การพัฒนาเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง
THE DEVELOPMENT OF A SIMULATION TOOL FOR STRUCTURED ALGORITHM

วิมาน ใจดี จรัญ แสนราช*

***Wiman Jaidee*,** Charun Sanrach*

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Department of Computer Education, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

***Corresponding author, E-mail:** wimanj@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง และ 2) ประเมินเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง วิธีดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 ขั้นการวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนการกำหนดองค์ประกอบของเครื่องมือช่วยจำลองการทำงาน ขั้นที่ 2 ขั้นการออกแบบ เป็นขั้นตอนการออกแบบฐานข้อมูล การออกแบบขั้นตอนการจำลองการทำงาน และการออกแบบจอภาพ ขั้นที่ 3 ขั้นการพัฒนา เป็นขั้นตอนการสร้างเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานตามที่ออกแบบไว้ การสร้างแบบสอบถาม และการจัดทำเอกสารการใช้งานระบบ ขั้นที่ 4 ขั้นการทดลองใช้ เป็นขั้นตอนการนำเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้เพื่อปรับปรุงให้ดีขึ้น และขั้นที่ 5 ขั้นการประเมินผล เป็นขั้นตอนการประเมินเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 8 คน

ผลการวิจัยพบว่า 1. เครื่องมือช่วยจำลองการทำงานประกอบด้วยส่วนประกอบ 5 ส่วน ดังนี้ 1) เมนูสำหรับการทำงาน 2) ปุ่มสำหรับวางคำสั่งขั้นตอนวิธี 3) พื้นที่สำหรับเขียนขั้นตอนวิธี 4) พื้นที่แสดงข้อมูลขณะจำลองการทำงาน และ 5) พื้นที่แสดงการเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธี และ 2. ผลการประเมินเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 8 คน พบว่า ประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.54, S.D. = 0.58) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากคำถามปลายเปิดที่วิเคราะห์ได้จากแบบสอบถามชี้ให้เห็นว่าเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างสามารถนำไปใช้ในการศึกษาขั้นตอนวิธีได้

คำสำคัญ: เครื่องมือช่วยจำลองการทำงาน ขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง การเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธี

Abstract

The objectives of this research are: 1) to develop the simulation tool for structured algorithm, and 2) to evaluate the simulation tool for structured algorithm. The research procedure is consisted of 5 steps as follows: The 1st step is analysis. The simulation tool's components were analyzed. The 2nd step is design. The database, simulation's procedures and screen were designed. The 3rd step is development. The simulation tool, questionnaires,

and system documentation were created. The 4th step is implementation. The simulation tool was tested for improvement. The 5th step is evaluation. The simulation tool was assessed by 8 experts who were selected by purposive sampling.

The research results found that firstly, the simulation tool consisted of 5 parts as follows: 1) main menu, 2) button for paste algorithm command, 3) area for write algorithm, 4) data display area while simulate, and 5) scaffolding display area about algorithm. Secondly, the result of evaluated simulation tool by 8 experts found that the effectiveness was at the highest level ($\bar{x}$ = 4.54, S.D. = 0.58). In addition, the results of the qualitative data from the questionnaire indicated that the simulation tool for structured algorithm can be used for learning algorithm.

Keywords: Simulation Tool, Algorithm Structured, Algorithm Scaffolding

บทนำ

การพัฒนาเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง อยู่ในระยะที่ 2 ของการวิจัยเรื่อง การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ด้วยเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างโดยใช้ปัญหาเป็นหลักที่มีระบบเสริมศักยภาพบนเว็บ เป็นขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างตามรูปแบบการเรียนรู้ SAPBLS [1] ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยผู้เรียนในการเรียนรู้และเข้าใจขั้นตอนวิธี

การเรียนรู้และเข้าใจขั้นตอนวิธีเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับผู้เรียน [2,3] เนื่องจากขั้นตอนวิธีเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการนำเสนอแนวคิดใหม่ๆ [4] แต่ผู้เรียนส่วนใหญ่มักจะประสบปัญหาในการวิเคราะห์และออกแบบขั้นตอนวิธีเนื่องจากขั้นตอนวิธีเป็นกระบวนการที่เป็นนามธรรม [4,5] ผู้เรียนต้องใช้จินตนาการสูง [6] ต้องใช้ความสามารถที่หลากหลายจากองค์ความรู้ของมนุษย์ ได้แก่ การคิดเชิงนามธรรมและเชิงตรรกะ การคิดแบบโครงสร้าง ความคิดสร้างสรรค์ ความสามารถในการแก้ปัญหา ต้องเข้าใจไวยากรณ์ของภาษาที่ใช้อธิบายขั้นตอนวิธี และต้องเข้าใจว่าขั้นตอนวิธีแก้ปัญหาได้อย่างไร ความซับซ้อนเหล่านี้ทำให้การออกแบบขั้นตอนวิธีไม่ใช่เรื่องง่ายที่จะเรียนรู้ [4] ผู้เรียนจึงไม่สามารถพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7]

นักวิจัยจำนวนมากพยายามศึกษาหาวิธีในการจัดการเรียนการสอนขั้นตอนวิธี และวิธีการที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งคือการใช้เครื่องมือที่สามารถแสดงให้เห็นเป็นรูปธรรม [2,8] เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจสิ่งที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการทำงานตามขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบไว้ [8] การจำลองการทำงาน [3,7] ตามขั้นตอนวิธีและการแสดงผลลัพธ์ช่วยให้ผู้เรียนสามารถตรวจสอบการทำงานได้ด้วยตนเอง สามารถวิเคราะห์ได้ว่าขั้นตอนวิธีมีการทำงานอย่างไร สามารถหาข้อผิดพลาด และแก้ไขข้อผิดพลาดได้ [7] ช่วยเพิ่มความสนใจ และเพิ่มระดับความเข้าใจให้กับผู้เรียน [9]

Samer Al-Imamy และคณะ [10] เสนอวิธีส่งเสริมการเรียนรู้ขั้นตอนวิธีด้วยการใช้ซอฟต์แวร์เป็นเครื่องมือช่วยในการเรียนการสอน ซึ่งสอดคล้องกับ Gerald Futschek และ Julia Moschitz [4] ที่เสนอให้ใช้ระบบที่สามารถรันขั้นตอนวิธี ระบบที่มีความยืดหยุ่นในการรันขั้นตอนวิธี ระบบที่ช่วยผู้เรียนในการทดสอบขั้นตอนวิธี และระบบที่ช่วยให้ประสบการณ์การเรียนรู้แบบทันทีทันใด

Muldner และ Shakshuki [2] ได้พัฒนาเครื่องมือที่เรียกว่า AE (Algorithm Explanation) เพื่อช่วยอธิบายการทำงานของขั้นตอนวิธีโดยการแสดงเป็นข้อความ และการแสดงเป็นภาพ Shakshuki และ Halliday [3] ได้พัฒนาเครื่องมือชื่อ SHALEX (Structure Hypermedia Algorithm Explanation) ช่วยในการสอนขั้นตอนวิธี และได้พัฒนาเอเจนท์ (Agent) เพิ่มเติมเพื่อช่วยในการตรวจสอบความก้าวหน้า คอยให้คำแนะนำที่จำเป็น และบันทึกผลการปฏิสัมพันธ์ของผู้เรียน โดยผู้เรียนสามารถเรียนรู้ขั้นตอนวิธีได้ทั้งจากห้องเรียนปกติ และจากการศึกษาทางไกลบนเว็บ

ผู้เรียนทุกคนควรได้รับโอกาสในการฝึกปฏิบัติการแก้ปัญหากับปัญหาจริงอย่างเพียงพอ [11,12] การฝึกปฏิบัติควรเต็มไปด้วยกิจกรรม ข้อเสนอแนะ และข้อมูลย้อนกลับ [12] ข้อมูลย้อนกลับเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะนำทางให้ผู้เรียนสร้างขั้นตอนวิธีที่ถูกต้องในการแก้ปัญหา [13] และควรใช้วิธีการเชิงโครงสร้าง [7,12,14] เป็นเครื่องมือในการออกแบบขั้นตอนวิธีเพื่อพัฒนาทักษะในการแก้ปัญหา [7]

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างเพื่อช่วยผู้เรียนในการเรียนรู้ขั้นตอนวิธี ผู้เรียนสามารถฝึกปฏิบัติการแก้ปัญหาได้ด้วยตนเองโดยการจำลองการทำงาน ผู้เรียนสามารถเห็นภาพการทำงานของขั้นตอนวิธี เห็นภาพการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เป็นรูปธรรม และสามารถทราบว่าขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบไว้มีการทำงานที่ถูกต้องหรือเกิดข้อผิดพลาด ณ ขั้นตอนใด เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการคิดวิเคราะห์และการคิดแก้ปัญหา โดยเครื่องมือที่พัฒนาสามารถทำงานบนเว็บเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางการเรียนรู้และแก้ปัญหาเรื่องข้อจำกัดทางด้านเวลาและสถานที่ ซึ่งสอดคล้องตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 [15] หมวด 4 แนวการจัดการศึกษา มาตรา 24 การจัดกระบวนการเรียนรู้ ให้สถานศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจัดเนื้อหาสาระและกิจกรรมให้สอดคล้องกับความสนใจและความถนัดของผู้เรียน โดยคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล ฝึกทักษะกระบวนการคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์และการประยุกต์ความรู้มาใช้เพื่อป้องกันและแก้ปัญหา จัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ฝึกการปฏิบัติให้ทำได้ คิดเป็น ทำเป็น และจัดการเรียนรู้ให้เกิดขึ้นได้ทุกเวลา ทุกสถานที่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง
2. เพื่อประเมินเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง

วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง เป็นการพัฒนาระบบตามรูปแบบการเรียนรู้ด้วยเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง โดยใช้ปัญหาเป็นหลักที่มีระบบเสริมศักยภาพบนเว็บที่สร้างขึ้นในระยะที่ 1 ของการวิจัย [1] โดยพัฒนาระบบตาม ADDIE Model ดังนี้

1. ขั้นการวิเคราะห์ (Analysis) เป็นขั้นตอนการกำหนดองค์ประกอบของระบบ โดยวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1.1 เครื่องมือช่วยจำลองการทำงาน (Simulation Tool) คือเครื่องมือที่ใช้สร้าง แก้ไข ตรวจสอบความถูกต้องของคำสั่งขั้นตอนวิธี และใช้จำลองการทำงานตามขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบไว้ ผู้ใช้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของการประมวลผลขั้นตอนวิธีได้ด้วยตนเอง สามารถเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการทำงานอย่างเป็นรูปธรรมตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสิ้นการจำลองการทำงาน

1.2 ขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง (Structured Algorithm) คือลำดับขั้นตอนในการแก้ปัญหาที่มีขั้นตอนที่แน่นอน เริ่มจากขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้าย ขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างได้แก่ ขั้นตอนวิธีแบบลำดับ ขั้นตอนวิธีแบบทางเลือกทางเดียว ทางเลือกสองทาง ทางเลือกซ้อน และทางเลือกหลายทาง ขั้นตอนวิธีทำซ้ำแบบ While Do แบบ Repeat Until และแบบ For

เครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างในงานวิจัยครั้งนี้สามารถสร้าง ตรวจสอบและแสดงข้อผิดพลาดของคำสั่งขั้นตอนวิธี สามารถรันขั้นตอนวิธี [4] โดยจำลองการทำงานคำสั่งกำหนดค่า คำสั่งคำนวณ คำสั่งรับข้อมูล คำสั่งแสดงข้อมูล คำสั่งตรวจสอบการทำงานทางเลือกทางเดียว ทางเลือกสองทาง ทางเลือกซ้อน และทางเลือกหลายทาง คำสั่งทำซ้ำแบบ While Do คำสั่งทำซ้ำแบบ Repeat Until และคำสั่งทำซ้ำแบบ For เป็นเครื่องมือที่มีความยืดหยุ่น [4] สามารถกำหนดคำสั่งรูปแบบหรือไวยากรณ์ของคำสั่งขั้นตอนวิธี คำ ประเภทของคำ เครื่องหมายคำนวณ และกำหนดเครื่องหมายเปรียบเทียบได้ โดยบันทึกเก็บไว้ในตารางของฐานข้อมูลขั้นตอนวิธีที่ออกแบบเพื่อรองรับให้สามารถบันทึกคำสั่งขั้นตอนวิธีได้ทุกภาษา ในงานวิจัยครั้งนี้สามารถใช้คำสั่งขั้นตอนวิธีได้ทั้งภาษาอังกฤษและภาษาไทยเพื่อสนองตอบต่อความแตกต่างระหว่างบุคคล

เครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างเป็นเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธี ช่วยให้ประสบการณ์การเรียนรู้ขั้นตอนวิธีแบบทันทีทันใด [4] โดยการแสดงให้เห็นเป็นรูปธรรม ซึ่งเป็นวิธีการที่ดีที่สุดวิธีหนึ่ง [2,8] ที่จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเห็นภาพและเข้าใจสิ่งที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการทำงานตามขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบไว้ [7] การจำลองการทำงานตามขั้นตอนวิธีและการแสดงผลลัพธ์ช่วยให้ผู้เรียนสามารถตรวจสอบขั้นตอนการทำงานได้ด้วยตนเอง สามารถวิเคราะห์ได้ว่าขั้นตอนวิธีมีการทำงานอย่างไร สามารถหาข้อผิดพลาด ปรับปรุงและแก้ไขข้อผิดพลาดได้ [7] ช่วยเพิ่มความสนใจ และเพิ่มระดับความเข้าใจให้กับผู้เรียน [9]

1.3 การเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธี (Algorithm Scaffolding) เครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีทำงานบนเว็บด้วยสถาปัตยกรรมไคลเอนต์เซิร์ฟเวอร์ ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ขั้นตอนวิธีได้ทั้งทางไกลและในชั้นเรียน [16] เป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการเรียนการสอนของผู้สอนและช่วยให้ผู้เรียนสามารถดำเนินการเรียนรู้ต่อได้ที่บ้าน [13]

การเรียนทางไกลจะไม่มีผู้สอนคอยปฏิสัมพันธ์ด้วย ต่างจากในชั้นเรียนที่ผู้เรียนได้รับการสนับสนุนจากผู้สอน สามารถถามเมื่อต้องการคำแนะนำ [16] ดังนั้นเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการส่งเสริมศักยภาพให้แก่ผู้เรียนโดยใช้วิธีการเสริมศักยภาพทั้งแบบคงที่และแบบยืดหยุ่นตามแนวความคิดของ Brush และ Saye [17] ได้แก่ การให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับวิธีการใช้งานรูปแบบคำสั่ง คำอธิบายรายละเอียดของคำสั่งขั้นตอนวิธี ประกอบด้วย รูปแบบคำสั่งการทำงาน และตัวอย่างการใช้งานคำสั่งขั้นตอนวิธีโดยใช้วิธีการมีปฏิสัมพันธ์แบบต่างๆ ได้แก่ การคลิกเมนูเพื่อแสดงวิธีการใช้งาน การแสดง Hint การวางรูปแบบคำสั่งขั้นตอนวิธีเพื่อช่วยให้ผู้เรียนเขียนขั้นตอนวิธีได้ถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น และการแสดงหน้าต่างเชื่อมโยงเมื่อวางเคอร์เซอร์เมาส์ ณ คำสั่งขั้นตอนวิธี สอดคล้องกับ Hansen และคณะ [5] ที่ได้ศึกษาและสรุปว่า ผู้เริ่มต้นเขียนโปรแกรมจะตอบคำถามเกี่ยวกับหลักการ และขั้นตอนเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานของขั้นตอนวิธีหลังจากมีปฏิสัมพันธ์มากกว่าการเรียนรู้ด้วยคำอธิบายจากตำรา ผู้เริ่มต้นเขียนโปรแกรมได้รับความรู้หลังจาก

มีปฏิสัมพันธ์มากกว่าการได้ยินจากการบรรยายในห้องเรียน และการเรียนรู้จากการมีปฏิสัมพันธ์เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากสำหรับผู้เริ่มต้นเขียนโปรแกรม และสอดคล้องกับ Combefis และคณะ [13] ที่นำเสนอกิจกรรมการเรียนที่สนับสนุนการพัฒนาทักษะการคิดเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีด้วยเว็บแบบปฏิสัมพันธ์ เขากล่าวว่า การมีปฏิสัมพันธ์จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจและนำผู้เรียนไปสู่ขั้นตอนวิธี และกล่าวว่า ข้อมูลย้อนกลับเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะนำทางให้ผู้เรียนสร้างขั้นตอนวิธีที่ถูกต้อง

2. ขั้นการออกแบบ (Design) เป็นขั้นตอนการออกแบบรายละเอียดของส่วนประกอบของระบบดังนี้

2.1 การออกแบบฐานข้อมูล เป็นการออกแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ เพื่อใช้จัดเก็บคำสั่งขั้นตอนวิธี ประกอบด้วยตารางข้อมูล 8 ตาราง ดังนี้

2.1.1 คำสั่งขั้นตอนวิธี (ลำดับที่คำสั่ง คำสั่ง รูปแบบคำสั่ง คำอธิบายคำสั่ง ตัวอย่างคำสั่ง รหัสประเภทคำสั่ง)

2.1.2 ประเภทคำสั่งขั้นตอนวิธี (รหัสประเภทคำสั่ง ชื่อประเภทคำสั่ง คำอธิบายประเภทคำสั่ง)

2.1.3 เครื่องหมายคำนวณ (ลำดับที่เครื่องหมายคำนวณ เครื่องหมายคำนวณ รหัสประเภทเครื่องหมายคำนวณ)

2.1.4 ประเภทเครื่องหมายคำนวณ (รหัสประเภทเครื่องหมายคำนวณ ชื่อประเภทเครื่องหมายคำนวณ ความสำคัญเมื่อเป็นข้อมูลนำเข้า ความสำคัญเมื่ออยู่ในกองเรียงทับซ้อน คำอธิบายประเภทเครื่องหมายคำนวณ)

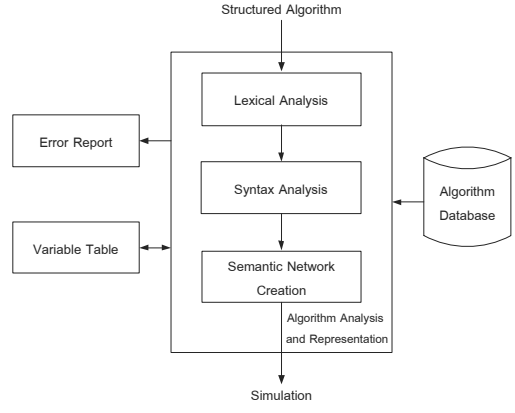
2.1.5 เครื่องหมายเปรียบเทียบ (ลำดับที่เครื่องหมายเปรียบเทียบ เครื่องหมายเปรียบเทียบ รหัสประเภทเครื่องหมายเปรียบเทียบ)

2.1.6 ประเภทเครื่องหมายเปรียบเทียบ (รหัสประเภทเครื่องหมายเปรียบเทียบ ชื่อประเภทเครื่องหมายเปรียบเทียบ ความสำคัญเมื่อเป็นข้อมูลนำเข้า ความสำคัญเมื่ออยู่ในกองเรียงทับซ้อน คำอธิบายประเภทเครื่องหมายเปรียบเทียบ)

2.1.7 คำในขั้นตอนวิธี (ลำดับที่ของคำ คำ รายละเอียดของคำ รหัสประเภทคำ)

2.1.8 ประเภทคำ (รหัสประเภทคำ ชื่อประเภทคำ คำอธิบายประเภทคำ)

2.2 การออกแบบขั้นตอนการจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง ขั้นตอนวิธีที่ต้องการจำลองการทำงานต้องผ่านการวิเคราะห์และแทนขั้นตอนวิธี (Algorithm Analysis and Representation) ด้วยข่ายงานความหมาย (Semantic Network) ก่อนจากนั้นจึงนำข่ายงานความหมายที่ได้ไปจำลองการทำงาน ดังภาพที่ 1

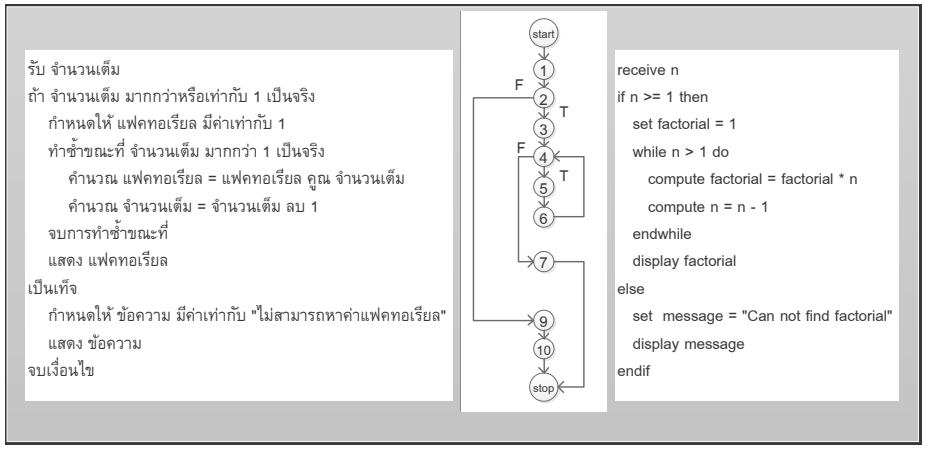


ภาพที่ 1 ขั้นตอนการจำลองการทำงาน

2.2.1 การวิเคราะห์คำ (Lexical Analysis) เป็นขั้นตอนการแยกคำสั่งขั้นตอนวิธีในแต่ละบรรทัดออกเป็นคำย่อยตามชนิดของคำที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลขั้นตอนวิธี (Algorithm Database) เช่น คำสั่ง ตัวแปร และข้อมูล เป็นต้น

2.2.2 การวิเคราะห์รูปแบบหรือไวยากรณ์ของคำสั่ง (Syntax Analysis) เป็นขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของคำสั่งขั้นตอนวิธีที่เขียนขึ้นกับรูปแบบคำสั่งขั้นตอนวิธีที่กำหนดไว้ในฐานข้อมูล

2.2.3 การสร้างข่ายงานความหมาย (Semantic Network Creation) เป็นขั้นตอนการสร้างข่ายงานความหมายจากขั้นตอนวิธีที่ออกแบบไว้ ตัวอย่างดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการสร้างข่ายงานความหมายจากขั้นตอนวิธี

โนด (node) ในข่ายงานความหมายใช้เก็บรายละเอียดของคำสั่งขั้นตอนวิธี เส้นใช้แสดงความสัมพันธ์ไปยังโนดที่จะจำลองการทำงานในขั้นตอนต่อไป อักขระ T บนเส้นแสดงความสัมพันธ์ไปยังโนดที่จะจำลองการทำงานในขั้นตอนต่อไปถ้าผลการตรวจสอบเงื่อนไขเป็นจริง และอักขระ F แสดงความสัมพันธ์ไปยังโนดที่จะจำลองการทำงานในขั้นตอนต่อไปถ้าผลการตรวจสอบเงื่อนไขเป็นเท็จ

กรณีมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในขั้นตอนการวิเคราะห์และแทนขั้นตอนวิธีด้วยข่ายงานความหมายจะรายงานข้อผิดพลาด (Error Report) ให้ทราบทางจอภาพ

กรณีไม่พบข้อผิดพลาดจะสร้างตารางตัวแปร (Variable Table) สำหรับเก็บรายละเอียดของตัวแปรเพื่อใช้อ้างอิงขณะจำลองการทำงานตามข่ายงานความหมายที่สร้างไว้

2.3 การออกแบบจอภาพ เป็นการออกแบบหน้าจอสำหรับแสดงส่วนประกอบของเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง ได้แก่ เมนูการทำงาน ปุ่มสำหรับวางคำสั่งขั้นตอนวิธี พื้นที่สำหรับเขียนขั้นตอนวิธี พื้นที่แสดงข้อมูลขณะจำลองการทำงาน และพื้นที่แสดงการเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธี เพื่อให้สามารถสร้าง แก้ไขขั้นตอนวิธี แสดงข้อผิดพลาด จำลองการทำงาน และแสดงให้เห็นภาพการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการทำงานตามขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบไว้

3. ขั้นการพัฒนา (Development) เป็นขั้นตอนการพัฒนาระบบตามที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นการออกแบบ ดังนี้

3.1 สร้างฐานข้อมูลโดยใช้ MySQL ในการจัดการฐานข้อมูล

3.2 พัฒนาเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง โดยใช้ภาษา HTML ออกแบบจอภาพ และใช้ภาษา PHP ร่วมกับ JAVA Script ในการติดต่อฐานข้อมูลและจำลองการทำงาน

3.3 สร้างแบบสอบถามความคิดเห็นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินระบบที่พัฒนาขึ้น และประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินผลที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจงจำนวน 5 คน

3.4 จัดทำเอกสารการใช้งานระบบเพื่อใช้เป็นคู่มือสำหรับการใช้งานเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง

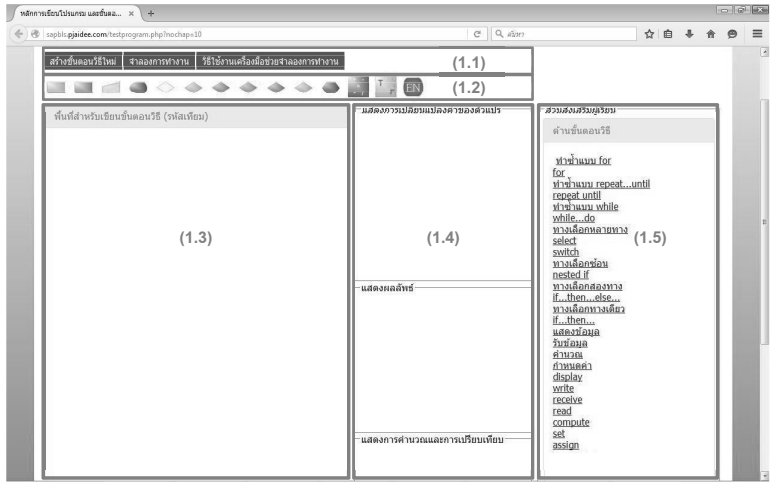
4. ขั้นการทดลองใช้ (Implementation) เป็นขั้นตอนการนำเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับกลุ่มเป้าหมายคือผู้เรียนจำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสม ความสมบูรณ์ของระบบ และหาจุดบกพร่องเพื่อปรับปรุงแก้ไขก่อนที่จะนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินในขั้นตอนต่อไป

5. ขั้นการประเมินผล (Evaluation) เป็นขั้นตอนการนำระบบที่พัฒนาขึ้นคือเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง และคู่มือการใช้งานระบบเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน โดยผู้เชี่ยวชาญสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก มีประสบการณ์ในการสอนการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และขั้นตอนวิธี และมีประสบการณ์การสอนไม่น้อยกว่า 5 ปี หรือมีประสบการณ์การประเมินระบบงานคอมพิวเตอร์ จำนวน 8 คน ประเมินคุณภาพของระบบโดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็นที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 3.3

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง

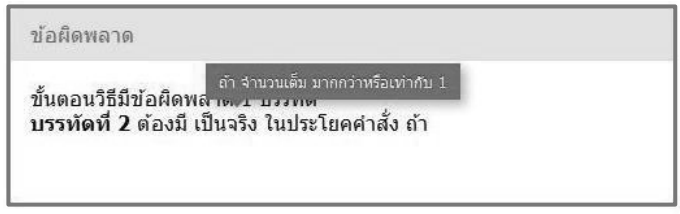
ผลการวิจัยได้เครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง (Simulation Tool for Structured Algorithm) หรือ STSA ประกอบด้วย เมนูการทำงาน (1.1) ปุ่มสำหรับวางคำสั่งขั้นตอนวิธี (1.2) พื้นที่สำหรับเขียนขั้นตอนวิธี (1.3) พื้นที่แสดงข้อมูลขณะจำลองการทำงาน (1.4) และพื้นที่แสดงการเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธี (1.5) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 หน้าจอหลักสำหรับใช้งานเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง

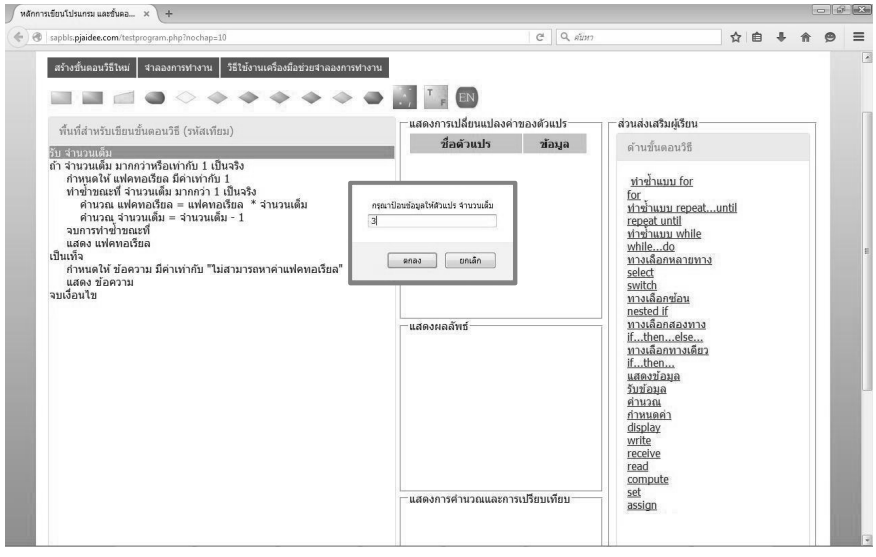
1.1 เมนูการทำงาน ประกอบด้วย เมนูสร้างขั้นตอนวิธีใหม่ เมนูจำลองการทำงาน และเมนูวิธีใช้งานเครื่องมือช่วยจำลองการทำงาน

เมนูจำลองการทำงานใช้สำหรับจำลองการทำงานตามขั้นตอนวิธีที่เขียนไว้ โดยจะทำการตรวจสอบรูปแบบหรือไวยากรณ์ของคำสั่งขั้นตอนวิธีทั้งหมดก่อนว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ ถ้าพบข้อผิดพลาดจะปรากฏหน้าต่างแสดงข้อผิดพลาด เมื่อนำเคอร์เซอร์เมาส์วาง ณ ตำแหน่งข้อความที่ผิดพลาด จะปรากฏ hint แสดงคำสั่งขั้นตอนวิธีที่ผิดพลาด ตัวอย่างดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่าง hint แสดงคำสั่งขั้นตอนวิธีที่มีข้อผิดพลาด

กรณีตรวจสอบรูปแบบหรือไวยากรณ์ของคำสั่งขั้นตอนวิธีทั้งหมดแล้วไม่พบข้อผิดพลาด จะจำลองการทำงานตามขั้นตอนวิธีที่เขียนไว้ โดยมีแถบสีปรากฏ ณ บรรทัดคำสั่งขั้นตอนวิธีที่กำลังจำลองการทำงานอยู่ ตัวอย่างดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการจำลองการทำงานคำสั่งรับข้อมูล

การจำลองการทำงานคำสั่งรับข้อมูล ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลเก็บไว้ในตัวแปรที่มีชื่อปรากฏในหน้าต่างรับข้อมูล เมื่อป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้วจะปรากฏข้อมูลที่ป้อน ณ พื้นที่แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร

การจำลองการทำงานคำสั่งคำนวณ จะปรากฏหน้าต่างแสดงการคำนวณตามลำดับความสำคัญของเครื่องหมายคำนวณ และปรากฏในพื้นที่แสดงการคำนวณและการเปรียบเทียบ ส่วนคำตอบที่ได้จากการคำนวณจะเก็บไว้ในตัวแปร และปรากฏ

ในพื้นที่แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร

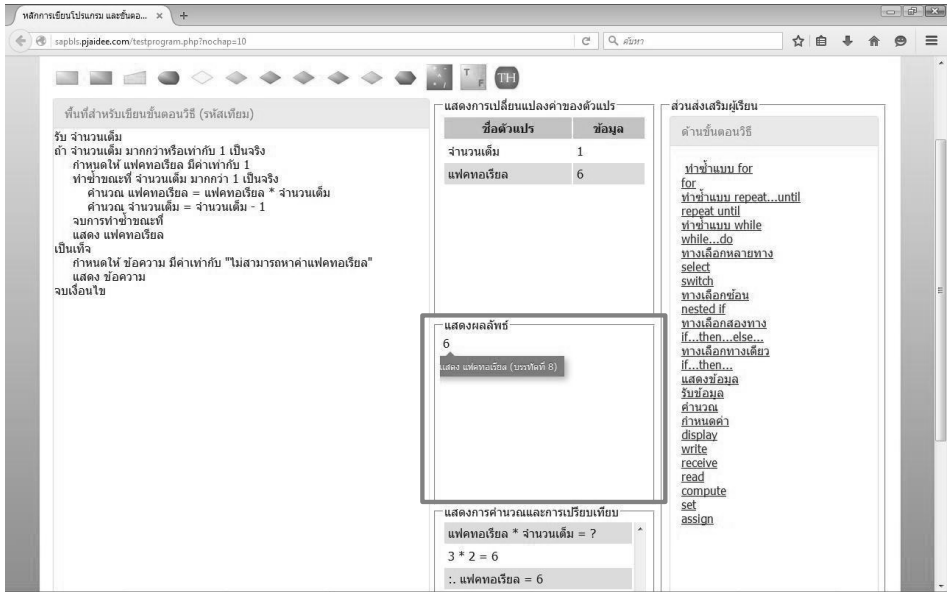
การจำลองการทำงานคำสั่งเปรียบเทียบจะปรากฏหน้าต่างแสดงการเปรียบเทียบตามลำดับความสำคัญของเครื่องหมายเปรียบเทียบและปรากฏในพื้นที่แสดงการคำนวณและการเปรียบเทียบ

การจำลองการทำงานคำสั่งแสดงข้อมูลจะปรากฏข้อมูลที่แสดงออกมาในพื้นที่แสดงผลลัพธ์

1.2 ปุ่มสำหรับวางคำสั่งขั้นตอนวิธี ใช้วางรูปแบบหรือไวยากรณ์ของคำสั่งขั้นตอนวิธีที่เลือกลงบนพื้นที่สำหรับเขียนขั้นตอนวิธี เพื่อช่วยให้สามารถเขียนคำสั่งได้ถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น แต่ละปุ่มแสดงสัญลักษณ์ในการเขียนผังงานโปรแกรมเพื่อสื่อถึงคำสั่งขั้นตอนวิธี เมื่อนำเคอร์เซอร์เมาส์วางบนปุ่มจะปรากฏ hint แสดงคำสั่งขั้นตอนวิธี ปุ่มวางคำสั่งขั้นตอนวิธีประกอบด้วย ปุ่มวางคำสั่งกำหนดค่า คำสั่งคำนวณ คำสั่งรับข้อมูล คำสั่งแสดงข้อมูล คำสั่งทางเลือกทางเดียว คำสั่งทางเลือกสองทาง คำสั่งทางเลือกซ้อน คำสั่งทางเลือกหลายทาง คำสั่งทำซ้ำแบบ While Do คำสั่งทำซ้ำแบบ Repeat Until คำสั่งทำซ้ำแบบ For ปุ่มแสดงและวางเครื่องหมายคำนวณ ปุ่มแสดงและวางเครื่องหมายเปรียบเทียบ และปุ่มเปลี่ยนภาษาขั้นตอนวิธี สำหรับเปลี่ยนการวางภาษาขั้นตอนวิธีระหว่างขั้นตอนวิธีภาษาไทยและขั้นตอนวิธีภาษาอังกฤษ

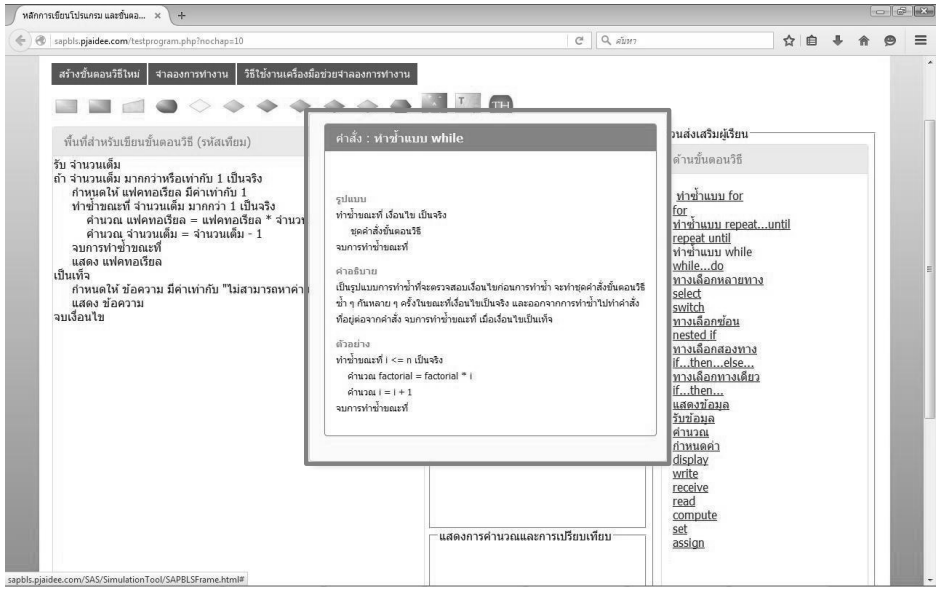
1.3 พื้นที่สำหรับเขียนขั้นตอนวิธี เป็นพื้นที่สำหรับสร้างและแก้ไขขั้นตอนวิธีที่ต้องการจำลองการทำงาน

1.4 พื้นที่แสดงข้อมูลขณะจำลองการทำงาน ประกอบด้วย พื้นที่สำหรับแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปร พื้นที่แสดงผลลัพธ์ และพื้นที่แสดงการคำนวณและการเปรียบเทียบ เมื่อนำเคอร์เซอร์เมาส์วาง ณ ผลลัพธ์ หรือข้อมูลแสดงการคำนวณและการเปรียบเทียบจะปรากฏ hint แสดงคำสั่งขั้นตอนวิธีที่เป็นที่มาของผลลัพธ์หรือข้อมูลแสดงการคำนวณและการเปรียบเทียบ ตัวอย่างดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ตัวอย่าง hint แสดงคำสั่งขั้นตอนวิธีของผลลัพธ์

1.5 พื้นที่แสดงส่วนส่งเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธี ใช้แสดงคำสั่งขั้นตอนวิธีทั้งหมดที่บันทึกในฐานข้อมูล เมื่อวางเคอร์เซอร์เมาส์ณ คำสั่งขั้นตอนวิธีใดจะปรากฏหน้าต่างแสดงรายละเอียดของคำสั่งขั้นตอนวิธีนั้น ได้แก่ รูปแบบ คำอธิบาย และตัวอย่างการใช้ ตัวอย่างดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 หน้าต่างแสดงรายละเอียดของคำสั่งทำซ้ำแบบ While Do

2. ผลการประเมินเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง

ผลการประเมินเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 8 คน ที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง ปรากฏผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการประเมินเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง รายละเอียดการประเมิน

รายละเอียดการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
เครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง (Simulation Tool)			
1. ความสามารถในการสร้าง แก้ไข และบันทึกขั้นตอนวิธี	4.63	0.52	มากที่สุด
2. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งรับข้อมูล	4.63	0.52	มากที่สุด
3. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งรับข้อมูล	4.75	0.71	มากที่สุด
4. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งแสดงข้อมูล	4.75	0.46	มากที่สุด
5. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งแสดงข้อมูล	4.88	0.35	มากที่สุด
6. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งกำหนดค่า	4.50	0.53	มากที่สุด
7. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งกำหนดค่า	4.63	0.52	มากที่สุด

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รายละเอียดการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
8. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งคำนวณ	4.38	0.74	มาก
9. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งคำนวณ	4.63	0.52	มากที่สุด
10. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งตัดสินใจทางเลือกทางเดียว	4.50	0.53	มากที่สุด
11. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งตัดสินใจทางเลือกทางเดียว	4.63	0.52	มากที่สุด
12. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งตัดสินใจทางเลือกสองทาง	4.63	0.52	มากที่สุด
13. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งตัดสินใจทางเลือกสองทาง	4.63	0.74	มากที่สุด
14. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งตัดสินใจทางเลือกซ้อน	4.50	0.76	มากที่สุด
15. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งตัดสินใจทางเลือกซ้อน	4.75	0.46	มากที่สุด
16. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งตัดสินใจทางเลือกหลายทาง	4.63	0.52	มากที่สุด
17. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งตัดสินใจทางเลือกหลายทาง	4.63	0.74	มากที่สุด
18. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งทำซ้ำแบบ While Do	4.50	0.76	มากที่สุด
19. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งทำซ้ำแบบ While Do	4.63	0.4	มากที่สุด
20. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งทำซ้ำแบบ Repeat Until	4.50	0.76	มากที่สุด
21. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งทำซ้ำแบบ Repeat Until	4.63	0.74	มากที่สุด
22. ความเหมาะสมของรูปแบบคำสั่งทำซ้ำแบบ For	4.50	0.53	มากที่สุด
23. ความถูกต้องในการจำลองการทำงานของคำสั่งทำซ้ำแบบ For	4.50	0.76	มากที่สุด
24. ความสามารถในการตรวจสอบความถูกต้องของขั้นตอนวิธี	4.63	0.52	มากที่สุด
25. ความสามารถในการแสดงข้อความผิดพลาดได้ตรงตามข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น	4.63	0.52	มากที่สุด
26. การแสดงคำสั่งของขั้นตอนวิธีที่กำลังทำงานเห็นได้ชัดเจน	4.50	0.76	มากที่สุด
27. การแสดงค่าข้อมูลของตัวแปรขณะประมวลผลข้อมูลเห็นได้ชัดเจน	4.38	0.92	มาก
ประสิทธิภาพด้านเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง	4.59	0.60	มากที่สุด
การเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธี (Algorithm Scaffolding)			
1. ความชัดเจนของคำอธิบายเกี่ยวกับรูปแบบของคำสั่งขั้นตอนวิธี	4.50	0.53	มากที่สุด
2. ความชัดเจนของตัวอย่างคำสั่งขั้นตอนวิธี	4.50	0.53	มากที่สุด
3. ความหลากหลายของวิธีการเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธี	4.38	0.52	มาก
4. ความเหมาะสมของความช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งแสดงข้อมูล	4.38	0.74	มาก
5. ความเหมาะสมของความช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งกำหนดค่า	4.50	0.53	มากที่สุด
6. ความเหมาะสมของความช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งคำนวณ	4.50	0.53	มากที่สุด
7. ความเหมาะสมของความช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งตัดสินใจทางเลือกทางเดียว	4.50	0.53	มากที่สุด
8. ความเหมาะสมของความช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งตัดสินใจทางเลือกสองทาง	4.38	0.52	มาก
9. ความเหมาะสมของความช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งตัดสินใจทางเลือกซ้อน	4.38	0.52	
10. ความเหมาะสมของความช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งตัดสินใจทางเลือกหลายทาง	4.38	0.52	มาก
11. ความเหมาะสมของความช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งทำซ้ำแบบ While Do	4.38	0.52	มาก
12. ความเหมาะสมของความช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งทำซ้ำแบบ Repeat Until	4.38	0.52	มาก
13. ความเหมาะสมของความช่วยเหลือเกี่ยวกับคำสั่งทำซ้ำแบบ For	4.38	0.52	มาก
ประสิทธิภาพของการเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธี			
ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง	4.54	0.58	มากที่สุด

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง ผลการพัฒนาได้เครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง ประกอบด้วยส่วนประกอบ 5 ส่วน ได้แก่ เมนูการทำงาน ปุ่มสำหรับวางคำสั่งขั้นตอนวิธี พื้นที่สำหรับเขียนขั้นตอนวิธี พื้นที่แสดงข้อมูลขณะจำลองการทำงาน และพื้นที่แสดงการเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธี

ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับนักศึกษา จำนวน 3 คน ที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจงจากนักศึกษาที่เคยเรียนรายวิชาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และขั้นตอนวิธี โดยเลือกจากกลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน กลุ่มละ 1 คน ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการสังเกตและการสัมภาษณ์นักศึกษาทั้ง 3 คน เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสม ความสมบูรณ์ของส่วนประกอบทั้ง 5 ส่วน และนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงแก้ไข จากการสังเกตและการสัมภาษณ์นักศึกษา พบว่า นักศึกษายังไม่เข้าใจขั้นตอนการใช้งานเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง ผู้วิจัยได้นำมาปรับปรุงแก้ไขโดยเพิ่มคำอธิบายวิธีการใช้งานให้เป็นลำดับขั้นตอน เพิ่มคำอธิบายให้ละเอียด และแสดงภาพประกอบการใช้งานในทุกขั้นตอนเพื่อเพิ่มความชัดเจนให้มากยิ่งขึ้น โดยจัดทำเป็นเอกสารคู่มือการใช้งานที่สามารถดาวน์โหลดและสามารถเปิดอ่านผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยการเลือกเมนูวิธีใช้งานเครื่องมือช่วยจำลองการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับทิศนา แขมมณี [18] ที่ได้กล่าวว่า การทดลองใช้จะช่วยให้ผู้พัฒนารู้ว่าควรปรับปรุงแก้ไขอย่างไรให้ได้ผลตามที่ต้องการ และการทดลองใช้จะทำให้มั่นใจได้ว่านวัตกรรมสามารถใช้ได้ผลจริง

ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไข และคู่มือการใช้งานเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 8 คน ประเมิน โดยผู้เชี่ยวชาญได้มาจากการเลือกแบบเจาะจงจากผู้เชี่ยวชาญที่สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก มีประสบการณ์ในการสอนการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และขั้นตอนวิธี และมีประสบการณ์การสอนไม่น้อยกว่า 5 ปี หรือเป็นผู้มีประสบการณ์การประเมินระบบงานคอมพิวเตอร์ ผลการประเมินเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง พบว่าประสิทธิภาพโดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ = 4.54, S.D. = 0.58) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่าด้านเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้าง อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ = 4.59, S.D. = 0.60) และการเสริมศักยภาพด้านขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.42, S.D. = 0.52) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่าอยู่ในระดับมากที่สุด 30 ข้อ และอยู่ในระดับมาก 10 ข้อ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากคำถามปลายเปิดที่วิเคราะห์ได้จากแบบสอบถามพบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่าเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างมีการทำงานที่ถูกต้อง มีความเหมาะสม และสามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนขั้นตอนวิธีในระยะต่อไปของงานวิจัยได้ โดยผู้วิจัยจะนำเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างที่พัฒนาขึ้นนำไปรวมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ที่จะพัฒนาตามรูปแบบ SAPBLS [1] ในระยะที่ 3 ของการวิจัย และจะนำไปศึกษาผลการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ตามรูปแบบ SAPBLS ในระยะที่ 4 ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] วิมาน ใจดี; และ จรัญ แสนราช. (2557, กรกฎาคม-ธันวาคม). การสังเคราะห์รูปแบบการเรียนรู้ด้วยเครื่องมือช่วยจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบมีโครงสร้างโดยใช้ปัญหาเป็นหลักที่มีระบบเสริมศักยภาพบนเว็บ. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี).* 6(12): 91-105.

[2] Tomasz Muldner; & Elhadi Shakshuki. (2004). A New Approach to Learning Algorithms. *In International Conference on Information Technology Coding and Computer (ITCC'04).* 1: 141-145.

[3] Elhadi M. Shakshuki; & Richard Halliday. (2009, May). An Agent for Web-based Structured Hypermedia Algorithm Explanation System. *Journal of Universal Computer Science.* 15(10): 2078-2108.

[4] Gerald Futschek; & Julia Moschitz. (2010). Developing Algorithmic Thinking by Inventing and Playing Algorithms. *Constructionism.* 1–10.

[5] Steven Hansen; N. Hari Narayanan; & Mary Hegarty. (2002). Designing Educationally Effective Algorithm Visualizations. *Journal of Visual Language and Computing.* 291-317.

[6] Cristiane Camilo Hernandez; Luciano Silva; Rafael Alencar Segura; Juliani Schimiguel; Manuel Fernandez Paradela Ledon; Luis Naito Mendes Bezerra; & Ismar Frango Silveira. (2010, August). Teaching Programming Principles through a Game Engine. *CLEI ELECTRONIC JOURNAL.* 13(2): 1-8.

[7] Crescencio Bravo; Maria Jose Marcelino; Anabela Gomes; Micaela Esteves; & Antonio Jose Mendes. (2005, September). Integrating Educational Tools for Collaborative Computer Programming Learning. *Journal of Universal Computer Science.* 11(9): 1505-1517.

[8] Ari Korhonen; Lauri Malmi; Jussi Nikander; & Petri Tenhunen. (2003). Interaction and Feedback in Automatically Assessed Algorithm Simulation Exercises. *Journal of Information Technology Education.* 2: 241-255.

[9] Georgi Tuparov; Daniela Tuparova; & Vladimir Jordanov. (2014). Teaching sorting and searching algorithms through simulation-based learning objects in an introductory programming course. *Procedia - Social and Behavioral Sciences.* 116: 2962-2966.

[10] Samer Al-Imamy; Javanshir Alizadeh; & Mohamed A. Nour. (2006). On the Development of a Programming Teaching Tool: The Effect of Teaching by Templates on the Learning Process. *Journal of Information Technology Education.* 5: 271–283.

[11] Gerald Futschek. (2006). Algorithmic Thinking: The Key for Understanding Computer Science. *Springer.* 159–168.

[12] Mohd Nasir ISMAIL; Nor Azilah NGAH; & Irfan Naufal UMAR. (2010, April). Instructional Strategy in The Teaching of Computer Programming: A Need Assessment Analyses. *The Turkish Online Journal of Education Technology.* 9(2): 125-131. Retrieved March 10, 2012, from http://tojet.net/articles/v9i2/9214.pdf

[13] Sebastien COMBEFIS; Virginie VAN den SCHRIECK; & Alexis NOOTEENS. (2013). Growing Algorithmic Thinking Through Interactive Problems to Encourage Learning Programming. *Olympiads in Informatics.* 7: 3-13.

[14] Stuart Garner. (2003, June). Learning Resources and Tools to Aid Novices Learn Programming. *Informing Science.* 213-222.

[15] สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. (2542). *พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ*. กรุงเทพฯ: คุรุสภา ลาดพร้าว.

[16] Elhadi M. Shakshuki; & Richard Halliday. (2009). An Agent for Web-based Structured Hypermedia Algorithm Explanation System. *Journal of Universal Computer Science.* 15(1): 2078-2108.

[17] Thomas A. Brush & John W. Saye. (2002). A Summary of Research Exploring Hard and Soft Scaffolding for Teachers and Students Using a Multimedia Supported Learning Environment. *The Journal of Interactive Online Learning.* 1(2): 1-12.

[18] ทิศนา แขมมณี. (2553). *ศาสตร์การสอนองค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.