

หนังสือการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐานสมัยใหม่: การประดิษฐ์ โดยใช้วิธีอิเล็กทรอนิกส์กระดาษ

The Modern Basic Electronic Circuit Learning Book: An Innovation by Using the Paper Electronics Approach

ลดาเมณี มาเพ้ง¹ นินนาท์ จันทรสุรีย์² และอนรรักษ์ อุดมเวช^{3*}
Ladamanee Mapheng¹, Nina Jansoon² and Anurak Udomvech^{3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สร้างนวัตกรรมหนังสือเสริมการเรียนรู้เรื่องวงจรไฟฟ้าที่สอนในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ซึ่งสร้างได้ง่ายโดยใช้วัสดุราคาถูกร่วมกับเทคโนโลยีดิจิทัลรวมถึงเทคนิคใหม่ในรูปแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์บนกระดาษ โดยการออกแบบและสร้างกระบวนการซึ่งเป็นทางเลือกในการสอนวงจรไฟฟ้าโดยใช้วัสดุสื่อไฟฟ้า เช่น กราไฟต์จากดินสอ เทปทองแดง สีนํ้าไฟฟ้า และผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดงเพื่อใช้สร้างวงจรไฟฟ้าและควบคุมกระแสไฟฟ้าด้วยแผงวงจรควบคุม Arduino พบว่า วัสดุสื่อไฟฟ้าที่เหมาะสม คือ เทปทองแดง ซึ่งจากการทดสอบพบว่า ค่าความนำไฟฟ้าของเทปทองแดงมีค่ามากกว่าวัสดุชนิดอื่น สำหรับหนังสือเสริมการเรียนรู้ได้รับการออกแบบโดยประกอบด้วยวงจรไฟฟ้าหลากหลายรูปแบบตั้งแต่ระดับง่ายจนถึงยาก เพื่อเพิ่มประสบการณ์ในวงจรไฟฟ้าขั้นพื้นฐานและหนังสือเสริมการเรียนรู้ได้รับการตรวจสอบประสิทธิภาพโดยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 30 คน ด้วยวิธีการประเมินผลการเรียนรู้ โดยการใช้ผลสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (Normalized Gain) พบว่าผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงของผู้เรียนมีค่า $80\% - 70\% = 10\%$ และผลการเรียนสูงสุดที่จะมีโอกาสเพิ่มขึ้นมีค่า $100\% - 70\% = 30\%$ กล่าวโดยสรุป ประสิทธิภาพของหนังสือเสริมการเรียนรู้นี้จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจหลักการของวงจรไฟฟ้าโดยคิดเป็น 0.33 นั่นคือหนังสือเสริมการเรียนรู้ต้องได้รับการปรับปรุงพัฒนาในส่วนขอเทคนิคที่ดีต่อไป

คำสำคัญ: วงจรอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน วัสดุนำไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์กระดาษ เทคโนโลยีดิจิทัล

Abstract

In this work, the conventional basic electrical circuits that are normally used to teach in junior high-school classroom have been simplified and re-innovated as a learning book by bridging very cheap materials with modernized digital technologies and novel technique of circuitry on paper called the paper electronics. It has been designed and created as an alternative process in teaching and training the basic electrical circuits by using conductive materials that can be easy to find. For instance, the graphite from pencil, copper tape, conductive paint and composite of graphite powder with copper nanoparticles have been chosen to establish basic circuits which controlled an electricity via the Arduino microcontroller board. It was found that suitable conductive material was copper tape. From the test, the conductivity of copper tape is higher than that of other materials. The Learning

¹ นิสิตปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ ในความร่วมมือของคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² ผศ.ดร., สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

³ อ.ดร., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³) สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์พื้นฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

¹ B.Ed. Student, Science-Physics Program, in Associated between Faculty of Education and Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

² Asst. Prof., Department of Fundamental Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

³ Lecturer, Dr., Research Laboratory for Intelligent Materials Design, Discovery, and Developments (RLIMD³), Department of Fundamental Science and Mathematics, Faculty of Science, Thaksin University, Songkhla, 90000

* Corresponding author: E-mail address: nufermi2@gmail.com

Book is designed to include a variety of electrical circuits, from simple to hard to enhance the basic circuit experience, and the learning curve is monitored by students. 30 students with the evaluation method of learning through the use of pre-test and post-test (Normalized Gain). The results of the learning increase of the students are $80\% - 70\% = 10\%$ and the highest result is $100\% - 70\% = 30\%$. In summary, the performance of this learning book will help students understand the principles of the circuit, which is 0.33. That is, learning books need to be improved in next time.

Keywords: Basic Circuit Electronic, Conductive Materials, Paper Electronics, Digital Technology

บทนำ

พระราชดำรัสของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีที่พระราชทานไว้ตั้งความว่า "...การศึกษาเป็นปัจจัยหลักในการสร้างและพัฒนาความรู้ ความคิด ตลอดจนความประพฤติและคุณงามความดีของบุคคล ให้บุคคลดำรงตนอยู่ในสังคมและในโลกได้อย่างมั่นคงและมีความสงบร่มเย็นได้ แม้ว่าโลกจะเปลี่ยนแปลงไปรวดเร็วเพียงใดก็ตาม..." [1] ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงยุคปัจจุบันถือเป็นช่วงเวลาที่ทำลายความสามารถของมนุษย์ เนื่องจากเทคโนโลยีเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ผลของการเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีทำให้มีนวัตกรรมต่าง ๆ ที่ช่วยให้การทำงานและการใช้ชีวิตประจำวันมีความสะดวกสบายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และนอกจากเทคโนโลยีที่เจริญก้าวหน้าจะช่วยให้การทำงานดีขึ้นแล้วยังส่งผลต่อการพัฒนาระบบการศึกษาโดยจากอดีตที่ผู้ศึกษาเรียนรู้จากการเรียนการสอนที่ใช้ครูเป็นศูนย์กลางมาเป็นการเรียนรู้แบบกระบวนทัศน์ใหม่ที่เป็นการจัดการศึกษาในยุคฐานแห่งเทคโนโลยี หรือ Technology Based Paradigm [2-3] ซึ่งผู้ศึกษาสามารถเรียนรู้และรับข้อมูลข่าวสารได้ไม่จำกัดอีกต่อไป เพราะใช้เพียงปลายนิ้วคลิกก็สามารถก้าวข้ามพรมแดนในการเรียนรู้และรับข้อมูลข่าวสารได้จากทุกมุมของโลก

จากปัญหาการเปลี่ยนแปลงกระบวนทัศน์การเรียนการสอนดังกล่าวข้างต้น จึงนำมาสู่การทำโครงการเกี่ยวกับเรื่อง "วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น" ซึ่งมีเนื้อหาที่ค่อนข้างซับซ้อนและต้องใช้จินตนาการจึงยากที่จะอธิบายด้วยคำพูดให้นักเรียนเข้าใจอย่างถ่องแท้ได้ และเป็นเนื้อหาที่นักเรียนมักเข้าใจไม่ถูกต้อง จึงต้องใช้สื่อการสอนที่ผู้เรียนสามารถจับต้องได้ และสามารถลงมือทำได้ด้วยตนเอง จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหา มองเห็นเป็นรูปธรรมมากกว่าการสอนด้วยวิธีการบรรยายเพียงอย่างเดียว ซึ่งที่ผ่านมาจะต้องหาอุปกรณ์มาช่วยเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจ โดยต้องมีการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ยุ่ยยากและใช้งบประมาณในการจัดทำที่ค่อนข้างสูง เพื่อให้ได้รับประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้การต่อวงจรไฟฟ้า โดย "Paper Electronics" หรือ "อิเล็กทรอนิกส์กระดาษ" [4] มีประโยชน์หลายด้าน ทั้งด้านการศึกษาและด้านธุรกิจ เช่น การนำสื่อไฟฟ้าหลากหลายชนิดมาวาดลงบนกระดาษสำหรับสร้างเป็นการ์ดอวยพรแบบอัจฉริยะ [5, 13] ที่มีทั้งแสง สี เสียง และเคลื่อนไหวได้ ใช้สำหรับทำเครื่องดนตรีบนกระดาษ เช่น กีตาร์ [6] กลองชุด [7] เปียโน [8] และ Telescrapbooks [9] เป็นต้น นอกจากนี้ ยังเหมาะต่อการนำมาทำเป็นสื่อการเรียนรู้และเสริมการสอนในการขยายความเข้าใจและความคิดซึ่งเหมาะสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 และการเรียนการสอนแบบ Active Learning จึงอาจถือได้ว่าเป็นสิ่งใหม่ในวงการการศึกษา ในปัจจุบันได้มีการนำ Paper Electronic ไปใช้ในการทำการวิจัยหรือออกแบบเพื่อผลิตสินค้าออกขายในตลาดโลก [10] อีกด้วย

Jie Qi [10] เป็นผู้ร่วมก่อตั้งและสร้างชุดฮาร์ดแวร์เกี่ยวกับการสร้างวงจรไฟฟ้าบนกระดาษ ซึ่ง Qi ได้สรรค์สร้างและประดิษฐ์เป็นงานวิจัยหลายชิ้น เช่น การสร้าง Circuit Sticker Sketchbook [10], Electronic Popables [11], Input-Output Paper [12] และ Paper-Circuits [13] นอกจากนี้ ยังมีบริษัท Bare Conductive ที่คิดค้นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อว่า Electric Paint ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เชิงนวัตกรรม สามารถนำไฟฟ้า ปลอดภัย พืช ปลอดภัย และละลายน้ำได้ สามารถใช้เป็นลวดเหลวเพื่อใช้ในการทำบัตรแบบไม่พึ่งความร้อน หรือเป็นได้กระทั่งสายยึดติดตัวนำไฟฟ้า Electric Paint เหมาะสำหรับใช้กับอุปกรณ์จ่ายไฟกระแสตรงแรงดันไฟต่ำ

เนื่องจาก Paper electronics มีความสำคัญทางด้านการศึกษาซึ่งน่าจะมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 โดยเป็นแนวทางที่ทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความสามารถด้านเทคโนโลยีในการเสริมสร้างสมรรถภาพทางด้านสมอง จึงได้ประดิษฐ์หนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐานสมัยใหม่เรื่องวงจรไฟฟ้าพื้นฐานขึ้น วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและประหยัดสำหรับใช้ออกแบบและสร้างหนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐาน โดยสามารถใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอน เนื่องจากหนังสือดังกล่าวจะช่วยให้ผู้สอนสามารถออกแบบการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง อีกทั้งช่วยให้ผู้เรียนเกิดความสุขสนุกสนานกับการทดลองจากชุดการสอนนี้ แต่อย่างไรก็

ตามหนังสือที่มีเนื้อหาเพียงอย่างเดียวก็ยังคงมีความสำคัญอยู่เช่นเดิม โดยมีหนังสือเสริมการเรียนรู้มาช่วยขยายความเข้าใจในเนื้อหาให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น

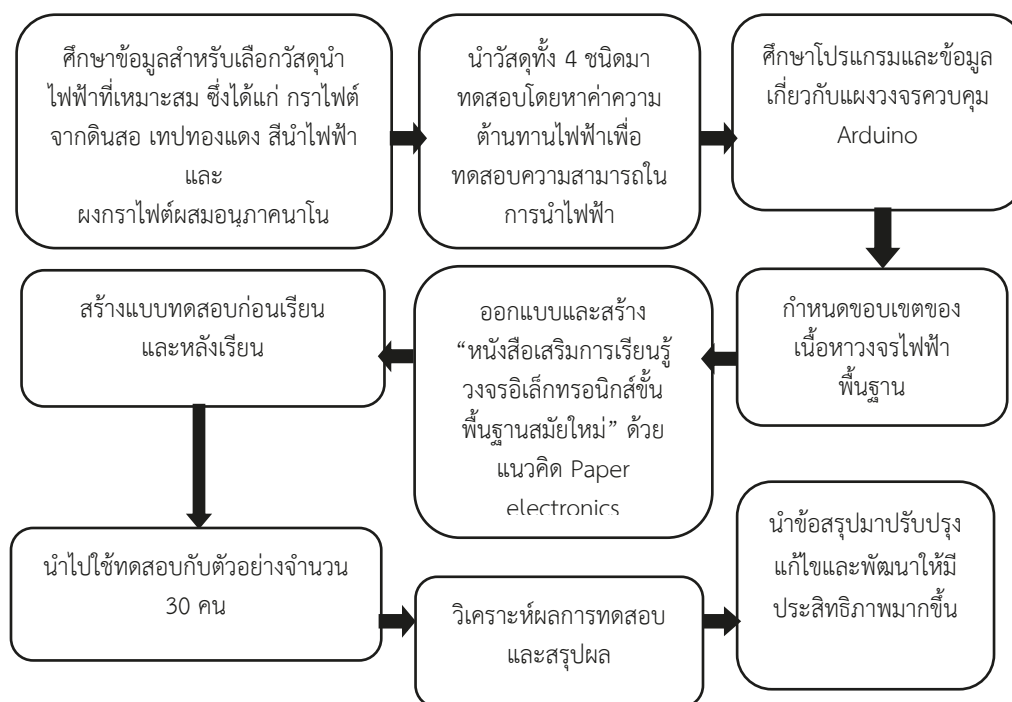
งานวิจัยนี้ได้สร้างนวัตกรรมในรูปแบบหนังสือช่วยเสริมการเรียนรู้เรื่อง “วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน” ที่สอนกันในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โดยใช้วัสดุราคาถูกและหาได้ง่ายร่วมกับเทคโนโลยีดิจิทัลยุคใหม่ โดยใช้เทคนิครูปแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์บนกระดาษและการออกแบบสร้างกระบวนการเรียนรู้ซึ่งเป็นทางเลือกในการสอนวงจรไฟฟ้า โดยนำวัสดุไฟฟ้า เช่น กราไฟต์จากดินสอ เทปทองแดง สีสนำไฟฟ้า และผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดง เพื่อใช้สร้างวงจรไฟฟ้า และควบคุมกระแสไฟฟ้าด้วยแผงวงจรควบคุม Arduino มาประกอบเป็นสื่อซึ่งสามารถนำไปใช้ช่วยเสริมประสบการณ์ให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในการทำความรู้จักและทำความเข้าใจวงจรไฟฟ้าพื้นฐานได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

ระเบียบวิธีการศึกษา

1. การออกแบบและเตรียมวัสดุไฟฟ้า

การออกแบบและสร้าง “หนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐานสมัยใหม่ เรื่องวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน” ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์บนกระดาษ มีลำดับขั้นตอนดังแผนภาพที่ 1 โดยได้ศึกษาข้อมูลของวัสดุที่จะนำมาเป็นสื่อนำไฟฟ้า คือ กราไฟต์จากดินสอ เทปทองแดง สีสนำไฟฟ้าและผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดง และได้นำวัสดุทั้ง 4 ชนิดมาทดสอบโดยหาค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistance) เพื่อทดสอบหาความสามารถในการนำไฟฟ้า ซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบในหัวข้อย่อยที่ 2 ต่อไป

ในขณะเดียวกันได้ศึกษาหลักการทำงานและการใช้งานแผงวงจรควบคุม Arduino [17] สำหรับใช้ควบคุมกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน (ดังภาพที่ 1) จากนั้นจึงได้กำหนดขอบเขตของเนื้อหาเรื่อง “วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน” ซึ่งเป็นสาระความรู้ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น มีขอบเขตในเรื่องการต่อวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย การวัดกระแสไฟฟ้า (I) ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และความต้านทานไฟฟ้า (R) รวมถึงการคำนวณกฎของโอห์ม ($V = IR$) เมื่อกำหนดขอบเขตของทฤษฎีและเนื้อหาจากหนังสือกลุ่มสาระการเรียนรู้ [14] หนังสือ ตำราและข้อมูลจาก Website [15-16] ที่น่าเชื่อถือชัดเจนครบถ้วนแล้ว จึงวางแผนสร้างโครงเรื่อง ลำดับเนื้อหาและออกแบบหนังสือเสริมการเรียนรู้ให้เหมาะสมต่อการใช้งานบนแนวคิด Paper Electronics ขอบเขตเนื้อหาเรื่อง “วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน” มีโครงเรื่องและลำดับเนื้อหาเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น ประกอบด้วยวงจรแบบอนุกรม วงจรแบบขนาน และวงจรแบบผสมโดยได้ออกแบบให้มีการต่ออุปกรณ์ตัวต้านทานในวงจรแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม ทั้งได้ใส่เนื้อหาทฤษฎีที่จำเป็นในหนังสือคู่มือเพื่อให้ผู้สอนและผู้เรียนสามารถศึกษาหลักการและข้อมูลไปพร้อม ๆ กับการเรียนรู้จากหนังสือเสริมการเรียนรู้



ภาพที่ 1 แผนภาพลำดับขั้นตอนการสร้างหนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐานสมัยใหม่

2. การทดลองเพื่อเลือกวัสดุนำไฟฟ้าที่เหมาะสม

นำวัสดุนำไฟฟ้าแต่ละชนิดมาทดสอบหาค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยวัสดุนำไฟฟ้าที่นำมาทดสอบมี 4 ชนิด คือ กราไฟต์จากไส้ดินสอ เทปทองแดง สื่อนำไฟฟ้าและผงกราฟิตผสมอนุภาคนาโนทองแดง โดยมีวิธีการทดสอบ ดังนี้

2.1 เตรียมกราฟิตจากดินสอ ดินสอที่นำมาทำสอบมี 4 ชนิด คือ HB, 2B, 6B และ 8B จึงมีสมมติฐานว่า กราไฟต์ประกอบด้วย ธาตุคาร์บอนในไส้ดินสอแต่ละชนิดมีปริมาณไม่เท่ากัน จึงน่าจะมีความต้านทานไฟฟ้าแตกต่างกัน แต่เนื่องด้วยไม่มีการรายงานข้อมูลทางเทคนิคจำเพาะของปริมาณกราฟิตในไส้ดินสอแต่ละชนิด จึงมีความจำเป็นต้องทดลองหาค่าความต้านทานไฟฟ้าในเบื้องต้น เพื่อเลือกชนิดของดินสอที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุดสำหรับการทดสอบขั้นต่อไป

2.2 การทดสอบเปรียบเทียบค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุนำไฟฟ้า นั่นคือ กราไฟต์จากดินสอที่มีค่าความต้านทานน้อยที่สุดจากข้อ 2.1 เทปทองแดง สื่อนำไฟฟ้า และผงกราฟิตผสมอนุภาคนาโนทองแดง

2.3 สำหรับวัสดุนำไฟฟ้าที่ทำจากผงกราฟิตผสมอนุภาคนาโนทองแดง ประกอบด้วย ส่วนผสมของผงถ่าน 2 กรัม อนุภาคนาโนทองแดง (Copper Nanoparticle) 0.02 กรัม ซีโอสเตอร์ 1 ซ้อนชา และกาวน้ำใส 1 ซ้อนชา

ในการทดลองการนำไฟฟ้าของกราฟิตจากดินสอโดยการฝนดินสอแต่ละชนิดลงบนกระดาษให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 0.5 cm เพิ่มขนาดความยาวของแถบกราฟิตขึ้นครึ่งละ 1 cm จนมีความยาว 15 cm ส่วนการทดสอบการนำไฟฟ้าของเทปทองแดงและสื่อนำไฟฟ้าจะติดเทปทองแดงและระบายสื่อนำไฟฟ้าลงบนกระดาษให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.6 cm และทดสอบวัสดุนำไฟฟ้าที่ทำจากผงกราฟิตผสมอนุภาคนาโนทองแดงโดยนำถ่านมาทำให้ละเอียดและนำอนุภาคนาโนทองแดงที่ผ่านกระบวนการ Freeze dried Technology แล้วจึงนำไปผสมให้เข้ากันกับซีโอสเตอร์และกาวน้ำใสในปริมาณที่กล่าวมาข้างต้น และนำมาทดสอบโดยวาดลงบนกระดาษให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.5 โดยทั้งเทปทองแดง สื่อนำไฟฟ้า และผงกราฟิตผสมอนุภาคนาโนทองแดงเพิ่มขนาดความยาวของแถบกราฟิตขึ้นครึ่งละ 1 cm จนมีความยาว 10 cm และทุกวัสดุจะนำมาวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ ดังภาพที่ 2

3. การประเมินประสิทธิภาพ

การทดสอบหนังสือที่ได้สร้างขึ้นได้นำไปทดลองใช้กับกลุ่มนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3 จะเลือกจำนวนตัวอย่าง 30 คน ในการทดสอบ ซึ่งเป็นนักเรียน 1 ห้องเรียนที่เรียนวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ ดำเนินการในรูปแบบการสอนและการสาธิต แล้วเลือกกลุ่มนักเรียนออกมาทดลองใช้งานหนังสือที่ได้สร้างขึ้น อ่านค่ากระแสไฟฟ้า ค่าความต้านทานจากเครื่องมัลติมิเตอร์และคำนวณหาผลลัพธ์จากสมการเพื่อทดสอบว่า ค่าที่ได้จากการวัดกับค่าที่ได้จากการคำนวณมีความใกล้เคียงมากน้อยเพียงใด แล้วจึงทดสอบความเข้าใจโดยการทำแบบทดสอบก่อนเรียนก่อนการใช้งานหนังสือเสริมการเรียนรู้และแบบทดสอบหลังเรียนหลังจากใช้งานหนังสือเสริมการเรียนรู้แล้ว จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาใช่วิธีการประเมินผลการเรียนรู้โดยการใช้ผลสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (Normalized Gain: $\langle g \rangle$) [18] ดังความสัมพันธ์;

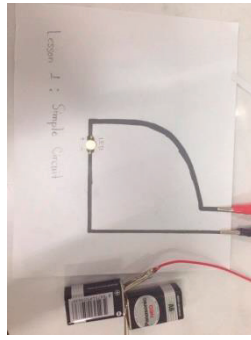
$$\langle g \rangle = \frac{(\% \text{Post test}) - (\% \text{Pre test})}{(100\%) - (\% \text{Pre test})} \quad (1)$$

ทั้งนี้ %Post test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบหลังเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์ และ % Pre-test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบก่อนเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นวิธีประเมินผลการเรียนรู้ที่มีความทันสมัยที่สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงของผลการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ชัดเจน โดยเลือกดูภาพรวมของชั้นเรียนเพื่อนำผลการทดสอบมาสรุปถึงประสิทธิภาพและข้อบกพร่องเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาหนังสือเสริมการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น วิธีการประเมินดังกล่าวได้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในต่างประเทศ โดยเฉพาะ ในกลุ่มวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษาซึ่งสอดคล้องกับลักษณะงานวิจัยชิ้นนี้

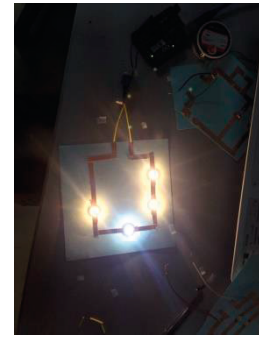
แบบทดสอบก่อนใช้งานและหลังการใช้งานหนังสือเสริมการเรียนรู้สร้างโดยการคัดเลือกข้อสอบที่มีความสอดคล้องเฉพาะกับเนื้อหาในหนังสือเสริมการเรียนรู้ ซึ่งนำมาจากหนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ 5 เป็นหลัก



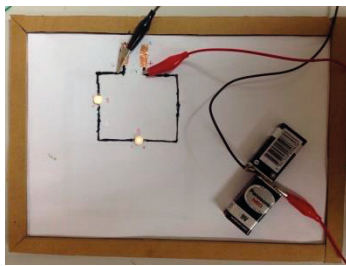
(a)



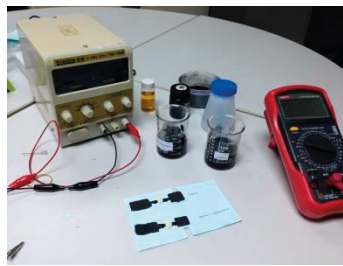
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

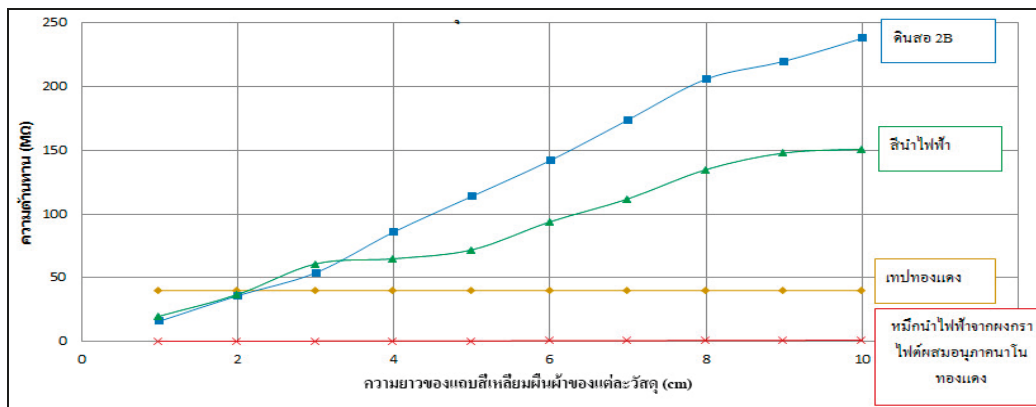
ภาพที่ 2 (a) การทดสอบหาค่าความต้านทานของดินสอแต่ละชนิด (b) การนำไฟฟ้าของดินสอ 2B (c) การนำไฟฟ้าของ เทปทองแดง (d) การนำไฟฟ้าของสื่อนำไฟฟ้า (e) การเตรียมอุปกรณ์สำหรับทดลองทำหมึกนำไฟฟ้าที่ทำจากผงกราไฟต์ ผสมอนุภาคนาโนทองแดง (f) การนำไฟฟ้าของหมึกนำไฟฟ้าที่ทำจากผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดง

ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

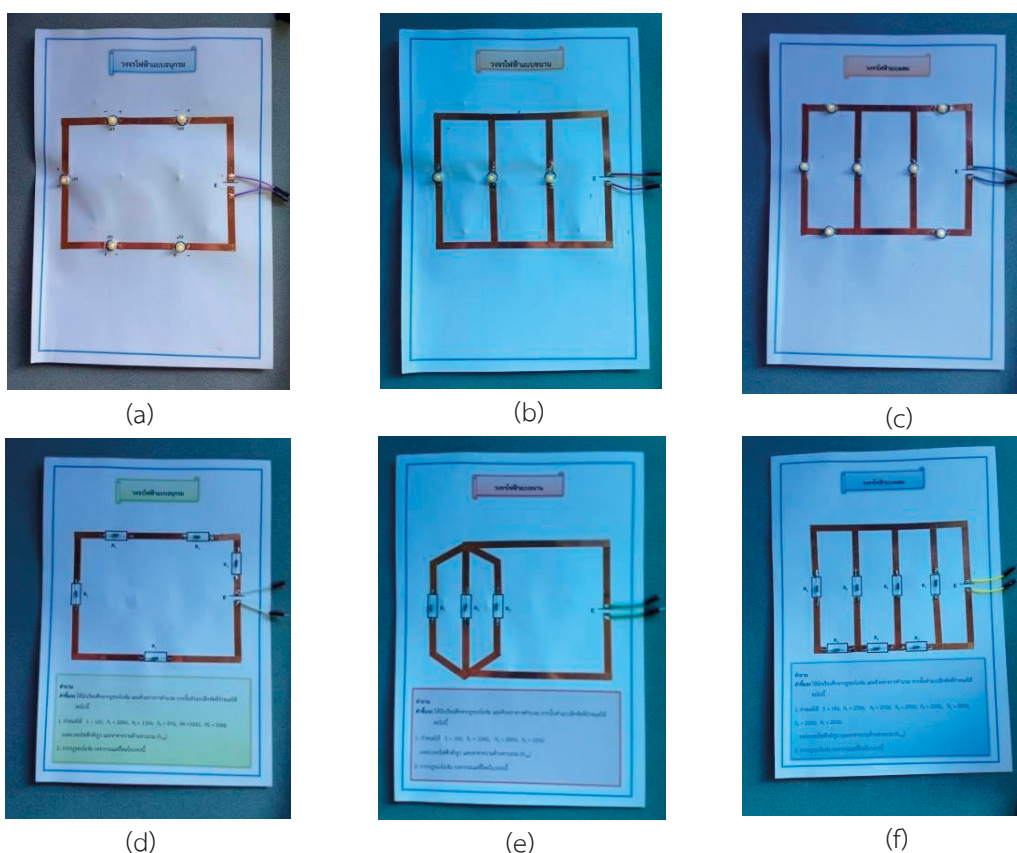
1. การเลือกวัสดุนำไฟฟ้า

1.1 การทดลองหาค่าความต้านทานของไส้ดินสอแต่ละชนิด คือ ดินสอ HB, 2B, 6B และ 8B ซึ่งผลการทดลอง (ไม่ได้แสดงในที่นี้) พบว่า ค่าความต้านทานของกราไฟต์ในดินสอมีค่าจากน้อยไปมากดังสมการ $2B < 8B < HB < 6B$ จะเห็นได้ว่า ไส้ดินสอที่มีค่าความต้านทานต่ำสุด คือ 2B โดยดินสอ HB, 6B และ 8B มีค่าความต้านทานที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น กราไฟต์จากไส้ดินสอที่จะนำมาทดสอบในขั้นตอนต่อไปคือดินสอ 2B

1.2 ในทดลองหาค่าความต้านทานไฟฟ้าของกราไฟต์ของดินสอ 2B เทปทองแดง สื่อนำไฟฟ้าและหมึกนำไฟฟ้าจากผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดง ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 3 พบว่า ความต้านทานไฟฟ้าของกราไฟต์จากดินสอ 2B เทปทองแดง และผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดง มีค่าจากมากไปน้อยดังสมการ กราไฟต์จากดินสอ $2B > \text{สื่อนำไฟฟ้า} > \text{เทปทองแดง} > \text{ผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดง}$ โดยผลการทดสอบของหมึกนำไฟฟ้าจากผงกราไฟต์ที่ผสมอนุภาคนาโนทองแดงแสดงให้เห็นถึงค่าความต้านทานที่น้อยมากและน้อยที่สุด ซึ่งแสดงว่า หมึกนำไฟฟ้าจากผงกราไฟต์ที่ผสมอนุภาคนาโนทองแดงสามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าไส้ดินสอ 2B อย่างมาก เมื่อนำกราไฟต์ผสมกับอนุภาคนาโนทองแดง จึงทำให้เป็นที่น่าสนใจถึงประสิทธิภาพในการนำไฟฟ้าของหมึกนำไฟฟ้าจากผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดงว่า น่าจะเป็นวัสดุที่ควรได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะ การนำมาทำเป็นหมึกนำไฟฟ้าที่มีราคาต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสื่อนำไฟฟ้าซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงแต่ค่าไฟฟ้าได้น้อยกว่ามาก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหมึกนำไฟฟ้าจากผงกราไฟต์ที่ผสมอนุภาคนาโนทองแดงอยู่ในช่วงเริ่มทดสอบจึงยังไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานนี้ ดังนั้นวัสดุนำไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุในการสร้างหนังสือเสริมการเรียนรู้ คือ เทปทองแดง ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำรองลงมาจากหมึกนำไฟฟ้าจากผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดง แต่มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย ส่วนดินสอ 2B พบว่า มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงที่สุดจึงนำไฟฟ้าได้น้อยที่สุด ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำมาเป็นวัสดุสำหรับทำหนังสือเสริมการเรียนรู้จากแนวคิด Paper Electronics



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของกราไฟต์จากไส้คินสอ 2B ลวดไฟฟ้า เทป ทองแดง และหมึกนำไฟฟ้าจากผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดงเมื่อเปลี่ยนค่าความยาวของแถบสี่เหลี่ยมผืนผ้าของแต่ละวัสดุ



ภาพที่ 4 (a) วงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม (b) วงจรไฟฟ้าแบบขนาน (c) วงจรไฟฟ้าแบบผสม (d) การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม (e) การต่อตัวต้านทานแบบขนานและ (f) การต่อตัวต้านทานแบบผสม

2. การสร้างหนังสือเสริมการเรียนรู้

หนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐานยุคใหม่เรื่องวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน มีลักษณะโดดเด่น คือ ภายในประกอบด้วย รูปแบบการนำเทปทองแดงซึ่งนำไฟฟ้าได้ดีและราคาถูกมาใช้เป็นวัสดุสำหรับนำไฟฟ้าเพื่อต่อเป็น วงจรไฟฟ้าพื้นฐาน 3 แบบ คือ การต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม ซึ่งออกแบบให้เป็นปฏิบัติการในการเรียนรู้และทำความเข้าใจการต่อวงจรอย่างง่ายในระดับเบื้องต้นจากการต่อหลอด LED ขนาดเล็ก ดังภาพที่ 4 (a-c) กระบวนการสอนจะเป็นเชิงสาธิต ซึ่งก่อนสาธิตจะให้ทำแบบทดสอบก่อนเรียนก่อน ก่อนการสาธิตจะทบทวนเนื้อหาให้นักเรียนก่อน เพราะเป็นเนื้อหาที่นักเรียนเรียนผ่านมาแล้ว จากนั้นสาธิตให้นักเรียนดูและอธิบายถึงตัวนวัตกรรมชิ้นนี้ ซึ่งถ้าหากต่อวงจรได้ถูกต้องจะทำให้หลอด LED สว่าง เป็นการให้คำตอบโดยตรงต่อผู้เรียนว่า เข้าใจถูกต้องหรือไม่

เมื่อเสร็จสิ้นการเรียนรู้การต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสมแล้ว จะเข้าสู่การเรียนรู้ในการนำตัวต้านทาน (Resistor) มาต่อเป็นวงจรแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม ดังภาพที่ 4 (d-f) โดยในเล่มจะเป็นการต่อตัวต้านทานที่สมบูรณ์แล้ว เนื่องจากไม่สามารถให้นักเรียนต่อเองได้ ด้วยปัจจัยหลายประการ ซึ่งจะเป็นการทำแบบฝึกหัดที่แนบมากับชุดสไลด์และพร้อมทั้งชุดกิจกรรมเสริมทักษะการเรียนรู้ซึ่งเป็นใบกิจกรรม 4 ชุด (ดังภาพที่ 5) เพื่อให้ผู้เรียนใช้ควบคู่กับการทดลองการต่อวงจรไฟฟ้าแต่ละรูปแบบ (สำหรับเอกสารใบกิจกรรม 4 ชุดในภาพที่ 5 สามารถติดต่อขอรับได้ที่จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: ladamaneebewbew@gmail.com)

ใบกิจกรรมที่ 1 การต่อวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย

ชื่อ - สกุล เลขที่

ชั้น

คำชี้แจง นิเทศปฏิบัติกิจกรรมการทดลองตามที่มอบหมายต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

.....

อุปกรณ์การทดลอง

1. หลอดไฟ LED
2. เซลล์กัลวานี
3. แล่งจ่ายไฟ

วิธีการทดลอง

1. นำหลอดไฟ LED มาติดบนกระดานตามรูปแบบวงจรที่วางไว้ และต่อกับแหล่งจ่ายไฟ
2. ติดหลอดไฟ LED ลงบนกระดาน
3. สังเกตความสว่างของหลอดไฟและบันทึกผล
4. ถอดหลอดไฟ LED ออก 1 หลอด สังเกตความสว่างของหลอดไฟและบันทึกผล

บันทึกผลการทดลอง

การทดลอง	หลอดไฟ	แสงสว่างของหลอดไฟ
1. ติดหลอดไฟ LED บนกระดาน		
2. ถอดหลอดไฟ LED ออก 1 หลอด		

สรุปผลการทดลอง

.....

(a)

กิจกรรมที่ 2 กระแสไฟฟ้าและการวัดกระแสไฟฟ้า

ชื่อ - สกุล เลขที่

ชั้น

คำชี้แจง นิเทศปฏิบัติกิจกรรมการทดลองตามที่มอบหมายต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

.....

อุปกรณ์การทดลอง

1. หลอดไฟ LED
2. เซลล์กัลวานี
3. แล่งจ่ายไฟ
4. มัลติมิเตอร์

วิธีการทดลอง

1. นำหลอดไฟ LED มาติดบนกระดานตามรูปแบบวงจรที่วางไว้ และต่อกับแหล่งจ่ายไฟ
2. ติดหลอดไฟ LED ลงบนกระดาน
3. ต่อมิเตอร์และสังเกตความสว่างของหลอดไฟ LED และเขียนค่าของมิเตอร์ บันทึกผล
4. ถอดหลอดไฟ LED ออก 1 หลอด และสังเกตความสว่างของหลอดไฟ LED และเขียนค่าของมิเตอร์ บันทึกผล

บันทึกผลการทดลอง

แรงดันไฟฟ้า (V)	ผลการเปลี่ยนแปลง	
	หลอดไฟ	มิเตอร์
10 V		
14 V		

สรุปผลการทดลอง

.....

(b)

กิจกรรมที่ 3 การวัดค่าแรงดัน ความต่างศักย์ไฟฟ้า และความต้านทานของตัวต้านทาน

ชื่อ - สกุล เลขที่

ชั้น

คำชี้แจง นิเทศปฏิบัติกิจกรรมการทดลองตามที่มอบหมายต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

.....

อุปกรณ์การทดลอง

1. หลอดไฟ LED
2. ตัวต้านทาน
3. เซลล์กัลวานี
4. แล่งจ่ายไฟ
5. มัลติมิเตอร์

วิธีการทดลอง

1. นำหลอดไฟ LED มาติดบนกระดานตามรูปแบบวงจรที่วางไว้ และต่อกับแหล่งจ่ายไฟ
2. ติดหลอดไฟ LED ลงบนกระดาน
3. ต่อมิเตอร์และสังเกตความสว่างของหลอดไฟ LED และเขียนค่าของมิเตอร์ บันทึกผล
4. ถอดหลอดไฟ LED ออก 1 หลอด และสังเกตความสว่างของหลอดไฟ LED และเขียนค่าของมิเตอร์ บันทึกผล

บันทึกผลการทดลอง

แรงดันไฟฟ้า (V)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)	ความต้านทานไฟฟ้า

(c)

กิจกรรมที่ 4 กฎของโอห์ม

ชื่อ - สกุล เลขที่

ชั้น

คำชี้แจง นิเทศปฏิบัติกิจกรรมการทดลองตามที่มอบหมายต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

.....

อุปกรณ์การทดลอง

1. มัลติมิเตอร์
2. ชุดเครื่องมือวัดอย่างง่าย

วิธีการทดลอง

1. นำหลอดไฟ LED มาติดบนกระดานตามรูปแบบวงจรที่วางไว้ และต่อกับแหล่งจ่ายไฟ
2. ติดตัวต้านทานบนกระดาน
3. ต่อมิเตอร์และอ่านค่าความต้านทานที่มิเตอร์วัดได้ บันทึกผล

บันทึกผลการทดลอง

แรงดันไฟฟ้า (V)	ผลการเปลี่ยนแปลง	
	หลอดไฟ	มิเตอร์

สรุปผลการทดลอง

.....

(d)

ภาพที่ 5 (a) ใบกิจกรรมที่ 1: การต่อวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย (b) ใบกิจกรรมที่ 2: กระแสไฟฟ้าและการวัดกระแสไฟฟ้า (c) ใบกิจกรรมที่ 3: การวัดค่าแรงดัน ความต่างศักย์ไฟฟ้า และความต้านทานของตัวต้านทาน และ (d) ใบกิจกรรมที่ 4: กฎของโอห์ม

หนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐานยุคใหม่เรื่องวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน มีลักษณะโดดเด่นคือ ภายในจะประกอบด้วยรูปแบบการนำเทปทองแดงซึ่งนำไฟฟ้าได้ดีและราคาถูกมาใช้เป็นวัสดุสำหรับนำไฟฟ้าเพื่อต่อเป็นวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน 3 แบบคือ การต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม ซึ่งออกแบบให้เป็นปฏิบัติการในการเรียนรู้และทำความเข้าใจการต่อวงจรอย่างง่ายในระดับเบื้องต้นจากการต่อหลอด LED ขนาดเล็ก ดังภาพที่ 4(a-c) กระบวนการสอนจะเป็นเชิงสาธิต ซึ่งก่อนสาธิตจะให้ทำแบบทดสอบก่อนเรียนก่อน ก่อนการสาธิตจะทบทวนเนื้อหาให้นักเรียนก่อน เพราะเป็นเนื้อหาที่นักเรียนเรียนผ่านมาแล้ว จากนั้นสาธิตให้นักเรียนดูและอธิบายถึงตัวนวัตกรรมชิ้นนี้ ซึ่งถ้าหากต่อวงจรได้ถูกต้องจะทำให้หลอด LED สว่าง เป็นการให้คำตอบโดยตรงต่อผู้เรียนว่าเข้าใจถูกต้องหรือไม่

เมื่อเสร็จสิ้นการเรียนรู้การต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสมแล้ว จะเข้าสู่การเรียนรู้ในการนำตัวต้านทาน (Resistor) มาต่อเป็นวงจรแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม ดังภาพที่ 4(d-f) โดยในเล่มจะเป็นการต่อตัวต้านทานที่สมบูรณ์แล้ว เนื่องจากไม่สามารถให้นักเรียนต่อเองได้ ด้วยปัจจัยหลายประการ ซึ่งจะเป็นการทำแบบฝึกหัดที่แนบมากับชุดสาธิตและพร้อมทั้งชุดกิจกรรมเสริมทักษะการเรียนรู้ซึ่งเป็นใบกิจกรรม 4 ชุด (ดังภาพที่ 5) เพื่อให้ผู้เรียนใช้ควบคู่กับการทดลองการต่อวงจรไฟฟ้าแต่ละรูปแบบ (สำหรับเอกสารใบกิจกรรม 4 ชุดในภาพที่ 5 สามารถติดต่อขอรับได้ที่จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: ladamaneebewbew@gmail.com)

3. การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพ

เมื่อสร้าง “หนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐานสมัยใหม่เรื่องวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น” แล้วเสร็จ ได้นำไปทดสอบประสิทธิภาพโดยนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 30 คนโดยการสุ่มนักเรียนที่มีคาบเรียนวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ ซึ่งใช้กระบวนการทดสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนโดยใช้วิธีการใช้ผลสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (Normalized Gain) ดังสมการที่ 1 ในการประเมินผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นหลังจากได้ใช้หนังสือเสริมการเรียนรู้ ซึ่งผลการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนแสดงในตารางที่ 1 และเมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของคะแนนในรูปของเปอร์เซ็นต์แล้วนำมาแทนค่าในสมการที่ 1 จะได้ผลการเรียนรู้เป็น $\langle g \rangle = (80\% - 70\%) / (100\% - 70\%) = 10\% / 30\% = 0.33$ โดย %Post test = 80% และ %Pre test = 70% จากข้อมูลที่ได้อธิบายได้ว่าผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (Actual Gain) ของผู้เรียนมีค่า $80\% - 70\% = 10\%$ และผลการเรียนสูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นไปได้ (Maximum Possible Gain) มีค่า $100\% - 70\% = 30\%$ ทำให้ได้ผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงคิดเป็น 0.33 เท่า (หรือเทียบได้เท่ากับ 33%) ของผลการเรียนสูงสุดที่จะมีโอกาสเพิ่มขึ้นไปได้

ตารางที่ 1 ผลทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของ “หนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่ขั้นพื้นฐาน เรื่องวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น”

คะแนนก่อนเรียน								
คน ที่	คะแนนจาก แบบทดสอบ ก่อนเรียน (10 คะแนน)	คะแนนจาก แบบทดสอบ หลังเรียน (10 คะแนน)	คน ที่	คะแนนจาก แบบทดสอบ ก่อนเรียน (10 คะแนน)	คะแนนจาก แบบทดสอบ หลังเรียน (10 คะแนน)	คน ที่	คะแนนจาก แบบทดสอบ ก่อนเรียน (10 คะแนน)	คะแนนจาก แบบทดสอบ หลังเรียน (10 คะแนน)
1	7	9	11	7	10	21	7	7
2	7	10	12	5	7	22	8	9
3	8	8	13	6	6	23	5	7
4	5	6	14	5	8	24	7	6
5	5	6	15	5	8	25	7	9
6	7	7	16	5	9	26	9	10
7	8	9	17	6	6	27	8	10
8	6	9	18	6	6	28	7	6
9	5	8	19	5	8	29	9	8
10	7	6	20	8	9	30	6	8
						ค่าเฉลี่ย	7.0	8.0
						%	70	80

จากผลที่ได้จากการทดสอบการใช้งานขั้นต้น “หนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐานสมัยใหม่ เรื่องวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น” พบว่า หนังสือเสริมการเรียนรู้จากแนวคิด Paper electronic มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์พอใช้ เมื่อพิจารณาจากผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง 0.33 เท่า ซึ่งอยู่ในช่วง medium gain ($0.3 \leq <g> < 0.7$) แสดงให้เห็นว่า หนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐานสมัยใหม่เรื่องวงจรไฟฟ้าเบื้องต้นที่ได้สร้างขึ้นมีผลกระทบบต่อการเรียนรู้ของผู้ใช้งานที่ค่อนข้างน่าพอใจในเบื้องต้น เนื่องจากการทดสอบสมมติฐานถึงความเป็นไปได้ทั้งในแง่ของความเหมาะสมและประสิทธิภาพ ซึ่งจะเห็นว่าผลการทดสอบจากการวัดผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นยืนยันได้อย่างดีว่า หนังสือเสริมการเรียนรู้ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ช่วยเสริมการสอนและการเรียนรู้ของยุคสมัยใหม่ได้อย่างดี แต่จะต้องได้รับการพัฒนาในส่วนของการเทคนิคการใช้งานที่ตอบโจทย์การเรียนรู้ยุคใหม่ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ในส่วนอุปกรณ์ที่ในขั้นของงานวิจัยนี้ยังมีข้อบกพร่องในส่วนของการเทคโนโลยีดิจิทัลที่ไม่สมบูรณ์เพียงพอ และในส่วนของการกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่จะสามารถผลักดันให้ผู้ใช้งานและผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่มีส่วนของ Design thinking และ Computational thinking ซึ่งเป็นแนวทางของการศึกษาเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 โดยจะได้พัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่สอดคล้องกับบริบทการเปลี่ยนแปลงของโลกและการศึกษาในอนาคตต่อไป

สรุปผลการศึกษา

ได้ออกแบบและสร้าง “หนังสือเสริมการเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐานยุคใหม่เรื่องวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น” โดยใช้แนวคิดอิเล็กทรอนิกส์กระดาษ (Paper Electronic) สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยได้ทดสอบหาวัสดุไฟฟ้าที่เหมาะสม คือ นำไฟฟ้าได้ดีและราคาไม่สูงจากการทดสอบวัดค่าความต้านทานของวัสดุกราฟต์จากไส้ดินสอ เทปทองแดง สีนํ้าไฟฟ้า และผงกราไฟต์ผสมอนุภาคนาโนทองแดงพบว่า ความต้านทานไฟฟ้าของเทปทองแดงมีความเหมาะสมและราคาถูก หาซื้อได้ง่าย จึงได้นำเทปทองแดงมาใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับสร้างหนังสือเสริมการเรียนรู้ ซึ่งภายในหนังสือประกอบด้วยวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น ได้แก่ วงจรแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม รวมถึงการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม แบบขนาน และแบบผสม โดยที่ผู้เรียนจะได้ฝึกปฏิบัติและใช้ความรู้และความเข้าใจในเรื่องวงจรไฟฟ้าและการต่อตัวต้านทานรวมถึงกฎของโอห์ม ซึ่งเป็นทางเลือกในการช่วยเสริมทักษะการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยมีแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเพื่อทดสอบความเข้าใจและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งใช้กลุ่มตัวอย่างนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 30 คน จากการใช้วิธีประเมินผลสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (Normalized Gain) พบว่าผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงของผู้เรียนมีค่า $80\% - 70\% = 10\%$ ผลการเรียนรู้สูงสุดที่จะมีโอกาสเพิ่มขึ้นไปได้มีค่า $100\% - 70\% = 30\%$ และผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงคิดเป็น 0.33 เท่า (33%) ของผลการเรียนรู้สูงสุดที่จะมีโอกาสเพิ่มขึ้นไปได้ ซึ่งอยู่ในช่วง medium gain ($0.3 \leq <g> < 0.7$) ทำให้หนังสือเสริมการเรียนรู้จากแนวคิด Paper Electronic มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์พอใช้ จึงทำให้หนังสือเสริมการเรียนรู้ดังกล่าวจะต้องได้รับการพัฒนาและปรับปรุงให้มีความเหมาะสม มีประสิทธิภาพ ทันสมัย และใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้นต่อไป

คำขอบคุณ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนการทำโครงการวิจัยของนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ 5 ปี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พ.ศ.2560 และขอขอบคุณโรงเรียนเกาะขันธุ์ ประชาภิบาลที่ให้โอกาสผู้วิจัยนำโครงการวิจัยมาทดสอบกับผู้เรียนจนโครงการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] เข้มทอง ศิริแสงเลิศ. (2558). “สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีกับการศึกษา,” วารสารศึกษาศาสตร์ มสธ. 8(1), (ม.ค.-มิ.ย.), 1-12.
- [2] Chomal, V. S. and Saini, J. R. (2013). “A STUDY AND ANALYSIS OF PARADIGM SHIFTS IN EDUCATION TRIGGERED BY TECHNOLOGY”, International Journal of Research in Economics & Social Sciences. 3(1), 14-28.

- [3] Pavlova, M. (2009). Conceptualisation of Technology Education within the Paradigm of Sustainable Development. *International Journal of Technology and Design Education*. 19(2), 109–132.
- [4] Qi, J. (2016). **Paper Electronics: Circuits on Paper for Learning and Self-expression**. Thesis: Ph. D., Massachusetts Institute of Technology (MIT). Retrieved June 21, 2018, from <http://hdl.handle.net/1721.1/109617>.
- [5] _____. **Paper Circuits**. Retrieved June 20, 2018, from <http://gjordan0.wixsite.com/makerportfolio/paper-circuits>.
- [6] Qi, J. and Buechley, L. (2010). **Electronic Popables: Exploring Paper-Based Computing through an Interactive Pop-Up Book**. TEI'10, January 24–27, 2010, Cambridge, Massachusetts, USA. Retrieved June 25, 2018, from http://technolj.com/jieqi_popables.pdf.
- [7] Kelleyan, M. (2013). **Interactive Drum Posters**. Retrieved June 25, 2018, from <https://www.trendhunter.com/trends/interactive-printed-electronics-poster>.
- [8] _____. **Makey Makey PopUp Piano**. Retrieved June 20, 2018, from <https://www.makerspaces.com/makey-makey-makerspace-project>.
- [9] Freed, N., Qi, J., Setapen, A., Breazeal, C., Buechley, L. and Raffle, H. (2011). **Sticking Together: Handcrafting Personalized Communication Interfaces**. June 20-23, 2011, Ann Arbor, USA. Retrieved June 26, 2018, from (http://technolj.com/sticking_together_final.pdf).
- [10] Huang, A., Cole, D. Dick, J., Freed, N. and Qi, J. (2014). **Circuit Sticker Sketchbook**. Sutajio Ko-Usagi PTE LTD dba Studio Kosagi, in Singapore. Retrieved June 26, 2018, from <http://bunniefoo.com/chibi/sketchbook-en-v1.pdf>.
- [11] Qi, J. and Huang, A. (2014). **Circuit Sticker**. Retrieved June 20, 2018, from <http://technolj.com/circuit-stickers>
- [12] Qi, J. (2011). **Input-Output Paper**. Retrieved June 20, 2018, from <http://technolj.com/inputoutput-paper>.
- [13] Exploratorium. (2014). **Paper Circuits**. Retrieved June 20, 2018, from <https://tinkering.exploratorium.edu/paper-circuits>.
- [14] อนันตสิน เตชะกำพุช และคณะ. (2554). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สกสศ. ลาดพร้าว.
- [15] สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว. (2535). **ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น**. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2560, จาก <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electronicssomsak/index/index.htm>.
- [16] ฟิสิกส์ราชชมงคล. (2543). **วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น**. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2560, จาก <http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electric4/topweek8.htm>
- [17] _____. (2557) **Basic Electronics + Arduino (Pre-Lab) Workshop for CprE**. สืบค้นเมื่อ 4 สิงหาคม 2560, จาก http://cpres.kmutnb.ac.th/esl/wp-content/uploads/2014/10/ESL_Arduino_Workshop_for_CprE-2014-10-12.pdf
- [18] อภิสิทธิ์ ชงไชย และคณะ. (2550). “การประเมินผลการเรียนรู้แบบใหม่ โดยการใช้ผลสอบก่อนเรียนและหลังเรียน”, *วารสาร มวก. วิชาการ*. 11(21), 86–94.