# บทที่ 2 ทฤษฎี / งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษาแนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและศึกษาประสิทธิภาพของชุดทดลองการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้เนื้อหาวิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 2 โดยใช้ชุดทดลอง เป็นสื่อการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาความสามารถให้แก่ผู้เรียน โดยมีรายละเอียดการนำเสนอ และลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2546)

2.2 การสอนปฏิบัติการทดลอง

2.3 องค์ประกอบการสอนปฏิบัติการทดลอง

2.4 ใบงานการทดลอง

2.5 การสร้างใบงานการทดลอง

2.6 การออกแบบการสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลอง

2.7 เนื้อหาที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง

2.8 การสร้างเครื่องมือในการวัดและประเมินผล

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2546) [5]

### 2.1.1 หลักการ

1. เป็นหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ หลังมัธยมศึกษาตอนต้น เพื่อพัฒนากำลังคนระดับฝีมือให้มีความชำนาญเฉพาะด้าน มีคุณธรรม บุคลิกภาพ และเจตคติที่เหมาะสม สามารถประกอบอาชีพได้ตรงตามความต้องการของตลาดแรงงาน และการประกอบอาชีพอิสระ สอดคล้องกับภาวะเศรษฐกิจและสังคมทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับชาติ

2. เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้เลือกเรียนได้อย่างกว้างขวาง เพื่อเน้นความชำนาญเฉพาะด้านการปฏิบัติจริง สามารถเลือกวิธีการเรียนตามศักยภาพและโอกาสของผู้เรียน ถ่ายโอนผลการเรียน สะสมผลการเรียน เทียบความรู้และประสบการณ์จากแหล่งวิทยาการ สถานประกอบการ และสถานประกอบอาชีพอิสระได้

3. เป็นหลักสูตรที่สนับสนุนการประสานความร่วมมือในการจัดการศึกษาร่วมกันระหว่างหน่วยงานและองค์กรที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน

4. เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้สถานศึกษา ชุมชน และท้องถิ่นมีส่วนร่วมในการพัฒนาหลักสูตรให้ตรงตามความต้องการและสอดคล้องกับสภาพชุมชนและท้องถิ่น

### 2.1.2 จุดหมาย

1. เพื่อให้มีความรู้ ทักษะและประสบการณ์ในงานอาชีพตรงตามมาตรฐานวิชาชีพ นำไปปฏิบัติงานอาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเลือกวิถีการดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพได้อย่างเหมาะสมกับตน สร้างสรรค์ความเจริญต่อชุมชน ท้องถิ่น และประเทศชาติ

2. เพื่อให้เป็นผู้มีปัญญา มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ใฝ่เรียนรู้ เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิต และการประกอบอาชีพ สามารถสร้างอาชีพ มีทักษะในการจัดการและพัฒนาอาชีพให้ก้าวหน้าเสมอ

3. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชาชีพ มีความมั่นใจ และภูมิใจในวิชาชีพที่เรียน รักงาน รักหน่วยงาน สามารถทำงานเป็นหมู่คณะได้ดี โดยมีความเคารพในสิทธิและหน้าที่ของตนเองและผู้อื่น

4. เพื่อให้เป็นผู้มีพฤติกรรมทางสังคมที่ดีงาม ทั้งในการทำงาน การอยู่ร่วมกัน มีความรับผิดชอบต่อครอบครัว หน่วยงาน ท้องถิ่นและประเทศชาติ อุทิศตนเพื่อสังคม เข้าใจและเห็นคุณค่าของศิลปวัฒนธรรม ภูมิปัญญาท้องถิ่น รู้จักใช้และอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดี

5. เพื่อให้มีบุคลิกภาพที่ดี มีมนุษยสัมพันธ์ มีคุณธรรม จริยธรรม และวินัยในตนเอง มีสุขภาพอนามัยที่สมบูรณ์ ทั้งร่างกายและจิตใจ เหมาะสมกับงานอาชีพนั้น ๆ

6. เพื่อให้ตระหนักและมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจ สังคม การเมืองของประเทศและโลกปัจจุบัน มีความรักชาติ พระมหากษัตริย์ และการปกครองระบอบประชาธิปไตยอันมีพระมหากษัตริย์เป็นประมุข

### 2.1.3 หลักเกณฑ์การใช้หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ปรับปรุง พ.ศ. 2546)

#### 2.1.3.1 การเรียนการสอน

1. การเรียนการสอนตามหลักสูตรนี้ ผู้เรียนสามารถลงทะเบียนเรียนได้ทุกวิธีเรียนที่กำหนด และนำผลการเรียนแต่ละวิธีมาประเมินผลร่วมกันได้ สามารถโอนผลการเรียนและขอเทียบความรู้และประสบการณ์ได้ด้วย

2. การจัดการเรียนการสอนเน้นการปฏิบัติจริงโดยสามารถนำรายวิชาไปจัดฝึกในสถานประกอบการ ไม่น้อยกว่า 1 ภาคเรียน

**2.1.3.2 เวลาเรียน**

1. ในปีการศึกษาหนึ่ง ๆ ให้แบ่งภาคเรียนออกเป็น 2 ภาคเรียนปกติ ภาคเรียนละ 18 สัปดาห์ โดยมีเวลาเรียนและจำนวนหน่วยกิต ตามที่กำหนด และสถานศึกษาอาจเปิดสอนภาคเรียนฤดูร้อนได้อีกตามที่เห็นสมควร ประมาณ 5 สัปดาห์

2. การเรียนในระบบชั้นเรียน ให้สถานศึกษาเปิดทำการสอนไม่น้อยกว่าสัปดาห์ละ 5 วัน คาบละ 60 นาที (1 ชั่วโมง)

## 2.1.4 หน่วยกิต

ให้มีจำนวนหน่วยกิตตลอดหลักสูตรไม่น้อยกว่า 102 หน่วยกิต การคิดหน่วยกิตถือเกณฑ์ ดังนี้

1. รายวิชาภาคทฤษฎี 1 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ตลอดภาคเรียนไม่น้อยกว่า 20 ชั่วโมง มีค่า 1 หน่วยกิต

2. รายวิชาที่ประกอบด้วยภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติให้บูรณาการเรียนการสอนกำหนด 2-3 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ ตลอดภาคเรียนไม่น้อยกว่า 40-60 ชั่วโมง มีค่า 1 หน่วยกิต

3. รายวิชาที่นำไปฝึกงานในสถานประกอบการ กำหนดเวลาในการฝึกปฏิบัติไม่น้อยกว่า 40 ชั่วโมง มีค่า 1 หน่วยกิต

4. การฝึกอาชีพในระบบทวิภาคี ใช้เวลาฝึกไม่น้อยกว่า 40 ชั่วโมง มีค่า 1 หน่วยกิต

5. การทำโครงการให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในหลักสูตร

## 2.1.5 โครงสร้าง

ผู้สำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขางานอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องศึกษารายวิชาจากหมวดวิชาต่าง ๆ และเข้าร่วมกิจกรรมเสริมหลักสูตรไม่น้อยกว่า 107 หน่วยกิต ดังโครงสร้างต่อไปนี้

1. หมวดวิชาสามัญ ไม่น้อยกว่า 28 หน่วยกิต
   ก) วิชาสามัญทั่วไป 18 หน่วยกิต
   ข) วิชาสามัญพื้นฐานวิชาชีพ 10 หน่วยกิต
2. หมวดวิชาชีพ ไม่น้อยกว่า 69 หน่วยกิต
   ก) วิชาชีพพื้นฐาน 25 หน่วยกิต
   ข) วิชาชีพสาขาวิชา 26 หน่วยกิต
   ค) วิชาชีพสาขางาน 14 หน่วยกิต
   ง) โครงการ 4 หน่วยกิต
3. หมวดวิชาเลือกเสรี ไม่น้อยกว่า 10 หน่วยกิต
4. ฝึกงาน ไม่น้อยกว่า 1 ภาคเรียน

5. กิจกรรมเสริมหลักสูตร ไม่น้อยกว่า 200 ชั่วโมง

รวมไม่น้อยกว่า 107 หน่วยกิต

### 2.1.6 โครงการ

1. สถานศึกษาต้องจัดให้ผู้เรียนจัดทำโครงการในภาคเรียนที่ 6 ไม่น้อยกว่า 160 ชั่วโมง กำหนดให้มีค่า 4 หน่วยกิต

2. การตัดสินผลการเรียนและให้ระดับผลการเรียนให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับรายวิชาอื่น ๆ

### 2.1.7 การฝึกงาน

1. ให้สถานศึกษานำรายวิชาในหมวดวิชาชีพไปจัดฝึกในสถานประกอบการอย่างน้อย 1 ภาคเรียน

2. การตัดสินผลการเรียนและให้ระดับผลการเรียนให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับรายวิชาอื่น ๆ

### 2.1.8 การเข้าเรียน

พื้นความรู้และคุณสมบัติของผู้เรียน ให้เป็นไปตามระเบียบกระทรวงศึกษาธิการว่าด้วยการจัดการศึกษาตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ฉบับปรับปรุง 2546)

### 2.1.9 การประเมินผลการเรียน

ให้เป็นไปตามระเบียบกระทรวงศึกษาธิการว่าด้วยการประเมินผลการเรียนตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ฉบับปรับปรุง 2546)

### 2.1.10 กิจกรรมเสริมหลักสูตร

สถานศึกษาต้องจัดให้มีกิจกรรมเพื่อปลูกฝังคุณธรรม จริยธรรม ค่านิยม ระเบียบ วินัยของตนเอง และส่งเสริมการทำงาน ใช้กระบวนการกลุ่มในการทำประโยชน์ต่อชุมชน ทะนุบำรุงขนบธรรมเนียมประเพณีอันดีงาม โดยการวางแผน ลงมือปฏิบัติ ประเมินผลและปรับปรุงการทำงาน

### 2.1.11 การสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตร

1. ประเมินผ่านรายวิชาในหมวดวิชาสามัญ หมวดวิชาชีพ และหมวดวิชาเลือกเสรี ตามที่กำหนดไว้ในหลักสูตรแต่ละประเภทวิชาและสาขาวิชา

2. ได้จำนวนหน่วยกิตสะสมครบตามโครงสร้างของหลักสูตรแต่ละประเภทวิชาและสาขาวิชา

3. ได้ค่าระดับคะแนนเฉลี่ยสะสมไม่ต่ำกว่า 2.00
4. เข้าร่วมกิจกรรมและผ่านการประเมินทุกภาคเรียน
5. ประเมินผ่านมาตรฐานวิชาชีพสาขาวิชา

### 2.1.12 การแก้ไขและเปลี่ยนแปลงหลักสูตร

ให้อธิบดีกรมอาชีวศึกษาเป็นผู้มีอำนาจในการเพิ่มเติม ปรับปรุง หรือยกเลิกประเภทวิชา สาขางาน รายวิชา และโครงสร้างหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 ในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ฉบับปรับปรุง 2546)

## 2.2 การสอนปฏิบัติการทดลอง

การสอนภาคปฏิบัติในช่างไฟฟ้า -อิเล็กทรอนิกส์ นั้นมีความสำคัญมากเพราะเป็นการพัฒนาความสามารถของผู้เรียนจากการจัดประสบการณ์ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้รับความรู้ในเนื้อหาวิชาและการฝึกทักษะที่เกี่ยวข้องกับการทำงานเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนไปสู่งานในช่างไฟฟ้า -อิเล็กทรอนิกส์ งานปฏิบัติกิจกรรมที่ผสมผสานกันระหว่างความรอบรู้ข้อมูลในศาสตร์ความสามารถทางสมอง (Intellectual Skill and Cognitive Strategies) ความสามารถทางกาย (Manipulative Skills) และเกิดแรงบันดาลใจ (Affective)ในการสร้างงานให้เป็นผลสำเร็จ กิจกรรมการเรียนการสอนที่สนับสนุนความสามารถเหล่านี้ ได้แก่ การสอนทดลอง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าได้มีการพัฒนารูปแบบการสอนทดลองเพื่อนำมาใช้ในการสอนช่างไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาความรู้ ทักษะ ความสามารถ และประสบการณ์เป็นอย่างมาก โดยมีนักการศึกษาหลายท่าน ให้ความหมายของการสอนทดลองไว้ ดังนี้

ภพ เลาหไพบูลย์ [6] กล่าวว่า การทดลอง และการปฏิบัติการในห้องทดลอง เป็นส่วนสำคัญที่เน้นพัฒนาวิธีการทดลองและรูปแบบของการปฏิบัติการ เพื่อที่จะให้นักเรียนได้มีความเข้าใจเนื้อหาวิชาที่เป็นข้อเท็จจริง กฎ หลักการ หรือทฤษฎีได้ถูกต้อง เป็นการทดลองเพื่อทดสอบหรือยืนยันสิ่งที่ทราบคำตอบแล้ว และเป็นการปฏิบัติการเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่ เป็นการเน้นการหาแนวทางให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง หรือคิดค้นหาคำตอบได้ด้วยตนเอง โดยใช้การทดลองเป็นศูนย์กลาง ในการเรียนการสอน นักเรียนจะเป็นผู้ลงมือกระทำการทดลองด้วยตนเอง เป็นผู้วางแผนการทดลอง การเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ ดำเนินการทดลอง การสังเกต บันทึกผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง แปลผลและการสรุปผล เป็นการช่วยให้นักเรียนได้ค้นพบคำตอบด้วยตนเอง

ทิศนา แขมมณี [7] อธิบายไว้ว่า วิธีสอนโดยใช้การทดลอง คือ กระบวนการที่ผู้สอนใช้ในการช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดโดยการให้ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดปัญหาและ

สมมติฐานในการทดลองและลงมือทดลองปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็น เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลสรุปอภิปรายผลการทดลองและสรุปการเรียนรู้ที่ได้รับจากการทดลอง

บุญชม ศรีสะอาด [8] ได้ให้ความหมายของการสอนปฏิบัติการทดลอง คือ การสอนที่ให้ผู้กระทำกิจกรรมการเรียนภายใต้การแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิด โดยการทำการทดลองปฏิบัติโดยผ่านการสังเกตการทดลองสภาพที่ควบคุมไว้ ทำผู้เรียนมีความฉลาดในการใช้เครื่องมือในการทำงานรู้จักสังเกตหาข้อมูลจากสถานการณ์จริงและสามารถสรุปผลจากการศึกษาค้นพบได้ถูกต้อง

ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่ [9] ได้ให้ความหมายของการสอนปฏิบัติการทดลอง (Laboratory Instruction) ไว้ว่า การทดลอง (Laboratory) เป็นการให้การศึกษาโดยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสสัมผัส และได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ และวัสดุด้วยการลงมือปฏิบัติ เป็นงานที่ฝึกการประสานงานระหว่างข้อมูลทางวิชาการในศาสตร์ ความสามารถทางสมองหรือความคิดกับประสาทสัมผัสต่างๆ (Co-ordination between mental and perceptions) เป็นการให้ประสบการณ์หลายมิติที่พัฒนาความสามารถของมนุษย์หลายประการ

พิสิฐ เมธาภัทร และธีระพล เมธีกุล [10] ได้ให้ความหมายของการสอนปฏิบัติการทดลองไว้ว่าการทดลอง เป็นการให้การศึกษาโดยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสสัมผัส และได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและวัสดุด้วยการลงมือปฏิบัติ ประสบการณ์ที่ได้รับ เริ่มจากการวางแผน การออกแบบ การต่อวงจร การใช้เครื่องมือสำหรับการทดลอง การสังเกต การบันทึกข้อมูลทางเทคนิค การสรุปวิเคราะห์ผล ตลอดจนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับบุคคลในลักษณะต่าง ๆ ตั้งแต่การปรึกษาหารือระหว่างผู้ร่วมงานจนถึงการติดต่อเพื่อหาข้อมูลจากผู้อื่น การจัดการเรียนการสอนในการปฏิบัติการทดลองให้บรรลุเป้าหมายได้ จึงต้องมีการกำหนดสิ่งต่างๆ ให้สอดคล้อง เช่น บทบาทผู้สอน ลำดับขั้นตอนของการสอน และกิจกรรมปฏิบัติการทดลอง

จากความหมายดังกล่าว สรุปได้ว่า การสอนปฏิบัติการทดลอง เป็นวิธีการสอนที่จัดรูปแบบประสบการณ์ให้ผู้เรียนได้รับโอกาสฝึกทักษะให้เกิดความสามารถทั้งทางสมองและทางร่างกายจากการนำความรู้ในการเรียนภาคทฤษฎีไปสู่ภาคปฏิบัติเพื่อเป็นการพิสูจน์ข้อเท็จจริงสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องและชัดเจนหรืออาจทำให้เกิดความรู้ใหม่จากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการทดลองที่แตกต่างไปจากทฤษฎีที่กล่าวไว้พร้อมทั้งเป็นการสร้างกิจนิสัยและทัศนคติที่ดีต่อวิชาชีพช่างอุตสาหกรรม

## 2.3 องค์ประกอบการสอนปฏิบัติการทดลอง

พิสิฐ เมธาภัทร และ ธีระพล เมธีกุล [10]ได้จัดองค์ประกอบการสอนปฏิบัติการทดลอง ดังนี้

1. บทบาทของผู้สอนในการเรียนการสอนปฏิบัติการทดลอง
2. ลำดับขั้นตอนของการสอนปฏิบัติการทดลอง
3. ประเภทของการจัดกิจกรรมปฏิบัติการทดลอง

1. บทบาทของผู้สอนในการเรียนการสอนปฏิบัติการทดลอง การเรียนการสอนปฏิบัติการทดลองนี้ ถึงแม้จะกำหนดให้ผู้เรียนเป็นผู้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองก็ตาม แต่ผู้สอนก็ยังมีบทบาทต่อการสอนด้วย โดยผู้สอนจะทำหน้าที่เป็นผู้คอยดูแลช่วยเหลือผู้เรียนเมื่อผู้เรียนต้องการความช่วยเหลือ ผู้สอนจะมีบทบาทเพียงเป็นผู้ที่คอยให้คำแนะนำคอยช่วยเหลือ และคอยสนับสนุนให้ผู้เรียนสนใจปฏิบัติการทดลอง โดยผู้สอนอยู่ในห้องที่ผู้เรียนทำการทดลองตลอดเวลา และควรยืนอยู่ในตำแหน่งที่ผู้เรียนทุกคนสามารถมองเห็นได้ทั่วถึง ผู้สอนไม่ควรมีบทบาทมากเกินไป ควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนทำการค้นคว้า และปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง ผู้สอนจำเป็นต้องเตรียมการสอนอย่างดี นอกจากการเตรียมตัวในการสอนแล้วผู้สอนต้องเตรียมผู้เรียน โดยสร้างแรงจูงใจเพื่อให้ผู้เรียนเกิดความสนใจอยากที่จะเรียน อยากที่จะทำการทดลอง ผู้สอนอาจจะสาธิตเทคนิค หรืออธิบายหลักการ วิธีการในการทำงานให้ผู้เรียนได้เข้าใจเสียก่อน แนะนำให้ผู้เรียนรู้จักใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้จากการปฏิบัติการทดลองมาสรุปผล และประเมินผลการปฏิบัติงาน บทบาทของผู้สอนในกระบวนการเรียนการสอนที่มีการทดลอง แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1) การอภิปรายก่อนการทดลอง (Pre-Lab Discussion) ผู้สอนต้องพยายามเตรียมคำถามต่างๆ เพื่อเป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนอยากรู้ อยากเห็น คิด สงสัย หรือแนะแนวทาง เพื่อผู้เรียนจะได้สืบเสาะหาคำตอบต่อไป ตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆ ในการทดลอง อาทิ ควรทำอะไรก่อนหรือไม่ควรทำอะไรตลอดจนเตือนเรื่องความปลอดภัย เป็นต้น

