรีเซ็ต ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 0, $\overline{Q}$ = 1	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

	ณ เวลา t_2 อินพุท J = 1, K = 1 หมายถึงสลับเอาท์พุท ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 1, $\overline{Q}$ = 0 ณ เวลา t_3 อินพุท J = 0, K = 0 หมายถึงไม่เปลี่ยน ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 1, $\overline{Q}$ = 0 ณ เวลา t_4 อินพุท J = 1, K = 1 หมายถึงสลับเอาท์พุท ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 0, $\overline{Q}$ = 1 ณ เวลา t_1 อินพุท J = 1, K = 0 หมายถึงเซ็ต ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 1, $\overline{Q}$ = 0	
26	**6.3 D FLIP-FLOP** นอกจาก R-S FLIP-FLOP สามารถนำมาสร้างเป็น J-K FLIP-FLOP ยังสามารถสร้างเป็น D FLIP-FLOP ได้อีกด้วยดังที่ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 6.3a ซึ่ง D FLIP-FLOP นี้มีอินพุทเพียงอินพุทเดียวคือ D แต่เอาท์พุทก็ยังมีสองเอาท์พุทคือ Q และ $\overline{Q}$ อยู่เหมือนเดิม ***รูปที่ 6-10 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ D FLIP-FLOP***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
27	**6.3 D FLIP-FLOP *ต่อ***	- ส่วนของ **หัวข้อ** ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลื่อน” - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนด

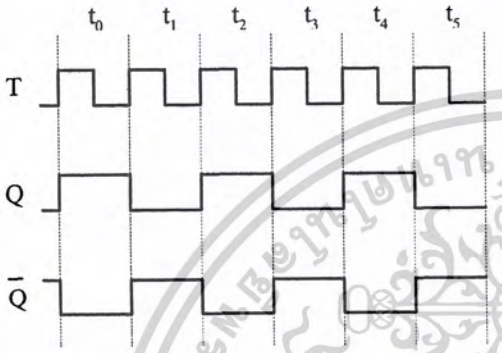
	<table><tr><th>Input</th><th colspan="2">Output</th><th>ความหมาย</th></tr><tr><td>D</td><td>Q</td><td>$\overline{Q}$</td><td></td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>รีเซ็ต</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>เซ็ต</td></tr></table> ***ตารางที่ 6-8 แสดงตารางความจริงของ D FLIP-FLOP*** จากตารางความจริงของ D FLIP-FLOP นั้นแสดงให้เห็นว่าเมื่ออินพุทเป็น '0' เอาท์พุทที่ได้คือ Q = '0' ซึ่งหมายถึงรีเซ็ต และถ้าอินพุทเป็น '1' เอาท์พุทที่ได้คือ Q = '1' ซึ่งหมายถึงเซ็ต	เอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
28	**6.3.1 รูปคลื่นของ D FLIP-FLOP**  ***รูปที่ 6-11 แสดงตัวอย่างรูปคลื่นของ D FLIP-FLOP***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

	จากรูปที่ 6-11 ณ เวลา t_0 , t_2 , t_5 อินพุท D = 0 หมายถึงรีเซ็ต ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 0, $\overline{Q}$ = 1 ณ เวลา t_1 , t_3 , t_4 อินพุท D = 1 หมายถึงเซ็ต ดังนั้นเอาท์พุทที่ได้คือ Q = 1, $\overline{Q}$ = 0	
29	**6.4 T FLIP-FLOP** นอกจาก D FLIP-FLOP ที่เป็น FLIP-FLOP ที่มีเพียงอินพุทเดียวยังมี FLIP-FLOP อีกชนิดหนึ่งที่มีอินพุทเดียวเหมือนกันคือ T FLIP-FLOP ซึ่ง T FLIP-FLOP นี้มีการทำงานที่ต้องข้ามกับ D FLIP-FLOP  *รูปที่ 6-12 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ T FLIP-FLOP*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์คีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
30	**6.4 T FLIP-FLOP *ต่อ***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์คีดสี" - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน"

Input	Output		
T	Q (Present State)	Q+ (Next State)	$\overline{Q}$+ (Next State)
↓	0	0	1
↑	0	1	0
↓	1	1	0
↑	1	0	1

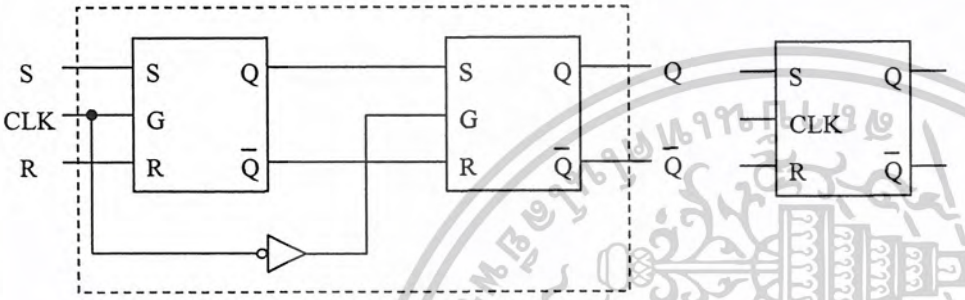
ตารางที่ 6-9 แสดงตารางความจริงของ T FLIP-FLOP

31	**6.4 T FLIP-FLOP *ต่อ*** จากตารางที่ 6-9 แสดงให้เห็นการทำงานของ T FLIP-FLOP ซึ่งเมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้น ↑ จะมีการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุท Q จากสถานะปัจจุบัน (Present State) ไปเป็นสถานะถัดไป (Next State) คือถ้าเอาท์พุทปัจจุบันเป็น '0' สถานะถัดไปของเอาท์พุทคือ '1' และถ้าเอาท์พุทปัจจุบันเป็น '1' สถานะถัดไปของเอาท์พุทคือ '0' นั่นเอง	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
32	**6.4.1 รูปคลื่นของ T FLIP-FLOP**	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

	 *รูปที่ 6-13 แสดงตัวอย่างรูปคลื่นของ D FLIP-FLOP*	
33	**6.4.1 รูปคลื่นของ T FLIP-FLOP** *ต่อ* จากรูปที่ 6-13 ณ เวลาก่อน t_0 จากเดิมเอาท์พุท Q = 0 เมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้นที่ t_0 จะได้ Q = 1 ณ เวลา t_0 เอาท์พุท Q = 1 เมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้นที่ t_1 จะได้ Q = 0 ณ เวลา t_1 เอาท์พุท Q = 0 เมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้นที่ t_2 จะได้ Q = 1 ณ เวลา t_2 เอาท์พุท Q = 1 เมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้นที่ t_3 จะได้ Q = 0 ณ เวลา t_3 เอาท์พุท Q = 0 เมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้นที่ t_4 จะได้ Q = 1 ณ เวลา t_4 เอาท์พุท Q = 1 เมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้นที่ t_5 จะได้ Q = 0	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”

ตารางที่ ก-7 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 6 ฟลิปฟลอป ตอนที่ 1

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	**บทที่ 6 (ตอนที่ 2)** **ฟลิปฟลอป (FLIP-FLOPS)**	- ส่วนของ บทที่ 6 ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ความเร็วสูง"
2	**หัวข้อเรื่อง** **6.5 Master-Slave R-S FLIP-FLOP** **6.6 Positive Edge Triggered D FLIP-FLOP** **6.7 Negative Edge Triggered D FLIP-FLOP** **6.8 Master-Slave J-K FLIP-FLOP**	- ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ แต่ละหัวข้อ (6.5-6.8) ใช้เทคนิค "การเชื่อมโยงหลายมิติ" เพื่อใช้เชื่อมโยงไปยังหน้าของภาพนิ่งที่มีหัวข้อนั้นอยู่
3	**6.5 Master-Slave R-S FLIP-FLOP** Master-Slave R-S FLIP-FLOP เป็นการนำ GATED R-S FLIP-FLOP มาต่อกันโดยที่ตัวที่เป็น Master จะต่อสัญญาณนาฬิกาเข้ากับขาเกตซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของFLIP-FLOPและ Slave จะต่อสัญญาณนาฬิกาเข้ากับขาเกตโดยผ่าน Inverter ที่เป็นชนิด Active Low ดังนั้น Master และ Slave จะทำงานก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาที่เป็น High Level (เนื่องจากขาเกตรับอินพุทแบบ Level Triggered ไม่ใช่ Edge Triggered)	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
4	**6.5 Master-Slave R-S FLIP-FLOP *ต่อ***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง



รูปที่ 6-14 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ Master-Slave R-S FLIP-FLOP

-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

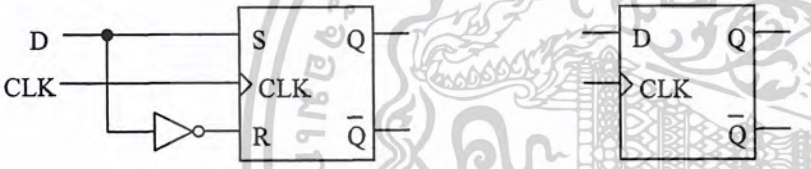
5

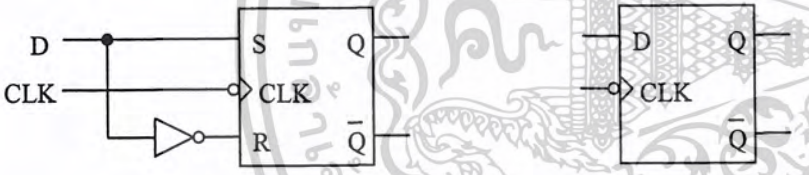
6.5 Master-Slave R-S FLIP-FLOP *ต่อ*

Input			Output		ความหมาย
S	R	CLK	Q	$\bar{Q}$	
0	0	⎍	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
0	1	⎍	0	1	รีเซ็ต
1	0	⎍	1	0	เซ็ต
1	1	⎍	-	-	ไม่ใช้งาน

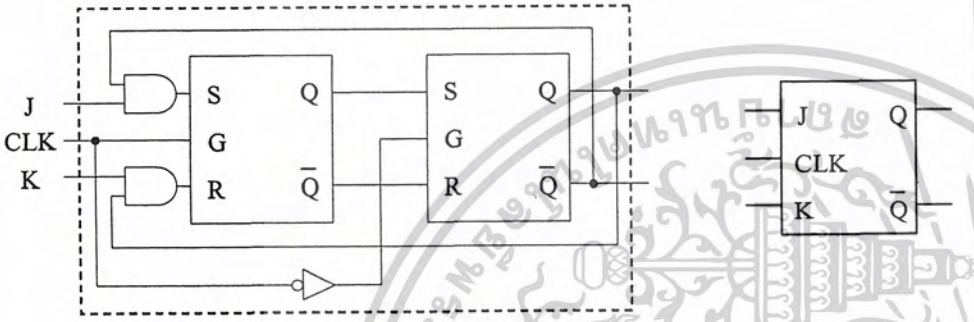
ตารางที่ 6-10 แสดงตารางความจริงของ Master-Slave R-S FLIP-FLOP

- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
- ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน”
- ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”

	จากตารางความจริงของ Master-Slave R-S FLIP-FLOP แสดงให้เห็นว่าเอาท์พุทที่ได้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อ Slave ทำงานเนื่องจากเอาท์พุทที่ได้มาจาก Slave	
6	**6.6 Positive Edge Triggered D FLIP-FLOP** FLIP-FLOPชนิดนี้จะมีลักษณะของการทำงานเหมือนกับ D FLIP-FLOP แบบธรรมดาแต่จะควบคุมการทำงานโดยใช้สัญญาณนาฬิกาซึ่งมันจะทำงานเมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้นและเมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาในขอบขาลงมันจะไม่ทำงานโดยเอาท์พุทจะคงค่าเดิมไว้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง  ***รูปที่ 6-15 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ Positive Edge Triggered D FLIP-FLOP***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
7	**6.6 Positive Edge Triggered D FLIP-FLOP *ต่อ*** Input: D, CLK — Output: Q, $\bar{Q}$ — ความหมาย 0, ↓ : Q=0, $\bar{Q}$=1 — รีเซ็ต 1, ↓ : Q=1, $\bar{Q}$=0 — เซ็ต	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลื่อน” - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”

	ตารางที่ 6-11 แสดงตารางความจริงของ Positive Edge Triggered D FLIP-FLOP จากตารางความจริงของ Positive Edge Triggered D FLIP-FLOP เมื่ออินพุท D = '0' และอินพุทที่เป็นสัญญาณนาฬิกา (CLK) เป็นขอบขาขึ้นเอาท์พุท Q = '0' หมายถึงรีเซ็ต และเมื่ออินพุท D = '1'สัญญาณนาฬิกา (CLK) ที่เข้ามาเป็นขอบขาขึ้นเอาท์พุท Q = '1' หมายถึงเซ็ต	
8	**6.7 Negative Edge Triggered D FLIP-FLOP** FLIP-FLOPชนิดนี้จะมีลักษณะของการทำงานเหมือนกับ Positive Edge Triggered D FLIP-FLOP แต่จะควบคุมการทำงานโดยใช้สัญญาณนาฬิกาขอบขาลงและเมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาในขอบขาขึ้นมันจะไม่ทำงานโดยเอาท์พุทจะคงค่าเดิมไว้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง  ***รูปที่ 6-16 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ Negative Edge Triggered D FLIP-FLOP***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
9	**6.7 Negative Edge Triggered D FLIP-FLOP *ต่อ***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลื่อน" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนด

	<table><tr><th colspan="2">Input</th><th colspan="2">Output</th><th rowspan="2">ความหมาย</th></tr><tr><td>D</td><td>CLK</td><td>Q</td><td>$\overline{Q}$</td></tr><tr><td>0</td><td>↓</td><td>0</td><td>1</td><td>รีเซ็ต</td></tr><tr><td>1</td><td>↓</td><td>1</td><td>0</td><td>เซ็ต</td></tr></table> ***ตารางที่ 6-12 แสดงตารางความจริงของ Negative Edge Triggered D FLIP-FLOP*** จากตารางความจริงของ Negative Edge Triggered D FLIP-FLOP เมื่ออินพุท D = '0' และอินพุทที่เป็นสัญญาณนาฬิกา (CLK) เป็นขอบขาลงเอาท์พุท Q = '0' หมายถึงรีเซ็ต และเมื่ออินพุท D = '1'สัญญาณนาฬิกา (CLK) ที่เข้ามาเป็นขอบขาลงเอาท์พุท Q = '1' หมายถึงเซ็ต	เอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
10	**6.8 Master-Slave J-K FLIP-FLOP** Master-Slave J-K FLIP-FLOP เป็นการนำ GATED R-S FLIP-FLOP มาต่อกันโดยที่ตัวที่เป็น Master จะต่อสัญญาณนาฬิกาเข้ากับขาเกตซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของFLIP-FLOPและที่อินพุท S และ R จะต่อกับแอนด์เกตแบบสองอินพุทที่มีขาหนึ่งจะเป็นอินพุท J และ K ส่วนอีกขาหนึ่งจะต่อกับเอาท์พุทจาก Slave เพื่อที่จะแปลงให้เป็น J-K FLIP-FLOP หลักการทำงานของ Master-Slave J-K FLIP-FLOP จะเหมือนกับ Master-Slave R-S FLIP-FLOP	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
11	**6.8 Master-Slave J-K FLIP-FLOP *ต่อ***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"



รูปที่ 6-17 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ Master-Slave J-K FLIP-FLOP

12 **6.8 Master-Slave J-K FLIP-FLOP** *ต่อ*

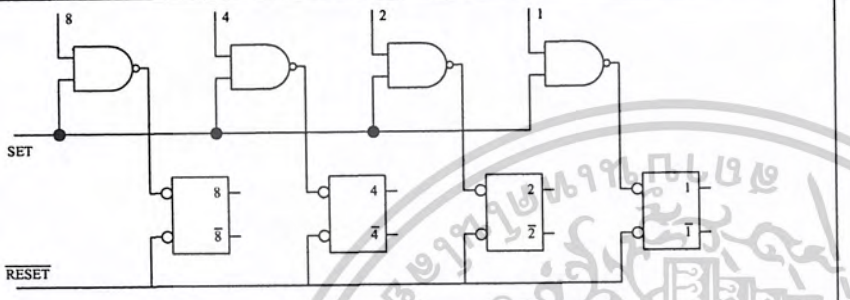
Input			Output		ความหมาย
J	K	CLK	Q	$\bar{Q}$	
0	0	⎍	Q	$\bar{Q}$	ไม่เปลี่ยนแปลง
0	1	⎍	0	1	รีเซ็ต
1	0	⎍	1	0	เซ็ต
1	1	⎍	$\bar{Q}$	Q	สลับเอาท์พุท

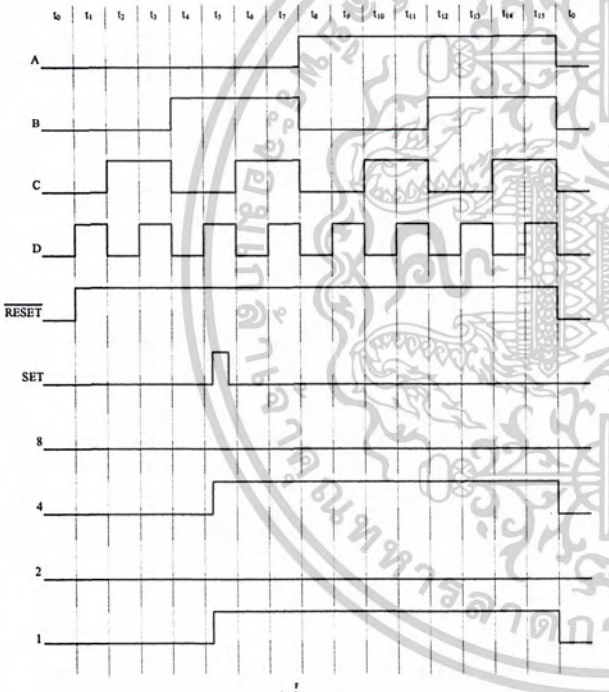
- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
- ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน"
- ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

	จากตารางความจริงของ Master-Slave J-K FLIP-FLOP แสดงให้เห็นว่าเอาท์พุทที่ได้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อ Slave ทำงานซึ่งมีลักษณะการทำงานเหมือนกับ Master-Slave R-S FLIP-FLOP แต่จะต่างกันเพียงนิดเดียวตรงที่เมื่ออินพุทเป็น '1' ทั้ง J และ K เอาท์พุทที่ได้ก็จะสลับกันกับเอาท์พุทเดิม	

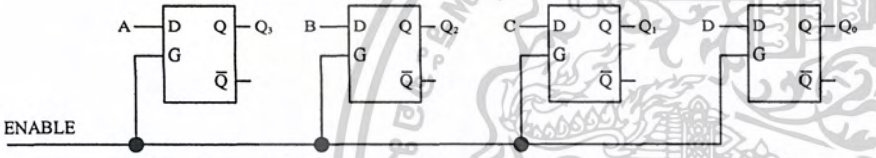
ตารางที่ ก-8 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 6 ฟลิปฟลอป ตอนที่ 2

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	***รีจิสเตอร์ (Register)*** ***บทนำ*** ฟลิปฟลอปจะถูกใช้ในการเก็บข้อมูลแต่ละบิต ข้อมูลเช่นเลขฐานสอง ข้อมูลที่ใช้ในการถอดรหัสเลขฐานสอง ข้อมูลที่ใช้เก็บรหัสของตัวอักษร ล้วนแล้วแต่ต้องการใช้ฟลิปฟลอปจำนวนมากทั้งนั้น เมื่อฟลิปฟลอปได้ถูกนำมาต่อรวมกันเป็นวงจรให้สามารถเก็บข้อมูลได้หลายๆ บิต มันจะถูกเรียกว่า รีจิสเตอร์	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
2	รีจิสเตอร์จะถูกจัดแบ่งออกเป็นสองชนิดขึ้นอยู่กับการทำงานในการจัดเก็บข้อมูล และการนำข้อมูลออกมาใช้ ยกตัวอย่างเช่นถ้าฟลิปฟลอปทุกตัวในรีจิสเตอร์ได้ถูกใช้งานในเวลาพร้อมๆ กัน เราจะเรียกรีจิสเตอร์ชนิดนี้ว่าพาราแรลรีจิสเตอร์(Parallel Register) แต่ถ้าข้อมูลที่เข้าสู่รีจิสเตอร์หรือออกมาจากรีจิสเตอร์แต่ละครั้งใช้เพียง 1 บิต เราจะเรียกรีจิสเตอร์ชนิดนี้ว่าซีเรียล (Serial) หรือชิพรีจิสเตอร์ (Shift Register) สำหรับรีจิสเตอร์ที่ถูกใช้ในคอมพิวเตอร์จะเก็บข้อมูลเป็นจำนวนหลายบิต	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
3	***อะซิงโครนัส พาราแรล เอนทรี (Asynchronous Parallel Entry)***	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลือน”

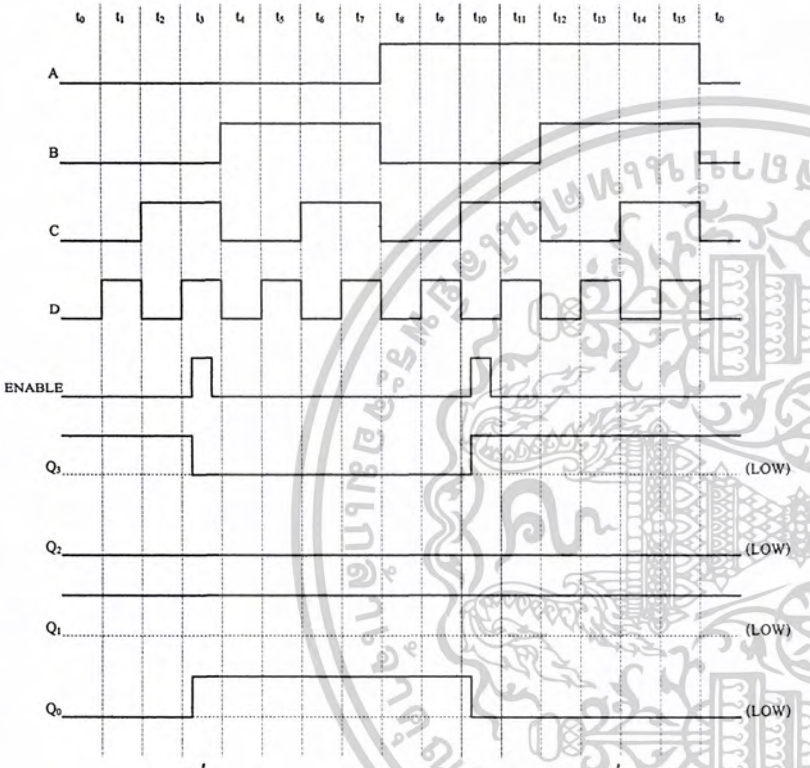
	 *รูปที่ 7-1 Parallel Entry*	
4	จากรูปที่ 7-1 แสดงรีจิสเตอร์ 4 บิตที่ใช้อะซิงโครนัสพาราแรลเอนทรี ในที่นี่ใช้วงจรอาร์เอสฟลิปฟลอป ก่อนที่ข้อมูลจะสามารถถูกส่งเข้ามาได้ ข้อมูลในรีจิสเตอร์ต้องถูกลบไปก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการแอกทีฟขารีเซ็ต (RESET) โดยป้อน “0” เพื่อรีเซ็ตฟลิปฟลอบทุกตัว ข้อมูลที่จะส่งเข้ามายังฟลิปฟลอบต้องไปรอที่ขาอินพุตของเกต เมื่อขาเซ็ต (SET) แอกทีฟข้อมูลที่อยู่ที่เกตก็จะถูกส่งเข้ามายังฟลิปฟลอบแต่ละตัว ซึ่งก็หมายความว่าถ้าต้องการให้ขาเซ็ตของฟลิปฟลอบทำงานข้อมูลที่เป็นอินพุตของเกตต้องเป็น “1” ทั้งตัวข้อมูลเองและขาเซ็ต (SET) ด้วย โดยเอาท์พุตที่ได้ของเกตจะเป็น “0” และจะไปแอกทีฟขาเซ็ต (SET) ของฟลิปฟลอปให้ทำงาน เนื่องจากฟลิปฟลอปนี้เป็นชนิดแอกทีฟโลว์ (LOW)	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

5	ที่เราเรียกการทำงานชนิดนี้ว่าอะซิงโครนัส(Asynchronous) ก็เพราะว่ามันไม่ต้องการใช้สัญญาณนาฬิกา (Clock) ในการทำงาน ข้อดีของวงจรนี้ก็คือเข้าใจง่าย ข้อเสียของวงจรชนิดนี้ก็คือฟลิปฟลอบต้องถูกรีเซ็ตก่อนเพื่อที่ข้อมูลที่เข้ามาใหม่จะสามารถจัดเก็บได้	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
6	 *รูปที่ 7-2*	- คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลื่อน”

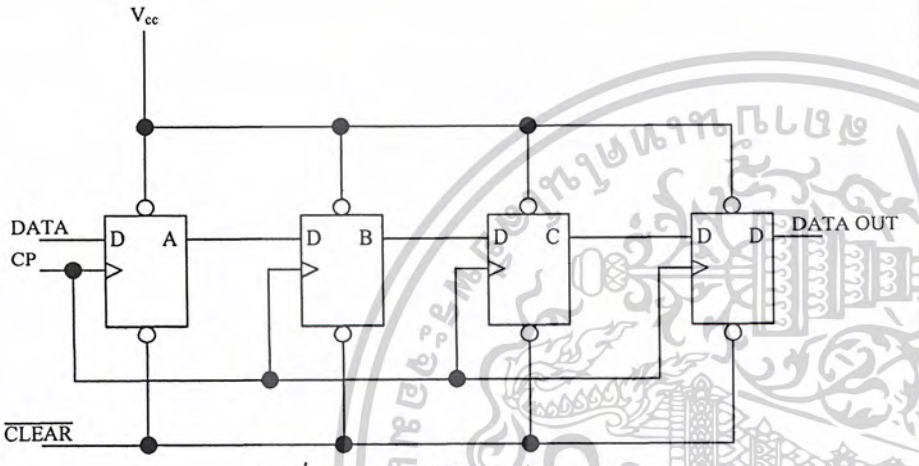
7	รูปที่ 7-2 เป็นรูปคลื่นที่แสดงผลในแต่ละครั้งที่มีข้อมูลเข้ามา จะสังเกตเห็นได้ว่าที่ t_0 ขา RESET จะถูกแอกทีฟซึ่งก็คือป้อนลอจิก "0" ซึ่งจะส่งผลให้ฟลิปฟลอบแต่ละตัวถูกรีเซ็ตค่าต่างๆ ให้เป็น "0" จนกว่าขา SET จะแอกทีฟ ในรูปขา SET ถูกแอกทีฟที่ t_5 ซึ่งค่าต่างๆ มีดังนี้ ค่า A เป็นค่า LOW ค่า B เป็น HIGH ค่า C เป็น LOW และค่า D เป็น HIGH (ซึ่งก็ได้เลขฐานสองคือ 0101_2) ค่านี้จะถูกเตรียมพร้อมอยู่ที่เกตจนกว่าขา SET จะถูกแอกทีฟเพื่อที่ถูกส่งไปให้ฟลิปฟลอบ สังเกตว่าค่า 0101_2 จะถูกเก็บไว้จนกว่า t_0 ตัวใหม่จะเข้ามาซึ่งก็คือการทำการรีเซ็ตรีจิสเตอร์อีกครั้ง	- เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
8	การทำงานของพาราแรลเอนทรีจะส่งค่าอินพุตไปยังวงจรแลช (Latch) โดยตรง ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นฟลิปฟลอบชนิดไหนที่จะนำมาสร้างเป็นรีจิสเตอร์นั้น จะต้องมีขาเซ็ตและขารีเซ็ตต่อไว้โดยตรงเพื่อที่จะได้ถูกใช้งาน เมื่อ J-K หรือ D ฟลิปฟลอปถูกใช้งานจะต้องมีการรีเซ็ตตัวรีจิสเตอร์เพื่อกำหนดค่าเริ่มต้นด้วยการให้ค่าอินพุทนั้นเป็นอิสระเพื่อที่จะรอรับค่าฟังก์ชั่นต่างๆ เข้ามา	- เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
9	***ซิงโครนัสพาราแรลเอนทรี (Synchronous Parallel Entry)*** รูปที่ 7-3 แสดงรีจิสเตอร์ชนิด 4 บิตที่สร้างจากวงจรซิงโครนัสพาราแรลเอนทรีที่ถูกเรียกว่าเป็นซิงโครนัสเพราะว่าข้อมูลจะเข้ามาได้นั้นจะต้องถูกส่งเข้ามาพร้อมกับสัญญาณนาฬิกา ซึ่งจะต่อเข้ากับขา G ของฟลิปฟลอบ (ขาทริกเกอร์	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

	ของมาสเตอร์สลาฟฟลิปฟลอบ) รีจิสเตอร์ในรูปใช้เกต D ฟลิปฟลอบ เมื่อขา ENABLE เป็นค่า HIGH ข้อมูลก็จะถูกส่งเข้ามายังฟลิปฟลอบและข้อมูลที่เข้ามา ณ เวลานี้จะไปอยู่ที่เอาท์พุต เมื่อขา ENABLE เข้าสู่สภาวะ LOW ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในฟลิปฟลอบ	
10	 *รูปที่ 7-3 รีจิสเตอร์ชนิด 4 บิตที่สร้างจากวงจรซิงโครนัสพาราแรลเอนทรี*	- คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลื่อน” - รูปนั้นต้องแสดงอุปกรณ์ให้เห็นทีละตัว

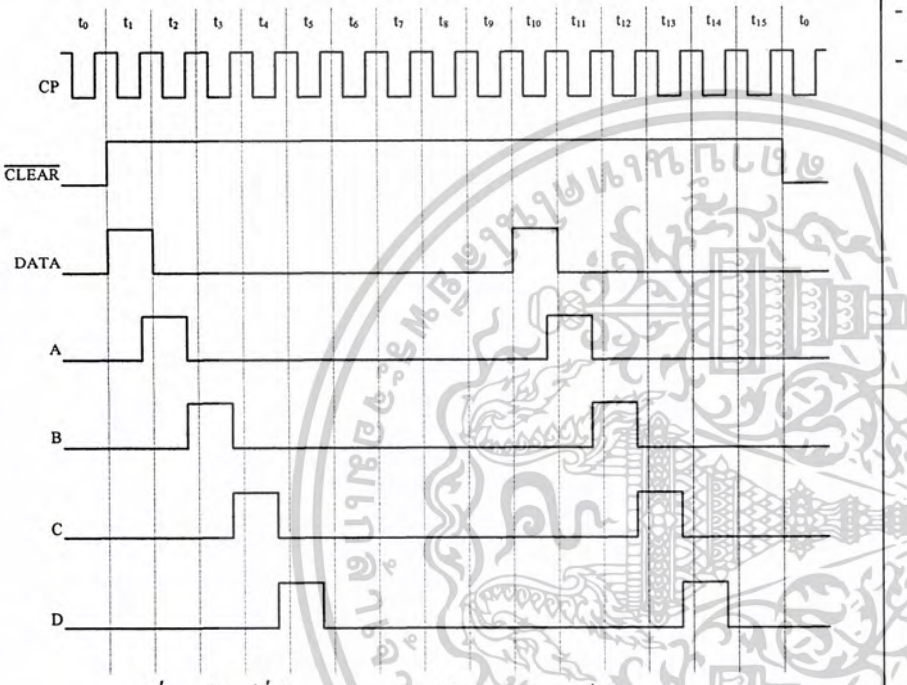
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตกาญจนบุรี

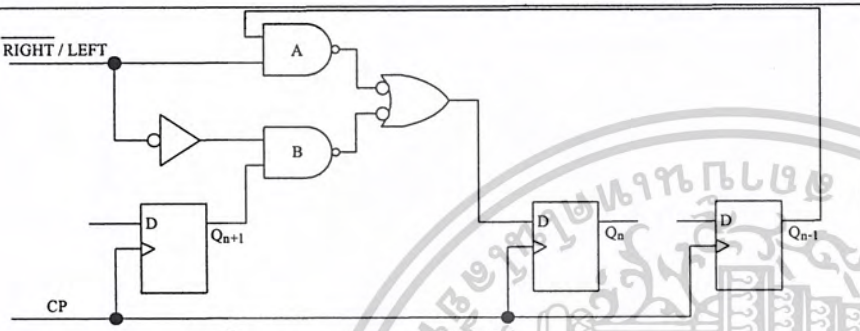
11	 *รูปที่ 7-4 Timing Diagram สำหรับวงจรในรูปที่ 7.3*	- คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลื่อน”
12	**ส่วนไทม์มิ่งไดอะแกรม** (Timing Diagram) **ของรีจิสเตอร์ชนิดนี้จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 7-4 จะสังเกตเห็นการเริ่มต้นการทำงานที่** t_0 **รีจิสเตอร์จะมีค่า**	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

	เลขฐานสองเก็บอยู่คือ 1010_2 (Q_0 และ Q_2 นั้นมีสภาวะ LOW ส่วน Q_1 และ Q_3 นั้นจะมีสภาวะ HIGH) ส่วนที่ t_3 A และ B ทั้งสองจะมีค่าเป็น LOW ส่วน C และ D นั้นจะมีค่าเป็น HIGH (0011_2) ที่ช่วงกลางของ t_3 สัญญาณ ENABLE จะมีค่าเป็น HIGH ส่งผลให้ข้อมูลตัวใหม่ถูกแลชเข้ามายังฟลิปฟลอบของรีจิสเตอร์ดังนี้คือ Q_3 เป็น LOW Q_2 ยังคงอยู่ที่ LOW Q_1 ยังคงอยู่ที่ระดับ HIGH ส่วน Q_0 นั้นจะเปลี่ยนสภาวะเป็น HIGH ในช่วงเวลานี้ รีจิสเตอร์จะเก็บค่า 3_{10} (0011_2) ที่ t_{10} ข้อมูลที่เข้ามาใหม่จะถูกเก็บไว้ตามค่าที่ป้อนเข้ามาคือ A เป็น HIGH B เป็น LOW C เป็น HIGH และ D เป็น LOW ซึ่งรีจิสเตอร์ก็จะเก็บค่า 10_{10} (1010_2)	
13	***ชิฟรีจิสเตอร์ (Shift Register)*** บางที่อาจมีความต้องการที่จะเก็บข้อมูลในรูปแบบอนุกรม (Serial) ถ้าในกรณีเราต้องใช้ชิพ รีจิสเตอร์ ในรูปที่ 7-5 จะเป็นวงจรชิพรีจิสเตอร์ชนิด 4 บิตซึ่งใช้ positive-edge triggered D ฟลิปฟลอบในการสร้างวงจร อินพุทของฟลิปฟลอบแต่ละตัวจะถูกกำหนดโดยฟลิปฟลอบตัวก่อนหน้า ซึ่งก็หมายความว่าผลของข้อมูลที่เกิดกับฟลิปฟลอปแต่ละตัวจะเกิดจากการใช้สัญญาณนาฬิกาชิพเอาท์พุตของตัวฟลิปฟลอบก่อนหน้า	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

14	 *รูปที่ 7-5 วงจรชิพรีจิสเตอร์ชนิด 4 บิต*	- คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลื่อน” - รูปนั้นต้องแสดงอุปกรณ์ให้เห็นทีละตัว
15	มาวิเคราะห์ไทม์มิ่งไดอะแกรมที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 7-6 สังเกตได้ว่าถ้าขา $\overline{\text{CLEAR}}$ นั้นแอกทีฟ (มีลอจิก “0”) ในช่วง t_0 ค่าต่างๆ ในฟลิปฟลอปจะเคลียร์ ซึ่งมันก็จะค้างที่ค่านี้ไปจนกว่าจะมีสัญญาณนาฬิกาสัญญาณตัวแรกเข้ามา (สัญญาณบวกของ CP) ซึ่งจะเกิดขึ้นประมาณช่วงกลางของ t_1 สัญญาณอินพุท DATA ที่ t_1 เป็นสัญญาณ HIGH ส่งผลให้ฟลิปฟลอบ A เก็บค่า “1” ซึ่ง “1” นี้ก็จะถูกส่งไปยังฟลิปฟลอบ B ในสัญญาณนาฬิกาครั้งต่อไปเพราะว่าฟลิปฟลอบ B นั้นจะทำงานได้นั้นต้องขึ้นอยู่กับการทำงานของฟลิปฟลอบ A	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

16	ฟลิปฟลอบ C นั้นจะเซตด้วยสัญญาณนาฬิกาครั้งต่อไป (t_3) และฟลิปฟลอบ D จะเซต ที่ t_4 ในช่วง t_1, t_2, t_3 และ t_4 สัญญาณ DATA นั้นมีค่า LOW ดังนั้นช่วงเวลาเหล่านี้ค่า "0" (DATA = LOW) จะถูกชิพเข้ามายังรีจิสเตอร์ส่งผลให้ข้อมูลในฟลิปฟลอบทุกตัว ถูกเคลียร์ เมื่อฟลิปฟลอบ D ถูกเคลียร์ที่ t_6 เพราะว่ามีฟลิปฟลอบทั้งหมด 4 ตัว ดังนั้น จึงต้องใช้สัญญาณนาฬิกา 4 สัญญาณในการชิพข้อมูลในรีจิสเตอร์ จำนวนของฟลิ ปฟลอบจะถูกใช้ในวงจรชิพรีจิสเตอร์ ข้อมูลที่ส่งเข้ามายังอินพุทและออกมายัง เอาท์พุต ต้องใช้สัญญาณนาฬิกาในระดับเดียวกัน	- เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

17	 *รูปที่ 7-6 ไทม์มิ่งไดอะแกรมสำหรับชิพรีจิสเตอร์ชนิด 4 บิต*	- คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลื่อน”
18	ต้องเข้าใจว่ามาสเตอร์สลาฟฟลิปฟลอบนั้นจำเป็นต้องถูกนำมาใช้ในวงจรชิพรีจิสเตอร์ เพื่อให้เกิดการทำงานเพื่อชิพสัญญาณในช่วงการทำงานของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งสัญญาณนาฬิกานั้นจะต้องสิ้นสุดการทำงานก่อนที่ฟลิปฟลอบตัวถัดไปจะถูกทริกเกอร์อีกครั้ง	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลื่อน” - รูปนั้นต้องแสดงอุปกรณ์ให้เห็นทีละตัว



รูปที่ 7-7 วงจรลอจิกของ RIGHT / LEFT Shift

19

รีจิสเตอร์ชิพซ้าย-ขวา (Left-Right Shift Register)

โดยปกติแล้วชิพรีจิสเตอร์นั้นจะชิพข้อมูลไปเพียงทิศทางเดียวเท่านั้น แต่บางครั้งก็มีความจำเป็นที่ต้องการให้รีจิสเตอร์ชิพข้อมูลไปทางซ้ายหรือขวา สำหรับตัวอย่างการสร้าง Left-Right Shift Register นั้นจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 7-7 เอาท์พุตที่ออกมาจาก D ฟลิปฟลอบ (Q_{n+1}) จะถูกส่งไปยังอินพุทของฟลิปฟลอบที่ตามมา (Q_n) ซึ่งเป็นการชิพไปทางขวา แต่ถ้าต้องการที่จะทำให้รีจิสเตอร์ชิพไปทางซ้าย นั้นเอาท์พุทจาก Q_{n-1} นั้นจะต้องเป็นอินพุทของ Q_n

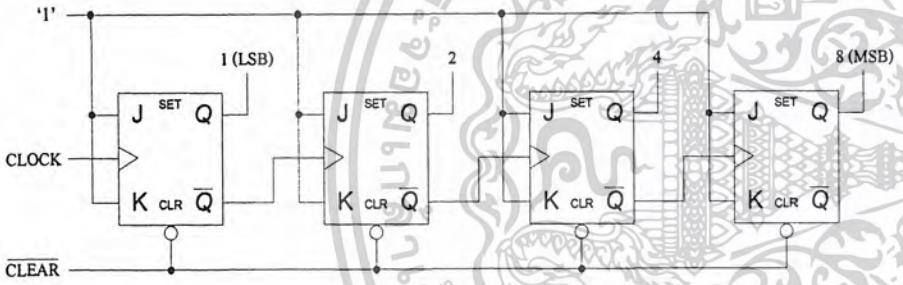
จากรูปทิศทางของการชิพจะขึ้นอยู่กับอินพุต ($\overline{\text{RIGHT/LEFT}}$) ถ้าอินพุท HIGH เกต A ก็จะให้ข้อมูลเอาท์พุตจาก Q_{n-1} ส่งผ่านเข้ามายัง ฟลิปฟลอบ Q_n ซึ่งก็เป็น

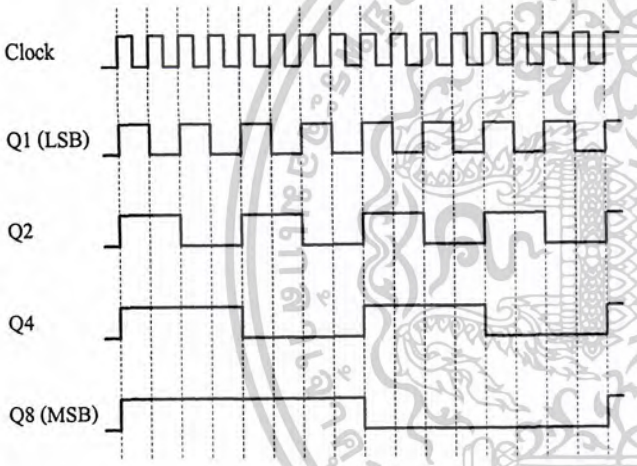
	การทำการชิพข้อมูลมาทางซ้ายนั้นเอง ซึ่งการชิพแต่ละครั้งนั้นจะเกิดขึ้นจาก สัญญาณนาฬิกา (CP) ในแต่ละครั้ง	

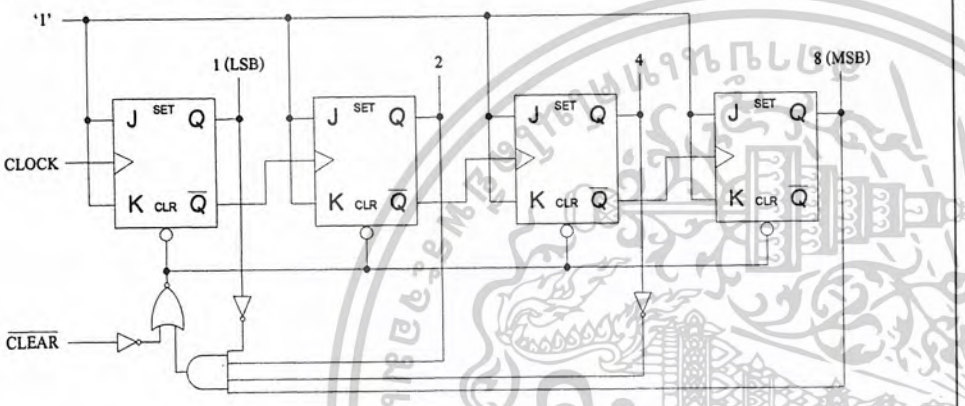
ตารางที่ ก-9 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 7 รีจิสเตอร์

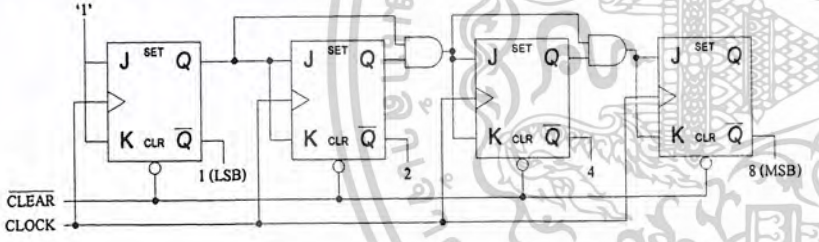
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

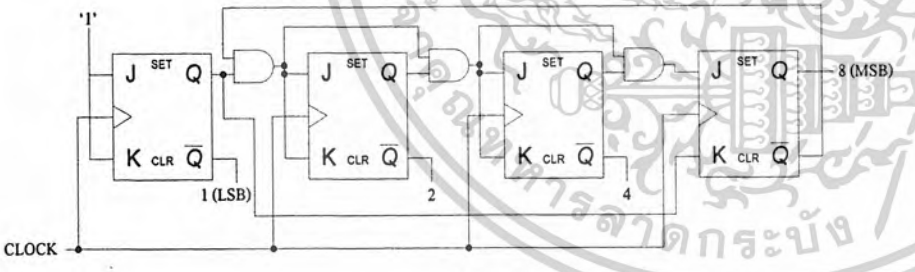
Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	**บทที่ 8** **วงจรนับ (Counters)**	- ส่วนของ บทที่ 8 ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ" - ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ความเร็วสูง"
2	**บทนำ** ในวงจรดิจิตอลที่ใช้กันโดยทั่วไปมักจะมีวงจรนับ (Counter) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเนื่องจากวงจร-นับสามารถทำงานได้หลายอย่าง เช่น ใช้เป็นวงจรนับเลข, วงจรหารความถี่ (Frequency Division), วงจรดิจิตอลที่มีการทำงานเป็นลำดับ (Sequencing Digital Operations) และวงจรที่ทำงานในทางคณิตศาสตร์(Mathematical Operation) เป็นต้น โดยที่เราสามารถนำ FLIP-FLOP ชนิดต่างๆ มาทำเป็นวงจรนับได้	- ส่วนของ บทนำ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ตารางหมากรุก"
3	**หัวข้อเรื่อง** **8.1 Binary Ripple-Carry Counter** **8.4 Synchronous BCD Counter** **8.2 BCD Ripple-Carry Counter** **8.5 Down Counter** **8.3 Synchronous Binary Counter** **8.6 Up-Down Counter**	- ส่วนของ **หัวข้อเรื่อง** ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ แต่ละหัวข้อ **(8.1-8.6)** ใช้เทคนิค "การเชื่อมโยงหลายมิติ" เพื่อใช้เชื่อมโยงไปยังหน้าของภาพนิ่งที่มีหัวข้อนั้นอยู่
4	**8.1 Binary Ripple-Carry Counter** เราสามารถนำ J-K FLIP-FLOP มาต่อเป็นวงจร Binary Ripple-Carry Counter ขนาด 4 บิท (J-K FLIP-FLOP 1 ตัว ต่อ 1 บิท) ซึ่งใช้เป็นวงจรนับเลขฐานสองตั้งแต่ 0000 – 1111 (0 ถึง 15) โดยทำการต่ออินพุท J และ K ด้วยลอจิก '1' โดยใช้คุณสมบัติของ J-K FLIP-FLOP ที่จะสลับเอาท์พุท (Toggle) เมื่อได้รับอินพุทเป็นลอจิก '1' ทั้งคู่ และอินพุทของวงจรจะต่อเข้ากับขา Clock ของ J-K	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

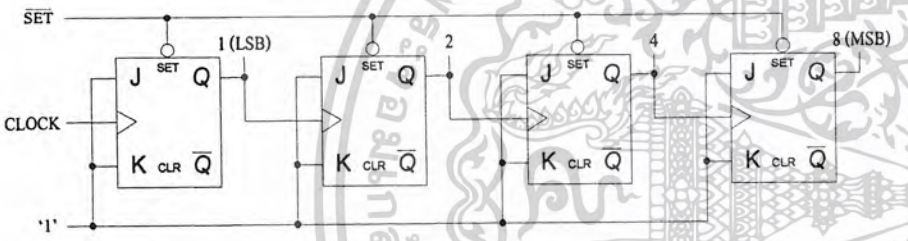
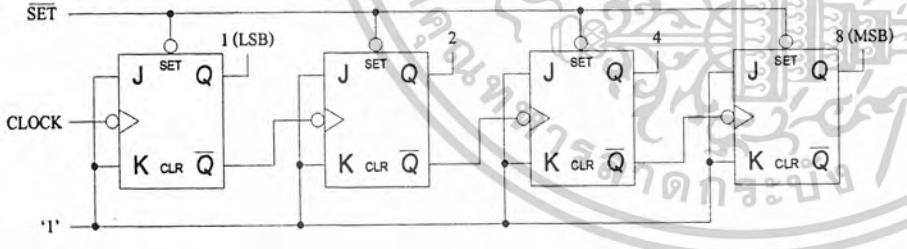
	FLIP-FLOP ตัวแรก(LSB) ซึ่งจากรูปที่ 8-1 เป็นแบบ Positive Edge Triggered และมีขาอินพุทอีกขา คือ CLEAR ซึ่ง Active Low โดยที่ขา CLR จะทำหน้าที่กำหนดเอาท์พุทให้มีสถานนะเป็น "รีเซ็ต" คือเอาท์พุท Q = '0' และ $\overline{Q}$ = '1' โดยจะไม่สนใจอินพุท J และ K ซึ่งมีไว้สำหรับรีเซ็ตวงจรนับ เช่น เมื่อนับถึง 1010 แล้วต้องการเริ่มนับใหม่ก็ให้ป้อนลอจิก '0' เข้ามาที่อินพุท CLEAR ก็จะทำให้วงจรเริ่มนับที่ 0000 ใหม่ ส่วนเอาท์พุทของวงจรจะอยู่ที่ขา Q ของ FLIP-FLOP แต่ละตัว	
5	**8.1 Binary Ripple-Carry Counter** *ต่อ*  ***รูปที่ 8-1 แสดงวงจร Binary Ripple-Carry Counter***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
6	**8.1 Binary Ripple-Carry Counter** *ต่อ* หลักการทำงานของวงจรจะใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นอินพุทให้กับ FLIP-FLOP ตัวแรกที่เป็น LSB ดังนั้นเอาท์พุท Q ของตัวแรกจะเปลี่ยนแปลงทุกสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (1 Clockcycle) และ FLIP-FLOP ตัวที่สองนั้นอินพุทที่รับเข้ามาเป็นเอาท์พุท $\overline{Q}$ ของตัวแรกดังนั้นเอาท์พุทของตัวที่สองจะมีการเปลี่ยนแปลงทุกสัญญาณนาฬิกา 2 ลูกเนื่องจากเอาท์พุท $\overline{Q}$ ของตัวแรกนั้นเปรียบเสมือน	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

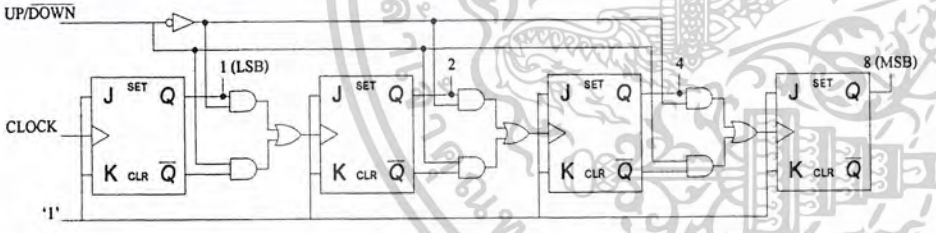
	สัญญาณนาฬิกาของตัวที่สองซึ่งจะครบ 1 ลูก เมื่อสัญญาณนาฬิกาจริงที่เป็นอินพุทของตัวแรกผ่านไป 2 ลูก และ FLIP-FLOP ตัวที่สามที่รับอินพุทมาจากเอาท์พุท $\bar{Q}$ ของตัวที่สองก็จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อสัญญาณนาฬิกาจริงผ่านไป 4 ลูก และ FLIP-FLOP ตัวที่สี่ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน คือจะเปลี่ยนแปลงเมื่อสัญญาณนาฬิกาจริงผ่านไป 8 ลูกเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจให้ดูรูปที่ 8-2	
7	**8.1 Binary Ripple-Carry Counter *ต่อ***  ***รูปที่ 8-2 แสดงการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทของวงจร Binary Ripple-Carry Counter***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
8	**8.2 BCD Ripple-Carry Counter** จากวงจร Binary Ripple-Carry Counter ที่ได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อที่ 8.1 นั้นเราสามารถนำมาดัดแปลงให้เป็นเป็นวงจร BCD Ripple-Carry Counter ได้ซึ่งหลักการทำงานของวงจรจะเหมือนเดิมเพียงแต่จะมีการเปลี่ยนแปลงขอบเขตการนับจาก 0000 – 1111 ไปเป็น 0000 – 1001 (0 ถึง	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

	9) แทน	
9	**8.2 BCD Ripple-Carry Counter *ต่อ***  ***รูปที่ 8-3 แสดงวงจร BCD Ripple-Carry Counter***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
10	**8.2 BCD Ripple-Carry Counter *ต่อ*** จากรูปที่ 8-3 จะเห็นว่าที่ขาอินพุท CLR ของ FLIP-FLOP นั้นต่ออยู่กับ NOR Gate ซึ่งวงจรนี้จะมีการรีเซ็ต (เริ่มนับ 0000 ใหม่) เมื่อมีการป้อนลอจิก '0' ให้กับอินพุท CLEAR หรือเมื่อนับไปถึง 1001 เนื่องจากมีการนำเอาท์พุทของ FLIP-FLOP แต่ละตัวมาต่อเข้ากับ AND Gate โดยที่เอาท์พุทของ FLIP-FLOP ตัวที่ 1 (LSB) และตัวที่ 3 จะผ่าน NOT Gate ก่อนที่จะเข้า AND Gate ซึ่งหมายความว่าเมื่อนับไปถึง 1010 จะถึงรีเซ็ตให้เป็น 0000 ทันที ดังนั้นวงจรนี้จะนับจาก 0000 – 1001 ไปเรื่อยๆ	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

11	**8.3 Synchronous Binary Counter** วงจรนับแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Counter) เช่นวงจร Binary Ripple-Carry Counter นั้น FLIP-FLOP ตัวสุดท้าย (บิท MSB) นั้นจะมีการเปลี่ยนสถานะ (State) ช้าที่สุดเนื่องจากมีความ Propagation Delay ที่เกิดจาก Delay ของ FLIP-FLOP แต่ละตัวที่อยู่ก่อนหน้ามันรวมกัน ดังนั้นในวงจรที่ต้องการความเร็วในการทำงานจึงนิยมใช้วงจรที่เป็นแบบซิงโครนัส (Synchronous) มากกว่าเนื่องจากอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรทำงานไปพร้อมกัน (ได้รับสัญญาณนาฬิกาพร้อมกัน) ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานดีกว่า ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้พูดถึง Synchronous Binary Counter เพื่อให้เห็นความแตกต่างกับวงจรแบบอะซิงโครนัส	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
12	**8.3 Synchronous Binary Counter *ต่อ***  ***รูปที่ 8-4 แสดงวงจร Synchronous Binary Counter***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
13	**8.3 Synchronous Binary Counter *ต่อ*** จากรูปที่ 8-4 วงจร Synchronous Binary Counter จะป้อนสัญญาณนาฬิกาให้กับ FLIP-FLOP ทุกตัว โดยที่ตัวแรก (LSB) นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุททุกครั้งที่ได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้นส่วนตัวที่สองนั้นจะถูกควบคุมการเปลี่ยนของเอาท์พุทโดยการต่อเอาท์พุท Q ของตัวแรก	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”

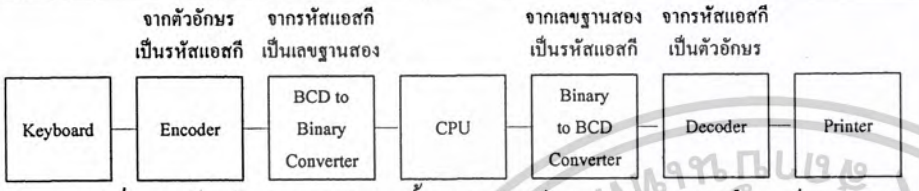
	เข้ากับขา J และ K ของตัวที่สอง ดังนั้นตัวที่สองจะมีการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้นและเอาท์พุทจาก Q ต้องเป็นลอจิก '1' ด้วย และด้วยหลักการเดียวกันนี้ FLIP-FLOP ตัวที่ 3 ก็จะถึงควบคุมโดยเอาท์พุทของตัวที่ 1 และ 2 ส่วนตัวที่ 4 (MSB) ก็จะถูกควบคุมจากตัวที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งใช้หลักการเดียวกับวงจร Binary Ripple-Carry Counter ซึ่ง FLIP-FLOP แต่จะตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุททุกๆสัญญาณนาฬิกา 2^n ลูกโดยที่ n คือจำนวน FLIP-FLOP ที่อยู่ก่อนหน้ามันเช่น FLIP-FLOP ตัวแรก (LSB)จะเปลี่ยนแปลงทุกๆสัญญาณนาฬิกา $2^0 = 1$ ลูก (เพราะไม่มี FLIP-FLOP ตัวใดอยู่หน้ามัน) และ FLIP-FLOP ตัวที่ 4 (MSB) จะเปลี่ยนแปลงทุกๆสัญญาณนาฬิกา $2^3 = 8$ ลูก เป็นต้น	
14	**8.4 Synchronous BCD Counter** วงจร Synchronous BCD Counter มีหลักการทำงานคล้ายกับวงจร Synchronous Binary Counter เพียงแต่วงจร Synchronous BCD Counter จะนับแค่ 0 ถึง 9 (0000 – 1001) ดังนั้นจึงต้องมีการดัดแปลงวงจรเล็กน้อยดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 8-5  ***รูปที่ 8-5 แสดงวงจร Synchronous BCD Counter***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

15	**8.5 Down Counter** จากหัวข้อที่ผ่านๆมาเป็นการยกตัวอย่างวงจรนับแบบนับขึ้นดังนั้นในหัวต่อนี้จะแสดงถึงวงจรนับแบบนับลง (นับถอยหลัง) ซึ่งจากรูปที่ 8-6 และ 8-7 เป็นวงจรนับลงแบบ Binary Ripple-Carry Counter ซึ่งวงจรนี้ใช้ขาอินพุท SET ในการเริ่มต้นนับใหม่เช่นเมื่อนับไปถึง 7 (0111) แล้วต้องการเริ่มนับใหม่ก็ให้ป้อนลอจิก '0' ให้กับขา SET วงจรก็จะเริ่มนับจาก 1111 ใหม่อีกครั้ง	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
16	**8.5 Down Counter *ต่อ***  ***รูปที่ 8-6 แสดงวงจร Down Counter แบบ Positive Edge Triggered***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
17	**8.5 Down Counter *ต่อ***  ***รูปที่ 8-7 แสดงวงจร Down Counter แบบ Negative Edge Triggered***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

18	**8.6 Up-Down Counter** วงจร Up-Down Counter คือวงจรที่สามารถเลือกโหมด (Mode) การทำงานได้ว่าต้องการจะให้วงจรทำหน้าที่เป็นวงจรนับขึ้นหรือนับลงได้โดยมาขาอินพุทที่เป็นขาสำหรับเลือกโหมดการทำงานของวงจร ซึ่งจากรูปที่ 8-8 ขาอินพุทที่ใช้สำหรับเลือกโหมดการทำงานนั้นถ้าเราป้อนอินพุทเป็นลอจิก '1' วงจรก็จะทำหน้าที่เป็นวงจรนับขึ้นและถ้าป้อนอินพุทเป็นลอจิก '0' วงจรก็จะทำหน้าที่เป็นวงจรนับลงซึ่งวงจรในรูปที่ 8-8 เป็นการนับวงจรในรูปที่ 8-1 และ 8-6 มาดัดแปลงเป็นวงจรใหม่ ซึ่งวงจรทั้งคู่นี้จะต่างกันตรงที่วงจรในรูปที่ 8-1 จะใช้ $\overline{Q}$ เป็นอินพุทให้กับ FLIP-FLOP ตัวถัดไป แต่วงจรในรูปที่ 8-6 นั้นจะใช้ Q เป็นอินพุทให้กับ FLIP-FLOP ตัวถัดไป ซึ่งเมื่อพิจารณาจุดนี้เราก็สามารถนำ AND Gate มาทำหน้าที่เป็นตัวเลือกว่าจะให้เอาท์พุท Q หรือ $\overline{Q}$ เป็นอินพุทให้กับ FLIP-FLOP ตัวถัดไป ซึ่งก็คือการเลือกว่าจะให้นับขึ้นหรือนับลงนั่นเอง	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
19	**8.6 Up-Down Counter *ต่อ***  *รูปที่ 8-8 แสดงวงจร Up-Down Counter*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

ตารางที่ ก-10การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 8 วงจรนับ

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	**การเข้ารหัส การถอดรหัส และการแปลงรหัส (Encoders, Decoders and Code Converters)** ***บทนำ*** ข้อมูลที่ถูกส่งระหว่างอุปกรณ์ภายนอกและตัวซีพียู (CPU) หรือบนสายโทรศัพท์มักจะทำให้อยู่ในรูปแบบตัวอักษรเช่นแอสกีโค้ด (ASCII) ในการสร้างโค้ดที่มาจากอุปกรณ์ป้อนข้อมูลที่เป็นตัวอักษร (เช่น คีย์บอร์ด) ดังนั้นจึงต้องมีการเข้ารหัส ซีพียูในยุคปัจจุบันจะใช้ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของเลขฐานสอง ดังนั้นรหัสแอสกี (รหัสบีซีดี) นั้นจะต้องถูกแปลงให้เป็นรหัสเลขฐานสองเพื่อที่จะเป็นอินพุทของซีพียู	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
2	ในการที่จะแสดงข้อมูลออกมาการทำงานจะกลับกัน ซึ่งก็คือรหัสเลขฐานสองนั้นจะต้องถูกแปลงกับออกมาให้เป็นรหัสบีซีดีเพื่อใช้ในการถอดรหัส การถอดรหัสก็คือการแปลงโค้ดให้อยู่ในรูปของตัวอักษรเพื่อการใช้งาน บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 9-1 แสดงการทำงานจากอุปกรณ์อินพุทไปจนถึงอุปกรณ์เอาท์พุทของระบบคอมพิวเตอร์	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค “เลือน” ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง

<table>
<tr><td></td><td> 

รูปที่ 9-1 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นการแปลงข้อมูลจากอินพุทจนถึงเอาท์พุท</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td>เกต (Digital Logic Gate)
Select Topics
<table><tr><td>การเข้ารหัส (Encoder)

การถอดรหัส
> การถอดรหัสเลขฐานสิบหก (Decoding Hexadecimal)
> การถอดรหัสเลขบีซีดี (Decoding BCD)
> การถอดรหัสวงจรเซเว่นเซกเมนต์ (Seven-Segment Decoders)</td><td>การแปลงรหัส (Code Converter)

วงจรเลือกออกหนึ่ง (Multiplexer หรือ Data Selector)

วงจรเลือกออกหลาย (Demultilexer)</td></tr></table></td><td>-ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง
-ส่วนSelect Topicsใช้เทคนิค“เทรกเข้าใน”จากด้านล่าง
-ส่วนของหัวข้อฝั่งซ้ายใช้เทคนิค“ลอยเข้า”จากด้านซ้าย
-ส่วนของหัวข้อฝั่งขวาใช้เทคนิค“ลอยเข้า”จากด้านขวาล่าง
-แต่ละหัวข้อให้สามารถลิงค์ไปยังหน้าที่มีหัวข้อนั้นได้</td></tr>
<tr><td>4</td><td>การเข้ารหัส (Encoder)

ในการเข้ารหัสบีซีดีนั้นจะได้เลขฐานสองจำนวน 4 บิต ซึ่งก็หมายความว่า</td><td>- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง
- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”</td></tr>
</table>

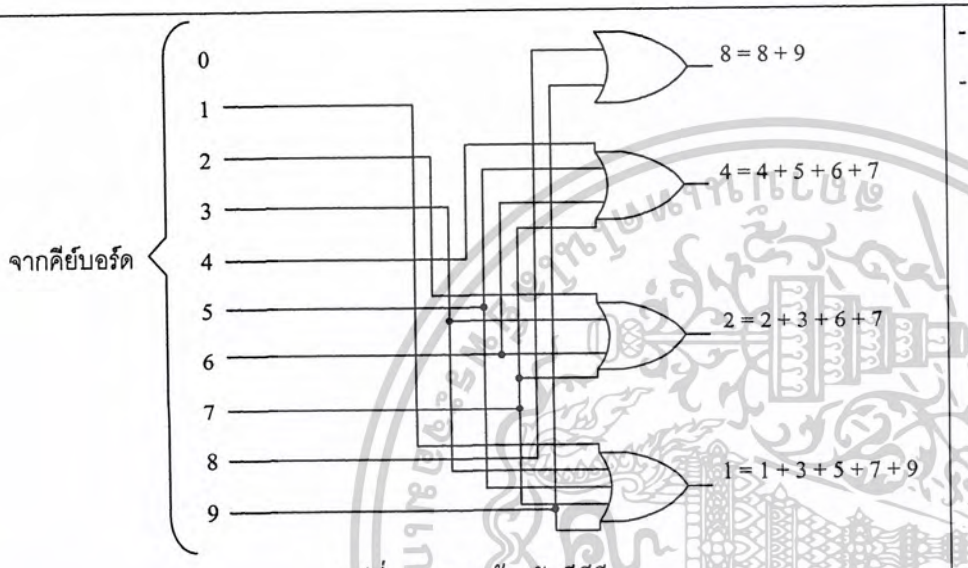
การเข้ารหัสเลขบีซีดีจะได้เอาท์พุท 4 ตัว ในตาราง 9-1 เอาท์พุตบิตที่มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 8 นั้น จะเกิดจากบิตอินพุทที่ 8 หรือ 9 เอาท์พุทบิตที่มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 4 จะมีจะเกิดจากบิต 4 บิต 5 บิต 6 หรือ บิต 7 ที่เป็นอินพุท เอาท์พุตบิตที่มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 2 นั้น จะเกิดจากบิตอินพุทที่ 2 บิต 3 บิต 6 หรือ บิต 7 เอาท์พุตบิตที่มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 นั้น จะเกิดจากบิตอินพุทที่ 1 บิต 3 บิต 5 บิต 7 หรือบิต 9

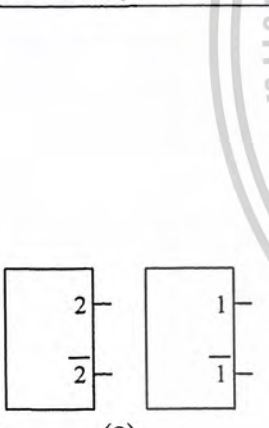
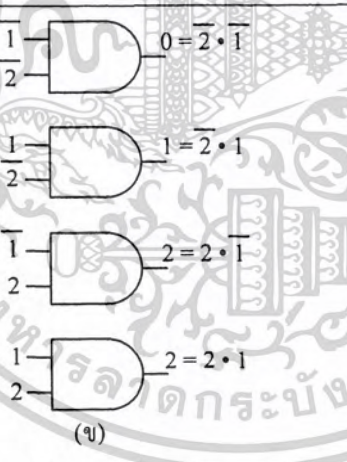
5

อินพุท \ เอาท์พุท	8	4	2	1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

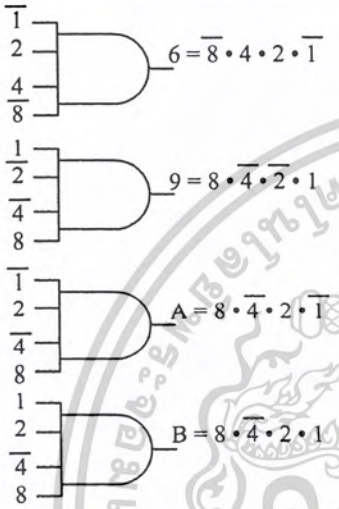
ตารางที่ 9-1 แสดงอินพุทและเอาท์พุทของการเข้ารหัสบีซีดี

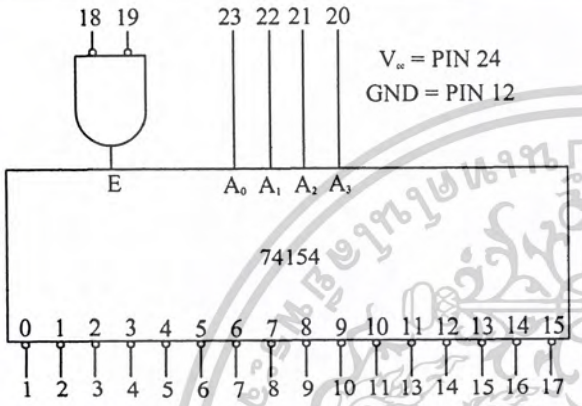
- ตารางใช้เทคนิคแถบแยกแบบ “แนวตั้ง”
- คำอธิบายตารางใช้เทคนิค “ขยาย”

6	 *รูปที่ 9-2 วงจรเข้ารหัสบีซีดี*	- รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค “เลือน” ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
7	สังเกตได้ว่าเอาท์พุทแต่ละตัวนั้นจะเกิดจากการนำอินพุทแต่ละตัวมาออร์กัน โดยที่อินพุท 5 กับ 7 นั้นจะไม่สามารถเกิดขึ้นพร้อมกันได้ อินพุทแต่ละตัวนั้นจะแอกทีฟเอาท์พุท 1 ตัวหรือมากกว่า (ยกเว้น 0 ที่ให้เอาท์พุทเท่ากับ 0000) ถ้าอินพุทเป็น 7 เอาท์พุทที่มีน้ำหนักบิต 4 2 และ 1 จะแอกทีฟ การทำความเข้าใจในเรื่องนี้ต้องเข้าใจว่าการจะแปลงจากรหัสหนึ่งไปเป็นรหัสหนึ่งนั้นต้องเข้าใจคุณสมบัติของตัวเลขแต่ละฐานก่อน แล้วจึงนำมาดัดแปลง เพราะไม่ว่าจะเป็นรหัสชนิดไหน ลักษณะการทำงานนั้นก็จะมีลักษณะเช่นกัน เพื่อให้เข้าใจให้ดูรูปที่ 9-2 ประกอบ	- เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”
8	*การถอดรหัส*	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง

	เลขฐานสองจำนวน n บิตนั้นสามารถแทนค่าได้จำนวน 2^n ตัว รีจิสเตอร์ขนาด 2 บิตในรูปที่ 9-3 (ก) นั้นมีรูปแบบในการแสดงผลอยู่ 4 รูปแบบคือ 00 01 10 และ 11 แต่ละรูปแบบเหล่านี้นั้นสามารถตรวจสอบด้วยการทำงานที่เรียกว่าการถอดรหัสดังแสดงในรูปที่ 9-3 (ข) สำหรับการนับศูนย์ (00) ฟลิปฟลอบทั้งสองตัวนั้นจะอยู่ในสภาวะรีเซ็ต การตรวจสอบนั้นจะนำอินพุทที่ได้มาทำการแอนด์กัน ซึ่งก็คือถ้าอินพุทที่ได้เป็น $\overline{1}$ และ $\overline{2}$ เอาท์พุตก็จะออกที่เกตแอนด์ตัวนี้ ซึ่งการนับตัวอื่นนั้นก็ทำเหมือนกันคือการนับ 1 นั้นถ้าอินพุทที่เข้ามาเป็น 1 และ $\overline{2}$ เอาท์พุทก็จะออกที่แอนด์เกตตัวที่มีเอาท์พุตเป็น 1 ส่วนเอาท์พุตตัวอื่นๆ ก็มีลักษณะการทำงานที่เหมือนกัน	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
9	  *รูปที่ 9-3 วงจรถอดรหัสรีจิสเตอร์ 2 บิต (ก) สองบิตรีจิสเตอร์ (ข) วงจรถอดรหัส*	- รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค “เลือน” ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง

10	***การถอดรหัสเลขฐานสิบหก (Decoding Hexadecimal)*** เมื่อจำนวนเลขฐานสิบหกนั้นถูกถอดรหัสออกจากเลขฐานสอง เลขฐานสองแต่ละบิตนั้นจะถูกจัดออกเป็นกลุ่มกลุ่มละ 4 ตัว ซึ่งแต่ละกลุ่มนั้นจะแสดงเลขฐานสิบหกจำนวน 1 ตัว ซึ่งรูปแบบของเลขฐานสิบหกนั้นจะมีรูปแบบอยู่ 16 รูปแบบ คือเลข 0 ถึง 9 และอักษร A ถึง F ซึ่งก็หมายความว่าต้องใช้แอนด์เกต 4 อินพุตเพื่อทำการถอดรหัสเลขฐานสิบหกหนึ่งรูปแบบในจำนวน 16 รูปแบบของอินพุทที่เข้ามา เช่น ถ้าต้องการถอดรหัสเลข 6_{16} (0110_2) ซึ่งถ้าต้องการให้เอาท์พุตออกที่ขานี้ ค่าอินพุตทุกตัวจะต้องเป็นจริง หมายความว่าที่อินพุท 8 และ 1 นั้นจะต้องเป็นจริงในรูปที่ 9-4 จะแสดงตัวอย่างบางส่วนของการถอดรหัสเลขฐานสิบหกในแต่ละรูปแบบ	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

11	 *รูปที่ 9-4 ลอจิกไดอะแกรมแสดงการถอดรหัสเลขฐานสิบหกบางส่วน*	- รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
12	การถอดรหัสเลขฐานสิบหกนั้นจะมีตัวไอซีสำเร็จรูปที่มีมาให้เราใช้งานอยู่แล้ว ซึ่งลักษณะการทำงานต่างๆ นั้นก็จะเหมือนกัน โดยจะขอยกตัวอย่างของไอซี TTL/MSI 74154 ที่จะแสดงในรูปที่ 9-5 ขา E นั้นจะใช้ในการแอคทีฟวงจร	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง



รูปที่ 9-5 ไอซี 741549 ตัวถอดรหัสเลขฐานสิบหก

13 ***การถอดรหัสเลขบีซีดี (Decoding BCD)***

- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง
- เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

รูปที่ 9-6 นั้นจะแสดงการนำแอนด์เกตทั้งหมด 10 ตัวมาทำเป็นตัวถอดรหัสบีซีดี อินพุทของวงจรนั้นจะเป็นเลขบีซีดีเอาท์พุทนั้นจะมี 10 เส้น แต่ละเส้นจะใช้แทนเลขฐานสิบในแต่ละรูปแบบ (0-9) ซึ่งก็จะมีอินพุทอีก 6 รูปแบบที่จะป้อนให้วงจรไม่ได้เพื่อที่จะทำให้วงนั้นไม่เกิดข้อผิดพลาดซึ่งก็จะทำให้จำนวนขาอินพุทของเกตที่ใช้เป็นตัวถอดรหัสนั้นลดจำนวนลง เช่นถ้าอินพุทที่มีค่าประจำหลักเป็น 8 นั้นจะใช้เฉพาะป้อนเกตตัวที่แสดงเลข 8 และเลข 9 เท่านั้น ส่วนที่ 0 นั้นต้องใช้อินพุททุก

	ตัวตรวจสอบ เพราะว่าเอาท์พุทจะออกที่ 0 ได้นั้นอินพุททุกตัวต้องเป็น LOW หมด ศึกษาตารางที่ 9-2 ประกอบเพื่อให้เกิดความเข้าใจ	
14		- ตารางใช้เทคนิคแถบแยกแบบ “แนวตั้ง” - คำอธิบายตารางใช้เทคนิค “ขยาย”

อินพุท / เอาท์พุท	8	4	2	1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

ตารางที่ 9-2 แสดงอินพุทและเอาท์พุทของการถอดรหัสบีซีดี

15	**ดังนั้นในรูปที่ 9-6 แอนด์เกตชนิด 2 อินพุทจะใช้ในการถอดรหัส 8 และ 9 เพราะว่าเราไม่สนใจอินพุทน้ำหนักประจำหลักเป็น 4 และ 2 ถ้าอินพุทที่มี**	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

	น้ำหนักประจำหลักเป็น 8 นั้นมีค่าเป็น “1” ส่วนเกตที่ใช้ในการถอดรหัสตั้งแต่ 2 ถึง 7 นั้นจะใช้เกตชนิด 3 อินพุท เพราะว่าค่าในช่วงนี้อินพุท 8 นั้นจะมีค่าเป็น “0” ตลอดจึงไม่จำเป็นต้องนำมาคิด ส่วนเกตที่ใช้ในการถอดรหัส 0 และ 1 นั้นจะใช้เกตชนิด 4 อินพุตเป็นตัวถอดรหัส เนื่องจากต้องใช้อินพุทที่เข้ามาทั้งหมดนำมาคิด เนื่องจากอินพุท 4 2 และ 1 จะถูกนำมาใช้ตรวจสอบอีกครั้งในกรณีที่ อินพุท 8 เป็น “1”	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16	 *รูปที่ 9-6 วงจรถอดรหัสบีซีดี*	- รูปนี้แสดงโดยใช้เทคนิค "เลื่อน" ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน "ตารางหมากรุก" ทิศทางลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17	***การถอดรหัสวงจรเซเว่นเซกเมนต์ (Seven-Segment Decoders)*** **อุปกรณ์ที่ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นตัวเลขบางชนิดนั้นเช่นวงจรเซเว่นเซกเมนต์จะใช้แอลอีดี** (LED: Light Emitting Diode) **ที่ใช้ในการจัดวางเพื่อแสดงรูปแบบตัวเลขฐานสิบ** (0-9) ดังตัวอย่างของการจัดวางรูปแบบที่แสดงไว้ในรูปที่ 9-7 *รูปที่ 9-7 ตัวอย่างรูปแบบของเซเว่นเซกเมนต์ที่ใช้ในการแสดงเลขฐานสิบ*	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค “เลือน” ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
18	ต่อไปจะแสดงแอลอีดีในแต่ละตำแหน่งจะถูกใช้งานเมื่อใด a = 0 + 2 + 3 + 5 + 7 + 8 + 9 b = 0 + 2 + 3 + 4 + 7 + 8 + 9 c = 0 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - ตัวอย่างแต่ละตัวใช้เทคนิค “เลือน” เพื่อใช้ในการแสดงผล

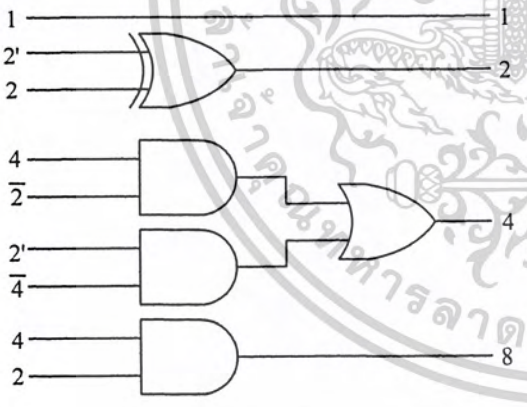
	d = 0 + 2 + 3 + 5 + 6 + 8 e = 0 + 1 + 2 + 6 + 8 f = 0 + 1 + 4 + 5 + 6 + 8 + 9 g = 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 8 + 9 จะขออธิบายสมการข้างต้นก็คือ a จะสว่างเมื่ออินพุท 0 หรือ 2 หรือ 3 หรือ 5 หรือ 7 หรือ 8 หรือ 9 สำหรับแอลอีดีตัวอื่นนั้นก็จะมีลักษณะทำงานเช่นกัน ดังสมการข้างบน สำหรับการถอดรหัสตัวเซเว่นเซกเมนต์นั้นจะมีไอซีสำเร็จรูปให้เราได้ใช้งานอยู่แล้ว ขอเพียงแต่เราเข้าใจหลักการขั้นพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้งานเท่านั้นเอง	
19	**การแปลงรหัส (Code Converter)** บางครั้งอาจจำเป็นที่จะต้องทำการแปลงรหัสจากรหัสฐานสองไปเป็นรหัสอื่นๆ เช่น ตัวอย่างการแปลงรหัส 2'421 ที่มีความใกล้เคียงกับรหัส 8421 เพียงแต่ต้องเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ดังนั้นการที่จะเปลี่ยนรหัสหนึ่งไปเป็นอีกรหัสหนึ่งต้องมีตัวที่ทำหน้าที่ในการแปลงรหัสด้วย มาดูการออกแบบวงจรลอจิกที่ใช้ในการแปลงรหัส 2'421 ให้เป็นรหัส 8421 กัน ขั้นตอนแรกในการออกแบบจะต้องสร้างตารางความจริงสำหรับรหัสสองตัวนี้ก่อน ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 9-3 ซึ่งรหัส 2ง421 นั้นบิตที่มีน้ำหนัก 2 ที่อยู่ฝั่งค่า	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

	สูง (MSB: Most Significant Bit) ที่แทนด้วย 2' นั้นจะใช้สำหรับแทนค่าตั้งแต่ 5_{10} ขึ้นไป เพราะว่ารหัส 2421 นี้จะใช้แสดงค่าตั้งแต่ 0_{10} - 9_{10}	
20		- ตารางใช้เทคนิคแถบแยกแบบ "แนวตั้ง" - คำอธิบายตารางใช้เทคนิค "ขยาย"
21	จากตารางที่ 9-3 จาก $0_{10} - 4_{10}$ ทั้งสองรหัสจะแสดงผลเหมือนกันดังนั้นจึงไม่ต้องนำมาคิด ส่วนค่า 1 ของรหัส 8421 นั้นจะให้ผลตรงกันกับค่า 1 ของรหัส 2'421ทุกตัวถ้าต้องการแปลงรหัสนั้นก็ต่อตรงได้เลย ส่วนค่าอื่นๆ ของรหัส 8421 นั้นจะเป็น	- เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง" - ตัวอย่างแต่ละตัวใช้เทคนิค "เลื่อน" เพื่อใช้ในการแสดงผล

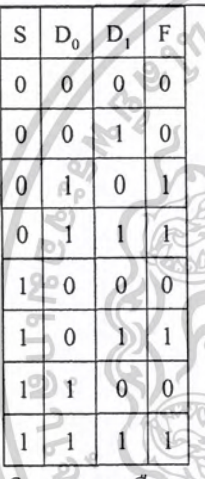
Decimal	2' 4 2 1	8 4 2 1
0	0 0 0 0	0 0 0 0
1	0 0 0 1	0 0 0 1
2	0 0 1 0	0 0 1 0
3	0 0 1 1	0 0 1 1
4	0 1 0 0	0 1 0 0
5	1 0 1 1	0 1 0 1
6	1 1 0 0	0 1 1 0
7	1 1 0 1	0 1 1 1
8	1 1 1 0	1 0 0 0
9	1 1 1 1	1 0 0 1

ตารางที่ 9-3 เปรียบเทียบรหัส 2421 กับ 8421

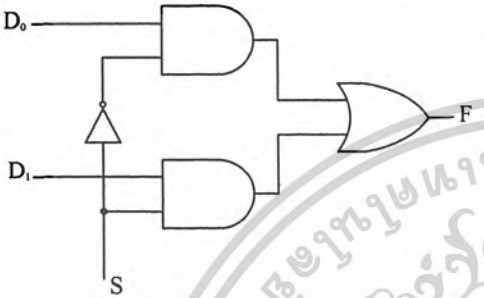
<table>
<tr><td></td><td>ดังนี้
• 2 ของรหัส 8421 จะเป็น “1” เมื่อ $\overline{2}'\bullet\overline{4}\bullet2\bullet\overline{1} + \overline{2}'\bullet\overline{4}\bullet2\bullet1 + 2'\bullet4\bullet\overline{2}\bullet\overline{1} + 2'\bullet4\bullet\overline{2}\bullet1 = 2\bullet\overline{2}' + \overline{2}\bullet2' = 2' \oplus 2$
• 4 ของรหัส 8421 จะเป็น “1”เมื่อ $\overline{2}'\bullet4\bullet\overline{2}\bullet\overline{1} + 2'\bullet\overline{4}\bullet2\bullet1 + 2'\bullet4\bullet\overline{2}\bullet\overline{1} + 2'\bullet4\bullet\overline{2}\bullet1 = 4\bullet\overline{2} + 2'\bullet\overline{4}$
• 8 ของรหัส 8421 จะเป็น “1”เมื่อ $2'\bullet4\bullet2\bullet\overline{1} + 2'\bullet4\bullet2\bullet1 = 2'\bullet4\bullet2$ เพราะว่า 4•2 นั้นจะไม่เป็นจริงในการนับครั้งอื่นๆ ดังนั้น 8 = 4•2

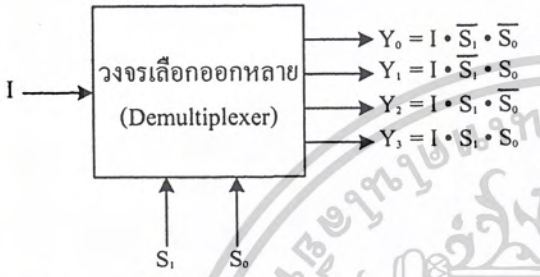
จากข้อมูลข้างต้นนั้นทำให้สามารถสร้างวงจรลอจิกที่แปลงจากรหัส 2’421 ให้เป็นรหัส 8421 ดังรูปที่ 9-8</td><td></td></tr>
<tr><td>22</td><td> 
</td><td>- รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว
- คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง</td></tr>
</table>

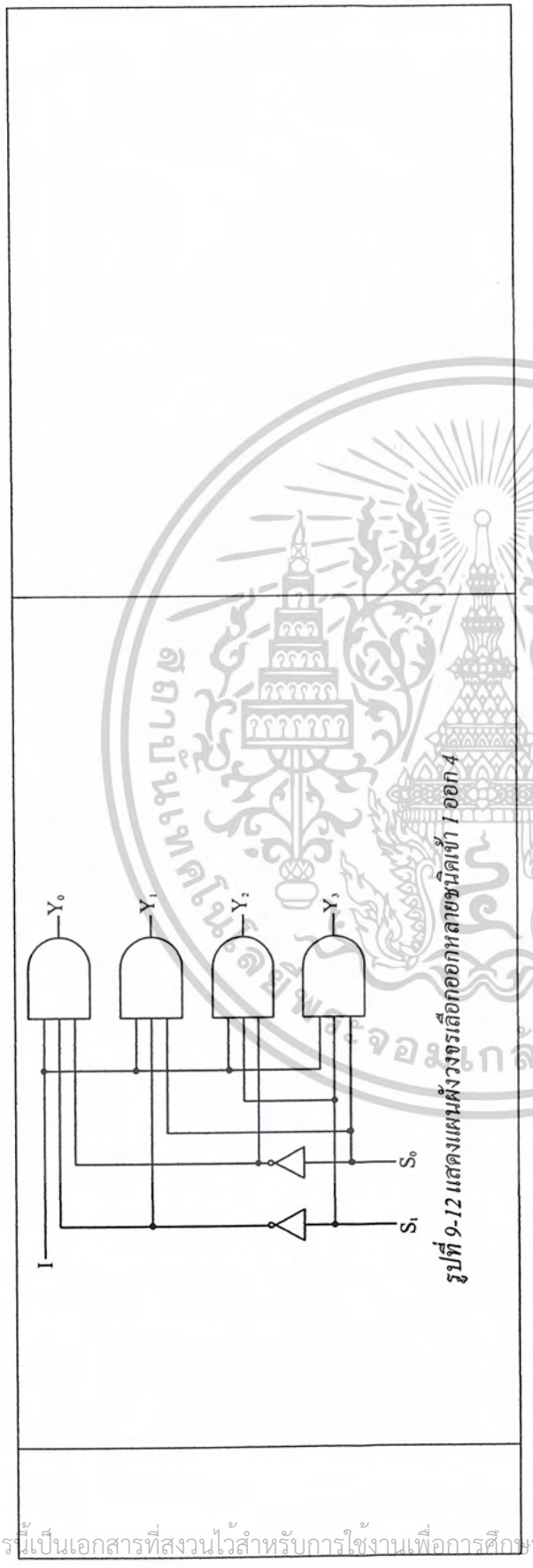
	รูปที่ 9-8 วงจรลอจิกที่แปลงจากรหัส 2'421 ให้เป็นรหัส 8421	
23	***วงจรเลือกออกหนึ่ง (Multiplexer หรือ Data Selector)*** วงจรเลือกออกหนึ่ง (Multiplexer) ทำหน้าที่เลือกข้อมูลเป็นสัญญาณเข้าหลายๆ เส้นให้เป็นสัญญาณออกทีละเส้น โดยมีสายควบคุม (Control Line หรือ Data Select Line) เพื่อเลือกข้อมูลตัวใดตัวหนึ่งออก ดังแสดงในรูปที่ 9-9 การทำงานของวงจรเลือกออกหนึ่ง ชนิดเข้า 2 ออก 1 (2 line to 1 line) ในวงจรนี้มีสัญญาณเข้า D_0 และ D_1 สำหรับการเลือกข้อมูลจากสัญญาณเข้าตัวใดตัวหนึ่งออกไปยังสัญญาณออก F โดยมีสัญญาณ S เป็นตัวเลือก	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค"ขึ้นมา"จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"
24	 *รูปที่ 9-9 แสดงแผนผังการทำงานของวงจรเลือกออกหนึ่ง ชนิดเข้า 2 ออก 1*	- รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค "เลื่อน" ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน "ตารางหมากรุก" ทิศทางลง
25	ถ้า S = "0" หมายถึงการนำข้อมูลที่เข้าทาง D_0 ออกที่ F แต่ถ้ากำหนดให้ S = "1" หมายถึงให้นำข้อมูลที่เข้าทาง D_1 ออกที่ F จำนวนสัญญาณเข้าของวงจรเลือกออกหนึ่ง	- เนื้อหาใช้เทคนิค"ความเร็วสูง"

	ใดๆ ขึ้นอยู่กับจำนวนสัญญาณเข้าที่ใช้เป็นตัวเลือกข้อมูล โดยจำนวนสัญญาณเข้าเท่ากับ 2^n สาย เมื่อ n เป็นจำนวนสัญญาณควบคุมที่ใช้เลือกข้อมูลเช่น n = 3 จำนวนสัญญาณเข้าที่มีได้เท่ากับ 8 สาย จากรูปที่ 9-9 เขียนตารางความจริงได้ดังตารางที่ 9-4	
26	 *ตารางที่ 9-4 ตารางความจริงของวงจรเลือกออกหนึ่ง ชนิดเข้า 2 ออก 1*	- ตารางใช้เทคนิคแถบแยกแบบ “แนวตั้ง” - คำอธิบายตารางใช้เทคนิค “ขยาย”
27	จากตารางที่ 9-4 เราจะได้สมการของ F ดังนี้ $F = \overline{S} \cdot D_0 \cdot \overline{D}_1 + \overline{S} \cdot D_0 \cdot D_1 + S \cdot \overline{D}_0 \cdot D_1 + S \cdot D_0 \cdot D_1$ เมื่อยุบสมการแล้วจะได้ $F = S \cdot D_0 + S \cdot D_1$ หลังจากนั้นทำการเขียนแผนผังวงจรลอจิกซึ่งจะได้ดังรูปที่ 9-1	แสดงสมการโดยใช้เทคนิค “เลื่อน” แสดงขึ้นมาทีละตัว

S	D_0	D_1	F
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

28	 *รูปที่ 9-10 แสดงแผนผังวงจรเลือกออกหนึ่ง ชนิดเข้า 2 ออก 1*	- รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค “เลือน” ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
29	***วงจรเลือกออกหลาย (Demultilexer)*** วงจรเลือกออกหลาย (Demultiplexer) เป็นวงจรที่ทำงานตรงกันข้ามกับวงจรเลือกออกหนึ่ง คือทางด้านสายสัญญาณเข้ามีสายเข้าวงจรเพียงสายเดียวแต่มีสายออกหลายสาย การทำงานของวงจรเลือกออกหลายเพื่อใช้แยกสัญญาณเข้าสายเดียวเข้าวงจรหลายวงจรครั้งละวงจร ซึ่งจะถูกควบคุมด้วยสายควบคุม จำนวนสายออกเท่ากับ 2^n สาย เมื่อ n เป็นจำนวนสายสัญญาณที่ใช้ควบคุมข้อมูล เช่น n = 2 จำนวนสายสัญญาณออกที่มีได้เท่ากับ 4 สายเป็นต้น	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
30	รูปที่ 9-11 แสดงผังการทำงานของวงจรเลือกออกหลาย ชนิดเข้า 1 สายออก 4 สาย โดยมีสายควบคุมอยู่ 2 สาย คือสาย S_1 และ S_0	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค “เลือน” ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว

	 *รูปที่ 9-11 แสดงผังการทำงานของวงจรเลือกออกหลาย ชนิดเข้า 1 สายออก 4 สาย*	- คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง
31	ส่วนในรูปที่ 9-12 นั้นจะเป็นการแสดงแผนผังวงจรเลือกออกหลายชนิดเข้า 1 ออก 4	- เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง” - รูปนั้นแสดงโดยใช้เทคนิค “เลือน” ค่อยๆ แสดงขึ้นมาทีละตัว - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง

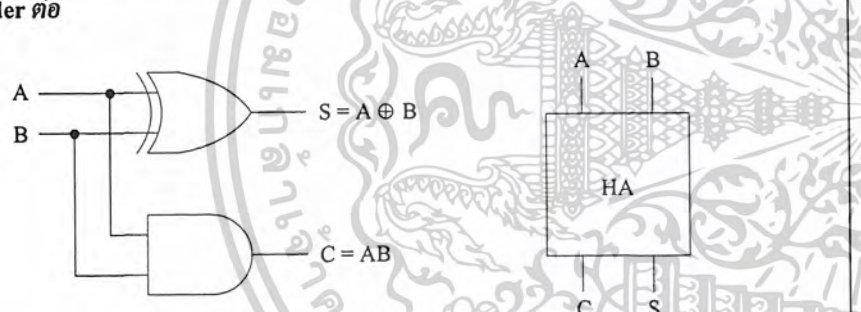


รูปที่ 9-12 แสดงแผนผังวงจรเลือกออกหลายชนิดเข้า 1 ออก 4

ตารางที่ ก-11 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 9 การเข้ารหัส การถอดรหัส และการแปลงรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	**บทที่ 10** **หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Logic Unit : ALU)**	- ส่วนของ บทที่ 10 ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ” - ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ความเร็วสูง”
2	**บทนำ** คอมพิวเตอร์คือเครื่องคิดเลขชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการประมวลผลได้หลากหลาย ซึ่งคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องมีหน่วยประมวลผลกลาง คือ CPU (Central Processing Unit) ที่ทำหน้าที่ในการประมวลผลต่างๆ โดยมีหน้าที่หลักคือการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งการประมวลผลทางคณิตศาสตร์นี้มีอยู่สองประเภท คือ การประมวลผลเลขจำนวนเต็มและเลขทศนิยม ดังนั้น CPU จึงมีหน่วยประมวลผลที่ใช้สำหรับประมวลผลแยกตามประเภทของการประมวลผล โดยที่การประมวลผลเลขจำนวนเต็มนั้นจะเป็นหน้าที่ของ ALU (Arithmetic Logic Unit) และการประมวลผลเลขทศนิยมจะเป็นหน้าที่ของ FPU (Floating Point Unit) ซึ่งในบทนี้เราจะพูดถึง ALU ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลที่ CPU ส่วนใหญ่จำเป็นต้องมี และการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ของ ALU นั้นส่วนใหญ่จะถูกลดให้เหลือแค่การบวกและลบเท่านั้น เนื่องจากการคูณและหารนั้นสามารถใช้การบวกและลบประมวลผลแทนได้ และทำให้ง่ายในการออกแบบ ALU ด้วย	- ส่วนของ บทนำ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลือน” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ตารางหมากรุก”
3	**หัวข้อเรื่อง** **10.1 Half Adder** **10.2 Full Adder** **10.3 Adder 4-bit (วงจรบวกเลขขนาด 4 บิท)** **10.4 Half Subtracter** **10.5 Comparator**	- ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ แต่ละหัวข้อ (10.1-10.5) ใช้เทคนิค “การเชื่อมโยงหลายมิติ” เพื่อใช้เชื่อมโยงไปยังหน้าของภาพนิ่งที่มีหัวข้อนั้นอยู่

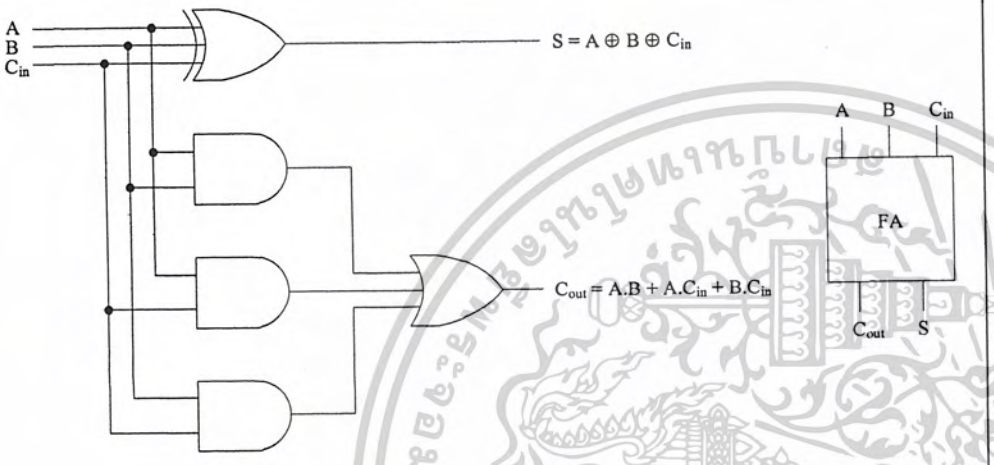
4	**10.1 Half Adder** วงจร Half Adder เป็นวงจรบวกเลขฐานสองขั้นพื้นฐานขนาด 1 บิท ซึ่งประกอบไปด้วยอินพุทที่เป็นตัวตั้ง A และตัวบวก B อย่างละ 1 บิทและเอาท์พุทที่เป็นผลลัพธ์ S กับตัวทด C อีกอย่างละ 1 บิท ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 10-1 โดยมีหลักการทำงานคือผลลัพธ์ S จะนำเอาอินพุท A และ B มาทำ XOR กันเพราะว่าถ้าอินพุทเหมือนกันผลลัพธ์ที่ได้ก็ต้องเป็น 0 ซึ่งมีอยู่ 2 กรณีคืออินพุทเป็น 1 ทั้งคู่จะได้ 1 + 1 = 0 ทด 1 และอินพุทเป็น 0 ทั้งคู่ 0 + 0 = 0 ทด 0 ในส่วนของตัวทด C จะนำเอาอินพุท A และ B มา AND กันเพราะว่าการบวกเลขฐานสองขนาด 1 บิทจะมีการทดเมื่ออินพุทเป็น 1 ทั้งคู่เท่านั้น ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 10-1	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
5	**10.1 Half Adder *ต่อ***  ***รูปที่ 10-1 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ Half Adder***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”
6	**10.1 Half Adder *ต่อ*** Input | Output	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง

			-> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

ตารางที่ 10-1 แสดงตารางความจริงของวงจร Half Adder

7	**10.2 Full Adder** เนื่องจากวงจรบวกเลขแบบ Half Adder นั้นไม่สามารถนำมาประกอบเป็นวงจรบวกเลขแบบหลายๆบิทได้เนื่องจากอินพุทของวงจรมีแค่ตัวตั้งกับตัวบวกแต่ไม่มีตัวทดเข้า (Carry in) ที่ทดมาจากบิทที่ต่ำกว่าเราจึงนิยมใช้วงจร Half Adder ในกรณีที่บวกเลขฐานสองขนาด 1 บิทหรือถ้าจะใช้ในวงจรบวกเลขแบบหลายบิทก็สามารถใช้เป็นแค่บิทต่ำสุด (LSB) เท่านั้น ดังนั้นวงจร Full Adder จึงจำเป็นต้องใช้เมื่อต้องการสร้างวงจรบวกเลขที่มีขนาดตั้งแต่ 2 บิทขึ้นไป ซึ่งวงจร Full Adder นี้ต่างจาก Half Adder ตรงที่มีอินพุทเพิ่มเข้ามาอีกหนึ่งคือตัวทดเข้า ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 10-2	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
8	**10.2 Full Adder *ต่อ***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”



รูปที่ 10-2 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ Full Adder

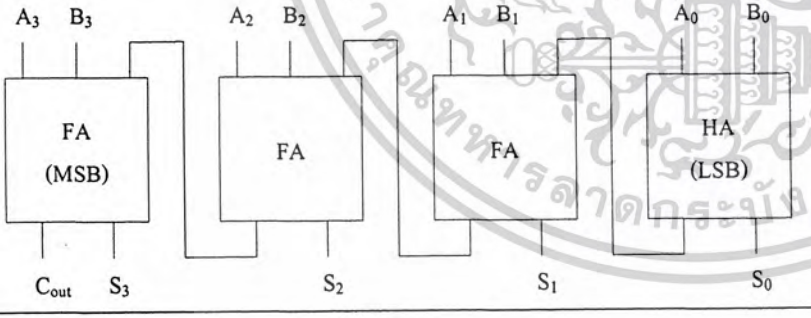
9 **10.2 Full Adder *ต่อ***

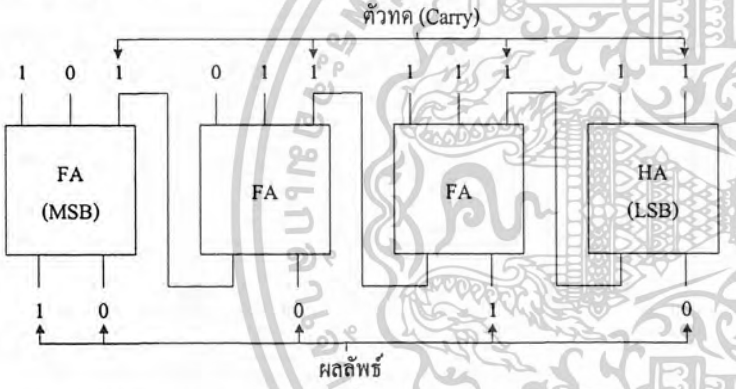
Input			Output	
A	B	C_{in}	S	C_{out}
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1

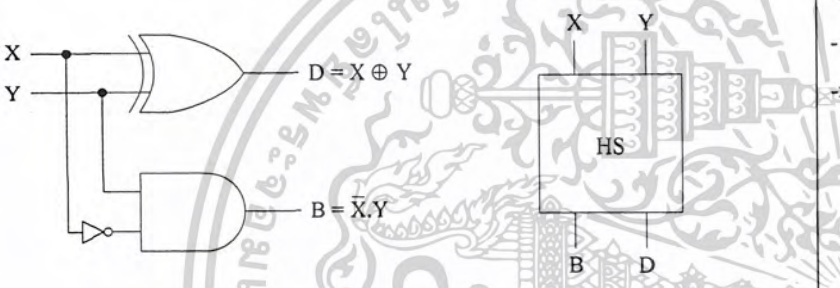
- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี”
- ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

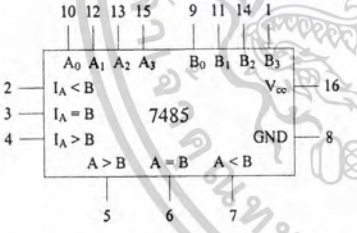
ตารางที่ 10-2 แสดงตารางความจริงของวงจร Full Adder

10	**10.3 Adder 4-bit (วงจรบวกเลขขนาด 4 บิท)** จากหัวข้อที่ผ่านมาเราได้ทราบถึงรูปแบบและหลักการทำงานของวงจรบวกเลขแบบ Half Adder และ Full Adder ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงเป็นการนำวงจรทั้งสองมาประยุกต์ใช้งานซึ่งวงจรที่จะใช้ยกตัวอย่างคือวงจรบวกเลขขนาด 4 บิทซึ่งเป็นการนำวงจร Half Adder และ Full Adder มาประกอบรวมกันดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 10-3	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
11	**10.3 Adder 4-bit (วงจรบวกเลขขนาด 4 บิท) *ต่อ***  	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

	รูปที่ 10-3 แสดงวงจรบวกเลขขนาด 4 บิท	
12	**10.3 Adder 4-bit (วงจรบวกเลขขนาด 4 บิท) *ต่อ*** จากรูปที่ 10-3 เป็นการแสดงตัวอย่างวงจรบวกเลขขนาด 4 บิทซึ่งมีหลักการทำงานคือจะทำการบวกเลขฐานสองทีละบิทโดยเริ่มจากบิทที่ต่ำสุด (LSB) ไปทีละบิทจนถึงบิทที่สูงสุด (MSB) ซึ่งในการบวกแต่ละบิทถ้ามีตัวทดเกิดขึ้นก็จะทดไปบวกยังหลักถัดไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ คำอธิบาย ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"
13	จงหาผลลัพธ์ของ $1011_2 + 0111_2$  $\therefore\ 1011_2 + 0111_2 = 10010_2$	- ในส่วนของ โจทย์ ไม่มีการใช้เทคนิคใดๆ - ในส่วนของ วิธีทำ (รูปภาพ) ใช้เทคนิค ดังต่อไปนี้ การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เลือน" และ "ปรากฏ" การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> เส้นทางการเคลื่อนที่ -> วาดเส้นทางที่กำหนดเอง -> "เส้น" เพื่อใช้แสดงการบวกเลข, ผลลัพธ์ และ ตัวทดที่ได้จาก Adder แต่ละตัว - ในส่วนของ คำตอบ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี"
14	**10.4 Half Subtracter** เป็น Half Subtracter เป็นวงจรลบเลขฐานสองขนาด 1 บิท โดยมีอินพุทสองอินพุทคือตัวตั้ง X และตัวลบ Y และมีเอาท์พุทอีกสองเอาท์พุทคือผลลัพธ์ D และตัวยืม B ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 10-4 ซึ่งวงจรนี้มีหลักการทำงานดังนี้คือผลลัพธ์ D จะนำเอาอินพุท X และ Y มาทำการ XOR กัน เนื่องจากถ้าอินพุทที่เข้ามาเหมือนกันผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเป็น 0 เนื่องจากวงจรลบเป็นการหาความ	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "แทรกเข้าใน"

	แตกต่างดังนั้นเมื่ออินพุทที่เข้ามาเหมือนกันก็คือไม่ต่างกัน ในส่วนของตัวยืม B จะนำเอา $\overline{X}$ และ Y มา AND กันที่ต้องใช้ $\overline{X}$ เนื่องจาก B คือตัวยืมถ้ามีการยืมเกิดขึ้น B จะมีค่าเป็น 1 ดังนั้นถ้าอินพุท X เป็น 0 และอินพุท Y เป็น 1 จะมีการยืมเกิดขึ้นเพราะว่าตัวตั้งน้อยกว่าตัวลบนั่นเอง	
15	**10.4 Half Subtracter *ต่อ***  ***รูปที่ 10-4 แสดงวงจรและสัญลักษณ์ของ Half Subtracter***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"
16	**10.4 Half Subtracter *ต่อ***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "เครื่องพิมพ์ดีดสี" - ส่วนของ ตาราง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> "ปรากฏ"

Input		Output	
X	Y	D	B
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0

	ตารางที่ 10-3 แสดงตารางความจริงของวงจร Half Subtracter	
17	**10.5 Comparator (วงจรเปรียบเทียบ)** วงจร Comparator ใช้ในการเปรียบเทียบอินพุทที่รับเข้ามาว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ซึ่งวิธีการในการเปรียบเทียบสามารถทำโดยใช้วงจรลบ (Subtracter) ซึ่งถ้าผลลัพธ์ที่ได้เป็น 0 แสดงว่าอินพุทที่รับเข้ามามีค่าเท่ากัน หรือจะใช้ Exclusive OR Gate ก็ได้ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายกว่าเนื่องจากเอาท์พุทของ Exclusive OR Gate จะเป็น 0 เมื่ออินพุทที่รับเข้ามามีค่าเท่ากัน ซึ่งทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมีสามารถเปรียบเทียบได้ว่าอินพุทที่รับเข้ามามีค่าเท่ากับหรือไม่เท่านั้นไม่สามารถบอกได้ว่าอินพุทตัวใดมีค่ามากหรือตัวใดมีค่าน้อยดังนั้นถ้าต้องการเปรียบเทียบแบบครบทุกกรณีก็ควรจะใช้วงจรสำเร็จรูปหรือ IC (Integrate Circuit) เช่น IC TTL 7485 ดังตัวอย่างในรูปที่ 10-5	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
18	**10.5 Comparator (วงจรเปรียบเทียบ)** *ต่อ*  *รูปที่ 10-5 แสดงสัญลักษณ์ของ TTL 7485 4-bit Comparator*	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

ตารางที่ ก-12 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 10 หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	***หน่วยความจำ (Memory)*** ***บทนำ*** ในการออกแบบระบบคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป อุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor) ที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำจะถูกใช้งานเป็นหน่วยเก็บข้อมูลอันดับแรกที่ใช้เก็บโค้ดและข้อมูล หน่วยความจำนั้นจะต่อโดยตรงเข้ากับซีพียู (CPU) และพวกมันก็เป็นส่วนแรกที่ซีพียูใช้ในการติดต่อเพื่อเรียกใช้ข้อมูล (ส่วนที่เป็นโค้ดและข้อมูล) ด้วยเหตุนี้เราจึงเรียกหน่วยความจำเหล่านี้ว่าไพรมารี่เมโมรี่ (Primary memory) ความต้องการอันดับแรกของหน่วยความจำไพรมารี่ก็คือความเร็วในการตอบสนองต่อตัวซีพียู ซึ่งก็มีเพียงหน่วยความจำที่สร้างจากอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์เท่านั้นที่ตอบสนองความต้องการนี้ได้ ซึ่งที่มีใช้กันอยู่นั้นมีทั้งรอม (ROM) และแรม (RAM) ก่อนที่จะอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างรอมและแรมนั้น เราจะมาดูกันก่อนว่าหน่วยความจำนั้นมีองค์ประกอบที่ใช้ในการแยกแยะอย่างอื่นอีก เช่นความจุ (Capacity) องค์ประกอบภายใน (Organization) และความเร็ว (Speed)	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”
2	***ความจุของหน่วยความจำ (Memory Capacity)*** จำนวนของบิตที่หน่วยความจำสามารถเก็บไว้ได้เรียกว่าเป็นความจุของตัวชิพ	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค“ความเร็วสูง”

	(Chip Capacity) ซึ่งก็มีหน่วยเป็นกิโลบิต (Kilobits) เมกะบิต (Megabits) ซึ่งมันแตกต่างจากความจุของคอมพิวเตอร์ ขณะที่ความจุของหน่วยความจำบนตัวไอซี (IC) จะใช้หน่วยความจุเป็นบิต ส่วนหน่วยความจำที่อยู่ระบบคอมพิวเตอร์นั้นมีหน่วยความจุเป็นไบต์ (bytes) ยกตัวอย่างบทความของนิตยสารทางอิเล็กทรอนิกส์ที่กล่าวถึง 4M นั้นจะหมายความว่า 4 เมกะบิต โดยจะเป็นที่เข้าใจกันเองถ้าบทความนั้นอ้างถึงหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ในไอซี อย่างไรก็ตามถ้ามีการโฆษณาว่าคอมพิวเตอร์นั้นมาพร้อมกับหน่วยความจำ 4M ขอให้เข้าใจว่า 4M ในที่นี้นั้นคือ 4 เมกะไบต์	
3	***องค์ประกอบภายในของหน่วยความจำ (Memory Organization)*** องค์ประกอบภายในของหน่วยความจำนั้นจะจำแนกเป็นตำแหน่งที่ใช้บรรจุลงบนตัวไอซี โดยแต่ละตำแหน่งนั้นจะมีความจุ 1 บิต 4 บิต 8 บิต หรือแม้แต่ 16 บิตก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ส่วนจำนวนของบิตที่แต่ละตำแหน่งจุได้นั้นจะมีค่าเท่ากับจำนวนขาข้อมูล (Data) ของตัวชิพ ถ้าจะถามว่าตัวชิพนั้นมีจำนวนตำแหน่งที่ใช้เก็บข้อมูลเป็นเท่าไหร่นั้น ซึ่งจำนวนนี้ก็จะขึ้นอยู่กับจำนวนขาแอดเดรส (Address) ของตัวชิพ จำนวนตำแหน่งที่อยู่ในตัวไอซีนั้นจะมีค่าเท่ากับ 2 ยกกำลังด้วยจำนวนขาแอดเดรส ซึ่งสรุปแล้วค่าต่างๆ ในหน่วยความจำนั้นจะเป็นดังนี้ 1. ชิพแต่ละตัวนั้นประกอบด้วย 2^x ตำแหน่ง โดยที่ x คือจำนวนขาแอดเดรสที่อยู่บนตัว	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค “ขึ้นมา” จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง” - ส่วนของข้อย่อยนั้นใช้เทคนิค “ลอยเข้าจากด้านล่าง”

	ชิพ 2. แต่ละตำแหน่งจะประกอบไปด้วย y บิต โดยที่ y คือจำนวนขาข้อมูลที่อยู่บนตัวชิพ 3. ตัวชิพนั้นจะมีจำนวนบิตอยู่ $2^x * y$ บิต โดยที่ x คือจำนวนขาแอดเดรสที่อยู่บนตัวชิพ และ y คือจำนวนขาข้อมูลที่อยู่บนตัวชิพ	
4	***ความเร็ว (Speed)*** สิ่งที่มีความสำคัญอีกสิ่งหนึ่งในคุณสมบัติของหน่วยความจำก็คือความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลบนตัวชิพ การเข้าถึงข้อมูลนั้นตำแหน่งของข้อมูลนั้นจะแสดงที่ขาแอดเดรส เมื่อเวลาล่วงไปช่วงเวลาหนึ่งข้อมูลนั้นจะแสดงออกมาทางขาข้อมูล ถ้าช่วงเวลานี้ใช้เวลาสั้นจะส่งผลให้ชิพตัวนั้นแพงไปด้วย ความเร็วของหน่วยความจำนั้นจะเรียกอีกอย่างว่าแอกเซสไทม์ (Access Time) ค่าแอกเซสไทม์ของตัวหน่วยความจำนั้นจะมีค่าตั้งแต่จำนวนแค่ไม่กี่นาโนเซคคัน (nanosecond) ไปจนถึงหลายร้อยนาโนนเซคคัน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของ IC ที่นำมาใช้ในการออกแบบ	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค “ขึ้นมา” จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”
5	จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะขอยกตัวอย่างในการคำนวณหาค่าต่างๆ ของตัวหน่วยความจำดังตัวอย่างต่อไปนี้ **ตัวอย่างที่ 11-1** ชิพหน่วยความจำมีขาแอดเดรส 12 ขา ขาข้อมูล 4 ขา จงหา	- เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง” - ส่วนของข้อย่อยนั้นใช้เทคนิค “ลอยเข้าจากด้านล่าง”

	1) องค์ประกอบภายในของตัวชิพ - ชิพหน่วยความจำนี้มีทั้งสิ้น 4096 ตำแหน่ง (หาได้จาก $2^{12} = 4096$) - โดยแต่ละตำแหน่งนั้นบรรจุข้อมูลอยู่ 4 บิต - ส่งผลให้องค์ประกอบของชิพนั้นเป็น 4096 x 4 แต่มักจะแทนด้วย 4Kx4 2) ความจุของตัวชิพ - ความจุของตัวชิพนั้นมีค่าเท่ากับ 16K บิต เพราะว่ามีตำแหน่งทั้งหมด 4K ตำแหน่งและแต่ละตำแหน่งนั้นบรรจุข้อมูลอยู่ 4 บิต	
6	**ตัวอย่างที่ 11-2** ชิพหน่วยความจำขนาด 512K มีขาข้อมูลอยู่ 8 ขา จงหา 1) องค์ประกอบภายในของตัวชิพ - ชิพหน่วยความจำมีขาข้อมูลจำนวน 8 ขานั้นก็หมายความว่าหนึ่งตำแหน่งบนตัวชิพนั้นสามารถบรรจุข้อมูลได้ 8 บิต ดังนั้นจำนวนตำแหน่งของข้อมูลนั้นหาได้โดย 512K / 8 = 64K ซึ่งองค์ประกอบของตัวชิพนั้นจะเป็น 64Kx8 2) จำนวนขาแอดเดรสของตัวชิพนี้ - ชิพนี้มีจำนวนทั้งหมด 16 ขาแอดเดรส ($2^{16} = 64K$)	- เนื้อหาใช้เทคนิค "ความเร็วสูง" - ส่วนของข้อย่อยนั้นใช้เทคนิค "ลอยเข้าจากด้านล่าง"
7	***รอม (ROM: Read Only Memory)*** รอมคือหน่วยความจำที่ข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ภายในตัวมันจะไม่สูญหายเมื่อตัวมันไม่ได้รับพลังงาน ด้วยเหตุนี้จึงเรียกรอมว่าเป็นหน่วยความจำชนิดนอนโวลาไทท์ (Nonvolatile Memory) ซึ่งก็คือข้อมูลไม่สูญหายนั้นเอง ซึ่งรอมนั้นก็มีอยู่หลายชนิดยกตัวอย่างเช่น พีรอม (PROM) อีพรอม (EPROM) อีสแควร์ พรอม	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค "ขึ้นมา" จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค "ความเร็วสูง"

(EEPROM) แฟลชอีพรอม (Flash EPROM) และมาสก์รอม (Mask EPROM) โดยแต่ละชนิดนั้นจะจำแนกรายละเอียดต่อไป

8

Type	Part Number	Speed (ns)	Capacity	Organization	Number of Pins	VPP (v)
PROM	74S488	35	256	32x8	16	5
	74S472	60	4K	512x8	20	5
	74S573	60	4K	1Kx4	18	5
UV-EPROM	2716	450	16K	2Kx8	24	25
	2716-1	350	16K	2Kx8	24	25
	2716B	450	16K	2Kx8	24	12.5
	2732A-45	450	32K	4Kx8	24	21
	2732A-20	200	32K	4Kx8	24	21
	27C32	450	32K	4Kx8	24	25
	2764A-25	250	64K	8Kx8	28	12.5
	27C64-15	150	64K	8Kx8	28	12.5
	27128-20	200	128K	16Kx8	28	12.5
	27C128-25	250	128K	16Kx8	28	12.5
	27256-20	200	256K	32Kx8	28	12.5

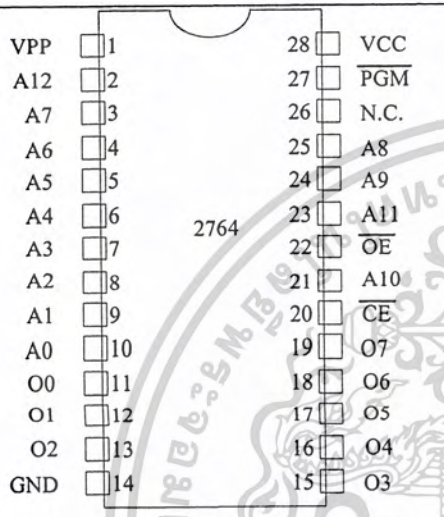
- แสดงตารางโดยใช้เทคนิค “เลื่อน”
- คำอธิบายตารางใช้เทคนิค “ขยาย”

		27C256-20	200	256K	32Kx8	28	12.5
		27512-25	250	512K	64Kx8	28	12.5
		27C512-25	250	512K	64Kx8	28	12.5
		27C010-12	120	1M	128Kx8	32	12.5
		27C201-12	120	2M	256Kx8	32	12.5
		27C401-12	120	4M	512Kx8	32	12.5
	EEPROM	28C16A-25	250	16K	2Kx8	24	none
		2864A	250	64K	8Kx8	28	none
	Flash ROM	28F256-20	200	256K	32Kx8	32	12
		28F256-15	150	256K	32Kx8	32	12
		28F010-20	200	1M	128Kx8	32	12
		28F020-15	150	2M	256Kx8	32	12

ตารางที่ 11-1 ตัวอย่างของชิพหน่วยความจำ

9	ในตารางที่ 11-1 นั้นจะเป็นการแสดงตัวอย่างบางชนิดของชิพรอมที่นิยมใช้กัน และคุณลักษณะของรอม ลองดูตัวอย่างหมายเลขไอซี 27128-20 ซึ่งก็เป็นยูวีอีพรอม (UV-EPROM) ที่มีความจุ 128K บิต และแอกเซสไทม์ 200 นาโนเซกคัน **ตัวอย่างที่ 11-3** จากตารางที่ 11-1 ที่ชิพรอมหมายเลข 27128 จงหาจำนวนของขาข้อมูลและขา	- เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”

	แอดเดรส - 27128 นั้นมีความจุ 128K บิต องค์ประกอบของตัวชิพที่แสดงในตารางคือ 16Kx8 ซึ่งก็หมายความว่ามีขาข้อมูลอยู่ 8 ขา ส่วนขาแอดเดรสนั้นมีอยู่ 14 ขา (2^{14} = 16K)	
10	***พีรอม (PROM: Programmable ROM)*** พีรอมก็คือรอมที่ผู้ใช้งานสามารถเบิร์น (Burn) ข้อมูลต่างๆ ลงบนตัวมันได้ แต่ละบิตของตัวพีรอมนั้นจะเป็นฟิวส์ (Fuse) พีรอมนั้นโปรแกรมได้โดยการทำลายฟิวส์เหล่านั้น ถ้าข้อมูลที่จะเบิร์นลงไปในตัวพีรอมนั้นเกิดผิดพลาด พีรอมนั้นก็จะใช้ประโยชน์ไม่ได้เพราะฟิวส์ข้างในตัวมันนั้นจะถูกทำลายอย่างถาวร ด้วยเหตุนี้จึงเรียกพีรอมอีกอย่างว่าโอทีพี (OTP: One-Time Programmable) การที่เราโปรแกรมรอมนั้นเราเรียกการทำงานนี้ว่าการเบิร์นรอม และจะต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการเบิร์นซึ่งเรียกว่า รอมเบิร์นเนอร์ (Rom Burner) หรือ รอมโปรแกรมเมอร์ (Rom Programmer)	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค “ขึ้นมา” จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”
11	***อีพรอม (EPROM: Erasable Programmable ROM)***	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค“ขึ้นมา”จากด้านล่าง - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลือน”



รูปที่ 11-1 ชิพยูวีรอม

12	**อีพรอมนั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าพีรอมหลังจากที่มันถูกเบิร์น ตัวอีพรอมนั้นจะสามารถโปรแกรมตัวชิพหน่วยความจำและลบข้อมูลที่โปรแกรมไปแล้วได้ 1000 ครั้ง ซึ่งมันเป็นสิ่งที่สำคัญในการทำงานด้านไมโครคอนโทรเลอร์ (Microcontroller) แต่ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นกับตัวอีพรอมนั้นจะเป็นการใช้เวลาประมาณ 20 นาทีต่อการลบข้อมูลแต่ละครั้ง อีพรอมทุกๆ ตัวนั้นจะมีช่องไว้สำหรับส่องรังสียูวี (UV: Ultraviolet) เข้าไปเพื่อทำการลบข้อมูลข้างใน ด้วยเหตุนี้อีพรอมจึงมีอีกชื่อว่ายูวีอีพรอม (UV-EPROM) รูปที่ 11-1 จะแสดงชิพยูวีอีพรอม**	- เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”

13	วิธีการโปรแกรมยูวีอีพรอมนั้นจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) สิ่งที่มันเก็บไว้จะต้องถูกลบออกก่อนเป็นอันดับแรก การลบนั้นให้เราเอามันออกมาจากตัวซอกเกต (Socket) ที่เสียบอยู่บนบอร์ด (Board) ก่อนและนำไปวางไว้บริเวณที่รังสียูวี เพื่อให้รังสียูวีส่องเข้าช่อง วางไว้ประมาณ 15-20 นาที 2) ทำการโปรแกรมตัวชิพด้วยการวางชิพลงบนยูวีพรอมเบิร์นเนอร์ การเบิร์นนั้นจะใช้แรงดันในการเบิร์น โดยค่าแรงดันที่ใช้ในการเบิร์นก็คือค่า VPP บนดาต้าชีท (Data sheet) ของยูวี พรอม 3) นำชิพที่ทำการเบิร์นเรียบร้อยแล้วนั้นมาวางไว้ที่ซอกเกตบนบอร์ดเหมือนเดิม จากที่ได้เห็นวิธีการข้างบนแล้ว จะเห็นได้ว่าตัวยูวีอีพรอมนั้นจะไม่สามารถเบิร์นได้เลยถ้ามันยังอยู่ที่บอร์ด ในการแก้ปัญหานี้จึงได้มีการคิดค้นอีสแคว์พรอมขึ้นมา	- เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง” - ส่วนของข้อย่อยนั้นใช้เทคนิค “ลอยเข้าจากด้านล่าง”
14	***อีสแคว์พรอม (EEPROM: Electrically Erasable Programmable ROM)*** อีสแคว์พรอมนั้นมีข้อดีกว่าอีพรอมอยู่หลายอย่าง เช่น องค์ประกอบที่ใช้ในการลบก็คือไฟฟ้าที่ลบได้เร็ว ตรงกันข้ามกับอีพรอมที่ใช้เวลาประมาณ 20 นาทีในการลบ และสามารถเลือกได้ว่าจะลบส่วนใด แต่ถ้าเป็นอีพรอมนั้นจะเลือกไม่ได้ ที่สำคัญไม่จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายอีสแคว์พรอมออกจากตัวบอร์ดเลย และยังไม่ต้องการใช้อุปกรณ์ภายนอกอื่นเลยเพื่อใช้ในการเบิร์น แต่ข้อเสียของอีสแคว์พรอมนั้นก็คือเมื่อเทียบราคาต่อบิตกับอีพรอมแล้ว มันจะมีราคามากกว่าอีพรอมอยู่	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค “ขึ้นมา” จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”

	มากทีเดียว	
15	*แฟลชอีพรอม (Flash EPROM)* ช่วงต้นยุค 1990 แฟลชอีพรอมนั้นเป็นที่นิยมใช้กันมาก สาเหตุที่มีการนิยมใช้กันอย่างแรกก็คือการลบนั้นใช้เวลาไม่ถึงวินาที เลยเรียกกันว่าหน่วยความจำแฟลช การลบข้อมูลบนตัวแฟลชอีพรอมนั้นก็ยังใช้ไฟฟ้าในการลบข้อมูลอยู่ซึ่งเหตุนี้บางทีจึงเรียกมันว่าแฟลชอีสแคว์พรอม (Flash EEPROM) ดังนั้นเพื่อเป็นการเลี่ยงการสับสนจึงเรียกกันว่าแฟลชเมโมรี่ (Flash Memory) การลบข้อในแฟลชอีพรอมนั้นจะใช้การลบเป็นบล็อกซึ่งในบล็อกนั้นจะเก็บแต่ละส่วนของไบต์ไว้ ผู้ออกแบบบางท่านยังคิดที่จะนำตัวแฟลชเมโมรี่นี้มาแทนที่ฮาร์ดดิสก์ เนื่องจากการทำงานของมันที่คล้ายการทำงานของฮาร์ดดิสก์ที่มีการโปรแกรมและลบคล้ายๆ กัน ซึ่งแฟลชอีพรอมนั้นค่าแอกเซสไทม์นั้นจะเร็วกว่าตัวฮาร์ดดิสก์อยู่หลายเท่า แต่ก็ยังใช้งานไม่ได้เพราะว่าการโปรแกรมและลบข้อมูลนั้นแฟลชเมโมรี่และอีสแคว์พรอมทำได้เพียง 10000 ครั้งเท่านั้น ส่วนตัวฮาร์ดดิสก์นั้นไม่จำกัดการโปรแกรมหรือการลบบนตัวมันเลย	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค “ขึ้นมา” จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”
16	*มาสก์รอม (Mask ROM)* มาสก์รอมก็คือรอมอีกชนิดหนึ่งที่มีการโปรแกรมมาแล้วจากโรงงานผู้ผลิตไอซี ซึ่ง	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค “ขึ้นมา” จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”

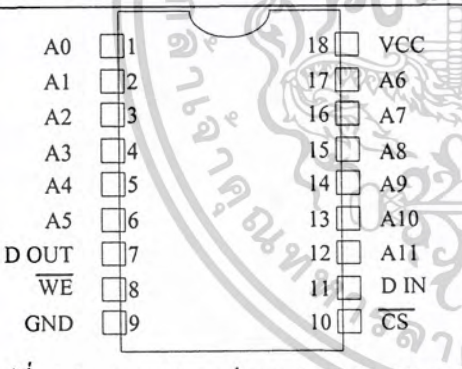
	มันก็คือรอมที่ไม่ได้โปรแกรมโดยตัวผู้ใช้เอง ซึ่งจะสร้างขึ้นเพื่อรองรับความต้องการที่จะใช้งานในปริมาณมากๆ ในการทำงานที่เหมือนกัน ดังนั้นมันจึงเป็นรอมที่มีราคาต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับรอมชนิดอื่นๆ	
17	***แรม (RAM: Random Access Memory)*** แรมเป็นหน่วยความจำชนิดโวลาไทล์(Volatile) คือเมื่อไม่ได้รับพลังงานค่าต่างๆ ในตัวไอซีก็จะสูญหาย บางที่แรมจะถูกเรียกว่าหน่วยความจำที่สามารถเขียนและอ่านได้ (RAWM: Read and Write Memory) ซึ่งแตกต่างจากรอมที่ไม่สามารถเขียนข้อมูลได้ แรมนั้นมีอยู่ 3 ชนิดนั้นคือ สแตติกแรม (Static RAM: SRAM) ไดนามิกแรม (Dynamic RAM: DRAM) และเอ็นวีแรม (NV-RAM: Nonvolatile RAM)	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค “ขึ้นมา” จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”
18		- แสดงตารางโดยใช้เทคนิค “เลือน” - คำอธิบายตารางใช้เทคนิค “ขยาย”

RAM Type	Part Number	Speed (ns)	Capacity	Organization	Number of Pins
SRAM	6116-1	100	16K	2Kx8	24
	6116LP-70*	70	16K	2Kx8	24
	6264-10	100	64K	8Kx8	28
	62256LP-10*	100	256K	32Kx8	28
DRAM	4116-20	200	16K	16Kx1	16

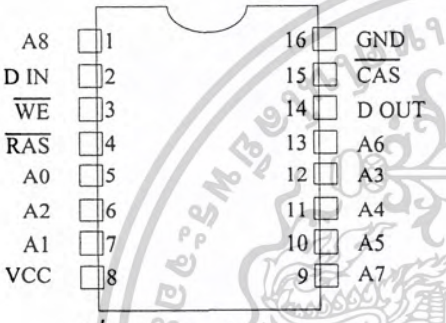
			4116-15	150	16K	16Kx1	16	
			4116-12	120	16K	16Kx1	16	
			4416-12	120	64K	16Kx4	18	
			4416-15	150	64K	16Kx4	18	
			4164-15	150	64K	64Kx1	16	
			41464-8	80	256K	64Kx4	18	
			41256-15	150	256K	256Kx1	16	
			41256-6	60	256K	256Kx1	16	
			414256-10	100	1M	256Kx4	20	
			511000P-8	80	1M	1Mx1	18	
			514100-7	70	4M	4Mx1	20	
		NV-SRAM	DS1220	100	16K	2Kx8	24	
			DS1225	150	64K	8Kx8	28	
			DS1230	70	256K	32Kx8	28	

ตารางที่ 11-2 ตัวอย่างของชิพแรมแต่ละรุ่น

19	***เอสแรม (SRAM: Static RAM)*** เซลล์ (Cells) ของเอสแรมนั้นถูกสร้างขึ้นมาจากฟลิปฟลอบ ด้วยเหตุนี้จึงไม่	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค “ขึ้นมา” จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”

	จำเป็นต้องมีการรีเฟรช (Refresh) ตัวมันเพื่อช่วยในการรักษาข้อมูลภายใน ซึ่งจะแตกต่างจากการทำงานของดีแรม (DRAM) ที่จะอธิบายต่อไป แต่ปัญหาของเอสแรมนั้นก็คือแต่ละเซลล์ที่สร้างจากฟลิปฟลอบนั้นต้องการทรานซิสเตอร์ (Transistor) อย่างน้อย 6 ตัวเพื่อใช้ในการสร้าง และแต่ละเซลล์นั้นจะใช้เก็บข้อมูลหนึ่งบิต ช่วงหลังๆ มานี้แต่ละเซลล์นั้นจะใช้ทรานซิสเตอร์เพียง 4 ตัว แต่ก็ยังมากอยู่ดี แต่ละเซลล์ที่สร้างทรานซิสเตอร์4 ตัวรวมเข้ากับการใช้เทคโนโลยีของซีมอส (CMOS) เข้าไปด้วยก็เลยก่อให้เกิดเอสแรมที่มีความจุสูง แต่ความจุของเอสแรมนั้นเมื่อเทียบกับดีแรมก็ยังน้อยกว่ามาก ตารางที่ 11-2 แสดงตัวอย่างบางส่วนของเอสแรม เอสแรมนั้นในการทำเป็นแคชเมโมรี่ (Cache Memory) ซึ่งถือเป็นหน่วยความจำที่เร็วที่สุดบนตัวพีซี ในรูปที่ 11-2 นั้นแสดงรูปที่อธิบายถึงขาต่างๆ ของชิพเอสแรม 2147	
20	 *รูปที่ 11-2 แสดงเอสแรมรุ่น Intel 2147H 4096x1*	- คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลื่อน”

21	***ดีแรม (DRAM: Dynamic RAM)*** ปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์นั้นต้องการต้องการหน่วยความจำที่อ่านและเขียนได้ที่มีขนาดใหญ่ และราคาถูก ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญในการออกแบบระบบคอมพิวเตอร์ ในปี 1970 บริษัทอินเทล (Intel Corporation) ได้นำดีแรมตัวแรกออกมาสู่ตลาด โดยมีความจุ 1024 บิต และใช้คาปาซิเตอร์ในการเก็บแต่ละบิต การใช้คาปาซิเตอร์ในการส่งข้อมูลเพื่อให้ทรานซิสเตอร์เก็บข้อมูล นั้นหมายความว่าจะต้องมีการรีเฟรชเพื่อให้ข้อมูลคงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งก็แตกต่างจากเอสแรมที่แต่ละเซลล์ของมันนั้นจะสร้างจากฟลิปฟลอบ เพราะว่าในเอสแรมใช้ฟลิปฟลอบหนึ่งตัวที่สร้างจากทรานซิสเตอร์ 6 ตัว เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล 1 บิต ดังนั้นเอสแรมจึงเป็นหน่วยความจำที่แต่ละเซลล์นั้นมีขนาดใหญ่ ส่งผลให้มันมีความจุต่ำไปด้วย การใช้คาปาซิเตอร์ในการเก็บแต่ละเซลล์ในดีแรมนั้นส่งผลให้มันจุได้หลายเซลล์บนตัวเพราะว่าแต่ละเซลล์นั้นมีขนาดเล็ก	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค “ขึ้นมา” จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง”
22	ข้อดีของดีแรมนั้นคือมีความจุมาก ราคาถูกเมื่อเทียบต่อบิต และพลังงานที่จ่ายให้แต่ละบิตนั้นก็ใช้น้อย ส่วนข้อเสียของดีแรมนั้นก็คือจะต้องมีช่วงเวลาของการรีเฟรชเพื่อให้ข้อมูลไม่สูญหาย ดังนั้นช่วงเวลานี้การแอกเซสดีแรมนั้นจะทำไม่ได้ ซึ่งแตกต่างจากเอสแรมตรงที่ตัวเอสแรมนั้นใช้ฟลิปฟลอบในการเก็บข้อมูลซึ่งข้อมูลนั้นจะคงอยู่ตลอดตราบเท่าที่ยังมีการจ่ายพลังงานให้จึงไม่	- เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง” - คำอธิบายรูปใช้เทคนิคปรับเปลี่ยน “ตารางหมากรุก” ทิศทางลง - แสดงรูปโดยการใช้เทคนิค “เลื่อน”

	จำเป็นต้องมีการรีเฟรช ส่งผลให้สามารถเข้าถึงข้อมูลในตัวเอสแรมได้ตลอดเวลา รูปที่ 11-3 แสดงตัวอย่างของดีแรม  *รูปที่ 11-3 แสดงดีแรม 256Kx1*	
23	***เอ็นวีแรม (NV-RAM: Nonvolatile RAM)*** ขณะที่ทั้งดีแรมและเอสแรมนั้นเป็นชนิดโวลาไทล์ ยังมีแรมอีกชนิดหนึ่งที่เป็นชนิดนอนโวลาไทล์เรียกว่าเอ็นวีแรม การทำงานก็เหมือนกับแรมชนิดอื่นๆ คืออนุญาตให้ซีพียูเขียนหรืออ่านข้อมูลบนตัวมันได้ แต่ถ้าเมื่อไม่มีการจ่ายพลังงานให้แก่ตัวมันข้อมูลนั้นจะไม่มีสูญหายเหมือนกันกับตัวรอม เอ็นวีแรมจึงเป็นการรวมเอาข้อดีของรอมและแรมมาใช้ การรักษาข้อมูลให้คงอยู่ของเอ็นวีแรมนั้น ตัวเอ็นวีแรมจะต้องถูกสร้างโดยมีลักษณะดังนี้	- ส่วนหัวเรื่องใช้เทคนิค “ขึ้นมา” จากด้านล่าง - เนื้อหาใช้เทคนิค “ความเร็วสูง” - ส่วนของข้อย่อยนั้นใช้เทคนิค “ลอยเข้าจากด้านล่าง”

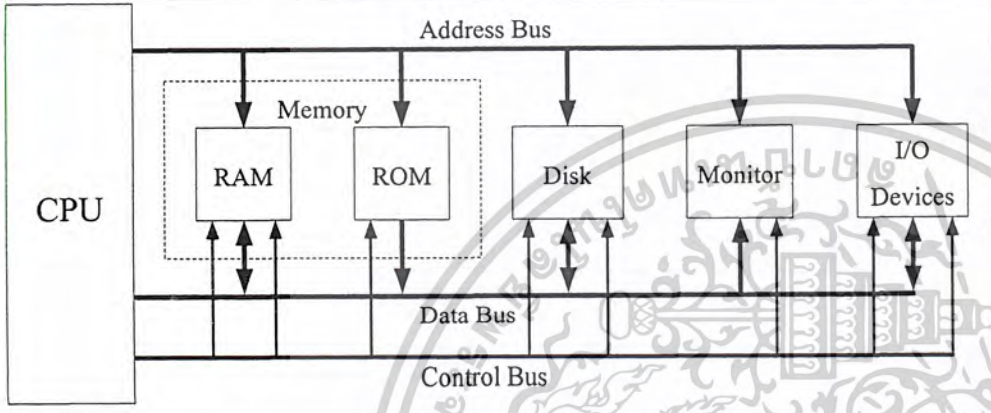
	1) ตัวเอ็นวีแรมนั้นจะสร้างจากเซลล์ของเอสแรมที่ใช้กำลังงานต่ำมากๆ ซึ่งก็คือการสร้างจากซีมอส 2) ตัวมันจะมีแบตเตอรี่ไว้คอยเป็นตัวป้อนพลังงานให้กับตัวมัน 3) ใช้วงจรที่ชาญฉลาดเพื่อคอยตรวจสอบว่าพลังงานที่จ่ายให้แก่วงจรนั้นต่ำกว่าค่าที่กำหนดหรือไม่ ถ้าต่ำกว่าจะต้องสั่งให้แบตเตอรี่ที่อยู่ภายในคอยป้อนพลังงานให้	

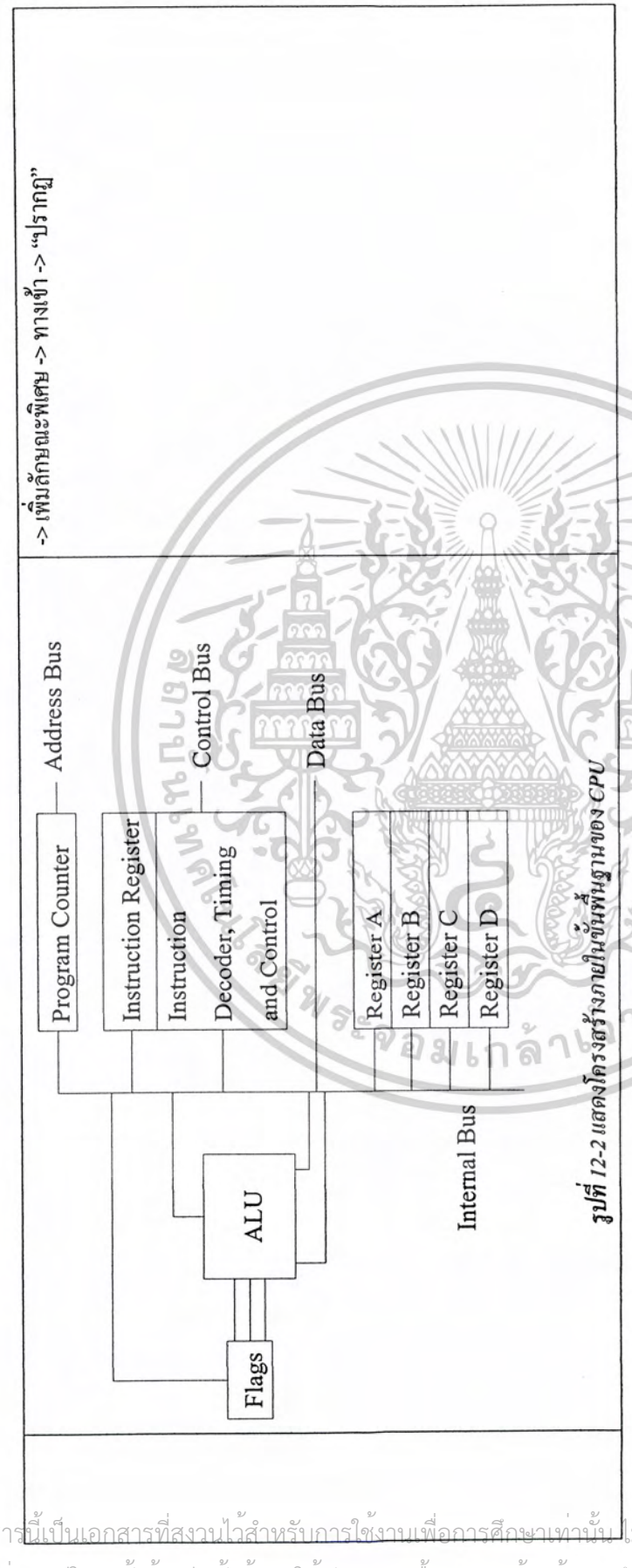
ตารางที่ ก-13 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 11 หน่วยความจำ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ วิทยาเขตจักรพงษภูวนารถ

Slide ที่	เนื้อหา	เทคนิคที่ใช้
1	**บทที่ 12** **ระบบดิจิตอล (Digital System)**	- ส่วนของ บทที่ 12 ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ” - ส่วนของ หัวข้อเรื่อง ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ความเร็วสูง”
2	**บทนำ** ระบบดิจิตอล คือ การนำวงจรดิจิตอลหลายๆวงจรซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกันมารวมกันสร้างเป็นระบบขึ้นมาซึ่งตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน คือ คอมพิวเตอร์ซึ่งภายในคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยวงจรดิจิตอลต่างๆมากมายโดยทั่วไปแล้วส่วนประกอบขั้นพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU), หน่วยความจำ (Memory), ดิสก์ (Disk), อุปกรณ์อินพุท / เอาท์พุท (I/O Devices), ส่วนแสดงผล (Monitor) เป็นต้น ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้เป็นวงจรดิจิตอลทั้งสิ้น	- ส่วนของ บทนำ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เลื่อน” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ตารางหมากรุก”
3	**12.1 โครงสร้างขั้นพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ (Basic Organization of Computers)**	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “ปรากฏ”

	 *รูปที่ 12-1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของคอมพิวเตอร์*	
4	**12.1 โครงสร้างขั้นพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ (Basic Organization of Computers)** ***ต่อ*** จากรูปที่ 12-1 ซึ่งแสดงโครงสร้างขั้นพื้นฐานของคอมพิวเตอร์จะสังเกตเห็นว่า CPU เป็นส่วนสำคัญสำหรับคอมพิวเตอร์ซึ่งภายในของ CPU จะประกอบด้วยวงจรดิจิตอลหลายประเภท เช่น วงจรนับ (Counter), วงจรถอดรหัส (Decoder), วงจรที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอยู่ในหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (ALU) เช่นวงจรบวก (Adder), วงจรลบ (Subtracter) เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างภายในขั้นพื้นฐานของ CPU นั้นได้แสดงอยู่ในรูปที่ 12-2	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ เนื้อหา ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “แทรกเข้าใน”
5	**12.1 โครงสร้างขั้นพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ (Basic Organization of Computers)** ***ต่อ***	- ส่วนของ หัวข้อ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง -> เพิ่มลักษณะพิเศษ -> ทางเข้า -> “เครื่องพิมพ์ดีดสี” - ส่วนของ รูปภาพ ใช้เทคนิค -> การเคลื่อนไหวที่กำหนดเอง



รูปที่ 12-2 แสดงโครงสร้างภายในขั้นพื้นฐานของ CPU

ตารางที่ ค-14 การออกแบบเพื่อนำไปทำส่วนของการนำเสนอบทที่ 12 ระบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Muhammad Ali Mazidi and Janice Gillispie Mazidi : "THE 80x86 IBM PC AND COMPATIBLE COMPUTERS 2nd Edition", Prentice-Hall International Inc.

[2] A.E.A Almaini and Napier Polytechnic of Edinburgh : "ELECTRONIC LOGIC SYSTEMS 2nd Edition", Prentice-Hall International Inc.

[3] Jame W. Bignell and Robert L. Ponovan : "Digital Electronics 3rd Edition", Delmar Publisher Inc. 1994

[4] Ronald J. Tocci : "Digital System Principle and Application 6th Edition", Prentice-Hall International Inc. 1991

[5] Roger L. Tokheim : "Schaum's Outline of Theory and Problem of Digital Principle", McGraw-Hill Inc. 1994

[6] Nicholas L. Pappas : "Digital Design", West Publishing Company. 1994

[7] ประทีป บัญญัตินพรัตน์ : "ทฤษฎีและการใช้งานวงจรดิจิตอล เล่ม 1 และ 2", กรุงเทพฯ : แผนกคอมพิวเตอร์ สจล. 2545

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้