

การพัฒนาชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 Development of Experiment Kit in PHY 224: Physics Laboratory II on Photoelectric Effect.

ปรียา อนุพงษ์ออาจ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

Corresponding author, E-mail: preya.a@rsu.ac.th โทร. 02-9972222 ต่อ 1428

บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์และทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ผลการวิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกที่ใช้งานง่าย มีราคาถูกและสามารถใช้ในการหาค่าคงที่ของพลังค์ได้ โดยชุดทดลองนี้ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้ในช่วง 6-9 โวลต์ และใช้โวลต์มิเตอร์แสดงผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าและใช้แอมมิเตอร์แสดงผลของกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้วิจัยครั้งนี้ยังได้หาประสิทธิภาพของชุดทดลองและศึกษาระดับความคิดเห็นของนักศึกษาเกี่ยวกับความพึงพอใจที่มีต่อชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เป็นนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 (PHY 224) ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 30 คน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS จากการวิจัยพบว่า

1. ประสิทธิภาพของชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกที่ออกแบบและพัฒนา เมื่อทำการทดสอบการทำงานของชุดทดลองนี้เพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์พบว่า ค่าคงที่ของพลังค์ที่ได้จากการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าคงที่ของพลังค์จริง มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 20.7 เปอร์เซ็นต์

2. การศึกษาระดับความคิดเห็นของนักศึกษาเกี่ยวกับความพึงพอใจที่มีต่อชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 พบว่า นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดทดลองนี้อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.625

คำสำคัญ: ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

Abstract

The purposes of the study were to develop an experiment kit to study Photoelectric effect for the course PHY 224 by applying the principle of physics and electronics. The experimental kit was easy for setting and material used in the experiment kit which was easy to use and cheap. The implication of the design and development of the experimental kit on Photoelectric effect leads to find Planck's Constant. The experimental kit used the DC power supply in range 6-9 volts to generate the kit. The experimental kit can be used to measure voltage through voltmeter and measure current through ammeter. Besides, the

purposes of this study were to study effectiveness of the experimental kit and to study students' satisfaction. The subjects included 30 engineering students who registered in the course Laboratory Physics II (PHY 224) in the first semester of the academic year 2015, selected by purposive sampling technique. The obtained data were analyzed in terms of percentage, average and standard deviation by SPSS statistical packages.

The findings of the study were as the followings:

1. In terms of effectiveness of the experimental kit used in the course, it was found that the Planck's constant obtained from the experiment yielded 20.7% of errors when compared with the theoretical value.
2. The mean scores and standard deviation of students' opinions towards the experimental kit in PHY 224: Physics Laboratory II on Photoelectric Effect were found to be 4.36 and 0.625 respectively which showed that the students were very satisfied with the developed kit.

Keyword: Photoelectric Effect

บทนำ

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect) เป็นหัวข้อหนึ่งในการศึกษาเรื่องฟิสิกส์ควอนตัม ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบกับแผ่นโลหะ แล้วทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดออกมาจากแผ่นโลหะได้ ปรากฏการณ์นี้ที่มีความสำคัญมากต่อความเข้าใจคุณสมบัติของแสงว่า นอกจากแสงเป็นคลื่นแล้ว แสงยังมีคุณสมบัติเป็นอนุภาคอีกด้วย ในการอธิบายให้นักศึกษาเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์นี้เป็นเรื่องที่ยากลำบาก เนื่องจากนักศึกษาไม่สามารถมองเห็นการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากแผ่นโลหะได้ แต่ถ้านักศึกษาเรียนรู้และเข้าใจหลักการของปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก นักศึกษาก็จะเข้าใจการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และสามารถนำปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกไปประยุกต์ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องได้ เช่น การอธิบายการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ หลักการทำงานของเซ็นเซอร์และรีโมทควบคุม เป็นต้น (Douglas, Giancoli, 2008)

ในปัจจุบันการนำสื่อการสอนนวัตกรรมมาใช้ในวงการศึกษา กำลังเป็นที่สนใจกันอย่างกว้างขวางในขณะนี้ ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่การศึกษาในปัจจุบันมุ่งที่จะพัฒนาผู้เรียนให้รู้จักคิดเป็น ทำเป็น และมีความรับผิดชอบตนเอง ดังนั้นการจัดการเรียนการสอน ผู้สอนจำเป็นต้องนำเอาวิธีการสอนใหม่ ๆ พร้อมทั้งสื่อการสอน และนวัตกรรมทางการศึกษามาใช้เพื่อการเรียนการสอนดำเนินการไปอย่างมีประสิทธิภาพ (สุนันท์ สังข์อ่อง, 2526)

วิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 เป็นการศึกษาวิชาฟิสิกส์เชิงปฏิบัติการ โดยมีจุดประสงค์ที่จะให้นักศึกษานำเอาปรากฏการณ์ที่สังเกตได้ หรือต้องการศึกษาเข้ามาสู่ห้องทดลองหรือห้องปฏิบัติการ และดำเนินการทดลองเพื่อที่จะตอบคำถามที่ต้องการทราบ โดยความน่าเชื่อถือของการทดลองเป็นเรื่องที่สำคัญมาก การทดลองที่มีความน่าเชื่อถือสูงจะต้องประกอบด้วยการใช้เครื่องมือในการวัดข้อมูลที่เหมาะสม มีความละเอียดเพียงพอ มีการดำเนินวิธีการทดลองที่รอบคอบ มีการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ และสังเคราะห์ได้อย่างเหมาะสม และถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือปฏิบัติการต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อรองรับและสนับสนุนการเรียนการสอน ในวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 หัวข้อหนึ่งที่นักศึกษาจำเป็นต้องเรียนคือ เรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก แต่ปัญหาที่สำคัญคือ ชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกที่มีขายในท้องตลาดมีราคาแพง ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากในการจัดหาใช้ในการเรียนการสอน

ปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มีความเจริญก้าวหน้า อีกทั้งมีราคาถูก ทางผู้ดำเนินการวิจัยเห็นว่าสามารถนำเทคโนโลยีด้านนี้มาจัดทำชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับนักศึกษาให้มี

ความเข้าใจเนื้อหาที่เรียนได้อย่างถ่องแท้มากยิ่งขึ้น และยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อชุดทดลองได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

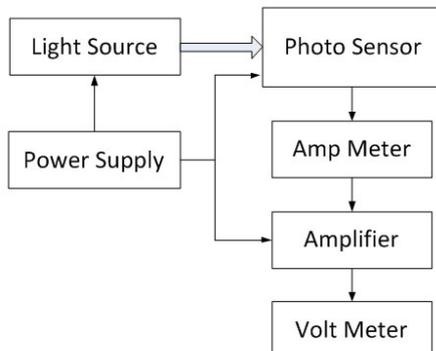
1. เพื่อพัฒนาชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 ที่ใช้งานง่าย มีราคาถูกลง และชุดทดลองนี้สามารถหาค่าคงตัวของพลังค์ได้
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2

วิธีดำเนินการวิจัย (Methods)

1. การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

ในการออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 มีขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 จากเอกสารคำสอนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 2 และ ฟิสิกส์ 2 (PHY133 และ PHY223) เรียบเรียงโดย ปรียา อนุพงษ์ธองอาจ
2. กำหนดขอบเขตและรูปแบบของชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 พร้อมทั้งออกแบบและสร้างชุดทดลอง ใช้หลักการทำงานตามบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

จากบล็อกไดอะแกรม ประกอบด้วย

- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Power Supply) ทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงวงจรแหล่งกำเนิดแสง วงจรตัวรับแสง และวงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า จะต้องเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาดแรงดันคงที่ไม่เกิน 9 โวลต์ และจ่ายกระแสไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 1 แอมแปร์

- แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) เลือกใช้หลอดแอลอีดี (LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยใช้หลอดแอลอีดีจำนวน 5 หลอด จะทำหน้าที่ให้แสงสว่างที่สามารถเลือกความยาวคลื่นได้ 5 ความยาวคลื่น ดังนี้ สีม่วง ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร (nm), สีน้ำเงิน ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร (nm), สีเขียว ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร (nm), สีเหลือง ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร (nm), สีแดง ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร (nm) โดยแต่ละหลอดจะให้แสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน และจะใช้แรงดันไฟฟ้าไม่เท่ากัน จึงทำให้ต้องมีค่าความต้านทานในการจำกัดกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยหลักการคำนวณหาค่าความ

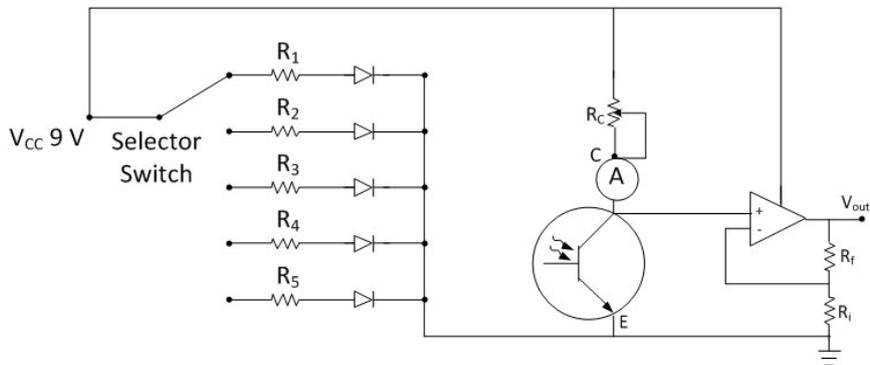
ต้านทานในการจำกัดกระแสไฟฟ้าในหลอดแอลอีดีมีรายละเอียดดังนี้

$$R = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{LED}} \quad (1)$$

โดยที่	R	=	ค่าความต้านทานในการจำกัดกระแสไฟฟ้า
	V_{CC}	=	แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
	V_{LED}	=	แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอดแอลอีดีตามความยาวช่วงคลื่น
	I_{LED}	=	กระแสไฟฟ้าของหลอดแอลอีดี

- โฟโตเซ็นเซอร์ (Photo Sensor) ทำหน้าที่ รับแสงจากแหล่งกำเนิดแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แล้วส่งไปยังวงจรขยายสัญญาณ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ เบอร์ M30 เป็นตัวรับแสง จะทำหน้าที่รับแสงจากหลอดแอลอีดีแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า
- วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier Circuit) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณไฟฟ้า เนื่องจากสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากโฟโตทรานซิสเตอร์มีขนาดเล็กมาก จึงจำเป็นต้องขยายสัญญาณให้ใหญ่ขึ้น ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส โดยขยายสัญญาณ 10 เท่า เพื่อส่งไปแสดงที่เครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าและเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า
- โวลต์มิเตอร์ (Volt Meter) ทำหน้าที่แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรถ่ายขยายสัญญาณ
- แอมมิเตอร์ (Amp Meter) ทำหน้าที่แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากวงจรโฟโตเซ็นเซอร์

จากการออกแบบวงจรในส่วนต่างๆ นำมาประกอบกันเป็นวงจรรวม ได้วงจรดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรรวมของชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

จากวงจรรวมเมื่อนำไปประกอบชุดทดลอง จะได้ชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ที่สามารถนำโวลต์มิเตอร์มาต่อเพื่อแสดงผลค่าความต่างศักย์ และนำแอมมิเตอร์มาต่อเพื่อแสดงผลค่ากระแสไฟฟ้าได้

2. การหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง

ในการทดสอบชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 ได้ทำการทดสอบชุดทดลองเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ โดยค่าความต่างศักย์หยุดยั้งเฉลี่ย (V_0) และความถี่ของแสงจากหลอดแอลอีดี (ν) มาเขียน

กราฟ โดยให้แกน y แทนความต่างศักย์หยุดยั้งเฉลี่ย (V_s) และ แกน x แทนความถี่ของแสงจากหลอดแอลอีดี (ν) คำนวณหาค่าความชันของกราฟ (m) โดยความชันของกราฟจะคำนวณหาค่าคงตัวของพลังค์ (h) ได้จากสมการที่ (2) และ (3) ดังนี้

$$V_s = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e} \quad (2)$$

โดยที่ W แทนค่าฟังก์ชันงานของโลหะ มีหน่วยเป็นจูลหรืออิเล็กตรอนโวลต์ (eV)

เมื่อนำค่าความต่างศักย์หยุดยั้งและความถี่ของแสงมาเขียนกราฟ โดยให้แกน y แทนความต่างศักย์หยุดยั้ง (V_s) และ แกน x แทนความถี่ของแสง (ν) ซึ่งจะได้กราฟเส้นตรง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับสมการเส้นตรงพบว่า ความชันของกราฟ (m)

$$m = \frac{h}{e} \quad (3)$$

โดยที่ e มีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-19} C เมื่อแทนค่า e ในสมการที่ (3) สามารถคำนวณหาค่าคงตัวของพลังค์ (h) ได้

3. การประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้ชุดทดลอง

ประชากรทั้งหมดเป็นนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 (PHY 224) ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 155 คน โดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม จำนวน 30 คน ได้มาโดยวิธีเลือกแบบเจาะจง (โดยใช้กลุ่มนักศึกษาที่ผู้วิจัยรับผิดชอบสอน) โดยให้ทำการทดลองและตอบแบบสอบถามความพึงพอใจเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของนักศึกษาเกี่ยวกับความพึงพอใจชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์ โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 มีลักษณะเป็นแบบปลายปิด คะแนนเป็นมาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิร์ตสเกล (Likert, 1932) 5 ระดับ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพ และส่วนที่ 2 การนำไปใช้งาน

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม มีลักษณะเป็นแบบปลายเปิด

โดยกำหนดเกณฑ์ที่ให้ในการแปลความหมายของความคิดเห็นของนักศึกษาเกี่ยวกับความพึงพอใจชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.50 – 5.00 แสดงว่า ระดับความพึงพอใจมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.50 – 4.49 แสดงว่า ระดับพึงพอใจมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.50 – 3.49 แสดงว่า ระดับพึงพอใจปานกลาง

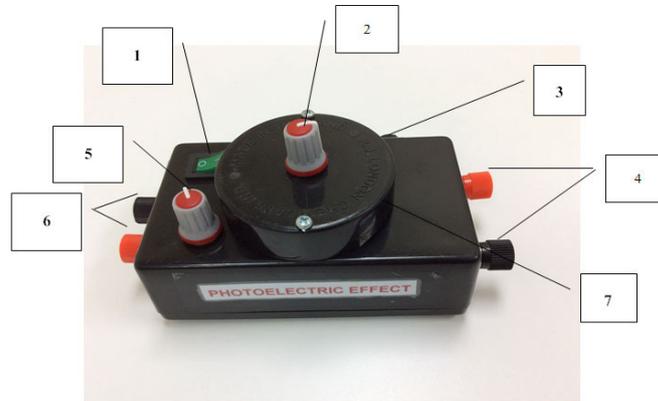
คะแนนเฉลี่ย 1.50 – 2.49 แสดงว่า ระดับพึงพอใจน้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.49 แสดงว่า ระดับพึงพอใจน้อยที่สุด

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 17.0

ผลการวิจัย

1. การออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 โดยผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดลอง ทำให้ได้ชุดการทดลองมีลักษณะตามที่ออกแบบ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกวิทยารายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2

จากรูปที่ 3 แสดงชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกวิทยารายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว โดยมีปุ่มบนตัวเครื่องที่ทำหน้าที่ต่างๆ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

หมายเลข 1 หมายถึง สวิตช์เปิด-ปิดชุดทดลอง

หมายเลข 2 หมายถึง ปุ่มหมุนเลือกหลอด LED ซึ่งมีทั้งหมด 5 สี คือ สีม่วง ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร, สีน้ำเงิน ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร, สีเขียว ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร, สีเหลือง ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร, สีแดง ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

หมายเลข 3 หมายถึง ช่องเสียบแอมมิเตอร์ ทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้า

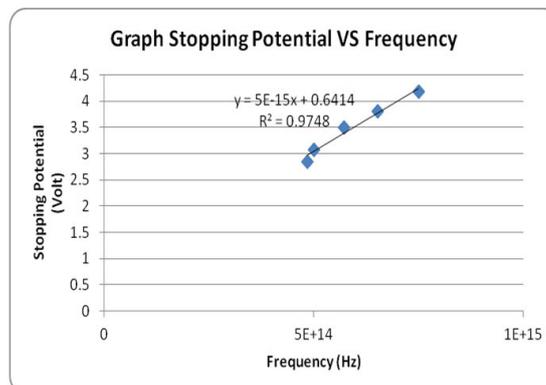
หมายเลข 4 หมายถึง ช่องเสียบโวลต์มิเตอร์ ทำหน้าที่วัดความต่างศักย์หยุดยั้ง

หมายเลข 5 หมายถึง ปุ่มหมุนปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

หมายเลข 6 หมายถึง ช่องเสียบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) โดยใช้ได้ในช่วง 6-9 โวลต์

หมายเลข 7 หมายถึง ช่องเปิดเพื่อใช้คู่สีของหลอดแอลอีดี

2. การทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกวิทยารายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 ได้ทำการทดสอบชุดทดลองเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ โดยค่าความต่างศักย์หยุดยั้งเฉลี่ย (V_s) และความถี่ของแสงจากหลอดแอลอีดี (ν) มาเขียนกราฟ โดยให้แกน y แทน ค่าความต่างศักย์หยุดยั้งเฉลี่ย (V_s) และ แกน x แทนความถี่ของแสงจากหลอดแอลอีดี (ν) ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณมาจากความยาวคลื่น (λ) ของแสงจากหลอดแอลอีดี ได้ผลการทดสอบดังแสดงในกราฟรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงค่าความต่างศักย์หยุดยั้งเฉลี่ย (V_s) และความถี่ของแสงจากหลอดแอลอีดี (ν)

จากกราฟสามารถหาความชันของกราฟ (Slope) และจุดตัดบนแกน y (y-Intercept) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป EXCEL ซึ่งได้ค่าคงตัวของพลังค์

$$h = (5 \times 10^{-15})(1.6 \times 10^{-19}) = 8 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

เมื่อเปรียบเทียบค่าคงตัวของพลังค์ (h) ที่ได้จากการทดลองกับค่าคงตัวของพลังค์ (h) มาตรฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.63×10^{-34} จูล.วินาที (J.s) พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 20.7%

3. การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ชุดทดลองโดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 (PHY 224) ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 1 กลุ่ม ซึ่งมีจำนวน 30 คน ลักษณะแบบประเมินเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) วิเคราะห์โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย (Mean: \bar{x}) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) โดยค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของระดับความคิดเห็นของนักศึกษาเกี่ยวกับความพึงพอใจที่มีต่อชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2

ความพึงพอใจที่มีต่อชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2	\bar{x}	SD	ค่าระดับ การประเมิน
ส่วนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพ			
1. ชุดทดลองมีความสวยงาม	4.40	0.621	มาก
2. ชุดทดลองมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน	4.37	0.615	มาก
3. ชุดทดลองมีความแข็งแรง	4.33	0.661	มาก
4. ชุดทดลองง่ายต่อการเก็บรักษา	4.43	0.568	มาก
5. วัสดุที่นำมาสร้างชุดทดลองหาได้ง่ายและราคาถูก	4.37	0.615	มาก
ส่วนที่ 2 การนำไปใช้งาน			
1. ชุดทดลองติดตั้งง่าย	4.40	0.675	มาก
2. ชุดทดลองมีขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก	4.60	0.498	มากที่สุด
3. แสงสีจากหลอดแอลอีดีสามารถมองเห็นได้ชัดเจนและสะดวก	4.20	0.664	มาก
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้า โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์สามารถต่อเข้ากับชุดทดลองได้ง่าย	4.30	0.651	มาก
5. ชุดทดลองนี้สามารถใช้หาค่าคงที่ของพลังค์ได้	4.23	0.679	มาก
ค่าระดับเฉลี่ย	4.36	0.625	มาก

อภิปรายผลการวิจัย

1. ในการออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 ทำให้ได้ชุดทดลองที่ใช้งานง่าย มีราคาถูกและสามารถใช้ในการหาค่าคงที่ของพลังค์ได้โดยเมื่อพิจารณาหาค่าคงที่ของพลังค์จากชุดทดลองนี้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับหาค่าคงที่ของพลังค์มาตรฐานพบว่า มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 20.7% แสดงว่า นักศึกษาสามารถใช้ชุดทดลองนี้เพื่อศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้ โดยสามารถวัดค่าความต่างศักย์หยุดยั้ง กระแสไฟฟ้า และสามารถหาค่าคงที่ของพลังค์ได้ แต่มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากโฟโตทรานซิสเตอร์ที่นำมาใช้มีราคาถูก ทำให้การแปลงค่า

แสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

2. ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกรายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก แสดงว่าชุดทดลองนี้มีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้พัฒนาการเรียนการสอน โดยนักศึกษามีความพึงพอใจต่อชุดทดลองนี้ในด้านลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ชุดทดลองมีความสวยงาม มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน ชุดทดลองมีความแข็งแรง ชุดทดลองง่ายต่อการเก็บรักษา วัสดุที่นำมาสร้างชุดทดลองหาได้ง่ายและราคาถูก และด้านความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ได้แก่ ชุดทดลองติดตั้งง่าย ชุดทดลองมีขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก แสงสีจากหลอดแอลอีดีสามารถมองเห็นได้ชัดเจนและสะดวก แหล่งจ่ายไฟฟ้า โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์สามารถต่อเข้ากับชุดทดลองได้ง่าย และชุดทดลองนี้สามารถใช้หาค่าคงที่ของพลังค์ได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรเลือกใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ให้มีคุณภาพดี จะทำให้ค่าคงที่ของพลังค์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เพื่อจะได้เป็นต้นแบบของชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกรายวิชา PHY224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 ที่มีประสิทธิภาพมากและมีราคาไม่แพงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์นันทชัย ทองแป้น หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณศูนย์สนับสนุนและพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต ที่อนุมติทุนวิจัย

ขอขอบคุณ คุณธวัช แก้วกัณฑ์ ที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และรองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา จันทร์ประเสริฐ เป็นที่ปรึกษาการวิจัยครั้งนี้

บรรณานุกรม

- ธวัช แก้วกัณท์. (2558). *เอกสารประกอบการสอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์ 2 (BMI323)*.
 ปทุมธานี: ภาควิชาฟิสิกส์มหาวิทยาลัยรังสิต.
- ปรียา อุนพงษ์อาจ. (2553). *ฟิสิกส์ 2 และ ฟิสิกส์ทั่วไป 2 (PHY223, PHY133) พิมพ์ครั้งที่ 13*. กรุงเทพฯ:
 โรงพิมพ์ศูนย์สนับสนุนและพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต.
- ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชวมงคล. (2558). *หลอดแอลอีดี*. สืบค้น 18 ธันวาคม 2558,
 จาก <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/LED/thaiLED.htm>.
- เรียนฟิสิกส์กับครูชิตชัย. (2558). *โพลีไดโอดทรานซิสเตอร์*. สืบค้น 18 ธันวาคม 2558,
 จาก <http://phchitchai.wbvschool.net/page/9>.
- วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. (2545). *ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาล็อก*. กรุงเทพฯ: ว.เพ็ชรสกุล.
- สุนันท์ สังข์อ่อง (2526). *สื่อการสอนและนวัตกรรมทางการศึกษา: หลักการและแนวปฏิบัติในการผลิตและการใช้สื่อการสอน
 แบบต่างๆพร้อมรายละเอียดเกี่ยวกับหน่วยงานที่ให้บริการด้านสื่อการสอน*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์
- Douglas C., Giancoli. (2008). *Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics* (4th Edition).
 New York : Prentice-Hall.
- Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1–55.

Translated Thai References

- Anupongongarch, P. (2010). *Physics 2 and General Physics 2 (PHY223, PHY133)* (13th Edition). Pathum Thani:
 Instructional Support and Development Center, Rangsit University. [in Thai]
- Department of Physics, Faculty of Science, Rajamangala University of Technology. (2015). *LED*.
 Retrieved December 18, 2015, from [http://www.atom.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/
 LED/thaiLED.htm](http://www.atom.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/LED/thaiLED.htm). [in Thai]
- Kaewgun, T. (2015). *Electronics 2 Handout (BMI323)*. Pathum Thani : Depart ment of Physics,
 Rangsit University. [in Thai]
- Study Physics with Phchitchai. (2015). *Phototransistor*. Retrieved December 18, 2015,
 from <http://phchitchai.wbvschool.net/page/9>. [in Thai]
- Sungoong S. (1983). *Instructional Media and Educational Innovation: Principle and Procedure in
 Production and Usability of the Varity of Instructional Media and Detail of the Instructional
 Media Unit*. Bangkok : Odian Store. [in Thai]
- Tungsrirat, W. (2002). *OP-AMP and Analog Signal Processing*. Bangkok: W.Petchschakul. [in Thai]