

## The Development of Current Resistance and Power Conceptual Test (CRPCT) for Thai Students in the Enrichment Science Classroom Program

Tanatorn Kalaya<sup>1</sup>

Suchai Nopparatjamjomras<sup>2</sup>

Thasaneeya Ratanaroutai Nopparatjamjomras<sup>3</sup>

Ratchapak Chitaree<sup>4</sup>

### Abstract

This research aimed to 1) develop the Current Resistance and Power Conceptual Test (CRPCT), which can investigate students' understanding of current, resistance, series and parallel circuit connection, and resistors' power limitation in simple DC circuits and 2) examine the validity, reliability, item difficulty, and item discrimination of the developing test. The CRPCT consisted of 11 two-tier questions: Part I) Current, series and parallel circuit connection, and resistance, and Part II) Current and resistors' power limitation. The questions and their alternatives were developed from the simple DC circuits common misconceptions that were founded in 1) the previous research such as a) current flows from a negative pole to a positive pole of a battery b) in a series circuit, current gradually decreases when passing through the loads as each of them consumes the current and c) in a parallel circuits, the amount of current passing through each load is inverse proportion to the distance between the loads and the battery, etc.; and 2) the activities that implemented by researchers which is the first load, in a series circuit, stores all amount of current so there is no current pass through the following loads. To evaluate the reliability, item discrimination, and item difficulty of the CRPCT, the test was introduced to 231 students in the Enrichment Science Classroom project of Thailand from two schools in Bangkok and Nonthaburi province. The CRPCT is valid, reliable (average overall reliability is 0.79), good at discrimination (average overall discrimination index is 0.40), but slightly difficult (average overall difficulty is 0.41). Nevertheless, the test could be used to investigate students' understanding of current, resistance, series and parallel circuit connection, and power in simple DC circuits.

**Keywords:** current and resistance, power, conceptual test

Received July 13, 2020; Revised February 1, 2021; Accepted February 8, 2021.

DOI: 10.14456/jrm.2021.2

<sup>1</sup> Science and Technology Education, Institute for Innovative Learning, Mahidol University and Rajadamri School, Thailand.

E-mail: tanatorn.kalaya@gmail.com

<sup>2</sup> Corresponding author, Science and Technology Education, Institute for Innovative Learning, Mahidol University, and Thailand Centre of Excellence in Physics, Commission on Higher Education, Thailand. E-mail: suchai.nop@mahidol.edu

<sup>3</sup> Siriraj Health Science Education Excellence Center, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Thailand.

E-mail: thasaneeya.rat@mahidol.edu

<sup>4</sup> Department of Physics, Faculty of Science, Mahidol University, Thailand. E-mail: rachapak.chi@mahidol.ac.th

## การพัฒนาแบบวัดแนวความคิด เรื่อง กระแส ความต้านทานและกำลังไฟฟ้า (CRPCT) สำหรับนักเรียนไทยโครงการห้องเรียนพิเศษด้านวิทยาศาสตร์

ธนธรณ์ กัลยา<sup>1</sup>

สุชัย นพรัตน์แจ่มจำรัส<sup>2</sup>

ทัศนียา รัตนฤทัย นพรัตน์แจ่มจำรัส<sup>3</sup>

รัชภาศย์ จิตต์อารี<sup>3</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแบบวัดแนวความคิดเรื่องกระแส ความต้านทาน และกำลังไฟฟ้า (CRPCT) ที่สามารถนำไปใช้ในการสำรวจความเข้าใจของนักเรียนในหัวข้อกระแส การต่อวงจรอนุกรมและขนาน ความต้านทาน และกำลังไฟฟ้าของตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย และ 2) ทดสอบหาความตรงเชิงเนื้อหา ความเที่ยง ความยาก และอำนาจจำแนกของข้อคำถามในแบบวัดแนวความคิดที่พัฒนาขึ้น ข้อคำถามในแบบวัดเป็นลักษณะสองตอน จำนวน 11 ข้อ ตอนที่ 1 จำนวน 6 ข้อ เกี่ยวกับ กระแสไฟฟ้า การเชื่อมต่อแบบอนุกรมและขนาน และความต้านทาน ตอนที่ 2 จำนวน 5 ข้อ เกี่ยวกับ กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของตัวต้านทาน สร้างขึ้นจากความเข้าใจคลาดเคลื่อนของนักเรียนในเรื่องไฟฟ้ากระแสตรงเบื้องต้นซึ่งปรากฏอยู่ในรายงานการวิจัยที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่ เช่น 1) นักเรียนมีความคิดว่ากระแสไฟฟ้าไหลจากขั้วลบไปยังขั้วบวกของแบตเตอรี่ 2) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออนุกรมกัน จะลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการบริโภคกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละตัว 3) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อขนานกัน แปรผกผันกับระยะทางระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ เป็นต้น รวมทั้งความเข้าใจคลาดเคลื่อนว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าตัวแรกที่อยู่ในวงจรอนุกรมเก็บกระแสไฟฟ้าไว้ทั้งหมด ส่งผลให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลต่อไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอื่นที่อยู่ในวงจร ซึ่งเป็นความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่คณะผู้วิจัยค้นพบในระหว่างการจัดกิจกรรมกับนักเรียนกลุ่มต่าง ๆ เพื่อที่จะทำการประเมินค่าความเที่ยง อำนาจจำแนกของรายข้อสอบ และความยากของรายข้อสอบ ผู้วิจัยได้นำแบบวัดแนวความคิดที่พัฒนาขึ้นไปเก็บข้อมูลกับนักเรียน จำนวน 231 คน ที่อยู่ในโครงการห้องเรียนพิเศษด้านวิทยาศาสตร์ ตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และ มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (สอวน.) จากโรงเรียน 2 แห่ง ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร และจังหวัดนนทบุรี พบว่าแบบวัดแนวความคิดเรื่องกระแส ความต้านทานและกำลังไฟฟ้าที่คณะผู้วิจัยทำการพัฒนาขึ้นมีความเที่ยง (ค่าความเที่ยงเฉลี่ย คือ 0.79) และมีคุณสมบัติที่ดีด้านอำนาจจำแนกของรายข้อสอบ (ค่าอำนาจจำแนกของรายข้อสอบเฉลี่ย คือ 0.40) แต่มีความยากเล็กน้อย (ค่าความยากของรายข้อสอบเฉลี่ย คือ 0.41) อย่างไรก็ตามแบบวัดแนวความคิดนี้สามารถนำไปใช้ในการสำรวจความเข้าใจของนักเรียนเรื่องกระแส การต่อวงจรแบบอนุกรมและขนาน ความต้านทาน และกำลังไฟฟ้าได้

**คำสำคัญ:** ความต้านทานและกระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, แบบวัดแนวความคิด

รับบทความต้นฉบับ 13 กรกฎาคม 2563; รับบทความแก้ไข 1 กุมภาพันธ์ 2564; ตอรับการตีพิมพ์ 8 กุมภาพันธ์ 2564

DOI: 10.14456/jrm.2021.2

<sup>1</sup> สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170 และ โรงเรียนราชดำริ กรุงเทพฯ 10250 อีเมล: tanatorm.kalaya@gmail.com

<sup>2</sup> ผู้รับผิดชอบบทความหลัก สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170 และ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50202 อีเมล: suchai.nop@mahidol.edu

<sup>3</sup> ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการศึกษาวิทยาศาสตร์สุขภาพ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10700 อีเมล: thasaneeya.rat@mahidol.edu

<sup>4</sup> ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400 อีเมล: rachapak.chi@mahidol.ac.th

## Introduction

According to the Thailand Basic Education Core Curriculum B.E. 2551, Thai students have learned DC simple circuits since they are grade six students until they are grade eleven students. In grade 6, the concepts of electricity that they have to learn are static electricity from rubbing objects, the component of simple DC circuit, simple DC circuit connections, cells connection in series, and connections of light bulbs in simple DC circuit. In grade nine, students have to learned the concept of Ohm's law, the relationship between current and potential difference, using of voltmeter and ammeter, current and potential difference in series and parallel simple DC circuit connections with resistors, simple DC circuits diagram, electronic elements, electric power, and electric appliance are involved. In addition, the magnetic field and electromagnetic is the concept that grade eleven students need to learn.

The fundamentals that students should have a correct understanding are current, resistance, series and parallel circuit connection, and electric power (simplified named as power). This is because the students' incorrect prior knowledge always negatively affects their new learning, especially in a higher level. Therefore, many research have studied on students' misconceptions regarding electric circuit. In addition, the lesson plan that fit to students' prior knowledge could help them learn, effectively. To account for students' prior knowledge, a conceptual test is one of the tool that can be used, especially the multiple-choice one can be used to investigate many students' understanding (concepts and number of students) in a short time. Hence, researchers aim to develop the Current Resistance and Power Conceptual Test (CRPCT) to be a tool to investigate Thai students' understanding of simple DC circuit.

## Research Objectives

1. To develop the CRPCT, which can investigate students' understanding of current, resistance, series and parallel circuit connection, and resistors' power limitation in simple DC circuits.
2. To examine the validity, reliability, item difficulty, and item discrimination of the CRPCT.

## Literature Review

Many researchers had studied students' misconceptions about current in a DC simple circuits. These researchers found that many students had the ideas that 1) current flow from a negative pole to a positive pole of a battery (Jabot & Henry, 2007; McDermott & Shaffer, 1992; Sencar et al., 2001), 2) currents from both negative and positive poles of a battery flow into a circuit and clash at the point in the middle of the circuit (named as clashing current model) (Heller & Finley, 1992; Sencar et al., 2001), 3) current is consumed by every loads connected in series, so the amount of current always decreases when the current passes through loads (named as used up current misconception) (Heller & Finley, 1992; Maloney,

1986; Sencar et al., 2001; Setyani et al., 2017), 4) the amount of current in a series circuit is not constant but it is inverse proportion to the resistance of each loads (Maloney, 1986), 5) the amount of current passing through the loads (resistors) connected in a parallel is inverse proportion to the distance between the loads and battery rather than the loads' resistance (named as closer and farther circuit misconception) (Scaife, 2012), and 6) a load can work even the circuit is not a complete circuit, there is only one wire connected between a positive or negative pole of a battery and a load, because current from a battery pole is all stored at the load (named as sink current misconception) (John & Allie, 2017). Moreover, some researchers also found that students could not identify series and parallel circuit connection (McDermott & Shaffer, 1992).

There are 3 conceptual tests that were used to investigate high school and university students' conceptions of electricity by many researchers. These conceptual tests are the Electric Circuit Conceptual Evaluation (ECCE), the Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test (DIRECT), and the Electricity Concept Test (ECT). The ECCE used identical light bulbs and their brightness to determine students' conceptions of current and potential difference in DC simple circuits (Sokoloff, 1996). The DIRECT used identical light bulbs, resistors, and batteries to investigate students' conceptions regarding direct current resistive electric circuits including a role of battery and resistor, power delivered in a circuit, complete circuit, series and parallel circuit connection, circuit diagram and realistic circuit, and the current and potential difference in DC simple circuits (Engelhardt & Beichner, 2004). The ECT was developed to find out students' understanding levels and common misconceptions about electrical force, motion in an electric field, conductors and insulator in an electric field, charge transfer, work between equipotential lines, charging and discharging in a DC circuit, current in a DC circuit, and charging and discharging of a capacitor (identical light bulbs were used in this part) (Bilal & Erol, 2009).

In real life, the bulbs are not identical, difference in resistance and power, to make them appropriate for users. Therefore, some research (Li & Singh, 2016; Wong et al., 2017) used non-identical light bulbs rather than identical ones in their tests. Results from these researches revealed that participants had many misconceptions and confusions between power and the resistance of the bulb, which parameter would be used to determine the brightness of the bulb. Besides, John and Allie (2017) used the Aspects of Circuits Questionnaire (ACQ) and found that students treated contextual of elements in circuits differently. Thus, using other circuit elements rather than only the brightness of identical light bulbs as teaching and learning materials would promote students' understanding of electricity.

Therefore, this research aims to develop the Current Resistance and Power Conceptual Test (CRPCT) as a tool to investigate 1) students' misconceptions of current in a DC simple circuit as mentioned in the first paragraph 2) students' understanding about resistance, circuit connection, and resistor's power limitation.

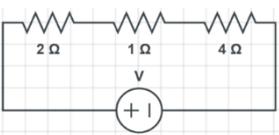
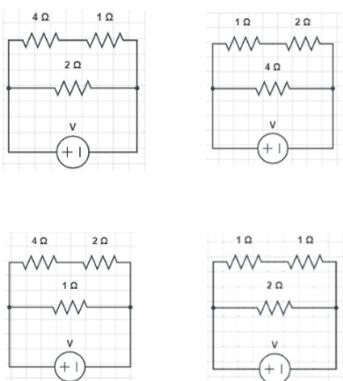
### CRPCT Development

Researchers created 4 open-ended questions, with a space for students to give the reason to support their answer, to 1) confirm whether Thai students had the current misconceptions, mentioned in the first paragraph of the literature, or not and 2) investigate students' understanding about resistor. The questions are resistor circuits that mainly asked for the sequence of the resistors' burning. This is because 1) students are familiar with resistor as the circuit element and 2) it is easier to demonstrate the flowing of current in a circuit by the resistors' burning than the traditional demonstration does with ammeter. In addition, resistor burning can easily draw students' attention. These questions were integrated into the activities that researchers introduced to 106 students from two schools in Bangkok. Students' responses to these questions revealed that some of them had the current common misconceptions mentioned in the literature; closer and farther circuit misconception, used up current misconception, and clashing current model. In addition, researchers also found the new misconception about the current in a series circuit; current is totally stored by the first load, so no more current flow after the first load (researchers named this new misconception as stored up current misconception) (see Table 1).

**Table 1** Students' misconceptions and incorrect understanding about resistor extracted from their response to the 4 open-ended questions.

Item		Students' Response	Examples of students' reason	Misconception
No.	Question			
1	<p>In a circuit, two resistors (A and B) are identical and the battery can supply enough current to burn the resistors. Do all resistors burn at the same time? If not, which resistor is burnt first? Please explain your reason in brief.</p>	No, resistor A	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistor B circuit is longer than those of resistor A.</li> <li>- Resistor A is closer to the battery than resistor B.</li> </ul>	Closer circuit
		No, resistor B	- It is a long time for current to flow to resistor B so it possible to burn when it comes to resistor B.	Farther circuit
2	<p>In a circuit, three resistors (R1, R2 and R3) are identical and the battery can supply enough current to burn the resistors. Do all resistors burn at the same time? If not, which resistor is burnt first? Please explain your reason in brief.</p>	No, R1	- Current flow gradually decreases from R1 to R2 and then R3 because the resistance.	Used up current
		No, R1 and R3	- R2 has no heat because currents from both positive and negative poles of the battery only hit R1 and R3.	Stored up current
		No, R2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- R2 is heated with the energy from R1 and R3.</li> <li>- R2 is in the middle.</li> </ul>	Clashing current

**Table 1 (continued)** *Students' misconceptions and incorrect understanding about resistor extracted from their response to the 4 open-ended questions.*

Item		Students' Response	Examples of students' reason	Misconception
No.	Question			
3	 <p>In a circuit, the battery can supply enough current to burn the resistors. Do all resistors burn at the same time? If not, which resistor is burnt first? Please explain your reason in brief.</p>	No, 2Ω resistor	- It is the first resistor that current come to.	Stored up current
		No, 1Ω resistor	- currents flow from the battery and hit at 1Ω.	Clashing current
4	<p>The battery can supply enough current to burn the resistors. Do all resistors in each circuit burn at the same time? If not, which resistor is burnt first? Please explain your reason in brief.</p> 	No, the one that is close to battery	- It is closet to a positive and negative poles.	Closer circuit

Students' responses to the 4 open-ended questions, both correct and incorrect understanding, were used to develop the new multiple-choice questions. After trials the new questions during the simple DC circuits activities with many small groups of students, the item statements, choice statements, and circuit diagrams were improved to be the CRPCT. There were 11 items and separated into two parts; Part I: Current, series and parallel circuit connection, and resistance (6 items) and Part II: Current and resistors' power limitation (5 items). Most items also provided the space, at the end of the choices, called "reasoning space." Students were requested to write their reason behind the response. So, the researchers could investigate the students' understanding deeply. The examples of the concept behind the item and the matching between the misconceptions and the actual texts used in each choice were presented in Table 2.

**Table 2** The examples of the concept behind the item and the matching between the misconceptions and the actual texts used in each choice.

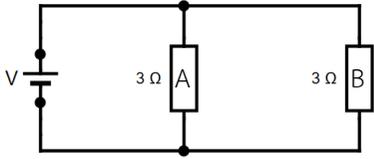
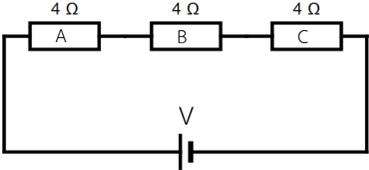
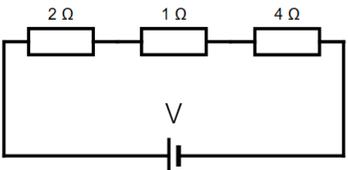
Part of the test	Item		Choice	Choices' meaning (Misconception)	Explanation		
	No.	question				Concept	
Part I Current, series and parallel circuit connection, and resistance	1	 <p>In a circuit, two resistors (A and B) are identical and the battery can supply enough current to burn the resistors. If the wire's resistance is neglected, which choice is correct?</p>	Current in a parallel circuit: Each load's (connected in parallel) current depend on load's resistance	a	Only resistor A would be burnt.	Closer circuit	Even the resistance of A and B are the same, some students thought that amount of currents depend on the distance between load and battery.
				b	Only resistor B would be burnt.	Farther circuit	
				c	Both resistors A and B would be burnt.	(Correct choice)	
				d	Both resistors A and B would not be burnt.	-	
	3	 <p>In a circuit, all resistors are identical. When the current flows in circuit, which choice is correct?</p>	Current in a series circuit: Current flow through each load is constant and depend on the circuit equivalent resistance not individual one.	a	Only A would be heated.	Stored up a current	Current flows from a positive pole of a battery and is kept at A.
				b	Only B would be heated.	Clashing current	Currents flow from both poles of a battery and clash at the middle of the circuit, B.
				c	Only C would be heated.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Stored up a current</li> <li>● Current flows from a negative pole.</li> </ul>	Current flows from a negative pole of a battery and is kept at C.
				d	All resistors would be the same heated.	(Correct choice)	In a series circuit, currents passing through each resistor are the same.
				e	Only A and C would be heated.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Stored up a current</li> <li>● Currents flow from both poles.</li> </ul>	Currents flow from both poles of a battery and are kept by A and C.
				f	A is hotter than B and B hotter than C.	Used up a current	Current flows from a positive pole of a battery and gradually decreases as it is consumed by each resistor.
				g	C is hotter than B and B hotter than A.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Used up a current</li> <li>● Current flows from a negative pole.</li> </ul>	Current flows from a negative pole of a battery and gradually decreases as it is consumed by each resistor.
				h	B is the hottest while A and C are equal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Clashing current</li> <li>● Used up a current</li> </ul>	Currents flow from both poles of a battery, decreases as it is consumed by A and C then clash at the middle of the circuit, B.
				i	.....	(Free space for independent answer)	

Table 2 (continued) The examples of the concept behind the item and the matching between the misconceptions and the actual texts used in each choice.

Part of the test	Item		Choice	Choices' meaning (Misconception)	Explanation		
	No.	question				Concept	
Part I Current, series and parallel circuit connection, and resistance	5	<p>When the current flows in circuit, which choice is correct? Whereas, <math>I_1</math> is the current passing through <math>2\Omega</math> resistor. <math>I_2</math> is the current passing through <math>1\Omega</math> resistor. <math>I_3</math> is the current passing through <math>4\Omega</math> resistor.</p> 	<p>Current in a series circuit: Current flow through each load is constant and depend on the circuit equivalent resistance not individual one.</p>	a	$I_1 > I_2 > I_3$	Used up a current	Current flows from a positive pole of a battery and gradually decreases as it is consumed by each resistor.
				b	$I_3 > I_2 > I_1$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Used up a current</li> <li>Current flows from a negative pole.</li> </ul>	Current flows from a negative pole of a battery and gradually decreases as it is consumed by each resistor.
				c	$I_2 > I_1 = I_3$	Clashing current	Currents flow from both poles of a battery and clash at the middle of the circuit, $1\Omega$ .
				d	$I_1 > I_2 = I_3$	Stored up a current	Current flows from a positive pole of a battery and is kept at $2\Omega$ .
				e	$I_3 > I_2 = I_1$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stored up a current</li> <li>Current flows from a negative pole.</li> </ul>	Current flows from a negative pole of a battery and is kept at $4\Omega$ . So, there is no current at $1\Omega$ and $2\Omega$ .
				f	$I_2 > I_1 > I_3$	Thought of $I \propto \frac{1}{R}$	Current depends on resistance, either direct or invert proportion. But in a series circuit each loads' current is the same.
				g	$I_3 > I_1 > I_2$	Thought of $I \propto R$	
				h	$I_1 = I_2 = I_3$	(Correct choice)	
				i	.....	(Free space for independent answer)	

## Participants and Ethical considerations

The participants were 231 students of two schools (three classes each) who joined the Enrichment Science Classroom project of Thailand. There were no significant differences for the students in each class of the same school, as they were randomly divided into the class by their school.

The Enrichment Science Classroom project is accompanied by the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST) and The Promotion of Academic Olympiad and Development of Science Education Foundation under the patronage of Her Royal Highness Princess Galyani Vadhana Krom Luang Naradhiwas Rajanagarindra (POSN). The project aims to promote student-centered learning of integrated science, mathematics, and technology for Thai youth who have the scientific, mathematic and technology talent to be scientists and researchers. In May 2019, 175 public schools joined the Enrichment Science Classroom project. The number of students per class was approximately 30 students, so the population size was 5,250 students approximately. As the test score was the continuous data and Bartlett et al. (2001) suggested that, for the level of significant Alpha = 0.01, at least 209 sample sizes should be used if the population size is 6,000. Therefore, purposive sampling was used to select the sample.

For the Ethical considerations, the IPSR-IRB, Institute for population and social research, Mahidol University, Thailand provided the certificate of ethical approval, COA. No. 2019/01-021 for the researchers to ethically collect data from participants.

## Implementation and analysis

The CRPCT was checked the content validity twice using Item Objective Congruence Index (IOC) by three experts who had a degree in Physics and experiences in the field of physics education for more than ten years. Besides, one of them is working in the IPST and understand about the Enrichment Science Classroom project quite well. The CRPCT had introduced to 231 students from two schools before they had learnt the topics of current, resistance, series and parallel circuit connection, and resistors' power limitation in simple DC circuits. Results from each school have separately analyzed the reliability, item difficulty (difficulty index), and item discrimination (discrimination index) (Wiersma & Jurs, 1990).

The Item Objective Congruence Index (IOC) for multidimensional items (Turner & Carlson, 2003) was selected to evaluate the Content validity of the test. The simple formula to calculate the IOC for multidimensional items is:

$$IOC_{ik} = \frac{(N)\mu_k - (N - p)\mu_l}{2N - p}$$

where  $IOC_{ik}$  is the item-objective congruence index for item  $i$  on objective  $k$ ,  
 $N$  is the number of objectives,

$p$  is the number of valid objectives,

$\mu_k$  is the judges' mean rating of item  $i$  on the valid objective  $k$ , and

$\mu_l$  is the judges' mean rating of item  $i$  on the invalid objectives  $l$ .

While the generally accepted value is a minimum of 0.5, if the IOC is lower than 0.5, the item should be revised.

The reliability of the test was calculated using Cronbach alpha procedure (Cronbach, 1951). If the parts of the test are individual items, and the items are dichotomously scored, the alpha coefficient equals to the result from KR-20 (Kuder & Richardson, 1937). The formula involves variances of the parts of the test and is given by:

$$r_\alpha = \frac{J}{J-1} \left[ 1 - \frac{\sum s_j^2}{s^2} \right]$$

where  $r_\alpha$  is the reliability alpha coefficient of the test,

$J$  is the number of parts into which the test is divided,

$s_j^2$  is variance of  $J^{th}$  part, and

$s^2$  is variance of the total scores.

While the generally accepted value is a minimum of 0.7.

The difficulty index is used for evaluating the difficulty of each test item. It provides the percentage of students who answer an item correctly. The difficulty index ( $p$ ) is an inverted index; the lower the value, the more difficult the item. Inspection of item difficulty levels can reveal problems with the test and even the instruction (Wiersma & Jurs, 1990). This index can range from 0 to 1, which means difficult to secure. The generally accepted value is between 0.4 – 0.6. If the value is less than or equal to 0.4, the item is too difficult. While, if the value is higher than or equal to 0.6, the item is too easy. The difficulty index can be calculated as the following equation:

$$p = \frac{\text{Number of correct responses to an item}}{\text{Number of persons responding}}$$

The discrimination index ( $D$ ) is used for evaluating the ability of each test item to separate students by their score on the total test; discriminating high- and low- scoring students. The discrimination index can range from -1 to +1. The negative value of index means low discrimination of that item (Wiersma & Jurs, 1990). The generally accepted value is higher than 0.2. If the value is less than 0.2, the item is not able to discriminate students. The discrimination index can be calculated as the following equation:

$$D = p_H - p_L$$

where  $D$  is the discrimination index of an item in the test,

$p_H$  is the difficulty index of an item for the highest group, which is the first 27 percent from score ranking,

$p_L$  is the difficulty index of the same item for the lowest group, which is the last 27 percent from score ranking.

## Result

The CRPCT consisted of 11 items and separated into two parts; Part I: Current, resistance, series and parallel circuit connection (6 items) and Part II: Current and resistors' power limitation (5 items). Every item of the Part I was a multiple-choice question while 4 of 5 items of the Part II were the two-tier multiple choice questions. The concepts covered by the CRPCT consisted of current in a circuit (series, parallel, and open circuit), resistance, series and parallel circuit connection, and power limitation of the resistors in a series and a parallel circuit.

Not only the common misconceptions, reported in the previous research, were found in this research but also the new misconception. Researcher found that some participants thought that the first load, in a series circuit, stores all current so no more current flows after the first load.

The validity, reliability, item difficulty, and item discrimination of the CRPCT are as follow:

### Test validity

At the first round of validity checking, responses and comments from the three experts revealed that six items had the Item Objective Congruence Index (IOC) below than 0.5, and the average IOC was 0.52. According to the experts' comments, researchers tried to revise the test on 1) choice statement such as changing from "burnt" to be "have a chance to be burnt", 2) circuit figure, and 3) problem statement, i.e., adding "the resistance of the wire can be neglected". After revision, the IOC was higher than 0.5 for all items (see Table 3), and the average IOC was increased to 0.90. It meant that the revised version of the test was valid to use for data collection.

**Table 3** Item Objective Congruence Index (\* the item with the IOC below than 0.5)

Part of the test	Item	Item Objective Congruence Index (1 <sup>st</sup> validation)	Item Objective Congruence Index (2 <sup>nd</sup> validation)
Part I: Current, series and parallel circuit connection, and resistance	1	0.25*	0.92
	2	0.29*	0.79
	3	0.40*	0.88
	4	1.00	1.00
	5	0.38*	0.73
	6	0.50	0.81

**Table 3 (continued)** *Item Objective Congruence Index (\* the item with the IOC below than 0.5)*

Part of the test	Item	Item Objective Congruence Index (1 <sup>st</sup> validation)	Item Objective Congruence Index (2 <sup>nd</sup> validation)
Part II: Current and resistors' power limitation	1.1	0.19*	0.72
	1.2	0.67	1.00
	2.1	0.31*	0.72
	2.2	0.67	1.00
	3.1	0.60	1.00
	3.2	0.67	1.00
	4.1	0.60	1.00
	4.2	0.67	1.00
	5	0.67	0.98
	Average		0.52

### Test reliability, Difficulty index, and Discrimination index

To generalize the test, data from each school, 120 students from school A and 111 students from school B, were separately used to examine the reliability, item difficulty, and item discrimination of the CRPCT. The results and their meaning are presented in Table 4.

**Table 4** *Difficulty index, Discrimination index, and Reliability of the CRPCT*

Part of the test	Item	School A (n = 120)			School B (n = 111)			Overall (n = 231)		
		Difficulty index (p)	Discrimination index (D)	Reliability (r)	Difficulty index (p)	Discrimination index (D)	Reliability (r)	Difficulty index (p)	Discrimination index (D)	Reliability (r)
Part I: Current, series and parallel circuit connection, and resistance	1	0.83	0.25	0.74	0.90	0.03	0.83	0.86	0.15	0.79
	2	0.44	0.53		0.44	0.62		0.44	0.57	
	3	0.78	0.42		0.77	0.07		0.77	0.22	
	4	0.08	0.29		0.17	0.18		0.12	0.23	
	5	0.44	0.42		0.46	0.65		0.45	0.53	
	6	0.51	0.38		0.66	0.44		0.58	0.42	
Part II: Current and resistors' power limitation	1.1	0.45	0.69	0.74	0.50	0.66	0.83	0.47	0.67	0.79
	1.2	0.16	0.19		0.29	0.52		0.22	0.39	
	2.1	0.45	0.67		0.50	0.71		0.47	0.68	
	2.2	0.18	0.01		0.33	0.47		0.26	0.28	
	3.1	0.33	0.47		0.31	0.44		0.32	0.44	
	3.2	0.16	0.13		0.22	0.53		0.19	0.36	
	4.1	0.33	0.42		0.33	0.56		0.33	0.49	
	4.2	0.13	0.20		0.23	0.59		0.18	0.43	
5	0.43	-0.02	0.41	0.16	0.42	0.07				
<b>Average</b>		<b>0.38</b>	<b>0.34</b>		<b>0.43</b>	<b>0.40</b>		<b>0.41</b>	<b>0.40</b>	

**Table 4 (continued)** *Difficulty index, Discrimination index, and Reliability of the CRPCT*

**Note:** Color code meaning for item difficulty index and item discrimination index are described below

	Difficulty index ( $p$ )			Discrimination index ( $D$ )	
Color code / Value	$p \leq 0.4$	$0.4 < p < 0.6$	$P \geq 0.6$	$D < 0.2$	$D \geq 0.2$
Meaning	Item is too difficult.	Item is good.	Item is too easy.	Item cannot discriminate students	Item can discriminate students

For school A, the average difficulty index is  $p = 0.38$ , which below the acceptable range. It means that the test is quite difficult for students. Whereas, the average discrimination index of the test is in the acceptable value,  $D = 0.34$ . Moreover, test reliability ( $r$ ) is 0.74, which is above 0.7, which means the test is accepted to be reliable.

For school B, the average difficulty index and the average discrimination index are in the acceptable value, which is  $p = 0.43$  and  $D = 0.40$ , respectively. The test reliability is  $r = 0.83$ , which means that the test is accepted to be reliable.

## Conclusion

The CRPCT was valid to collect the data as, the result from 3 experts after the revision showed that, the Item Objective Congruence Index were all above 0.5.

The values of item discrimination and reliability of the test are in a good range for both schools. For school A, the average discrimination index and the reliability of the test are  $D = 0.34$  and  $r = 0.74$ , respectively. Similar to school B data, the average discrimination index of the test is  $D = 0.40$ , and the reliability of the test is  $r = 0.83$ . On the contrary, school A's and B's difficulty indexes are  $p = 0.38$  and 0.43, which are close to the lower rim of the acceptable range (little below or above the criteria).

The overall results revealed that the CRPCT is valid, reliable (average overall reliability is  $r = 0.79$ ), good at discrimination (average overall discrimination index is  $D = 0.40$ ), but slightly difficult as the average overall difficulty is  $p = 0.41$ . On the other hand, it might imply that the students are not familiar with the concepts of electric current, resistance, series and parallel circuit connection, and power limitation of resistor. This implication is supported by the results from previous research that these common misconceptions have been found.

## Discussion

The CRPCT seems to be quite difficult for students in both schools. Even the results from school B presented  $p = 0.43$ , but the value is still at the lower rim of the suitable range (0.4 – 0.6). The difficulty index of the item 4 of the Part I and all items in Part II except 1.1, 2.1 and 5 were lower than 0.4 that means the items are too difficult for students, especially for school A. It can be interpreted that students 1) could not specific with part of the circuit is connected in a series or parallel 2) did not understanding the meaning of resistors' power

limitation and 3) did not know how a current flow in a parallel circuit. These findings were agreed with the previous studies (McDermott & Shaffer, 1992; Li & Singh, 2016) As the difficulty index for the 1st item of the Part I indicated that the item was too easy, even the concept behind the item was the same as those of the item 3.1 and 4.1 of the Part II. This could be implied that different content of the alternative might affect to the students' conceptual evaluation that similar to the result of John and Allie (2017). They found that students' explanations can change when the contextual of questions changed.

The discrimination index of item 1.2, 2.2, and 3.2 for school A students and those of item 4 for school B students revealed that too difficult questions could not discriminate students, the same as too easy question does (item 1 and 3 for school B). However, the test is reliable ( $p > 0.7$ ) that can be used in further studies.

### Suggestion

For further studies, teachers can use the CRPCT to survey students' preconceptions of current, resistance, series and parallel circuit connection, and power limitation of resistor in simple DC circuits. It would help teachers to design the lesson plan that fit students' preconceptions. Hence, the teachers can help students prevent/correct the misconceptions and elaborate the difficult points. On the other hand, the CRPCT can be used to assess students' understanding of current, resistance, series and parallel circuit connection, and power limitation of resistor in simple DC circuits after they have learnt these topics.

### Acknowledgements

We sincerely thank the Thailand Centre of Excellence in Physics (ThEP). We extend our appreciation to Centre of Excellence in Mathematics for coordinating the grant from Postgraduate Education and Research Development Office (PERDO), and Thailand Research Fund (RSA6080069) for supporting us to develop many education researches.

### References

- Bartlett, J. E. II, Kotlik, J. W., & Higgins, C. C. (2001). Organizational research: determining appropriate sample size in survey research. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, 19(1), 43–50.
- Bilal, E., & Erol, M. (2009). Investigating students' conceptions of some electricity concepts. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(2), 193–201.
- Cronbach, L. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, 297–334.
- Engelhardt, P. V., & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98–115.

- Heller, P. M. & Finley, F. N. (1992). Variable uses of alternative conceptions: A case study in current electricity. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 259–275.
- Jabot, M. & Henry, D. (2007). Mental models of elementary and middle school students in analyzing simple battery and bulb circuits. *School Science and Mathematics*, 107(1), 371–381.
- John, I., & Allie, S. (2017). DC circuits: I. Evidence for fine grained contextual dependence. *European Journal of Physics*, 38(1), 1–22.
- Kuder, G.F., & Richardson, M. W. (1937). The theory of the estimation of test reliability. *Psychometrika*, 2(3), 151–160.
- Li, J., & Singh, C. (2016). Students' common difficulties and approaches while solving conceptual problems with non-identical light bulbs in series and parallel. *European Journal of Physics*, 37(6), 1–15.
- Maloney, D. P. (1986). Rule governed physics - current in a series circuit. *Physics Education*, 21(6), 360–365.
- McDermott, L. C. & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity, part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60(11), 994–1002.
- Scaife, J. (2012). Energy, systems and connectors; or why electron don't carry energy from batteries to bulbs. *Physics Education*, 47(6), 760–763.
- Sencar, S., Yilmaz, E., & Eryilmaz, A. (2001). High school students' misconceptions about simple electric circuits. *Hacettepe University Journal of Education*, 21, 113–120.
- Setyani, N. D., Suparmi, Sarwanto, & Handhika, J. (2017). Students conception and perception of simple electrical circuit. *Journal of Physics: Conference Series*, 909, 1–11.
- Sokoloff, D. R. (1996). Teaching electric circuit concepts using microcomputer-based current/voltage probes. In R. F. Tinker (Ed.), *Microcomputer-based labs: Educational research and standards* (pp. 129–146). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-61189-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-61189-6_7)
- Turner, R. C., & Carlson, L. (2003). Indexes of Item-Objective Congruence for Multidimensional Items. *International Journal of Testing*, 3(2), 163–171.
- Wiersma, W., & Jurs, S. G. (1990). *Educational measurement and testing*. Allyn and Bacon.
- Wong, D., Lee, P., & Foong, S. K. (2017). Which blub is brighter? It depends on connection! Strategies for illuminating electrical concepts using light bulbs. *Physics Education*, 52(6), 1–10.

Appendix: The Current Resistance and Power Conceptual Test

Simple DC Circuits Conceptual Test

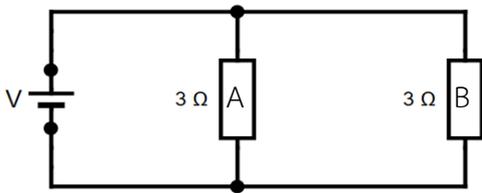
Part I: Current, series and parallel circuit connection, and resistance

รหัสกิจกรรมของนักเรียน \_\_\_\_\_

\*\*ข้อมูลจากแบบทดสอบก่อนและหลังทำกิจกรรมจะถูกนำไปใช้ในการวิจัยเพื่อปรับปรุงกิจกรรมและแบบทดสอบให้ดียิ่งขึ้นต่อไป หากนักเรียนไม่มีความประสงค์ หรือ ไม่ยินยอมที่จะให้ข้อมูล สามารถแจ้งผู้ดำเนินกิจกรรมได้ตลอดเวลา\*\*

**การทำแบบทดสอบ** ให้ท่านทำเครื่องหมาย O เพื่อเลือกข้อคำตอบที่ถูกต้องที่สุด และ บอกเหตุผลสำหรับคำตอบที่เลือก

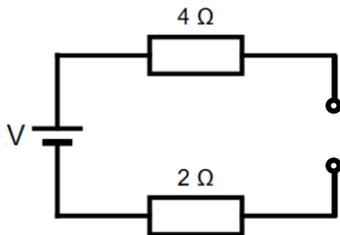
1) จากวงจรดังรูป กำหนดให้ตัวต้านทาน A และ B เหมือนกันทุกประการ หากแบตเตอรี่ V สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากพอที่จะทำให้ตัวต้านทานเกิดการลัดไหม้ นักเรียนคิดว่าข้อใดกล่าวถูกต้อง (ไม่คิดความต้านทานเนื่องจากลวดตัวนำในวงจร)



- ก) ตัวต้านทาน A มีโอกาสที่จะเกิดการลัดไหม้เท่านั้น
  - ข) ตัวต้านทาน B มีโอกาสที่จะเกิดการลัดไหม้เท่านั้น
  - ค) ตัวต้านทาน A และ B มีโอกาสที่จะเกิดการลัดไหม้
  - ง) ตัวต้านทานทั้งสองไม่เกิดการลัดไหม้
- เพราะ

.....

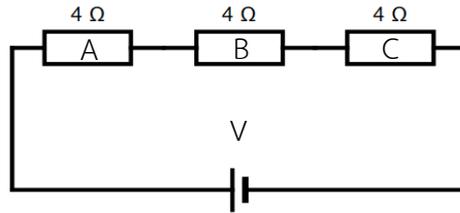
2) จากวงจรดังรูป กำหนดให้ตัวต้านทานในวงจร มีค่าความต้านทานต่างกันตามที่ระบุ หากแบตเตอรี่ V สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากพอที่จะทำให้ตัวต้านทานเกิดการลัดไหม้ นักเรียนคิดว่าข้อใดกล่าวถูกต้อง



- ก) ตัวต้านทานขนาด 4Ω เท่านั้นที่มีโอกาสเกิดการลัดไหม้
- ข) ตัวต้านทานขนาด 2Ω เท่านั้นที่มีโอกาสเกิดการลัดไหม้
- ค) ตัวต้านทานทั้งสองมีโอกาสดเกิดการลัดไหม้
- ง) ตัวต้านทานทั้งสองไม่มีโอกาสดเกิดการลัดไหม้

เพราะ.....

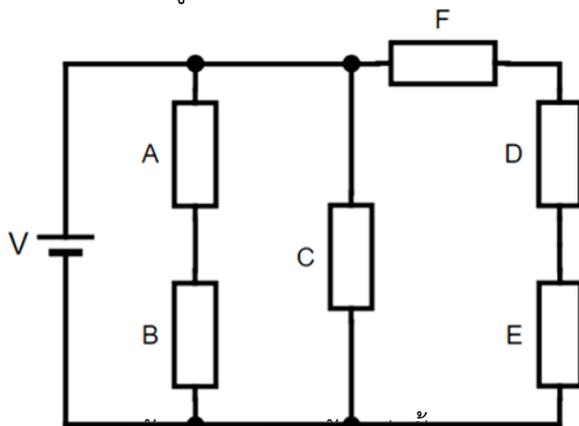
3) จากวงจรดังรูป กำหนดให้ตัวต้านทานทุกตัวในวงจรเหมือนกันทุกประการ เมื่อมีกระแสไหลในวงจร นักเรียนคิดว่าข้อใดกล่าวถูกต้อง



- ก) A เท่านั้นที่เกิดความร้อน
- ข) B เท่านั้นที่เกิดความร้อน
- ค) C เท่านั้นที่เกิดความร้อน
- ง) ตัวต้านทานทั้ง 3 ตัวเกิดความร้อนเท่ากัน
- จ) เฉพาะ A และ C เท่านั้น ที่เกิดความร้อน
- ฉ) A ร้อนกว่า B และ B ร้อนกว่า C
- ช) C ร้อนกว่า B และ B ร้อนกว่า A
- ซ) B ร้อนที่สุด ส่วน A และ C เกิดความร้อนเท่ากัน
- ณ) .....

เพราะ.....

4) จากวงจรดังรูป และคำบรรยายด้านล่าง นักเรียนคิดว่าข้อใดถูกต้อง



1. A ต่ออนุกรมกับ B
2. C ต่ออนุกรมกับ F
3. A และ B ต่อขนานกับ C
4. C ต่อขนานกับ E
5. F ต่อขนานกับ D
6. A และ B ต่อขนานกับ D และ E

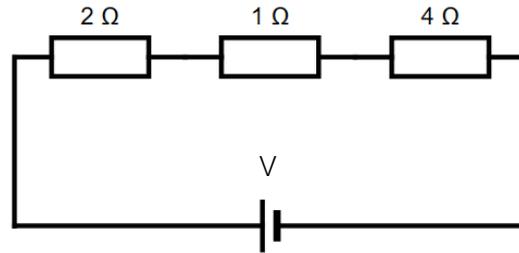
- ก) ข้อ 1 และ 2 ถูกต้องเท่านั้น
- ข) ข้อ 2 และ 4 ถูกต้องเท่านั้น
- ค) ข้อ 1 และ 3 ถูกต้องเท่านั้น
- ง) ข้อ 1, 3 และ 6 ถูกต้องเท่านั้น
- จ) ข้อ 2, 4 และ 5 ถูกต้องเท่านั้น
- ฉ) ข้อ 3, 5 และ 6 ถูกต้องเท่านั้น
- ช) ข้อ 1 ถึง 6 ผิดทุกข้อ
- ซ) ข้อ 1 ถึง 6 ถูกทุกข้อ
- ณ).....

เพราะ.....

5) จากวงจรดังรูป กำหนดให้ตัวต้านทานในวงจร มีค่าต่างกันตามที่ระบุ เมื่อมีกระแสไหลในวงจร นักเรียนคิดว่าข้อใดถูกต้อง

- โดยกำหนดให้  $I_1$  แทนปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน  $2\Omega$   
 $I_2$  แทนปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน  $1\Omega$   
 $I_3$  แทนปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน  $4\Omega$

- ก)  $I_1 > I_2 > I_3$   
 ข)  $I_3 > I_2 > I_1$   
 ค)  $I_2 > I_1 = I_3$   
 ง)  $I_1 > I_2 = I_3$   
 จ)  $I_3 > I_2 = I_1$   
 ฉ)  $I_2 > I_1 > I_3$   
 ช)  $I_3 > I_1 > I_2$   
 ซ)  $I_1 = I_2 = I_3$   
 ฅ) .....

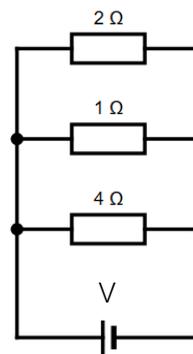


เพราะ.....

6) จากวงจรดังรูป กำหนดให้ตัวต้านทานในวงจร มีค่าต่างกันตามที่ระบุ เมื่อมีกระแสไหลในวงจร นักเรียนคิดว่าข้อใดถูกต้อง

- โดยกำหนดให้  $I_1$  แทนปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน  $2\Omega$   
 $I_2$  แทนปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน  $1\Omega$   
 $I_3$  แทนปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวต้านทาน  $4\Omega$

- ก)  $I_1 > I_2 > I_3$   
 ข)  $I_3 > I_2 > I_1$   
 ค)  $I_3 > I_1 > I_2$   
 ง)  $I_2 > I_1 > I_3$   
 จ)  $I_1 = I_2 = I_3$   
 ฉ) .....



เพราะ.....

## Simple DC Circuits Conceptual Test

### Part II: Current and resistors' power limitation

รหัสกิจกรรมของนักเรียน \_\_\_\_\_

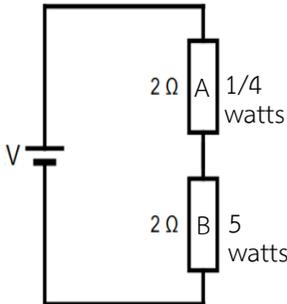
\*\*ข้อมูลจากแบบทดสอบก่อนและหลังทำกิจกรรมจะถูกนำไปใช้ในการวิจัยเพื่อปรับปรุงกิจกรรมและแบบทดสอบให้ดียิ่งขึ้นต่อไป หากนักเรียนไม่มีความประสงค์ หรือไม่ยินยอมที่จะให้ข้อมูล สามารถแจ้งผู้ดำเนินกิจกรรมได้ตลอดเวลา\*\*  
**การทำแบบทดสอบ** ให้ท่านทำเครื่องหมาย O เลือกข้อคำตอบที่ถูกต้องที่สุด และ บอกเหตุผลสำหรับคำตอบที่เลือก

กำหนดให้ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power dissipation, P) เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้ามีความต้านทาน เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าจึงเกิดการสูญเสียพลังงาน (ส่วนใหญ่ในรูปของความร้อน) หาได้จาก

$$P = IV = I^2R = \frac{V^2}{R}$$

โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชิ้นถูกสร้างมาให้ทนทานกับกำลังสูญเสียได้ภายในค่าๆหนึ่งเรียก กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ตัวต้านทานยังสามารถทำงานได้ (Power limitation)

1) จากวงจรดังรูป ตัวต้านทาน 1/4 watts ขนาด  $2\Omega$  ต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน 5 watts ขนาด  $2\Omega$  หากแบตเตอรี่ V สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากพอที่จะทำให้ตัวต้านทานเกิดการลุกไหม้ นักเรียนคิดว่าข้อใดกล่าวถูกต้อง

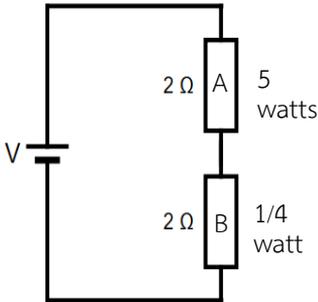


- 1.1) ก) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A เท่านั้น  
 ข) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน B เท่านั้น  
 ค) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A มากกว่า ตัวต้านทาน B  
 ง) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน B มากกว่า ตัวต้านทาน A  
 จ) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A เท่ากับ ตัวต้านทาน B

1.2) เพราะ

- ก) ตัวต้านทาน A ร้อนกว่า เพราะ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากกว่าตัวต้านทาน B  
 ข) ตัวต้านทาน A ร้อนกว่า เพราะ มีค่าวัตต์ต่ำกว่าตัวต้านทาน B  
 ค) ตัวต้านทานทั้ง 2 ตัวเกิดความร้อนเท่า ๆ กัน เพราะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเท่ากัน  
 ง) ตัวต้านทาน B ร้อนกว่า เพราะ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากกว่าตัวต้านทาน A  
 จ) ตัวต้านทาน B ร้อนกว่า เพราะ มีค่าวัตต์สูงกว่าตัวต้านทาน A

2) จากวงจรดังรูป ตัวต้านทาน 5 watts ขนาด  $2\Omega$  ต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน  $1/4$  watts ขนาด  $2\Omega$  หากแบตเตอรี่  $V$  สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากพอที่จะทำให้ตัวต้านทานเกิดการลุกไหม้ นักเรียนคิดว่าข้อใดกล่าวถูกต้อง

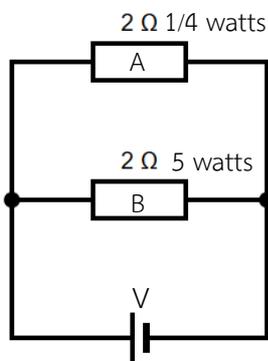


- 2.1) ก) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A เท่านั้น  
ข) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน B เท่านั้น  
ค) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A มากกว่า ตัวต้านทาน B  
ง) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน B มากกว่า ตัวต้านทาน A  
จ) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A เท่ากับ ตัวต้านทาน B

2.2) เพราะ

- ก) ตัวต้านทาน A ร้อนกว่า เพราะ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากกว่าตัวต้านทาน B  
ข) ตัวต้านทาน A ร้อนกว่า เพราะ มีค่าวัตต์สูงกว่าตัวต้านทาน B  
ค) ตัวต้านทานทั้ง 2 ตัวเกิดความร้อนเท่า ๆ กัน เพราะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเท่ากัน  
ง) ตัวต้านทาน B ร้อนกว่า เพราะ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากกว่าตัวต้านทาน A  
จ) ตัวต้านทาน B ร้อนกว่า เพราะ มีค่าวัตต์ต่ำกว่าตัวต้านทาน A

3) จากวงจรดังรูป ตัวต้านทาน  $1/4$  watts ขนาด  $2\Omega$  ต่อขนานกับตัวต้านทาน 5 watts ขนาด  $2\Omega$  หากแบตเตอรี่  $V$  สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากพอที่จะทำให้ตัวต้านทานเกิดการลุกไหม้ นักเรียนคิดว่าข้อใดกล่าวถูกต้อง

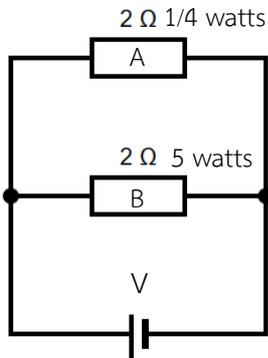


- 3.1) ก) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A เท่านั้น  
ข) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน B เท่านั้น  
ค) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A มากกว่า ตัวต้านทาน B  
ง) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน B มากกว่า ตัวต้านทาน A  
จ) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A เท่ากับ ตัวต้านทาน B

3.2) เพราะ

- ก) ตัวต้านทาน A ร้อนกว่า เพราะ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากกว่าตัวต้านทาน B  
ข) ตัวต้านทาน A ร้อนกว่า เพราะ มีค่าวัตต์ต่ำกว่าตัวต้านทาน B  
ค) ตัวต้านทานทั้ง 2 ตัวเกิดความร้อนเท่า ๆ กัน เพราะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเท่ากัน  
ง) ตัวต้านทาน B ร้อนกว่า เพราะ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากกว่าตัวต้านทาน A  
จ) ตัวต้านทาน B ร้อนกว่า เพราะ มีค่าวัตต์สูงกว่าตัวต้านทาน A

4) จากวงจรดังรูป ตัวต้านทาน 5 watts ขนาด  $2\Omega$  ต่อขนานกับตัวต้านทาน  $1/4$  watts ขนาด  $2\Omega$  หากแบตเตอรี่ V สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากพอที่จะทำให้ตัวต้านทานเกิดการลุกไหม้ นักเรียนคิดว่าข้อใดกล่าวถูกต้อง

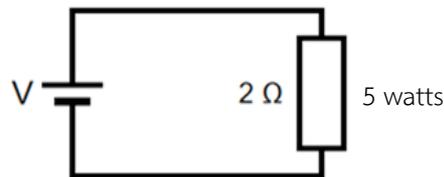


- 4.1) ก) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A เท่านั้น  
 ข) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน B เท่านั้น  
 ค) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A มากกว่า ตัวต้านทาน B  
 ง) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน B มากกว่า ตัวต้านทาน A  
 จ) กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน A เท่ากับ ตัวต้านทาน B

4.2) เพราะ

- ก) ตัวต้านทาน A ร้อนกว่า เพราะ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากกว่าตัวต้านทาน B  
 ข) ตัวต้านทาน A ร้อนกว่า เพราะ มีค่าวัตต์สูงกว่าตัวต้านทาน B  
 ค) ตัวต้านทานทั้ง 2 ตัวเกิดความร้อนเท่า ๆ กัน เพราะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเท่ากัน  
 ง) ตัวต้านทาน B ร้อนกว่า เพราะ มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากกว่าตัวต้านทาน A  
 จ) ตัวต้านทาน B ร้อนกว่า เพราะ มีค่าวัตต์ต่ำกว่าตัวต้านทาน A

5) จากวงจรดังรูป ตัวต้านทาน 5 watts ขนาด  $2\Omega$  ต่อกับแบตเตอรี่ V ที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากพอที่จะทำให้ตัวต้านทานเกิดการลุกไหม้ นักเรียนคิดว่าเหตุการณ์ในข้อใดมีโอกาสเกิดขึ้นได้บ้าง



1. ถ้าเปลี่ยนตัวต้านทานเป็นตัวที่มีความต้านทานมากขึ้น ตัวต้านทานจะเกิดการลุกไหม้
2. ถ้าเปลี่ยนตัวต้านทานเป็นตัวที่มีความต้านทานน้อยลง ตัวต้านทานจะเกิดการลุกไหม้
3. ถ้าเปลี่ยนตัวต้านทานเป็นตัวที่มีค่าวัตต์ของตัวต้านทานมากขึ้น ตัวต้านทานจะเกิดการลุกไหม้
4. ถ้าเปลี่ยนตัวต้านทานเป็นตัวที่มีค่าวัตต์ของตัวต้านทานต่ำลง ตัวต้านทานจะเกิดการลุกไหม้

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| ก) ข้อ 1 เท่านั้น       | ข) ข้อ 2 เท่านั้น       |
| ค) ข้อ 3 เท่านั้น       | ง) ข้อ 4 เท่านั้น       |
| จ) ข้อ 1 และ 3 เท่านั้น | ฉ) ข้อ 1 และ 4 เท่านั้น |
| ช) ข้อ 2 และ 3 เท่านั้น | ซ) ข้อ 2 และ 4 เท่านั้น |
| ณ).....                 |                         |

เพราะ.....