2) การให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลอง (Experiment Period) ผู้สอนจะต้องดูแลให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด คอยกระตุ้น สนับสนุนและเป็นที่ปรึกษาอยู่ด้วย มิใช่ปล่อยให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลองกันตามลำพังฝ่ายเดียว

3) การอภิปรายภายหลังการทดลอง (Post-Lab Discussion) ผู้สอนจะต้องเตรียมคำถามต่างๆ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถใช้ข้อมูล หรือผลการทดลองที่รวบรวมได้ สรุปเป็นกฎเกณฑ์ ทฤษฎี หรือหลักการต่างๆ รวมทั้งอภิปรายถึงข้อผิดพลาด (Error) ของการทดลองที่อาจเป็นไปได้ด้วยผู้สอนจะมีบทบาทเพียงผู้ที่คอยให้คำแนะนำคอยช่วยเหลือ และคอยสนับสนุนให้ผู้เรียนสนใจทำปฏิบัติการทดลอง ผู้สอนไม่ควรมีบาทบาทมากเกินไป ควรปล่อยให้ผู้เรียนทำการค้นคว้าทดลองด้วยตนเอง

2. ลำดับขั้นตอนของการสอนปฏิบัติการทดลองการสอนปฏิบัติการทดลอง เป็นการสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงและส่งเสริมการค้นพบด้วยตนเอง อาจเป็นการพิสูจน์สิ่งที่คนอื่นค้นพบไว้แล้ว ขณะเดียวกันก็เป็นการค้นคว้าสิ่งใหม่ๆ ไปด้วย เป็นการฝึกการใช้เครื่องมือ การสังเกต การเก็บรวบรวมข้อมูล การแปลความหมายและการเสนอข้อมูล ขั้นตอนของการสอนปฏิบัติการทดลองสามารถแบ่งออกได้ 3 ขั้น คือ

1) ขั้นปฐมนิเทศและการสร้างแรงจูงใจ ผู้สอนจะเป็นผู้เสนอแนะสิ่งที่จะทำการทดลอง โดยอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจในวิธีการทดลอง และแจกคำแนะนำในการทดลอง ( Guide Sheets ) การที่ให้ผู้เรียนได้เกิดความเข้าใจอย่างแจ่มแจ้งในสิ่งที่จะทำการทดลอง จะช่วยให้ผู้เรียนไม่เสียเวลาและจะทำการทดลองด้วยความเชื่อมั่นในตนเอง

2) ขั้นปฏิบัติการ ผู้เรียนทุกคนอาจจะทำการทดลองในปัญหาเดียวกัน หรือแตกต่างกันก็ได้ การทดลองจะกินเวลานานเท่าใด ขึ้นอยู่กับลักษณะของการทดลอง และความแตกต่างระหว่างบุคคล ในขั้นนี้ผู้เรียนจะทำงานภายใต้การสนับสนุนของผู้สอน ความแตกต่างระหว่างบุคคลเป็นสิ่งที่ควรจะต้องนำมาพิจารณาในการมอบหมายงาน หรือเวลาในการทำงาน

3) ขั้นสรุปผล หลังจากทดลองเสร็จแล้ว จะเป็นขั้นสรุปผลการทดลอง ซึ่งอาจจะดำเนินการทดลองโดย อธิบายถึงธรรมชาติและความสำคัญของปัญหาที่แต่ละกลุ่ม หรือแต่ละคนได้ทำการทดลอง, รายงานข้อมูลหรือข้อค้นพบที่รวบรวมได้ , แสดงตัวอย่างที่ได้จากผลงาน, แสดงนิทรรศการผลงานพร้อมอธิบายประกอบ

3. ประเภทของการจัดกิจกรรมปฏิบัติการทดลอง สำหรับการให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการทดลองนั้น มีวิธีการปฏิบัติที่แตกต่างกัน จำแนกออกได้เป็น 5 รูปแบบ คือ

1) แบบดั้งเดิม (Conventional Type) เป็นการทดลองที่ให้ข้อมูล ให้ผู้เรียนปฏิบัติทดลองอย่างสมบูรณ์ ซึ่งมีรูปแบบตั้งแต่การบอกวัตถุประสงค์ ขั้นตอนของการทดลอง การติดตั้งอุปกรณ์ กรรมวิธีการใช้เครื่องมือ ขั้นตอนของการวัดและการสังเกตผลการวัดค่าต่างๆ วิธีการบันทึกข้อมูล ตลอดจนการสรุปผลการทดลองประเภทนี้ มีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียน ได้รู้จักวิธีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์หลักการ หรือทฤษฎีบทต่างๆ ตลอดจนการสร้างความคุ้นเคยกับกระบวนการทดลอง

2) แบบค้นคว้าด้วยตนเองอย่างมีแนวทาง (Structional Discovery) เป็นการทดลองที่มุ่งให้ผู้เรียนได้ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง เพื่อหากฎเกณฑ์เกี่ยวกับหลักการหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น หรือศึกษาการทำงานของเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ตามขั้นตอนที่เหมาะสม การจัดการทดลองอาศัยหลักการของ Discovery Learning โดยผู้เรียนอาศัยความสามารถของตนเองอย่างเต็มที่ ในการค้นคว้าจนถึง Guide Discovery ซึ่งผู้เรียนจะต้องศึกษาค้นคว้าภายใต้การควบคุมของผู้สอนอย่างใกล้ชิด ข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดลองประเภทนี้ แบ่งออกเป็นส่วน ๆ คือข้อมูลสำหรับการเริ่มต้น ข้อมูลที่ทำให้ผู้เรียนค้นหาคำตอบเองในระหว่างการทดลองข้อมูลที่แนะนำให้ผู้เรียนปฏิบัติในขั้นสูงขึ้นไปอีก

3) แบบสืบสวนสอบสวน (Investigational Type) เป็นการทดลองที่มุ่งพัฒนาความสามารถของการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ในการทดลอง เพื่อหาข้อมูลพิสูจน์ข้อสงสัย หรือพิสูจน์สมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยปกติการทดลองประเภทนี้จะไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานอย่างสมบูรณ์ จะละทิ้งข้อมูลบางอย่างเพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนจะค้นหาข้อมูลได้ เอกสารการทดลอง (Laboratory Sheet ) ก็จะให้ข้อมูลบางอย่าง ซึ่งอาจจะเป็นส่วนประกอบของปัญหาในการดำเนินการต่อไป ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการสืบสวนข้อเท็จจริงต่อไป

4) แบบแก้ปัญหา (Problem Solving) เป็นการทดลองที่มีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียนเกิดความสามารถ ในการพัฒนาระบบการแก้ปัญหาให้กับตัวเอง ตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆคือ กระบวนการของการวิเคราะห์ปัญหา กรรมวิธีในการตั้งสมมติฐานสำหรับปัญหาที่พบ การค้นหาวิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบต่างๆ กระบวนการหาข้อมูลสำหรับการแก้ปัญหา การสรุปปัญหาวิธีการแก้ปัญหา และผลลัพธ์ของการแก้ปัญหา ข้อมูลของการทดลองประเภทนี้ จะมีการกำหนดชื่อเรื่องของปัญหาให้ โดยมีรายละเอียดของปัญหาที่พอเหมาะคือไม่มากเกินไป จนเป็นการปิดโอกาสที่ผู้เรียนจะคิดหาทางแก้ปัญหาด้วยตนเอง และไม่น้อยเกินไปจนผู้เรียนขาดแนวทางที่จะปฏิบัติได้ ต่อจากปัญหาและองค์ประกอบของปัญหา ก็ควรจะเป็นข้อมูลที่ช่วยในการวางแผนแก้ปัญหา โดยพยายามให้ผู้เรียนสร้างระบบการแก้ปัญหาหลายๆวิธี และคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสม

5) แบบโครงงาน (Project Type) เป็นการทดลองที่มีลักษณะเปิดกว้าง ในรูปแบบของสถานการณ์จำลองที่ต้องการให้ผู้เรียนศึกษางานตามองค์ประกอบของความกว้างของเนื้อหา และขอบเขตของเวลาที่จำกัดภายใต้การควบคุมดูแลของผู้สอน แต่องค์ประกอบภายในยังเป็นงานที่มีขั้นตอนย่อยที่อยู่ในรูปแบบของการทดลองแบบต่างๆ หลายรูปแบบ ตั้งแต่ Discovery จนถึง Problem Solving การทดลองชนิดนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะให้ประสบการณ์หลายด้านกับผู้เรียน ตั้งแต่การเสาะแสวงหาข้อมูลในลักษณะของการศึกษาและสำรวจสภาวะของงานที่จะทำการออกแบบวงจร และการทดลองเบื้องต้นในรูปแบบต่างๆ แล้วนำผลของการทดลองนั้นมาประยุกต์รวมกันเป็นผลงานรวมที่มีความหมายในตัวเอง การทำการทดลองลักษณะนี้มีวิธีการดำเนินการหลายรูปแบบตั้งแต่การสร้างแก้ไขโดยอาศัยเครื่องมือที่มีจากโรงฝึกงาน และห้องปฏิบัติการจนถึงงานแก้ปัญหาระดับสูง อย่างไรก็ตามการทดลองแบบนี้ก็เป็นงานพื้นฐานนำไปสู่งานโครงงานที่ใหญ่ขึ้น

## 2.4 ใบงานการทดลอง

ชูศักดิ์ เปลี่ยนภู่ [9] กล่าวว่าใบงานการทดลอง (Laboratory Sheet) หมายถึงเอกสารที่ใช้เป็นคำสั่งให้ปฏิบัติงาน หรือเป็นคำแนะนำให้ผู้เรียนให้สามารถดำเนินการทดลองให้เป็นไปตามจุดมุ่งหมายที่กำหนดไว้ ใบงานที่ใช้กันอยู่ในสถาบันการศึกษา จะมีทั้งใบงานการทดลองที่ผู้สอนสร้างขึ้นมาใช้เองและประเภทใบงานการทดลองที่ผลิตโดยบริษัทผู้สร้างอุปกรณ์สำหรับการทดลองโดยเฉพาะ หรือจากผู้ผลิตตำราเอกสารสอนเป็นอาชีพ

### 2.4.1 รูปแบบใบงานการทดลอง

รูปแบบใบงานการทดลองแบบให้ข้อมูลในการทดลอง (Conventional Format) ใบงานการทดลองประเภทนี้ จะให้ข้อมูลละเอียดในการดำเนินงาน แต่ละขั้นตอนโดยตลอด ผู้ปฏิบัติการทดลองทำตามขั้นตอนที่กำหนดให้โดยไม่จำเป็นต้องใช้เวลาในการคิดหาวิธีการทดลองด้วยตนเอง ใบงานการทดลองประกอบด้วย วัตถุประสงค์และขอบเขตการทดลอง ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการดำเนินการโดยละเอียด มีขั้นตอนการทดลองที่เหมาะสม คำถามให้ผู้ปฏิบัติใช้ความคิดตรึกตรองดำเนินการทดลอง

### 2.4.2 ข้อมูลหลักของใบงานการทดลองแบบให้ข้อมูลในการทดลอง

รูปแบบของใบงานการทดลองที่จะสร้างครั้งนี้ เป็นแบบให้ข้อมูลการทดลองซึ่งใช้กับการสอนปฏิบัติการทดลองแบบให้ข้อมูลในการทดลอง (Conventional Type) ที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในวงการอาชีวศึกษา ดังนั้นรูปแบบของใบงานควรประกอบด้วยข้อมูลหลัก 5 ประการดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไป (Introductory Information) หมายถึงข้อมูลที่แจ้งให้ผู้เรียนได้รู้เรื่องทั่วๆไปในการปฏิบัติการทดลองเป็นข้อมูลชี้นำและสร้างแรงจูงใจในการปฏิบัติการทดลอง ได้แก่ วัตถุประสงค์ของการทดลอง , ความจำเป็นและขอบเขตของงานการทดลอง, การวางแผนงาน

2. ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทดลอง (Background Information) คือข้อมูลที่ช่วยให้ผู้เรียนได้อาศัยเป็นหลักในการวางแผนดำเนินงาน และเป็นข้อมูลที่ช่วยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสสำรวจและปรับปรุงตนเองในสิ่งที่ขาด เพื่อพัฒนาความรู้ให้พร้อมก่อนลงมือปฏิบัติการทดลอง ความรู้ดังกล่าวนี้ได้แก่, ความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง, ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน, ความรู้ในเนื้อหาวิชา

3. ข้อมูลสำหรับดำเนินการ (Procedural Information) คือ ข้อมูลที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถดำเนินงาน ตามขั้นตอนของการดำเนินงานที่เป็นจริงตามที่ได้จากการวิเคราะห์ความสามารถในการปฏิบัติงานย่อยตั้งแต่การวางแผนงานจริงจากการวิเคราะห์เนื้อหา การกำหนดวงจรและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง จนกระทั่งถึงวิธีการเก็บข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติงาน

4. ข้อมูลสำหรับการสรุปผลลัพธ์ (Conclusion Information) คือข้อมูลหรือคำแนะนำให้ผู้ปฏิบัติแสดงผลลัพธ์ที่ได้อย่างมีระบบ และสามารถสรุปผลของการทดลองได้ตามรูปแบบที่เหมาะสม ข้อมูลภายในงานจะช่วยให้ผู้ปฏิบัติสามารถทำรายงาน และสรุปผลการทดลองได้ ลักษณะข้อมูลดังกล่าว อาจจะเป็นคำถามให้คิด หรือหัวข้อที่ให้ผู้เรียนหาข้อมูลมาสนับสนุน

5. ข้อมูลสำหรับการประเมินผล (Assessment Information) คือข้อมูลที่เป็นคำถามใช้ในการตรวจสอบความรู้ ความสามารถและความเข้าใจ ในเรื่องที่ผู้เรียนได้ปฏิบัติงาน ลักษณะของคำถามอาจแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ คำถามในเนื้อหาที่ทำการทดลองคำถามประเภทนำไปใช้งาน

### 2.4.3 องค์ประกอบของใบงานการทดลอง

ใบงานการทดลองที่ใช้สำหรับการสอนปฏิบัติการทดลองแบบให้ข้อมูลในการทดลอง (Conventional Type) จะมีองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

1. ชื่อเรื่อง แสดงถึงขอบเขตของการปฏิบัติการทดลองนั้น

2. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม แสดงถึงสิ่งที่คาดหวังให้เกิดแก่ผู้เรียนหลังจากการปฏิบัติการทดลองนั้นสิ้นสุดลง

3. เนื้อหาแสดงถึงภาพรวมของเรื่องที่ต้องการศึกษา คืออะไร ทำงานได้อย่างไร และมีองค์ประกอบที่สำคัญอะไรบ้าง

4. ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน แสดงถึงผู้ที่จะปฏิบัติงานที่กำหนดได้นั้น จะต้องมีความรู้ความสามารถอย่างใดมาก่อน จึงจะปฏิบัติงานนั้นได้ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตราย หรือความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับสิ่งของหรือผู้ปฏิบัติงานได้

5. ชนิดและจำนวนวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ

6. วงจรการทดลอง แสดงถึงลักษณะงานของการทดลองนั้น

7. ข้อควรระวัง แสดงถึงสิ่งที่ต้องระมัดระวังเพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์เครื่องมือและอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการทดลอง

8. ลำดับขั้นตอนปฏิบัติการทดลอง แสดงถึงข้อมูลที่ได้แต่ละขั้นตอนของการดำเนินงานที่เป็นจริงตามที่ได้จากการวิเคราะห์ความสามารถจากการปฏิบัติงาน

9. ตารางบันทึกข้อมูลการทดลอง แสดงถึงข้อมูลที่ได้แต่ละขั้นตอนของการทดลองที่ต้องบันทึกลงในแบบฟอร์ม เพื่อนำผลไปสรุปต่อไป

10. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง แสดงถึงข้อสรุปที่ได้จากการทดลองนั้นและการวิจารณ์ผลการทดลองที่ได้ว่าสัมพันธ์กับทฤษฎีหรือไม่ได้ค้นพบอะไรจากการทดลองนั้น

11. คำถามเป็นคำถามในเรื่องเกี่ยวกับงานที่ได้ปฏิบัติการทดลอง โดยเฉพาะเรื่องของเหตุผลในการปฏิบัติการทดลองแต่ละขั้นตอน เป็นการทดสอบความรู้และความเข้าใจในการปฏิบัติการทดลอง

## 2.5 การสร้างใบงานการทดลอง

ข้อมูลหลักที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ 5 ข้อมูลด้วยกัน การจัดสรรข้อมูลเหล่านี้ให้เหมาะสมกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของใบงานการทดลองที่ใช้กับการสอนปฏิบัติการทดลองแบบ Conventional Type นั้นควรจัดแสดงให้เห็นด้วยตารางเพื่อสะดวกต่อการหาข้อมูลต่าง ๆ มาสร้างใบงานการทดลอง

**ตารางที่ 2.1** ข้อมูลและที่มาขององค์ประกอบของใบงานการทดลอง

| องค์ประกอบ | ข้อมูล | | | | | แหล่งที่มา | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | C | T | O |
| 1. ชื่อเรื่อง | X | | | | | X | | |
| 2. วัตถุประสงค์ | X | | | | | | | X |
| 3. เนื้อหา | | X | | | | X | | |
| 4. ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน | | X | | | | | X | X |
| 5. ชนิดและจำนวนวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ | | X | | | | | X | |
| 6. วงจรการทดลอง | | | X | | | | X | |
| 7. ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติการทดลอง | | | X | | | | X | |
| 8. ตารางบันทึกข้อมูล | | | X | | | | X | |
| 9. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง | | | | X | | | X | |
| 10. คำถาม | | | | | X | X | X | |

หมายเหตุ

1 = ข้อมูลทั่วไป (Introductory Information)
2 = ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทดลอง (Background Information)
3 = ข้อมูลสำหรับดำเนินการ (Procedural Information)
4 = ข้อมูลสำหรับการสรุปผลลัพธ์ (Conclusion Information)
5 = ข้อมูลสำหรับการประเมินผล (Assessment Information)
C = ใบวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis Sheet)
T = ใบวิเคราะห์ความสามารถในการปฏิบัติงานย่อย (Task Analysis Sheet)
O = ใบวิเคราะห์วัตถุประสงค์ (Objective Analysis Sheet)

### 2.5.1 ขั้นตอนการสร้างใบงานการทดลอง

งานการทดลองนั้น เริ่มต้นจากการสร้างใบงาน การสร้างอุปกรณ์การทดลอง การประเมินผล จนกระทั่งถึงขั้นการสร้างคู่มือใบงานการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. การวิเคราะห์เนื้อหาที่จะสร้างใบงาน การศึกษารายละเอียดของเนื้อหาในการทดลองเกี่ยวกับเรื่องใดก็ตาม ผู้สร้างใบงานทดลองควรทราบรายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหาเป็นอย่างดี และเขียนออกมาเป็นภาษาเขียน จะทำให้ผู้สร้างเห็นความสัมพันธ์ของความคิดรวบยอด (Concept) และ

หลักการ (Principle) ภายในเนื้อหาเหล่านั้นได้เป็นอย่างดี และมองเห็นขั้นตอนของการทดลองที่ควรจะเป็นได้อย่างชัดเจน จนสามารถกำหนดจุดสำคัญของการสอน (Teaching Point) ที่เหมาะสมได้

2. การตั้งชื่อใบงาน การตั้งชื่อเรื่องของใบงานการทดลองจะกระทำหลังจากวิเคราะห์เนื้อหาแล้ว ซึ่งจะได้ประเด็นสำคัญของเนื้อหาที่เหมาะสมต่อการทดลอง ควรตั้งชื่อเรื่องที่มองเห็นภาพพจน์ของงานการทดลองและมีลักษณะท้าทายหรือชวนให้ศึกษา

3. การวิเคราะห์ความสามารถในการปฏิบัติงานย่อย การดำเนินงานขั้นนี้ทำเพื่อหาข้อมูลสำหรับเขียนใบงานตามรูปแบบของใบงานแบบให้ข้อมูลในการทดลอง (Conventional Format) ทำให้ได้มาซึ่งองค์ประกอบของใบงานดังที่แสดงไว้ในตารางแสดงข้อมูลและที่มาขององค์ประกอบของใบงานการทดลอง

4. การกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลอง การกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลองกระทำหลังจากวิเคราะห์ความสามารถในการปฏิบัติงานแล้ว ซึ่งจะได้ความรู้และทักษะที่ใช้ในการทำงานว่ามีอะไรบ้างจึงจะทำให้ผู้เรียนบรรลุผลตามเป้าหมายในการทำงานนั้น ความรู้และทักษะจะนำไปใช้ในการเขียนใบงานได้ 2 กรณี คือ ความรู้และทักษะที่ใช้ในการทำงาน นำไปกำหนดเป็นความรู้และความสามารถก่อนเรียน, ความรู้และทักษะที่จะได้รับจากการทำงานนำไปกำหนดเป็นวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ที่หวังจะให้ผู้เรียนได้รับ

5. เขียนใบงานการทดลอง ข้อมูลที่ใช้ในการเขียนใบงานการทดลอง จะได้มาจากใบวิเคราะห์เนื้อหา ใบวิเคราะห์ความสามารถในการปฏิบัติงาน และใบวิเคราะห์วัตถุประสงค์การสอน เอกสารต่างๆเหล่านี้จะให้ข้อมูลเพื่อเขียนองค์ประกอบของใบงานแบบให้ข้อมูลในการทดลอง ซึ่งมีแนวทางการเขียนดังนี้ ชื่อเรื่องแสดงถึงขอบเขตของการปฏิบัติการทดลองนั้น ,วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม แสดงถึงสิ่งที่คาดหวังให้เกิดแก่ผู้เรียนหลังจากการปฏิบัติการทดลอง นั้นสิ้นสุดลง, เนื้อหาแสดงถึงภาพรวมของเรื่องที่ต้องการศึกษา คืออะไร ทำงานได้อย่างไร และมีองค์ประกอบที่สำคัญอะไรบ้าง, ความรู้ที่ควรมีก่อนเรียน แสดงถึงผู้ที่จะปฏิบัติงานที่กำหนดได้นั้น จะต้องมีความรู้ความสามารถอย่างใดมาก่อน จึงจะปฏิบัติงานนั้นได้ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตราย หรือความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับสิ่งของหรือผู้ปฏิบัติงานได้, ชนิดและจำนวนวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ, วงจรการทดลอง แสดงถึงลักษณะงานของการทดลองนั้น, ข้อควรระวัง แสดงถึงสิ่งที่ต้องระมัดระวังเพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์เครื่องมือและอันตรายต่อผู้ปฏิบัติการทดลอง, ลำดับขั้นตอนปฏิบัติการทดลอง แสดงถึงข้อมูลที่ได้แต่ละขั้นตอนของการดำเนินงานที่เป็นจริงตามที่ได้จากการวิเคราะห์ความสามารถจากการปฏิบัติงาน, ตารางบันทึกข้อมูลการทดลอง แสดงถึงข้อมูลที่ได้แต่ละขั้นตอนของการทดลองที่ต้องบันทึกลงในแบบฟอร์ม เพื่อนำผลไปสรุปต่อไป, สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง แสดงถึงข้อสรุปที่ได้จากการทดลองนั้นและการวิจารณ์ผลการทดลองที่ได้ว่าสัมพันธ์กับทฤษฎีหรือไม่ได้ค้นพบอะไรจากการทดลองนั้น, คำถามเป็นคำถามในเรื่องเกี่ยวกับงานที่ได้

ปฏิบัติการทดลอง โดยเฉพาะเรื่องของเหตุผลในการปฏิบัติการทดลองแต่ละขั้นตอน เป็นการทดสอบความรู้และความเข้าใจในการปฏิบัติการทดลอง

6. การสร้างอุปกรณ์ทดลอง
7. การทดลองเบื้องต้น
8. การสร้างคู่มือใบงานการทดลอง

## 2.6 การออกแบบการสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลอง

วัลลภ จันทร์ตระกูล[11] ได้อธิบายขั้นตอนการสร้างสื่อการเรียนการสอนประเภทชุดทดลองดังนี้

### 2.6.1 กำหนดวัตถุประสงค์ในการนำชุดทดลองไปใช้ในการสอน

การนำชุดทดลองไปใช้ในการสอน ควรกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการเรียน ซึ่งการออกแบบสร้างจะสำเร็จผลตามเป้าหมาย และใช้ได้จริงจะต้องศึกษาข้อมูลต่างๆประกอบ ได้แก่ สภาพการในการเรียนการสอน, ศึกษาข้อมูลด้านวิชาการ และกลุ่มผู้เรียน จากนั้นก็นำไปใช้เขียนวัตถุประสงค์เป็นข้อๆและกำหนดขอบเขตคุณลักษณะของชุดทดลองที่จะออกแบบสร้าง สุดท้ายจะต้องตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของบทเรียนอีกครั้ง

### 2.6.2 กำหนดหน้าที่ (Function) ของชุดทดลอง

จากคำบรรยายคุณลักษณะของชุดทดลองที่กำหนดขึ้นในข้อที่ 2.5.1 นำมาวิเคราะห์เพื่อค้นหาคำพื้นฐาน (Basic Term) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงรายการหน้าที่ต่างๆของชุดทดลอง ศึกษาพิจารณาปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์ทำงานได้ตามรายการหน้าที่

### 2.6.3 การศึกษาปัจจัยที่จะทำให้ชุดทดลองทำงานได้ตามรายการหน้าที่

ในขั้นนี้เป็นการคิดค้นสิ่งที่ทำให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามรายการหน้าที่ ที่กำหนดโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของวัสดุ สิ่งที่ต้องกำหนดอาจเขียนเป็นคำสั้น ๆ หรือ ภาพสเกตต่าง ๆ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์มากที่สุด ชิ้นส่วนที่คิดค้นขึ้นมาควรจะพิจารณาถึงการประกอบ ความยากง่ายในการผลิตและค่าใช้จ่าย

### 2.6.4 การวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนของอุปกรณ์

จากการเลือกในข้อที่ 2.5.3 นำมาเลือกหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยพิจารณาเกณฑ์กำหนดเรื่องประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาดรูปร่าง ความคงทน การบำรุงรักษา และราคา

### 2.6.5 การสร้างต้นแบบและตรวจสอบ

เมื่อเลือกชิ้นส่วนได้แล้วจะต้องนำมาร่างเป็นภาพประกอบต้นแบบคร่าว ๆ หรือเป็นภาพงานชิ้นง่าย ๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบ ในตอนนี้จะต้องมีการทดลองซึ่งต้องทดลองกลไกหน้าที่อุปกรณ์บางอย่าง การทำชุดทดลองต้นแบบจะต้องทำการตรวจสอบทางเทคนิค ค้นหาข้อมูลบางอย่าง เพื่อทำให้แน่ใจว่าอุปกรณ์นั้นมีคุณลักษณะตรงตามความต้องการ

### 2.6.6 การเขียนแบบ

เพื่อประโยชน์ในการผลิตครั้งต่อไปงานเขียนแบบนับว่ามีความสำคัญมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับดำเนินการผลิต ดังนั้นแบบงานของชุดทดลองจะต้องมีแบบทั้งแบบภาพประกอบและการแยกชิ้น

### 2.6.7 การเตรียมเอกสารประกอบ

อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไปควรต้องจัดเอกสารประกอบหรือคู่มือการใช้งาน เพื่อผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์

## 2.7 เนื้อหาที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง

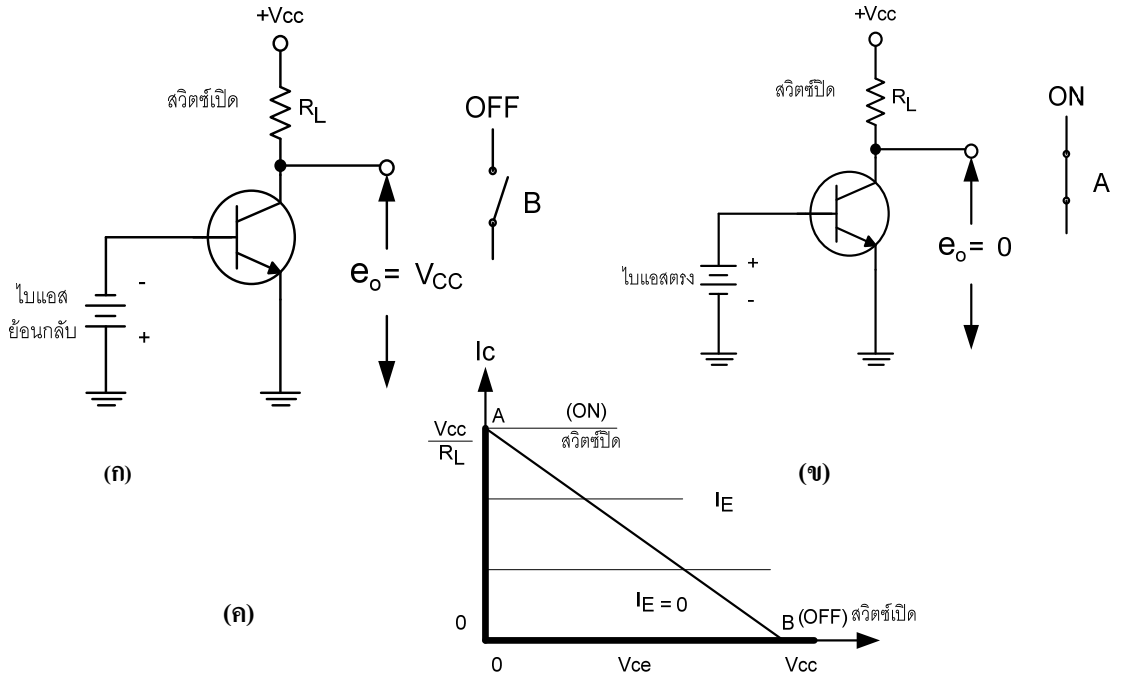
การพัฒนาชุดทดลองการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชา ช่างอิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา 2104-2224 วิชาอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม 2 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2545 (ปรับปรุง พ.ศ. 2546) ศึกษาเนื้อหาทั้งทฤษฎีและปฏิบัติที่มีหลักการเกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ดังต่อไปนี้

### 2.7.1 หลักการและคุณสมบัติของวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์

#### 2.7.1.1 ทรานซิสเตอร์สวิตช์ในทางอุดมคติ

ทรานซิสเตอร์สามารถนำมาใช้แทนสวิตช์ได้ กล่าวคือ ขณะที่ทรานซิสเตอร์อยู่ในภาวะที่ไม่ทำงาน (ได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ) ซึ่งจะไม่ยอมให้กระแสไหลผ่านนั้น ทรานซิสเตอร์ก็คล้ายกับเป็นสวิตช์ซึ่งเปิดออก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก) ในภาวะนี้จะตรงกับตำแหน่ง B ในกราฟคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ค) ภาวะนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากรอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์และเบสของทรานซิสเตอร์ ได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับจากภายนอกทำให้กระแสคอลเลคเตอร์มีค่าศูนย์ (ไม่มีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์) แต่เมื่อรอยต่อ

ระหว่างอิมิตเตอร์ และเบสของทรานซิสเตอร์ได้รับแรงดันไบแอสตรงแล้ว จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ กล่าวคือ ยอมให้กระแสไหลผ่านได้ และถ้าหากขนาดของแรงดันไบแอสนี้มีค่ามากพอ ทรานซิสเตอร์ก็จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากขึ้นกระทั่งอยู่ในภาวะอิ่มตัวดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ข) นั่นคือกระแสคอลเลคเตอร์จะถูกกำหนดได้ด้วยขนาดค่าความต้านทานภายนอก RL เนื่องจากในภาวะนี้ค่าความต้านทานของทรานซิสเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ (หรือน้อยมากกระทั่งพิจารณาได้ว่าเป็นศูนย์) ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์จากคอลเลคเตอร์ถึงอิมิตเตอร์ก็จะมีค่าเท่ากับศูนย์ด้วย และจะไม่ขึ้นอยู่กับกระแสคอลเลคเตอร์ ดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงกระทำตัวคล้ายกับสวิตช์ที่ปิดเพื่อให้กระแสไหลผ่านได้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ข) และในภาวะนี้จะตรงกับตำแหน่ง A ในกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ดังในรูป 2.1 (ค)



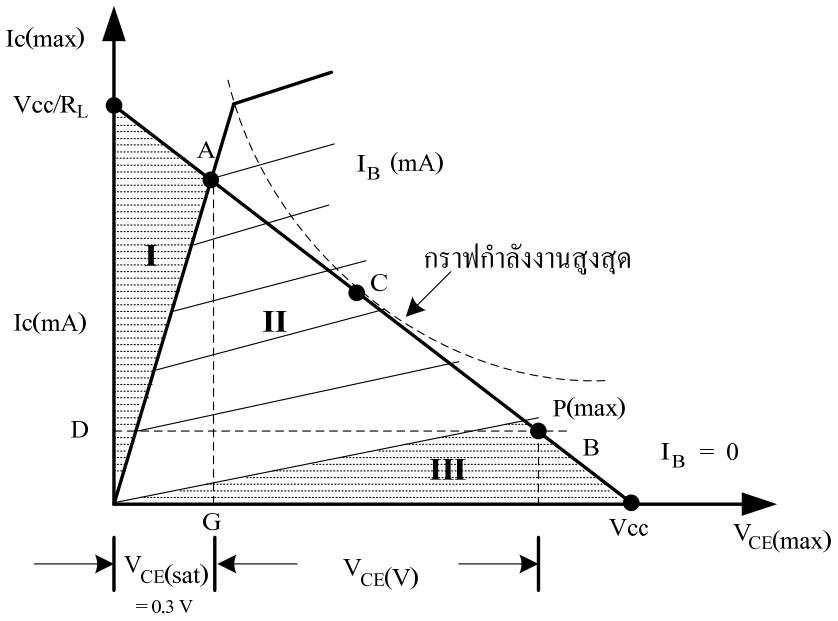

**รูปที่ 2.1** แสดงการทำงานเป็นสวิตช์ในทางอุดมคติของทรานซิสเตอร์

สำหรับในกรณีที่ทรานซิสเตอร์ (ประเภทรอยต่อ) ถูกต่ออยู่ในวงจรลักษณะอิมิตเตอร์ร่วม (common emitter) กระเบส IB จะทำหน้าที่ควบคุมขนาดของกระแสคอลเล็กเตอร์ IC ทั้งนี้โดยที่ IC = $\beta$.IB ($\beta$ : อัตราการขยายของทรานซิสเตอร์) ดังนั้นในทางอุดมคติอาจกล่าวได้ว่ากระเบสขนาดเล็กน้อยอาจควบคุมให้ได้กระคอลเล็กเตอร์จำนวนมากได้ ขนาดของกระแสเบสกำหนดได้โดยแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์และเบส เมื่อแรงดันอินพุตมีค่าเป็นศูนย์หรือทำให้รอยต่ออิมิตเตอร์และเบสอยู่ในลักษณะไบแอสย้อนกลับ (reverse bias) กระแสคอลเล็กเตอร์ IC จะมีค่าเป็นศูนย์ และเมื่อแรงดันอินพุตทำให้รอยต่ออิมิตเตอร์และเบสอยู่ในลักษณะไบแอสตรง(forward bias) (จะต้องมีค่าราว 0.7 โวลต์ สำหรับทรานซิสเตอร์ที่ทำจากซิลิกอน) แล้วทรานซิสเตอร์จะทำงานและอยู่ในภาวะอิ่มตัว

(saturation) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตเพียงเล็กน้อย (จาก 0 – 0.7 โวลต์ ในซิลิกอนทรานซิสเตอร์) จะมีผลทำให้กระแสคอลเล็กเตอร์ที่เอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมายได้ จากรูปที่ 2.1 (ค) ที่จุด A บนเส้นโหลด (load line) กระแสคอลเล็กเตอร์จะมีค่าสูง โดยที่แรงดันซึ่งตกคร่อมระหว่างคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงไม่มีการสูญเสียกำลังงานใดๆในทรานซิสเตอร์เลย และเมื่อพิจารณาที่จุด B บนเส้นโหลดจะเห็นว่ากระแสคอลเล็กเตอร์มี ค่าเป็นศูนย์ แต่แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์มีค่าเท่ากับ VCC ดังนั้นจึงไม่มีการสูญเสียกำลังงานใดๆในทรานซิสเตอร์อีกเช่นกัน ซึ่งสำหรับทรานซิสเตอร์ในอุดมคติเมื่อมีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์กำลังงานส่วนใหญ่จะปรากฏที่โหลด RL และทรานซิสเตอร์จะมีการสูญเสียกำลังงานเพียงเล็กน้อย และกำลังงานจะสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์เฉพาะช่วงของการเปลี่ยนแปลงภาวะการทำงานของทรานซิสเตอร์ จากลักษณะของสวิตช์ปิด(ON) ไปเป็นลักษณะของสวิตช์เปิด(OFF) เท่านั้น

**2.7.1.2 ทรานซิสเตอร์สวิตช์ที่ใช้งาน**

รูปที่ 2.2 เป็นรูปที่แสดงคุณสมบัติลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานจริงๆ ในวงจรแบบอิมิตเตอร์ร่วม ซึ่งจะเห็นได้ว่าแตกต่างจากคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ในทางอุดมคติ กล่าวคือพื้นที่ส่วนที่ I แสดงย่านที่ทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในภาวะอิ่มตัว (Saturation region) ซึ่งในย่านนี้รอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับเบส และคอลเล็กเตอร์กับเบสจะได้รับไบแอสตรง ในพื้นที่ส่วนที่ II แสดงย่านที่ทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในภาวะแอคทีฟ (active region) ซึ่งเป็นย่านการทำงานของทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายประเภท A โดยทั่วไป ซึ่งรอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับเบสจะได้รับแรงดันไบแอสตรง แต่รอยต่อระหว่างคอลเล็กเตอร์กับเบสจะได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ และในส่วนที่ III ของรูปที่ 2.2 แสดงย่านคัตออฟ (cut off region) ของทรานซิสเตอร์ในย่านนี้รอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับเบสและคอลเล็กเตอร์กับเบสจะได้รับแรงดันไบแอสกลับ นอกจากนี้เส้นกราฟซึ่งแสดงค่ากำลังงานสูงสุดที่จะสูญเสียในทรานซิสเตอร์ได้ (maximum power dissipation) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และเขียนแทนด้วย PMAX นั้นคือค่าสูงสุดของกำลังงานที่ทรานซิสเตอร์จะทนได้ ซึ่งก็คือผลคูณของแรงดันสูงสุดระหว่างคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ VCE MAX ที่ ทรานซิสเตอร์จะทนได้กับค่ากระแสสูงสุดของคอลเล็กเตอร์ ICMAX ที่สามารถไหลผ่านทรานซิสเตอร์ได้ ทรานซิสเตอร์ซึ่งถูกนำไปใช้งานใด ๆ ก็ตาม เช่นเป็นตัวขยายสัญญาณหรือทำหน้าที่สวิตช์ก็ดี ค่าของกระแส หรือแรงดัน หรือกำลังงานที่ทรานซิสเตอร์ได้รับ จะต้องมีค่าไม่เกินค่าสูงสุดเหล่านี้




**รูปที่ 2.2** แสดงลักษณะคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานจริงและถูกต่ออยู่ในวงจรแบบอิมิตเตอร์ร่วม

ในรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานจริงและถูกต่ออยู่ในวงจรแบบอิมิตเตอร์ร่วมจะเห็นว่าที่จุด A บนเส้นโหลด (load line) แรงดันระหว่างคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ (VCE) จะไม่เป็นศูนย์เหมือนในรูปที่ 2.1 แต่จะมีค่าราว 0.3 โวลต์ แรงดันนี้เรียกว่า “แรงดันตกคร่อมคอลเล็กเตอร์ และอิมิตเตอร์ในภาวะอิ่มตัว” (collector – emitter voltage at saturation) และเขียนแทนด้วย VCE sat สำหรับซิลิกอนทรานซิสเตอร์ค่า VCE sat จะมีค่าราว 0.3 โวลต์ ซึ่งค่าที่แท้จริงของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้นจะขึ้นอยู่กับกระแสคอลเล็กเตอร์และอาจมีค่าอยู่ในช่วง 0.1 – 0.5 โวลต์ และในเยอรมันเนียมปกติมีค่าราว 0.1 โวลต์ ที่จุด B บนเส้นโหลดของรูปที่ 2.2 ก็เช่นเดียวกัน ถึงแม้กระแสเบส ซึ่งเป็นกระแสอินพุตจะมีค่าเป็นศูนย์ก็ตาม ต่ำกระแสคอลเล็กเตอร์หรือกระแสเอาต์พุตจะไม่เป็นศูนย์ กระแสคอลเล็กเตอร์ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นจากกระแสอิ่มตัวย้อนกลับของรอยต่อคอลเล็กเตอร์ซึ่งเขียนแทนได้ด้วย ICBO กระแสคอลเล็กเตอร์ซึ่งไหลขณะที่อิมิตเตอร์ถูกเปิดวงจรออกและรอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์กับเบสได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับนี้เราเรียกว่า “กระแสย้อนกลับของรอยต่อคอลเล็กเตอร์” ( reverse collector – Saturation current ) เขียนแทนได้ด้วย ICO หรือ ICBO กระแสนี้จะประกอบด้วยกระแสย่อยสองส่วนคือ กระแสรั่วที่เกิดขึ้นบริเวณรอบ ๆ รอยต่อคอลเล็กเตอร์ (ไม่ไหลผ่านรอยต่อ) และกระแสอิ่มตัว ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อน สำหรับขนาดกระแสรั่วขึ้นอยู่กับแรงดันไบแอสส่วนขนาดกระแสอิ่มตัวจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นส่วนใหญ่ ในทางปฏิบัติขนาดของกระแส ICO จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าทุก ๆ 10°C ที่

เพิ่มขึ้น ในวงจรขณะที่ทรานซิสเตอร์ถูกต่อแบบอิมิตเตอร์ร่วมและกระแสเบสมีค่า IB กระแสคอลเล็กเตอร์ IC อัตราการขยายกระแสตรงของทรานซิสเตอร์ในภาวะนี้เขียนแทนด้วย hFE โดยที่

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \qquad (2.16)$$

และในช่วงของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเบส $\Delta$IB ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสคอลเล็กเตอร์ $\Delta$IC อัตราส่วนดังกล่าวนี้จะแสดงอัตราการขยายกระแสสลับของทรานซิสเตอร์ ซึ่งเขียนแทนได้ด้วย hfe โดยที่

$$\text{hfe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \qquad (2.17)$$

ดังนั้นจะเห็นว่าค่าของ hFE ที่ตำแหน่งของ IC ค่าต่าง ๆ อาจมีค่าแตกต่างกันได้ เหตุนี้การกำหนดค่า hFE ของแต่ละวงจรจะต้องคำนึงถึงว่ากระแสคอลเล็กเตอร์ในวงจรมีค่าเท่าใด

**2.7.1.3 การเปิด – ปิด ของทรานซิสเตอร์สวิตช์ในทางอุดมคติ**

จากวงจรของทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 2.1 (ก) และ (ข) ซึ่งแสดงการทำงานของทรานซิสเตอร์คล้ายกับสวิตช์ซึ่งเปิดและปิดตามลำดับ ดังนั้นถ้าหากวงจรทางด้านอินพุต มีแหล่งจ่ายแรงดันสัญญาณพัลส์รูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (rectangular voltage pulses) ต่ออยู่แทนแบตเตอร์รี่แล้วสัญญาณพัลส์อินพุตดังแสดงในรูป 2.3 (ก) นี้ก็สามารถที่จะควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ทำงานเป็นสวิตช์ซึ่งเปิดและปิดได้

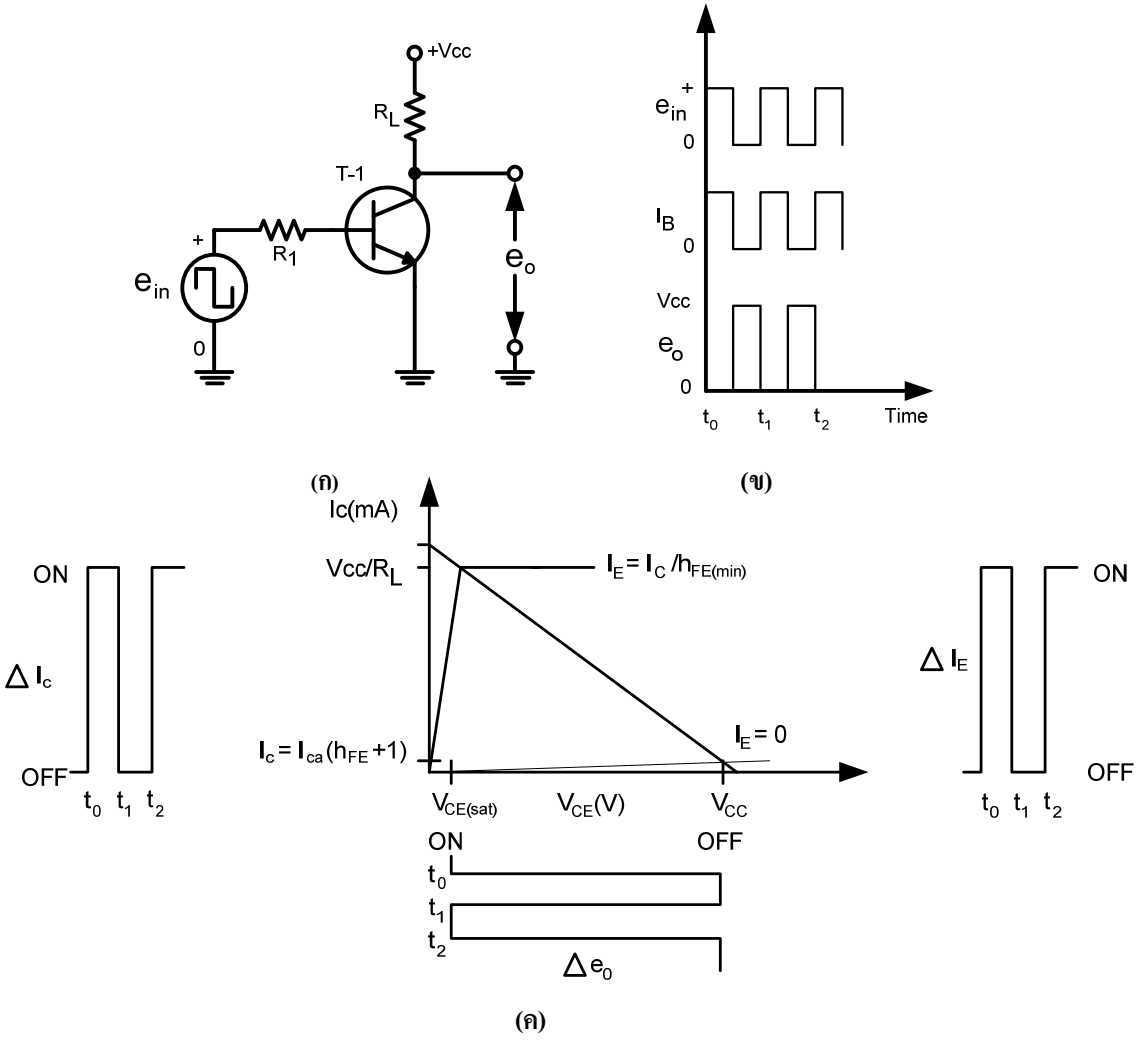
**2.4.1.4 การวิเคราะห์วงจรสวิตช์ของทรานซิสเตอร์ในทางอุดมคติ**

วงจรสวิตช์ของทรานซิสเตอร์อย่างง่าย ๆ แสดงได้ดังในรูปที่ 2.3 (ก) ถ้าหากต้องการให้ขนาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรเป็นดังนี้

$$eO = 20\ \text{Vpeak}\ ,\ ein = 5\ \text{Vpeak}\ (0 \sim +5),\ IC = 20\ \text{mA}$$

และโดยสมมติว่าทรานซิสเตอร์นี้เป็นแบบ ซิลิกอน NPN ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

hFE = 40, VBE = 0 (ในทางอุดมคติ), VCesa = 0 (ในทางอุดมคติ) , ICBO = 0 (ในทางอุดมคติ)




**รูปที่ 2.3** แสดงคุณสมบัติการทำงานของทรานซิสเตอร์ในวงจรในทางอุดมคติ

เนื่องจากทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ดังค่าของ $V_{CC}$ จะเป็นตัวกำหนดขนาดของแรงดันที่เอาต์พุต ดังนั้นค่าของ $V_{CC}$ จะต้องเป็น +20 โวลต์

ถ้าหากค่าของกระแสคอลเล็กเตอร์ $I_C = 20$ mA ในขณะที่ทรานซิสเตอร์ทำงานในภาวะอิ่มตัว ค่าของความต้านทาน $R_L$ จะต้องมีค่าดังนี้

$$R_L = \frac{V_{CC}}{I_C} = \frac{20}{20\text{mA}} = 1\,\text{k}\Omega$$

ในภาวะอิ่มตัวกระแสคอลเล็กเตอร์ $I_C = 20$ mA และ $h_{FE} = 40$ ดังนั้นกระแสเบสที่ทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในภาวะอิ่มตัวก็คือ

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{20\text{mA}}{40} = 0.5\text{ mA}$$

ดังนั้นที่เวลา $t_{+0}$ แรงดันของสัญญาณอินพุต = +5 โวลต์ (ไบแอสตรง) จากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ เมื่อพิจารณาวงจรทางด้านอินพุตจะได้ว่า

$$e_{in} = E_{R1} + V_{BE}$$
$$= I_B R_1 + V_{BE}$$

และถ้าหากสมมติว่าเป็นทรานซิสเตอร์ในทางอุดมคติ $V_{BE} = 0$ โวลต์

ดังนั้น $$e_{in} = I_B R_1$$

หรือ $$R_1 = \frac{e_{in}}{I_B} = \frac{5v}{0.5mA} = 10\,k\Omega$$

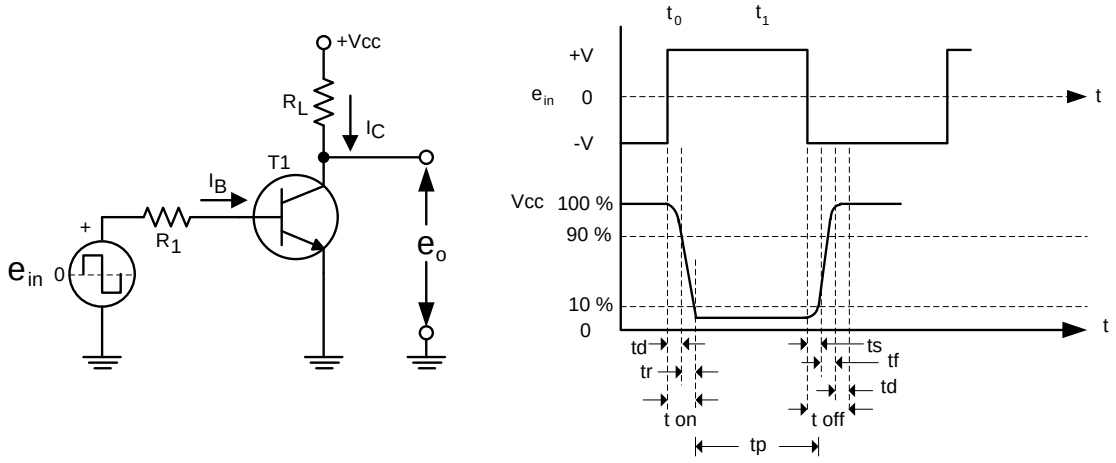
นั่นคือค่า $V_{CC} = +20$ โวลต์ , $R_L = 1\,k\Omega$ , $R_1 = 10\,k\Omega$

เมื่อสัญญาณอินพุต +5 โวลต์ ทรานซิสเตอร์จะทำงานในภาวะอิ่มตัวมีกระแสไหลเต็มที่ 20 มิลลิแอมป์ ทรานซิสเตอร์จึงทำตัวคล้ายกับสวิตช์ปิด และเมื่อเวลา t+1 สัญญาณอินพุตจะเป็นศูนย์ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน ขณะนี้จะไม่มีกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ทำให้แรงดันที่เอาต์พุตมีค่าสูงสุดเป็น +20 โวลต์ ทรานซิสเตอร์จึงทำตัวคล้ายกับเป็นสวิตช์เปิด

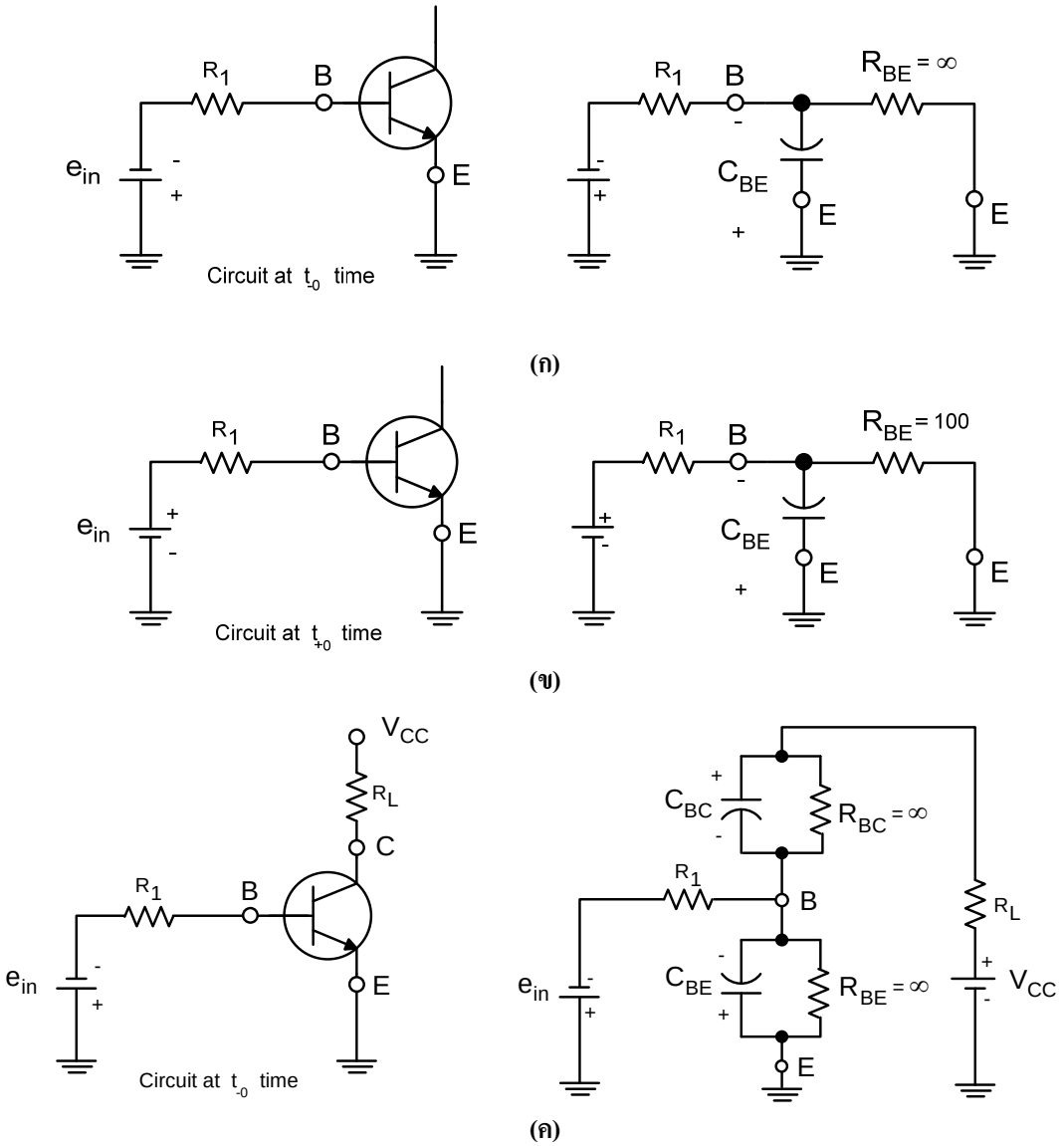
## 2.7.2 พารามิเตอร์ของวงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์

### 2.7.2.1 การเปิด – ปิด ของทรานซิสเตอร์สวิตช์ในทางปฏิบัติ

จากการพิจารณาวงจรสวิตชิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อพัลส์ทางอินพุตถูกป้อนเข้าไปในวงจร โดยทำให้รอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์และเบสได้รับแรงดันไบแอสตรงก็ตาม แต่ทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถทำงานได้อย่างทันทีทันใด แต่จะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่ง ซึ่งเวลานี้เราเรียกว่า “ออนไทม์” (ON time) เขียนแทนด้วย $t_{on}$ อีกนัยหนึ่งอาจนิยามได้ว่าช่วงเวลาออนไทม์ หมายถึงเวลาที่ใช้เพื่อให้ค่าแรงดันที่คอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงไป 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน $V_{CC}$




**รูปที่ 2.4** แสดงคุณสมบัติของวงจรสวิตช์ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ในทางปฏิบัติ




**รูปที่ 2.5** แสดงวงจรเสมือนของวงจรสวิตช์โดย (ก) ที่เวลา $t_{-0}$ (ข) ที่เวลา $t_{+0}$ (ค) ที่เวลา $t_{-0}$

ช่วงเวลา ton นี้พิจารณาได้ว่าประกอบด้วยเวลาส่วนย่อยสองส่วนคือ ช่วงเวลาล่าช้า (Delay time) ซึ่งเขียนแทนด้วย td และช่วงเวลาไต่ขึ้น(rise time) ซึ่งเขียนแทนด้วย tr และช่วงเวลาล่าช้า td ก็คือเวลาที่ใช้สำหรับให้แรงดันที่เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไป 10 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน VCC และช่วงเวลาไต่ขึ้น tr ในที่นี้ก็คือช่วงเวลาที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงจาก 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน VCC วงจรสวิตช์ในรูปที่ 2.4 จะเห็นว่า ที่เวลา t-0 แรงดันอินพุตจะมีค่าเป็นลบซึ่งทำให้รอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์และเบสได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ

ดังนั้นรอยต่อนี้จึงทำตัวคล้ายกับเป็นตัวความต้านทาน ที่มีค่าสูงต่อขนานอยู่กับตัวเก็บประจุไฟฟ้า ที่รอยต่อ (รูปที่ 2.3 ก) ดังนั้นในขณะนี้ตัวเก็บประจุที่รอยต่อจะทำการประจุ (charge) ผ่านตัวต้านทาน

R1 ที่เวลา t+0 แรงดันอินพุตจะมีค่าเป็นบวกทำให้รอยต่ออิมิตเตอร์และเบสได้รับแรงดันไบแอส ตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ข อย่างไรก็ดีก่อนที่รอยต่อนี้จะได้รับแรงดันไบแอสตรงอย่างเต็มที่จะต้องกินเวลาช่วงหนึ่งซึ่งเราเรียกว่าช่วงเวลาล่าช้า td นั่นเอง ในรูปที่ 2.5 ค ซึ่งแสดงวงจรสวิตช์ที่เหมือนกับวงจรในรูปที่ 2.4 และวงจรเสมือนขณะที่เวลา t-0 จะเห็นว่าขณะนี้ทั้งรอยต่อของอิมิตเตอร์กับเบสและรอยต่อของคอลเล็กเตอร์กับเบสจะได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับ ดังนั้นตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่ออิมิตเตอร์กับเบสจะทำการประจุ (charge) เพื่อให้แรงดันตกคร่อมเป็น –ein โวลต์ และที่รอยต่อคอลเล็กเตอร์กับเบสก็เช่นเดียวกันจะเกิดตัวเก็บประจุที่รอยต่อนี้ขึ้น และทำหน้าที่ประจุเพื่อให้มีแรงดันตกคร่อมเป็นผลรวมระหว่างค่า VCC และ ein เมื่อเวลาผ่านไปเป็น t+0 กระแสคอลเล็กเตอร์จะยังคงไม่มีจนกว่ารอยต่อที่อิมิตเตอร์กับเบสจะได้รับแรงดันไบแอสตรงอย่างเต็มที่ (ต้องใช้เวลา td ) และกระแสคอลเล็กเตอร์จะไม่สามารถเพิ่มขึ้นจนถึงภาวะอิ่มตัวอย่างทันทีทันใด เนื่องจากตัวเก็บประจุของรอยต่อของคอลเลคเตอร์กับเบสจะทำการคายประจุ โดยการแพร่ของพาหะผ่านส่วนของเบสดังนั้นกระแสคอลเลคเตอร์จึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงภาวะอิ่มตัว (ใช้เวลา tr)

จากรูปที่ 2.4 ขณะที่เวลา t+1 แรงดันอินพุตจะมีค่าเป็นลบจะทำให้รอยต่อที่อิมิตเตอร์และเบสได้รับแรงดันไบแอสย้อนกลับอีกครั้งหนึ่ง แต่ค่าแรงดันที่เอาต์พุตจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด กล่าวคือจะยังมีกระแสคอลเล็กเตอร์ไหลอยู่ และทำให้แรงดันที่เอาต์พุตยังคงมีค่าเป็นศูนย์หรือใกล้เคียงศูนย์ ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าขณะที่เวลา t-1 ทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในภาวะอิ่มตัว กระแสคอลเล็กเตอร์ไหลเต็มที่และกำหนดได้ด้วยความต้านทาน RL ที่อยู่ภายนอก และเมื่อแรงดันอินพุตมีค่าลดลงเป็นศูนย์หรือเป็นลบแล้วก็ตาม แต่จะมีประจุพาหะอิเล็กตรอนสะสมอยู่บริเวณเบส (กรณี NPN ทรานซิสเตอร์) และตราบใดที่ประจุพาหะเหล่านี้ยังมีอยู่ จะทำให้มีกระแสคอลเล็กเตอร์ไหลได้ เมื่อพาหะนี้หมดไปกระแสคอลเล็กเตอร์จึงจะหยุดไหล ช่วงเวลาที่ทำให้ประจุพาหะที่เบสนี้หมดไปถูกเรียกว่า “ช่วงเวลาสะสม” (storage time) เขียนแทนด้วย tS ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และเนื่องจากการเกิดของ tS นี้เองทำให้เกิดความกว้างของพัลส์ที่เอาต์พุตมีค่ามากกว่าพัลส์ที่อินพุท ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.4 คือช่วง tP และภายหลังที่แรงดันอินพุตเป็นลบแล้ว ช่วงเวลาที่ทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเป็น +VCC (ในกรณีNPN) ถูกเรียกว่าเวลา “เวลาเทินออฟ” (turn off) เขียนแทนด้วย toff นั่นคือเวลา toff ประกอบด้วยเวลาย่อยๆสามส่วนคือ tS , tf และ td ซึ่งอาจจะกล่าวสรุปได้ว่า “เวลาสะสม” (storage time) tS ก็คือเวลาที่ใช้ในการทำให้ประจุพาหะที่สะสมอยู่บริเวณเบสหมดไป โดยอาศัยขบวนการรวมตัวของพาหะ (carrier recombination process) หลังจากที่แรงดันอินพุตลดลงเป็นศูนย์โวลต์ ดังนั้นช่วงเวลา tS จึงขึ้นอยู่กับ ขบวนการรวมตัวของพาหะและขนาดของแรงดันไบแอสย้อนกลับที่แรงดันอินพุต

“เวลาตก” (fall time) tf ก็คือช่วงเวลาที่ใช้ในการทำให้แรงดันที่เอาต์พุต (ของทรานซิสเตอร์แบบ NPN) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดัน VCC โดยที่เป็นเวลาต่อจากเวลาสะสม

“เวลาล่าช้า” (delay time) td ก็คือ ช่วงเวลาต่อจาก เวลาตก เพื่อทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในภาวะไม่ทำงานอย่างสมบูรณ์ กล่าวคือแรงดันที่เอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับแรงดัน VCC

อย่างไรก็ดีในความเป็นจริงแล้วช่วงเวลาเหล่านี้มีค่าน้อยมาก เช่นราว 10-9 วินาที และโดยทั่วไปโรงงานผู้ผลิตทรานซิสเตอร์ที่เหมาะแก่การนำไปใช้งานในวงจรสวิตช์มักจะบ่งบอกคุณสมบัติค่าของ ton และ toff ไว้เป็นสำคัญโดยที่

$$t_{on} = t_d + t_r \tag{2.18}$$

และ

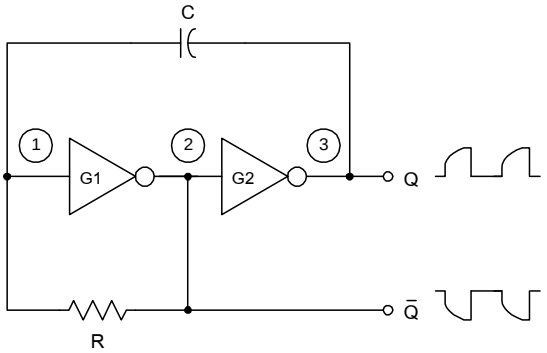
$$t_{off} = t_S + t_f + t_d \tag{2.19}$$

### 2.7.3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

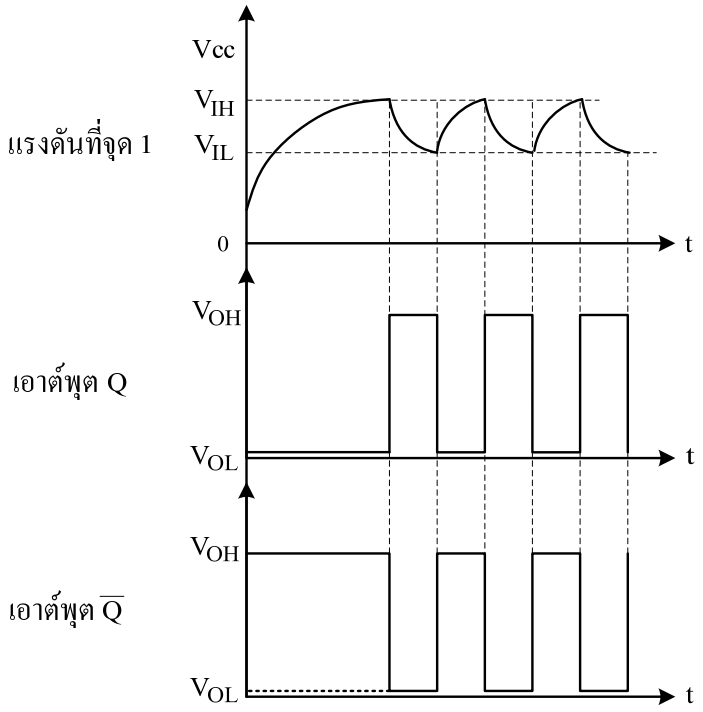
วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เป็นวงจรที่กำเนิดสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง และมีคาบเวลาคงที่ ทั้งที่เป็น พัลส์บวก และพัลส์ลบ การสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสามารถสร้างได้โดยใช้ลอจิกเกต รวมทั้งใช้ไอซีเบอร์ 555 หลักในการกำเนิดสัญญาณจะใช้หลักการเก็บและการคายประจุของตัวเก็บประจุที่ต่อร่วมกับตัวต้านทาน เป็นตัวกำหนดค่าคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณ

#### 2.7.3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากลอจิกเกต

จากรูปที่ 2.6 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจาก น๊อตเกต 2 ตัว ตัวต้านทาน 1 ตัว และตัวเก็บประจุ 1 ตัว มีเอาต์พุต 2 เอาต์พุต คือเอาต์พุต Q และ $\overline{Q}$ ซึ่งจะมีสภาวะตรงกันข้ามเสมอ ตัวต้านทาน R จะมีค่าประมาณ 150 โอห์ม ถึง 330 โอห์ม ส่วนตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่ป้อนกลับ เพื่อทำให้เกิดการออสซิลเลตขึ้น




**รูปที่ 2.6** วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากน๊อตเกต




**รูปที่ 2.7** สัญญาณที่จุด 1 และเอาต์พุต

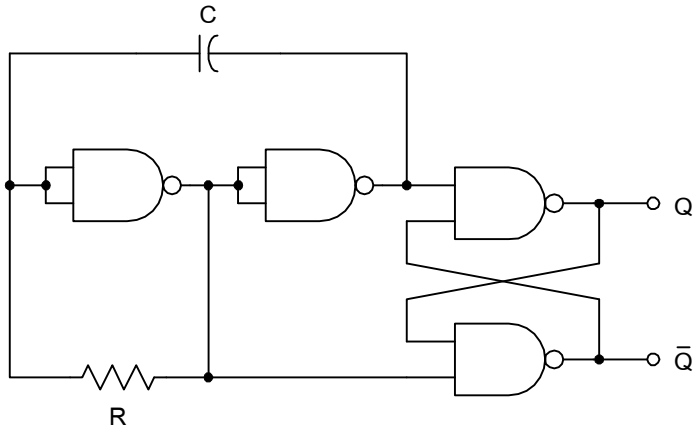
จากรูปที่ 2.7 การคิดค่าคาบเวลา และความถี่ของสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรโดยประมาณ จะได้ค่า ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{คาบเวลา}\,(t) = 3\,RC \tag{2.20}$$

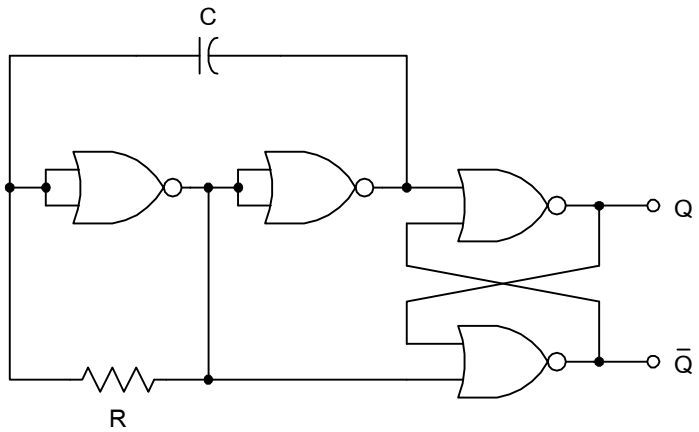
$$\text{ความถี่}\quad (f) = \frac{1}{3RC} \tag{2.21}$$

สัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรตามรูปที่ 2.6 จะเป็นรูปสัญญาณในอุดมคติ ในทางปฏิบัติสัญญาณที่ได้จะมีขอบมนเล็กน้อย เกิดจากการเก็บประจุและการคายประจุของตัวเก็บประจุ ซึ่งถ้าต้องการปรับ

รูปร่างของสัญญาณให้มีความคม และเป็นสัญญาณรูปเหลี่ยมที่สมบูรณ์ ก็สามารถทำได้โดยใช้วงจรในรูป 2.8 และ 2.9



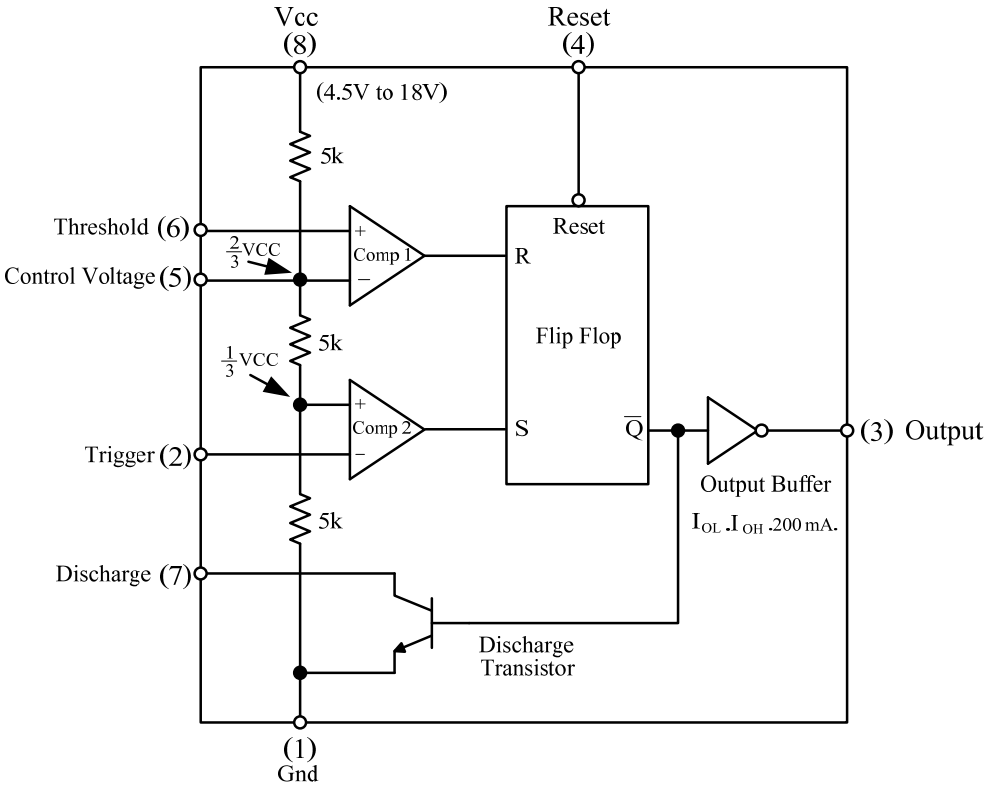

**รูปที่ 2.8** วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากแนนด์เกต




**รูปที่ 2.9** วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากนอร์เกต

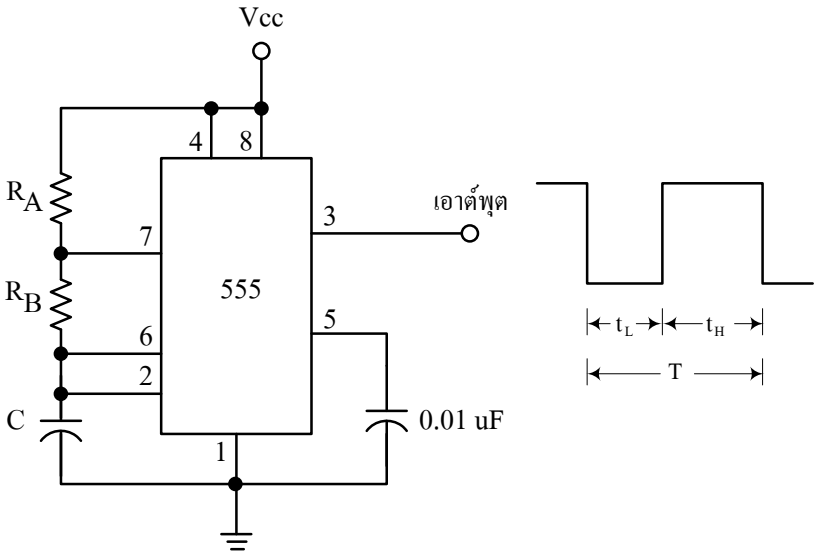
### 2.7.4 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากไอซี 555

ไอซี 555 เป็นไอซีที่สามารถนำมาสร้างเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา สาเหตุที่เรียกไอซีตัวนี้ว่า ไอซี 555 ก็เนื่องมาจากการใช้ตัวต้านทานค่า 5 k จำนวน 3 ตัวต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันระหว่าง $V_{cc}$ กับกราวด์ เพื่อสร้างเป็นแรงดันอ้างอิงให้กับตัวเปรียบเทียบแรงดันภายในไอซี นั่นคือถ้าแรงดัน $V_{cc}$ มีค่าเท่ากับ 9 V แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากับ 3 V แสดงโครงสร้างภายในของไอซี 555 ดังรูปที่ 2.25




**รูปที่ 2.10** โครงสร้างภายในของไอซี 555

จากรูปที่ 2.11 เป็นวงจรการใช้งานไอซี 555 เพื่อทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณนาฬิกา มีตัวต้านทาน $R_A$ , $R_B$ และตัวเก็บประจุ C เป็นตัวกำหนดคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณนาฬิกา




**รูปที่ 2.11** แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ไอซี 555

จากรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาเบื้องต้น โดยใช้ไอซี 555 สามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆได้ดังนี้

ค่าคาบเวลา $t_H$ = $0.693\ (R_A+R_B)C$ (2.22)

ค่าคาบเวลา $t_L$ = $0.693\ R_BC$ (2.23)

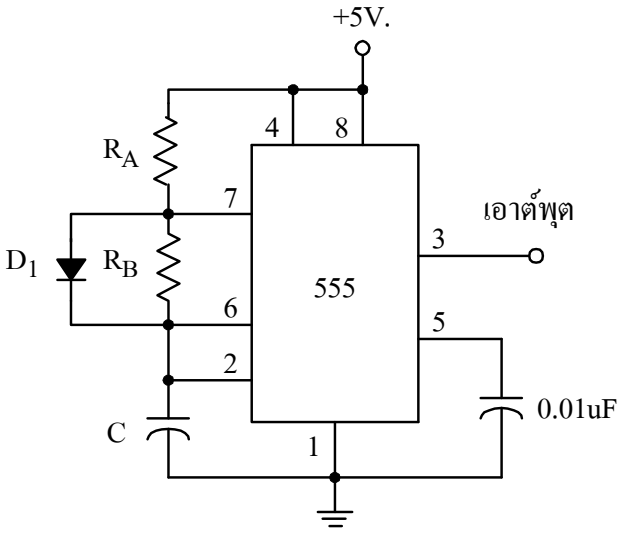
$T = t_H + t_L = 0.693\ (R_A+2R_B)C$ (2.24)

ความถี่ (F) = $\frac{1}{T} = \frac{1}{0.693(R_A + 2R_B)C}$ (2.25)

ความถี่ = $\frac{1.414}{(R_A + 2R_B)C}$ (2.26)

Duty Cycle = $\frac{t_L}{T}$ (2.27)

เมื่อพิจารณาสมการของ $t_L$ และ $t_H$ จะพบว่าค่าของช่วงเวลา $t_H$ จะต้องมากกว่า $t_L$ เสมอ เนื่องจากช่วงเวลาในการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ กระแสจะไหลผ่านตัวต้านทาน 2 ตัวคือ $R_A$ และ $R_B$ แต่ในช่วงเวลาของการคายประจุ จะคายประจุผ่านตัวต้านทานเพียงตัวเดียวคือ $R_B$ ดังนั้นสัญญาณที่ได้จากวงจรจึงไม่สามารถทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ Duty Cycle เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ได้ นั่นก็หมายความว่าวงจรในลักษณะนี้ไม่สามารถกำเนิดสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้ แต่ถ้าต้องการให้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ไอซี 555 สร้างสัญญาณ รูปสี่เหลี่ยมก็สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบของวงจร โดยการกำหนดให้ตัวต้านทาน $R_A$ และ $R_B$ มีค่าเท่ากัน แล้วต่อไดโอดขนานกับตัวต้านทาน $R_B$ เพื่อทำให้ในจังหวะของการเก็บประจุ กระแสจากแหล่งจ่ายจะไหลผ่าน $R_A$ ผ่านไดโอด ไปยังตัวเก็บประจุ และในจังหวะของการคายประจุ ตัวเก็บประจุก็จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน $R_B$ ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ $R_A$ ดังนั้นจึงทำให้ช่วงเวลาของ $t_L$ และ $t_H$ จะมีค่าเท่ากัน แสดงวงจรดังรูปที่ 2.12



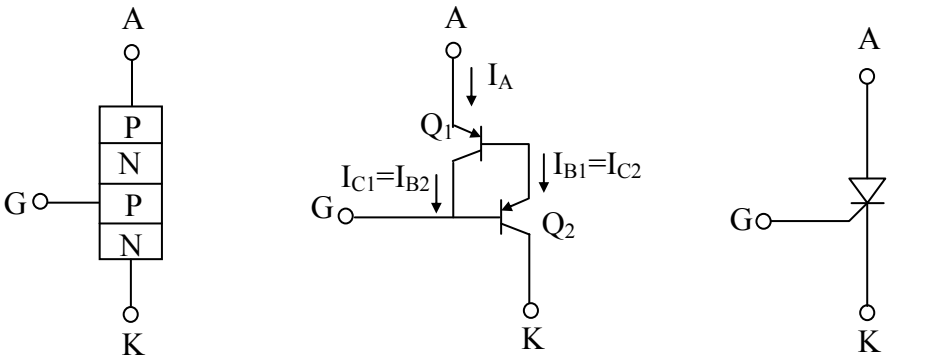

**รูปที่ 2.12** วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีค่า Duty Cycle เท่ากับ 50 %

### 2.7.5 โครงสร้างและการทำงานเบื้องต้นของเอสซีอาร์

เอสซีอาร์ (Silicon Control Rectifier : SCR) และไทรแอค (Triac) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดไทริสเตอร์ (Thyristor) ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ปิด–เปิด สามารถสร้างให้ทนค่าแรงดันและกระแสสูง ๆ ได้นิยมใช้กับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ โหลดที่ถูกขับได้แก่ หลอดไฟ มอเตอร์ ตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ เป็นต้น

โครงสร้างของเอสซีอาร์จะประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อของสารพีเอ็นพี โดยขั้วแอโนดจะอยู่ด้านริมของสารพี ส่วนขั้วแคโทดจะอยู่ด้านริมของสารเอ็น ขาเกตจะติดกับสารเอ็นทางขั้วแคโทด

การทำงานของเอสซีอาร์จะคล้ายคลึงกับไดโอดซึ่งมีการทำงานสองสถานะ คือนำกระแสและไม่นำกระแส แต่การนำกระแสหรือไม่นำกระแสนั้นถูกควบคุมโดยขาเกตจากวงจรสมมูลย์ ถ้าแรงดันที่ขาแอโนดเป็นบวกเมื่อเทียบกับแคโทดและแรงดันที่ขาเกตเป็นลบเมื่อเทียบกับขาแคโทด จะทำให้ทรานซีสเตอร์ Q2 เกิดการไบแอสกลับ ทรานซิสเตอร์ Q2 จะไม่นำกระแสมีเฉพาะกระแสรั่วไหลเท่านั้น ดังนั้นเอสซีอาร์จะไม่มีกระแสไหลจากแอโนดไปยังแคโทด ค่าความต้านทานระหว่างแอโนดกับแคโทดจึงสูงมาก ถ้าให้แรงดันที่ขาเกตมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับแคโทดจะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q2 นำกระแส




ก) โครงสร้าง ข) วงจรสมมูลย์ ค) สัญลักษณ์

**รูปที่ 2.13** เอสซีอาร์

เป็นเหตุให้เกิดกระแสคอลเลกเตอร์ของ Q2 ซึ่งเป็นกระแสเบสของ Q1 จึงเท่ากับว่าเป็นการทำให้ Q1 นำกระแสด้วย เป็นผลทำให้กระแสที่ไหลจากขาแอโนดมีค่ามากยิ่งขึ้น ทำให้กระแสเบสของ Q2 เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเป็นการป้อนกลับแบบบวกทำให้กระแสไหลผ่านจากขาแอโนด ไปยังขาแคโทดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และถูกจำกัดค่าโดยวงจรภายนอก ดังนั้นค่าความต้านทานระหว่างขาแอโนดกับขาแคโทดจึงต่ำมาก นั่นคือเอสซีอาร์จะทำงานเมื่อมีกระแสมาจุดชนวนให้กับทรานซิสเตอร์ Q2 และหลังจากที่จุดชนวนแล้วกระแสจะไหลระหว่างขาแอโนดและแคโทดตลอดเวลา และไม่จำเป็นจะต้องคงกระแสจุดชนวนไว้ เพราะกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 สามารถได้มาจากขา คอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q1

สรุปการที่เอสซีอาร์จะทำงานได้นั้นขึ้นอยู่กับการป้อนแรงดันบวกระหว่างขาเกต และขาแคโทดและแรงดันไบแอสตรงที่ขาแอโนดและขาแคโทด

## 2.7.6 การตรวจสอบคุณสมบัติของเอสซีอาร์และไทรแอคโดยใช้โอห์มมิเตอร์

### 2.7.6.1 การหาขาของเอสซีอาร์โดยใช้โอห์มมิเตอร์

ใช้โอมห์มิเตอร์สเกล Rx10 วัดความต้านทานระหว่างขาต่าง ๆ ของเอสซีอาร์เป็น 3 คู่ แต่ละคู่มีการวัดสลับขั้วถ้าคู่ใดวัดแล้วได้ค่าความต้านทานต่ำสุด (ลองสลับขั้วแล้ว) ขั้ววัดที่มีศักย์เป็นบวกจะเป็นขา G ขั้ววัดที่มีศักย์เป็นลบจะเป็นขา K ขั้วที่เหลือคือขา A

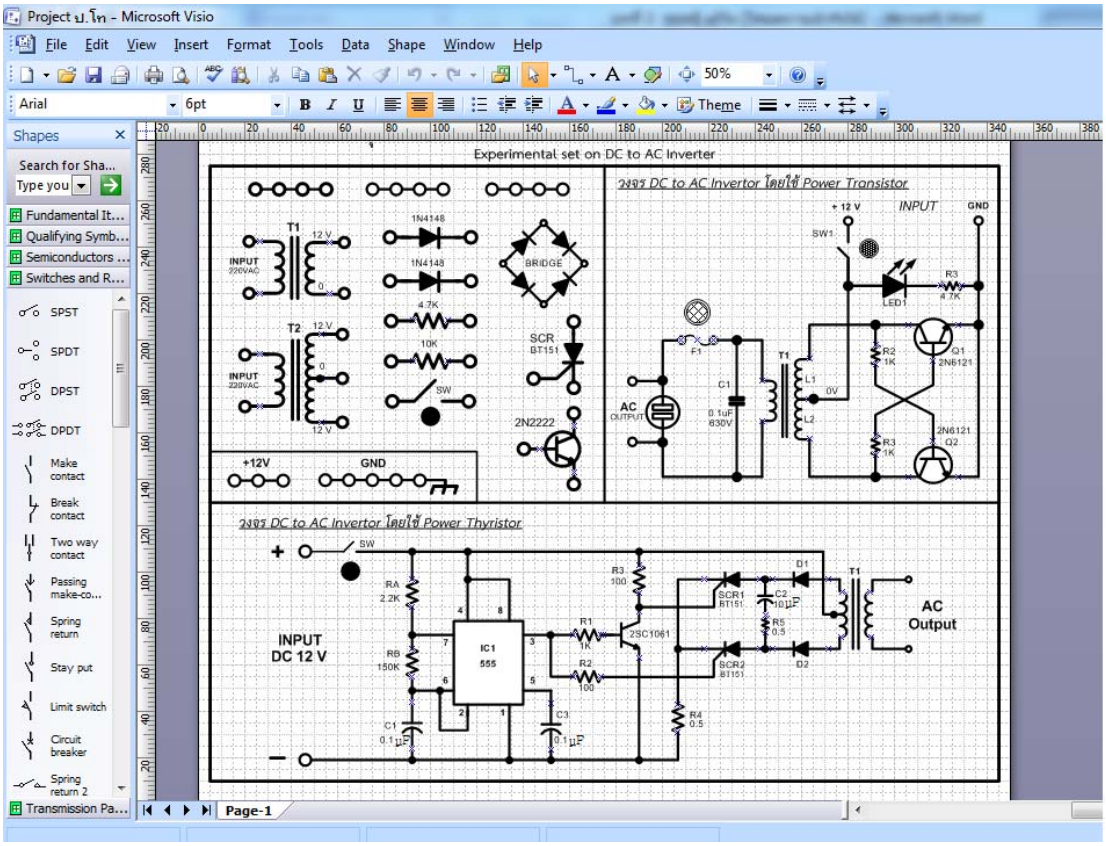
### 2.7.6.2 การตรวจสอบคุณสมบัติของเอสซีอาร์เกี่ยวกับกระแสรั่วไหล

ใช้โอห์มมิเตอร์สเกล R x10K วัดความต้านทานระหว่างขา A-K, K-A และ G-A, A-G ถ้าเข็มชี้ค่าอนันต์ทุกกรณี แสดงว่าเอสซีอาร์ที่ทดสอบไม่มีกระแสรั่วไหล แต่ยังไม่สามารถสรุปว่าเอสซีอาร์ตัวนี้ดีหรือไม่ จนกว่าจะทดสอบคุณสมบัติในการจุดชนวนประกอบ

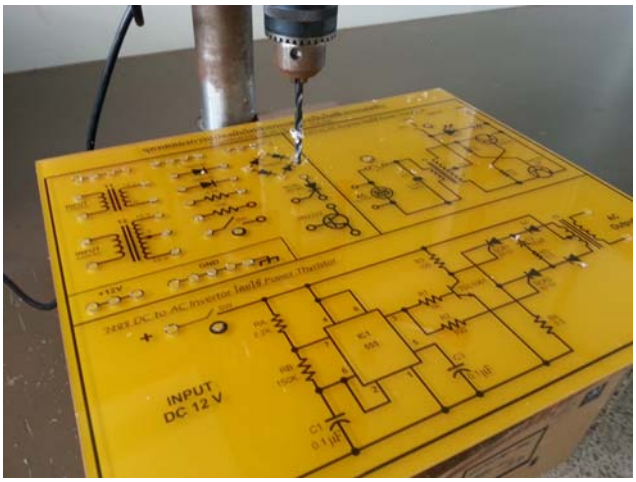
### 2.7.6.3 การทดสอบคุณสมบัติในการจุดชนวนของเอสซีอาร์

ใช้โอห์มมิเตอร์สเกล Rx1 วัดค่าความต้านทานระหว่างขา A-K (ขา A มีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับขา K) เข็มจะชี้ค่าอนันต์ จากนั้นต่อขา A เข้ากับขา G เข็มจะชี้ค่าความต้านทานต่ำแสดงว่าขณะนี้เอสซีอาร์ถูกจุดชนวน เมื่อปล่อยขา A ออกจากขา G ถ้าเข็มยังคงชี้ค่าความต้านทานต่ำ แต่ไปแสดงว่าเกิดกระแสยึด (Holding Current) ซึ่งหมายถึงเอสซีอาร์สามารถทำงานตาม คุณสมบัติได้ กรณีทำการทดลองกับเอสซีอาร์ที่ทนกระแสเฉลี่ยไม่เกิน 4 แอมป์ สามารถใช้สเกล Rx10 ตรวจสอบได้ เนื่องจากกระแสยึดของเอสซีอาร์มีค่าไม่มากสเกล Rx10 สามารถจ่ายกระแสได้พอ

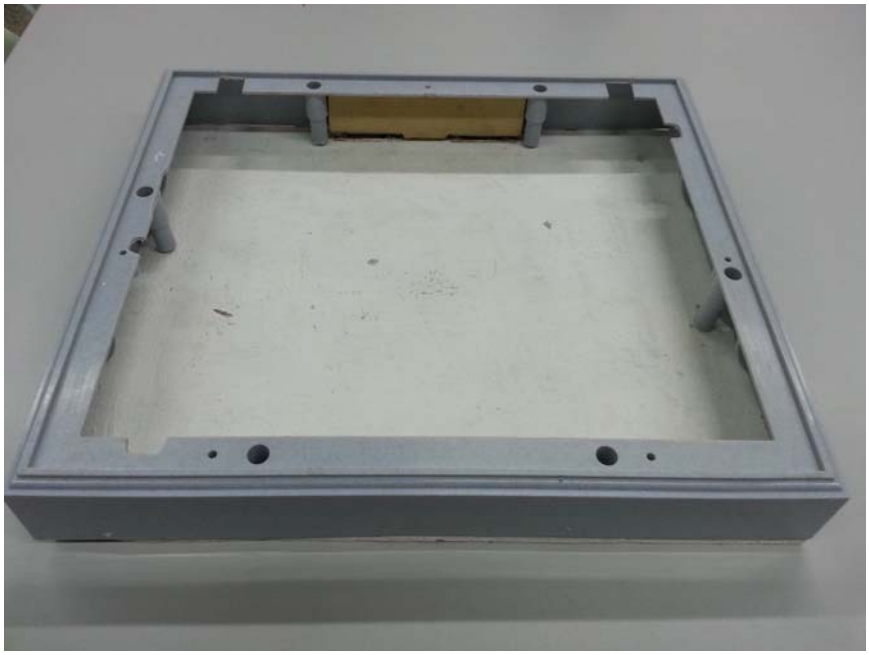
## 2.7.7 การจัดสร้างชุดฝึกการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ




**รูปที่ 2.14** การออกแบบแผงหน้าปัดชุดฝึกด้วยโปรแกรม Visio



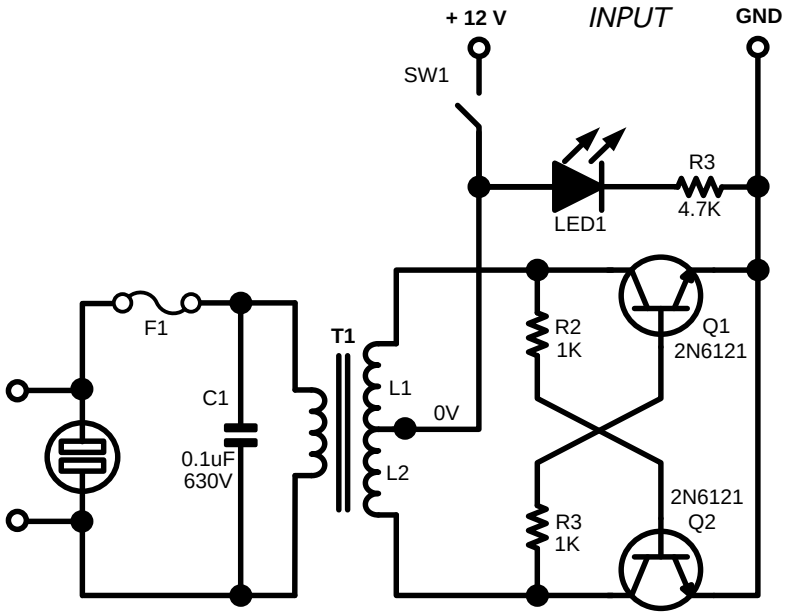

**รูปที่ 2.15** การเจาะรูตามตำแหน่งขาของอุปกรณ์เพื่อใส่ Banana Jack



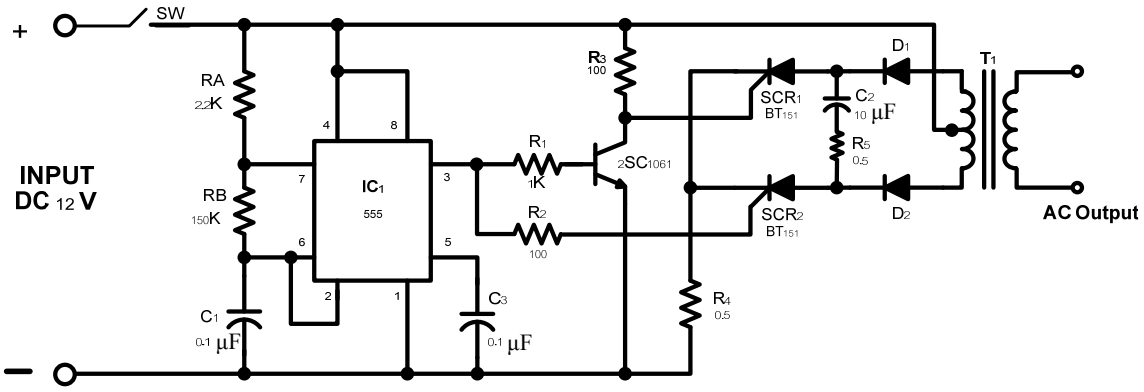
**รูปที่ 2.16** การติดตั้งกล่องชุดฝึกกับฐานรอง

**รูปที่ 2.17** การใส่ Banana jack และอุปกรณ์ในวงจร

### 2.7.8 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ




**รูปที่ 2.18** วงจรพื้นฐานการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้ Power Transistor




**รูปที่ 2.19** วงจรพื้นฐานการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้ Power Thyristor

## 2.8 การสร้างเครื่องมือในการวัดและประเมินผล

การตรวจสอบความรู้ของผู้เรียนที่ได้รับจากการเรียนการสอนแบบทดลองเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินผลโดยภาพรวมของการวิจัย ซึ่งมีความต้องการแบบทดสอบหรือเครื่องมือวัดผลที่ดีมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากที่สุด โดยจากการอธิบายของ สุมาลี จันทร์ชลอ [12] ที่ว่า การวัดและประเมินผล (Measurement and Evaluation) เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากการเรียนการสอน แต่ต้องมีความสัมพันธ์ และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และกับการเรียนการสอน กล่าวคือ การวัดผลต้องวัดจากวัตถุประสงค์การเรียน และวัดในสิ่งที่ผู้สอนได้จัดกิจกรรมการเรียนการสอน ผลจากการวัดจะให้ข้อมูลแก่ผู้สอนและบุคคลที่เกี่ยวข้องเพื่อการปรับปรุงแก้ไขกิจกรรมการเรียนการสอนและเพื่อให้ทราบว่าผู้เรียนบรรลุตามวัตถุประสงค์เพียงใดในขณะเดียวกันวัตถุประสงค์ และกิจกรรมการเรียนการสอนก็เป็นสิ่งกำหนดรูปแบบของการวัดให้เหมาะสมด้วย

สุมาลี ยังได้กล่าวถึง การสร้างแบบทดสอบให้มีคุณภาพว่า ผู้สอนต้องเข้าใจทั้งจุดประสงค์ และเนื้อหาที่จะวัดต้องรู้ถึงกระบวนการคิดในการปฏิบัติ รู้ระดับความสามารถของผู้เรียน ความสามารถในการอ่านและการใช้ศัพท์ของผู้สอบ รู้จักลักษณะเด่นและข้อบกพร่องของข้อสอบแต่ละชนิดเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสม ซึ่งมีข้อควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1. ข้อสอบควรใช้ประเมินจุดประสงค์ที่สำคัญของการสอน ที่สามารถสอบวัดได้โดยใช้แบบทดสอบข้อเขียน

2. ข้อสอบควรสะท้อนให้เห็นทั้งวัตถุประสงค์ที่เป็นเนื้อหา และจุดประสงค์ที่เป็นกระบวนการสำคัญที่เน้นในหลักสูตร

3. ข้อสอบควรสะท้อนให้เห็นถึงจุดประสงค์ในการวัด เช่น วัดประเมินความแตกต่างระหว่างบุคคล หรือวัดเพื่อแยกแยะผู้ที่ได้เรียนรู้

4. ข้อสอบควรมีความเหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้อ่าน และมีความยาวที่พอเหมาะจากความสำคัญของการวัด และประเมินผลดังกล่าว

ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาหลักการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดังนี้ ระดับของจุดประสงค์ของการศึกษาตาม Taxonomy ของบลูม (Bloom's Taxonomy) จุดประสงค์ของการสอนแบ่งเป็น 3 โดเมนหลัก ได้แก่

1. ด้านความรู้ความคิด (Cognitive Domain) เป็นจุดประสงค์ที่เกี่ยวกับการระลึก หรือนึกถึงสิ่งที่เรียนไปแล้วได้ และพัฒนาความสามารถทางเชาว์ปัญญาและทักษะต่าง ๆ

2. ด้านความรู้สึก (Affective Domain) เป็นจุดประสงค์เกี่ยวกับความสนใจ ทัศนคติ ค่านิยม และพัฒนาการของความซาบซึ้ง

3. ด้านทักษะการปฏิบัติ (Psychomotor Domain) เป็นจุดประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวร่างกาย หรือการปฏิบัติทักษะต่าง ๆ

งานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ชุดทดลองเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นสื่อประกอบการสอนแบบทดลองซึ่งเชื่อว่าจะมีส่วนช่วยในการเสริมความรู้การเรียนภาคทฤษฎีในชั้นเรียน ทำให้ผู้เรียนมีระดับความสามารถทางด้านความรู้ความคิดดียิ่งขึ้น จึงได้ให้ความสำคัญสำหรับวัตถุประสงค์ทางด้านนี้เป็นหลักโดยศึกษาระดับของพฤติกรรมแต่ละขั้นเพื่อใช้สร้างแบบทดสอบดังนี้

1. ระดับความรู้ความจำเป็นการวัดความสามารถขั้นต่ำสุด การถามเพื่อวัดเกี่ยวกับการให้ระลึกถึง (recall) ทั้งในสิ่งที่เฉพาะเจาะจงและทั่วไประลึกถึงวิธีการและกระบวนการ รูปแบบโครงสร้าง ฯลฯ เป็นการจำประสบการณ์ต่าง ๆ ที่นักเรียนได้เรียนรู้จากการสอนของครู จากการบอกเล่า จากตำราหรือสิ่งแวดล้อม จุดประสงค์ในระดับความรู้ความจำนี้เมื่อพิจารณาในแง่ของกระบวนการทางจิตวิทยา จัดเป็นการจำประเภทต่าง ๆ เช่นความคุ้นเคยกับคำที่มีความหมายต่าง ๆ ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎี และโครงสร้าง

2. ระดับความรู้ความเข้าใจ เป็นการวัดความสามารถที่สูงกว่าความรู้ความจำ แต่ผู้ตอบยังคงมีความรู้ความจำ เป็นพื้นฐานมาก่อนจึงมีความเข้าใจ คำถามจะไม่ถามจากตำราหรือสิ่งที่สอนได้ แต่โยงความรู้ที่เรียนมาสัมพันธ์กับคำถามแล้วเปลี่ยนเป็นคำตอบใหม่ ภาษาหรือสำนวนใหม่ รูปแบบใหม่ ความสามารถในระดับนี้แบ่งเป็น 3 ด้านได้แก่ ความสามารถในการแปลความ ตีความ และขยายความ

2.1 การแปลความได้แก่

- การแปลคำที่ไม่ใช่การแปลตามพจนานุกรม แต่ต้องแปลโดยคำนึงถึงบริบทของข้อความตามท้องเรื่อง

- การแปลข้อความจากภาษาหนึ่งเป็นอีกภาษาหนึ่ง จากร้อยแก้วเป็นร้อยกรอง จากภาษาที่ยากเป็นภาษาที่ง่ายเป็นต้น

- การแปลภาพสัญลักษณ์ การ์ตูน สถิติต่าง ๆ โดยที่ไม่มีข้อมูลบอกกันตรง ๆ

- การถามตัวอย่าง โดยนักเรียนมีความรู้และหลักการตัวอย่างจากเรื่องที่เรียนสามารถให้ตัวอย่างที่ใช้หลักการเดิมแต่เป็นตัวอย่างที่ต่างไปจากที่ได้เรียนมา

- การเปรียบเปรยหรือเปรียบเทียบ หรืออุปมาอุปไมย

3. ระดับการนำไปใช้ เป็นการวัดความสามารถในการนำเอาความรู้ ความเข้าใจ มาประยุกต์ใช้หรือแก้ปัญหาในเหตุการณ์หรือสถานการณ์ใหม่ได้อย่างเหมาะสม การเขียนคำถามในระดับนี้อาจเขียนถามความสอดคล้องระหว่างหลักวิชาและการปฏิบัติ ถามข้อยกเว้นของหลักวิชาและปฏิบัติ ถามให้อธิบายหลักวิชาถามให้แก้ปัญหา ถามเหตุผลของการปฏิบัติ

4. ระดับวิเคราะห์ เป็นการวัดความสามารถในการแยกแยะหรือแจกแจงรายละเอียดของเรื่องราว ความคิด การปฏิบัติออกเป็นระดับย่อย ๆ โดยอาศัยหลักการหรือกฎเกณฑ์ต่าง ๆ เพื่อค้นพบข้อเท็จจริง และคุณสมบัติบางประการ คำถามระดับการวิเคราะห์แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ การวิเคราะห์ความสำคัญ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการวิเคราะห์หลักการ

4.1 การวิเคราะห์ความสำคัญ เป็นความสามารถในการหาส่วนประกอบที่สำคัญของเรื่องราวเหตุการณ์ ว่าส่วนใดสำคัญหรือไม่สำคัญ

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เป็นความสามารถในการค้นหาความเกี่ยวข้องระหว่างคุณลักษณะย่อย 2 คุณลักษณะขึ้นไป

4.3 การวิเคราะห์หลักการ เป็นการค้นหาโครงสร้าง หลักการของเรื่อง วัตถุประสงค์ และการกระทำ เพื่อศึกษาว่าสิ่งเหล่านั้นสัมพันธ์กันโดยใช้หลักการใดเป็นสิ่งเชื่อมโยง

5. ระดับสังเคราะห์ เป็นการวัดความสามารถในการรวมและผสมผสานรายละเอียดปลีกย่อยของข้อมูล สร้างเป็นสิ่งใหม่ที่แตกต่างจากเดิม ความสามารถดังกล่าวเป็นพื้นฐานของการคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คำถามระดับนี้แบ่งเป็น 3 ประเภทได้แก่

5.1 การสังเคราะห์ข้อความ เป็นความสามารถในการแสดงออกเพื่อการสื่อสารโดยนำความรู้ประสบการณ์มาประสมประสานเพื่อสื่อสารกับบุคคลอื่น ในรูปของการพูดการเขียน หรือการแสดง

5.2 การสังเคราะห์แผนงาน เป็นความสามารถในการกำหนดแนวทาง และขั้นตอนของการปฏิบัติงาน สร้างแผนงานเค้าโครงของงานหรือโครงการเพื่อให้งานนั้นดำเนินอย่างมีประสิทธิภาพบรรลุจุดประสงค์หรือมาตรฐานที่กำหนด

5.3 การสังเคราะห์ความสัมพันธ์ เป็นการวัดความสามารถในการค้นหาความสำคัญและหลักการต่าง ๆ มาผสมผสานให้เกิดสิ่งใหม่ที่มีความสัมพันธ์แบบสมเหตุสมผลแต่แปลกไปจากเดิม เป็นการปรับปรุงแก้ไข หรือสร้างสรรค์งาน

6. ระดับการประเมินค่า เป็นการวัดความสามารถในการสรุปค่าหรือตีราคาเกี่ยวกับ เรื่องราว ความคิด พฤติกรรม ว่าดี-เลว เหมาะ-ไม่เหมาะ เพื่อจุดประสงค์บางประการอ้างอิงมีหลักเกณฑ์โดยมีเกณฑ์เป็น 2 ลักษณะคือ

6.1 การประเมินโดยเกณฑ์ภายใน เป็นการประเมินโดยใช้ข้อเท็จจริงต่าง ๆ ที่ปรากฏในเรื่องเป็นหลักในการพิจารณา อย่างสมเหตุสมผล โดยให้ประเมินภาพรวมหรือประเมินเป็นส่วน ๆ ก็ได้ แนวการประเมินอาจประเมินความถูกต้องหรือความสอดคล้องของเรื่อง ความสมบูรณ์ของข้อมูล ความเหมาะสมของวิธีการปฏิบัติและความสมเหตุสมผลของผลสรุป

6.2 การประเมินโดยเกณฑ์ภายนอก เป็นการตีคุณค่า ราคา ของสิ่งต่าง ๆ โดยใช้เกณฑ์อื่น ๆ ที่อยู่นอกเรื่องที่กำหนดแต่มีความสัมพันธ์กับเรื่องมาเป็นหลักในการวินิจฉัยในการกำหนดเกณฑ์ภายนอกต้องพิจารณาใช้เกณฑ์ที่เหมาะสมกับสิ่งที่จะประเมิน และต้องพิจารณาถึงมาตรฐานของสังคม การประเมินชนิดนี้ได้แก่การประเมินโดยสรุปตามเกณฑ์ภายนอกที่กำหนดให้ การประเมินโดยเปรียบเทียบของ 2 สิ่งในประเภทเดียวกัน การประเมินมาตรฐานและประเมินความเด่นด้อย

### 2.8.1 การสร้างแบบทดสอบในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

สุรางค์ โค้วตระกูล [13] อธิบายไว้ว่า การวัดและประเมินผลของการศึกษาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด เพราะนอกจากการวัดผลและการประเมินผลช่วยให้ทั้งครูและนักเรียน รวมทั้งผู้บริหารการศึกษาทราบว่า การเรียนการสอนได้มีผลตามความคาดหวังหรือไม่แล้ว การวัดและประเมินผลเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อชีวิตของนักเรียนทั้งปัจจุบันและอนาคต ผลจากการประเมินผลจะบอกให้นักเรียนทราบว่าตนเก่งปานกลางหรืออ่อน เมื่อเปรียบเทียบกับนักเรียนอื่นๆ ในห้อง

ภัทธา นิคมานนท์ [14] แบบทดสอบคือ เครื่องมือวัดผลทางการศึกษาที่สำคัญและใช้มากที่สุดในด้านการศึกษา ซึ่งเป็นชุดคำถามหรือกลุ่มงานใด ๆ ที่สร้างขึ้นแล้วนำไปเร้าเด็กให้แสดงพฤติกรรมออกมาโดยผู้สอนสามารถสังเกตและวัดได้ หลังจากการเรียนการสอนสิ้นสุดลงแล้วจำเป็นต้องมีการวัดและประเมินผลดูว่า ผู้เรียนบรรลุ วัตถุประสงค์ของการเรียนที่วางไว้หรือไม่เพียงใด

**2.8.1.1** ข้อสอบแบบตัวเลือก เป็นข้อสอบปรนัยที่นิยมใช้กันมากกว่าข้อสอบปรนัยแบบอื่น ข้อสอบประเภทนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ

1. ตอนนำ หรือ ตัวคำถาม (Stem)
2. ตัวเลือก (Choices หรือ Options) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ
   - ตัวถูก (Correct Choice)
   - ตัวลวง (Decoys หรือ Distracters)

ข้อสอบแบบตัวเลือกที่ดีนั้น ตัวเลือกทุกตัวจะมีน้ำหนักพอ ๆ กัน ถ้าดูเผิน ๆ หรือไม่มีความรู้ในข้อนั้นจริงจะเห็นว่าถูกหมดทุกข้อ และในการสอบแต่ละครั้ง ตัวเลือกแต่ละตัวจะมีโอกาสถูกเลือกพอ ๆ กัน

สำหรับข้อสอบแบบเลือกตอบที่มีลักษณะถูกหรือผิดอย่างเด่นชัดทำให้ข้อสอบขาดคุณค่า และขาดคุณลักษณะความเป็นปรนัยอันเป็นคุณสมบัติสำคัญของข้อสอบประเภทนี้

**2.8.1.2 หลักในการเขียนข้อสอบประเภทเลือกตอบ**

1. เขียนตัวคำถาม หรือตอนนำให้อยู่ในรูปประโยคคำถามที่สมบูรณ์ การถามด้วยประโยคคำถามที่สมบูรณ์จะช่วยให้คำถามมีความหมายเฉพาะเจาะจงยิ่งขึ้น ผู้สอบอ่านแล้วสามารถเข้าใจทันทีว่าผู้ถามต้องการให้ตอบในแง่ใด จะต้องพุ่งความคิดไปในทิศทางใด การเขียนตอนนำทิ้งท้ายไว้คล้ายให้เติมความมักทำให้คำถามไม่กระชับ เกิดปัญหาในการที่จะมีคำตอบหลายแง่มุม บางทีผู้ตอบต้องกลับไปอ่านข้อความซ้ำเพราะข้อความไม่ต่อเนื่องเพื่อจะเลือกตัวเลือกที่รับกับคำถามในกรณีที่ตัวเลือกใช้คำที่ไปรับกับคำถามพอดี จะเป็นการเสนอแนะคำตอบด้วย หากจำเป็นจริงๆ ที่จะต้องเขียนตอนนำแบบต่อความก็ควรเขียนเป็นข้อความที่อ่านได้ความติดต่อกับทุกตัวเลือก

2. เน้นเรื่องที่ถามให้ชัดเจนและตรงจุด คำถามประเภทที่คลุมเครือ ทำให้ผู้สอบเกิดความลังเลในการตอบ ไม่ทราบว่าครูถามในแง่ใดแน่ คำถามที่มีลักษณะต่อความมีโอกาสทำให้คลุมเครือได้ง่าย การเขียนตอนนำให้เป็นคำถามจะช่วยให้ชัดเจนขึ้น

3. ใช้ภาษาให้เหมาะกับระดับผู้สอบ ข้อสอบที่ดีควรให้ยากด้วยเนื้อหาของมันเองไม่ใช่ยากที่ภาษา สำนวนที่ใช้หรือการใช้คำพูดพลิกแพลง เพราะเราไม่ได้มุ่งวัดความสามารถด้านภาษา ยกเว้นแต่ข้อสอบมีจุดหมายเช่นนั้นโดยเฉพาะ การใช้คำยากในข้อคำถามหรือตัวเลือกจะทำให้ข้อสอบยากขึ้นโดยไม่จำเป็น อาจทำให้ข้อสอบขาดความเที่ยงตรง และมีความเชื่อมั่นต่ำได้

4. คำถามควรสั้น และชัดเจน การเขียนคำถามแบบยาว ๆ วกวนไปมาอาจทำให้ข้อสอบขาดความเที่ยงตรงตามสภาพไป เพราะจะกลายเป็นการทดสอบการอ่านหนังสือเร็วแล้วจับใจความ แทนที่จะทดสอบความรู้ความเข้าใจ หรือความสามารถทางวิชาการ

5. พยายามหลีกเลี่ยงการใช้คำถามปฏิเสธหรือปฏิเสธซ้อน การใช้คำถามปฏิเสธทำให้ผู้สอบต้องคิดยอกย้อนโดยไม่จำเป็น อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดได้ง่าย แต่ถ้ามีความจำเป็นจะต้องใช้จริง ๆ ก็ควรขีดเส้นใต้คำปฏิเสธ หรือพิมพ์ด้วยอักษรเอน หรือตัวหนัก ให้ต่างจากข้อความทั่วไปเพื่อให้เห็นชัดขึ้น หรือใช้คำที่มีความหมายเชิงปฏิเสธแทน

6. ใช้ตัวเลือกปลายเปิดให้เหมาะสม ตัวเลือกปลายเปิดได้แก่ คำประเภท “ถูกทุกข้อ” “ไม่มีข้อใดถูก” “ยังสรุปได้ไม่แน่นอน” การใช้ตัวเลือกแบบนี้อาจเนื่องมาจากผู้ออกข้อสอบไม่สามารถหาตัวลวงที่เหมาะสมได้ หรือคิดว่าอาจเป็นตัวถูก หรือตัวลวงที่ดี การใช้ตัวเลือกปลายเปิดด้วยเหตุผลที่ผู้ออกข้อสอบไม่สามารถหาตัวลวงหรือตัวถูกได้นั้นมักทำให้ข้อคำถามนั้นด้อยคุณภาพลงด้วยการแนะคำตอบด้วยตัวเลือกนั้น ข้อสอบที่เหมาะจะใช้ตัวเลือกปลายเปิดควรเป็นคำถามที่เกี่ยวกับเรื่องราว หรือเหตุการณ์ที่ยังหาข้อสรุปไม่ได้ หรือที่ยังเป็นปัญหาโต้แย้งกันอยู่ ตัวเลือกปลายเปิดนอกจากจะใช้ได้ดีกับเรื่องราวที่ไม่มีข้อยุติแล้ว ยังเหมาะที่จะใช้กับวิชาประเภทคำนวณอีกด้วย ตัวเลือก “ถูกทุกข้อ” จะ

ใช้ได้ดีกับข้อที่มีคำตอบที่เป็นไปได้หลายข้อ เช่นการคำนวณหาค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าของสมการหลายชั้น ตัวเลือก “ไม่มีข้อใดถูก” สามารถใช้ลวงผู้ที่ไม่แม่นยำในการคำนวณคำตอบข้อนั้น ๆ เพื่อหาคำตอบที่ถูกต้องไม่ได้ก็จะเอนเอียงมาตอบตัวเลือก“ไม่มีข้อใดถูก” ถ้าหากจำเป็นต้องใช้ตัวเลือกปลายเปิดแล้ว ก็ควรใช้หลาย ๆ ข้อจะได้ไม่เป็นการแนะคำตอบ และต้องจัดให้ตัวเลือกปลายเปิดนั้นเป็นทั้งตัวถูก และตัวผิดพอ ๆ กันกับตัวเลือกอื่น

7. ใช้คำถามให้คุ้มงานสอบ ข้อสอบที่ดีไม่ควรถามด้านความจำมากนัก แต่จะพยายามถามให้คิดลึกซึ้งลงไป และไม่ใช้ข้อความที่พลิกแพลงจนกลายเป็นข้อสอบวัดความสามารถด้านภาษาไป ข้อสอบที่ถามไม่คุ้มงานสอบจะไม่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่การวัดเท่าที่ควร เช่น ข้อคำถามที่ง่ายมากทุกคน หรือเกือบทุกคนตอบถูกหมด หรือข้อที่ยากมาก ไม่มีใครตอบถูกเลยทำให้ไม่ทราบว่าใครเก่งกว่าใคร การถามเนื้อหาที่ไม่จำเป็น ถือว่าเป็นการถามที่ไม่คุ้มงานสอบเช่นกัน

8. ข้อสอบมีคำตอบเดียว ในการเขียนคำถาม มีบ่อย ๆ ที่ผู้ออกข้อสอบไม่ได้พิจารณาตัวลวงให้ดี เมื่อผู้สอบทำข้อสอบจึงมักมีปัญหามีข้อถูกมากกว่า 1 ตัวอยู่บ่อย ๆ

9. เขียนตัวถูก-ผิด ให้ถูกหรือผิดตามหลักวิชาการ การเขียนตัวถูก และตัวลวงควรคำนึงถึงความจริง และความเป็นไปได้ตามเนื้อหานั้น ๆ ด้วยการใช้ตัวลวงโดยไม่คำนึงถึงความถูกต้องตามหลักวิชาการอาจเป็นการแนะนำคำตอบให้เด่นชัดขึ้น ข้อควรคำนึงในการเขียนตัวลวงมีดังต่อไปนี้

9.1 หลีกเลี่ยงการใช้คำศัพท์เทคนิคที่ไม่มีในสาขาวิชานั้น

9.2 ตัวลวงผิดตามหลักการ และข้อเท็จจริงของเนื้อหานั้น ตัวลวงที่ดีควรมีผู้เลือกตอบ และผู้ที่เลือกตอบควรเป็นผู้ที่ไม่แม่นยำในเนื้อหานั้นจริงอาจเข้าใจผิด หรือเกิดความผิดพลาดในการคิดโดยไม่เจตนาได้ โดยเฉพาะวิชาคณิตศาสตร์ ตัวลวงควรได้มาจากการคำนวณโดยวิธีที่ผิด ๆ ที่มักเกิดขึ้นกับนักเรียนซึ่งครูอาจสังเกตได้ในขณะการเรียนการสอนการใช้ตัวเลือกจากคำตอบของนักเรียนทั้งที่เป็นตัวถูก และตัวผิดจะทำให้ข้อสอบมีคุณภาพสูงกว่าข้อสอบที่ใช้ตัวเลือกจากที่ครูสร้างขึ้นทั้งค่าความเที่ยงตรง ความเชื่อมั่นและค่าอำนาจจำแนก นอกจากนี้ข้อสอบที่ใช้ตัวเลือกที่ได้จากคำตอบของนักเรียนยังยากกว่าข้อสอบที่ได้ตัวเลือกจากครูสร้างเองอีกด้วย

9.3 คำตอบควรถูกต้องตามหลักวิชา บางครั้งตัวเลือกนั้นอาจเป็นคำตอบถูกแต่เมื่อพิจารณาโดยเฉพาะสาขาวิชาแล้วอาจไม่เกี่ยวข้องกันเลย

10. เขียนตัวเลือกให้เป็นอิสระขาดจากกัน พยายามอย่าให้ตัวเลือกทั้งที่เป็นตัวถูก และตัวผิดก้าวก่ายกัน หรือมีความหมายสืบเนื่องสัมพันธ์กัน หรือครอบคลุมตัวเลือกอื่น ๆ ซึ่งทำให้เหมือนกับมีตัวเลือกน้อยลง และมีคำตอบที่ถูกหลายข้อ

11. เรียงลำดับตัวเลือกที่เป็นตัวเลข ข้อสอบที่มีคำตอบเป็นตัวเลข เช่น วิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เกี่ยวกับ วัน เดือน ปี หรือจำนวนต่าง ๆ ควรจัดเรียงลำดับกัน อาจเรียงจากมากไปน้อยหรือน้อยไปมาก ก็ได้ เพื่อช่วยให้ผู้สอบหาคำตอบง่ายขึ้น ไม่เกิดการสับสน

12. พยายามใช้รูปภาพช่วย การใช้รูปภาพเป็นตัวสถานการณ์ หรือคำถาม ตัวเลือกจะช่วยคลายความเครียดให้ผู้สอบได้มาก โดยเฉพาะในชั้นเด็กตอนต้น การใช้รูปภาพนอกจากจะคลายความเครียดได้แล้ว ยังช่วยให้เข้าใจคำถามง่ายขึ้น และยังช่วยทำให้ข้อสอบน่าสนใจยิ่งขึ้น ข้อสำคัญรูปภาพที่ใช้ควรเขียนให้ชัดเจน สวยงาม น่าดู และถูกต้อง ไม่ทำให้ผู้สอบมองแล้วเข้าใจผิดได้

13. หลีกเลี่ยงคำถามที่แนะนำคำตอบคำถามที่ใช้แล้วที่มีแง่ให้ผู้สอบสามารถตัดตัวลวงออกได้โดยไม่ต้องใช้ความคิด หรือชี้นำให้ผู้สอบเลือกคำตอบได้ง่ายขึ้น ถือว่าเป็นคำถามที่ชี้แนะคำตอบ คำถามที่มีลักษณะแนะคำตอบมีดังนี้

13.1 ตัวคำตอบใช้คำที่ซ้ำกับคำถาม หรือใช้คำที่เกี่ยวเนื่องกัน

13.2 ออกคำถามซ้ำกัน ได้แก่การถามสิ่งเดียวกันแต่ใช้ถ้อยคำต่างกัน ซึ่งผู้สอบอาจค้นพบคำตอบจากข้ออื่น ๆ ในข้อสอบฉบับเดียวกันได้ [12]

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาสื่อการทดลองและใบงานประกอบการทดลองรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการเรียนการสอนในวิชาทางด้านสื่อสาร และระบบดิจิตอลที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ คือ

อโนชา รุ่งโรจน์วัฒนศิริ [15] ได้สร้างชุดทดลองวิชาไมโครโปรเซสเซอร์ เรื่องการอินเตอร์เฟส พร้อมใบงานการทดลองขึ้น แล้วนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเวลาที่ใช้ในการทดลอง โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาไฟฟ้า ของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่ ผลการวิจัยพบว่านักศึกษาที่เรียนด้วยชุดทดลองวิชาไมโครโปรเซสเซอร์ เรื่องการอินเตอร์เฟส ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่า เกณฑ์กำหนด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัย

จิระวัฒน์ ใจอ่อนน้อม [16] ได้สร้างชุดทดลองวงจรดิจิตอล ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาสำหรับการทดลอง 15 การทดลอง โดยทำการทดลองหาประสิทธิภาพ และ เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ชุดทดลองนี้มีเนื้อหาของการทดลองตรง ตามเนื้อหาของหลักสูตร คือ เรื่อง พีชคณิตบูลีน และการออกแบบวงจรลอจิก แผนผังคาร์โนห์ การเข้ารหัสและการถอดรหัส และฟลิปฟลอปกลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาแผนกช่างไฟฟ้า ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีที่ 4 (หลักสูตร 4 ปี) ของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี รวม 27 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 12 คน และกลุ่มควบคุม 15 คน กลุ่มทดลองสอนโดยใช้ชุดทดลองวงจรดิจิตอล กลุ่มควบคุมสอนโดยวิธีการสอนแบบปกติ การหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาทั้ง 2 กลุ่ม ได้จากแบบทดสอบวัดพุทธิพิสัย และทักษะพิสัยที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ผลปรากฏว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษากลุ่มทดลอง และกลุ่ม

ควบคุมไม่แตกต่างกัน สูงกว่าเกณฑ์ผ่านของหลักสูตร และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่า เกณฑ์กำหนด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัย

อรอนงค์ วิริยานุรักษ์นคร [17] ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชาการวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิตอล ตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พุทธศักราช 2543 และเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาก่อนและหลังเรียน โดยใช้ชุดการสอนวิชา การวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิตอล เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ ชุดการสอนและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาการวิเคราะห์และออกแบบดิจิตอล กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาที่ ลงทะเบียนเรียนวิชาการวิเคราะห์และออกแบบดิจิตอล (Digital Circuit Analysis and Design) ภาควิชาครุศาสตร์คอมพิวเตอร์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2544 จำนวน 40 คน วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดการสอนด้วยค่า E1/E2 และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการใช้ชุดการสอนด้วยการทดสอบค่าที (t-test) ผลการวิจัยพบว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 83.60/80.71 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด อีกทั้งชุดการสอนที่สร้างขึ้นนี้ทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาการวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิตอลได้

สุรพล ปุ้นต้นทอง [18] ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้าง และหาประสิทธิภาพของ ชุดประลองการปฏิบัติการเครื่องมือวัดดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ โดยวิธีดำเนินการวิจัยได้สร้างชุดประลอง การปฏิบัติการเครื่องมือวัดดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ หลักสูตรระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครอบคลุมเนื้อหา จำนวน 8 เรื่อง ให้นักศึกษาทำการประลอง และทำแบบทดสอบ กลุ่มตัวอย่างที่ทำการวิจัยได้แก่ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้า วิทยาเขตตากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล จำนวน 20 คน ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยได้จากคะแนนการทำแบบทดสอบหลัง การประลอง และคะแนนการทำแบบทดสอบรวมหลังจากเรียน ครบทุกเรื่องของนักศึกษา ผลการวิจัยปรากฏว่า การเรียนด้วยชุดประลอง การปฏิบัติการเครื่องมือวัดดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ร้อยละ 81.875/82.625 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์กำหนดร้อยละ 80/80 ตามสมมติฐานของการวิจัย

ฉลอง นพคุณ [19] ได้พัฒนาแผนและสื่อการเรียนรู้ เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น วิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 1 ผลการศึกษาพบว่าแผนและสื่อการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 81.88/83.83 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้ และนักเรียนมีเจตคติ

ต่อแผนและสื่อการเรียนรู้ เรื่อง วงจรไฟฟ้าเบื้องต้นอยู่ในระดับเห็นด้วยมาก โดยสรุปแผนและสื่อการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ ช่วยให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น และผู้เรียนมีเจตคติต่อแผนและสื่อการเรียนรู้อยู่ในระดับเห็นด้วยมาก

นิรันทร์ สมปู่ [20] ได้พัฒนาแผนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม (PL) เรื่อง วงจรความต้านทานไฟฟ้า วิชา วงจรไฟฟ้า 1 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ชั้นปีที่ 1 ผลการศึกษาพบว่า แผนการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 83.26/82.50 สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่ตั้งไว้ และมีดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.7147 แสดงว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเพิ่มขึ้นร้อยละ 71.47 และนักเรียนมีความพึงพอใจในการเรียนตามแผนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม (PL) เรื่อง วงจรความต้านทานไฟฟ้า วิชา วงจรไฟฟ้า 1 อยู่ในระดับมากที่สุด โดยสรุป การพัฒนาแผนการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม (PL) เรื่อง วงจรความต้านทานไฟฟ้า วิชา วงจรไฟฟ้า 1 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ชั้นปีที่ 1 มีประโยชน์ต่อการจัดการเรียนการสอน ทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดีขึ้น ช่วยให้เกิดการเรียนรู้จากประสบการณ์เดิม มีการปฏิสัมพันธ์กัน โดยมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษา ทำให้เกิดการขยายตัวของเครือข่ายความรู้ออกไปอย่างกว้างขวาง

นิรันดร์ นวลอินทร์ [21] ได้พัฒนาแผนการเรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะเรื่องคำสั่งภาษาปาสคาลเบื้องต้น วิชาหลักการเขียนโปรแกรม ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 วิทยาลัยการอาชีพเลิงนกทา ผลการศึกษาพบว่า แผนการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.75/88.95ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และมีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.67 แสดงว่านักเรียนมีผลการเรียนเพิ่มขึ้นร้อยละ 67 นักศึกษามีความพึงพอใจต่อแผนการเรียนรู้โดยใช้ชุดฝึกทักษะโดยรวมและรายข้ออยู่ในระดับมาก โดยสรุป แผนการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเหมาะสม ทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น และมีความพึงพอใจในระดับมาก จึงควรส่งเสริมให้ครูนำแผนดังกล่าวไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนต่อไป

สุพจน์ ธุระการ [22] ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดฝึกประสบการณ์รายวิชาปฏิบัติงานยานยนต์ 1 สำหรับนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพ ระบบทวิภาคี วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น ผลการศึกษา พบว่า ชุดฝึกประสบการณ์รายวิชาปฏิบัติงานยานยนต์ 1 มีประสิทธิภาพ เท่ากับ 91.14/80.24 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ 75/75 ที่ตั้งไว้ นักศึกษาที่เรียนโดยใช้ชุดฝึกประสบการณ์รายวิชาปฏิบัติงานยานยนต์ 1 มีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.86 แสดงว่านักศึกษามีความก้าวหน้าทางการเรียนสูงขึ้นร้อยละ 86.00 นักศึกษาที่เรียนโดยใช้ชุดฝึกประสบการณ์รายวิชาปฏิบัติงานยานยนต์ 1 มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก สรุปได้ว่า ชุดฝึกประสบการณ์ที่พัฒนาขึ้นมีผลทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้ ความ

เข้าใจได้เป็นอย่างดี จนบรรลุจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ถือว่าเป็นชุดฝึกที่มีประสิทธิภาพ สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์การเรียน

จากเอกสารที่ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับวิธีการสอนปฏิบัติการทดลอง และการออกแบบสร้างสื่อการสอนประเภทชุดทดลอง ประกอบกับรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง พบว่าสื่อประเภทชุดทดลองช่วยให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์กำหนด

ผู้วิจัยได้นำหลักการดังกล่าวไปดำเนินการออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่องการพัฒนาชุดทดลองวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา และนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปทดลองหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด