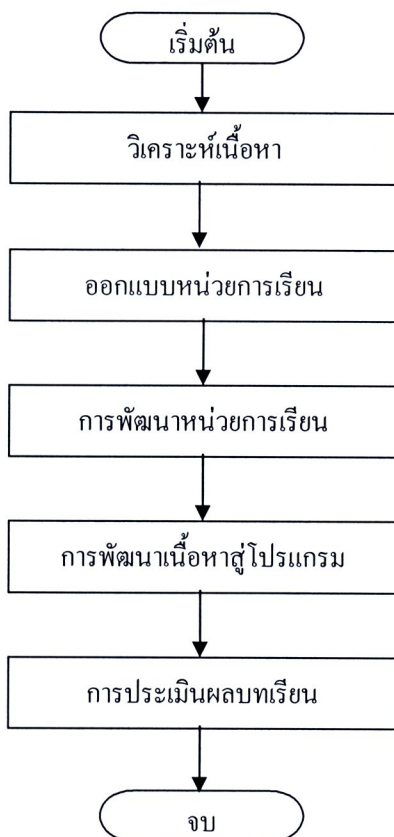


บทที่ 3

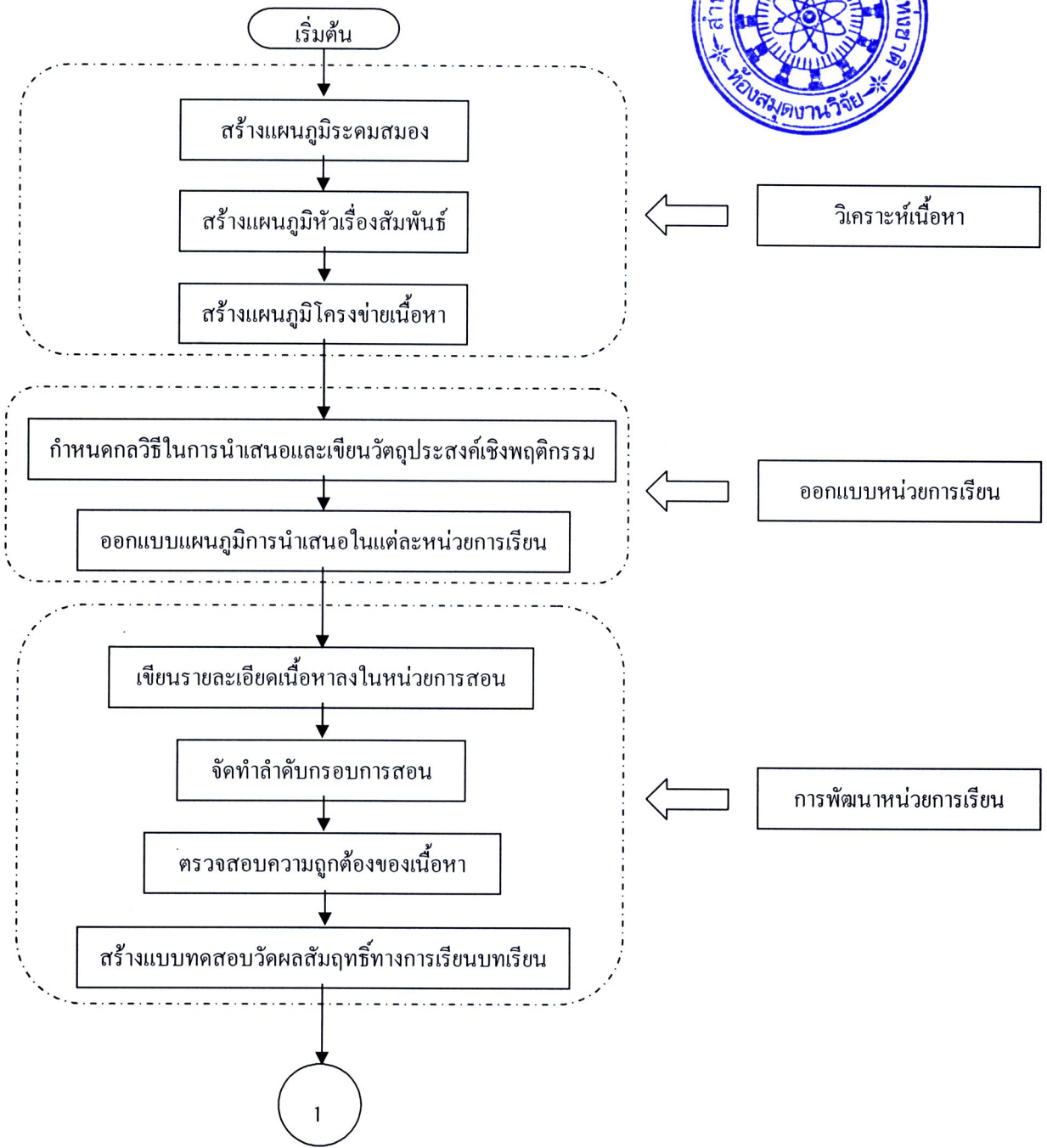
ขั้นตอนการดำเนินงาน

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนการออกแบบวงจรรวมดิจิทัลด้วยภาษาวีเอชดีแอล สามารถแสดงขั้นตอนการพัฒนาได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1

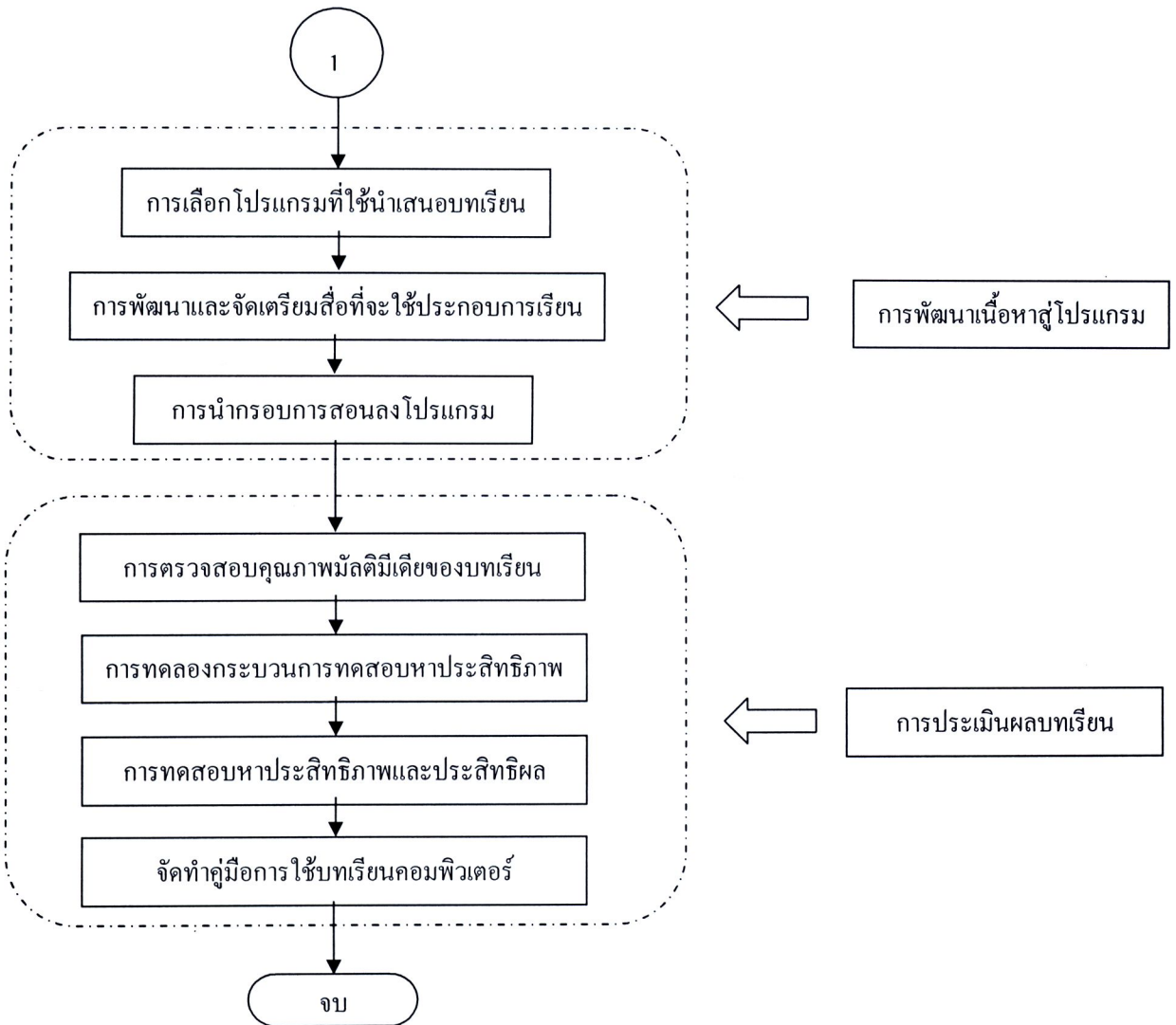


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนหลักของการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ขั้นตอนหลักทั้ง 5 ขั้นตอนนั้น สามารถแบ่งกระบวนการออกได้เป็น 16 ขั้นตอนย่อยๆ มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน



รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (ต่อ)

3.1 รวบรวมเนื้อหา

ในขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบวงจรรวมดิจิทัลด้วยภาษาวีเอชดีแอล โดยได้ทำการรวบรวมจากแหล่งความรู้ต่างๆ เช่น หนังสือบนอินเทอร์เน็ต เป็นต้น เพื่อให้ได้เนื้อหาที่เหมาะสมเพียงพอในการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย เนื้อหาที่รวบรวมได้ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ VHDL Introduction , VHDL Basic , Data Types, VHDL Operation และ Sequential Statement ตลอดจนการสรรหารูปภาพ เพื่อประกอบและตกแต่งภายในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจ เห็นภาพพจน์ และเพื่อให้เกิดความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น

3.2 การวิเคราะห์เนื้อหา

ในการพัฒนาเนื้อหาการเรียนการสอน ผู้พัฒนาจะต้องทำความเข้าใจกับเนื้อหาสาระ ที่จะนำมาใส่ บทเรียน เพื่อกำหนดให้ชัดเจนว่าจะให้ผู้เรียนเรียนอะไรบ้าง เรียนอะไรก่อน เรียนอะไรหลัง เพื่อไม่ให้ซ้ำซ้อนในแต่ละหัวข้อ ไม่ให้สิ่งที่เรียนนั้นมากหรือน้อยเกินไป ยากหรือง่ายเกินไป ดังนั้นผู้วิจัย จึงตระหนักและให้ความสำคัญกับเนื้อหาสาระ ที่จะถูกบรรจุอยู่ในบทเรียน และวิธีการที่วิธีหนึ่งก็คือ การวิเคราะห์เนื้อหาที่จะนำมาผลิตเป็นบทเรียน

การวิเคราะห์เนื้อหาจึงเป็นขั้นตอนแรกของการพัฒนาบทเรียน ในการวิเคราะห์เนื้อหานั้นมีขั้นตอนย่อยๆ ที่จะต้องทำตามลำดับ 3 ขั้นตอน คือ

3.2.1 สร้างแผนภูมिरะดมสมอง (Brain Storm Chart Drafting)

เป็นการค้นหาหัวข้อทั้งหมดอันเป็นเป้าหมายขององค์ความรู้และความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันของหัวข้อ ในเรื่องการออกแบบวงจรรวมดิจิตอลด้วยภาษาวีเอชดีแอล ที่จะทำให้มองเห็นภาพของบทเรียนว่า ควรจะมีเนื้อหาโดยรวมเป็นเช่นไร ผลของการระดมสมองนี้จะเป็นภาพแผนภูมिरะดมสมองที่เป็น รูปธรรมของความคิดของคณะผู้เชี่ยวชาญนั้น

3.2.2 สร้างแผนภูมิหัวเรื่องสัมพันธ์ (Concept Chart Drafting)

เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์หัวเรื่อง โดยละเอียดจากแผนภูมिरะดมสมองเพื่อคัดเลือกหัวเรื่องที่ เหมาะสม จึงอาจมีบางหัวเรื่องถูกตัดออกเพราะเป็นความรู้ที่ผู้เรียนได้เคยเรียนมาแล้ว หรือจัดไว้เป็น หัวเรื่องรอง หรือหัวเรื่องสนับสนุน หลังจากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาช่วยพิจารณาเนื้อหาว่า เหมาะสม ถูกต้อง และครอบคลุมตามหัวข้อหลักหรือไม่ เพื่อให้ได้หัวข้อที่จะนำมาพัฒนาเป็นเนื้อหา ที่สมบูรณ์ที่สุด

3.2.3 สร้างแผนภูมิโครงข่ายเนื้อหา (Content Network Analysis Chart Drafting)

เป็นการสร้างแผนภูมิจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และการส่งทอดกันของเนื้อหาในลักษณะของ ข่ายงานการนำเสนอ เป็นการแสดงภาพของความสัมพันธ์กันของการนำเสนอว่าเนื้อหาส่วน ใดควรนำเสนอก่อนหลังหรือพร้อมกันไปได้กับเนื้อหาส่วนใด เมื่อเขียนเสร็จแล้วผู้วิจัย ได้วิเคราะห์ ลำดับความสัมพันธ์ของเนื้อหาทั้งหมดอีกครั้ง

3.3 ออกแบบหน่วยการเรียนรู้

การออกแบบหน่วยการเรียนรู้ เป็นขั้นตอนที่สำคัญจะต้องทำต่อจากขั้นตอนการวิเคราะห์เนื้อหาภายหลัง จากสร้างแผนภูมิโครงข่ายเนื้อหาเสร็จจะได้เนื้อหาที่ถูกระบุวิเคราะห์โครงสร้างลำดับความสัมพันธ์ไว้อย่าง ถูกต้องแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นกระบวนการในการออกแบบหน่วยการเรียนรู้และการสอน

การออกแบบหน่วยการเรียนรู้ นับเป็นหัวใจสำคัญในการผลิตโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ประกอบด้วยขั้นตอนที่จะต้องทำไปตามลำดับ 2 ขั้นตอน คือ

3.3.1 กำหนดกลวิธีการนำเสนอและเขียนวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของแต่ละหัวเรื่องที่ กำหนด (Strategic Presentation Plan vs Behavior Objective)

ในขั้นตอนนี้ จะจัดเนื้อหาที่มีให้เป็นหน่วยการเรียนรู้ เพื่อให้เหมาะสมกับการเรียนของผู้เรียน จากนั้น จึงสร้างแผนภูมิหน่วยการเรียนรู้วิชา แล้วเขียนกำกับในแต่ละหน่วยการเรียนรู้ ด้วยวัตถุประสงค์เชิง พฤติกรรมมี 3 ขั้นตอน คือ

3.3.1.1 การแบ่งเนื้อหาออกเป็นหน่วยการเรียนรู้

สำหรับการแบ่งเนื้อหาออกเป็นหน่วยการเรียนรู้นี้ เป็นการแบ่งเนื้อหาเพื่อให้เหมาะสมกับการเรียนแต่ ละครั้ง โดยเปรียบเทียบกับการสอนในห้องเรียนปกติ เช่น ในระดับอุดมศึกษา 1 คาบใช้เวลา 60 นาที หรือ 120 นาทีต่อหน่วยการเรียนรู้ เป็นต้น

การแบ่งเนื้อหาออกเป็นหน่วยเรียนนั้น จะเริ่มจากนำแผนภูมิโครงข่ายเนื้อหา มาพิจารณา กลุ่มหัว เรื่องที่สามารถจัดไว้ในหน่วยการเรียนรู้เดียวกันได้ จากนั้นก็ตีกรอบล้อมรอบกลุ่มต่างๆ ไว้จนครบ อย่างไรก็ตาม การตีกรอบควรพิจารณาตามเงื่อนไขของเวลาที่ตั้งไว้ เมื่อเสร็จแล้วเนื้อหาในกรอบ แต่ละกรอบก็คือ หน่วยการเรียนนั่นเอง

3.3.1.2 การสร้างแผนภูมิหน่วยการเรียนรู้วิชา

เมื่อแบ่งเนื้อหาออกเป็นหน่วยการเรียนรู้ได้แล้ว ก็กำหนดลำดับของแต่ละหน่วยโดยเขียนเป็นตัวเลขลง ไป จากนั้นก็นำหน่วยการเรียนรู้มาลำดับการนำเสนอตามอันดับ และความสัมพันธ์แนวเดียวกับแผนภูมิ โครงข่ายเนื้อหา ซึ่งจะได้ผลเป็นแผนภูมิหน่วยการเรียนรู้วิชา (Course Flow Chart)

3.3.1.3 การกำหนดและเขียนวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของเนื้อหาแต่ละหน่วยการเรียนนำหัวเรื่องเนื้อหาแต่ละหน่วยการเรียน มาพิจารณากำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่เหมาะสม แล้วเขียนวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้กำหนด กำกับไว้แต่ละหน่วยการเรียนให้เป็นระเบียบที่ชัดเจน เมื่อดำเนินการเสร็จแล้ว ถือว่าจบขั้นตอนการกำหนดกลวิธีในการนำเสนอและเขียนวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมของเนื้อหา

3.3.2 การออกแบบแผนภูมิการนำเสนอในแต่ละหน่วยการเรียน (Module Presentation Chart)

การออกแบบแผนภูมิการนำเสนอในแต่ละหน่วยการเรียนเปรียบเสมือนการออกแบบการสอนในชั้นเรียน เป็นการวางแผนการสอน ซึ่งจะต้องออกแบบการสอนให้เหมาะสมกับเนื้อหาและกลุ่มเป้าหมาย โดยเลือกวิธีการสอน สื่อการสอนที่เหมาะสมมาใช้

เป้าหมายสำคัญในการออกแบบคือ การให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ตั้งไว้ใน การออกแบบนั้นจะต้องคำนึงถึงกระบวนการนำเสนอทั้งหมด ซึ่งจะมีการนำเข้าบทเรียน การนำเสนอเนื้อหาสาระ การทบทวนเสริมความเข้าใจ และการสรุปบทเรียน รวมทั้งการใช้เทคนิควิธีการสอน การใช้สื่อต่างๆ ที่เหมาะสม และสิ่งที่สำคัญที่การออกแบบการสอนทั่ว ๆ ไปไม่มีก็คือ จะต้องออกแบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างบทเรียนกับผู้เรียน ซึ่งเป็นสิ่งที่คอมพิวเตอร์สามารถทำได้

สำหรับขั้นตอนการออกแบบแผนภูมิการนำเสนอในแต่ละหน่วยเรียนนั้น จะเริ่มจากพิจารณาเนื้อหาแต่ละช่วงพร้อมเทคนิควิธีการสอน สื่อที่ใช้ และลักษณะปฏิสัมพันธ์ในหัวข้อนั้นๆ ทีละหัวข้อพิจารณาไปที่ละลำดับ ทำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งหมดหน่วยเรียนนั้น แล้วจึงเริ่มทำหน่วยเรียนถัดไป เพียงเท่านี้ก็จะได้แผนภูมิการนำเสนอในแต่ละหน่วยเรียน

เมื่อออกแบบแผนภูมิการนำเสนอในแต่ละหน่วยเรียนเสร็จ ก็จะได้ภาพรวมของการออกแบบการสอนแต่ละหน่วย ซึ่งจะเป็นแนวทางที่ง่ายสำหรับการพัฒนาเนื้อหาลำดับต่อไป

3.4 การพัฒนาหน่วยการเรียน (Development)

ขั้นพัฒนาหน่วยการเรียนเป็นการพัฒนาเนื้อหาหน่วยการเรียนให้สมบูรณ์ก่อนที่จะนำไปเขียนโปรแกรม ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย ๆ 4 ขั้นตอน คือ

3.4.1 การเขียนรายละเอียดเนื้อหาลงบนกรอบการสอน (Script Development)

เป็นการดำเนินการหลังจากที่ได้มีการวิเคราะห์และออกแบบบทเรียนแล้วนำมาจัดเป็นรายละเอียดของเนื้อหา โดยการนำมาเขียนลงในกรอบการนำเสนอที่ได้วางไว้ ซึ่งจะเป็นการร่างต้นแบบของการนำเสนอก่อนการนำเสนอจริงในแต่ละเฟรม (กรอบ) การกำหนดเนื้อหาลงในกรอบนี้ จะเป็นการกำหนดทั้งภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียง และภาพวิดีโอ ผู้วิจัยได้สร้างกรอบการสอนขึ้นมาใช้ในการเขียนเนื้อหาสาระ ภายในกรอบการสอนจะมีพื้นที่สำหรับเขียนเนื้อหาที่จะสอน พื้นที่สำหรับระบุเสียงบรรยาย การระบุการจัดเก็บสื่อต่างๆ และการนำเสนอหน้าจอ

3.4.2 การจัดลำดับกรอบการสอน (Story Board Development)

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำกรอบการสอนมาตรวจสอบลำดับการนำเสนอที่ได้วางแผนไว้ ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก เพราะเป็นการตรวจสอบลำดับการสอนของกรอบการสอนที่ได้เขียนไว้ว่ามีความต่อเนื่องกันหรือไม่ เพื่อให้เป็นไปตามการนำเสนอที่ได้วางแผนไว้ทั้งหมด และความสมบูรณ์ของเนื้อหาที่สามารถตอบสนองการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้กำหนดไว้ด้วย ในการตรวจสอบลำดับเนื้อหานี้จะมีการตรวจสอบ 2 ขั้นตอน คือ

3.4.2.1 การตรวจสอบความต่อเนื่องของเนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้เดียวกัน เพื่อดูว่ามีความเหมาะสมต่อเนื่องกันหรือไม่ และตอบสนองวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมครบถ้วนหรือไม่

3.4.2.2 การตรวจสอบการเชื่อมโยงของเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียนรู้ เพื่อดูว่าการเชื่อมโยงของเนื้อหาแต่ละหน่วยเป็นไปตามที่ได้วิเคราะห์ไว้หรือไม่

ภายหลังจากที่ได้ตรวจสอบลำดับของเนื้อหาตามขั้นตอนแล้ว ก็ถือว่าเสร็จสิ้นกระบวนการจัดลำดับกรอบการสอน เนื้อหาทั้งหมดนี้ เป็นข้อมูลบนกระดาษที่ฉายภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์การสอนได้ครบ ซึ่งเรียกว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ (Course Ware)

3.4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำ Course Ware ที่พัฒนาขึ้นไปทำการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาที่พัฒนาขึ้น โดยทำ 2 ด้านต่อเนื่องกัน คือ

3.4.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา

3.4.3.2 นำไปทดลองกับกลุ่มเป้าหมายที่จะเรียนเนื้อหานี้

การตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ เป็นการรับรองคุณภาพของเนื้อหานั้นว่าถูกต้อง ก่อนที่จะนำไปพัฒนาเป็นบทเรียน การตรวจสอบนั้นอาจทำให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินลงไปในการอบการ สอนหรือประเมินคู่กับแบบฟอร์มที่เป็นปลายเปิด

ภายหลังประเมินความถูกต้องของผู้เชี่ยวชาญและปรับแก้แล้ว ต่อไปนำไปทดลองกับกลุ่มเป้าหมายที่ จะเรียนเนื้อหานั้นๆ เพื่อทดสอบความเข้าใจในการเรียนเนื้อหาและการสื่อความหมายของสัญญาณที่ ใช้ ตลอดจนรูปแบบที่สื่อความหมายต่อผู้เรียน ผู้วิจัยได้ทำการเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่าง ง่าย (Simple Random Sampling) ด้วยการจับสลากซึ่งเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า จำนวน 10 คน เมื่อได้กลุ่มตัวอย่างแล้วให้กลุ่มตัวอย่างอ่าน เนื้อหาซึ่งอยู่ในรูปแบบของเอกสารแล้วให้ทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยการเรียนรู้ โดยสามารถเปิดเอกสาร อ่านประกอบการทำแบบฝึกหัดได้ พิจารณาผลของการทำแบบฝึกหัด และในขั้นตอนนี้ยังให้กลุ่ม ตัวอย่างอ่านเพื่อตรวจสอบความเข้าใจเนื้อหา สำนวน ลักษณะทางภาษา หากกลุ่มตัวอย่างอ่านแล้ว ตัดขาด เช่น อ่านแล้วไม่เข้าใจก็ให้ทำเครื่องหมายไว้ พร้อมบรรยายละเอียดหรือข้อสงสัยลงไป จากนั้น นำข้อเสนอแนะที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างมาพิจารณาปรับเปลี่ยนข้อความของเนื้อหาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

3.4.4 การเขียนและการประเมินคุณภาพของแบบทดสอบ

ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการสร้างแบบทดสอบสำหรับบทเรียน โดยอาศัยหลักการของการสร้าง แบบทดสอบในการวัดผล โดยอ้างอิงวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้ จากนั้นนำไปทดลองกับ กลุ่มตัวอย่างที่เคยเรียนเนื้อหานั้นมาแล้วและนำผลทดสอบมาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจ จำแนก และความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ ผู้วิจัยได้สร้างแบบทดสอบสำหรับบทเรียน ประกอบไป ด้วย แบบทดสอบก่อนเรียน แบบทดสอบระหว่างเรียน และแบบทดสอบหลังเรียน โดย แบบทดสอบที่สร้างขึ้นเป็นแบบทดสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือกเพื่อให้เหมาะสมกับนักศึกษาระดับ ปริญญาตรี โดยมีรายละเอียดการสร้างแบบทดสอบก่อนเรียน แบบทดสอบระหว่างเรียน และ แบบทดสอบหลังเรียนดังนี้

3.4.4.1 สร้างตารางวิเคราะห์ความสำคัญของเนื้อหา (Test Blue Print) การสร้าง ตารางวิเคราะห์ ความสำคัญของเนื้อหา เพื่อกำหนดสัดส่วนของเนื้อหาที่จะใช้ในแบบทดสอบ เพื่อให้แบบทดสอบ สามารถครอบคลุมเนื้อหาให้มากที่สุด มีขั้นตอนดังนี้

ก. กำหนดความสามารถที่ผู้เรียนจะได้รับ เช่นความสามารถในการรับรู้ ความสามารถในด้านความเข้าใจ และความสามารถในด้านการนำไปใช้

ข. กำหนดอัตราส่วนของเนื้อหาออกเป็นร้อยละของเนื้อหาทั้งหมด ตามความสำคัญของเนื้อหา

ค. สร้างตารางบรรจุเนื้อหา วัตถุประสงค์ ชนิดของข้อสอบและจำนวนข้อสอบ โดยใช้ตารางวิเคราะห์ความสำคัญของเนื้อหา

ง. กำหนดรูปแบบของข้อคำถามและศึกษาวิธีการเขียนข้อสอบ ผู้วิจัยได้เลือกสร้างแบบทดสอบเป็นแบบเลือกตอบ (Multiple Choice) ชนิด 4 ตัวเลือก หลักในการกิกคะแนนคือ ผู้เรียนตอบถูกได้ 1 คะแนน ถ้าตอบผิดหรือไม่ตอบหรือตอบมากกว่า 1 ข้อ ได้ 0 คะแนน

จ. เขียนแบบทดสอบ โดยดำเนินการเขียนแบบทดสอบตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่กำหนดไว้ ในการเขียนยึดหลักตามหลักการเขียนแบบทดสอบประเภทเลือกตอบ

ฉ. ตรวจสอบข้อสอบ คือ นำข้อสอบที่ได้เขียนไว้แล้วมาพิจารณาทบทวนอีกครั้ง โดยพิจารณาความถูกต้อง สามารถวัดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ต้องการได้หรือไม่ ภาษาที่ใช้ชัดเจนหรือไม่ ตัวถูก ตัวลวง เหมาะสมเข้าเกณฑ์หรือไม่ ทำการแก้ไขปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

ช. นำแบบทดสอบให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และด้านการวัดผลทางการศึกษา ตรวจสอบและนำข้อเสนอแนะต่างๆของผู้เชี่ยวชาญ นำไปปรับปรุงแบบทดสอบเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ต่อไป

ซ. พิจารณาความเที่ยงตรงของเนื้อหาของแบบทดสอบโดย ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดผลและประเมินผลและผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชาเป็นผู้มีประสบการณ์ในการสอนเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจแบบทดสอบ การพิจารณาความเที่ยงตรงตามเนื้อหาของแบบทดสอบใช้วิธีของโรวินลลิ (Rovinelli) และ แฮมเบลตัน (R.K. Hambleton) โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนความสอดคล้องของข้อสอบแต่ละข้อกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมไว้ดังนี้

คะแนน +1 เมื่อมีความเที่ยงตรงตามเนื้อหาและตามโครงสร้าง

คะแนน 0 เมื่อไม่แน่ใจ

คะแนน -1 เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามไม่ตรงตามเนื้อหาและ โครงสร้าง

จากนั้นนำมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IC) ถ้าได้ค่า IC มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 แสดงว่าข้อคำถามนั้นเป็นข้อคำถามที่มีความเที่ยงตรงตามเนื้อหา ถ้าได้ค่า IC น้อยกว่า 0.5 ให้นำข้อคำถามนั้นไปปรับปรุงใหม่

ฉ. พิมพ์แบบทดสอบฉบับทดลอง ผู้วิจัยได้นำแบบทดสอบทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์มาพิมพ์เป็นแบบทดสอบ โดยมีคำชี้แจงเกี่ยวกับแบบทดสอบ วิธีตอบ จัดวางรูปแบบการพิมพ์ให้เหมาะสม

ญ. นำแบบทดสอบมาหาคุณภาพ หลังจากปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญแล้ว จึงนำแบบทดสอบไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าชั้นปีที่ 4 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จำนวน 34 คน จากนั้นนำแบบทดสอบที่ผ่านกระบวนการทดสอบแล้วมาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนกและค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

- (1) นำแบบทดสอบมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความยากง่ายของแบบทดสอบ โดยพิจารณาข้อสอบที่มีความยากง่ายในช่วงระหว่าง 0.20 – 0.80
- (2) นำแบบทดสอบมาวิเคราะห์หาค่าอำนาจจำแนกโดยพิจารณาข้อสอบที่มีอำนาจจำแนกมากกว่า 0.20
- (3) ตรวจสอบแบบทดสอบในแต่ละหน่วยว่าข้อสอบที่ได้ตามเกณฑ์มีจำนวนครบตามที่ตั้งไว้ในวัตถุประสงค์หรือไม่ ผู้วิจัยได้ทำการแยกข้อสอบที่ได้ออกจากข้อสอบที่ไม่ได้ตามเกณฑ์และไปตรวจสอบกับจำนวนที่ได้ระบุในแต่ละหน่วย หากมีวัตถุประสงค์ใดที่มีข้อสอบไม่ครบตามจำนวน ผู้วิจัยจึงพิจารณาข้อสอบที่มีเกณฑ์ใกล้เคียงกับเกณฑ์ที่ยอมรับได้และออกแบบทดสอบเพิ่มเติม
- (4) นำแบบทดสอบที่ใหม่และข้อสอบที่มีค่าดัชนีความยากง่ายและอำนาจจำแนกใกล้เคียงกับเกณฑ์ที่ยอมรับได้มาปรับปรุง และนำไปทดสอบใหม่อีกครั้งกับกลุ่มนักศึกษาเดิมเพื่อจะได้ข้อสอบตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ นำผลวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง จนได้ตามที่ต้องการ
- (5) วิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น โดยคำนวณจากค่าประสิทธิภาพความเชื่อมั่นจากสูตรคูเคอร์ริชาร์ดสัน 20

ฎ. นำข้อสอบที่มีคุณภาพเข้าเกณฑ์มาพิมพ์เป็นแบบทดสอบฉบับจริง โดยพิมพ์ไว้ในบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้น โดยเน้นรูปแบบการพิมพ์ที่ประณีตและความถูกต้อง มีคำชี้แจงที่ชัดเจน ละเอียด เข้าใจง่าย โดยแยกจัดเป็นแบบทดสอบทำหน่วยการเรียนรู้ แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แบบทดสอบดังกล่าวถือว่าเป็นแบบทดสอบคู่ขนานกัน

3.5 การพัฒนาเนื้อหาสู่โปรแกรม

ขั้นการพัฒนาเนื้อหาสู่โปรแกรม เป็นขั้นที่ทำต่อจากขั้นการพัฒนาหน่วยการเรียนรู้ โดยนำกรอบการสอนไปจัดทำเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จนเสร็จสมบูรณ์ ในขั้นนี้จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

3.5.1 การเลือกโปรแกรมที่จะใช้สอนบทเรียน

ภายหลังจากพัฒนาเนื้อหาจนได้ตัวบทเรียนแล้ว ในขั้นนี้จะเป็นการคัดเลือกโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ โดยเลือกซอฟต์แวร์ระบบนิพนธ์บทเรียน (Authoring Software) และซอฟต์แวร์อื่นๆ เพื่อใช้ในการสร้างบทเรียนสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผู้วิจัยได้เลือกโปรแกรมที่จะใช้ในการพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ โดยพิจารณาโปรแกรมที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้วิจัยเพื่อเตรียมผลิตบทเรียนต่อไป ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Macromedia Authorware Professional Version 6.0, Adobe Photoshop 6.0, Macromedia Flash MX ในการสร้างตัวบทเรียนคอมพิวเตอร์

3.5.2 การพัฒนาและจัดเตรียมสื่อที่จะใช้ประกอบบทเรียน

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดเตรียมทรัพยากรต่างๆ ที่ต้องการใช้ ผู้วิจัยได้จัดเตรียมสื่อต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการผลิตบทเรียน เริ่มจากการแยกแยะสื่อแต่ละชนิด ได้แก่ ข้อความ ภาพนิ่ง ภาพวิดีโอ และเสียงออกจากกรอบการสอน เพื่อให้ทราบว่าจะต้องผลิตสื่ออะไรบ้างและผลิตสื่อแต่ละชนิดจำนวนเท่าใด เมื่อได้ข้อมูลแล้วก็วางแผนการผลิตและนำไปผลิตตามกระบวนการผลิตสื่อการสอน ดังนี้

3.5.2.1 การสร้างพื้นหลังจะต้องใช้โปรแกรม Adobe Photoshop 6.0 ในการสร้างกรอบพื้นหลัง โดยใช้ความละเอียดมาตรฐานโปรแกรมที่ 800 x 600 Pixel ซึ่งจะได้ภาพที่มีความละเอียดเต็มจอพอดี การสร้างพื้นหลังแต่ละเฟรมจะใช้ภาพจำนวนมากกว่า 6 Layer ก่อนที่จะบันทึกเป็น JPG file การสร้างจะใช้ filter ต่างๆ ที่มีอยู่ในโปรแกรม Adobe Photoshop 6.0 เป็นตัวช่วยในการออกแบบ

3.5.2.2 การทำภาพซ้อน จะนำเอารูป 2 – 3 รูป มาแปลงขนาดความละเอียดให้ได้ Pixel ตามต้องการ และทำการ Crop ภาพก่อนที่จะนำภาพแต่ละภาพมาซ้อนกันเป็น Layer ตามจำนวนภาพที่นำมาซ้อน ในโปรแกรม Adobe Photoshop 6.0 แล้วทำการใส่ Effect เพื่อทำสีจางและโปร่งใสให้กับ Layer ด้านบน เพื่อให้เห็นภาพได้ทุก Layer ก่อนที่จะบันทึกเป็น JPG file

3.5.2.3 การสร้างปุ่มจะต้องสร้างภาพ 2 ภาพ ในการใช้งาน 1 ปุ่ม เพื่อแสดงสถานะการกดปุ่ม คือเมื่อนำเมาส์ไปวางไว้ที่ปุ่ม ปุ่มจะทำการเปลี่ยนสีอัตโนมัติเพื่อความสวยงามและความเด่นชัดในการมองเห็น โดยใช้โปรแกรม Adobe Photoshop 6.0 ในการสร้างกรอบของปุ่ม 2 กรอบ ให้มีขนาดเท่ากัน และนำ Layer ที่เป็นข้อความแสดงหน้าที่ของปุ่ม มาซ้อนกับกรอบของปุ่ม โดยจะต้องเปลี่ยนสีกรอบและข้อความของปุ่ม ก่อนที่จะบันทึกเป็น JPG file

3.5.2.4 การสร้างภาพข้อความ จะใช้ฟอนต์แบบ Cordia New ขนาด 50 สำหรับข้อความหัวเรื่องใหญ่ และขนาด 30 สำหรับข้อความหัวเรื่องเล็ก

3.5.2.5 การสร้างภาพเคลื่อนไหว จะใช้โปรแกรม Macromedia Flash MX ในการสร้างภาพเคลื่อนไหว โดยจะสร้างภาพนิ่งหลาย Layer โดยใช้ความละเอียดที่ 800 x 600 Pixel แล้วนำมาซ้อนกัน กำหนดความเร็วในการเปลี่ยนภาพและทิศทางการเคลื่อนไหวของภาพ แล้วบันทึกเป็นไฟล์นามสกุล FLA

3.5.2.6 การสร้างตัวอักษรบรรยายข้อความ โดยใช้กล่องเครื่องมือในโปรแกรม Authorware Professional Version 6.0 แล้วทำการใช้ Effect เพื่อเพิ่มลูกเล่นในการนำเสนอ

3.5.2.7 บรรจุแบบทดสอบก่อนเรียน ระหว่างเรียนและหลังเรียนลงในโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

3.5.2.8 การบันทึกเสียงลงในโปรแกรมบทเรียน โดยใช้โปรแกรม Cactive 128 Vibra ทำการบันทึกและแก้ไขไฟล์เสียงที่จะใส่ลงในตัวบทเรียน เพื่อให้ได้ไฟล์เสียงที่มีขนาดเล็กที่ชัดเจน สมบูรณ์พร้อมที่จะทำการติดตั้งลงในโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้

3.5.3 การนำกรอบการสอนลงโปรแกรม

โดยการนำสื่อต่างๆที่เตรียมพร้อมไว้แล้วมาสร้างเป็น โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ตามกรอบการสอนที่ได้ออกแบบไว้ รวมทั้งลำดับการเชื่อมโยงของเนื้อหา เมื่อลงโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะได้โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามที่ต้องการ

3.6 การประเมินผลบทเรียน

ขั้นการประเมินผลบทเรียนเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการพัฒนา โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และนับเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ขาดไม่ได้ในกระบวนการวิจัยเชิงพัฒนา เพราะเป็นการตรวจสอบผลการวิเคราะห์และออกแบบว่าจะได้คำตอบตามที่ตั้งเป้าไว้หรือไม่ในการประเมินผลโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ได้พัฒนาขึ้น จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

3.6.1 การตรวจสอบคุณภาพมัลติมีเดียของบทเรียน

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบคุณภาพมัลติมีเดียของ โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้นเสร็จแล้ว โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านมัลติมีเดียเป็นผู้ตรวจสอบ ซึ่งอาจจะตรวจสอบสื่อต่าง ๆ เช่น สีของตัวอักษรและสีของพื้นหลังเหมาะสมหรือไม่ คุณภาพของเสียงดีหรือไม่ ภาพที่นำมาใช้มีความชัดเจนและมีขนาดที่เหมาะสมหรือไม่ การออกแบบหน้าจอ รวมทั้งการเชื่อมโยงของกรอบการสอนในแต่ละกรอบ

3.6.2 การทดลองกระบวนการทดสอบหาประสิทธิภาพ

วิธีการดำเนินการทดสอบกระบวนการหาประสิทธิภาพ เพื่อตรวจสอบปัญหาและอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นได้ในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพจริง โดยให้กลุ่มตัวอย่างนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าชั้นปีที่ 3 ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า จำนวน 10 คน ทดลองเรียนโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น สังเกตและสอบถามปัญหาหรืออุปสรรคที่เกิดขึ้นในขณะทดลองเรียนบทเรียน ข้อสังเกตหรือปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลไว้เพื่อใช้แก้ไขและปรับปรุงกระบวนการทดลองจริง ในขั้นตอนการทดลองจริงเพื่อหาประสิทธิภาพของ โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนและประสิทธิผลการเรียนรู้ที่ได้จากโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

3.6.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพและประสิทธิผล

วิธีการดำเนินการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของการเรียน โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สร้างขึ้น โดยนำโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่างที่เลือกไว้ คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าชั้นปีที่ 3 ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า จำนวน 40 คนมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ผู้วิจัยแนะนำความรู้ และวิธีการใช้โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเพื่อสร้างทักษะในการใช้คอมพิวเตอร์ให้แก่กลุ่มตัวอย่าง หลังจากนั้นแนะนำวิธีการเริ่มเรียนบทเรียน วิธีการเรียน การควบคุมบทเรียน ลักษณะของการปฏิสัมพันธ์กับบทเรียน การเข้าสู่เนื้อหา วิธีการทำแบบทดสอบแต่ละหน่วยการเรียน และการเลิกเรียนบทเรียน

ขั้นที่ 2 ทดสอบก่อนเรียน (Pretest) ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบก่อนเรียน ด้วยแบบทดสอบแบบเลือกตอบ เพื่อรวบรวมคะแนนสอบก่อนเรียน (Pretest) โดยกำหนดเวลาในการทำข้อสอบ เมื่อทำแบบทดสอบเสร็จแล้วผู้วิจัยได้เก็บคะแนนสอบก่อนเรียน (Pretest) ของผู้เรียนแต่ละคนไว้ เพื่อนำข้อมูลคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์หาประสิทธิผลการเรียนรู้ของผู้เรียนต่อไป

ขั้นที่ 3 ให้กลุ่มตัวอย่างทดลองเรียนโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เมื่อเรียนจบบทเรียนแต่ละหน่วยการเรียนแล้วให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบท้ายหน่วยการเรียน โดยกำหนดเวลาในการทำการทดสอบ ข้อสอบที่ใช้เป็นข้อสอบคู่ขนานกับแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เมื่อกลุ่มตัวอย่างทดลองจนครบ 5 หน่วยการเรียน ผู้วิจัยนำผลการทดสอบมาจัดเก็บ โดยแยกเป็นคะแนนก่อนสอบแต่ละหน่วยการเรียนของผู้เรียนแต่ละคนไว้ เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียนต่อไป

ขั้นที่ 4 ทดสอบหลังเรียน (Posttest) เมื่อเรียนจบทุกหน่วยการเรียนแล้ว ให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบหลังเรียน (Posttest) โดยกำหนดเวลาในการทดสอบ แบบทดสอบที่ใช้เป็นแบบทดสอบคู่ขนานกับแบบทดสอบก่อนเรียน เมื่อทำแบบทดสอบเสร็จแล้วเก็บคะแนนสอบหลัง

เรียน (Posttest) ของแต่ละคนไว้ เพื่อนำข้อมูลคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการเรียนรู้จากบทเรียนต่อไป

3.6.4 จัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

ภายหลังจากการผลิตโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเสร็จแล้ว จะต้องทำคู่มือการใช้โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพื่อใช้ประกอบการเรียน หรือหากมีข้อสงสัยก็สามารถที่จะเปิดดูจากคู่มือนี้ ทั้งนี้โปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นบทเรียนสำเร็จรูปที่ผู้เรียนจะต้องพึ่งตนเองและตัวบทเรียนเท่านั้น ดังนั้นคู่มือจะเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้ผู้เรียนเข้าหาโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนได้สะดวกและถูกต้อง

ภายในคู่มือจะประกอบด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้คือ บทนำ อุปกรณ์ที่ใช้งาน การกำหนดหน้าจอมอนิเตอร์ การเริ่มเข้าบทเรียน เป้าหมายของบทเรียน ข้อมูลเสริมที่สำคัญ ข้อควรระวัง ข้อมูลนักพัฒนาโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และวันที่เผยแพร่ เป็นต้น

3.7 การวิเคราะห์ผลและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล

3.7.1 สถิติพื้นฐาน

ค่าเฉลี่ย	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$	สมการที่ 3.1
เมื่อ	\bar{X}	หมายถึง ค่าเฉลี่ย
	N	หมายถึง จำนวนข้อมูล
	X	หมายถึง คะแนนแต่ละจำนวน
	$\sum_{i=1}^n x_i$	หมายถึง ผลรวมของคะแนน

3.7.2 สถิติที่ใช้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของบทเรียน

สถิติที่ใช้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของโปรแกรมบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีประสิทธิภาพ

$$E_1 : E_2 = 80 : 80$$

$$E_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n E_{li} \right)}{M} \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

$$E_2 = \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \right) \times 100}{B} \quad \text{สมการที่ 3.3}$$

เมื่อ E_1 คือ ประสิทธิภาพของบทเรียนระหว่างกระบวนการเรียนคิดเป็นค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพหน่วยการเรียนรู้ทั้งหมด

E_{li} คือ ประสิทธิภาพจากการทดสอบระหว่างเรียนของหน่วยการเรียนรู้ i คิดจากร้อยละของคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการทำแบบทดสอบหลังเรียนหน่วยย่อย i ของนักเรียนทั้งหมด

E_2 คือ ประสิทธิภาพของบทเรียนหลังการเรียนครบทั้งวิชา คิดจากร้อยละของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้ หรือทดสอบหลังเรียน

$$E_{li} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{NA_i} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.4}$$

เมื่อ x_j คือ คะแนนรวมของนักเรียนคนที่ j ระหว่างเรียนหน่วยเรียนที่ i
 A_i คือ คะแนนเต็มของหน่วยการเรียนรู้ที่ i
 B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังบทเรียน หรือ Posttest
 N คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมด
 M คือ จำนวนหน่วยการเรียนรู้

3.7.3 สถิติที่ใช้วิเคราะห์หาประสิทธิผลของบทเรียน

ประสิทธิผลของบทเรียน $E_{post} - E_{pre} > = 60$

E_{post} = ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์หลักการเรียนรู้ครบทั้งวิชา คณิตศาสตร์ของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบหลังเรียนครบทุกหน่วยการเรียนรู้ หรือทดสอบหลังเรียน = E_2

E_{pre} = ระดับประสิทธิภาพของผู้เรียนก่อนการเรียนก่อนการเรียนรู้วิชา คณิตศาสตร์ของคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียน

$$E_{post} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{NB} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.5}$$

เมื่อ X_i คือ คะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนคนที่ i
 N คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมด
 B คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบหลังเรียน

$$E_{pre} = \frac{\sum_{k=1}^N X_k}{NC} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.6}$$

เมื่อ X_k คือ คะแนนสอบก่อนเรียนของนักเรียนคนที่ k
 N คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมด
 C คือ คะแนนเต็มของแบบทดสอบก่อนเรียน

เมื่อหาค่า E_{post} และ E_{pre} แล้ว จะต้องหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของ ทั้งสองด้วย เพื่อใช้ตรวจสอบความใกล้เคียงกันของทั้งสองค่า ซึ่งไม่น่าจะมีความใกล้เคียงกัน หากบทเรียนพัฒนาขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า 60 ขึ้นไป

3.7.4 สถิติที่ใช้วิเคราะห์แบบทดสอบ

3.7.4.1 หาค่าระดับความยาก (P) ของแบบทดสอบรายข้อใช้สูตรดังนี้

$$\text{ค่าระดับความยากง่าย} = \frac{W_L + W_H}{N} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3.7}$$

เมื่อ W_L หมายถึง จำนวนผู้ตอบผิดกลุ่มต่ำ
 W_H หมายถึง จำนวนผู้ตอบผิดกลุ่มต่ำ

N หมายถึง จำนวนผู้เรียนทั้งสองกลุ่ม

3.7.4.2 หาอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ สูตรที่ใช้ในการวิเคราะห์

$$\text{ค่าอำนาจจำแนก} = \frac{W_L - W_H}{n} \quad \text{สมการที่ 3.8}$$

W_L หมายถึง จำนวนผู้ตอบผิดกลุ่มต่ำ

W_H หมายถึง จำนวนผู้ตอบผิดกลุ่มต่ำ

n หมายถึง จำนวนผู้เรียนกลุ่มหนึ่ง

3.7.4.3 หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบโดยใช้สูตรคูเดอร์ ริชาร์ดสัน (KR-20) มีสูตรดังนี้

$$r_{tt} = \frac{n}{n-1} \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n pq_i}{s_i^2} \right\} \quad \text{สมการที่ 3.9}$$

เมื่อ r_{tt} หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

n หมายถึง จำนวนข้อสอบในแบบทดสอบ

p หมายถึง สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูก

q หมายถึง $1-p$ = สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิด

S_i^2 หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด