



การจัดการเรียนรู้เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรง
แบบ PEER INSTRUCTION ผนวกการสอนแบบอุปมา

ขันติ เทติธัญญา

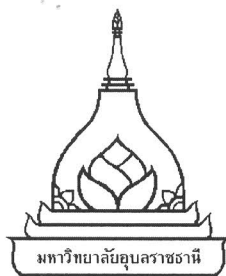
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



LEARNING MANAGEMENT OF DIRECT CURRENT CIRCUIT
BY USING PEER INSTRUCTION INTEGRATED WITH AN ANALOGY-
BASED APPROACH

KHANTI TOEDTANYA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN SCIENCE EDUCATION
FACULTY OF SCIENCE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2017
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์

เรื่อง การจัดการเรียนรู้เรื่องไฟฟ้ากระแสตรง แบบ PEER INSTRUCTION แผนการสอนแบบอุปมา

ผู้วิจัย นายขันติ เทตธัญญา

คณะกรรมการสอบ

ดร.ธนิดา สุจิตธรรม

ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม

กรรมการ

ดร.โชคศิลป์ ธนเฮือง

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สุระ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม)

ดร. ชริดา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชริดา ปุกหุด)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

ดร. อริยาภรณ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2560

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม อาจารย์ประจำภาคฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไข และติดตามการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้อย่างใกล้ชิดเสมอมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณ ดร.ธิดา สุจริตธรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม และ ดร.โชคศิลป์ ธนเอื้อง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้พร้อมทั้งคำแนะนำที่ดีสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.อมร เทศสกุลวงศ์ ที่กรุณาให้ความรู้ ช่วยเหลือ ออกแบบชุดสถิติที่ใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้ ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการและคณะกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนปทุมราชวงศา อำเภอปทุมราชวงศา จังหวัดอำนาจเจริญ ที่ให้การสนับสนุน เอื้อเฟื้อสถานที่วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำวิจัยรวมถึงอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิจัยตลอดจนนักเรียนโรงเรียนปทุมราชวงศาที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในการเก็บรวบรวมข้อมูล ขอขอบ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณนักศึกษาวิทยาศาสตร์ศึกษาปริญญาเอก รุ่นที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ช่วยสนับสนุนการเก็บข้อมูล และให้ข้อเสนอแนะ

ชันทิ เท็ดธัญญา

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การจัดการเรียนรู้เรื่องไฟฟ้ากระแสตรงแบบ PEER INSTRUCTION ผนวกการ
สอนแบบอุปมา
ผู้วิจัย : ชันติ เทตธัญญา
ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา : วิทยาศาสตร์ศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม
คำสำคัญ : การสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อน, การสอนแบบอุปมา, แนวคิดเป้าหมาย,
แนวคิดคล้ายคลึง

การมีปฏิสัมพันธ์กันของผู้เรียนก่อให้เกิดการเรียนรู้ที่ดีขึ้น จากการสำรวจพบว่าการสอนแบบมีปฏิสัมพันธ์ส่งผลให้ผู้เรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับปานกลางแต่การสอนแบบบรรยายมีทำให้ผู้เรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับต่ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการนำวิธีการสอนแบบมีปฏิสัมพันธ์มาใช้เพื่อพัฒนาความเข้าใจเรื่องไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งการสอนแบบมีปฏิสัมพันธ์ที่เลือกใช้ คือ การสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อน เนื่องจากการสอนที่เน้นการพัฒนาความเข้าใจของผู้เรียน อย่างไรก็ตามผู้วิจัยจำเป็นต้องใช้การสอนแบบอุปมาเข้ามาผนวกด้วย เนื่องจากไฟฟ้าเป็นสิ่งที่มองไม่เห็นได้ด้วยตาเปล่าพร้อมทั้งทำการพัฒนาชุดสาธิตขึ้นมาเพื่อแสดงให้เห็นความชัดเจนของการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้า โดยเน้นความแม่นยำของตัวเลขและพกพาสะดวก ชุดสาธิตนี้พัฒนาขึ้นด้วย Arduino Mega 2560, Arduino Nano V3, Current Sensor (WCS2705) และ Voltage and Current Sensor IC (MAX471/MAX472) หลังจากต่อวงจรและเขียนโค้ดเรียบร้อยแล้วผู้วิจัยจึงนำอุปกรณ์ชนิดนี้ไปสอบเทียบกับเครื่องวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้า (Agilent 34401A) โดยเครื่องมือมีความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 นำข้อมูลที่ได้มาพล็อตกราฟหาสมการเชิงเส้นและค่า R-square อยู่ที่ 0.99 พร้อมทั้งแก้โค้ดเพื่อแสดงค่าการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าที่แม่นยำ หลังจากนั้นนำชุดสาธิตไปให้ผู้เชี่ยวชาญลงความเห็นเพื่อหาประสิทธิภาพด้วยกันทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ รูปลักษณะทั่วไป ความเชื่อมโยงกับเนื้อหา ความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.0 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับดี หลังจากนั้นใช้ชุดทดลองกับการสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อนผนวกกับการสอนแบบอุปมากับนักเรียนมัธยมศึกษา 3 โรงเรียนปทุมราชวงศา พบว่า ความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับปานกลาง $\langle g \rangle = 0.31$ ต่อด้วยการสำรวจความคิดเห็นของผู้เรียนเกี่ยวกับพลังงานด้วยการอุปมาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเชี่ยวชาญทางเนื้อหาและความคิดเห็นเกี่ยวกับลักษณะพลังงานไฟฟ้า พบว่า ผู้เรียนที่มีคะแนนสูงกว่า มีแนวโน้มมองว่าพลังงานไฟฟ้ามีลักษณะเด่นคือสามารถถ่ายโอนได้และพบลักษณะ

การอุปมาเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าของผู้เรียนส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลมาจากการสอนโดยตรง และจากการสำรวจการอุปมาของผู้เรียนร้อยละ 10.71 มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์

ABSTRACT

TITLE : TEACHING DIRECT CURRENT BY PEER INSTRUCTION (PI) AND
ANALOGIES APPROACH
AUTHOR : KHANTI TOEDTANYA
DEGREE : MASTER DEGREE OF SCIENCE
MAJOR : SCIENCE EDUCATION
ADVISOR : ASST. PROF. SURA WUTTIPROM, Ph.D.
KEYWORDS : PEER INSTRUCTION, ANALOGIES APPROACH, ANALOG CONCEPT,
TARGET CONCEPT

Interactive engagement results better learning outcomes. From the surveys, Interactive Engagement methods (IE) have been found that it could gain students' learning in a medium gain regime. Conversely, students who learned with Traditional Lecture-Based Instruction (TRAD) were mostly found students' improvement in a low gain regime. For this reason, the researcher aimed to present IE in order to enhance the conceptual understanding in direct current. There various types of IE methods; however, the researcher chose Peer Instruction (PI) to tackle the misconception. In addition, it is very necessary to project the visual of electrical current by using analogies. Since, electrical current happens in microscopic scale and there is no chance for bare-eye observation. Then, the researcher developed a demonstration tool for displaying current and voltage measurement. The purpose of this development was to have a good demonstration tool – portable and precise measurement. The demonstration tool is composed by Arduino Mega 2560, Arduino Nano V3, current sensor (WCS2705) and voltage sensor (IC MAX471/MAX472). After testing a circuit and coding, the researcher calibrated the demonstration tool for validation with current and voltage measurement instrument (Agilent 34401A) – an instrument has 4 digit decimals place. After the calibration, the researcher collected the data and plotted graphs for finding the linear equations and R-square value. The R-square value was 0.99, and the linear equations were applied in coding for precise current-voltage measurement. The last but not least, the researchers took a

demonstration tool for finding efficiency for itself by three professional teachers. The consideration was divided into three categories including overall appearance, content coherence, and facilitation, and the average score was 4.0 (good level). Finally, the researcher used a demonstration tool with PI and analogies approach with grade 9 students from Pathum Ratchawongsa School. The students' normalized gain was in a medium gain ($\langle g \rangle = 3.1$). Before taking a test, the researcher investigated students' analogies for determining the relationship between mastery in science and students' analogies. The result showed that students who had mastery in science tended to look the energy as transferable. Furthermore, students' analogies were mostly from class instruction can reflect misconception by 10.71% of students writing misconception in analogies.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	4
1.4 ตัวแปรที่ศึกษา	4
1.5 ประชากร	5
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	5
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไฟฟ้า และวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย	6
2.2 ศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และตัวต้านทาน	8
2.3 กฎของโอห์ม	10
2.4 การต่อตัวต้านทาน	12
2.5 การออกแบบชุดสาธิต	11
2.6 การสอนและทฤษฎี	16
2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การสร้างและการหาประสิทธิภาพของชุดสาธิตเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรง	20
3.2 การออกแบบและพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้	26
3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย และอภิปรายผล	
4.1 การวิเคราะห์พัฒนาการทางความคิดรวบยอด	31
4.2 การวิเคราะห์ข้อสอบจากการสอบก่อนเรียนและหลังเรียน	32
4.3 การวิเคราะห์คำตอบจากขั้นตอนของการสอนแบบ Peer Instruction (PI) โดยใช้ Plickers	43
4.4 การวิเคราะห์คะแนนกับการอุปมา	45
4.5 การวิเคราะห์การอุปมาของผู้เรียน	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	
ก เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้	58
ข เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล	69
ค เอกสารเกี่ยวกับชุดสาธิต	81
ง คะแนนและค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง	89
จ การตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการ	91
ฉ รูปประกอบการทำกิจกรรม	97
ช การพัฒนาโปรแกรมและข้อมูลการสอบเทียบ	101
ซ รูปการพัฒนาชุดสาธิต	108
ประวัติผู้วิจัย	111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ผลการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์จากผู้เชี่ยวชาญ	24
3.2	แบบแผนการวิจัย	26
3.3	แนวคิดสำคัญของแบบทดสอบ EIRECT	27
4.1	เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรงก่อน-หลังเรียน ด้วยการจัดกิจกรรมการสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อนผนวกการสอนแบบอุปมา	31
4.2	การเปรียบเทียบคะแนนระหว่างการสอนและการสอบหลังเรียน	43
4.3	การจำแนกลักษณะของการอุปมาและคะแนนสอบหลังเรียน	46
4.4	ตัวอย่างของการอุปมาจำแนกตามลักษณะของพลังงาน	48
4.5	ตารางการจำแนกลักษณะอุปมาตามความเข้าใจผิดและคะแนนสอบหลังเรียน	49
4.6	ตัวอย่างของการอุปมาจำแนกตามลักษณะความเข้าใจผิด	49
ข.1	คำตอบของข้อสอบวัดความเข้าใจเรื่องไฟฟ้ากระแสตรง	78
ค.1	คำถามวัดความเข้าใจ	83
ง.1	วิเคราะห์ผลคะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หลังเรียน (Post-test) และความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคล <g>	90
ช.1	การสอบเทียบเครื่องมือการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้า	107

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	การวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่	3
1.2	ชุดสาธิต เรือง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง	4
2.1	วงจรปิดหลอดไฟสว่าง	7
2.2	วงจรเปิดหลอดไฟไม่สว่าง	7
2.3	อิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนที่ชนกับอะตอมของโลหะตัวนำทำให้เกิดความร้อน	10
2.4	กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานแบบอนุกรม	11
2.5	การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานแบบขนาน	11
2.6	ผังวงจรของบอร์ด Arduino nano V3	12
2.7	ผังวงจรของบอร์ด Arduino Mega 2560	12
2.8	วงจรการวัดกระแสและความต่างศักย์ด้วยอาดูโน	13
2.9	สัญลักษณ์ของวงจรขยายสัญญาณ	13
2.10	ศักย์ไฟฟ้า V_o มีค่าไม่เกินศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้วงจรขยายสัญญาณ	14
2.11	วงจรของ 7segment 74HC595	15
2.12	ข้อมูลของการวัดกระแสและเวลาโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่	16
2.13	ข้อมูลของการวัดกระแสและเวลาโดยไม่ใช้ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่	16
3.1	Arduino Mega 2560	20
3.2	Arduino Nano V3	21
3.3	ตัววัดกระแส ACS712 5A (ACS712-5A)	21
3.4	ตัววัดกระแส WCS2702 2A (WCS2702-2A)	22
3.5	ตัววัดศักย์ไฟฟ้า IC-MAX472	22
3.6	หน้าจอแสดงผล Four digital tube LED display ขนาด 0.80"	22
3.7	การต่อตัววัดกระแส ศักย์ไฟฟ้าและหน้าจอแสดงผลเข้ากับ Arduino Nano V3	24
3.8	การสอบเทียบกระแสสำหรับตัววัดกระแสตัวที่ 1	25
3.9	การสอบเทียบกระแสสำหรับตัววัดกระแสตัวที่ 2	25
3.10	การสอบเทียบกระแสสำหรับตัววัดกระแสตัวที่ 3	26
3.11	การสอบเทียบศักย์ไฟฟ้าสำหรับตัววัดวัดศักย์ไฟฟ้า	26
4.1	คะแนนสอบก่อน-หลังเรียน	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.2	ข้อสอบข้อที่ 1 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน	33
4.3	ข้อสอบข้อที่ 2 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน	34
4.4	ข้อสอบข้อที่ 4 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน	35
4.5	ข้อสอบข้อที่ 5 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน	36
4.6	ข้อสอบข้อที่ 11 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน	37
4.7	ข้อสอบข้อที่ 14 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน	38
4.8	ข้อสอบข้อที่ 17 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน	39
4.9	ข้อสอบข้อที่ 18 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน	40
4.10	ข้อสอบข้อที่ 19 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน	41
4.11	ข้อสอบข้อที่ 20 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน	42
4.12	จำนวนผู้เรียน (ร้อยละ) ที่เลือกเขียนลักษณะของพลังงาน	47
ฉ.1	การสอนแบบอุปมา	98
ฉ.2	ชั้นนำเข้าสู่บทเรียนโดยการให้ผู้เรียนด้วยการให้ผู้เรียนออกมาสาธิต	99
ฉ.3	การสาธิต เรื่องไฟฟ้ากระแสตรง หลังจากเฉลยคำถามวัดความเข้าใจ	100
ช.1	การสอบเทียบเครื่องมือและเครื่องวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้า Agilent E34401A	109
ช.2	การประกอบชุดสาธิต	110

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสอนแบบปฏิสัมพันธ์ (Interactive Engagement: IE) หมายถึง การสอนที่เน้นการกระตุ้นด้วยคำถามให้ผู้เรียนได้คิดและมีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกันโดยผู้สอนทำหน้าที่เป็นผู้คอยแนะแนวทางโดยมีอุปกรณ์เข้ามาช่วยเช่น คอมพิวเตอร์ หรือ ชุดคำถาม จากการสำรวจโดยใช้แบบวัดความเข้าใจเรื่องแรง (Force Concept Inventory: FCI) และแบบวัดความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE) ผู้เรียนประมาณ 45,000 คน จากห้องเรียนประมาณ 600 ห้องเรียน โดยผู้เรียนเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ที่ลงเรียนรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐานจากมหาวิทยาลัยในสหรัฐอเมริกาหรือแคนาดาผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนที่ได้รับการสอนแบบ IE มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยมากกว่าผู้เรียนที่เรียนด้วยวิธีแบบดั้งเดิม (Traditional Lecture-Based Instruction: TRAD) โดยชั้นเรียนที่สอนแบบ IE มีความก้าวหน้าทางการเรียนส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับปานกลาง (Normal gain) ส่วนผู้เรียนที่เข้าเรียนในชั้นเรียนที่มีการสอนแบบ TRAD มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Low gain) ดังนั้นจึงเชื่อได้ว่าการสอนแบบ IE จะช่วยให้ผู้เรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนดีกว่าแบบ TRAD (Joshua, et al., 2016) ซึ่งก่อนหน้านี้ได้มีการสำรวจความก้าวหน้าทางการเรียนของผู้เรียน 6542 คน ที่เข้าเรียนในรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐานและพบว่าผู้เรียนกว่าร้อยละ 85 ผู้ซึ่งเข้าเรียนในรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐานแต่มีการสอนแบบ IE ผลความก้าวหน้าของผู้เรียนอยู่ในระดับปานกลาง (Hake, 1998) แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่เกิดขึ้นในการเรียนการสอนแบบ IE มีหลายรูปแบบแต่รูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมคือ การสอนแบบ Peer Instruction: PI โดยเน้นให้ผู้เรียนเกิดการถกเถียงซึ่งกันและกันจึงส่งผลให้เกิดความก้าวหน้าทางการเรียน แต่วิธีดังกล่าวยังมีข้อจำกัด ในกรณีที่ผู้เรียนมีจำนวนมาก (100-200 คน) ผู้สอนไม่สามารถแน่ใจได้ว่าผู้เรียนทุกคนมีปฏิสัมพันธ์กันทุกคนหรือไม่ ยังไม่มีหลักฐานเชิงประจักษ์มายืนยันว่าการสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อนสามารถทำให้ผู้เรียนทุกคนมีการถกเถียงกันในชั้นเรียน (Nicolas, Julien, and Vincent, 2015) แต่ในวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง 26 คน ซึ่งถือว่าเป็นห้องเรียนขนาดเล็ก และปัญหาอีกหนึ่งอย่างคือการใช้อุปกรณ์บันทึกคำตอบโดยส่วนใหญ่การสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อนสำหรับสถานศึกษาที่มีงบประมาณสูง ส่วนใหญ่มีเครื่องมือที่เรียกว่า Clickers ซึ่งเป็นระบบโต้ตอบในชั้นเรียน (Classroom Respond System: CRS) ซึ่งทำหน้าที่บันทึกคำตอบของผู้เรียนได้ทันทีแต่ต้องแลกกับราคาที่ค่อนข้างสูงประมาณ 40 USD ต่อชิ้น แต่อุปกรณ์ที่สามารถใช้แทนได้และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน คือ

Plickers เป็น โปรแกรมที่ใช้โทรศัพท์มือถือที่มีกล้องและต่ออินเทอร์เน็ตได้มาช่วยในการประเมินความรู้ของผู้เรียน (Wuttiptom, et al., 2017) (สุระ วุฒิพรหม และคณะ, 2561)

เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง ไม่สามารถทำให้เห็นภาพได้ชัดเจนได้เพราะกระบวนการที่เกิดขึ้นเกิดขึ้นในระบบจุลภาคซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยสายตา (Thacker, Beth Ann, Uri Ganiel and Donald Boys, 1999) จึงถือเป็นเรื่องยากที่จะทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจตั้งนั้นการสอนแบบอุปมา (Teaching with Analogies) เป็นเครื่องมือช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดระดับยากในวิชาวิทยาศาสตร์ ด้วยการเชื่อมโยงลักษณะที่มีความคล้ายคลึงกัน (Duit, 1991) ยิ่งไปกว่านั้นการอุปมาโดยให้มากกว่า 1 ตัวอย่าง ส่งผลให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดได้ดีกว่าการอุปมาด้วยตัวอย่างเดียว (Chiu and Lin, 2005) และการสอนแบบอุปมายังทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจและพัฒนาการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ (Glynn, 2008) ในแง่ของการให้ผู้เรียนอุปมาด้วยตนเองช่วยสะท้อนให้ผู้สอนเห็นว่าผู้เรียนมีความคิดรวบยอดเป็นอย่างไรและโดยความคิดรวบยอดของผู้เรียนสามารถสะท้อนออกมาผ่านการอุปมา ผู้เรียนส่วนใหญ่จะมีการอุปมาลักษณะของพลังงานแตกต่างกันไปตามวิชาที่เรียนขึ้นกับว่าวิชานั้นเน้นลักษณะใดของพลังงานเป็นสำคัญ (Lancor, 2015) ซึ่งรวมไปถึงการสะท้อนความเข้าใจผิดที่เกิดขึ้นในการอุปมา เช่น การอนุมานที่ผิดไปจากความเป็นจริง ความเชื่อที่ไม่สามารถพิสูจน์ได้โดยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หรือ การใช้คำที่สื่อความหมายผิดเพี้ยนออกไป (Toedtanya and Wuttiptom, 2017) แต่การอุปมาแต่ละตัวอย่างที่ถูกหยิบยกขึ้นมาใช้ย่อมมีข้อจำกัดในตัว ดังนั้นการสอนเรื่อง เรื่องไฟฟ้ากระแสตรงและกฎของโอห์มจึงจำเป็นต้องใช้การอุปมาที่หลากหลายเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจในรายละเอียดที่สำคัญทั้งสามอย่าง คือ กระแสไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้า และ ความต้านทาน (Dagher, 1994)

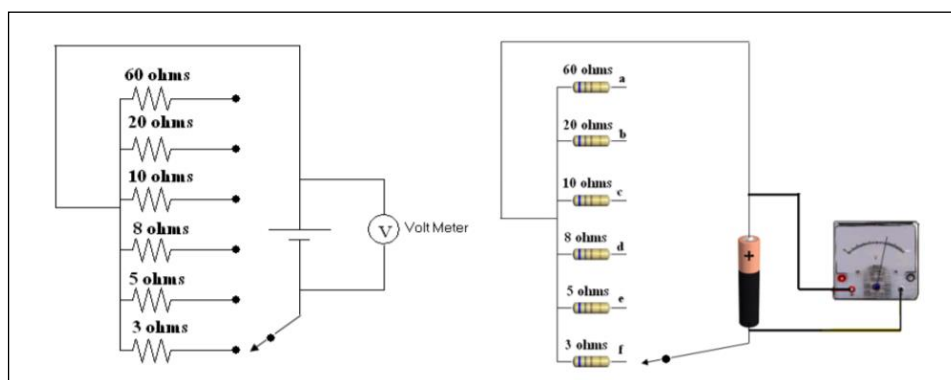
การสอนแบบอุปมาใช้หลักการเปรียบเทียบลักษณะที่เหมือนหรือคล้ายกันของเรื่องที่เคยเรียนผ่านมาแล้วกับหัวข้อใหม่ที่กำลังเรียนอยู่ การสอนดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์เพื่อเชื่อมโยงลักษณะที่คล้ายกันยกตัวอย่างเช่น การสอนเรื่องแรงระหว่างประจุ โดยใช้การสอนแบบอุปมา ผู้สอนใช้การเปรียบเทียบระหว่าง แรงระหว่างประจุและแรงดึงดูดระหว่างมวล (Glynn, 2008) ผู้เรียนในระดับมัธยมศึกษาและมหาวิทยาลัยยังคงมีความเข้าใจในเรื่องไฟฟ้ากระแสตรงไปจากคำอธิบายซึ่งเป็นที่ยอมรับ (Engelhardt and Beichner, 2004) เพราะการเรียนการสอนฟิสิกส์ในระดับมัธยมและมหาวิทยาลัยเน้นการแก้โจทย์ปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ (Bernhard, 1997) นอกจากนี้ผู้เรียนแต่ละคนยังมีการรับรู้ทางความคิดที่แตกต่างกันและบางคนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนก่อนที่จะเริ่มเรียน (Chui and Lin, 2005)

การจะปรับความเข้าใจของผู้เรียนได้ผู้สอนต้องทราบเสียก่อนว่าผู้เรียนมีความเข้าใจต่อเรื่องที่จะสอนเป็นอย่างไรเพื่อแก้ปัญหาให้ตรงจุดวิธีในการสำรวจความเข้าใจของผู้เรียนที่นิยมส่วนใหญ่คือ ใช้แบบสอบถามวัดความเข้าใจ หรือสัมภาษณ์ผู้เรียนเมื่อพบว่าผู้เรียนมีความเข้าใจอย่างไรแล้ว จึงสร้างสถานการณ์เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางความคิด นำไปสู่การสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องให้

ผู้เรียน (National Research Council, 1997) ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่ากิจกรรมการสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อนมีความเหมาะสมเพราะเน้นให้ผู้เรียนได้โต้แย้งแสดงความคิดเห็นกันในห้องเรียน

เนื่องด้วยการแก้ปัญหาความเข้าใจผิดพลาดในเรื่องของไฟฟ้าและแม่เหล็กกับเรื่องของกลศาสตร์ จะเห็นได้ว่าไฟฟ้าและแม่เหล็กมีจำนวนน้อยกว่ามาก (Thacker, Ganiel, and Boys, 1999; Engelhardt and Beichner, 2004) จึงเป็นสาเหตุให้ผู้วิจัยต้องการลงมือสร้างชุดสาธิต เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรงและทำการสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อน

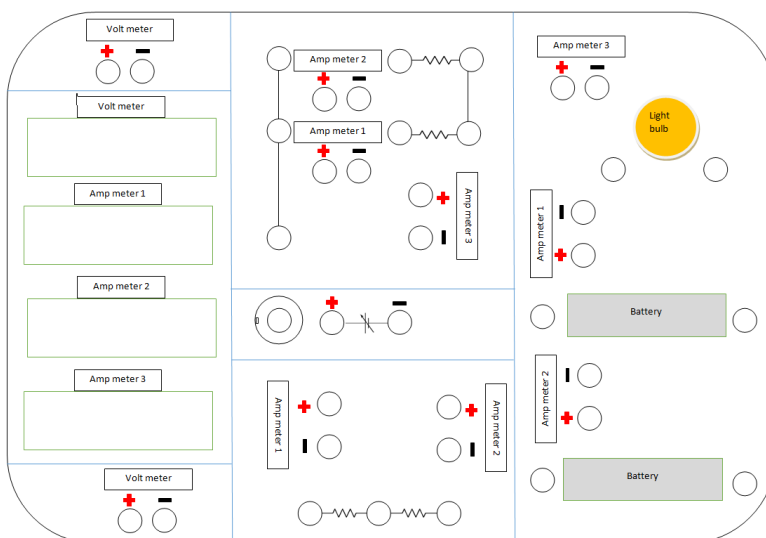
ชุดการทดลอง เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง ในแผนการจัดการเรียนรู้ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มีอุปกรณ์คือ วงจรไฟฟ้าและมัลติมิเตอร์ ซึ่งวงจรไฟฟ้าประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ ตัวต้านทานที่มีค่าต่างกัน สายไฟปากคีบ ในส่วนของการทดลองผู้ทดลองทำการวัดความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทานที่มีค่าแตกต่างกัน 60 โอห์ม 20 โอห์ม 10 โอห์ม 8 โอห์ม 5 โอห์ม และ 3 โอห์ม ตามลำดับ ต่อมา นำความต่างศักย์ที่ได้ไปคำนวณหาค่ากระแส หลังจากนั้นนำข้อมูลไปเขียนเป็นกราฟระหว่าง V-I โดยให้แกนตั้งเป็นความต่างศักย์ (V) และแกนนอนเป็นกระแส (I) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) โดยชุดทดลองมีลักษณะดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 การวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560)

ผู้วิจัยจึงพัฒนาชุดการทดลองเพื่อต่อยอดนอกจากการทำให้ผู้เรียนเข้าใจกฎของโอห์มผู้วิจัยยังต้องการให้ผู้เรียนเห็นปริมาณของกระแสและศักย์ไฟฟ้าในการต่อตัวต้านทานแบบขนานและอนุกรม ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงรวมถึงสามารถแสดงผลของกระแสและศักย์ไฟฟ้าจากการต่อแบตเตอรี่แบบขนานและแบบอนุกรมรวมอยู่ด้วย พร้อมทั้งออกแบบให้มีความกะทัดรัดมากยิ่งขึ้น สามารถพกพาได้สะดวกดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 ชุดสาธิต เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบและพัฒนาชุดสาธิต เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อพัฒนาความเข้าใจเรื่องการต่อวงจรแบบอนุกรมและแบบขนาน

1.2.2 เพื่อพัฒนาความคิดรวบยอด เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนสอบหลังเรียนและลักษณะการอุปมาพลังงานไฟฟ้าของผู้เรียน

1.2.4 เพื่อจัดกลุ่มลักษณะการอุปมาพลังงานไฟฟ้าของผู้เรียน

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ชุดสาธิต เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง มีประสิทธิภาพ

1.3.2 ผู้เรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

1.3.3 คะแนนสอบหลังเรียนมีความสัมพันธ์กับลักษณะการอุปมาพลังงานไฟฟ้าของผู้เรียน

1.3.4 ลักษณะการอุปมาพลังงานไฟฟ้าของผู้เรียนเน้นเรื่องการถ่ายโอนและเปลี่ยนรูปพลังงาน

1.4 ตัวแปรที่ศึกษา

1.4.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ การสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อนผนวกการสอนแบบการอุปมา เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง และความเชี่ยวชาญในเนื้อหา

1.4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความเข้าใจของผู้เรียน และการอุปมาของผู้เรียน

1.5 ประชากร

ประชากร คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3/1 จำนวน 26 คน ณ โรงเรียนปทุมราชวงศา อำเภอบึงสามพัน จังหวัดอำนาจเจริญ

1.6. นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 การสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อน (Peer Instruction) หมายถึง การสอนที่มีขั้นตอนดังนี้

1.6.1.1 จัดเตรียมเนื้อหาให้ผู้เรียนได้ศึกษาก่อนเริ่มดำเนินการสอน

1.6.1.2 หลังจากทำการบรรยายอย่างรวบรัด (10-15 นาที) ผู้สอนทำการถามคำถามวัดความเข้าใจในหัวข้อเรื่องที่เพิ่งบรรยายไป

1.6.1.3 ให้เวลาผู้เรียนคิด 1-2 นาที

1.6.1.4 ให้ผู้เรียนทำการโหวตคำตอบโดยใช้อุปกรณ์ (Clickers Plickers อื่น ๆ)

1.6.1.5 ถ้ามีผู้เรียนตอบคำถามถูกน้อยกว่า ร้อยละ 30 ให้กลับไปขึ้นการบรรยายใหม่

1.6.1.6 ให้ผู้เรียนแต่ละคนคิดและทำการโหวตอีกครั้ง

1.6.1.7 ถ้าคำตอบถูกต้อง ร้อยละ 30-70 ให้ผู้เรียนทำการโต้เถียงกันเกี่ยวกับคำถาม

1.6.1.8 ให้ผู้เรียนโหวตอีกครั้งถ้าหากผู้เรียนตอบถูกเกิน ร้อยละ 70 ให้อธิบายคำตอบและเลื่อนคำถามไปข้อถัดไป แต่ถ้าคำตอบยังตะกุกตะกักให้ผู้สอนทำการทบทวนเล็กน้อยแล้วค่อยดำเนินการตามกระบวนการอีกครั้งหนึ่ง

1.6.1.9 กระตุ้นให้ผู้เรียนตระหนักถึงความเชื่อมโยงของกิจกรรมเพื่อขยายผลให้กว้างขึ้น

1.6.2 การสอนแบบอุปมา (Teaching with Analogies) หมายถึง การสอนที่เน้นการเปรียบเทียบแนวคิดสองแนวคิดได้แก่ แนวคิดเป้าหมาย (Target concept) และ แนวคิดคล้ายคลึง (Analog concept) โดยการหาจุดที่มีความเหมือนกันเพื่อให้ผู้เรียนเห็นภาพและคิดตามได้ง่ายขึ้น

1.6.3 แนวคิดเป้าหมาย (Target concept) หมายถึง แนวคิดที่อยากให้ผู้เรียนเข้าใจ

1.6.4 แนวคิดคล้ายคลึง (Analog concept) หมายถึง แนวคิดที่ผู้เรียนเคยเห็นและลักษณะบางอย่างที่ตรงกับแนวคิดเป้าหมาย

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1.7.1 ชุดสาธิต เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง

1.7.2 ผู้เรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

1.7.3 ทราบแนวโน้มของคะแนนสอบหลังเรียนมีความสัมพันธ์กับลักษณะการอุปมาพลังงานไฟฟ้าของผู้เรียน

1.7.4 ทราบลักษณะการใช้การอุปมาของผู้เรียน

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

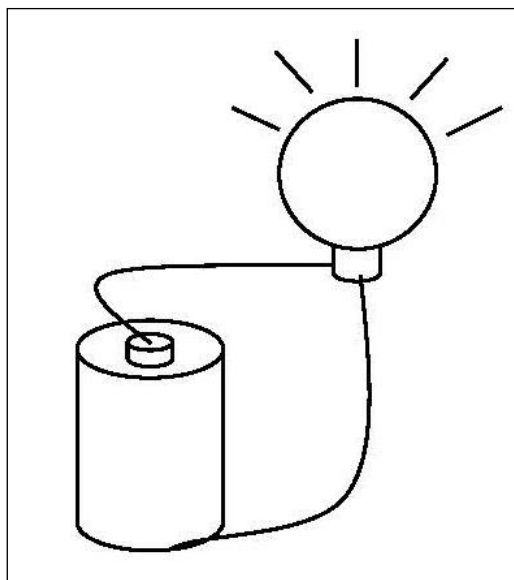
ในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้า รวบรวมเอกสาร แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัย ในขั้นแรกเริ่มผู้วิจัยรวบรวมประวัติการค้นพบไฟฟ้าและวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน ขั้นต่อมาคือการสร้างความเข้าใจค่านิยมเกี่ยวกับไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำไปต่อยอดได้ในการใช้กฎของโอห์มและการต่อตัวต้านทานทั้งหมดที่กล่าวมาคือ ความรู้พื้นฐานเบื้องต้นสำหรับไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อสร้างชุดสาธิต เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง ผู้วิจัยจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ในการวัดและแสดงผลปริมาณทางไฟฟ้า เมื่อได้ชุดทดลองแล้วจึงเป็นส่วนของการนำไปสอนและวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 ไฟฟ้า และวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย

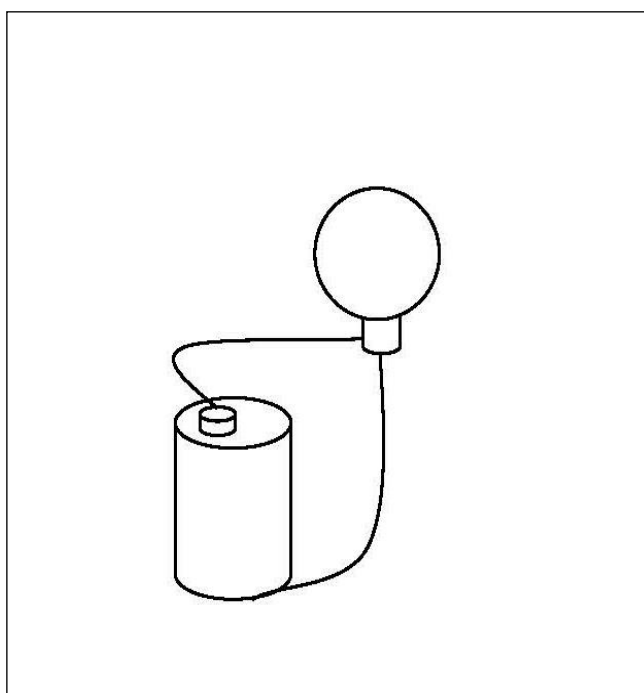
คำว่าไฟฟ้า (Electricity) มาจากรากศัพท์คำว่า Electron ในภาษากรีกซึ่งหมายถึงแห่งอำพัน ด้วยเหตุว่าเมื่อนำแห่งอำพันไปถูกับผ้าขนสัตว์แล้วทำให้เกิดการดูดหรือการผลักของวัสดุชนิดต่างกับกับแห่งอำพัน (Charles, W. Ryan, 1976: 1) แต่โดยค่านิยมสำหรับคำว่าไฟฟ้าในปัจจุบันคือพลังงานรูปแบบหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นจากอนุภาคที่มีประจุเช่น อิเล็กตรอน หรือ โปรตรอน (Richard, J. Fowler, 1999: 1)

ก่อนการต่อวงจรไฟฟ้าสิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องรู้คือเรื่องของตัวนำไฟฟ้าและฉนวนไฟฟ้า การค้นพบที่สำคัญของ Stephen Gary ในปี 1729 พบว่าทองเหลืองยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านแต่ผ้าไหมมีคุณสมบัติตรงกันข้ามกับทองเหลืองคือไม่ยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่าน ต่อมาจึงมีเกณฑ์การจำแนกออกว่าวัสดุออกเป็นฉนวนและตัวนำ เนื่องจากความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ทำให้ปัจจุบันนี้มีวัสดุเพิ่มขึ้นมาอีกประเภทหนึ่งคือสารกึ่งตัวนำแต่ในวงจรอย่างง่ายจะกล่าวถึงแค่ฉนวนกับตัวนำ (Morley, A. and Edward, H., 1994: 26) ดังนั้นวงจรอย่างง่ายจึงประกอบด้วยสิ่งสำคัญสามอย่างคือ 1) แบตเตอรี่(แหล่งพลังงาน) 2) อุปกรณ์ไฟฟ้า (ตัวต้านทาน หม้อหุงข้าว ฯลฯ) และ 3) ตัวนำไฟฟ้า(เส้นลวด) ตัวนำทำหน้าที่นำให้กระแสไฟฟ้าจากขั้วบวกผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าและกลับเข้ามาสู่ขั้วลบของแบตเตอรี่ จากการต่อวงจรปิดภาพที่ 2.1 และวงจรเปิดดังภาพที่ 2.2 ซึ่งกระแสไม่สามารถไหลได้ (Charles, W. Ryan, 1976: 34-35) การไหลของกระแสไฟฟ้าคือการไหลของอิเล็กตรอนในเส้นลวด โดยหลักการไหลของอิเล็กตรอนในขดลวดจะไหลจากตำแหน่งที่มีความต่างศักย์สูงไปยังตำแหน่งที่มีความต่างศักย์ต่ำกว่า นอกจากนี้ อิเล็กตรอนถือเป็นสารดังนั้นตามกฎหมายแล้วอิเล็กตรอนจึงไม่มีการสูญหาย (The conservation

of electric charge) ทำให้ได้ข้อสรุปปริมาณของอิเล็กตรอนก่อนและหลังการต่อวงจรมีค่าเท่าเดิม (Breithaupt, 2015: 285)



ภาพที่ 2.1 วงจรปิดหลอดไฟสว่าง



ภาพที่ 2.2 วงจรเปิดหลอดไฟไม่สว่าง

2.2 ศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และตัวต้านทาน

แรงดันจากปั้มน้ำที่ทำให้น้ำไหลในท่อ ทำนองเดียวกันแรงดันที่ทำให้กระแสไฟฟ้าเกิดการไหล เราเรียกว่า “ศักย์ไฟฟ้า” (Charles, W. Ryan, 1976: 19) ในหนังสือบางเล่มเรียกความต่างศักย์ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force: emf) หมายถึง แรงที่ทำให้ประจุเกิดการเคลื่อนที่ แต่เมื่อลงมือทำการทดลองเพื่อวัดศักย์ไฟฟ้า ส่วนใหญ่จะคุ้นกับคำว่าวัดความต่างศักย์ (Potential Difference: p.d.) จากจุดสองจุด ซึ่งทั้งสามคำนี้หมายถึงสิ่งเดียวกันคือสิ่งที่ทำให้ประจุเคลื่อนที่ (Richard, J. Fowler, 1999: 21) ในแง่ของพลังงานแบตเตอรี่มีศักย์ไฟฟ้าอยู่ในตัวเมื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับหลอดไฟ พลังงานเคมีถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปพลังงานแสง ศักย์ไฟฟ้าในวงจรจะทำหน้าที่เคลื่อนที่ประจุจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ศักย์ไฟฟ้า 6.0 V ต่อเข้ากับหลอดไฟ 6.0V ทุก ๆ ประจุ 1 คูลอมบ์ จะส่งพลังงานไฟฟ้า 1 จูล สมการที่ 2.1 ความต่างศักย์ จึงหมายถึงอัตราระหว่างพลังงาน ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุ (Breithaupt, J, 2015: 185)

$$V = \frac{E}{Q} \quad (2.1)$$

V หมายถึง ศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูลต่อคูลอมบ์ (J/C) หรือ โวลต์ (V)

E หมายถึง พลังงานมีหน่วยเป็น จูล (J)

Q หมายถึง ประจุมีหน่วยเป็น คูลอมบ์ (C)

กระแสไฟฟ้าเกิดจากการไหลของอิเล็กตรอน (Electron Flow) ในตัวนำไฟฟ้า อิเล็กตรอนไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวกโดยอาศัยหลักการที่ว่าอิเล็กตรอนมีที่ประจุลบจะต้องวิ่งเข้าหาขั้วบวกแต่ในทางกลับกันการกำหนดทิศการไหลของกระแส (Current Flow หรือ Conventional Flow) กำหนดให้ไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ เนื่องจากเราใช้ทิศการไหลของกระแสเหมือนกับการไหลของน้ำคือไหลจากที่สูงไปสู่ที่ต่ำ กล่าวคือไหลจากศักย์สูง (ขั้วบวก) ไปยังศักย์ต่ำ (ขั้วลบ) (Charles, W. Ryan, 1976: 22) การกำหนดอัตราไหลของกระแสจะนับประจุที่ไหลในหนึ่งหน่วยเวลา โดยกระแส 1 แอมแปร์ มีค่าการไหลเท่ากับจำนวนประจุ 1 คูลอมบ์ ต่อหน่วยเวลาวินาที ดังสมการที่ 2.2 (Breithaupt, J, 2015: 184)

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.2)$$

I หมายถึง กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น คูลอมป์ต่อวินาที (Q/s) หรือ แอมแปร์ (A)

Q หมายถึง ประจุมีหน่วยเป็น คูลอมป์ (C)

t หมายถึง เวลา มีหน่วยเป็น วินาที (s)

ถ้าวัสดุมีความต้านทานน้อยถือว่าเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เช่น ทองแดง, เงิน และโลหะชนิดต่าง ๆ แต่ถ้าวัสดุมีความต้านทานเยอะให้ถือว่าเป็นตัวนำที่ไม่ดี (ฉนวนที่ดี) คือไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ เช่น แก้ว ไม้ ยาง ฯลฯ ในกรณียกเว้นหากวัสดุ เช่น เซรามิกยอมให้กระแสไหลผ่านแต่ไหลผ่านน้อย มากยังคงถือว่าวัสดุเป็นตัวนำไฟฟ้าวัสดุเช่นนี้มีคุณสมบัติด้านการไหลของกระแสไฟฟ้าจึงเรียกวัดวัสดุดังกล่าวว่า “ตัวต้านทาน” (Charles, W. Ryan, 1976: 24) ความต้านทานขึ้นอยู่กับสภาพต้านทานของวัสดุ ความยาว (L) เมตร และพื้นที่หน้าตัด (A) ตารางเมตร เป็นไปตามสมการที่ 2.3

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.3)$$

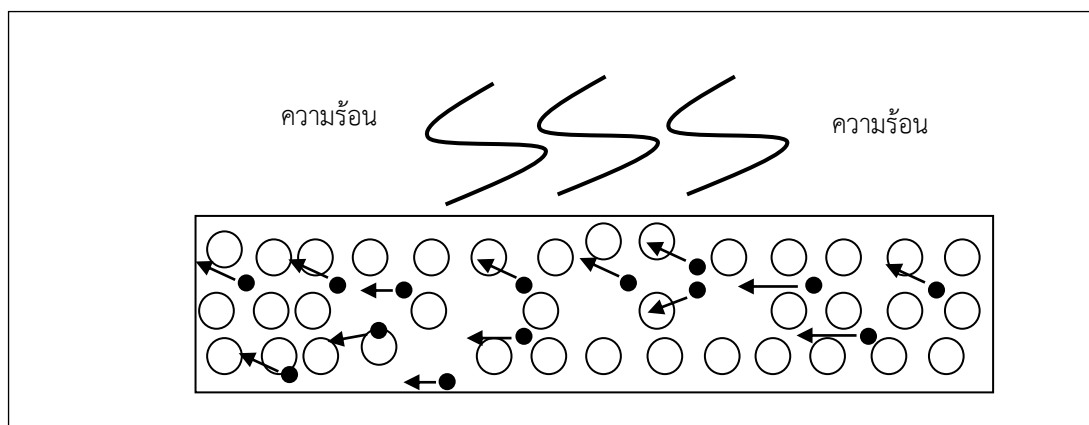
R หมายถึง ความต้านทานของวัสดุมีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

ρ หมายถึง สภาพต้านทานของวัสดุมีหน่วยเป็น โอห์ม-เมตร (Ωm)

L หมายถึง ความยาวของเส้นลวดมีหน่วยเป็น เมตร (m)

A หมายถึง ความยาวของเส้นลวดมีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

แบบจำลองในระดับจุลภาคดังภาพที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในโลหะ โดยทุกครั้งที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่เข้าไปชนกับอะตอมโลหะจะเกิดการถ่ายโอนพลังงาน (เกิดความเสียดทาน) ทำให้โลหะมีอุณหภูมิสูงขึ้น (H, Chris. and O, Keith, 2007: 106) อิเล็กตรอนอาจจะเกิดการชนกันเองบ้าง หรือชนกับอะตอมของโลหะบ้างจึงทำให้เกิดการสูญเสียความเร็ว จึงเป็นไปได้ยากที่จะระบุความเร็วของอิเล็กตรอนแต่ละตัว นักวิทยาศาสตร์จึงหาความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนทุกตัวในระบบออกมา เรียกว่า ความเร็วลอยเลื่อน (Drift Velocity) (Anthony, 2015: 271)



ภาพที่ 2.3 อิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ชนกับอะตอมของโลหะตัวนำทำให้เกิดความร้อน

2.3 กฎของโอห์ม (Ohm's Law)

เมื่อต่อตัวต้านทานเข้ากับความต่างศักย์ค่าต่าง ๆ โอห์มพบว่าเมื่อนำความต่างศักย์หารด้วยค่าของกระแสจะได้ค่าเหมือนกันค่าหนึ่งซึ่งโอห์มกล่าวว่า “ค่าของกระแสแปรผันตรงกับศักย์ไฟฟ้าและแปรผกผันกับความต้านทาน” (Richard, J. Fowler, 1999: 41) ดังสมการที่ 2.4

$$V = IR \quad (2.4)$$

V หมายถึง ศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูลต่อคูลอมบ์ (J/C) หรือ โวลต์ (V)

I หมายถึง กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ต่อวินาที (C/s) หรือ แอมแปร์ (A)

R หมายถึง ความต้านทานของวัตถุ มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)

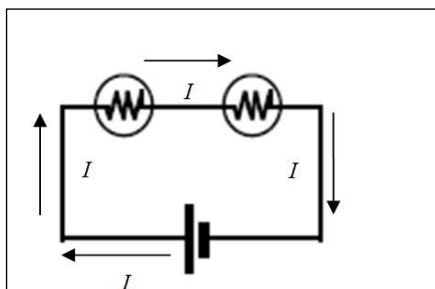
2.4 การต่อตัวต้านทาน

การต่อตัวต้านทานมีหลายแบบ แต่เราจะพูดถึงสองกรณีที่เป็นพื้นฐานของการต่อตัวต้านทานในวงจร ได้แก่ 1) การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม 2) การต่อตัวต้านทานแบบขนาน

การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมกระแสมีทางเดินแค่ทางเดียว ถ้าหากหลอดไฟประดับต้นคริสต์มาสต่อกันแบบอนุกรม (หลอดไฟเปรียบเสมือนตัวต้านทาน) ดังภาพที่ 2.4 เมื่อหลอดไฟหลอดใดหลอดหนึ่งขาดจะส่งผลให้ไฟหลอดอื่นๆดับไปด้วย (Charles, W. Ryan, 1976: 60) เมื่อทำการวัดกระแสในวงจรการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมพบว่ากระแสไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน ดังสมการที่ 2.5 (H, Chris. and O, Keith, 2007: 116)

$$V_{total} = V_1 + V_2 \quad (2.5)$$

$$IR_{total} = IR_1 + IR_2 \quad (2.6)$$

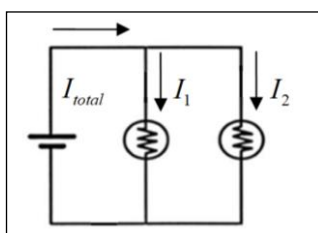


ภาพที่ 2.4 กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานแบบอนุกรม

แต่เนื่องจากกระแสมีค่าเท่ากันนำกระแสไปหารตลอดจะได้ว่า ความต้านทานรวมเป็นดังสมการที่ 2.7

$$R_{total} = R_1 + R_2 \quad (2.7)$$

การต่อตัวต้านทานแบบขนาน กระแสจะมีทางเดินมากกว่าหนึ่งทาง กระแสที่ไหลออกจากแบตเตอรี่จะไหลแยกออกไปดังภาพที่ 2.5 เห็นได้ว่ากระแสไหลแยกออกไปแต่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากันเนื่องจากไหลออกจากจุดเดียวกัน (Richard, J. Fowler, 1999: 100)



ภาพที่ 2.5 การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานแบบขนาน

เมื่อกระแสรวมมีค่าดังสมการที่ 2.8 และ 2.9

$$I_{total} = I_1 + I_2 \quad (2.8)$$

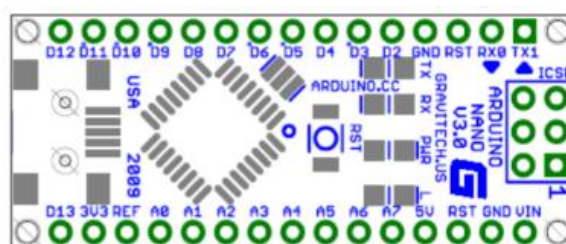
$$\frac{V}{R_{total}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} \quad (2.9)$$

เมื่อศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากันจะได้ความต้านทานรวมแบบขนานดังสมการที่ 2.10

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (2.10)$$

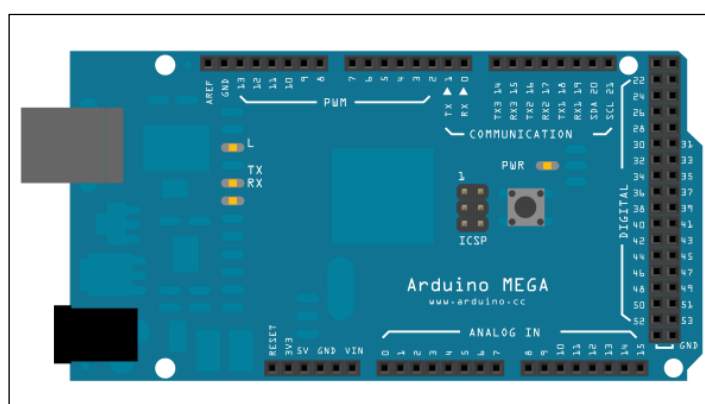
2.5 การออกแบบชุดสาธิต

2.5.1 การแปลงสัญญาณ การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter: ADC) คือ การแปลงสัญญาณที่มีลักษณะต่อเนื่องเช่น อุณหภูมิกับเวลา โดยทั่วไปการสังเกตอุณหภูมิด้วยระดับของปรอทจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป แต่หากใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัลข้อมูลที่ส่งมายังอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก (Microcontroller) จะเป็นข้อมูลไม่ต่อเนื่อง (เลขฐานสอง) ซึ่งข้อมูลดิจิทัลนั้นมีประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้การวัดหรือการคำนวณที่มีความซับซ้อน (Destinti, 1993) ดังนั้นการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเพื่อการคำนวณและการแสดงผลความต่างศักย์และกระแสจึงต้องอาศัยตัวประมวลผล Arduino nano V3 และ Arduino Mega 2560 ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 2.6 และภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 แผงวงจรของบอร์ด Arduino nano V3

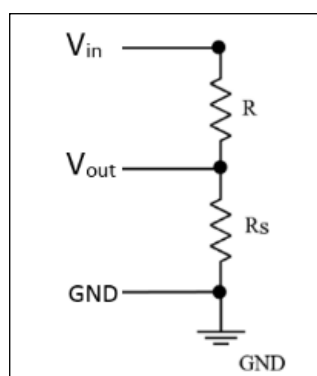
ที่มา: Mouser Electronic (2014)



ภาพที่ 2.7 แผงวงจรของบอร์ด Arduino Mega 2560

ที่มา: Mouser Electronic (2014)

2.5.2 การออกแบบวงจรวัดกระแส โดยทั่วไปแล้วการวัดกระแสด้วยอาduino (Arduino) ต้องใช้อุปกรณ์เสริมในการวัดกระแส ซึ่งอุปกรณ์เสริมที่เหมาะสมคือตัววัดกระแส (WCS2702) สามารถวัดกระแสได้ถึง 2,000 mA (Arduinoall, 2017) แต่กระแสที่ใช้วัดสูงสุดในการทดลองคือ 1,000 mA ดังนั้นการออกแบบวงจรเพื่อวัดกระแสจึงมีลักษณะดังภาพที่ 2.8

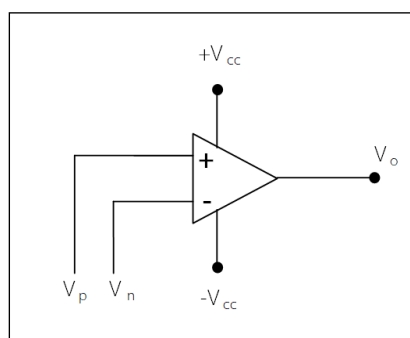


ภาพที่ 2.8 วงจรการวัดกระแสและความต่างศักย์ด้วยอาduino

วงจรที่ใช้เป็นการวัดกระแสแบบใช้ตัวต้านทาน โดยการวัดความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทาน R_s ทำให้ได้ค่าความต่างศักย์ค่าหนึ่ง แล้วนำค่าความต่างศักย์นั้นไปหาค่ากระแสจากความสัมพันธ์ตามกฎของโอห์ม (Yarborough, 2015) ดังสมการที่ 2.11

$$I = \frac{V_o}{R_s} \quad (2.11)$$

ถ้าต้องการให้ศักย์ไฟฟ้าถูกรบกวนน้อยจึงจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทาน R_s ที่มีค่าน้อย ดังนั้นการวัดศักย์ไฟฟ้าจึงต้องอาศัยวงจรขยายสัญญาณ (Operator Amplifier Op-Amp) ดังภาพที่ 2.9 โดยหน้าที่ของวงจรชนิดนี้จะคอยขยายศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมที่ R_s (Zhen, 2010)



ภาพที่ 2.9 สัญลักษณ์ของวงจรขยายสัญญาณ

การคำนวณศักย์ไฟฟ้าจากวงจรรขยายสัญญาณดังสมการที่ 2.12 (Cory and Chaniotakis, 2018)

$$V_o = A(V_p - V_n) \quad (2.12)$$

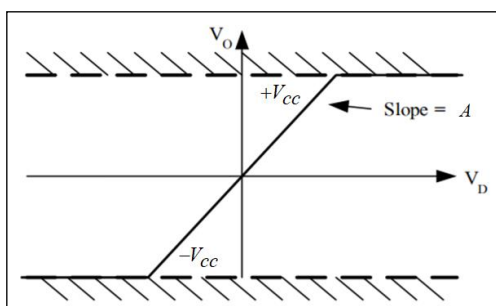
เนื่องจาก $V_p - V_n$ คือความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุดดังนั้นจึงแทนด้วย V_D ดังสมการที่ 2.13

$$V_o = AV_D \quad (2.13)$$

โดยที่ A เป็นสัมประสิทธิ์ทำหน้าที่เป็นตัวคูณให้ V_D มีค่ามากขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวงจรรขยายสัญญาณแต่ละตัว เมื่อได้ศักย์ไฟฟ้าแล้วจึงนำไปคำนวณหาค่ากระแสต่อไป โดยค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรขยายสัญญาณสามารถหาได้จากสมการที่ 2.14

$$A = \frac{V_o}{V_D} \quad (2.14)$$

คุณลักษณะของวงจรรขยายสัญญาณในอุดมคติ จะเป็นไปตามสมการที่ 2.14 และแสดงในภาพที่ 2.10 คือศักย์ไฟฟ้า V_o จะมีค่าไม่เกินศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้วงจรรขยายสัญญาณ $+V_{cc}$ และ $-V_{cc}$ (Kittiamornkul, 2018)

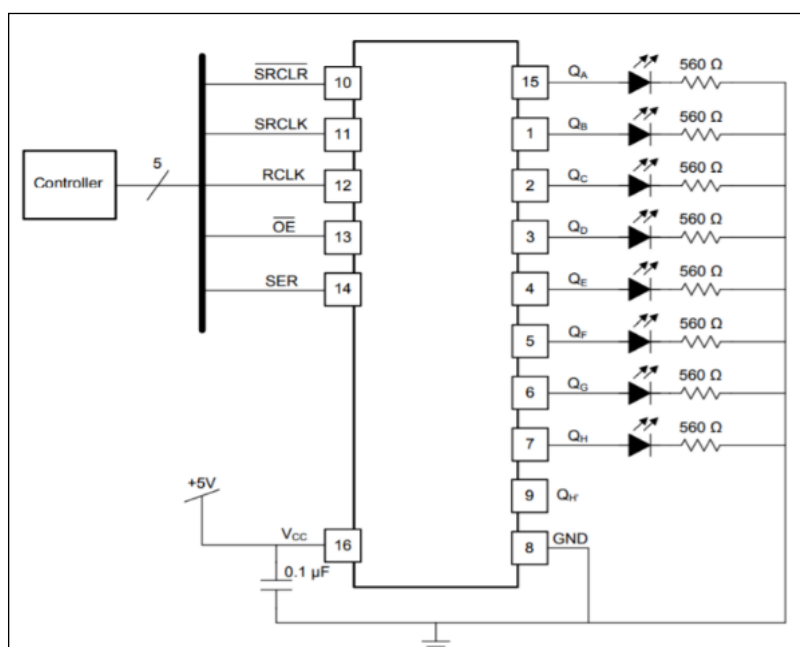


ภาพที่ 2.10 ศักย์ไฟฟ้า V_o มีค่าไม่เกินศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้วงจรรขยายสัญญาณ
ที่มา: Kittiamornku (2018)

2.5.3 ตัวแสดงผล

ตัวแสดงผล 7 segment ใช้แสดงข้อมูลตัวเลข ผู้วิจัยใช้ตัวแสดงผล 7segment 74HC595 โดยมี SPI bus ต่อกับ Arduino Nano V3 ทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยัง shift register chip ของ 74HC595 เพื่อเก็บข้อมูล หลังจากนั้น shift register ถ่ายโอนข้อมูล ไปยัง segment code ของ ซึ่ง

ข้อมูลที่ถูกส่งไปยัง segment code ต่าง ๆ ถูกกำหนดให้แสดงผลโดยsignal selector เพื่อให้หลอด LED แต่ละดวงสว่างดังภาพที่ 2.11 (Sang Yu, Wang and Zhang, 2013)



ภาพที่ 2.11 วงจรของ 7segment 74HC595

ที่มา: Texas Instrument (2015)

2.5.4 ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average) เนื่องจากการแสดงผลแต่ละครั้งจำเป็นต้องให้ได้ค่าที่นิ่งเพื่อการจดบันทึกดังนั้นค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ทำให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องมากกว่าสังเกตได้จากลักษณะของกราฟดังภาพที่ 2.12 และภาพที่ 2.13 โดย ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.13 (Hyndman, 2011)

$$Z_t = \frac{1}{k+1} \sum_{j=0}^k y_{j-t}; t = k+1, k+2, k+3, \dots, n \quad (2.13)$$

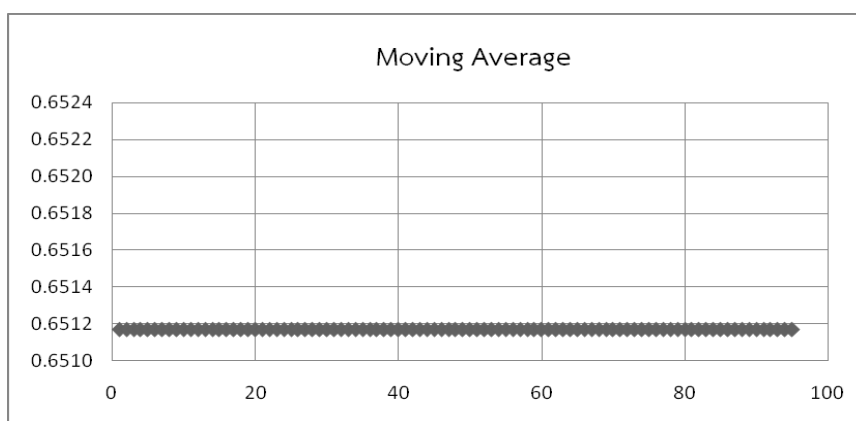
Z_t หมายถึง ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่

k หมายถึง จำนวนบล็อกของข้อมูลทั้งหมด

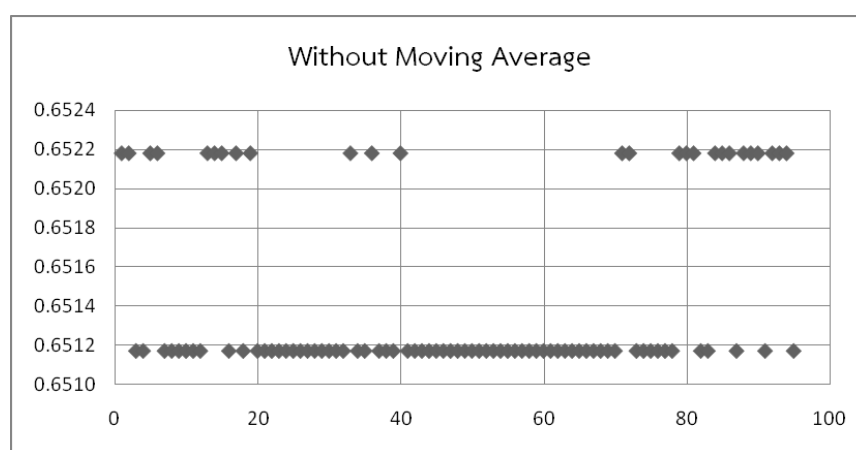
j หมายถึง ค่าเริ่มต้นของบล็อก

y หมายถึง ค่าของข้อมูล

t หมายถึง หมายเลขลำดับของข้อมูลที่น่ามาคำนวณ



ภาพที่ 2.12 ข้อมูลของการวัดกระแสและเวลาโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่



ภาพที่ 2.13 ข้อมูลของการวัดกระแสและเวลาโดยไม่ใช้ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่

2.6 การสอนและทฤษฎี

วิธีการสอนที่เกี่ยวข้องมีทั้งหมดสองวิธี ได้แก่ 1) การสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อนเน้นให้ผู้เรียนเกิดการโต้เถียงและมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนร่วมชั้นเรียน 2) การสอนแบบอุปมาซึ่งเน้นให้ผู้เรียนเกิดการคิดเชื่อมโยงระหว่างแนวคิดคล้ายคลึงและแนวคิดเป้าหมาย

2.6.1 การสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อน (Peer Instruction: PI) เน้นให้ผู้เรียนใช้เหตุผลในการโต้เถียงกับเพื่อนร่วมชั้นเรียนและทำการตอบคำถามโดยใช้ระบบการจัดการโต้ตอบในชั้นเรียน (Classroom Respond System: CRS) โดยในยุคแรกเริ่มจะใช้เป็นบัตรคำตอบ (Flash Card) หรืออุปกรณ์สำหรับช่วยบันทึกคำตอบแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Clickers) โดยมีขั้นตอนดังนี้ (Mazur, E., 1997)

2.6.1.1 จัดเตรียมเนื้อหาให้ผู้เรียนได้ศึกษาก่อนเริ่มดำเนินการสอน

2.6.1.2 หลังจากทำการบรรยายอย่างรวบรัด (10-15 นาที) ผู้สอนทำการถามคำถามวัดความเข้าใจในหัวข้อเรื่องที่เพิ่งบรรยายไป

2.6.1.3 ให้เวลาผู้เรียนคิด 1-2 นาที

2.6.1.4 ให้ผู้เรียนทำการโหวตคำตอบโดยใช้อุปกรณ์ (Clickers Plickers อื่น ๆ)

2.6.1.5 ถ้าผู้เรียนตอบคำถามถูกน้อยกว่า ร้อยละ 30 ให้กลับไปขึ้นการบรรยายใหม่

2.6.1.6 ให้ผู้เรียนแต่ละคนคิดและทำการโหวตอีกครั้ง

2.6.1.7 ถ้าคำตอบถูกต้อง ร้อยละ 30-ร้อยละ 70 ให้ผู้เรียนทำการโต้เถียงกันเกี่ยวกับ

คำถาม

2.6.1.8 ให้ผู้เรียนโหวตอีกครั้งถ้าหากผู้เรียนตอบถูกเกิน ร้อยละ 70 ให้อธิบายคำตอบและเลื่อนคำถามไปข้อถัดไป แต่ถ้าคำตอบยังจะถูกตะกุกตะกักให้ผู้สอนทำการทบทวนเล็กน้อยแล้วค่อยดำเนินการตามกระบวนการอีกครั้งหนึ่ง

2.6.1.9 กระตุ้นให้ผู้เรียนตระหนักถึงความเชื่อมโยงของกิจกรรมเพื่อขยายผลให้กว้างขึ้น

2.6.2 การสอนแบบอุปมา (Teaching with Analogies) ใช้หลักการเปรียบเทียบลักษณะที่เหมือนหรือคล้ายกันของเรื่องที่เคยเรียนผ่านมาแล้วกับหัวข้อใหม่ที่กำลังเรียนอยู่ การสอนดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์เพื่อเชื่อมโยงลักษณะที่คล้ายกันยกตัวอย่างเช่น การสอนเรื่องแรงระหว่างประจุ โดยใช้การสอนแบบอุปมา ผู้สอนใช้การเปรียบเทียบระหว่าง แรงระหว่างประจุและแรงดึงดูดระหว่างมวล โดยมีขั้นตอนดังนี้ (Glynn, 2008)

2.6.2.1 ผู้สอนนำเสนอเรื่องแรงระหว่างประจุ

2.6.2.2 ทบทวนเนื้อหาเรื่องแรงดึงดูดระหว่างมวลที่เคยเรียนมาแล้ว

2.6.2.3 ระบุถึงลักษณะที่คล้ายกันของแรงระหว่างประจุและแรงดึงดูดระหว่างมวล

2.6.2.4 เชื่อมโยงลักษณะที่คล้ายกันตามที่ระบุมาจากข้อ 3 เป็นแผนภาพ

2.6.2.5 เนื่องจากแรงทั้งสองมีความคล้ายคลึงกัน ต้องระบุให้ได้ว่าเพราะเหตุใดจึงต้องเรียนเรื่องแรงระหว่างประจุ (แรงดังกล่าวแตกต่างจากแรงดึงดูดระหว่างมวลอย่างไร)

2.6.2.6 สรุปถึงลักษณะที่คล้ายกันและแตกต่างพร้อมยกตัวอย่างของ อิเล็กตรอนและโปรตรอนในอะตอม และโลกกับดวงอาทิตย์ในระบบสุริยะ

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ 1) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสื่อการสอน 2) การวิเคราะห์การอุปมาของผู้เรียน 3) การจำแนกลักษณะความเข้าใจผิดของผู้เรียน และ 4) การวิเคราะห์ความก้าวหน้าของผู้เรียน

2.7.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสื่อการสอน แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การสอบเทียบ (Calibration) หมายถึง การหาประสิทธิภาพด้านความถูกต้องในการวัดข้อมูลของสื่อการสอนและส่วนถัดมาคือ การให้ผู้เชี่ยวชาญลงความคิดเห็น หมายถึง การนำสื่อการสอนไปให้ผู้เชี่ยวชาญช่วยวิเคราะห์

ประสิทธิภาพของสื่อโดยแบ่งออกเป็น 3 ด้านหลัก คือ 1) รูปลักษณ์ของชุดทดลอง 2) ความสะดวกในการใช้งาน และ 3) ความเชื่อมโยงกับเนื้อหา ทั้งสามส่วนที่กล่าวมาจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญอย่างน้อย 3 คนเพื่อลงความคิดเห็นว่าเครื่องมือในการสอนควรปรับปรุงในด้านใด

2.7.2 การวิเคราะห์การอุปมา คือการใช้การจำแนกลักษณะของพลังงานจากความคิดรวบยอดของผู้เรียนด้วยการวิเคราะห์การเขียนของผู้เรียนว่ามีการกล่าวถึงลักษณะใดบ้างของพลังงาน ลักษณะของพลังงานจากแนวคิดของผู้เรียนมีอยู่ด้วยกัน 4 ลักษณะ ได้แก่ (Lancor, 2014)

2.7.2.1 การอนุรักษ์พลังงาน-เมื่อผู้เรียนกล่าวถึงพลังงานไม่สามารถสร้างหรือทำลายได้

2.7.2.2 การลดทอนพลังงาน-เมื่อผู้เรียนกล่าวถึงพลังงานสามารถสูญเสียออกจากระบบสู่สิ่งแวดล้อม

2.7.2.3 การเปลี่ยนรูปพลังงาน-เมื่อผู้เรียนกล่าวถึงความสามารถในการเปลี่ยนรูปของพลังงาน เช่น จากแสงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า

2.7.2.4 การถ่ายโอนพลังงาน-เมื่อผู้เรียนกล่าวถึงการย้ายที่ของพลังงานโดยมีพาหะ อาศัยหรือไม่อาศัยตัวกลาง

2.7.3 การจำแนกลักษณะความเข้าใจคลาดเคลื่อนของผู้เรียน หมายถึง การวิเคราะห์การเขียนของผู้เรียนว่าอยู่ในข่ายลักษณะของความเข้าใจคลาดเคลื่อนมี 5 ลักษณะได้แก่ (National Research Council, 1997)

2.7.3.1 อุปาทาน-เมื่อผู้เรียนยกตัวอย่างความคิดตนเองโดยไม่ได้พิสูจน์และขัดแย้งกับวิทยาศาสตร์

2.7.3.2 ความเชื่อที่ไม่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์-เมื่อผู้เรียนกล่าวถึงเรื่องที่วิทยาศาสตร์ไม่สามารถพิสูจน์ได้

2.7.3.3 ความเข้าใจคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์-เมื่อผู้เรียนยกให้เหตุผลที่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง

2.7.3.4 ความเข้าใจคลาดเคลื่อนทางภาษา-เมื่อผู้เรียนใช้คำศัพท์ที่ไม่ตรงกับความหมายของคำอธิบายที่ถูกต้อง

2.7.3.5 ความเข้าใจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง-เมื่อผู้เรียนกล่าวถึงตนเชื่อว่าเป็นความจริงแต่สิ่งที่ตนเองเชื่อขัดแย้งกับความเป็นจริง

2.7.4 การวิเคราะห์ความก้าวหน้าของผู้เรียน Normalized Gain <g> เพื่อบอกว่าหลังจบบทเรียนผู้เรียนมีพัฒนาการเป็นอย่างไร ตามเกณฑ์ของ Hake (1998) โดย <g> น้อยกว่า 0.3 คือ มีความก้าวหน้าในการเรียนต่ำ <g>ระหว่าง 0.3-0.6 คือผู้เรียนที่มีความก้าวหน้าในการเรียนปานกลาง และ <g>มากกว่า 0.7 คือผู้เรียนที่มีความก้าวหน้าในการเรียนสูง การคำนวณ Normalized gain ดังสมการที่ 2.16 (Hake, 1998)

$$<g> = \frac{[(\% \text{post} - \text{test}) - (\% \text{pre} - \text{test})]}{[(100\%) - (\% \text{pre} - \text{test})]} \quad (2.16)$$

<g> หมายถึง ค่าความก้าวหน้าของผู้เรียน

% Post-test หมายถึง ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบหลังเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์

% Pre-test หมายถึง ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบก่อนเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

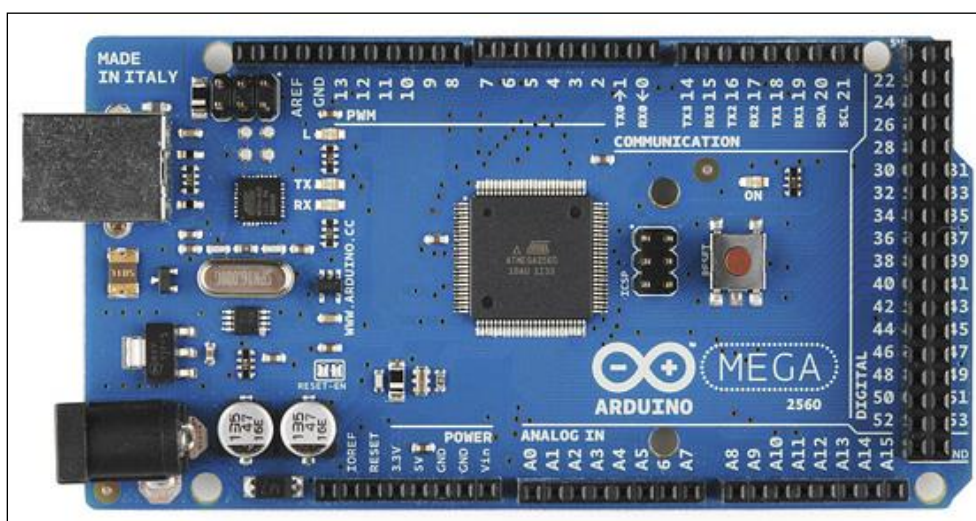
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การสร้างและการหาประสิทธิภาพของชุดสาธิตเรื่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

3.1.1 การสร้างชุดสาธิตเรื่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

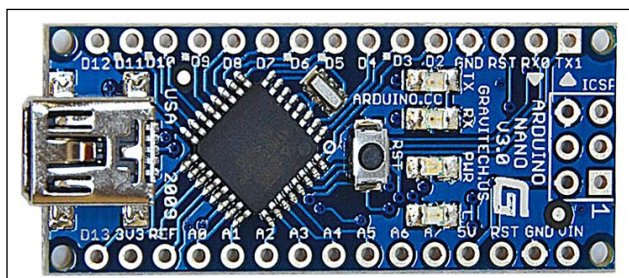
3.1.1.1 หลักการ

การสร้างชุดสาธิตประกอบไปด้วยหลักการทั้งหมด 5 หลักการ ได้แก่ 1) การเลือกใช้ Microcontroller 2) การเลือกใช้ตัววัดกระแสและศักย์ไฟฟ้า 3) การเลือกใช้หน้าจอแสดงผล 4) การพัฒนาโปรแกรม และ 5) การสอบเทียบเครื่องมือ Microcontroller คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณจาก Analog เป็นสัญญาณ Digital ทั้งยังสามารถประมวลผลและส่งข้อมูลเพื่อแสดงผล การเลือกใช้ Microcontroller สำหรับการสร้างชุดสาธิตควรคำนึงถึงคุณสมบัติอีกประการหนึ่งคือ การจ่ายไฟของ Microcontroller เนื่องใช้ตัววัดกระแสทั้งหมด 3 ตัว ซึ่งตัววัดกระแสแต่ละตัวต่อเข้ากับ ศักย์ไฟฟ้า 5.0 V จึงทำให้ตัววัดกระแสเหล่านี้สามารถทำงานได้ หากใช้ Microcontroller ที่ไม่สามารถจ่ายไฟให้ตัววัดกระแสได้เพียงพอส่งผลให้กระแสที่วัดได้มีค่าไม่นิ่งทำให้ค่าที่อ่านผิดเพี้ยนจากค่าจริง ดังนั้นการเลือกใช้ Microcontroller ในการสร้างชุดสาธิตจึงประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 2 ตัว ได้แก่ Arduino Mega 2560 ดังภาพที่ 3.1 สำหรับจ่ายไฟและประมวลผล และ Arduino Nano V3 ดังภาพที่ 3.2 สำหรับประมวลผลเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 3.1 Arduino Mega 2560

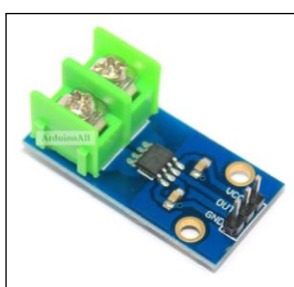
ที่มา: Arduinoall (2017)



ภาพที่ 3.2 Arduino Nano V3

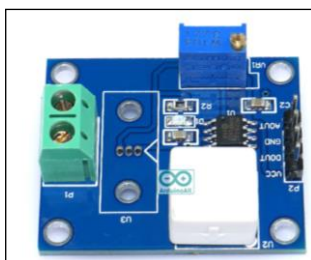
ที่มา: Arduinoall (2017)

การเลือกใช้ตัววัดกระแสและศักย์ไฟฟ้าเริ่มต้นด้วยนำตัววัดกระแส 2 ชนิด มาเปรียบเทียบกับกัน ได้แก่ ตัววัดกระแส ACS712 5A (ACS712-5A) ดังภาพที่ 3.3 และ ตัววัดกระแส WCS2702 2A (WCS2702-2A) ดังภาพที่ 3.4 จากการเปรียบเทียบตัววัดกระแสทั้ง 2 ชนิด โดยการคำนวณจากข้อมูลใน Data Sheet ของตัววัดกระแส พบว่า ACS712-5A อ่านค่าได้ 33.98 unit/A และ WCS2702-2A อ่านค่าได้ 204.62 unit/A จากการเปรียบเทียบพบว่า WCS2702-2A อ่านค่าได้ละเอียดกว่า ACS712-5A อยู่ประมาณ 6 เท่า ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยเลือก WCS2702-2A เพื่อใช้ในชุดสาธิต ลำดับถัดมาคือการเลือกตัววัดศักย์ไฟฟ้า ในกรณีนี้ผู้วิจัยเลือกตัววัดศักย์ไฟฟ้าและกระแส IC-MAX471/472 ดังภาพที่ 3.5 ซึ่งสามารถวัดได้ทั้งศักย์ไฟฟ้าและกระแสแต่ผู้วิจัยนำมาวัดศักย์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว เมื่อทำการทดสอบโดยการวัดศักย์ไฟฟ้า อุปกรณ์ชิ้นนี้สามารถวัดกระแสได้ในช่วงที่ต้องการ คือ ตั้งแต่ 50 mV–5,000 mV



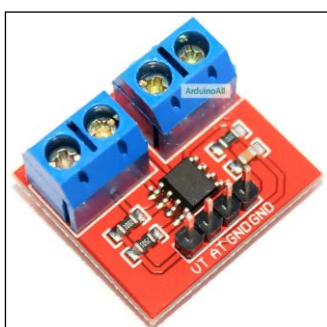
ภาพที่ 3.3 ตัววัดกระแส ACS712 5A (ACS712-5A)

ที่มา: Arduinoall (2017)



ภาพที่ 3.4 ตัววัดกระแส WCS2702 2A (WCS2702-2A)

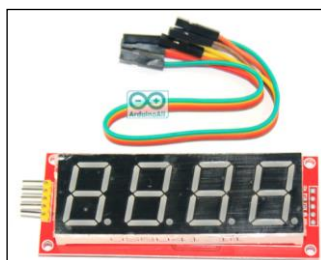
ที่มา: Arduinoall (2017)



ภาพที่ 3.5 ตัววัดศักย์ไฟฟ้า IC-MAX472

ที่มา: Arduinoall (2017)

ในส่วนสุดท้ายคือการใช้หน้าจอแสดงผล ผู้วิจัยเลือกใช้ หน้าจอแสดงผล Four digital tube LED display ขนาด 0.80" ดังภาพที่ 3.6 เนื่องจากตัวเลขแต่ละตัวมีความยาวของเส้นทแยงมุม 0.80" ซึ่งเป็นขนาดใหญ่ที่สุดที่มีการนำมาประกอบกับตัว IC-74HC595 การนำมาประกอบร่วมกับตัว IC-74HC595 ทำให้ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมในลำดับถัดไป



ภาพที่ 3.6 หน้าจอแสดงผล Four digital tube LED display ขนาด 0.80"

ที่มา: Arduinoall (2017)

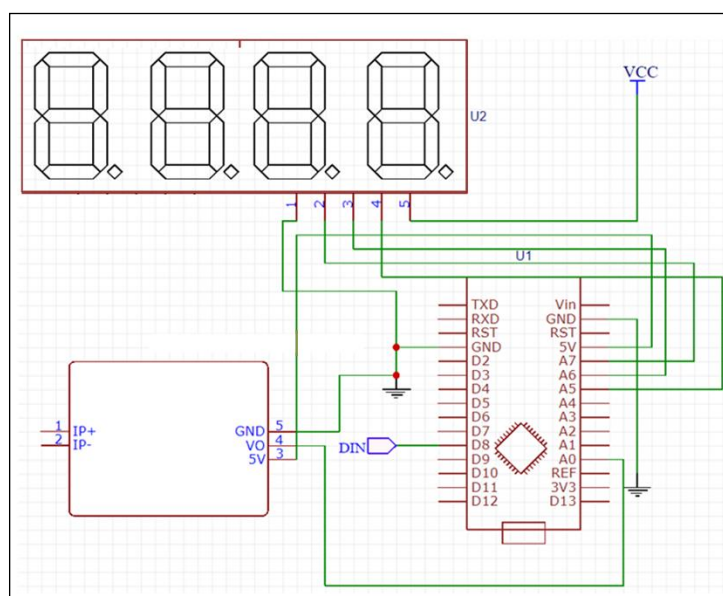
การพัฒนาโปรแกรมคือ การนำ Source code มาปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานของผู้วิจัย เนื่องจากผู้วิจัยต้องการสร้างชุดสาธิตเพื่อการวัดกระแสและแสดงผลผ่านหน้าจอแสดงผล Four digital tube LED display ที่ประกอบเข้ากับตัว IC-HC74595 Source code ที่ต้องใช้จึงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) Source code สำหรับแสดงผลผ่านหน้าจอ และ 2) Source code สำหรับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ เพื่อให้ตัวเลขที่ถูกแสดงผลมีความนิ่ง

3.1.1.2 วัสดุอุปกรณ์

- 1) Arduino Mega 2560
- 2) Arduino Nano V3
- 3) ตัววัดกระแส WCS2702 2A
- 4) ตัววัดศักย์ไฟฟ้าและกระแส IC-MAX471/472
- 5) หน้าจอแสดงผล Four digital tube LED display ขนาด 0.80"
- 6) USB Hub
- 7) โมดูลแปลงไฟ 6.5-12V เป็น 5V และ 3.3V
- 8) Breadboard Power Module พร้อมสวิตช์
- 9) พาวเวอร์แบงก์ขนาด 5500 mA 2 เครื่อง
- 10) กล่องไม้ขนาด 30x40 cm

3.1.1.3 ขั้นตอนการสร้าง

ขั้นตอนการสร้างประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ 1) การต่อวงจร 2) การพัฒนาโปรแกรม และ 3) การประกอบชุดสาธิต การต่อวงจรประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ชิ้น ได้แก่ 3.1) ตัววัดกระแส 3.2) ตัววัดศักย์ไฟฟ้า 3.3) หน้าจอแสดงผล และ 3.4) Arduino Nano V3 ดังภาพที่ 3.7 และต่อวงจรลักษณะเช่นเดียวกันนี้กับ Arduino Mega 2560



ภาพที่ 3.7 การต่อตัววัดกระแส ค่ายไฟฟ้าและหน้าจอแสดงผลเข้ากับ Arduino Nano V3

เมื่อทำการต่อวงจรเรียบร้อยแล้วเป็นส่วนของการพัฒนาโปรแกรมมี 2 ขั้นตอน ได้แก่ การดาวน์โหลด Source code และการแก้ไข Source code ในการดาวน์โหลด Source code สามารถดาวน์โหลดผ่าน Arduino IDE Library ซึ่งมี Source code 2 ตัว ได้แก่ 7-Segment LED Display และ Moving Average จากนั้นทำการแก้ไข Source code ตามที่ได้รับไว้ในภาคผนวก ข

3.1.2 การหาประสิทธิภาพของชุดสาธิตเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรง

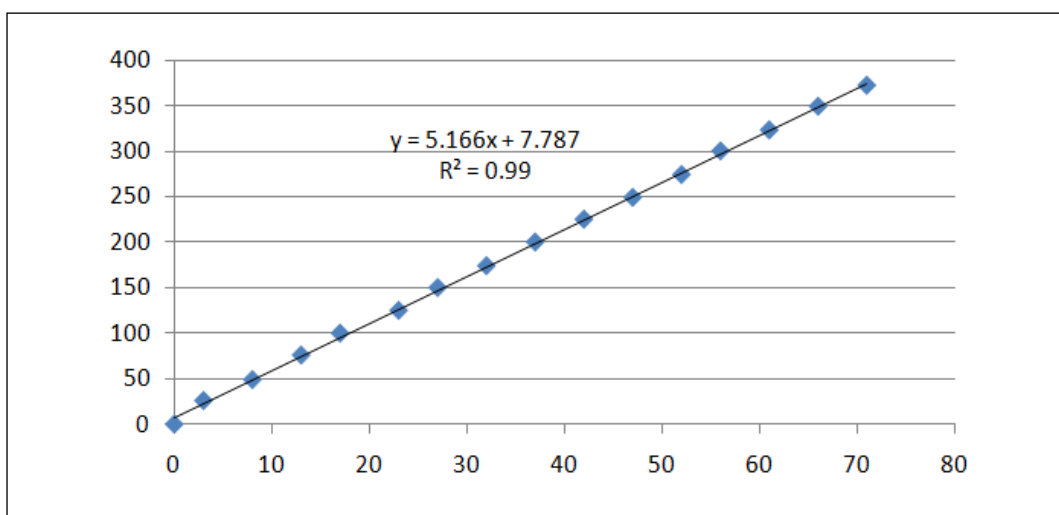
3.1.2.1 การหาประสิทธิภาพของชุดสาธิตด้วยผู้เชี่ยวชาญ

การหาประสิทธิภาพของชุดสาธิตด้วยผู้เชี่ยวชาญคือ การให้ผู้เชี่ยวชาญทำแบบประเมินชุดสาธิตและให้ข้อเสนอแนะ แบบประเมินชุดสาธิตประกอบไปด้วย 3 ด้าน 1) ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์ 2) ความเชื่อมโยงกับเนื้อหา และ 3) ความสะดวกในการใช้งาน และรายละเอียดของแบบประเมินสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ข การประเมินครั้งนี้มีผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินชุดสาธิตทั้งหมด 3 ท่าน โดยผลการประเมินสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

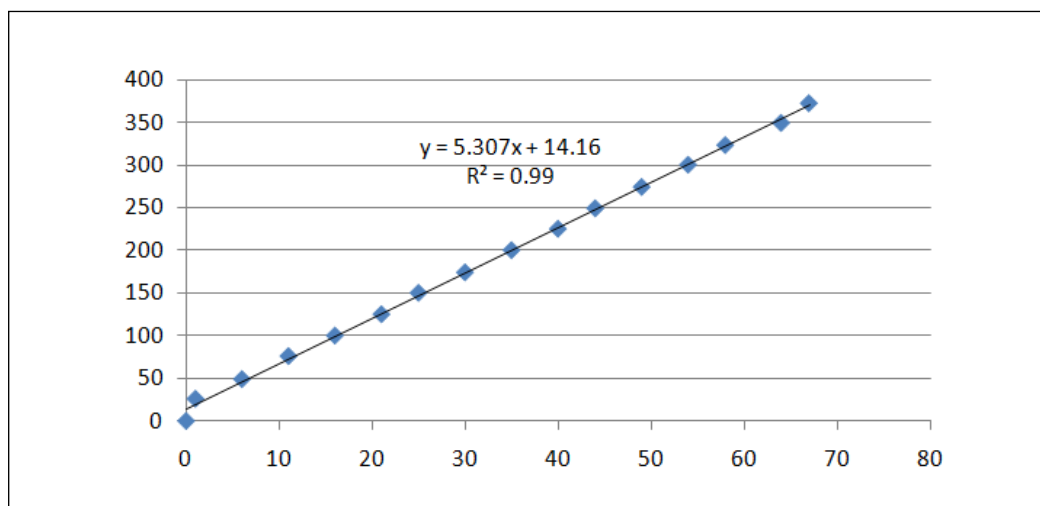
ตารางที่ 3.1 ผลการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์จากผู้เชี่ยวชาญ

หัวข้อ	ข้อที่	ค่าเฉลี่ยรายข้อ	แปลความ
1. ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์	1-3	4.0	ดี
2. ความเชื่อมโยงกับเนื้อหา	4-5	4.3	ดี
3. ความสะดวกในการใช้งาน	6-7	3.8	ดี
เฉลี่ย		4.0	ดี

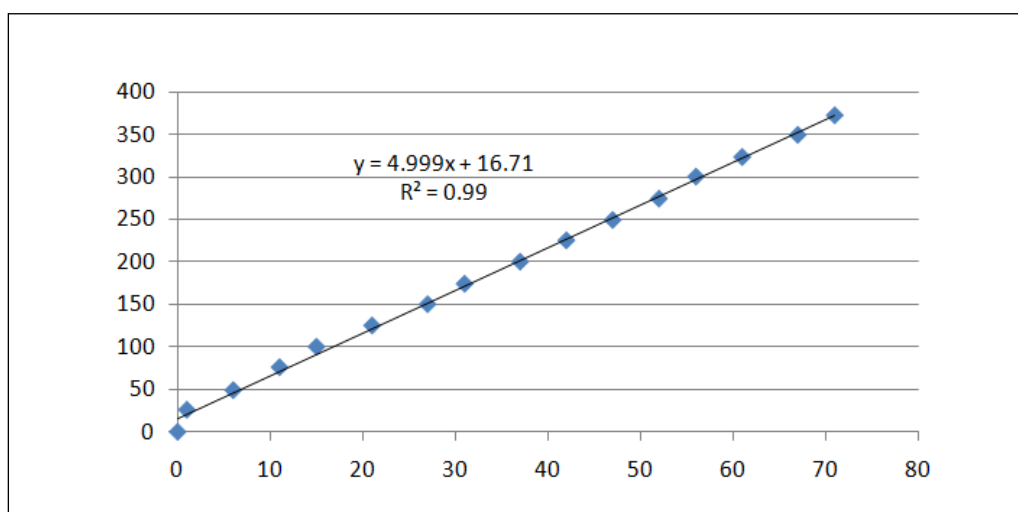
3.1.2.2 การหาประสิทธิภาพของชุดสาธิตด้วยการสอบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน
การหาประสิทธิภาพของชุดสาธิต ตามรายละเอียดที่ระบุไว้ในภาคผนวก ข ซึ่งผลการสอบเทียบ
เครื่องมือทำให้ได้ค่า R-Square ของตัววัดกระแส 3 ตัว และศักย์ไฟฟ้าทั้ง 1 ตัว มีค่าเป็น 0.99
ดังภาพที่ 3.8–3.11



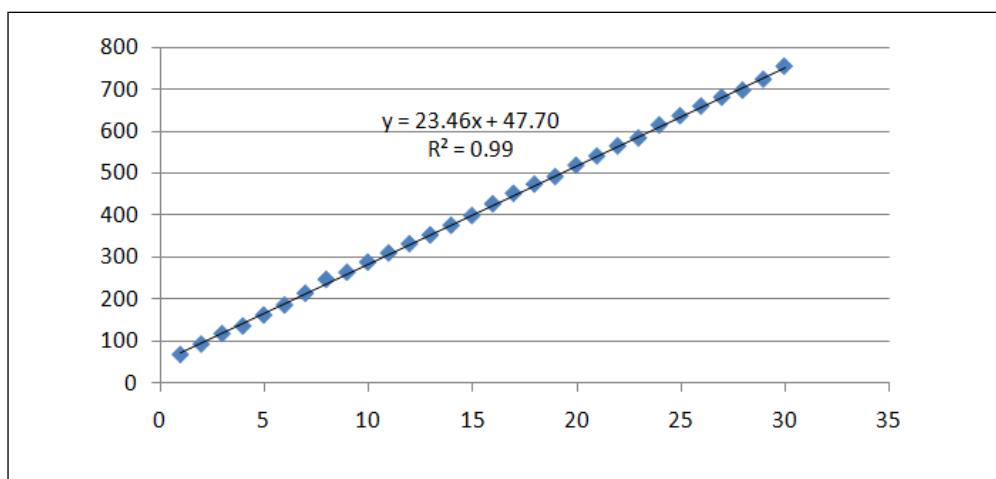
ภาพที่ 3.8 การสอบเทียบกระแสสำหรับตัววัดกระแสตัวที่ 1



ภาพที่ 3.9 การสอบเทียบกระแสสำหรับตัววัดกระแสตัวที่ 2



ภาพที่ 3.10 การสอบเทียบกระแสสำหรับตัววัดกระแสตัวที่ 3



ภาพที่ 3.11 การสอบเทียบศักย์ไฟฟ้าสำหรับตัววัดศักย์ไฟฟ้า

3.2 การออกแบบและพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้

3.2.1 แบบแผนการวิจัย

แบบแผนการวิจัยเป็นแบบ กลุ่มเดียว สอบก่อน-สอบหลัง (One Group Pretest-Posttest Design) การวิจัยแบบ กลุ่มเดียว สอบก่อน-สอบหลัง ทำให้ผู้วิจัยสามารถเห็นความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการใช้สื่อการเรียนรู้ได้ (Kirk, 1982) โดยมีภาพแบบดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แบบแผนการวิจัย

สอบก่อนเรียน	ทดลอง	สอบหลังเรียน
O_1	X	O_2

เมื่อ O_1 แทน การวัดคะแนนสอบก่อนเรียน
 X แทน การจัดการเรียนรู้โดยใช้การสอนแบบสาธิตปฏิสัมพันธ์ร่วมกับการสอนแบบอุปมา
 O_2 แทน การวัดคะแนนสอบหลังเรียน

3.2.2 ระเบียบวิธีวิจัย

ผู้เรียนทำแบบทดสอบ DIRECT จำนวน 20 ข้อ เวลา 30 นาที หลังจากนั้นผู้เรียนดำเนินกิจกรรมตามที่ผู้วิจัยได้เตรียมไว้ได้แก่ 1) การสอนแบบอุปมา และ 2) การสอนแบบ Peer Instruction หลังกิจกรรมการเรียนรู้ผู้วิจัยให้ผู้เรียนทำแบบสำรวจการอุปมาและแบบทดสอบ DIRECT ผู้วิจัยคำนวณค่าความก้าวหน้าทางการเรียนของผู้เรียนจากคะแนนสอบก่อน-หลังเรียน ผู้วิจัยวิเคราะห์ลักษณะการอุปมากับคะแนนสอบหลังเรียนเพื่อหาความสัมพันธ์ ผู้เรียนจำแนกการอุปมาตามลักษณะของพลังงานและลักษณะของความเข้าใจคลาดเคลื่อน

3.2.3 แบบทดสอบ DIRECT

แบบทดสอบ DIRECT หมายถึง แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรง ที่คิดค้นโดย Paula Vetter Engelhardt และ Robert J. Beichner หลังจากนั้นแบบทดสอบ DIRECT ถูกนำไปใช้ในกลุ่มผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาทั้งระดับมัธยม จำนวน 251 คน และมหาวิทยาลัย จำนวน 441 คน พบว่าคะแนนเฉลี่ยของผู้เรียนในระดับมัธยมอยู่ที่ 13 คะแนน และผู้เรียนในระดับมหาวิทยาลัย คะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 15 คะแนน หลังจากทำแบบทดสอบ DIRECT ผู้เรียนร้อยละ 15 ถูกสัมภาษณ์โดยการสัมภาษณ์ใช้เวลา 30-40 นาทีต่อครั้งเพื่อนำข้อมูลจากการสัมภาษณ์ไปประกอบกับคะแนนจากการทำแบบทดสอบ DIRECT หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งสองส่วนได้พบว่าแบบทดสอบ DIRECT สามารถระบุความเข้าใจคลาดเคลื่อน เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรงของผู้เรียนได้แม่นยำร้อยละ 88

ตารางที่ 3.3 แนวคิดสำคัญของแบบทดสอบ DIRECT

ลำดับ	แนวคิดสำคัญ	ข้อที่
ลักษณะทั่วไปของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง		
1	กระแสลัดวงจร คือ กระแสที่ไหลจากขั้วบวกของแบตเตอรี่ไปสู่ขั้วลบของแบตเตอรี่โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้า	9
2	การต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในวงจรต้องแยกจุดเพื่อให้กระแสเกิดการไหลในวงจร	15
3	การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมส่งผลให้ค่าความต้านทานรวมเพิ่มขึ้นแต่การต่อวงจรแบบขนานส่งผลให้ค่าความต้านทานรวมลดลง	5, 11

ตารางที่ 3.3 แนวคิดสำคัญของแบบทดสอบ DIRECT (ต่อ)

ลำดับ	แนวคิดสำคัญ	ข้อที่
4	อุปกรณ์ไฟฟ้าถูกเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์เพื่อความสะดวกต่อการพิจารณา ลักษณะของการต่อตัวต้านทานภายในวงจร การต่อตัวต้านทานภายในวงจรเป็นไปได้ 3 แบบ คือ อนุกรม ขนาน และผสม	4
กำลังไฟฟ้า		
5	กำลังไฟฟ้าของแต่ละวงจรขึ้นอยู่กับลักษณะของการต่อตัวต้านทานภายในวงจร	2, 13
6	แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานและให้กำลังไฟฟ้าแก่วงจร และการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น แต่การต่อแบตเตอรี่แบบขนานไม่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าเดิมของแบตเตอรี่	3, 10, 16
กระแส		
7	อัตราการไหลของประจุออกจากขั้วบวกแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับอัตราการไหลของประจุเข้าสู่ขั้วลบของแบตเตอรี่ และอัตราการไหลของประจุขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของแบตเตอรี่	8, 17
8	เมื่อเกิดการไหลของกระแสในวงจรประจุไม่ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน ประจุไม่สูญหายเป็นไปตามกฎอนุรักษ์ประจุ	1
9	อัตราการไหลของกระแสขึ้นอยู่กับความต้านทานภายในวงจร คือ ถ้าความต้านทานมากกระแสไหลน้อย แต่ถ้าความต้านทานน้อยกระแสไหลมาก เป็นไปตามกฎของโอห์ม	18, 19
ศักย์ไฟฟ้า		
10	ศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อการไหลของกระแสวิ่งกระแสไหลมากยิ่งทำให้หลอดไฟสว่างมาก การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมส่งผลให้ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น แต่การต่อแบตเตอรี่แบบขนานไม่ส่งผลต่อศักย์ไฟฟ้าเดิม ศักย์ไฟฟ้าเป็นคุณสมบัติเฉพาะของแบตเตอรี่	7, 13, 17
11	ศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวในกรณีการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมมีค่าขึ้นอยู่กับความต้านทานของตัวต้านทานนั้นๆ แต่สำหรับศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัวในกรณีการต่อตัวต้านทานแบบขนาน ศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากัน	6, 12, 20

3.2.4 Plickers

Plickers คือ นวัตกรรมสำหรับการบันทึกคำตอบของผู้เรียนในชั้นเรียน โดยมีอุปกรณ์ที่ต้องจำเป็น ดังนี้ 1) แผ่น Plickers (แผ่นที่มีสัญลักษณ์ QR code) 2) Smart phone 1 เครื่อง วิธีใช้ คือ 1) สมัครสมาชิกในเว็บไซต์ www.plickers.com 2) ผู้สอนสร้างคำถามและรายชื่อของผู้เรียนใน เว็บไซต์ 3) ผู้สอนใช้ Smart phone ต่ออินเทอร์เน็ตดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน Plickers และลงชื่อ เข้าใช้ 4) ผู้สอนดึงรายชื่อของผู้เรียนและคำถามที่ต้องการ และ 5) ผู้สอนทำการบันทึกคำตอบโดยให้ผู้เรียนยกแผ่น Plickers หลังจากนั้นใช้ Smart phone บันทึกคำตอบของผู้เรียน

3.2.5 แบบสำรวจการอุปมา

แบบสำรวจการอุปมา หมายถึง แบบสำรวจการอุปมาลักษณะของพลังงานของผู้เรียน โดยแบบสำรวจการอุปมาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน 1) ส่วนของการเปรียบเทียบพลังงาน (พลังงานเปรียบได้กับอะไร) 2) ส่วนของการเขียนเหตุผล และ 3) ส่วนของการวาดภาพ

3.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.3.1 Normalized gain

การหาค่าความก้าวหน้าทางการเรียน (Normalized gain) สามารถหาได้จากคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้สมการที่ 2.16 ในบทที่ 2 เมื่อได้ค่าความก้าวหน้าทางการเรียนแล้วผู้วิจัย คะแนนนำไปเทียบกับเกณฑ์ความก้าวหน้าทางการเรียน โดย $<g>$ น้อยกว่า 0.3 คือ มีความก้าวหน้าในการเรียนต่ำ $<g>$ ระหว่าง 0.3–0.6 คือ ผู้เรียนที่มีความก้าวหน้าในการเรียนปานกลาง และ $<g>$ มากกว่า 0.7 คือ ผู้เรียนที่มีความก้าวหน้าในการเรียนสูง

3.3.2 การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผู้วิจัยนำคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผู้วิจัยหาค่าเฉลี่ยแยกย่อยตามกลุ่มแนวคิดสำคัญของแบบทดสอบ DIRECT ดังตารางที่ 3.2 ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง กำลังไฟฟ้า กระแส และศักย์ไฟฟ้า

3.3.3 การวิเคราะห์ข้อสอบจากการสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อสอบที่มีผู้เรียนตอบถูกไม่ถึงร้อยละ 50 และข้อสอบที่จำนวนผู้เรียนตอบถูกน้อยลงหลังจากการจัดกิจกรรมเรียนรู้เรื่องไฟฟ้ากระแสตรง

3.3.4 การวิเคราะห์คำตอบจากขั้นตอนของการสอนแบบ Peer Instruction โดยใช้ Plickers

ผู้วิจัยเปรียบเทียบคำตอบในช่วงก่อน-หลัง Peer discussion กับคะแนนหลังสอบของผู้เรียนเพื่อให้ทราบว่าเมื่อสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าในโจทย์เปลี่ยนไปจำนวนผู้เรียนที่ตอบถูกยังคงเท่าเดิมหรือไม่

3.3.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนสอบหลังเรียนและลักษณะการอุปมาพลังงาน

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ระดับคะแนนที่แตกต่างกันของผู้เรียนมีผลต่อการเขียนลักษณะของพลังงานเชิงอุปมาอย่างไร โดยทำการแบ่งคะแนนผู้เรียนออกเป็น 5 ระดับย่อย 0-4, 5-8, 9-12, 13-16, 17-20 และนำคำตอบจากการสำรวจการอุปมาของผู้เรียนมาวิเคราะห์ตามช่วงคะแนน โดยการวิเคราะห์การอุปมามี 2 ส่วน คือ 1) วิเคราะห์ตามลักษณะของพลังงาน และ 2) วิเคราะห์หาความเข้าใจผิด

3.3.6 เพื่อจัดกลุ่มลักษณะการอุปมาพลังงานไฟฟ้าของผู้เรียน

ผู้วิจัยจำแนกลักษณะการอุปมาพลังงานไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนแรกการวิเคราะห์ตามลักษณะของพลังงาน 4 ลักษณะ ได้แก่ การอนุรักษ์พลังงาน การลดทอนพลังงาน การเปลี่ยนภาพพลังงาน และการถ่ายโอนพลังงาน และ 2) การจำแนกลักษณะความเข้าใจคลาดเคลื่อนของผู้เรียน ได้แก่ อุปาทาน ความเชื่อที่ไม่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจคลาดเคลื่อนทางภาษา และความเข้าใจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

บทที่ 4

วิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน การวิเคราะห์ส่วนที่ 1 คือ การวิเคราะห์พัฒนาการทางความคิดรวบยอด เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบไปด้วย 1) การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการหาค่า Normalized gain 2) การวิเคราะห์คำตอบจากการสอบก่อนเรียนและหลังเรียน 3) การวิเคราะห์คำตอบจากขั้นตอนของการสอนแบบ Peer Instruction โดยใช้ Plickers การวิเคราะห์ส่วนที่ 2 คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนสอบหลังเรียนและลักษณะการอุปมาพลังงาน และการวิเคราะห์ส่วนที่ 3 คือ การวิเคราะห์การอุปมาของผู้เรียน

4.1 การวิเคราะห์พัฒนาการทางความคิดรวบยอด

การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการหาค่า Normalized gain ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียน ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรง ก่อน-หลังเรียน ด้วยการจัดกิจกรรมการสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อนผนวกการสอนแบบอุปมา

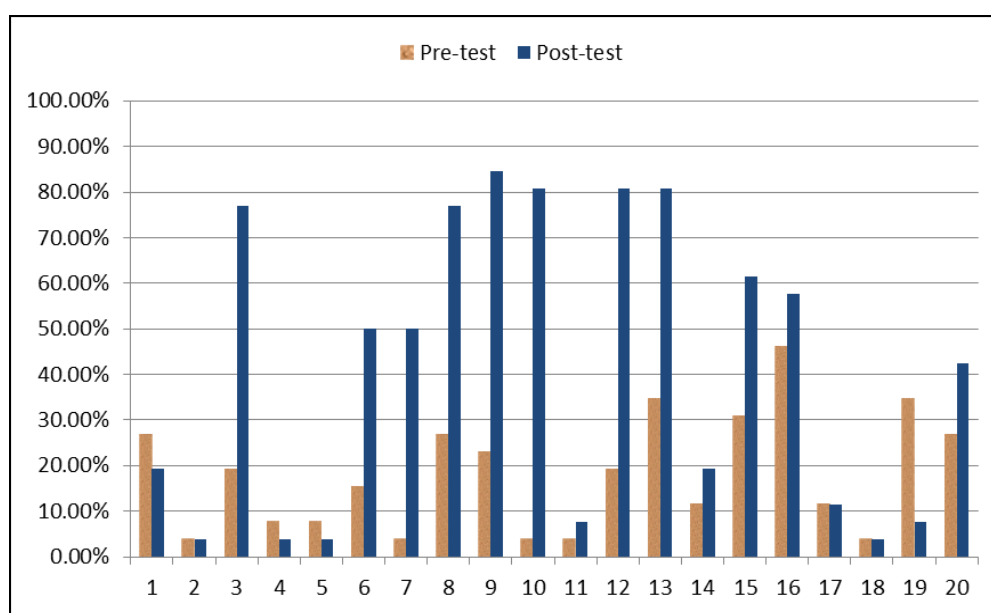
ผลคะแนน	จำนวนนักเรียน (คน)	คะแนนเต็ม 20 คะแนน		ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	
ก่อนเรียน	26	3.85	19.23	1.62
หลังเรียน	26	8.62	43.08	1.79

คะแนนเฉลี่ยของผู้เรียนสูงขึ้นประมาณ 2 เท่า หลักการจัดการเรียนรู้แบบ Peer Instruction ผนวกกับการสอนแบบอุปมา และผู้เรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนระดับปานกลาง $g = 0.30$ ซึ่งความก้าวหน้าทางการเรียนสอดคล้องกับผลการสำรวจความก้าวหน้าทางการเรียนของผู้เรียนประมาณ 50,000 คน ที่เรียนด้วยวิธีการที่แตกต่างกันระหว่างการสอนแบบบรรยาย (Traditional-Based Instruction: TRAD) และแบบปฏิสัมพันธ์ (Interactive Engagement: IE) ซึ่งการจัดการเรียนรู้แบบ Peer Instruction เป็นการสอนแบบปฏิสัมพันธ์ ความก้าวหน้าทางการเรียนของการสอนแบบ TRAD

จะอยู่ในเกณฑ์ต่ำ คือ $<g>$ น้อยกว่า 0.3 แต่การสอนแบบ IE ความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง $<g>$ อยู่ระหว่าง 0.3–0.7 (Joshua, et al., 2016)

4.2 การวิเคราะห์ข้อสอบจากการสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นจำนวนผู้ตอบถูกจากการทำข้อสอบจำนวน 20 ข้อ ในการสอบก่อน-หลังเรียน ข้อมูลดังกล่าวทำให้เห็นแนวโน้มความผิดปกติได้จาก 2 ลักษณะ คือ คะแนนสอบก่อนเรียนสูงกว่าคะแนนสอบหลังเรียน และจำนวนผู้ตอบถูกไม่ถึงร้อยละ 50.00 ในการทำข้อสอบหลังเรียน โดยนำคำตอบของผู้เรียนจำนวน 26 คน เฉพาะข้อที่มีความผิดปกติดัง 2 ลักษณะดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับผลการสำรวจของ Engelhardt และ Beichner ที่ได้ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบ Direct หลังจากเรียนเรื่องไฟฟ้ากระแสตรงเรียบร้อยแล้ว ข้อสอบที่ถูกนำมาวิเคราะห์มี 10 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 1, 2, 4, 5, 11, 14, 17, 18, 19 และ 20 โดยแต่ละข้อ มีรายละเอียดแยกย่อยดังนี้



ภาพที่ 4.1 คะแนนสอบก่อน-หลังเรียน

ประจุไฟฟ้าถูกใช้หมดไปกับการผลิตแสงในหลอดไฟใช่หรือไม่

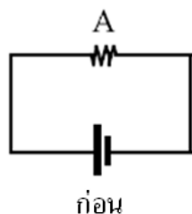
- A. ใช่ ประจุไฟฟ้าถูกใช้ในการผลิตแสงไฟ โดยที่ ประจุเคลื่อนที่ผ่านไส้หลอดทำให้เกิด "ความเสียดทาน" ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นในไส้หลอดและทำให้เกิดแสงไฟ
- B. ใช่ ประจุไฟฟ้าถูกใช้หมดไปในการผลิตแสงไฟ เพราะ ประจุถูกปล่อยออกมาในรูปของโฟตอนและหมดไป
- C. ใช่ ประจุไฟฟ้าถูกใช้หมดไปในการผลิตแสงไฟ เพราะ ประจุถูกดูดกลืนโดยไส้หลอดและหมดไป
- D. ไม่ใช่ ประจุไฟฟ้ามีปริมาณคงเดิม เพราะประจุไฟฟ้าเพียงแต่ถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปอื่น เช่น ความร้อนและแสงสว่าง
- E. ไม่ใช่ ประจุไฟฟ้ามีปริมาณคงเดิม ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านไส้หลอดทำให้เกิด "ความเสียดทาน" ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นในไส้หลอดและทำให้เกิดแสงไฟ

Pre					Post				
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
5	0	4	10	7	2	1	2	12	5

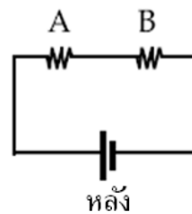
ภาพที่ 4.2 ข้อสอบข้อที่ 1 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน

จากภาพที่ 4.2 จำนวนผู้เรียนที่ตอบถูก (ข้อ E) ลดลงจาก 7 คน เหลือเพียง 5 คน ลดลงคิดเป็นร้อยละ 7.69 และจำนวนผู้ตอบถูกไม่ถึงร้อยละ 50.00 ของผู้เรียนทั้งหมดจำนวน 26 คน เมื่อวิเคราะห์คำตอบของผู้เรียนจากข้อสอบก่อน-หลังเรียน พบว่าผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ D มากที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 38.46 และ 46.15 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการสำรวจข้อมูลของผู้เรียนในสหรัฐอเมริกา ผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ D มากที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 46.00 จากผู้เรียน 692 คน (Engelhardt and Beichner, 2004) จึงสรุปได้ว่าผู้เรียนทั้ง 26 คน ส่วนใหญ่คิดว่าประจุสูญหายเนื่องจากถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานเช่นเดียวกันกับผลการสำรวจของผู้เรียนในสหรัฐอเมริกา

กำลังไฟฟ้าที่ให้แก่ตัวต้านทาน A จะเป็นอย่างไร เมื่อเพิ่มตัวต้านทาน B เข้าไปในวงจร



- A. เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของค่าเดิม
C. เท่าเดิม
E. ลดลงเหลือ 1/4 ของค่าเดิม

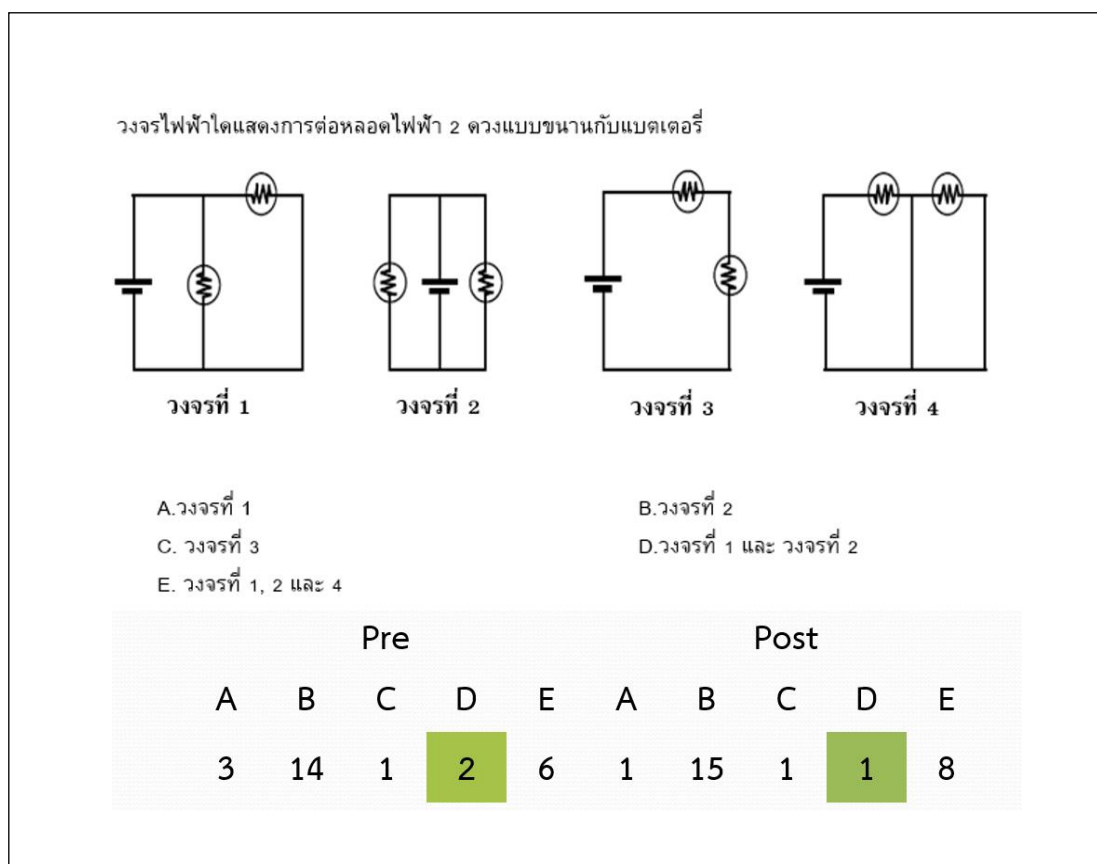


- B. เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของค่าเดิม
D. ลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่าเดิม

Pre					Post				
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
0	7	7	11	1	0	5	12	8	1

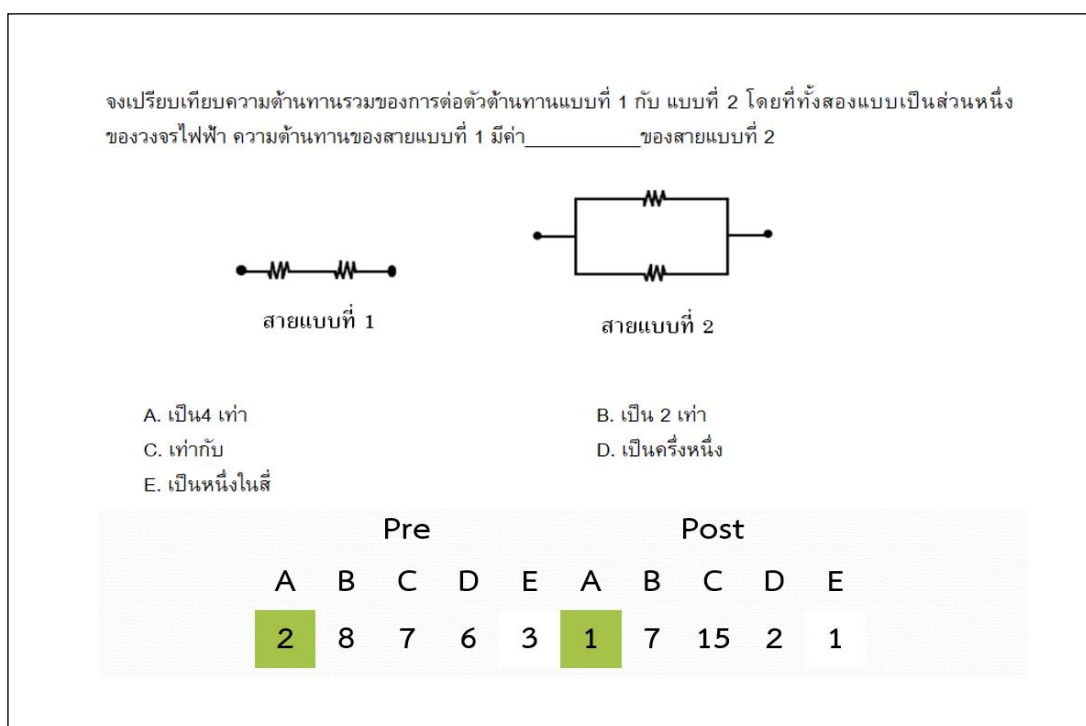
ภาพที่ 4.3 ข้อสอบข้อที่ 2 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน

จากภาพที่ 4.3 จำนวนของผู้ตอบถูก (ข้อ E) ในการสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมีค่าเท่ากันแต่ไม่ถึงร้อยละ 50.00 ของผู้เรียนทั้งหมดจากผู้เรียน 26 คน เมื่อวิเคราะห์คำตอบจากการทำข้อสอบพบว่า ผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ D มากที่สุดจากการทำข้อสอบก่อนเรียนคิดเป็นร้อยละ 42.31 และผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ C มากที่สุดจากการทำข้อสอบหลังเรียนคิดเป็นร้อยละ 46.15 แต่จากการสำรวจคำตอบของผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ D มากที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 47.00 และมีผู้เรียนเพียงร้อยละ 7.00 เท่านั้นที่ตอบถูก จากผู้เรียน 692 คน (Engelhardt and Beichner, 2004) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าผู้เรียนร้อยละ 96.15 ไม่สามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าในวงจรอย่างง่ายได้เช่นเดียวกับผู้เรียนร้อยละ 93.00 ของสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 4.4 ข้อสอบข้อที่ 4 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน

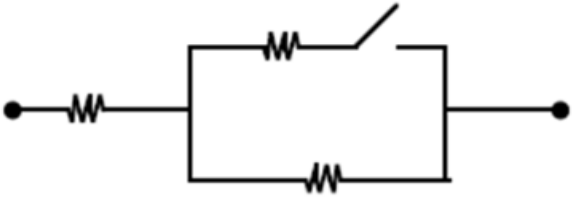
จากภาพที่ 4.4 จำนวนของผู้เรียนที่ตอบถูก (ข้อ D) น้อยลงและมีผู้เรียนตอบถูกไม่ถึงร้อยละ 50.00 จากผู้เรียนทั้งหมด 26 คน เมื่อวิเคราะห์คำตอบของผู้เรียนพบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่เลือก คำตอบข้อ B มากที่สุด โดยก่อนเรียนมีผู้เรียนร้อยละ 53.84 และหลังเรียนมีผู้เรียนร้อยละ 57.69 ที่เลือกคำตอบข้อ B ซึ่งแตกต่างจากผลการสำรวจผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาพบว่าผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ B ร้อยละ 35.00 และข้อ D ร้อยละ 37.00 จากผู้เรียน 692 คน (Engelhardt and Beichner, 2004) จึงสรุปได้ว่าผู้เรียนร้อยละ 96.15 จากผู้เรียน 26 คน ไม่สามารถระบุได้ว่าวงจรที่ 1 เป็นการต่อตัวต้านทานแบบขนานเช่นเดียวกับวงจรที่ 2 แต่ผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาเกินกว่า 1 ใน 3 ของผู้เรียนทั้งหมด 692 คน สามารถระบุได้ว่าวงจรที่ 1 เป็นการต่อตัวต้านทานแบบขนาน เช่นเดียวกับวงจรที่ 2



ภาพที่ 4.5 ข้อสอบข้อที่ 5 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน

จากภาพที่ 4.5 จำนวนของผู้เรียนที่ตอบถูก (ข้อ A) น้อยลงและมีผู้เรียนตอบถูกไม่ถึงร้อยละ 50.00 จากผู้เรียนทั้งหมด 26 คน เมื่อวิเคราะห์คำตอบก่อนเรียนพบว่าผู้เรียนที่เลือกตอบในข้อ B C และ D มีจำนวนแตกต่างกันเล็กน้อย ผู้เรียนร้อยละ 30.76 เลือกข้อ B ร้อยละ 26.92 เลือกข้อ C และ ร้อยละ 23.07 เลือกข้อ D แต่เมื่อวิเคราะห์คำตอบหลังเรียนพบว่าผู้เรียนเลือกตอบข้อ C มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 57.69 แต่จากผลการสำรวจคำตอบของผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาพบว่าผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ A มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 39.00 และรองลงมาคือข้อ B คิดเป็นร้อยละ 27.00 (Engelhardt and Beichner, 2004) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผู้เรียนร้อยละ 96.15 จากผู้เรียน 26 คน ไม่สามารถบอกความแตกต่างของความต้านทานรวมจากการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและขนานได้ซึ่งต่างจากผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาที่มีจำนวนผู้เรียนเกินกว่า 1 ใน 3 จาก 692 คน ที่สามารถบอกความแตกต่างของความต้านทานรวมจากการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและขนานได้

ความต้านทานรวมระหว่างจุดปลายทั้งสองข้างของวงจรเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อสับสวิทช์ลง



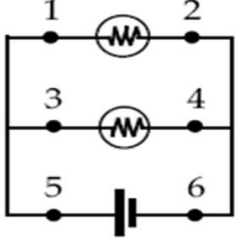
A. เพิ่มขึ้นอีก R
B. เพิ่มขึ้นอีก $R/2$
C. มีค่าเท่าเดิม
D. ลดลงไป $R/2$
E. ลดลงไป R

Pre					Post				
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
8	7	7	1	3	7	7	9	2	1

ภาพที่ 4.6 ข้อสอบข้อที่ 11 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน

จากภาพที่ 4.6 มีผู้เรียนตอบถูก (ข้อ D) เพิ่มขึ้นแต่ไม่ถึงร้อยละ 50.00 จากนักเรียนทั้งหมด 26 คน เมื่อวิเคราะห์คำตอบจากการสอบก่อนเรียนพบว่าผู้เรียนเลือกตอบข้อ D เพียงร้อยละ 3.84 และหลังเรียนมีผู้เรียนเลือกตอบข้อ D เพียงร้อยละ 7.68 แต่จากการสำรวจคำตอบของผู้เรียนในสหรัฐอเมริกา พบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 41.00 จากผู้เรียน 692 คน เลือกตอบข้อ D (Engelhardt and Beichner, 2004) จึงสรุปได้ว่าผู้เรียนร้อยละ 92.32 จากผู้เรียนทั้งหมด 26 คน ไม่สามารถคำนวณความต้านทานรวมของวงจรแบบผสมได้ซึ่งแตกต่างจากผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาที่ผู้เรียนเกือบ ครึ่งหนึ่ง จากผู้เรียนทั้งหมด 692 คน สามารถคำนวณความต้านทานรวมของวงจรแบบผสมได้

จงเรียงลำดับค่าของกระแสไฟฟ้าที่จุด 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด



A. 5, 3, 1, 2, 4, 6
 B. 5, 3, 1, 4, 2, 6
 C. 5 = 6, 3 = 4, 1 = 2
 D. 5 = 6, 1 = 2 = 3 = 4
 E. 1 = 2 = 3 = 4 = 5 = 6

Pre					Post				
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
5	5	9	3	4	1	2	12	5	6

ภาพที่ 4.7 ข้อสอบข้อที่ 14 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน

จากภาพที่ 4.7 มีผู้เรียนตอบถูก (ข้อ D) เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 7.69 แต่จำนวนของผู้เรียนที่ตอบถูกยังไม่ถึงร้อยละ 50 จากผู้เรียนทั้งหมด 26 คน เมื่อวิเคราะห์คำตอบจากการสอบก่อนเรียนพบว่าผู้เรียนเลือกตอบข้อ C มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 34.61 และเมื่อวิเคราะห์คำตอบจากการทำข้อสอบหลังเรียนพบว่าผู้เรียนเลือกข้อ C มากที่สุดเช่นเดิมแต่มีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 46.15 แต่ผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาเลือกตอบข้อ D เยอะที่สุดคิดเป็นร้อยละ 43.00 (Engelhardt and Beichner, 2004) จึงสรุปได้ว่าผู้เรียนร้อยละ 80.71 จากผู้เรียนทั้งหมด 26 คน ไม่สามารถบอกปริมาณกระแสในวงจรแบบขนานได้ แต่ผู้เรียนเกือบครึ่งหนึ่งจากผู้เรียนทั้งหมด 692 คน สามารถบอกปริมาณกระแสในวงจรแบบขนานได้

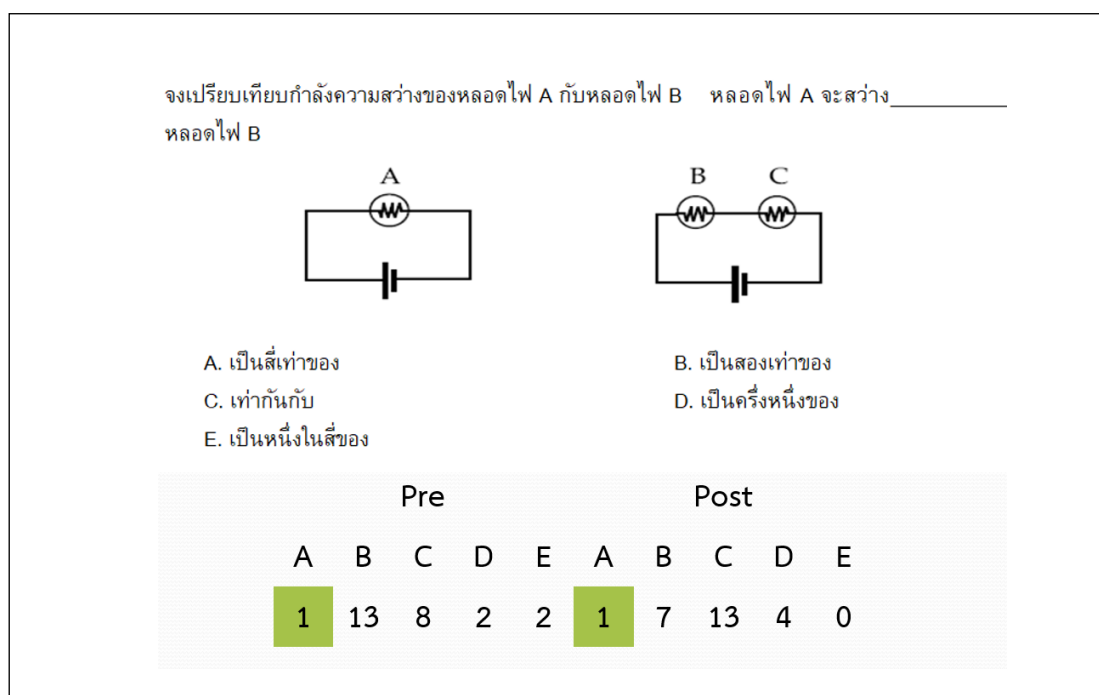
ถ้าเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่เป็น 2 เท่า ความต่างศักย์ที่คร่อมแบตเตอรี่จะเป็น 2 เท่าใช่หรือไม่

- A. ใช่ เพราะเป็นไปตามกฎของโอห์ม คือ $V = IR$
- B. ใช่ เพราะ ความต้านทานที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้น
- C. ไม่ใช่ เพราะ กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ทำให้ความต่างศักย์จะลดลงเป็นครึ่งหนึ่ง
- D. ไม่ใช่ เพราะ ความต่างศักย์เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของแบตเตอรี่
- E. ไม่ใช่ เพราะ ความต่างศักย์เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของอุปกรณ์ทุกตัวในวงจร

Pre					Post				
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
8	8	6	3	1	16	1	2	3	3

ภาพที่ 4.8 ข้อสอบข้อที่ 17 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน

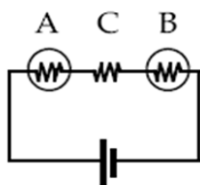
จากภาพที่ 4.8 จำนวนผู้เรียนที่ตอบถูก (ข้อ D) ยังคงเท่าเดิมแต่จำนวนผู้ตอบถูกไม่ถึงร้อยละ 50 ของผู้เรียนทั้งหมด 26 คน (มีผู้เรียน 1 คนไม่ตอบคำถามข้อนี้ในการทำข้อสอบหลังเรียน) เมื่อวิเคราะห์คำตอบก่อนเรียนพบว่าผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ A และ B เท่ากันคิดเป็นร้อยละ 30.77 แต่เมื่อวิเคราะห์คำตอบหลังเรียนพบว่าผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ A มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 61.53 และจากการสำรวจคำตอบของผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาพบว่าผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ A เยอะที่สุดคิดเป็นร้อยละ 47.00 (Engelhardt and Beichner, 2004) จึงสรุปได้ว่าผู้เรียนร้อยละ 61.53 จากผู้เรียนทั้งหมด 26 คน มีแนวคิดว่แบตเตอรี่สามารถเพิ่มกระแสให้ไหลเป็น 2 เท่า เช่นเดียวกับกับผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 47.00 จากผู้เรียนทั้งหมด 692 คน ในสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 4.9 ข้อสอบข้อที่ 18 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน

จากภาพที่ 4.9 จำนวนผู้เรียนที่เลือกคำตอบที่ถูกต้อง (ข้อ A) ก่อนเรียนและหลังเรียนยังคงเหมือนเดิมและจำนวนของผู้เรียนที่ตอบถูกไม่ถึงร้อยละ 50.00 จากผู้เรียนทั้งหมด 26 คน (มีผู้เรียน 1 คนไม่ตอบคำถามข้อนี้ในการทำข้อสอบหลังเรียน) เมื่อทำการวิเคราะห์คำตอบก่อนเรียนของผู้เรียนพบว่าผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ B มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 50.00 และหลังเรียนผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ C มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 50.00 แต่ผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาเลือกคำตอบข้อ B มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 60.00 (Engelhardt and Beichner, 2004) จึงสรุปได้ว่าผู้เรียนร้อยละ 96.15 จากผู้เรียนทั้งหมด 26 คน ไม่สามารถเปรียบเทียบกำลังส่องสว่างของหลอดไฟระหว่างสองวงจรนี้ได้ซึ่งสอดคล้องกับผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 95.00 จากผู้เรียน 692 คน ที่ไม่สามารถเปรียบเทียบกำลังส่องสว่างของหลอดไฟระหว่างสองวงจรนี้เช่นเดียวกัน

ความสว่างของหลอดไฟ A และ หลอดไฟ B จะเป็นอย่างไร เมื่อเพิ่มค่าความต้านทานของตัวต้านทาน C ในวงจรไฟฟ้าดังรูปข้างล่างนี้

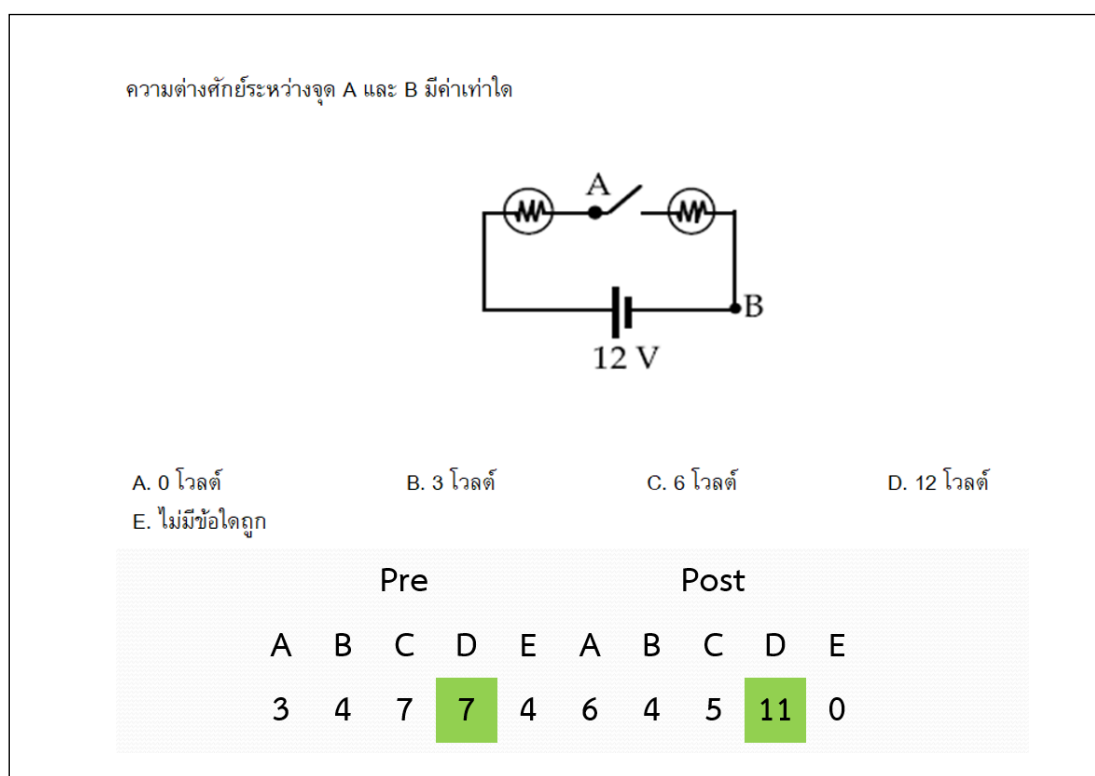


- A. A สว่างเท่าเดิม แต่ B สว่างลดลง
- B. A สว่างลดลง แต่ B สว่างเท่าเดิม
- C. A และ B สว่างเพิ่มขึ้น
- D. A และ B สว่างลดลง
- E. A และ B สว่างเท่าเดิม

Pre					Post				
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
9	0	4	9	3	11	0	0	2	13

ภาพที่ 4.10 ข้อสอบข้อที่ 19 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน

จากภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าก่อนเรียนมีผู้เรียนตอบถูก (ข้อ D) คิดเป็นร้อยละ 34.61 แต่หลังจำนวนผู้เรียนเรียนตอบถูกลดเหลือร้อยละ 7.69 จากผู้เรียนทั้งหมด 26 คน เมื่อทำการวิเคราะห์คำตอบก่อนเรียนของผู้เรียนพบว่าผู้เรียนเลือกตอบข้อ D กับข้อ A เท่ากันคิดเป็นร้อยละ 34.61 และหลังเรียนจำนวนผู้เรียนที่เลือกตอบข้อ E มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 50 และเลือกตอบข้อ A รองมาเป็นอันดับสองคิดเป็นร้อยละ 42.31 แต่การสำรวจคำตอบของผู้เรียนในสหรัฐอเมริกา พบว่าผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ A มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 44 และเลือกคำตอบข้อ D รองลงมาคิดเป็นร้อยละ 40 สรุปได้ว่าผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 92.31 ไม่สามารถบอกความสว่างของหลอดไฟทั้งสองหลอดเมื่อเพิ่มตัวต้านทานในวงจร ซึ่งแตกต่างจากผู้เรียนในสหรัฐอเมริกาเนื่องจากผู้เรียนเกือบครึ่ง (ร้อยละ 40) สามารถบอกความสว่างของหลอดไฟทั้งสองหลอดเมื่อเพิ่มตัวต้านทานในวงจรได้

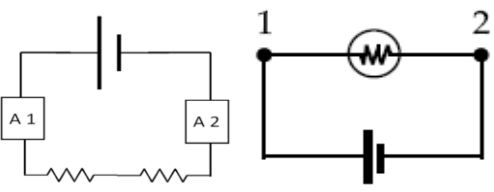
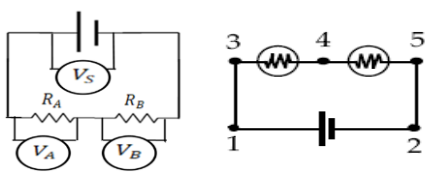
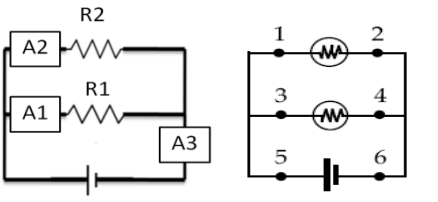
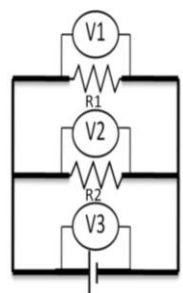


ภาพที่ 4.11 ข้อสอบข้อที่ 20 และจำนวนคำตอบที่ผู้เรียนเลือกในการสอบก่อน-หลังเรียน

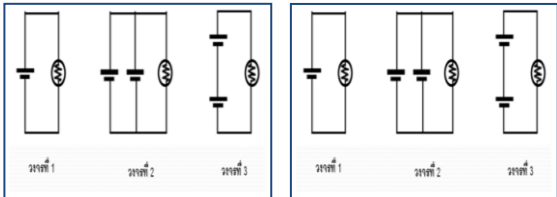
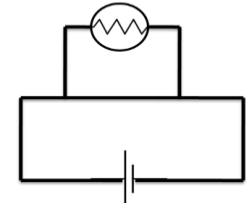
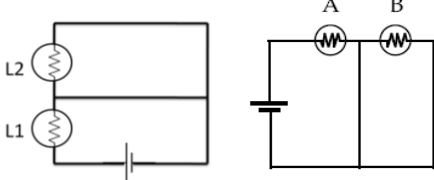
จากภาพที่ 4.11 จำนวนของผู้เรียนที่เลือกคำตอบที่ถูกต้อง (ข้อ D) เพิ่มขึ้น จากการสอบก่อนเรียนร้อยละ 26.92 และหลังเรียนร้อยละ 42.31 อย่างไรก็ตามจำนวนผู้เรียนที่ตอบถูกยังไม่ถึงร้อยละ 50 ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำคำตอบของผู้เรียนทั้ง 26 คน ไปเปรียบเทียบกับผู้เรียนในสหรัฐอเมริกา 692 คน โดยพบว่าผู้เรียนเลือกคำตอบข้อ A มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 45.00 และเลือกคำตอบที่ถูกต้องเพียงร้อยละ 24.00 จึงสรุปได้ว่าผู้เรียนร้อยละ 42.31 จากผู้เรียน 26 คน มีความเข้าใจในการวัดศักย์ไฟฟ้ามากกว่าผู้เรียนในอเมริกาซึ่งมีอยู่ร้อยละ 24.00 จากผู้เรียนทั้งหมด 692 คน

4.3 การวิเคราะห์คำตอบจากขั้นตอนของการสอนแบบ Peer Instruction (PI) โดยใช้ Plickers

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบคะแนนระหว่างการสอนและการสอบหลังเรียน

แนวคิดสำคัญ	คะแนนระหว่างกิจกรรมการสอน		คะแนน หลังเรียน (%)
	ก่อน Peer Discussion (%ของผู้เรียน)	หลัง Peer Discussion (%ของผู้เรียน)	
1. กระแสในวงจรอนุกรมเท่ากัน  (PI) (Post-Test)	68	85	75
2. ศักย์ไฟฟ้าในวงจรอนุกรมไม่เท่ากัน  (PI) (Post-Test)	62	76	50
3. กระแสในวงจรขนานไม่เท่ากัน  (PI) (Post-Test)	32	88	21
4. ศักย์ไฟฟ้าในวงจรขนานเท่ากัน  (PI) (Post-Test)	68	71	-

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบคะแนนระหว่างการสอนและการสอบหลังเรียน (ต่อ)

แนวคิดสำคัญ	คะแนนระหว่างกิจกรรมการสอน		คะแนน หลังเรียน (%)
	ก่อน Peer Discussion (%ของผู้เรียน)	หลัง Peer Discussion (%ของผู้เรียน)	
5.การต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนานและอนุกรม  (PI) (Post-Test)	15	71	75
6. ไฟฟ้าลัดวงจร 1  (PI) (Post-Test)	6	21	-
7. ไฟฟ้าลัดวงจร 2  (PI) (Post-Test)	29	71	82

ผู้วิจัยทำการจับคู่ข้อสอบหลังเรียน (Post-test) และคำถามที่ใช้ระหว่างการสอนแบบ Peer Instruction: PI เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์คำตอบของผู้เรียนดังตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในข้อที่ 1 ผู้เรียนส่วนน้อยยังคงสับสนเรื่องสัญลักษณ์เนื่องจากร้อยละของผู้ที่ตอบคำถามข้อดังกล่าวถูกในข้อสอบหลังเรียน (ร้อยละ 50) ยังคงน้อยกว่าร้อยละของผู้ที่ตอบคำถามถูก (ร้อยละ 85) ระหว่างเรียนหรือในข้อจากการสังเกตการณ์ของผู้สอน การที่มีผู้เรียนรู้จริงเพียงแค่ร้อยละ 50 อีกอีกส่วนเพียงแค่เชื่อเพื่อนและตอบตามดังนั้นจึงส่งผลให้เมื่อเปลี่ยนรูปแบบของวงจร ผู้เรียนจึงไม่สามารถตอบคำถามได้ถูกต้อง ข้อที่ 2 เป็นทำนองเดียวกันกับข้อที่ 1 คือ ผู้เรียนสับสนเรื่องสัญลักษณ์ ดังนั้นผู้สอนควรใช้เวลาในส่วนของบรรยาย เรื่อง การวัดศักย์ไฟฟ้าให้มากกว่านี้ เนื่องจากร้อยละผู้ตอบถูกระหว่างเรียนคิดเป็น

ร้อยละ 76 แต่หลังจากทำข้อสอบแล้วมีผู้ตอบถูกเพียงร้อยละ 50 ข้อที่ 3. ผู้เรียนสามารถบอกได้ว่า กระแสที่ไหลผ่าน R1 และ R2 จะไหลมารวมกันจึงทำให้ A3 มากที่สุด แต่ในขณะเดียวกัน ผู้เรียนยังคงคิดว่าตัวต้านทานที่อยู่ใกล้แหล่งจ่ายมากกว่ายังคงได้รับกระแสมากกว่าสำหรับวงจรขนาน เนื่องจากนิยามของวงจรขนานคือศักย์ไฟฟ้าเท่ากันแต่กระแสที่ไหลไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้เห็นได้ว่า ผู้เรียนที่ตอบถูกระหว่างเรียนมีสูงถึงร้อยละ 88 แต่เมื่อมาตอบในข้อสอบหลังเรียนจำนวนผู้ตอบถูกลด เหลือเพียงร้อยละ 22 ข้อที่ 4. ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความรู้เรื่องนี้ดีอยู่แล้วแต่ผู้เรียนแต่จากการสอบถาม ระหว่างเรียนมีผู้เรียนร้อยละ 15 ที่ให้เหตุผลว่า $V1 = V2$ และมากกว่า V3 เพราะ V3 ได้ให้ศักย์แก่ V1 และ V2 ไปแล้ว และมีผู้เรียนร้อยละ 15 ที่เชื่อว่า V3 มีศักย์มากที่สุด และ V2 รองลงมา และ V1 รองลงมาตามลำดับ เนื่องจาก V3 คือ แหล่งจ่ายไฟ V2 และ V1 อยู่ห่างออกไปจึงทำให้มีค่าน้อยลง ตามลำดับ ข้อที่ 5 ผู้เรียนมีความเข้าใจว่าการต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนานจะมีค่ามากกว่าการต่อเซลล์ไฟฟ้า แบบก้อนเดียวแต่เนื่องจากมีการทบทวนโดยวาดรูปและเขียนศักย์ไฟฟ้ากำกับไว้ หลังจากนั้นให้ผู้เรียน ถกเถียงกันและตอบคำถามใหม่อีกรอบ พบว่าผู้เรียนสามารถตอบคำถามถูกในส่วนของกิจกรรมระหว่าง เรียน (ร้อยละ 71) และข้อสอบหลังเรียน (ร้อยละ 75) ข้อที่ 6 ผู้เรียนไม่สามารถเข้าใจเรื่องไฟฟ้า ลัดวงจรได้แม้ทบทวนความรู้ เรื่อง การต่อวงจร ผู้เรียนมีทำการตอบ 3 ครั้งแต่ไม่มีครั้งใดที่จำนวนของ ผู้ตอบถูกถึงร้อยละ 50.00 ดังนั้นผู้สอนจึงทำการเฉลยด้วยการอุปมา ส่งผลให้มีผู้เรียนบางคนเริ่ม เข้าใจในการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร เมื่อเข้าสู่คำถามข้อที่ 7 ผู้สอนปล่อยให้ผู้เรียนเริ่มทำการถกเถียงกันจึงทำ ให้ผู้เรียนตอบถูกร้อยละ 71 และจำนวนผู้ตอบถูกจากการทำข้อสอบหลังเรียนเป็นร้อยละ 82 การสอน แบบเพื่อนช่วยเพื่อนแสดงให้เห็นถึงผู้เรียนบางคนที่ตอบตามเพื่อนร่วมชั้นเรียนโดยไม่สามารถแสดงเหตุผล ได้เต็มที่ถึงแม้ว่าจะเป็นห้องเรียนขนาดเล็กที่มีผู้เรียนเพียง 26 คน แต่สำหรับนักเรียนที่ได้รับฟังแต่ การบรรยายในวิชาวิทยาศาสตร์จึงเป็นเรื่องยากสำหรับการให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ในชั้นเรียนดังนั้นควร จัดกิจกรรมการสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อนให้บ่อยขึ้น

4.4 การวิเคราะห์คะแนนกับการอุปมา

ผู้สอนทำการวิเคราะห์คะแนนกับการอุปมาของผู้เรียน ในการเก็บข้อมูลการอุปมาผู้เรียนถูกถามว่า ผลงานเปรียบได้กับสิ่งของหรือกิจกรรมใดเพราะเหตุใด หลังจากนั้นผู้วิจัยให้เวลาผู้เรียนเขียนเป็นเวลา 10-15 นาที ก่อนที่ผู้วิจัยให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน

ตารางที่ 4.3 การจำแนกลักษณะของการอุปมาและคะแนนสอบหลังเรียน

คะแนนสอบ (หลังเรียน)	ลักษณะการอุปมา (ร้อยละ)					รวม
	การลดทอน พลังงาน	การเปลี่ยน รูปพลังงาน	การเปลี่ยนรูป พลังงานและการ ลดทอนพลังงาน	การถ่ายโอน พลังงาน	ไม่สามารถ ระบุได้	
0-4	-	-	-	-	-	-
5-8	ร้อยละ 11.53	ร้อยละ 11.53	-	-	ร้อยละ 11.53	ร้อยละ 34.59
9-12	ร้อยละ 26.93	ร้อยละ 7.70	ร้อยละ 7.70	ร้อยละ 19.23	ร้อยละ 3.85	ร้อยละ 65.41
13-16	-	-	-	-	-	-
17-20	-	-	-	-	-	-
รวม	ร้อยละ 38.46	ร้อยละ 19.23	ร้อยละ 7.70	ร้อยละ 19.23	ร้อยละ 15.38	ร้อยละ 100.00

ผู้เรียนที่มีอยู่ในช่วง 5-8 คะแนน ผู้เรียนร้อยละ 11.53 มองว่าพลังงานสามารถลดทอนได้ตามลักษณะของแบตเตอรี่คือเมื่อใช้ไปเรื่อย ๆ พลังงานที่สะสมไว้ที่แบตเตอรี่ก็หมดสิ้นไป และผู้เรียนร้อยละ 11.53 มองว่าพลังงาน สามารถเปลี่ยนรูปได้ เช่น จากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงและความร้อน ผู้เรียนที่อยู่ในช่วง 9-12 คะแนน ผู้เรียน ร้อยละ 26.93 เห็นสอดคล้องกับผู้เรียนในช่วง 5-8 คะแนน คือ พลังงานมีการลดทอนเนื่องจากแหล่งพลังงานมีพลังงานสะสมอยู่จำกัด ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าผู้เรียนที่มีช่วงคะแนนต่างกันมีผลต่อมุมมองของพลังงานแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามผู้เรียนที่อยู่ในช่วง 9-12 คะแนน ร้อยละ 19.23 ยังมีมุมมองต่อพลังงานว่าพลังงานสามารถถ่ายโอนได้ คือ พลังงานจากแบตเตอรี่ถูกถ่ายทอดให้แก่หลอดไฟจึงทำให้หลอดไฟสว่างโดยมีกระแสเป็นสื่อกลาง และมีผู้เรียน ร้อยละ 7.70 มีมุมมองว่าพลังงานเกิดการลดทอนพลังงานแต่พลังงานที่ลดลงไปนั้นมันเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น

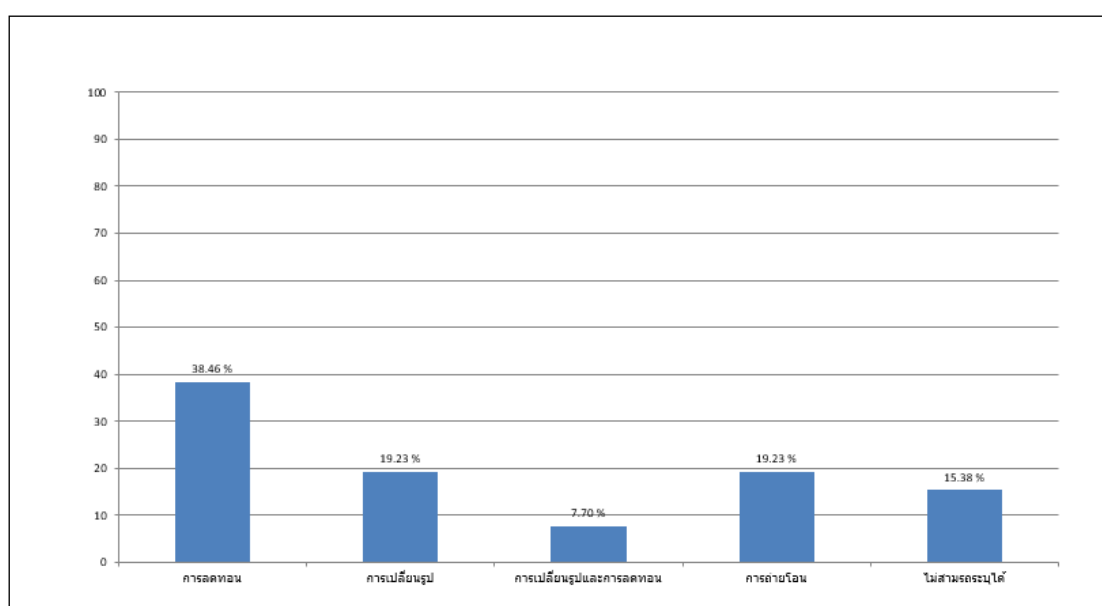
ผู้เรียนส่วนใหญ่ที่มีช่วงคะแนนระหว่าง 5-8 คะแนน ร้อยละ 11.53 มองว่าลักษณะเด่นของพลังงาน คือ การลดทอน เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ที่สะสมไว้ที่เมื่อต่อเข้ากับวงจรพลังงานที่สะสมอยู่ก็ค่อย ๆ หมดสิ้นไป และผู้เรียนร้อยละ 11.53 มองว่าพลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้ เช่น จากพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนไปเป็นพลังงานแสงและความร้อน

ผู้เรียนที่อยู่ในช่วง 9-12 คะแนน ผู้เรียนร้อยละ เห็นสอดคล้องกับผู้เรียนในช่วง 5-8 คะแนน คือ พลังงานจากแหล่งกำเนิดมีการลดทอนเมื่อเกิดการใช้งาน ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าผู้เรียนที่มีช่วงคะแนนต่างกันมีผลต่อมุมมองของพลังงานแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามผู้เรียนที่อยู่ในช่วง 9-12 คะแนน

ร้อยละ 19.23 ของผู้เรียน มีมุมมองต่อพลังงานว่าพลังงานสามารถถ่ายโอนได้ คือ พลังงานจากแบตเตอรี่ถูกส่งไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือหลอดไฟ ซึ่งแตกต่างจากผู้เรียนที่มีคะแนนอยู่ในช่วง 5-8 คะแนน เนื่องจากผู้เรียนในช่วงคะแนน 5-8 คะแนน ไม่มีการพูดถึงลักษณะการถ่ายโอนพลังงาน และมีผู้เรียนร้อยละ 7.70 มีมุมมองว่าพลังงานเกิดการลดทอนพลังงานแต่พลังงานที่ลดลงไปนั้นมันเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานรูปแบบอื่น

4.5 การวิเคราะห์การอุปมาของผู้เรียน

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลการอุปมาผู้เรียนโดยใช้คำถามว่าพลังงานเปรียบได้กับสิ่งของหรือกิจกรรมใดเพราะเหตุใด หลังจากนั้นผู้วิจัยนำการอุปมาลักษณะของพลังงานมาวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกการวิเคราะห์ตามลักษณะของพลังงาน 4 ลักษณะ ได้แก่ การอนุรักษ์พลังงาน การลดทอนพลังงาน การเปลี่ยนภาพพลังงาน และการถ่ายโอนพลังงาน และส่วนที่ 2 การจำแนกลักษณะความเข้าใจคลาดเคลื่อนของผู้เรียน ได้แก่ อุปาทาน ความเชื่อที่ไม่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ความเข้าใจคลาดเคลื่อนทางภาษา และความเข้าใจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง



ภาพที่ 4.12 จำนวนผู้เรียน (ร้อยละ) ที่เลือกเขียนลักษณะของพลังงาน

จากภาพที่ 4.12 ผู้เรียน คิดเป็นร้อยละ 38.46 มองว่าพลังงานมีการลดทอนซึ่งมีจำนวนมากเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือพลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้ (ร้อยละ 19.23) และพลังงานสามารถถ่ายโอนได้ (คิดเป็นร้อยละ 17.85) เป็นอันดับสอง และอันดับสุดท้ายคือการเปลี่ยนรูปและการลดทอนพลังงาน (ร้อยละ 7.70) อย่างไรก็ตามคำตอบของผู้เรียน ร้อยละ 15.38 ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ลักษณะของ

พลังงานได้เนื่องจากเขียนข้อมูลมาน้อยจึงไม่เพียงพอต่อการพิจารณา ซึ่งการสำรวจการอุปมาของผู้เรียนพบว่าผู้เรียนต่างสาขามองลักษณะเด่นของพลังงานแตกต่างกันออกไปซึ่งขึ้นอยู่กับว่าวิชาที่เรียนนั้นกล่าวถึงลักษณะใดเป็นส่วนใหญ่ (Lancor, 2012) ซึ่งในครั้งนี้นักเรียนเรื่องวงจรไฟฟ้า กระแสตรงพูดถึง เรื่อง การลดทอนพลังงาน ในส่วนของการสรุปความรู้ หลังจากนั้นพูดถึงการเปลี่ยนรูปและการถ่ายโอนพลังงานเพียงเล็กน้อย ดังนั้นแนวโน้มคำตอบของผู้เรียนจึงเอนเอียงมาทางด้านการลดทอนพลังงานมากกว่า

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างของการอุปมาจำแนกตามลักษณะของพลังงาน

ลักษณะของพลังงาน	ตัวอย่างของการอุปมา
การลดทอนพลังงาน	พลังงานเปรียบเสมือน รถของเล่น เพราะเมื่อปล่อยรถของเล่นไปตอนแรกมันจะเร็ว เมื่อเวลาผ่านไปมันจะเริ่มช้าลง เพราะเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างล้อรถกับพื้น เช่นเดียวกับพลังงานไฟฟ้าเมื่อผ่านไฟฉายทำให้หลอดไฟสว่างแต่เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ความสว่างของหลอดไฟก็หรี่ลง
การเปลี่ยนรูปพลังงาน	พลังงานเปรียบเสมือน สิ่งที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ เพราะพลังงานเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลเหมือนการเปิดพัดลมกระแสไฟฟ้า ทำให้พัดลมเกิดการหมุน หรือกระแสไฟฟ้าทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่
การเปลี่ยนรูปพลังงาน และการลดทอนพลังงาน	พลังงานเปรียบเสมือน กล้องดนตรี เพราะเมื่อการทำการหมุนลานของกล้องแล้วปล่อย พลังงานกลเปลี่ยนเป็นพลังงานเสียง เสียงเพลงจะค่อย ๆ ดังขึ้นและเบาลงในที่สุด ในทำนองเดียวกันพลังงานในถ่านไฟฉายที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้เมื่อนำไปใส่กับพัดลมของเล่นเมื่อใช้ไปชั่วระยะเวลาพัดลมจะหมุนช้าลงและหยุดในที่สุด
การถ่ายโอนพลังงาน	พลังงานเปรียบเสมือน การไหลของกระแสน้ำ เพราะกระแสไฟฟ้าเกิดจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไหลไปสู่อุปกรณ์ไฟฟ้าทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานได้ กระแสน้ำก็เกิดจากปั๊มที่ให้น้ำเกิดการไหลจึงเกิดแรงดันและทำให้เกิดกังหันหมุน (ถ่ายโอนจากแหล่งกำเนิดไปสู่เครื่องใช้ไฟฟ้า ถ่ายโอนพลังงานจากปั๊มไปสู่กังหัน)
ไม่สามารถระบุได้	พลังงานเปรียบเสมือน แก๊ส เพราะ แก๊สสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่นมนุษย์ใช้แก๊สออกซิเจนในการหายใจ

ตารางที่ 4.5 การจำแนกลักษณะอุปมาตามความเข้าใจผิดและคะแนนสอบหลังเรียน

คะแนนสอบ (หลังเรียน)	ลักษณะการอุปมา (ร้อยละ)				
	อุปาทาน	ความเชื่อที่ไม่เกี่ยวข้องกับ วิทยาศาสตร์	ความเข้าใจผิด พลาดตามแนวคิด	ความเข้าใจผิด พลาดตาม ภาษา	ความเข้าใจผิดไป จากความเป็นจริง
0-4	-	-	-	-	-
5-8	-	-	-	-	-
9-12	ร้อยละ 3.84	-	-	ร้อยละ 7.69	-
13-16	-	-	-	-	-
17-20	-	-	-	-	-
รวม	ร้อยละ 3.84	-	-	ร้อยละ 7.69	-

คำตอบของผู้เรียนสามารถสื่อสารออกมาถึงลักษณะเด่นของพลังงานในมุมมองของตนเองหลังจากเรียนเรื่องไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อพิจารณาคำตอบของผู้เรียนพบว่า ร้อยละ 10.71 มีความเข้าใจผิดอยู่ และเมื่อพิจารณาลงรายละเอียด พบว่า ผู้เรียนร้อยละ 7.14 มีการใช้คำไม่ตรงความหมายและผู้เรียนร้อยละ 3.57 ให้เหตุผลผิดไปจากความเป็นจริง

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างของการอุปมาจำแนกตามลักษณะความเข้าใจผิด

ลักษณะของพลังงาน	ตัวอย่างของการอุปมา
อุปาทาน	พลังงานเปรียบเสมือน การผลักสิ่งของ เพราะ ตอนเริ่มผลักต้องใช้พลังงานมากแต่เมื่อวัตถุเคลื่อนที่แล้ว เราออกแรงน้อยลง ใช้พลังงานน้อยลง เหมือนกับพลังงานที่มีการเสื่อมสภาพ (ในกรณีดังกล่าวไม่ใช่การเสื่อมสภาพของแรงเสียดทาน แต่เป็นเรื่องของแรงเสียดทานจลน์และแรงเสียดทานสถิต)
ความเชื่อที่ไม่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์	-
ความเข้าใจผิดพลาดตามแนวคิด	-
ความเข้าใจผิดพลาดตามภาษา	พลังงาน เปรียบเสมือนก้อนเมฆ เพราะเมื่อเวลาผ่านไปก้อนเมฆจะค่อย ๆ ระเหยสุดท้ายก้อนเมฆจะหมดไป เหมือนกับพลังงานที่สะสมอยู่ในแบตเตอรี่ (คำว่า ระเหยกับควบแน่น)
ความเข้าใจผิดไปจากความเป็นจริง	-

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การสอนเรื่องไฟฟ้ากระแสตรงด้วยชุดทดลองด้วยการอุปมาผนวกกับ ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ประสิทธิภาพของชุดสาธิต เรื่องไฟฟ้ากระแสตรง สามารถวัดกระแสได้แม่นยำด้วยค่า R-square = 0.99 ในส่วนของรูปลักษณะอยู่ในเกณฑ์ดี ความสะดวกในการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ดี ความเชื่อมโยงกับเนื้อหาอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ผู้เชี่ยวชาญเห็นเพิ่มเติมว่าควรทำสัญลักษณ์ที่ติดบนชุดสาธิตให้ชัดเจนกว่านี้ ลดน้ำหนักของวัสดุโดยใช้亚克力พร้อมทั้งทำที่จับเพื่อความสะดวกต่อการพกพา

5.1.2 ผู้เรียนมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน $\bar{x}_{pre} = 3.85$ คะแนนหลังเรียน $\bar{x}_{post} = 8.62$ ผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 23.85 และมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง $<g> = 0.30$ และจากการวิเคราะห์ข้อสอบก่อนและหลังเรียนทำให้เห็นแนวโน้มความผิดพลาดได้จาก 2 ลักษณะ คือ 1. คะแนนสอบก่อนเรียนสูงกว่าคะแนนสอบหลังเรียน 2. จำนวนผู้ตอบถูกไม่ถึงร้อยละ 50.00 ได้แก่ข้อที่ 1, 2, 4, 5, 11, 14, 17, 18, 19 และ 20 ซึ่งเมื่อนำข้อสอบทั้ง 10 ข้อที่กล่าวมาข้างต้นที่สำรวจมาจากกลุ่มผู้เรียน 26 คน มาเปรียบเทียบกับคำตอบของผู้เรียนในสหรัฐอเมริกา จำนวน 692 คน ที่ถูกสำรวจของ Engelhardt และ Beichner พบว่า ข้อที่ 1, 2, 17, 19 ผู้เรียนทั้งสองกลุ่มมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในทำนองเดียวกัน แต่ข้อที่ 4, 5, 11, 14, กลุ่มผู้เรียน 26 คนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนมากกว่ากลุ่มผู้เรียนในสหรัฐอเมริกา แต่สำหรับข้อที่ 20 กลุ่มผู้เรียน 26 คน มีร้อยละผู้ตอบถูกมากกว่ากลุ่มผู้เรียนในสหรัฐอเมริกา และจากการวิเคราะห์คำตอบระหว่างสอนแบบ Peer Instruction กับข้อสอบหลังเรียนพบว่าผู้เรียนบางคนที่ตอบตามเพื่อนร่วมชั้นเรียนโดยไม่สามารถแสดงเหตุผลได้เต็มที่ถึงแม้ว่าจะเป็นห้องเรียนขนาดเล็กที่มีผู้เรียนเพียง 26 คน แต่สำหรับนักเรียนที่ได้รับฟังแต่การบรรยายในวิชาวิทยาศาสตร์จึงไม่ถนัดกับการมีปฏิสัมพันธ์ในชั้นเรียนดังนั้นควรนำการสอนเช่นนี้ไปใช้กับผู้เรียนให้บ่อยยิ่งขึ้นเพื่อผลที่ดีกว่า

5.1.3 ผู้เรียนส่วนใหญ่ที่มีช่วงคะแนนระหว่าง 5-8 คะแนน ร้อยละ 11.53 มองว่าลักษณะเด่นของพลังงาน คือ การลดทอน เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ที่สะสมไว้ที่เมื่อต่อเข้ากับวงจรพลังงานที่สะสมอยู่ก็ค่อยๆ หมดสิ้นไป และผู้เรียนร้อยละ 11.53 มองว่าพลังงาน สามารถเปลี่ยนรูปได้ เช่น จากพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนไปเป็นพลังงานแสงและความร้อน

ผู้เรียนที่อยู่ในช่วง 9-12 คะแนน ผู้เรียนร้อยละ เห็นสอดคล้องกับผู้เรียนในช่วง 5-8 คะแนน คือพลังงานจากแหล่งกำเนิดมีการลดทอนเมื่อเกิดการใช้งาน ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าผู้เรียนที่มีช่วง

คะแนนต่างกันมีผลต่อมุมมองของพลังงานแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามผู้เรียนที่อยู่ในช่วง 9-12 คะแนน ร้อยละ 26.93 ของผู้เรียน มีมุมมองต่อพลังงานว่าพลังงานสามารถถ่ายโอนได้ คือ พลังงานจากแบตเตอรี่ถูกส่งไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือหลอดไฟ ซึ่งแตกต่างจากผู้เรียนที่มีคะแนนอยู่ในช่วง 5-8 คะแนน เนื่องจากผู้เรียนในช่วงคะแนน 5-8 คะแนน ไม่มีการพูดถึงลักษณะการถ่ายโอนพลังงาน และมีผู้เรียน ร้อยละ 7.70 มีมุมมองว่าพลังงานเกิดการลดทอนพลังงานแต่พลังงานที่ลดลงไปนั้นมันเปลี่ยนรูปไปเป็น พลังงานรูปแบบอื่น

5.1.4 ผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 38.46 มองการลดทอนเป็นลักษณะเด่นของพลังงานตามการใช้งานของแบตเตอรี่ เมื่อใช้ไปในชั่วระยะเวลาหนึ่งพลังงานที่สะสมไว้จะหมดไปซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้สอนในตอนสรุปบทเรียน ผู้เรียนร้อยละ 19.23 มองว่าลักษณะเด่นของพลังงาน คือ การเปลี่ยนรูป เป็นไปตามลักษณะของวงจรไฟฟ้า คือ การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงและความร้อน ผู้เรียนอีกกลุ่มร้อยละ 19.23 มองว่าลักษณะเด่น คือ การถ่ายโอน เนื่องจากพลังงานสามารถถ่ายโอนจากแบตเตอรี่ไปสู่หลอดไฟหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ได้ ในส่วนของผู้เรียนกลุ่มสุดท้ายร้อยละ 15.38 ไม่สามารถวิเคราะห์คำตอบได้เนื่องจากข้อมูลที่ให้ไม่เพียงพอ ในทางกลับกันคำตอบของผู้เรียนที่สามารถระบุถึงลักษณะเด่นของพลังงานได้แต่พบว่ามีความเข้าใจผิดพลาดอยู่ในนั้น คิดเป็นร้อยละ 11.53 เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าผู้เรียนร้อยละ 7.69 มีการใช้คำไม่ตรงความหมายและ ผู้เรียนร้อยละ 3.85 ให้เหตุผลผิดไปจากความเป็นจริง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 การปรับค่าตั้งต้นมีความจำเป็นอย่างมากในการสร้างอุปกรณ์ให้มีความเที่ยงตรง
- 5.2.2 การใช้กล่องที่เป็นอะคริลิกมีความเบากว่าจึงสะดวกต่อการขนย้าย
- 5.2.3 ผู้เรียนควรคุ้นเคยกับการสอนแบบเพื่อนช่วยเพื่อนมาก่อนจะได้สามารถมีปฏิสัมพันธ์ กล่าวพูด กล่าวแสดงเหตุผลของตนเอง

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์. (2558). “แผนการสอนเรื่องไฟฟ้ากระแสตรง”, **PHYSICS**.
http://physics.ipst.ac.th/wpcontent/uploads/sites/2/2015/03/LessonPlan_DirectCurrent.pdf. 19 กันยายน, 2560.
- สุระ วุฒิพรหม และคณะ. (2560). “เครื่องมือประเมินเพื่อการเรียนรู้แบบเรียลไทม์สำหรับห้องเรียนที่มีข้อจำกัดเรื่องเทคโนโลยี”, **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**. <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/JSTEL/article/view/9536>. 25 เมษายน, 2561.
- Anthony, C. **The Physics Companion**. 2nd ed. New York: Broken Sound Parkway CRC Press, 2015.
- Arduinoall. (2017). **Arduino Nano V3**. <https://www.arduinoall.com>. 27 September, 2017.
- Bernhard, J. “Interactive lecture demonstrations using MBL-equipment”, In **First European Conference on Physics Teaching in Engineering Education (PTEE97) Engineering College of Copenhagen (IKT)**. 5(1): 4-6; June, 1997.
- Breithaupt, J. **Physics**. 4th ed. London: Macmillan Education, 2015.
- Brown, S., and Salter, S. “Analogies in science and science teaching”, **Advances in physiology education**. 34(4): 167-169; April, 2010.
- Charles, W. Ryan. **Basic Electricity**. New York: John Wiley and Sons Inc, 1976.
- Chiu, Mei-Hung and Jing-Wen Lin. “Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies”, **Journal of Research in Science Teaching**. 42(4): 429-464; April, 2005.
- Cory, D., Chaniotakis, M. (2006). **Operational Amplifiers**. https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-071j-introduction-to-electronics-signals-and-measurement-spring-2006/lecture-notes/22_op_amps1.pdf. February 1, 2018.
- Dagher, Z. R. “Does the use of analogies contribute to conceptual change?”, **Science education**. 78(6): 601-614; November, 1994.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Destinti, R.J. **Analog to digital converter**. Washington D.C.: U.A. Patent and Trademark Office, 1993
- Duit, R. “On the role of analogies and metaphors in learning science”, **Science education**. 75(6): 649-672; November, 1991.
- Engelhardt, Paula Vetter, and Robert J. Beichner. “Students’ understanding of direct current resistive electrical circuits”, **American Journal of Physics**. 72(1): 98-115; January, 2004.
- Fransiska, R. W., and et al. “Electrical power measurement using arduinouno microcontroller and labview”, In **Instrumentation Communications Information Technology and Biomedical Engineering (ICICI-BME) 2013 3rd International Conference**. p. 226-229. Sydney Australia: University of Sydney, 2013.
- Glynn, Shawn M. **Four Decades of Research in Science Education-from Curriculum Development to Quality Improvement**. Münster: Waxmann, 2008.
- Hake RR. “Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses”, **American Journal of Physics**. 66(1): 64-74; January, 1998.
- Hugh, D. Young and et al. **College Physics**. 10th ed. Harlow: Edinburgh Gate Pearson Education Limited, 2016.
- Hyndman, R. J. “Moving averages”, In **International Encyclopedia of Statistical Science**. 38(1): 866-869; December, 2011.
- Joshua, et al. “Secondary analysis of teaching methods in introductory physics: A 50 k-student study”, **American Journal of Physics**. 84(12): 969-974; February, 2016
- Kittiamornkul, N. (2016). **OP-AMP**. <https://navapadol.files.wordpress.com/2016/01/chap8-opam.pdf>. 1 February, 2018.
- Kirk RE. **Experimental Design Procedures for the Behavioral Sciences**. Harlow: Edinburgh Gate Pearson Education Limited, 1982.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Lancor, R. A. “An analysis of metaphors used by students to describe energy in an interdisciplinary general science course”, **International Journal of Science Education**. 37(5-6): 876-902; April, 2015.
- _____. “Using student-generated analogies to investigate conceptions of energy: a multidisciplinary study”, **International Journal of Science Education**. 36(1): 1-23; January, 2014.
- Mazzolini, A., and et al. “The use of interactive lecture demonstrations to improve students’ understanding of operational amplifiers in a tertiary introductory electronics course”, **Latin American Journal of Physics Education**. 5(1): 147-153; March, 2011.
- Morley, A. and Edward, H. **Principle of Electricity**. 5th ed. Burnt Mill, Harlow: Longman House, 1994.
- Mouser Electronic, (2014). “Arduino Nano V3”, **MOUSER**. https://www.mouser.com/pdfdocs/Gravitech_Arduino_Nano3_0.pdf. 20 September 2017.
- National Research Council. **Science teaching reconsidered: A handbook**. Washington, D.C.: National Academies Press, 1997.
- Nicolas Michinov, Julien Morice and Vincent Ferrières. “A step further in Peer Instruction: Using the Stepladder technique to improve learning”, **Computers & Education**. 91(1): 1-13; December, 2015.
- Mazur, E. **Peer instruction Upper Saddle**. River NJ: Prentice Hall, 1997.
- H, Chris. and O, Keith. **Physics Standard Level**. Harlow: Edinburgh Gate Pearson Education Limited, 2007.
- Morley, A. and Edward, H. **Principle of Electricity**. 5th ed. Burnt Mill, Harlow: Longman House, 1994.
- Richard, J. Fowler. **Electricity Principle and Application**. 5th ed. Columbus, Ohio: McGraw-Hill, 1999.
- Sang, Yu, Wang and Xhang “The design of temperature measuring system based on ARM”, In **Applied Mechanics and Materials**. 23(325): 899-902; May, 2013.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sefton, I. M. “Understanding energy”, In **Proceedings of 11th biennial science teachers’ Workshop**. p. 17-18. Sydney Australia: University of Sydney, 2004.
- Thacker, Beth Ann, Uri Ganiel and Donald Boys. ‘Macroscopic phenomena and microscopic processes: Student understanding of transients in direct current electric circuits’, **American Journal of Physics**. 67(1): 25-31; April, 1999.
- Toedtanya, K., and Wuttirom, S. “The investigation of high school student’s energy concept by using analogies”, **Journal of Physics: Conference Series**. 1(901): 012119; September, 2017.
- Wanli, Z., and Guoxin, L. “The design of microcontroller teaching system”, In **World Automation Congress (WAC)**. 5(1): 1-3; June, 2012.
- Wuttirom, Sura, et al. “Using Plickers Cooperate with Peer Instruction to Promote Students' Discussion in Introductory Physics Course”, **Universal Journal of Educational Research**. 5(1): 1955-1961; November, 2017.
- Yarborough, B. (2015). “Components and Methods for Current Measurement”, **AZTRONIC**. <http://www.aztronic.cn/docs/30304/currentmeasurement.pdf>. 30 September, 2017.
- Zhen, Y. **Current sensing circuit concepts and fundamentals**. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01332B.pdf>. 1 February, 2018.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

เรื่องไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย

เวลา 2 ชั่วโมง

1. สาระ/มาตรฐาน/ผลการเรียนรู้

วัตถุประสงค์

1. เข้าใจการต่อวงจรอย่างง่าย
2. เข้าใจเรื่องตัวนำไฟฟ้าและฉนวนไฟฟ้า
3. เข้าใจเรื่องศักย์ไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าและความต้านทาน

ผลการเรียนรู้

1. สามารถระบุการต่อหลอดไฟในวงจรได้ว่าวงจรใดไฟสว่าง
2. สามารถระบุปัจจัยที่มีผลต่อการนำไฟฟ้าของวัสดุ
3. สามารถให้ความหมายของศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความต้านทานได้

2. สาระสำคัญ

ไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วลบไปยังขั้วบวกแต่กระแสสมมุติ (Conventional current) ไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบของแบตเตอรี่เมื่อวงจรครบสมบูรณ์ (แบตเตอรี่ ตัวนำไฟฟ้า และหลอด LED) ผ่านตัวนำไฟฟ้าซึ่งยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ในทางกลับกันฉนวนไฟฟ้าไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

ด้านความรู้

- 3.1 สามารถอธิบายองค์ประกอบของวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายได้
- 3.2 สามารถอธิบายคุณสมบัติของฉนวนและตัวนำไฟฟ้าได้
- 3.3 สามารถให้ความหมายของศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทาน

4. ชิ้นงาน/ภาระงาน

- 4.1 ใบงานเรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรอย่างง่าย
- 4.2 แบบทดสอบก่อนเรียน

5. การวัดการประเมินผล

ภาระงาน/ชิ้นงาน/พฤติกรรม	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การวัด	ผู้ประเมิน
1. ด้านความรู้	ใบความรู้	ร้อยละ 70	ผู้สอน

6. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้

กระบวนการจัดการเรียนรู้: การสอนแบบอุปมา (Analogies Approach)

6.1 นำเข้าสู่บทเรียน

อธิบายเรื่องไฟฟ้ากระแสตรงด้วยพาวเวอร์พอยต์ถึงองค์ประกอบของวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายได้แก่ ตัวนำ (สายไฟ), แหล่งพลังงาน (แบตเตอรี่) และ เครื่องใช้ไฟฟ้า (หลอดไฟ) หลังจากนั้นเริ่มทำแบบฝึกหัดข้อที่ 1.3 ในใบงาน เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรอย่างง่าย โดยถามผู้เรียนว่าการต่อวงจรแบบใดในข้อที่ 1.3 ผู้สอนเตรียมอุปกรณ์ได้แก่ ถ่านไฟฉาย สายไฟ และ หลอดไฟ หลังจากนั้นผู้เรียนสุ่มผู้เรียน 2 คน ออกมาช่วยกันต่อวงจรที่ตนเองเลือกจากตัวเลือกในข้อที่ 1.3 ถ้าหากต่อผิดให้สุ่มผู้เรียนมาใหม่อีก 2 คน เมื่อหลอดไฟติดแล้วจึงได้ข้อสรุปว่า ไฟฟ้าจะเกิดการไหลก็ต่อเมื่อมีเส้นทางสองเส้นทาง คือ เส้นแรกให้กระแสไหลเข้าและเส้นทางที่กระแสไหลออก

6.2 ขัณฑบทวนความรู้เดิม/ชั้นอธิบาย Analog concept

ผู้สอนทำใช้ภาพของระบบกักเก็บ ซึ่งระบบกักเก็บประกอบด้วย น้ำในท่อ (ที่ไม่มีฟองอากาศหรือไม่มีรูรั่ว) บีมน้ำ และกักเก็บ การหมุนของกังหันเกิดจากบีมน้ำป้อนแรงดันให้น้ำไปหมุนกังหัน ถ้าหากบีมน้ำป้อนแรงดันมากขึ้นยิ่งส่งผลให้กังหันหมุนเร็ว นั่นก็หมายความว่าน้ำที่ออกจากบีมต้องมีปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยเวลาเพิ่มขึ้นเช่น จาก 1.5 ลิตร/วินาที เพิ่มขึ้นเป็น 15 ลิตร/วินาที

6.3 ขัณฑระบุความคล้ายคลึง

ผู้สอนถามผู้เรียนว่า ส่วนประกอบของระบบกักเก็บทั้งสามส่วนนี้ เทียบได้กับอะไรในส่วนประกอบวงจรไฟฟ้า เมื่อผู้เรียนตอบคำถามเสร็จแล้ว ผู้สอนจึงลงรายละเอียดถึงปริมาณทั้งสามตัวได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าเปรียบได้กับแรงดันจากบีม กระแสไฟฟ้าเปรียบได้กับน้ำในท่อ และความต้านทานเปรียบได้กับน้ำหนักรของกังหัน เมื่อลงรายละเอียดของตัวแปรพื้นฐานทั้งสามเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงเชื่อมโยงเข้าสู่กฎของโอห์ม และการต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมและขนานในวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย

6.4 ขัณฑระบุความแตกต่าง

ระบบกักเก็บและวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายมีข้อแตกต่างกัน คือ อัตราการไหลของกระแสน้ำไม่สามารถคำนวณด้วยวิธีเดียวกันกับกระแส เนื่องจากอัตราการไหลของกระแสน้ำหาได้จากความเร็วของกระแสน้ำคูณกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ ซึ่งแตกต่างกับกระแสที่สามารถคำนวณได้จากศักย์ไฟฟ้าและความต้านทาน

6.5 ขั้นสรุป

6.5.1 วงจรไฟฟ้าประกอบด้วย แบตเตอรี่ หลอดไฟ และสายไฟ เปรียบเสมือนระบบกักเก็บที่ประกอบด้วย ปั๊มน้ำ กังหัน และท่อ

6.5.2 ศักย์ไฟฟ้าเปรียบได้กับแรงดันจากปั๊ม กระแสไฟฟ้าเปรียบได้กับน้ำในท่อ และความต้านทานเปรียบได้กับน้ำหนักของกังหัน

6.5.3 ไฟฟ้าไหลจากศักย์สูงไปศักย์ต่ำ น้ำไหลจากที่ที่มีความดันสูงไปยังที่ที่มีความดันต่ำ

7. สื่อการเรียนรู้

7.1 ใบกิจกรรม เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรอย่างง่าย

7.2 Power Point เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรอย่างง่าย

7.3 หลอดไฟ สายไฟ และถ่านไฟฉาย

8. แหล่งการเรียนรู้

8.1 โรงเรียนโรงเรียนปทุมราชวงศา

9. กิจกรรมเสนอแนะ

9.1 ไม่มี

10. บันทึกหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

10.1 ด้านการบรรลุผลการเรียนรู้

11.1.1 ด้านความรู้ความคิด

.....

.....

.....

.....

11.1.2 ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

.....

.....

.....

.....

11.1.3 ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์

.....

.....

.....

.....

11.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบจากการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

11.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการแก้ไข

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

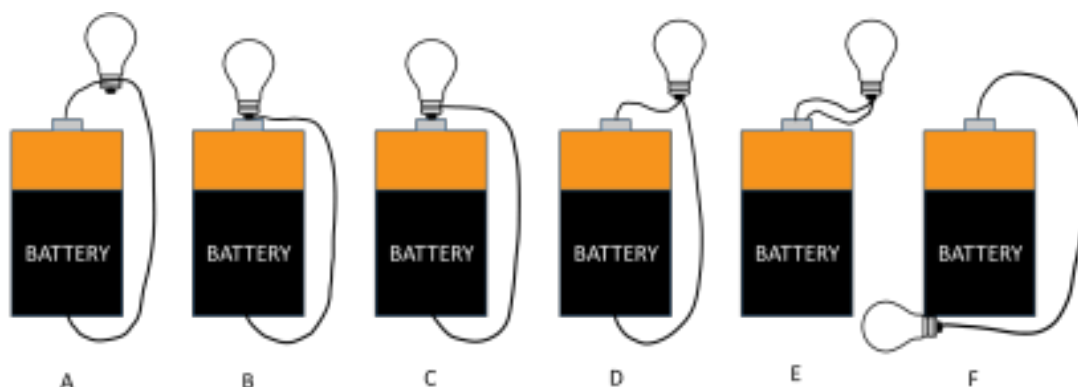
(นายขันติ เทิดธัญญา)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ใบงาน เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรอย่างง่าย

1. ไฟฟ้า (Electricity) และวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย (Simple electrical circuit)

- 1.1 ไฟฟ้าคือพลังงานรูปแบบหนึ่งที่ประกอบไปด้วย เช่น หรือ
- 1.2 การต่อวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายประกอบด้วยอะไรบ้าง 1. 2. 3.
- 1.3 กระแสไฟฟ้าไหลจากขั้ว บวก ไปยัง ลบ ของแบตเตอรี่



- 1.4 วงจร.....มีกระแสไหลในวงจรโดยที่การไหลของกระแสจะเปลี่ยนจากพลังงาน.....
เป็นพลังงาน.....และพลังงาน.....
- 1.5 วงจร ไม่มีการไหลของกระแสเพราะว่า วงจรต่อไม่สมบูรณ์

2. ศักย์ไฟฟ้า (Voltage) กระแสไฟฟ้า (Electrical current) และตัวต้านทาน (Resistor)

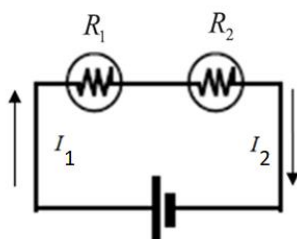
- 2.1 ถ้าแรงดันจากปั้มน้ำที่ทำให้น้ำไหลในท่อ แล้วแรงดันที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เรียกว่า “.....”
- 2.2 ความต่างศักย์หมายถึงความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้า 2 บริเวณ บริเวณที่มีประจุสะสมอยู่มากกว่า จะมี บริเวณที่มีประจุสะสมอยู่น้อยกว่า (ศักย์ไฟฟ้าต่ำ)
- 2.3 แบตเตอรี่มีพลังงาน สะสมอยู่ เมื่อต่อวงจรจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน ทำให้หลอดไฟสว่าง
- 2.4 ศักย์ไฟฟ้าทำให้ เคลื่อนจากตำแหน่งขั้วบวกไปยังขั้วลบ เช่น แบตเตอรี่ศักย์ไฟฟ้า 6.0 V ต่อเข้ากับหลอดไฟ 6.0 V ทุกๆประจุ 1 คูลอมบ์ จะส่งพลังงานไฟฟ้า 1 จูล เขียนเป็นสมการได้ว่า
 V หมายถึง
 E หมายถึง
 Q หมายถึง
- 2.5 ข้อตกลง ทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า คือ การไหลของ จากขั้ว.....ไปยังขั้ว.....

- 2.6 นำไหลจากที่.....ไปที่..... กระแสไฟฟ้าจึงไหลจาก..... (ขั้วบวก) ไปยัง (ขั้วลบ)
- 2.7 กระแส หมายถึง อัตราการไหลของประจุต่อหนึ่งหน่วยเวลา เขียนเป็นสมการ
- I หมายถึง
- Q หมายถึง
- t หมายถึง
- 2.8 ถ้าวัสดุมีความต้านทานน้อยถือว่าเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี แต่ถ้าวัสดุมีความต้านทานมากถือว่าเป็นตัวนำที่ไม่ดีเรียกว่า
- 2.9 ความต้านทานของวัสดุขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 อย่างได้แก่
1. ρ หมายถึง
 2. L หมายถึง
 3. A หมายถึง
- 2.10 จากข้อ 2.9 เขียนเป็นสมการ มีหน่วย
- 2.11 ทุกครั้งที่ประจุมีการเคลื่อนที่ไปชนกับอะตอมโลหะจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานทำให้ ส่งผลให้โลหะเกิดความร้อน
-

3. กฎของโอห์ม (Ohm's Law)

- 3.1 เมื่อทำการทดลองเพิ่มค่าของศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นเรื่อยๆ พบว่ากระแสเพิ่มขึ้น เมื่อนำศักย์ไฟฟ้าหารด้วยกระแสจะได้ ซึ่งหมายถึง
- 3.2 สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า
- V หมายถึง
- I หมายถึง
- R หมายถึง

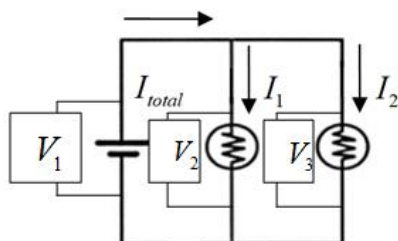
4. การต่อตัวต้านทานในวงจร (Resistors in circuits)



- 4.1 กระแสที่ไหลในวงจรอนุกรมมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงเขียนสมการได้ว่า
กระแสไฟฟ้า (I) ที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว.....

ความต่างศักย์ (V) ที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว.....

ความต้านทาน (R_{total})

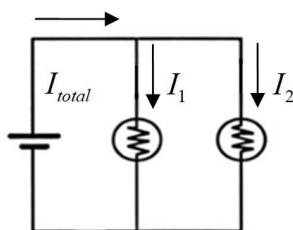


4.2 ศักย์ไฟฟ้าในวงจรอนุกรมมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงเขียนสมการได้ว่า

ความต่างศักย์ (V) ที่ตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว.....

กระแสไฟฟ้า (I) ที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว.....

ความต้านทาน (R_{total})



แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2

เรื่องตัวต้านทานและแบตเตอรี่ในวงจรแบบอนุกรมและขนาน

เวลา 2 ชั่วโมง

1. สาระ/มาตรฐาน/ผลการเรียนรู้

วัตถุประสงค์

1. เข้าใจตัวต้านทานแบบอนุกรมและขนาน
2. เข้าใจการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมและขนาน

ผลการเรียนรู้

1. สามารถบอกค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าภายในวงจรตัวต้านทานแบบอนุกรมและขนาน
2. สามารถบอกค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าภายในวงจรแบตเตอรี่แบบอนุกรมและขนาน

2. สาระสำคัญ

การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรมไม่ว่าจะวัดกระแส ณ ตำแหน่งใดในวงจร ค่าของกระแสที่วัดได้จะมีค่าเท่ากัน แต่ศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานนั้นขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของตัวต้านทาน การต่อตัวต้านทานแบบขนานเสมือนการต่อตัวต้านทานสองตัว ณ จุดเดียวกัน ทำให้ศักย์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากัน แต่กระแสที่วิ่งผ่านตัวต้านทานมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน การต่อแบตเตอรี่แบบขนานให้ศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่าการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมเนื่องจากการต่อแบบขนานให้ศักย์ไฟฟ้าเท่าเดิม (ศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่สองก้อนเท่ากัน) แต่การต่อแบบอนุกรมให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้

- 3.1.1 สามารถบอกค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าภายในวงจรตัวต้านทานแบบอนุกรมและขนาน
- 3.1.2 สามารถบอกค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าภายในวงจรแบตเตอรี่แบบอนุกรมและขนาน
- 3.1.3 สามารถบอกได้ว่าการต่อวงจรแบบใดทำให้เกิดกระแสลัดวงจร

4. ชิ้นงาน/ภาระงาน

- 4.1 คำถามวัดความเข้าใจ 7 ข้อ

5. การวัดการประเมินผล

ภาระงาน/ชิ้นงาน/พฤติกรรม	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การวัด	ผู้ประเมิน
1. ด้านความรู้	คำถามวัดความเข้าใจ	ร้อยละ 70	ผู้สอน

6. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้

กระบวนการจัดการเรียนรู้: Peer Instruction (PI)

6.1 ผู้สอนบรรยายความรู้เรื่อง ศักย์ไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าและความต้านทาน

6.2 ผู้สอนอธิบายหลักการวัดกระแสต่อแบบอนุกรมและศักย์ไฟฟ้าต่อแบบขนานด้วยชุดสาธิตเรื่องไฟฟ้ากระแสตรง

6.3 ผู้สอนถามคำถามข้อที่ 1 เรื่อง ค่าของกระแส ณ ตำแหน่ง A และตำแหน่ง B ผู้สอนซักถามผู้เรียนว่าค่าของกระแส ณ สองตำแหน่งนี้มีค่าแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร ผู้เรียนยกป้าย Plickers เพื่อใช้ในการตอบคำถาม โดยให้เวลาคิดไม่เกิน 1 นาที

6.4 ผู้สอนให้ผู้เรียนถกเถียงกันเป็นเวลา 2 นาทีเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเลือกเปลี่ยนคำตอบได้โดยเขียนคำตอบลงไปบนกระดาษคำตอบอีก 1 แผ่น โดยผู้ช่วยสอนจะเป็นคนดำเนินการแจกและเก็บกระดาษคำตอบ

6.5 ผู้สอนเฉลยด้วยการต่อวงจรจากชุดสาธิตและนับจำนวนผู้เรียนที่ตอบถูก

6.6 ผู้สอนอธิบายเพิ่มเติมด้วยการสอนแบบอุปมา (Analogies) ด้วยสื่อ Power Point

6.7 ผู้สอนเริ่มถามคำถามใหม่และทำตามกระบวนการเดิมจนครบ 6 คำถาม

7. สื่อการเรียนรู้

7.1 คำถามวัดความเข้าใจ 6 ข้อ

7.2 Power Point เรื่อง ตัวต้านทานและแบตเตอรี่ในวงจรแบบอนุกรมและขนาน

7.3 ชุดสาธิตเรื่องไฟฟ้ากระแสตรง

8. แหล่งการเรียนรู้

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

9. กิจกรรมเสนอแนะ

ผู้เรียนควรมีความเข้าใจเรื่อง ศักย์ไฟฟ้า, กระแสและความต้านทานมาก่อน

10. บันทึกหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

10.1 ด้านการบรรลุผลการเรียนรู้

10.1.1 ด้านความรู้ความคิด

.....

.....

.....

.....

10.1.2 ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

.....

.....

.....

.....

10.1.3 ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์

.....

.....

.....

.....

10.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบจากการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

10.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการแก้ไข

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(นายขันติ เทติธัญญา)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ภาคผนวก ข
เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

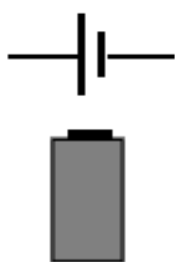
หมายเลขข้อสอบ



ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ห้าม ขีด/เขียน ข้อความใดๆ ลงบนข้อสอบ

ข้อตกลง

1. ข้อสอบมีทั้งหมด 29 ข้อ ให้เวลาในการทำข้อสอบ 45 นาที
2. แบตเตอรี่ที่ใช้ในข้อสอบเป็นแบบอุดมคติ ไม่มีความต้านทานภายใน
3. เส้นลวดที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าไม่มีความต้านทานภายใน
4. ข้างล่างนี้เป็นสัญลักษณ์ที่แทนอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในข้อสอบ



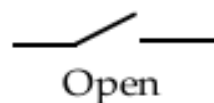
Batteries



Light Bulbs



Resistor



Open



Closed

Switches

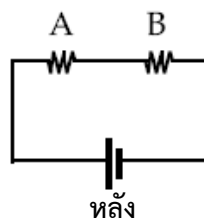
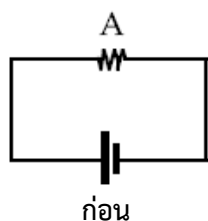
ข้อสอบ Paula V.Engelhardt และ Robert J.Beichner แห่ง North Carolina State University ในปี 1997

แปล กลุ่มฟิสิกส์ศึกษาแห่งประเทศไทย (Physics Education Network of Thailand, PENThai)

1. ประจุไฟฟ้าถูกใช้หมดไปกับการผลิตแสงในหลอดไฟไหม้หรือไม่

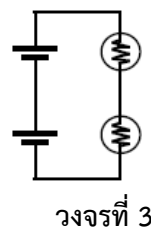
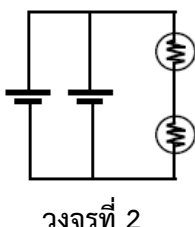
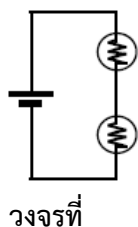
- A. ใช่ ประจุไฟฟ้าถูกใช้ในการผลิตแสงไฟ โดยที่ ประจุเคลื่อนที่ผ่านไส้หลอดทำให้เกิด “ความเสียดทาน” ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นในไส้หลอดและทำให้เกิดแสงไฟ
- B. ใช่ ประจุไฟฟ้าถูกใช้หมดไปในการผลิตแสงไฟ เพราะ ประจุถูกปล่อยออกมาในรูปของโฟตอนและหมดไป
- C. ใช่ ประจุไฟฟ้าถูกใช้หมดไปในการผลิตแสงไฟ เพราะ ประจุถูกดูดกลืนโดยไส้หลอดและหมดไป
- D. ไม่ใช่ ประจุไฟฟ้ามีปริมาณคงเดิม เพราะประจุไฟฟ้าเพียงแต่ถูกเปลี่ยนไปเป็นรูปอื่น เช่น ความร้อนและแสงสว่าง
- E. ไม่ใช่ ประจุไฟฟ้ามีปริมาณคงเดิม ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านไส้หลอดทำให้เกิด “ความเสียดทาน” ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นในไส้หลอดและทำให้เกิดแสงไฟ

2. กำลังไฟฟ้าที่ให้แก่ตัวต้านทาน A จะเป็นอย่างไร เมื่อเพิ่มตัวต้านทาน B เข้าไปในวงจร



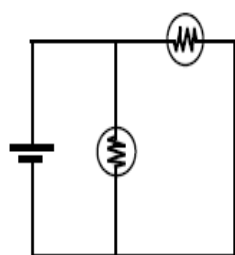
- A. เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าของค่าเดิม
- B. เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของค่าเดิม
- C. เท่าเดิม
- D. ลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่าเดิม
- E. ลดลงเหลือ 1/4 ของค่าเดิม

3. วงจรไฟฟ้าหรือวงจรไฟฟ้าคู่ใดได้รับกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ามากที่สุด

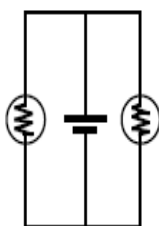


- A. วงจรที่ 1
- B. วงจรที่ 2
- C. วงจรที่ 3
- D. วงจรที่ 1 = วงจรที่ 2
- E. วงจรที่ 2 = วงจรที่ 3

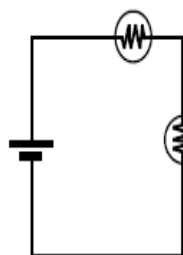
4. วงจรไฟฟ้าใดแสดงการต่อหลอดไฟฟ้า 2 ดวงแบบขนานกับแบตเตอรี่



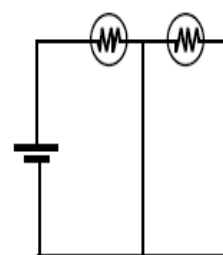
วงจรที่ 1



วงจรที่ 2



วงจรที่ 3

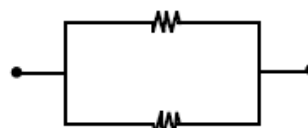


วงจรที่ 4

- A. วงจรที่ 1
B. วงจรที่ 2
C. วงจรที่ 3
D. วงจรที่ 1 และ วงจรที่ 2
E. วงจรที่ 1, 2 และ 4
5. จงเปรียบเทียบความต้านทานรวมของการต่อตัวต้านทานแบบที่ 1 กับ แบบที่ 2 โดยที่ทั้งสองแบบเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้า ความต้านทานของสายแบบที่ 1 มีค่า _____ ของสายแบบที่ 2

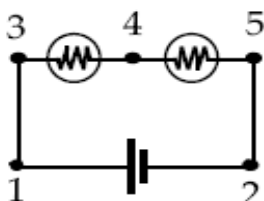


สายแบบที่ 1



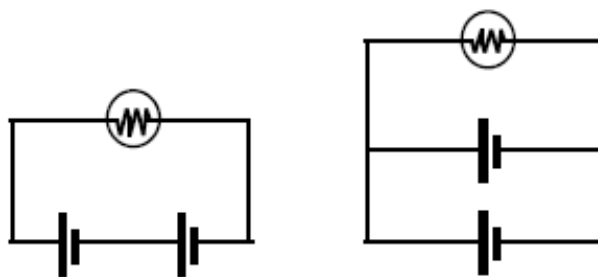
สายแบบที่ 2

- A. เป็น 4 เท่า
B. เป็น 2 เท่า
C. เท่ากับ
D. เป็นครึ่งหนึ่ง
E. เป็นหนึ่งในสี่
6. จงเรียงลำดับความต่างศักย์ระหว่างจุดที่ 1 และ 2, จุดที่ 3 และ 4 และ จุดที่ 4 และ 5 ในวงจรไฟฟ้าข้างล่างนี้จากมากไปน้อย



- A. 1 และ 2, 3 และ 4, 4 และ 5
B. 1 และ 2, 4 และ 5, 3 และ 4
C. 3 และ 4, 4 และ 5, 1 และ 2
D. 3 และ 4 = 4 และ 5, 1 และ 2
E. 1 และ 2, 3 และ 4 = 4 และ 5

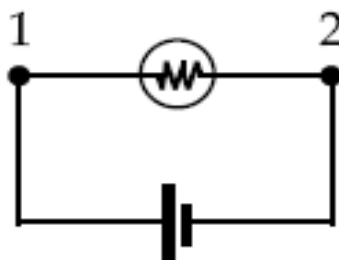
7. เมื่อเปรียบเทียบความสว่างของหลอดไฟฟ้าในวงจรที่ 1 กับวงจรที่ 2 หลอดไฟฟ้าในวงจรใดมีความสว่างมากกว่า



วงจรที่ 1

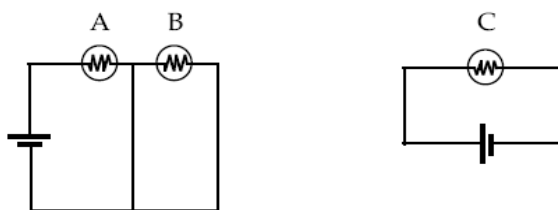
วงจรที่ 2

- A. หลอดไฟฟ้าในวงจรที่ 1 เพราะ มีแบตเตอรี่ 2 ตัวต่อกันแบบอนุกรมทำให้ความต่างศักย์ลดลง
 B. หลอดไฟฟ้าในวงจรที่ 1 เพราะ มีแบตเตอรี่ 2 ตัวต่อกันแบบอนุกรมทำให้ความต่างศักย์เพิ่มมากขึ้น
 C. หลอดไฟฟ้าในวงจรที่ 2 เพราะ มีแบตเตอรี่ 2 ตัวต่อกันแบบขนานทำให้ความต่างศักย์ลดลง
 D. หลอดไฟฟ้าในวงจรที่ 2 เพราะ มีแบตเตอรี่ 2 ตัวต่อกันแบบขนานทำให้ความต่างศักย์เพิ่มมากขึ้น
 E. หลอดไฟฟ้าทั้ง 2 วงจรสว่างเท่ากัน
8. เมื่อเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้า ณ จุดที่ 1 กับ กระแสไฟฟ้า ณ จุดที่ 2 ที่จุดใดมีค่ากระแสไฟฟ้ามากที่สุด



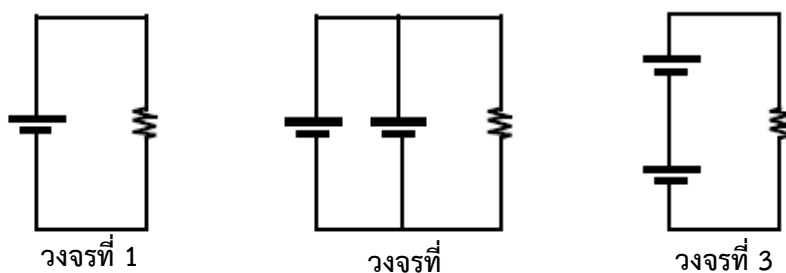
- A. จุดที่ 1
 B. จุดที่ 2
 C. จุดที่ 1 และ 2 มีกระแสไฟฟ้าเท่ากัน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวรอบวงจร
 D. จุดที่ 1 และ 2 มีกระแสไฟฟ้าเท่ากัน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลในสองทิศทางรอบวง

9. เมื่อเปรียบเทียบความสว่างของหลอดไฟฟ้า A, B และ C ในวงจรข้างล่างนี้ หลอดไฟฟ้าหรือหลอดไฟฟ้าคู่ใดที่สว่างมากที่สุด



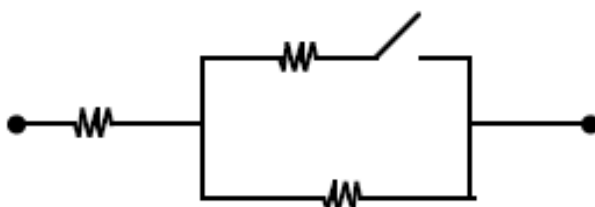
- A. A B. B
C. C D. A = B E. A = C

10. เมื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ให้แกตัวต้านทานแต่ละตัวในวงจรข้างล่างนี้ วงจรไฟฟ้าในวงจรใดที่ตัวต้านทานได้รับกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด



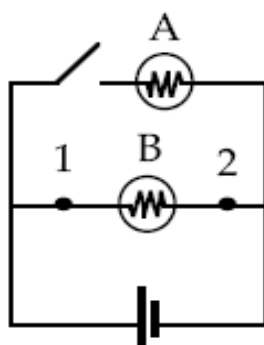
- A. วงจรที่ 1 B. วงจรที่ 2
C. วงจรที่ 3 D. วงจรที่ 1 = วงจรที่ 2
E. วงจรที่ 1 = วงจรที่ 3

11. ความต้านทานรวมระหว่างจุดปลายทั้งสองข้างของวงจรเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อสับสวิตช์ลง



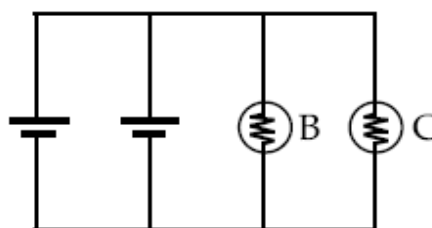
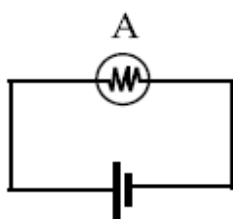
- A. เพิ่มขึ้น $\frac{R}{2}$ B. เพิ่มขึ้น $\frac{R}{2}$
C. มีค่าเท่าเดิม D. ลดลง $\frac{R}{2}$
E. ลดลง R

12. ความต่างศักย์ระหว่างจุด 1 และ 2 มีค่าเป็นเท่าใด เมื่อสับสวิตช์ลง



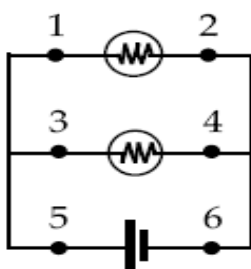
- A. เพิ่มขึ้น 4 เท่า
B. เพิ่มขึ้น 2 เท่า
C. มีค่าเท่าเดิม
D. ลดลงครึ่งหนึ่ง
E. ลดลงหนึ่งในสี่

13. เมื่อเปรียบเทียบความสว่างของหลอดไฟ A กับหลอดไฟ B หลอดไฟ A จะสว่าง _____
หลอดไฟ B



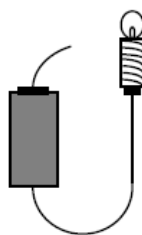
- A. เป็นสี่เท่าของ
B. เป็นสองเท่าของ
C. เท่ากันกับ
D. เป็นครึ่งหนึ่งของ
E. เป็นหนึ่งในสี่ของ

14. จงเรียงลำดับค่าของกระแสไฟฟ้าที่จุด 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด

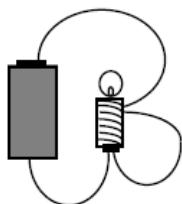


- A. 5, 3, 1, 2, 4, 6
B. 5, 3, 1, 4, 2, 6
C. 5 = 6, 3 = 4, 1 = 2
D. 5 = 6, 1 = 2 = 3 = 4
E. 1 = 2 = 3 = 4 = 5 = 6

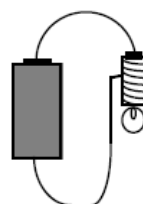
15. การต่อหลอดไฟฟ้าแบบใด ทำให้หลอดสว่าง



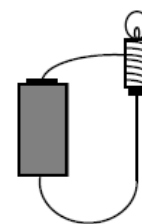
วงจรที่ 1



วงจรที่ 2



วงจรที่ 3



วงจรที่ 4

A. วงจรที่ 1

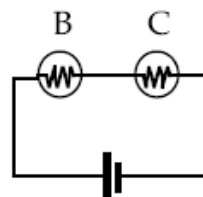
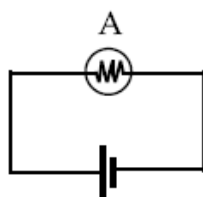
B. วงจรที่ 2

C. วงจรที่ 4

D. วงจรที่ 2 และ 4

E. วงจรที่ 1 และ 3

16. เมื่อเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ให้แก่หลอดไฟฟ้าแต่ละหลอดข้างล่างนี้ หลอดไฟฟ้าหลอดใดหรือคู่ใดที่ได้รับกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด



A. A

B. B

C. C

D. B = C

E. A = B = C

17. ถ้าเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่เป็น 2 เท่า ความต่างศักย์ที่คร่อมแบตเตอรี่จะเป็น 2 เท่าใช่หรือไม่

A. ใช่ เพราะเป็นไปตามกฎของโอห์ม คือ $V = IR$

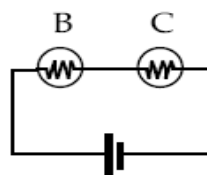
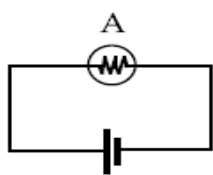
B. ใช่ เพราะ ความต้านทานที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้น

C. ไม่ใช่ เพราะ กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ทำให้ความต่างศักย์จะลดลงเป็นครึ่งหนึ่ง

D. ไม่ใช่ เพราะ ความต่างศักย์เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของแบตเตอรี่

E. ไม่ใช่ เพราะ ความต่างศักย์เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของอุปกรณ์ทุกตัวในวงจร

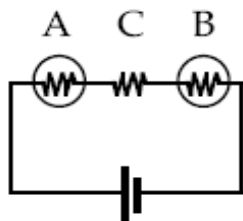
18. จงเปรียบเทียบความสว่างของหลอดไฟ A กับหลอดไฟ B หลอดไฟ A จะสว่าง _____ หลอดไฟ B



- A. เป็นสี่เท่าของ
- C. เท่ากันกับ
- E. เป็นหนึ่งในสี่ของ

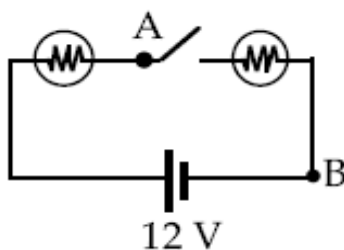
- B. เป็นสองเท่าของ
- D. เป็นครึ่งหนึ่งของ

19. ความสว่างของหลอดไฟ A และ หลอดไฟ B จะเป็นอย่างไร เมื่อเพิ่มค่าความต้านทานของตัวต้านทาน C ในวงจรไฟฟ้าดังรูปข้างล่างนี้



- A. A สว่างเท่าเดิม แต่ B สว่างลดลง
- B. A สว่างลดลง แต่ B สว่างเท่าเดิม
- C. A และ B สว่างเพิ่มขึ้น
- D. A และ B สว่างลดลง
- E. A และ B สว่างเท่าเดิม

20. ความต่างศักย์ระหว่างจุด A และ B มีค่าเท่าใด



- A. 0 โวลต์
- B. 3 โวลต์
- C. 6 โวลต์
- D. 12 โวลต์
- E. ไม่มีข้อใดถูก

ตารางที่ ข.1 คำตอบของข้อสอบวัดความเข้าใจเรื่องไฟฟ้ากระแสตรง

ข้อที่	คำตอบ	เหตุผล
1	E. ไม่ใช่ ประจุไฟฟ้ามีปริมาณคงเดิม ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านไส้หลอดทำให้เกิด “ความเสียหาย” ซึ่งทำให้เกิดความร้อนขึ้นในไส้หลอดและทำให้เกิดแสงไฟ	เมื่อประจุเคลื่อนที่ประจุจะเข้าไปชนกับอะตอมของโลหะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและไส้หลอดเกิดการเปล่งแสง
2	B. ลดลงเหลือ 1/4 ของค่าเดิม	$V = IR$ -1 $I = \frac{V}{R}$ -2 $P = IV$ -3 $P = I^2 R$ -4 นำ 2 แทนลงใน 4 จะได้ เนื่องจาก กระแสผ่าน R ตัวเดียว $P = \left(\frac{V}{2R}\right)^2 R$ -3 จึงคำตอบเป็น $\frac{P}{P_{old}} = \frac{1}{4}$
3	C. วงจรที่ 3	เนื่องจากการต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนานไม่ได้ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น
4	D. วงจรที่ 1 และ 2	เพราะแบบอื่นถือเป็นวงจรอนุกรมหมดเนื่องจากมีเส้นทางให้กระแสไหลแค่เส้นทางเดียว
5	A. เป็น 4 เท่า	$R_1 = R + R$ -1 $\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R}$ -2 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{2R}{0.5R} = 4$
6	E. 1 และ 2, 3 และ 4 = 4 และ 5	เป็นไปตามกฎของโอห์มเมื่อความต้านทานมีค่าเท่ากระแสที่ไหลในวงจร อนุกรมมีค่าเท่ากันดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานสองตัวจึงเท่ากัน แต่ ศักย์ไฟฟ้าที่แบตเตอรี่มีค่ามากที่สุด

ตารางที่ ข.1 คำตอบของข้อสอบวัดความเข้าใจเรื่องไฟฟ้ากระแสตรง (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบ	เหตุผล
7	B. หลอดไฟฟ้าในวงจรที่ 1 เพราะ มีแบตเตอรี่ 2 ตัวต่อกันแบบอนุกรมทำให้ความต่างศักย์เพิ่มมากขึ้น	เพราะ มีแบตเตอรี่ 2 ตัวต่อกันแบบอนุกรมทำให้ความต่างศักย์เพิ่มมากขึ้น แต่การต่อแบบขนานไม่ได้ช่วยให้ศักย์เพิ่มมากขึ้น
8	C. จุดที่ 1 และ 2 มีกระแสไฟฟ้าเท่ากัน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวรอบวงจร	เพราะประจุที่เข้าสู่แบตเตอรี่ต้องมีค่าเท่ากับประจุที่ออกจากแบตเตอรี่ ดังนั้น กระแสจึงวัดได้เท่ากัน
9	E. $A = C$	กระแสจะเลือกเส้นทางที่ความต้านทานน้อยที่สุด ดังนั้นกระแสจึงไม่เดินทางไปยังหลอดไฟดวงที่สองของวงจรที่ 1 จึงทำให้หลอดไฟ A และ C สว่างเท่ากัน เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นชนิดเดียวกัน
10	D. วงจรที่ 1 = วงจรที่ 2	เนื่องจากการต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนาน ไม่ได้ช่วยเพิ่มศักย์ไฟฟ้า
11	D. ลดลงเป็น $R/2$	$R_1 = R + R = 2R$ $\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R}$ $R_2 = 0.5R$ $R_{total} = R + 0.5R = 1.5R$ $\Delta R = 1.5R - 2.0R = -0.5R$
12	C. มีค่าเท่าเดิม	ศักย์ไฟฟ้าในวงจรขนานมีค่าคงที่แม้ว่าจะต่อตัวต้านเพิ่ม (ต่อต่อแบบขนานเท่านั้นถ้าต่อแบบอนุกรมเมื่อไหร่ลดทันที)
13	C. เท่ากันกับ	การต่อตัวต้านทานแบบขนานทำให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากันและการต่อเซลล์ไฟฟ้าแบบขนานก็ไม่ได้ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ ข.1 คำตอบของข้อสอบวัดความเข้าใจเรื่องไฟฟ้ากระแสตรง (ต่อ)

ข้อที่	คำตอบ	เหตุผล
14	D. $5 = 6, 1 = 2 = 3 = 4$	เนื่องจากความต้านทานมีค่าเท่ากัน กระแสจึงแบ่งไหลไปสองทิศทางเท่ากัน และกระแสไหลออกกับกระแสไหลเข้า ต้องมามีค่ามากกว่าเนื่องจากกระแสไหล ออกแยกไปสองทิศทางและกระแสไหล เข้าชั่วลบกก็เกิดจากกระแสสองทางมา รวมกัน
15	C. วงจรที่ 4	เนื่องจากการแยกขั้วให้กระแสสามารถ เดินทางจากบวกไปลบได้ ส่วนวงจรที่ สองเกิดกระแสลัดวงจรเนื่องจากการต่อ ตรงอีกครั้งหนึ่งจากบวกไปลบของ หลอดไฟทำให้กระแสไม่วิ่งผ่านไส้หลอด
16	D. $B = C$	เหตุผล เช่นเดียวกับข้อ 2
17	D. ไม่ใช่ เพราะ ความต่างศักย์เป็นคุณสมบัติ เฉพาะตัวของแบตเตอรี่	เราไม่สามารถกระแสให้ไหลออกจาก แบตเตอรี่ได้เนื่องจากมันเป็นคุณสมบัติ เฉพาะตัว สามารถทำได้โดยนำแบตเตอรี่ มาต่อกันแบบอนุกรมแต่ไม่สามารถเพิ่ม กระแสในวงจรเพื่อให้ศักย์ไฟฟ้าของ แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นได้
18	A. เป็นสี่เท่าของ	เหตุผล เช่นเดียวกับข้อ 2
19	D. A และ B สว่างลดลง	การเพิ่มตัวต้านทานไม่ได้ทำให้กระแส ไหลน้อยลงเฉพาะตำแหน่งที่อยู่หลังตัว ต้านทาน แต่การเพิ่มตัวต้านทานทำให้ กระแสไหลได้น้อยลงทั้งระบบ
20	D. 12 โวลต์	เปรียบเสมือนการวัดขั้วบวกและขั้วลบ ของแบตเตอรี่เนื่องจากกระแสยังไม่ได้ เกิดการไหลจึงไม่มีศักย์ตกคร่อมที่ หลอดไฟ

ภาคผนวก ค
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับชุดสาริต

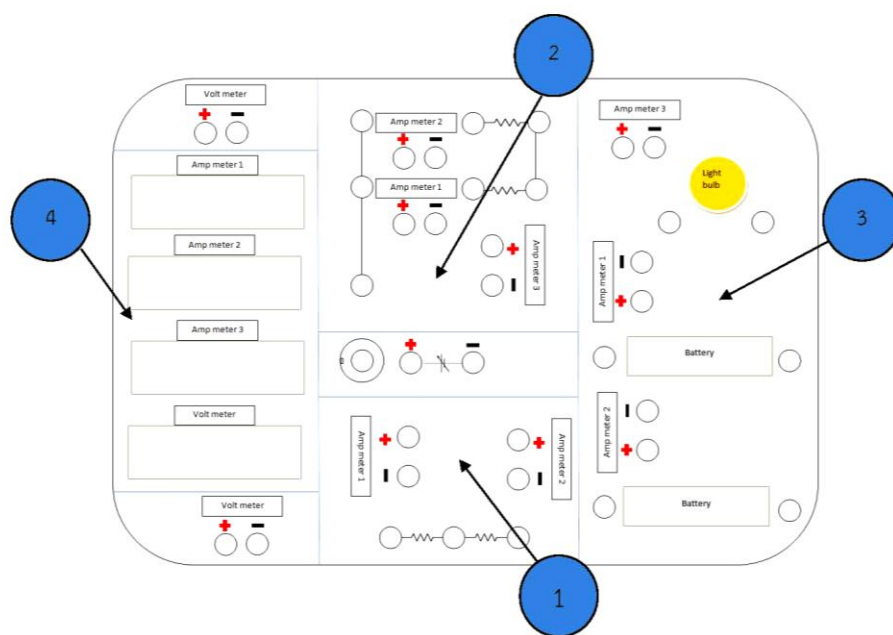
คู่มือการใช้อุปกรณ์

วัตถุประสงค์

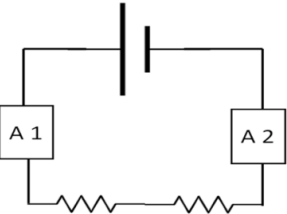
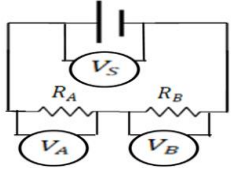
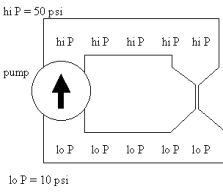
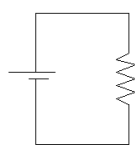
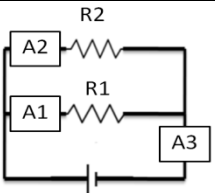
1. เพื่อแสดงค่าของกระแสและศักย์ไฟฟ้าในวงจรแต่ละแบบ
2. เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่าง ศักย์ไฟฟ้า, กระแสและความต้านทาน

วิธีการใช้และรายละเอียดของอุปกรณ์

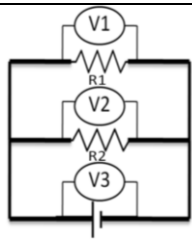
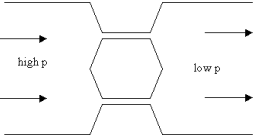
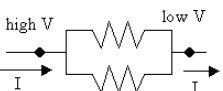
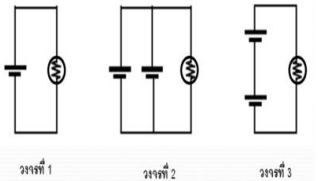
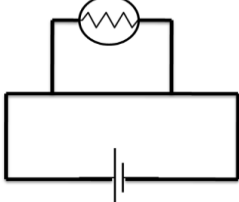
1. เสียบสาย USB ที่ด้านขวาของอุปกรณ์เข้ากับพาวเวอร์แบงก์ในตัวอุปกรณ์
2. ทำการต่อวงจร ตามคำถามในแต่ละข้อ ซึ่งบริเวณที่ 1 ใช้สาธิตคำถามข้อที่ 1.1 และ 1.2 บริเวณที่ 2 ใช้สาธิตคำถามข้อที่ 2.1 และ 2.2 และ บริเวณที่ 3 ใช้สาธิตคำถามข้อที่ 3.1 และ 3.2
3. บริเวณที่ 4 ซึ่งอยู่ด้านซ้ายมือ เป็นหน้าจอแสดงผล



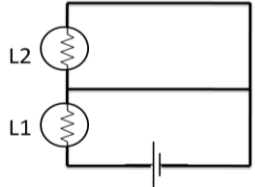
ตารางที่ ค.1 คำถามวัดความเข้าใจ

คำถาม	คำอธิบาย	Analogy (ตัวอย่าง)
 แอมมิเตอร์ 1 และ แอมมิเตอร์ 2 อ่านค่าเป็นอย่างไร ก. $A1 > A2$ ข. $A2 > A1$ ค. $A1 = A2$	ค. $A1 = A2$ ในวงจรอนุกรมมีกระแสเท่ากัน เนื่องจากกระแสไหลเข้าแบตเตอรี่และกระแสไหลออกต้องมีค่าเท่ากันตามกฎอนุรักษ์ประจุ จึงทำให้สรุปได้ว่าถ้าอัตราการไหลเข้าและไหลออกของกระแสมีค่าเท่ากัน ดังนั้นกระแสในวงจรทุกจุดจึงมีค่าเท่ากัน	กระแสที่ออกจากแบตเตอรี่กับกระแสที่เข้าสู่แบตเตอรี่ต้องเท่ากัน เปรียบเหมือนปั๊มน้ำที่สูบน้ำเข้าต้องมีปริมาณเท่ากับน้ำที่ส่งออก
 โวลต์มิเตอร์ V_A, V_B และ V_S มีค่าเป็นอย่างไร เมื่อ ตัวต้านทานทั้งสองมีค่าเท่ากัน ($R_A = R_B$) ก. $V_A < V_B < V_S$ ข. $V_A = V_B < V_S$ ค. $V_A > V_B > V_S$ ง. $V_A = V_B > V_S$	ข. $V_A = V_B < V_S$ เนื่องจากความต้านทานของ A และ B มีค่าเท่ากัน จึงทำให้ศักย์ไฟฟ้าแบ่งไปตกคร่อมที่ A และ B เป็นไปตามกฎของโอห์ม $V = IR$ ซึ่งกระแสเท่ากันและความต้านทานเท่ากันจึงทำให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน	เปรียบเทียบการวัดความดันที่แตกต่างกันระหว่างจุดสองจุดในระบบกักกัน   https://www.colorado.edu
 แอมมิเตอร์ 1, แอมมิเตอร์ 2 และ แอมมิเตอร์ 3 อ่านค่าเป็นอย่างไร เมื่อตัวต้านทานทั้งสองมีค่าเท่ากัน ($R1=R2$) ก. $A1 > A2 > A3$ ข. $A1 < A2 < A3$ ค. $A1 = A2 > A3$ ง. $A1 = A2 < A3$	ง. $A1 = A2 < A3$ กระแสที่ไหลออกมาจากแหล่งจ่ายแบ่งไปยังตัวต้านทานที่ 1 และ ตัวต้านทานที่ 2 และไหลกลับเข้ามาตัวต้านทานที่ 3 คืบ แต่เนื่องจากความต้านทานของตัวต้านทานทั้งสองมีค่าเท่ากัน ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านจึงมีค่าเท่ากัน	น้ำในท่อสองท่อไหลมารวมกัน ซึ่งเมื่อท่อมีขนาดเท่ากันจึงทำให้ความดันในท่อเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรของน้ำต่อหนึ่งหน่วยวินาทีที่มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ ค.1 คำถามวัดความเข้าใจ (ต่อ)

คำถาม	คำอธิบาย	Analogy (ตัวอย่าง)
 โวลต์มิเตอร์ V1, V2 และ V3 มีค่าเป็นอย่างไร เมื่อตัวต้านทานมีความต้านทานเท่ากัน ($R_1=R_2$) ก. $V_1 > V_2 > V_3$ ข. $V_1 < V_2 < V_3$ ค. $V_1 = V_2 = V_3$ ง. $V_1 = V_2 > V_3$	ค. V1 เท่ากับ V2 และเท่ากับ V3 ตัวต้านทานต่อเข้ากับจุดเดียวกันของแบตเตอรี่ ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมย่อมเท่ากันแต่กระแสที่ไหลผ่านขึ้นอยู่กับความต้านทานของตัวต้านทานนั้นๆ ดังนั้น $V_1 = V_2 = V_3$	เปรียบเทียบการวัดความดันที่แตกต่างกันระหว่างจุดสองจุดในระบบกักกัน   https://www.colorado.edu
 ความสว่างของหลอดไฟในวงจรเป็นอย่างไร ก. วงจรที่ 1 > วงจรที่ 2 > วงจรที่ 3 ข. วงจรที่ 1 = วงจรที่ 2 < วงจรที่ 3 ค. วงจรที่ 1 < วงจรที่ 2 < วงจรที่ 3 ง. วงจรที่ 1 = วงจรที่ 2 > วงจรที่ 3	ข. วงจรที่ 1 = วงจรที่ 2 < วงจรที่ 3 การต่อแบตเตอรี่แบบขนานไม่ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นวงจรที่ 1 จึงมีความสว่างเท่ากับวงจรที่ 2 และวงจรที่ 3 ต่อแบบอนุกรมจึงทำให้ศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าส่งผลให้ความสว่างมากกว่า	เปรียบเทียบการวางลูกบอล 1 ลูกไว้บนโต๊ะ 1 ตัว และวางลูกบอล 1 ลูกไว้บนโต๊ะ 2 ตัวที่เรียงต่อกัน ไม่ว่าจะอย่างไรพลังงานศักย์ของลูกบอลก็ไม่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าหากนำโต๊ะ 2 ตัวมาซ้อนกันพลังงานศักย์ก็เพิ่มขึ้น
 หลอดไฟสว่างหรือไม่ ก. สว่าง ข. ไม่สว่าง	ข. ไม่สว่าง เนื่องจากวงจรสมบูรณ์แล้วกระแสจึงไม่วิ่งผ่านตัวต้านทาน (หลอดไฟ)	กระแสเปรียบเสมือนคนขี่เกียจ มันจะเลือกเส้นทางที่สะดวกที่สุด อุปสรรคน้อยที่สุด ดังนั้นมันจึงไม่วิ่งผ่านตัวต้านทาน ยกเว้นเราบังคับให้เหลือทางเดินเพียงแค่ว่าเดียว

ตารางที่ ค.1 คำถามวัดความเข้าใจ (ต่อ)

คำถาม	คำอธิบาย	Analogy (ตัวอย่าง)
 ความสว่างของไฟหลอด L1 และ L2 เป็นอย่างไร ก. L2 สว่างแต่สว่างน้อยกว่า L1 ข. L2 ไม่สว่างแต่ L1 สว่าง ค. L2 และ L1 สว่างเท่ากัน	ข. L2 ไม่สว่างแต่ L1 สว่าง เนื่องจากวงจรสมบูรณ์แล้วกระแสจึงไม่วิ่งผ่านตัวต้านทานตัวที่สอง (หลอดไฟ)	กระแสเปรียบเสมือนคนขี่เกียจ มันจะเลือกเส้นทางที่สะดวกที่สุด อุปสรรคน้อยที่สุด ดังนั้นมันจึงไม่วิ่งผ่านตัวต้านทาน ยกเว้นเราบังคับให้เหลือทางเดินเพียงแค่ว่าเดียว (เหมือนกับข้อที่แล้ว)

แบบประเมินคุณภาพของอุปกรณ์

เกณฑ์	ระดับ				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
1. ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์					
1.1 รูปลักษณ์มีความดึงดูดน่าใช้งาน				1	
1.2 ตัวเลขแสดงผลมีความชัดเจน					1
1.3 การวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้ามีความถูกต้อง					1
2. ความเชื่อมโยงกับเนื้อหา					
2.1 อุปกรณ์สอดคล้องกับคำถามในชั้นการสอน Peer Instruction					1
2.2 ความเชื่อมโยงกับแนวคิดเรื่อง การต่อตัวต้านทานในวงจรกระแสตรง					1
3. ความสะดวกในการใช้งาน					
3.1 ความสะดวกในพกพาอุปกรณ์				1	
3.2 ความซับซ้อนในการใช้งาน				1	

ข้อเสนอแนะ: สำหรับการสาธิตถือว่ามีความเหมาะสม แต่ถ้าหากอยากให้ผู้เรียนได้ลงมือทำควรลดขนาดของเครื่องมือลง

แบบประเมินคุณภาพของอุปกรณ์

เกณฑ์	ระดับ				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
1. ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์					
1.1 รูปลักษณ์มีความดึงดูดน่าใช้งาน				1	
1.2 ตัวเลขแสดงผลมีความชัดเจน					1
1.3 การวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้ามีความถูกต้อง				1	
2. ความเชื่อมโยงกับเนื้อหา					
2.1 อุปกรณ์สอดคล้องกับคำถามในชั้นการสอน Peer Instruction				1	
2.2 ความเชื่อมโยงกับแนวคิดเรื่องการต่อตัวต้านทานในวงจรกระแสตรง				1	
3. ความสะดวกในการใช้งาน					
3.1 ความสะดวกในพกพาอุปกรณ์				1	
3.2 ความซับซ้อนในการใช้งาน			1		

ข้อเสนอแนะ: ควรจัดวางช่องด้านบนอุปกรณ์สำหรับเสียบสายไฟ ให้เข้าใจง่ายกว่านี้ และสื่อถึงการต่อวงจรให้มากกว่านี้ ควรทำสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าให้ชัดเจนกว่านี้

แบบประเมินคุณภาพของอุปกรณ์

เกณฑ์	ระดับ				
	ควรปรับปรุง	พอใช้	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
1. ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์					
1.1 รูปลักษณ์มีความดึงดูดน่าใช้งาน			1		
1.2 ตัวเลขแสดงผลมีความชัดเจน				1	
1.3 การวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้ามีความถูกต้อง				1	
2. ความเชื่อมโยงกับเนื้อหา					
2.1 อุปกรณ์สอดคล้องกับคำถามในชั้นการสอน Peer Instruction				1	
2.2 ความเชื่อมโยงกับแนวคิดเรื่องการต่อตัวต้านทานในวงจรกระแสตรง				1	
3. ความสะดวกในการใช้งาน					
3.1 ความสะดวกในพกพาอุปกรณ์				1	
3.2 ความซับซ้อนในการใช้งาน				1	

ข้อเสนอแนะ: ควรใช้อะคริลิกเป็นวัสดุของอุปกรณ์เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและควรทำหุ้มเพื่อให้ง่ายต่อการขนย้าย

ภาคผนวก ง
คะแนนและค่าสถิติที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ ง.1 วิเคราะห์ผลคะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) หลังเรียน (Post-test) และ
ความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคล <g>

เลขที่	ก่อนเรียน (เต็ม 20 คะแนน)	คิดเป็น เปอร์เซ็นต์	หลังเรียน (เต็ม 20 คะแนน)	คิดเป็น เปอร์เซ็นต์	<g>
1	7	25.00%	12	42.86%	0.38
2	4	14.29%	9	32.14%	0.31
3	4	14.29%	7	25.00%	0.19
4	5	17.86%	9	32.14%	0.27
5	5	17.86%	9	32.14%	0.27
6	4	14.29%	8	28.57%	0.25
7	3	10.71%	8	28.57%	0.29
8	4	14.29%	6	21.43%	0.12
9	3	10.71%	10	35.71%	0.41
10	3	10.71%	8	28.57%	0.29
11	3	10.71%	11	39.29%	0.47
12	2	7.14%	8	28.57%	0.33
13	4	14.29%	12	42.86%	0.5
14	7	25.00%	8	28.57%	0.07
15	6	21.43%	9	32.14%	0.21
16	1	3.57%	5	17.86%	0.21
17	5	17.86%	6	21.43%	0.07
18	3	10.71%	10	35.71%	0.41
19	4	14.29%	6	21.43%	0.12
20	2	7.14%	9	32.14%	0.39
21	3	10.71%	10	35.71%	0.41
22	6	21.43%	8	28.57%	0.14
23	4	14.29%	7	25.00%	0.19
24	2	7.14%	9	32.14%	0.39
25	5	17.86%	10	35.71%	0.33
26	1	3.57%	10	35.71%	0.47

ภาคผนวก จ
การตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการ

The investigation of high school student's energy concept by using analogies

K Toedtanya and S Wuttiprom*

Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Thailand, 34190

Email: *sura.w@ubu.ac.th

Abstract. Alternative energy tends to be more widespread in Thailand because the advanced technology, enhance the potential of equipment which becomes more economically rather than setting in laboratory likes in the past. For this reason students should understand profoundly about the characteristic of energy before they learned about alternative energy. To help students get more comprehension about the characteristic of energy, we need to investigate the idea about energy. There are three main reasons for the investigation (1) to know how students use analogy to describe characteristic of energy (2) to find out the most frequent characteristic that student used (3) to classify analogies for energy by using category of misconceptions which helped us to group students if there were any vague content in students' explanation. Students were given a task to write their analogies after doing the STEM activity (Bungee Jump) in class. The answers were categorized into four terms of scientific contexts: energy can be accounted, can change forms, can be lost and can be transferred.

1. Introduction

Energy education has become extremely convincing people in society because the demand of energy has been rising but the energy resources has been decreasing [4]. To teach the energy, analogies are valuable tools to explain energy in a tangible way [3]. In the present many science text books use analogies to illustrate the idea of science [5]. On the other hand analogies can show how students conceptualized the idea of energy [7]. There were the investigations about energy concept by using students' analogy. Those paper focused on students who study in different science topic or same topic with different aspects [7]. But in this paper we did both investigation and classify the students' analogies with. There were three objective (1) to know how students use analogy to describe energy characteristic analogies (2) to know the most frequent characteristic that students used (3) to classify analogies for energy by using category of misconceptions. We used analogies as tools to see what students conceptualized energy in the way that student.

2. Theoretical Framework

2.1. Analogy

An analogy is very useful in science education. The role of analogy is to explain the scientific model in more concrete terms, and explicitly states a functional or structural relationship between the target concept and the analogy [8]. By asking students to describe something in science class with analogy.

They can create the mental model by individuals even working in a group or alone and analogy is often used to represent a mental model [2]. Mental models are iconic, that is, their structure as far as possible corresponds to the structure of what they represent [6]. To investigate student's concept teacher can use analogy to reflect what idea that student has.

2.2. Criteria for Analogy

An analogy is often used in science, however students may not perceive the gist of analogy furthermore sometimes an analogy can be misinterpreted or discounted, educationalists often concern about the use of an analogy in teaching [1]. To consider the use of analogies, several analogies are very convincing so the reader may pay attention to the similarities that relevant to the problem however the justification of the conclusion bases on logic in nature thus the overall degree of similarity has no meaning in the process [9]. Under this framework, the analogies were categorized by using scientific misconception because we really want to explore that how many students use their past science knowledge to explain new concept. If the students mention things that is not relevant with science or base on science logic, will be categorize as follows [8]

- Preconceived notions are conceptions that base on daily life experience.
- Non-scientific beliefs are conceptions that cannot be proved by science.
- Conceptual misunderstandings occur when scientific information do not lead students to the law, theory or model in science.
- Vernacular misconceptions happen when students use a familiar word but it has the different meaning in science context.
- Factual misconceptions are false conceptions happen when students memorize the situation and assume that is a fact. Mostly those conceptions happen in early childhood when something happened and students believed it without asking for a reason.

3. Literature Review

3.1. Definition of Energy

Giving, the definition of energy, is difficult. There is no absolute or universal concept to define an abstract concept like energy [9]. In science education energy is usually defined as: (1) energy defined through the concept of work; (2) energy as something that 'makes things go'; or (3) energy as a measure of change in a system [5]. However in science the energy definition remain controversial but the calculation and application of energy is more necessary.

3.2. Characteristic of Energy

Duit [2] has proposed five aspects of energy in science class. Those aspects were concept of energy; energy degradation; energy conservation; energy conservation and energy transfer. However Lancor [7] has presented the five characteristics of energy which consists of energy conservation; energy degradation; energy transformation; energy transfer and energy source. So I decided to choose four items from their lists which intersect as characteristics of energy in this paper.

- Energy conservation – Energy cannot be destroyed or created.
- Energy degradation – The usable form of energy is decreased because it changes into unusable form such as when you put a hundred joules into a pistol the pistol changes 80 joules into mechanic energy but the rest of energy transformed into sound and heat energy.
- Energy transformation – Energy has various form and it can be converted back and forth.
- Energy transfer – Energy moves from higher intensity to lower intensity in a system. For example, if you throw a ball into a stack of cans. Energy in a ball is higher when it collides, energy from a ball will transfer to a stack of cans.

4. Method

4.1. Participants

Participants were twenty-nine high school students from intensive mathematic-science program which have been lectured in mathematics and science by professor at Ubon Rachatani University. The class was conducted by the professor and his assistances, there were two section- the first was lecture which took about 2 hours the topic covered gravitation and elasticity energy. The second part was STEM activity, students spent 3 hours to finish the activity.

4.2. Data Collecting and analysis

The task were given to students at the end of the class, students were asked to write the analogy which represented the energy and to give the description to support their analogy. The data were analyzed concisely by three physics teachers and judged by the coding criteria. If there was a split decision, judges had to discuss together to find out the consensus.

4.3. Coding for the characteristics of energy

There are the criteria for classifying the characteristic of energy as follow:

- Energy conservation – if the students mentioned that energy cannot be lost or created.
- Energy degradation – if students mentioned that energy transforms into other forms that cannot be used or can be lost from a system to environment.
- Energy transformation – if students mentioned that energy has ability to change forms.
- Energy transfer – if students mentioned that energy moves from one place to another or being transported by carrier.

The example for split decision in the characteristics of energy was “Energy is like lightning strike because lightning strike can turn into heat, sound and light as energy can change its forms...” two judges agreed that was the characteristic of energy transformation but the other one did not agree, he gave the reason that when lightning strike happens it produces tremendously heat and small amount of light and sound compared to percentage of total energy, so it should be energy transformation and energy degradation because the most energy from lightning strike is heat and only few loses into light and sound. Then one of the two argued energy degradation was considered when students defined usable energy in the system. Finally they all agreed that energy degradation was nonsense in this case.

4.4. Coding for the types of misconception

There are the criteria for categorizing the types of misconception as follow:

- Preconceived notions – if students gave an example in daily life that conflicts with science.
- Nonscientific beliefs – if students supported ideas by things that science has no explanation
- Conceptual misunderstandings – if students used a reason to support their analogies but it is contradiction with reality.
- Vernacular misconceptions – if students used words or slangs to support their analogies but those words mislead to the right explanation.
- Factual misconceptions – if students claimed something which believe that is the fact but it is false in reality.

The example for split decision in the categorizing of analogy was “Energy is like money. We can exchange money to other things. Energy is also, it can change into other forms.” One of the judge claimed that money should be considered as non-scientific belief because money does not have real value (unit) in science, so we cannot measure it by scientific method. But the other judge offended that

money should be unidentifiable (none of five items in misconception) in this case because it has its value in economic which is quite tangible for human being so as it is real for human life but it does not real in science, unidentifiable is a better choice for me. The last judge also agreed that money can use for substitute in this case and student had not mentioned things that were wrong in scientific context, he just had related science by using the logic from economic. Lastly all judges decided to classify money as indefinable.

5. Result

Table 1. The Examples of student's analogies

Characteristic of Energy	Students' analogies	
	Percentage	Example of analogies
Energy conservation and Energy transform	66.7	Energy is like water because water can change states and energy also can change forms. Neither energy nor water can be destroyed or rebuilt. Such as someone wants to destroy water by boiling them in fact the water isn't being destroyed, it is changing the state from liquid to vapour
Energy conservation and Energy transfer	7.4	Energy is like opening the door. While the door is standstill, no one pushes it. The door isn't moving. The moving of the door is caused by a person who is disturbing the balance of the force then the door is going to move. Like the energy can transfer from a person to the door and the energy doesn't vanish it just changes into other forms.
Energy conservation, Energy transfer and Energy transform	3.7	Energy is like a Pinball game. Because energy causes work and work can cause motion. When we push the button to hit the ball the ball will hit other objects which causes energy transfer but the energy doesn't lost, it just changed forms into heat.
Energy transfer and Energy Degradation	3.7	Energy is like the moving swing. The moving of the swing is like periodic motion. When we push the swing, the force will be applied from a person who sits on the swing to itself. However we have to push or shove more than one times to constrain the movement because the force is needed to be applied to compensate the friction force between the swing and the bar.
Energy Transform	14.8	Energy is like money. We can exchange money to other things. Energy is also, it can change into other forms.

5.1. The frequent of energy

Water was the most frequent analogy (29.6%), most of students used water to represent energy as a substance that can be transferred and changed. The rest of the frequent of analogies were feeling (14.8%), process or activity (11.1%), etc (40.7%) and unusable content (3.7%) respectively.

5.2. The categorizing of analogy

About 63% of students supported their analogies by using scientific content. The others were categorized as non-scientific beliefs (25.9%) and Conceptual misunderstandings (7.4%) and indefinable (3.7%).

6. Discussion

The findings indicated that even most of students gave the same representative of energy (water) but their explanations showed that were divergence. An example for the difference between students' answer was water in body respiration (biology context) and was water in chemical reaction (chemistry context) but both of them had expressed the idea of energy conservation and transformation in the appropriate way. On the other hands students compared feeling with energy that was not absolutely wrong because their model could represent the characteristics of energy but the models was limited due to the feeling is an abstract as energy. According to the investigation of misconception, the first step to wipe it out is to find what is kind of perceived notion that students have [9]. Lancor[8] found that students compared energy to the soul and then students changed to another analogy due to the limitation of the soul. Finally most students gave the reasonable explanation to support their analogies.

7. Conclusion

The study found that students used crystallized idea, daily experience and belief to help them explaining energy and most of them selecting water as a representative of energy. They used the same thing to express the characteristics of energy in different explanation but those aspects converged to the same key concept. By using the misconception category, the result shown few students' analogies were classified in the category because their analogies cannot be supported by scientific content. Some students substituted energy with non-scientific belief which we do not want them to respond in that way (we preferred to see students using activities, events, tangible objects to represent the energy). Vice versa the majority used analogies which we can found in daily life and followed up by scientific content. According to the mistake we suggested that the answer sheet should have detail for preventing unwanted answers. However students honestly answered the questions with their thought. In the future, we can reinvestigate students' concepts through their analogies again and give them the energy conceptual understanding survey to find out how students really understand the characteristic of energy that they explained.

References

- [1] Brown S and Salter S 2010 *Adv. in Physiology Edu.* **34** 167
- [2] Coll R et al 2011 *Int. J. of Sci Edu.* **27** 183
- [3] Duit R 1991 *Sci. Edu.* **75** 649
- [4] Duit R 1984 *Physics Edu.* **19** 59
- [5] Jonãne L 2015 *J. of Teacher Edu. for Sustainability* **17** 53
- [6] Johnson-Laird P N 2010 *Proc. of the Nat. Acad. of Sci.* vol 107 (Washington: Kenneth) p 559
- [7] Lancor R A 2014 *Int. J. of Sci. Edu.* **36** 1
- [8] Lancor R 2015 *Int. J. of Sci. Edu.* **37** 876
- [9] National Research Council 1997 *Science teaching reconsidered: A handbook* (National Academies Press)
- [10] Russell S 1988 *Analogy by similarity Analogical reasoning* **197** 251
- [11] Sefton I M 2004 *Proc. of 11th biennial science teachers' Workshop* vol 11 (NSW: Science Foundation for Physics and The School of Physics, The University of Sydney) p 17

วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (2560)

Plickers: เครื่องมือประเมินเพื่อการเรียนรู้แบบเรียลไทม์ สำหรับห้องเรียนที่มีข้อจำกัดเรื่องเทคโนโลยี

สุระ วุฒิพรหม^{1,3*} ชันติ เทิดธัญญา^{1,3} และกานต์ตระกูล วุฒิสเลา^{2,3}

¹ภาควิชาฟิสิกส์, ²ภาควิชาเคมี และ ³ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมการทางวิทยาศาสตร์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

*E-mail: sura.w@ubu.ac.th

รับบทความ: 10 มกราคม 2560 ยอมรับตีพิมพ์: 12 ตุลาคม 2560

บทคัดย่อ

หลังจากที่ Eric Mazur พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบปฏิสัมพันธ์สำหรับห้องเรียนที่มีผู้เรียนจำนวนมากในระดับมหาวิทยาลัยที่เรียกว่า peer instruction รูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวก็ได้รับความนิยมเนื่องจากช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาฟิสิกส์มากยิ่งขึ้น หัวใจสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบ peer instruction คือระบบการจัดการโต้ตอบในชั้นเรียน (classroom respond system) ระหว่างผู้สอนกับผู้เรียนผ่านชุดคำถามแบบเลือกตอบที่เรียกว่า ConceptTest[®] ในระยะแรกผู้เรียนใช้แผ่นกระดาษที่มีตัวอักษร A B C และ D เพื่อแสดงคำตอบของผู้เรียน แต่ปัญหาหลักของการใช้แผ่นตัวอักษรคือต้องใช้เวลาประมาณ 2-3 นาทีในแต่ละครั้งเพื่อนับคำตอบของผู้เรียน ซึ่งในการนับแต่ละครั้งจะได้ข้อมูลในส่วนของภาพรวมเท่านั้น คือ ทราบว่าก่อนและหลังผู้เรียนปรึกษากันมีจำนวนผู้เรียนที่เลือก A B C และ D อย่างละกี่คน และด้วยเวลาในชั้นเรียนที่จำกัด จึงทำให้การสอนแบบ peer instruction ต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งไปกับการนับคำตอบร้อยละ 10-15 ของเวลาเรียน ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบการจัดการโต้ตอบในชั้นเรียนระหว่างผู้เรียนกับผู้สอนขึ้นเรียกว่า Clicker ที่สามารถบันทึกและแสดงผลการตอบของผู้เรียนได้ทันที Clicker 1 ชุด ใช้ได้กับผู้เรียน 32 คน ราคา 28,748 บาท หากผู้เรียน 50-60 คน ราคาจะอยู่ที่ 57,496 บาท เนื่องจากข้อจำกัดดังกล่าว ปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาฟรีแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่เรียกว่า Plickers ขึ้นมา โดย Nolan Amy สามารถใช้ได้กับผู้เรียนมากถึง 63 คน Plickers ทำงานได้โดยการสแกนแผ่น QR-Code ด้วยโทรศัพท์มือถือที่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต ดังนั้น Plickers อาจเป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย

คำสำคัญ: Plickers Peer Instruction ระบบการจัดการโต้ตอบในชั้นเรียนแบบเรียลไทม์
การประเมินเพื่อการพัฒนาที่แสดงผลการประเมินทันที

Plickers: Real-Time Formative Assessment Tool for Technology-Limited Classrooms

Sura Wuttiptom^{1,3*}, Khandhi Toeddhanya^{1,3} and Karntarat Wuttisela^{2,3}

¹Department of Physics, ²Department of Chemistry, and ³Research and Innovation in Science Education Center,
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

*E-mail: sura.w@ubu.ac.th

Received: 10 January 2017 Accepted: 12 October 2017

Abstract

After Eric Mazur has proposed interactive teaching method in large class university environment namely peer instruction, it has become favored in general because the instruction helped students got more understanding in physics. The basis of peer instruction is the classroom respond system (CRS) by using a set of multiple choice questions relates to concepts which is called ConcepTest[®]. Initial students used flash cards which have got the letters A, B, C and D. However, the problem for using lettered sheets is that a lecturer has to spend 2 – 3 minutes on each quiz for counting a number of students' answers. For each counting, a lecturer gets only the holistic view of a poll on students' answers which clarifies the result – how many students choose on A, B, C and D before and after peer discussions. By using it, class time is limited, and it has been used for counting a number of students' answers. It means peer instruction can use about 10 – 15 percentage of classroom time for this purpose. Later, the CRS called Clicker has been developed to be able to record and display the answers immediately. The clickers cost about THB 28,748 (For 32 pieces). If the class has 50 – 60 students, it will cost about THB 57,496. At present, there is a free application which is called Plickers developed by Nolan Amy. The Plickers can be used as Clickers, but it doesn't require devices except smartphone. The Plickers can be used up to 63 students with working with sheets of QR-code paper and only one smartphone with internet signal. Therefore, the Plickers can be widespread to any schools.

Keywords: Plickers, Peer instruction, Real-time classroom respond system, quick formative assessment

ระบบการจัดการโต้ตอบในชั้นเรียนระหว่างผู้สอนและผู้เรียน

การโต้ตอบในชั้นเรียนระหว่างผู้สอนและผู้เรียนมีสำคัญยิ่ง ผู้สอนควรตระหนักเพราะเป็นเครื่องมือในการประเมินผลเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียน การโต้ตอบสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตอบปากเปล่ารายบุคคล การยกมือตอบคำถาม การเขียนคำตอบลงในกระดาน วิธีการเหล่านี้มีข้อเสียแตกต่างกัน การตอบปากเปล่ารายบุคคลทำให้ได้คำตอบจากผู้เรียนจำนวนน้อย การยกมือตอบคำถามไม่สามารถบันทึกคำตอบของผู้เรียนทั้งหมด การเขียนคำตอบลงในกระดานไม่สามารถให้ผลย้อนกลับได้ในทันที ซึ่งส่งผลให้ผู้สอนได้รับผลการประเมินที่ไม่สอดคล้องกับความเข้าใจทั้งหมดของผู้เรียน

CRS (classroom response system) (Bruff, 2017) คือ ระบบการจัดการโต้ตอบระหว่างผู้สอนและผู้เรียนที่สามารถเก็บข้อมูล (collect data) แสดงผล (display result) ให้ผลย้อน (feedback) และประเมินความเข้าใจ (evaluate) ของผู้เรียนได้ในเวลาเดียวกัน ระบบนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในมหาวิทยาลัยชั้นนำของโลก เช่น University of Edinburgh Harvard University อย่างไรก็ตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีการนำระบบ CRS หรือ peer instruction (PI) มาใช้เป็นรายแรก ๆ ยังต้องประสิทธิภาพ (Chalemchat and Wutiprom, 2015; Mazur, 1997) โดยเน้นการมีปฏิสัมพันธ์ (interactive teaching method) ระหว่างผู้เรียนและกระตุ้นผู้เรียนให้คิด โดยใช้คำถามแบบตัวเลือกที่เรียกว่า ConcepTest® ตัวอย่าง ConcepTest® เรื่อง การเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติ เช่น "การโยนลูกบอลขึ้นในแนวตั้ง ณ ตำแหน่งสูงสุดมีแรงใดบ้างกระทำกับลูกบอล" หลังจากผู้สอนแสดงคำ

ถามและตัวเลือก ผู้เรียนจะเลือกคำตอบโดยการยก flash card ซึ่งเป็นแผ่นกระดาษแข็งมีตัวอักษร A B C และ D ปรากฏอยู่ ดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบการจัดการโต้ตอบระหว่างผู้สอนและผู้เรียนด้วย flash card ในการจัดการเรียนรู้แบบ peer instruction

เมื่อผู้เรียนเลือกคำตอบโดยการยก flash card ผู้สอนจะดูคำตอบของผู้เรียนทั้งห้องคร่าว ๆ ด้วยสายตา และสุ่มให้ผู้เรียนอธิบายเหตุผลว่าทำไมจึงเลือกคำตอบนั้น ๆ จำนวน 3-4 คน แต่ผู้สอนยังไม่เฉลยคำตอบ หลังจากผู้เรียนฟังเหตุผลจากผู้เรียนคนอื่น ๆ ไปเรียบร้อยแล้ว ผู้สอนจะให้ผู้เรียนคิดวิเคราะห์ แล้วสามารถเปลี่ยนแปลงคำตอบหรือยืนยันคำตอบเดิมอีกครั้ง เมื่อผู้สอนเฉลยคำตอบที่ถูกต้อง ผู้เรียนจะได้เปรียบเทียบกับคำตอบของตนถูกหรือผิดเพราะอะไร ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบ peer instruction แสดงในภาพที่ 2

เนื่องมาจากการใช้ flash card นั้น การนับคำตอบด้วยสายตาเมื่อผู้เรียนมีจำนวนมากต้องใช้เวลาพอสมควร รวมทั้งไม่สามารถระบุได้ว่า ผู้เรียนแต่ละคนเลือกคำตอบใด ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบ CRS เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว คือ "Clicker" (ภาพที่ 3) (Caldwell, 2007) Clicker เป็นชุดอุปกรณ์



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบ peer

instruction

กรณีที่ราคาค่อนข้างแพง (ประมาณ 3 – 5 หมื่นบาทขึ้นอยู่กับยี่ห้อ) Clicker 1 ชุด มีตัวเก็บข้อมูล 32 อัน ใช้ได้กับผู้เรียนจำนวน 32 คน ดังนั้น Clicker จึงยังไม่แพร่หลายในระบบการศึกษาของประเทศไทย ในปัจจุบันเทคโนโลยีเจริญก้าวหน้าแบบก้าวกระโดด ทำให้เทคโนโลยีมีประสิทธิภาพสูง ราคาถูก และเข้าถึงคนทุกชนชั้น เช่น โทรศัพท์มือถือที่เราเรียกกันติดปากว่า "smart phone" จนกระทั่งนักการศึกษาได้พัฒนาระบบการจัดการโต้ตอบระหว่างผู้สอนและผู้เรียนบนโทรศัพท์มือถือขึ้นที่มีชื่อเรียกว่า "Plickers" (Amy and Kim, 2016)



ภาพที่ 3 ตัวเก็บข้อมูลและบรรยากาศการจัดการเรียนรู้ด้วย Clicker

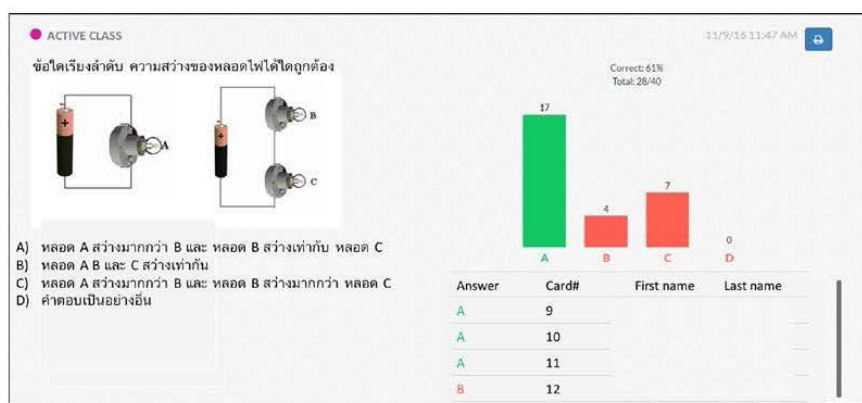
หลักการทำงานของ Plickers

Plickers เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างโทรศัพท์มือถือที่มีกล้องถ่ายรูปพร้อมทั้งได้ติดตั้งแอปพลิเคชัน Plickers สำหรับสแกนแผ่น QR-Code (ภาพที่ 4) ซึ่งมีทั้งหมด 63 แผ่น คำตอบทั้งหมดที่ได้ จะถูกประมวลผลและแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (ภาพที่ 5) ในขณะเดียวกันบนโทรศัพท์มือถือของผู้สอน จะได้รับคำตอบของผู้เรียนทั้งหมดเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 4 แผ่น QR-Code สำหรับใช้ร่วมกับแอปพลิเคชัน Plickers

วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (2560)



ภาพที่ 6 คำตอบของผู้เรียนบนโทรศัพท์มือถือ

คุณสมบัติเด่นของ Plickers

การจัดการเรียนรู้แบบเดิมที่เน้นการบรรยาย ทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมน้อยมากและหมดความสนใจภายใน 20 นาทีแรก (Deslauriers et al., 2011) การใช้ Plickers นอกจากจะแก้ปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดีแล้ว ยังส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน การให้ผลย้อนกลับทันทีและสามารถระบุชื่อของผู้เรียนได้ว่าใครตอบข้อใดบ้าง จึงทำให้ง่ายกับผู้สอนในการเลือกผู้เรียนเพื่อมาอภิปรายผลการ

ตอบร่วมกัน นอกจากประโยชน์ในด้านการวัดและประเมินผลความเข้าใจในเนื้อหาแล้ว Plickers ยังอำนวยความสะดวกในเรื่องของการตรวจสอบรายชื่อผู้เรียนที่เข้าเรียน (ภาพที่ 7) ซึ่งช่วยให้ประหยัดเวลาและทำให้ผู้สอนสามารถเก็บข้อมูลของผู้เรียนได้อย่างครบถ้วน ด้วยวิธีการที่ง่ายแต่มีความแม่นยำสูง



ภาพที่ 7 การตรวจสอบรายชื่อโดยใช้ Plickers ในรายวิชาฟิสิกส์ 1 โดย ผศ.ดร.สุระ วุฒิพรหม

Plickers ยังสามารถใช้ได้กับกลุ่มคนทุกเพศทุกวัย เพราะการใช้งานที่ง่าย ไม่ซับซ้อนและประหยัด เพราะเพียงแคมีแผ่น QR-Code และโทรศัพท์หนึ่งเครื่อง (ใช้ได้ทั้งในระบบปฏิบัติการ

Android และ iOS) สามารถจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้แต่ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต ก็ยังสามารถใช้งาน Picklers ได้ในโหมดออฟไลน์ (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 การใช้งาน Picklers ในโหมดออฟไลน์ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต

นอกจาก Picklers แล้วยังมีแอปพลิเคชันอื่นๆ ที่สามารถประเมินผลผู้เรียนได้ทันที (quick formative assessment) เช่น

- Socrative ลักษณะเด่น คือ สามารถออกแบบคำถามได้ทั้งแบบเลือกตอบ ถูกผิด เขียนตอบ รวมทั้งสามารถให้ผู้เรียนแข่งขันกันได้แบบทีม สามารถดาวน์โหลดใช้ได้ที่ <https://www.socrative.com>

- Kahoot เป็นอีกหนึ่งแอปพลิเคชันที่มีความโดดเด่นในเรื่องของความตื่นเต้น เร้าใจ สนุกอย่างกับเล่นเกมโชว์ เพราะมีการนับเวลาถอยหลัง มีการจัดอันดับคะแนนเมื่อตอบคำถามแต่ละข้อผ่านไป จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งของแอปพลิเคชันนี้คือ สามารถแชร์คำถามระหว่างผู้ใช้คนอื่น ๆ ในอินเทอร์เน็ตได้ สามารถดาวน์โหลดใช้ได้ที่ <https://kahoot.com> ปัจจุบันมีการพัฒนาแอปพลิเคชันที่มีลักษณะเช่นเดียวกับ Kahoot เช่น Quizizz และ Quizlet Live

ไม่ว่าจะเป็น Socrative Kahoot Quizizz หรือ Quizlet Live ผู้เรียนต้องมีโทรศัพท์มือถือหรือคอมพิวเตอร์ จึงจะสามารถตอบคำถามได้

การใช้งาน Picklers เบื้องต้น

สำหรับท่านที่สนใจการใช้งาน Picklers ผู้พิมพ์วีดิโอเกี่ยวกับการใช้งาน Picklers (ภาพที่ 9) ซึ่งสามารถชมได้บน YOUTUBE ที่ URL "<http://gg.gg/HowtoPicklers>" หรือใช้โทรศัพท์มือถือสแกน QR-Code (ภาพที่ 10) เนื้อหาในวีดิโอประกอบด้วย การติดตั้งแอปพลิเคชัน (installation) การเพิ่มรายชื่อนักเรียน (classes) การสร้างคำถาม (library) การแสดงและบันทึกผล (live view and report) และการดาวน์โหลด QR-Code และสามารถดูรายละเอียดการใช้งานทั้งหมด ตลอดจนถามตอบได้ที่ HELP ของเว็บไซต์ Picklers (<https://picklers.zendesk.com/hc/en-us>)



ภาพที่ 9 วีดิโอบน YOUTUBE การใช้งาน Picklers เบื้องต้น



ภาพที่ 10 QR-Code การใช้งาน Picklers เบื้องต้น

เอกสารอ้างอิง

Amy, N., and Kim, J. (2016). Picklers.

- Bruff, D. (2017, January). Classroom response systems ("Clickers"). Vanderbilt Center for Teaching. Retrieved from <https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/clickers/>
- Caldwell, J. E. (2007). Clickers in the large classroom: Current research and best-practice tips. **CBE-Life Sciences Education** 6(1): 9–20.
- Chalermchat, S., and Wuttirom, S. (2015). Effect of peer instruction on pattern analysis of grade-10 students' conceptual understanding about force and motion. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 6(2): 232–242.
- Deslauriers, L., Schelew, E., and Wieman, C. (2011). Improved learning in a large-enrollment physics class. **Science** 332 (6031): 862–864.
- Mazur, E. (1997). **Peer instruction**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

ภาคผนวก ฉ
รูปประกอบการทำกิจกรรม



ภาพที่ ฉ.1 การสอนแบบอุปมา



ภาพที่ ฉ.2 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนโดยการให้ผู้เรียนด้วยการให้ผู้เรียนออกมาสาธิต



ภาพที่ ๓.3 การสาธิต เรื่องไฟฟ้ากระแสตรง หลังจากเฉลยคำถามวัดความเข้าใจ

ภาคผนวก ข
การพัฒนาโปรแกรมและข้อมูลการสอบเทียบ

```

const int SCLK_pin=7;
const int RCLK_pin=6;
const int DIO_pin =5;
const int numReadings = 20;
const int numReadings1 = 20;
int readings[numReadings];    // the readings from the analog input
int readings1[numReadings1];
int readIndex = 0;            // the index of the current reading
int readIndex1 = 0;
int total = 0;                // the running total
int total1 = 0;
float average = 0;            // the average
float average1 = 0;

int inputPin = A0;
int inputPin1 = A1;
int Current0 = 0;
int Voltage0 =0;
int Current = 0;
int Voltage = 0;

char disp_c[8];
char disp_c2[8];
int  disp[8];

//time values for delay workaround
unsigned long prev =0;
unsigned long waitMS=0;

void setup()
{

```

```

// initialize serial communication with computer:
Serial.begin(9600);

// initialize all the readings to 0:
for (int thisReading = 0; thisReading < numReadings; thisReading++) {
  readings[thisReading] = 0;
}

for (int thisReading1 = 0; thisReading1 < numReadings1; thisReading1++) {
  readings1[thisReading1] = 0;
}

pinMode(RCLK_pin,OUTPUT);
pinMode(DIO_pin,OUTPUT);
pinMode(SCLK_pin,OUTPUT);
showDisplay();
}

int n = 50;
unsigned long start=millis();
byte b = 0;
void loop()
{
  showDisplay();
  if(b==0){
    b++;
    wait(100);
  }
  else{
    if ( millis() > (prev + waitMS))
    {
      total = total - readings[readIndex];
      total1 = total1 - readings1[readIndex1];
      readings[readIndex] = analogRead(inputPin);
      readings1[readIndex1] = analogRead(inputPin1);
    }
  }
}

```

```

// add the reading to the total:
total = total + readings[readIndex];
total1 = total1 + readings1[readIndex1];
// advance to the next position in the array:
readIndex = readIndex + 1;
readIndex1 = readIndex1 + 1;
if (readIndex >= numReadings) {
    // ...wrap around to the beginning:
    readIndex = 0;
}
if (readIndex1 >= numReadings1) {
    // ...wrap around to the beginning:
    readIndex1 = 0;
}
// calculate the average:
average = total / (numReadings);
//Voltage (milli)
//nano 526 Mega 497 518
Voltage0 = ((average-497)*5.102)-0.627;
average1 = total1 / (numReadings1);
Voltage = ((average1-519)*5.131)+3.011;
if (Voltage0 <= 0) {
    Voltage0 = 0;
}
if (Voltage <= 0){
    Voltage = 0;
}
disp_c[0] = (Voltage0/10)%10;
    disp_c[1] = (Voltage0/100)%10;
    disp_c[2] = (Voltage0/1000)%10+10;
    disp_c[3] = 'A';

```

```

    disp_c[4] = 'A';
    disp_c[5] = (Voltage/1000)%10+10;
    disp_c[6] = (Voltage/100)%10;
    disp_c[7] = (Voltage/10)%10;
wait(200);
    }
}
}
void showDisplay()
{
    setDisp();
    for(int i=0; i<8; i++)
    {
        setDigit(i,disp[i]);
    }
}
void setDigit(int dig, int character)
{
    int digits[] = {128,64,32,16,8,4,2,1};
    int digits2[] = {1,2,4,8,16,32,64,128};
    int characters[] = {
        3,159,37,13,153,73,65,31,1,9,
        2,158,36,12,152,72,64,30,0,8,

        17,1,99,3,97,113,67,145,243,135,145,227,85,19,3,49,25,115,73,31,129,129,1
        69,145,137,37,

        5,193,229,133,33,113,9,209,247,143,81,227,85,213,197,49,25,245,73,225,19
        9,199,169,145,137,37,
        253,255    };

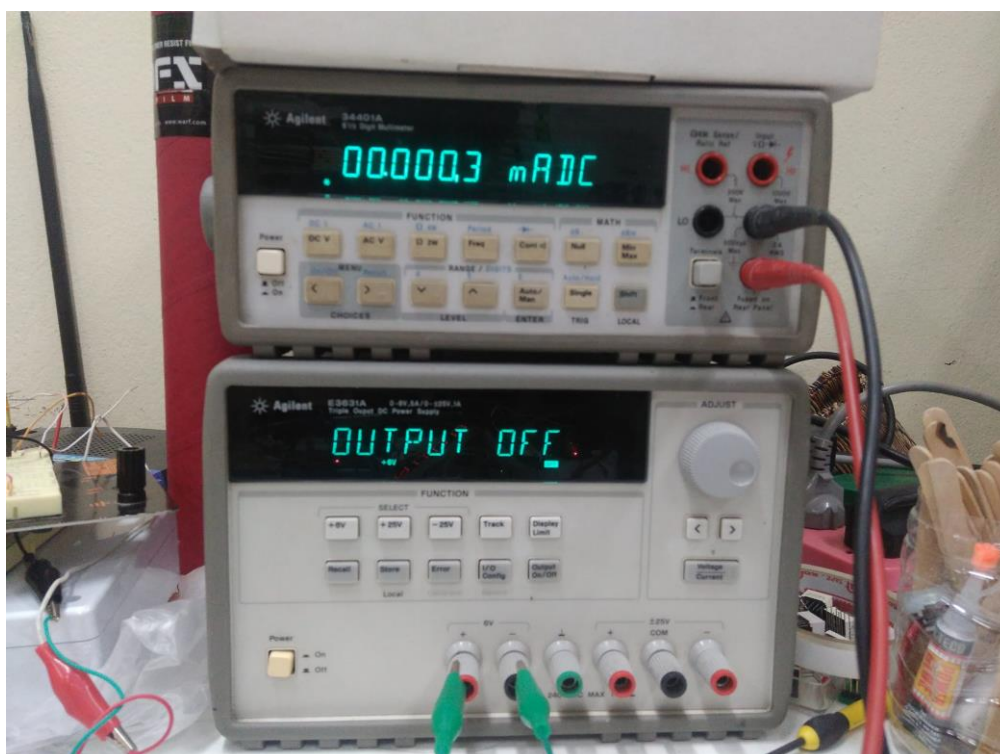
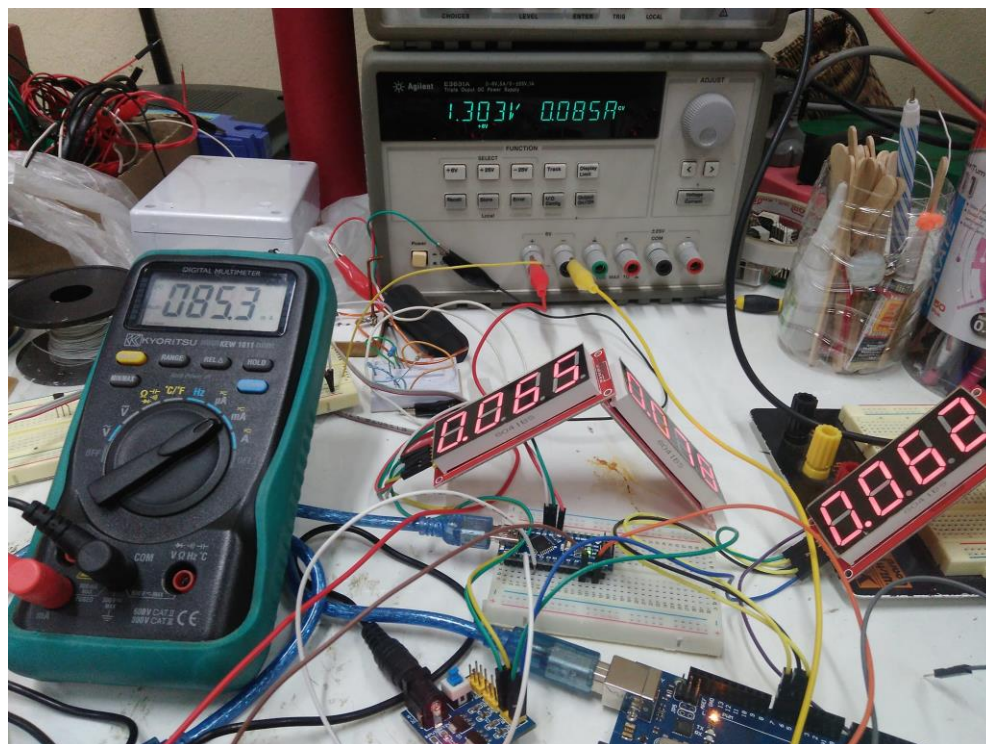
```

```
digitalWrite(RCLK_pin, LOW);  
shiftOut(DIO_pin, SCLK_pin, LSBFIRST, characters[character]);  
shiftOut(DIO_pin, SCLK_pin, LSBFIRST, digits[dig]);  
digitalWrite(RCLK_pin, HIGH);  
shiftOut(DIO_pin, SCLK_pin, LSBFIRST, characters[character]);  
shiftOut(DIO_pin, SCLK_pin, LSBFIRST, digits2[dig]);  
digitalWrite(RCLK_pin, HIGH);  
}
```

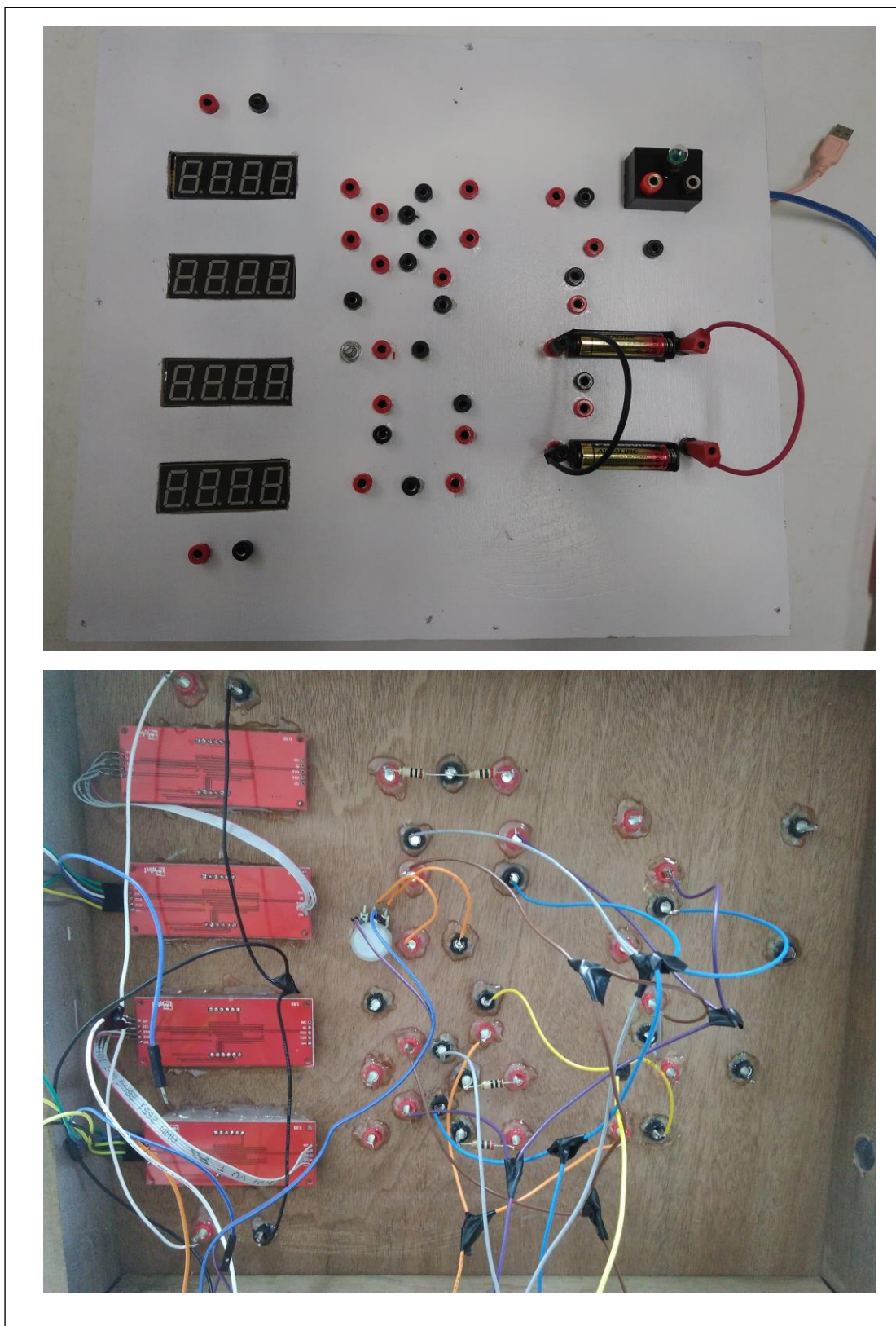
ตารางที่ ข.1 การสอบเทียบเครื่องมือการวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้า

A0 C.Mega	A1 C.Mega	A3 C.Nano	E3631A	A0 C. Mega	E3631A
x0 (mA)	X1 (mA)	x2 (mA)	y0 (mA)	x0(mV)	y0(mV)
4	3	4	20	1	67
8	8	8	40	2	92
12	11	13	61	3	117
16	15	17	80	4	135
20	19	21	100	5	161
24	23	25	121	6	185
28	27	29	140	7	213
31	30	33	159	8	246
35	35	37	180	9	263
39	38	41	200	10	287
43	42	45	221	11	309
47	46	49	241	12	331
51	50	53	261	13	352
55	54	57	280	14	375
59	58	61	300	15	398
63	62	66	318	16	426
67	66	70	340	17	451
71	70	74	361	18	473
75	73	78	380	19	491
78	77	82	399	20	518
83	81	86	420	21	540
86	85	90	437	22	564
90	89	94	460	23	583
94	93	98	479	24	614
97	96	102	497	25	636

ภาคผนวก ซ
ภาพการพัฒนาชุดสาธิต



ภาพที่ ข.1 การสอบเทียบเครื่องมือและเครื่องวัดกระแสและศักย์ไฟฟ้า Agilent E34401A



ภาพที่ ซ.2 การประกอบชุดสาธิต

ภาคผนวก ณ
ผลงานตีพิมพ์ทางวิชาการ

วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (2560)

Plickers: เครื่องมือประเมินเพื่อการเรียนรู้แบบเรียลไทม์ สำหรับห้องเรียนที่มีข้อจำกัดเรื่องเทคโนโลยี

สุระ วุฒิพรหม^{1,3*} ชันติ เทิดธัญญา^{1,3} และกานต์ตระกูล วุฒิสเลา^{2,3}

¹ภาควิชาฟิสิกส์, ²ภาควิชาเคมี และ ³ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมการทางวิทยาศาสตร์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

*E-mail: sura.w@ubu.ac.th

รับบทความ: 10 มกราคม 2560 ยอมรับตีพิมพ์: 12 ตุลาคม 2560

บทคัดย่อ

หลังจากที่ Eric Mazur พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบปฏิสัมพันธ์สำหรับห้องเรียนที่มีผู้เรียนจำนวนมากในระดับมหาวิทยาลัยที่เรียกว่า peer instruction รูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวก็ได้รับความนิยมเนื่องจากช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาฟิสิกส์มากยิ่งขึ้น หัวใจสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบ peer instruction คือระบบการจัดการโต้ตอบในชั้นเรียน (classroom respond system) ระหว่างผู้สอนกับผู้เรียนผ่านชุดคำถามแบบเลือกตอบที่เรียกว่า ConceptTest[®] ในระยะแรกผู้เรียนใช้แผ่นกระดาษที่มีตัวอักษร A B C และ D เพื่อแสดงคำตอบของผู้เรียน แต่ปัญหาหลักของการใช้แผ่นตัวอักษรคือต้องใช้เวลาประมาณ 2-3 นาทีในแต่ละครั้งเพื่อนับคำตอบของผู้เรียน ซึ่งในการนับแต่ละครั้งจะได้ข้อมูลในส่วนของภาพรวมเท่านั้น คือ ทราบว่าก่อนและหลังผู้เรียนปรึกษากันมีจำนวนผู้เรียนที่เลือก A B C และ D อย่างละกี่คน และด้วยเวลาในชั้นเรียนที่จำกัด จึงทำให้การสอนแบบ peer instruction ต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งไปกับการนับคำตอบร้อยละ 10-15 ของเวลาเรียน ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบการจัดการโต้ตอบในชั้นเรียนระหว่างผู้เรียนกับผู้สอนขึ้นเรียกว่า Clicker ที่สามารถบันทึกและแสดงผลการตอบของผู้เรียนได้ทันที Clicker 1 ชุด ใช้ได้กับผู้เรียน 32 คน ราคา 28,748 บาท หากผู้เรียน 50-60 คน ราคาจะอยู่ที่ 57,496 บาท เนื่องจากข้อจำกัดดังกล่าว ปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาฟรีแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่เรียกว่า Plickers ขึ้นมา โดย Nolan Amy สามารถใช้ได้กับผู้เรียนมากถึง 63 คน Plickers ทำงานได้โดยการสแกนแผ่น QR-Code ด้วยโทรศัพท์มือถือที่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต ดังนั้น Plickers อาจเป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย

คำสำคัญ: Plickers Peer Instruction ระบบการจัดการโต้ตอบในชั้นเรียนแบบเรียลไทม์
การประเมินเพื่อการพัฒนาที่แสดงผลการประเมินทันที

Plickers: Real-Time Formative Assessment Tool for Technology-Limited Classrooms

Sura Wuttiptom^{1,3*}, Khandhi Toeddhanya^{1,3} and Karntarat Wuttisela^{2,3}

¹Department of Physics, ²Department of Chemistry, and ³Research and Innovation in Science Education Center,
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

*E-mail: sura.w@ubu.ac.th

Received: 10 January 2017 Accepted: 12 October 2017

Abstract

After Eric Mazur has proposed interactive teaching method in large class university environment namely peer instruction, it has become favored in general because the instruction helped students got more understanding in physics. The basis of peer instruction is the classroom respond system (CRS) by using a set of multiple choice questions relates to concepts which is called ConcepTest[®]. Initial students used flash cards which have got the letters A, B, C and D. However, the problem for using lettered sheets is that a lecturer has to spend 2 – 3 minutes on each quiz for counting a number of students' answers. For each counting, a lecturer gets only the holistic view of a poll on students' answers which clarifies the result – how many students choose on A, B, C and D before and after peer discussions. By using it, class time is limited, and it has been used for counting a number of students' answers. It means peer instruction can use about 10 – 15 percentage of classroom time for this purpose. Later, the CRS called Clicker has been developed to be able to record and display the answers immediately. The clickers cost about THB 28,748 (For 32 pieces). If the class has 50 – 60 students, it will cost about THB 57,496. At present, there is a free application which is called Plickers developed by Nolan Amy. The Plickers can be used as Clickers, but it doesn't require devices except smartphone. The Plickers can be used up to 63 students with working with sheets of QR-code paper and only one smartphone with internet signal. Therefore, the Plickers can be widespread to any schools.

Keywords: Plickers, Peer instruction, Real-time classroom respond system, quick formative assessment

ระบบการจัดการโต้ตอบในชั้นเรียนระหว่างผู้สอนและผู้เรียน

การโต้ตอบในชั้นเรียนระหว่างผู้สอนและผู้เรียนมีความสำคัญยิ่ง ผู้สอนควรตระหนักเพราะเป็นเครื่องมือในการประเมินผลเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียน การโต้ตอบสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตอบปากเปล่ารายบุคคล การยกมือตอบคำถาม การเขียนคำตอบลงในกระดาษ วิธีการเหล่านี้มีข้อเสียแตกต่างกัน การตอบปากเปล่ารายบุคคลทำให้ได้คำตอบจากผู้เรียนจำนวนน้อย การยกมือตอบคำถามไม่สามารถบันทึกคำตอบของผู้เรียนทั้งหมด การเขียนคำตอบลงในกระดาษไม่สามารถให้ผลย้อนกลับได้ในทันที ซึ่งส่งผลให้ผู้สอนได้รับผลการประเมินที่ไม่สอดคล้องกับความเข้าใจทั้งหมดของผู้เรียน

CRS (classroom response system) (Bruff, 2017) คือ ระบบการจัดการโต้ตอบระหว่างผู้สอนและผู้เรียนที่สามารถเก็บข้อมูล (collect data) แสดงผล (display result) ให้ผลย้อน (feedback) และประเมินความเข้าใจ (evaluate) ของผู้เรียนได้ในเวลาเดียวกัน ระบบนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในมหาวิทยาลัยชั้นนำของโลก เช่น University of Edinburgh Harvard University อย่างไรก็ตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีการนำระบบ CRS หรือ peer instruction (PI) มาใช้เป็นรายแรก ๆ ยังต้องประสิทธิภาพ (Chalemchat and Wutiprom, 2015; Mazur, 1997) โดยเน้นการมีปฏิสัมพันธ์ (interactive teaching method) ระหว่างผู้เรียนและกระตุ้นผู้เรียนให้คิด โดยใช้คำถามแบบตัวเลือกที่เรียกว่า ConcepTest® ตัวอย่าง ConcepTest® เรื่อง การเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติ เช่น "การโยนลูกบอลขึ้นในแนวตั้ง ณ ตำแหน่งสูงสุดมีแรงใดบ้างกระทำกับลูกบอล" หลังจากผู้สอนแสดงคำ

ถามและตัวเลือก ผู้เรียนจะเลือกคำตอบโดยการยก flash card ซึ่งเป็นแผ่นกระดาษแข็งมีตัวอักษร A B C และ D ปรากฏอยู่ ดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบการจัดการโต้ตอบระหว่างผู้สอนและผู้เรียนด้วย flash card ในการจัดการเรียนรู้แบบ peer instruction

เมื่อผู้เรียนเลือกคำตอบโดยการยก flash card ผู้สอนจะดูคำตอบของผู้เรียนทั้งห้องคร่าว ๆ ด้วยสายตา และสุ่มให้ผู้เรียนอธิบายเหตุผลว่าทำไมจึงเลือกคำตอบนั้น ๆ จำนวน 3-4 คน แต่ผู้สอนยังไม่เฉลยคำตอบ หลังจากผู้เรียนฟังเหตุผลจากผู้เรียนคนอื่น ๆ ไปเรียบร้อยแล้ว ผู้สอนจะให้ผู้เรียนคิดวิเคราะห์ แล้วสามารถเปลี่ยนแปลงคำตอบหรือยืนยันคำตอบเดิมอีกครั้ง เมื่อผู้สอนเฉลยคำตอบที่ถูกต้อง ผู้เรียนจะได้เปรียบเทียบกับคำตอบของตนถูกหรือผิดเพราะอะไร ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบ peer instruction แสดงในภาพที่ 2

เนื่องมาจากการใช้ flash card นั้น การนับคำตอบด้วยสายตาเมื่อผู้เรียนมีจำนวนมากต้องใช้เวลาพอสมควร รวมทั้งไม่สามารถระบุได้ว่า ผู้เรียนแต่ละคนเลือกคำตอบใด ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบ CRS เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว คือ "Clicker" (ภาพที่ 3) (Caldwell, 2007) Clicker เป็นชุดอุปกรณ์



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบ peer

instruction

กรณีที่ราคาค่อนข้างแพง (ประมาณ 3 – 5 หมื่นบาทขึ้นอยู่กับยี่ห้อ) Clicker 1 ชุด มีตัวเก็บข้อมูล 32 อัน ใช้ได้กับผู้เรียนจำนวน 32 คน ดังนั้น Clicker จึงยังไม่แพร่หลายในระบบการศึกษาของประเทศไทย ในปัจจุบันเทคโนโลยีเจริญก้าวหน้าแบบก้าวกระโดด ทำให้เทคโนโลยีมีประสิทธิภาพสูง ราคาถูก และเข้าถึงคนทุกชนชั้น เช่น โทรศัพท์มือถือที่เราเรียกกันติดปากว่า "smart phone" จนกระทั่งนักการศึกษาได้พัฒนาระบบการจัดการโต้ตอบระหว่างผู้สอนและผู้เรียนบนโทรศัพท์มือถือขึ้นที่มีชื่อเรียกว่า "Plickers" (Amy and Kim, 2016)



ภาพที่ 3 ตัวเก็บข้อมูลและบรรยากาศการจัดการเรียนรู้ด้วย Clicker

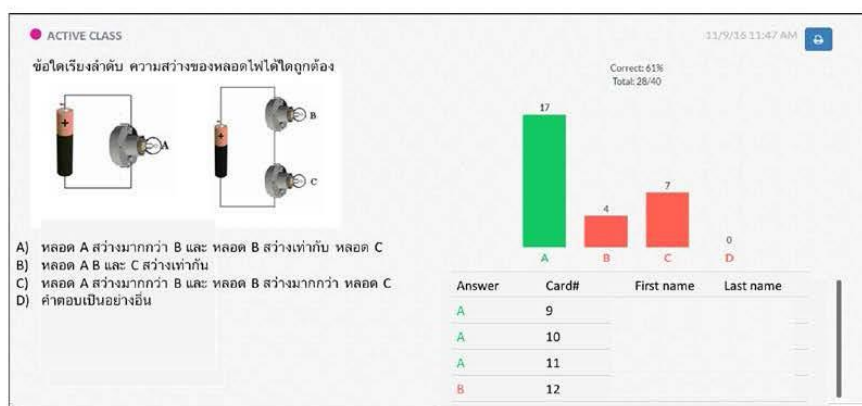
หลักการทำงานของ Plickers

Plickers เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างโทรศัพท์มือถือที่มีกล้องถ่ายรูปพร้อมทั้งได้ติดตั้งแอปพลิเคชัน Plickers สำหรับสแกนแผ่น QR-Code (ภาพที่ 4) ซึ่งมีทั้งหมด 63 แผ่น คำตอบทั้งหมดที่ได้ จะถูกประมวลผลและแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (ภาพที่ 5) ในขณะเดียวกันบนโทรศัพท์มือถือของผู้สอน จะได้รับคำตอบของผู้เรียนทั้งหมดเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 4 แผ่น QR-Code สำหรับใช้ร่วมกับแอปพลิเคชัน Plickers

วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (2560)



ภาพที่ 6 คำตอบของผู้เรียนบนโทรศัพท์มือถือ

คุณสมบัติเด่นของ Plickers

การจัดการเรียนรู้แบบเดิมที่เน้นการบรรยาย ทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมน้อยมากและหมดความสนใจภายใน 20 นาทีแรก (Deslauriers et al., 2011) การใช้ Plickers นอกจากจะแก้ปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดีแล้ว ยังส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน การให้ผลย้อนกลับทันทีและสามารถระบุชื่อของผู้เรียนได้ว่าใครตอบข้อใดบ้าง จึงทำให้ง่ายกับผู้สอนในการเลือกผู้เรียนเพื่อมาอภิปรายผลการ

ตอบร่วมกัน นอกจากประโยชน์ในด้านการวัดและประเมินผลความเข้าใจในเนื้อหาแล้ว Plickers ยังอำนวยความสะดวกในเรื่องของการตรวจสอบรายชื่อผู้เรียนที่เข้าเรียน (ภาพที่ 7) ซึ่งช่วยให้ประหยัดเวลาและทำให้ผู้สอนสามารถเก็บข้อมูลของผู้เรียนได้อย่างครบถ้วน ด้วยวิธีการที่ง่ายแต่มีความแม่นยำสูง



ภาพที่ 7 การตรวจสอบรายชื่อโดยใช้ Plickers ในรายวิชาฟิสิกส์ 1 โดย ผศ.ดร.สุระ วุฒิพรหม

Plickers ยังสามารถใช้ได้กับกลุ่มคนทุกเพศทุกวัย เพราะการใช้งานที่ง่าย ไม่ซับซ้อนและประหยัด เพราะเพียงแคมีแผ่น QR-Code และโทรศัพท์หนึ่งเครื่อง (ใช้ได้ทั้งในระบบปฏิบัติการ

Android และ iOS) สามารถจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้แต่ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต ก็ยังสามารถใช้งาน Picklers ได้ในโหมดออฟไลน์ (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 การใช้งาน Picklers ในโหมดออฟไลน์ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต

นอกจาก Picklers แล้วยังมีแอปพลิเคชันอื่นๆ ที่สามารถประเมินผลผู้เรียนได้ทันที (quick formative assessment) เช่น

- Socrative ลักษณะเด่น คือ สามารถออกแบบคำถามได้ทั้งแบบเลือกตอบ ถูกผิด เขียนตอบ รวมทั้งสามารถให้ผู้เรียนแข่งขันกันได้แบบทีม สามารถดาวน์โหลดใช้ได้ที่ <https://www.socrative.com>

- Kahoot เป็นอีกหนึ่งแอปพลิเคชันที่มีความโดดเด่นในเรื่องของความตื่นเต้น เร้าใจ สนุกอย่างกับเล่นเกมโชว์ เพราะมีการนับเวลาถอยหลัง มีการจัดอันดับคะแนนเมื่อตอบคำถามแต่ละข้อผ่านไป จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งของแอปพลิเคชันนี้คือ สามารถแชร์คำถามระหว่างผู้ใช้คนอื่น ๆ ในอินเทอร์เน็ตได้ สามารถดาวน์โหลดใช้ได้ที่ <https://kahoot.com> ปัจจุบันมีการพัฒนาแอปพลิเคชันที่มีลักษณะเช่นเดียวกับ Kahoot เช่น Quizizz และ Quizlet Live

ไม่ว่าจะเป็น Socrative Kahoot Quizizz หรือ Quizlet Live ผู้เรียนต้องมีโทรศัพท์มือถือหรือคอมพิวเตอร์ จึงจะสามารถตอบคำถามได้

การใช้งาน Picklers เบื้องต้น

สำหรับท่านที่สนใจการใช้งาน Picklers ผู้พิมพ์วีดิโอเกี่ยวกับการใช้งาน Picklers (ภาพที่ 9) ซึ่งสามารถชมได้บน YOUTUBE ที่ URL "<http://gg.gg/HowtoPicklers>" หรือใช้โทรศัพท์มือถือสแกน QR-Code (ภาพที่ 10) เนื้อหาในวีดิโอประกอบด้วย การติดตั้งแอปพลิเคชัน (installation) การเพิ่มรายชื่อนักเรียน (classes) การสร้างคำถาม (library) การแสดงและบันทึกผล (live view and report) และการดาวน์โหลด QR-Code และสามารถดูรายละเอียดการใช้งานทั้งหมด ตลอดจนถามตอบได้ที่ HELP ของเว็บไซต์ Picklers (<https://picklers.zendesk.com/hc/en-us>)



ภาพที่ 9 วีดิโอบน YOUTUBE การใช้งาน Picklers เบื้องต้น



ภาพที่ 10 QR-Code การใช้งาน Picklers เบื้องต้น

เอกสารอ้างอิง

Amy, N., and Kim, J. (2016). Picklers.

- Bruff, D. (2017, January). Classroom response systems ("Clickers"). Vanderbilt Center for Teaching. Retrieved from <https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/clickers/>
- Caldwell, J. E. (2007). Clickers in the large classroom: Current research and best-practice tips. **CBE-Life Sciences Education** 6(1): 9–20.
- Chalermchat, S., and Wuttirom, S. (2015). Effect of peer instruction on pattern analysis of grade-10 students' conceptual understanding about force and motion. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 6(2): 232–242.
- Deslauriers, L., Schelew, E., and Wieman, C. (2011). Improved learning in a large-enrollment physics class. **Science** 332 (6031): 862–864.
- Mazur, E. (1997). **Peer instruction**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายขันติ เทตธัญญา
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2554-2559, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ผลงานวิจัย	The investigation of high school student's energy concept by using analogies” Siam Physics Congress 2017 (SPC 2017). 12(1): 326; May, 2017.
ที่อยู่ปัจจุบัน	183/12 หมู่ที่ 2 ถนนนิกรกิจ ตำบลประโคนชัย อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ 31140