View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk
brought to you by CORE
provided by Srinakharinwirot University: SWU e-Journals System

การประยุกต์ใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบพกพาในการวัดความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนที่เรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดและแบบมีโครงสร้าง

สุทธิดา จำรัส

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตร การสอนและการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
*E-mail: suthida.c@cmu.ac.th

รับบทความ: 28 กุมภาพันธ์ 2563 แก้ไขบทความ: 24 พฤษภาคม 2563 ยอมรับตีพิมพ์: 29 พฤษภาคม 2563

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้ศึกษาการนำความก้าวหน้าของวิทยาการประสาทวิทยาศาสตร์ โดยการใช้อุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) แบบพกพา เพื่อนำมาวัดสภาวะการคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนในขณะดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาแบบเปิดและแบบมีโครงสร้าง โดยเก็บข้อมูลวิจัยจากพลวิจัยซึ่งเป็นอาสาสมัครจำนวน 12 คน หลังจากที่ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พลวิจัยได้เข้าร่วมกิจกรรมสะเต็มทั้งสองกิจกรรม ที่ประกอบด้วยกิจกรรมการฟังบรรยายจากผู้สอน การดูวิดิทัศน์จากยูทูป และการลงมือปฏิบัติ คลื่นไฟฟ้าสมองจะถูกวัดโดยเครื่องสวมศีรษะ Muse ที่มี 4 อิเล็กโทรด ได้แก่ AF7 AF8 TP9 และ TP10 โดยศึกษาวิธีการใช้งานเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบเคลื่อนที่ที่วัดและส่งคลื่นสัญญาณไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณ Bluetooth 2 รูปแบบ คือ 1) การสตรีมข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านแอปพลิเคชัน Muse Direct ในรูปแบบไฟล์นามสกุล .Muse ซึ่งแสดงผลแบบ real–time ผ่านโปรแกรม Neuro visual และ 2) การสตรีมข้อมูลไปยังโทรศัพท์มือถือผ่านแอปพลิเคชัน Mind Monitor ซึ่งเชื่อมต่อและเก็บข้อมูลเข้าระบบคลาวด์ของ Dropbox โดยอัตโนมัติ ในรูปแบบ CVS ผลการวิจัยพบว่าวิธีการที่ 2 สะดวกและให้ข้อมูลที่เสถียรมากกว่า สามารถนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์ผลได้เลย ในขณะที่แบบที่ 1 ข้อมูลนามสกุล .Muse ต้องนำไปแปลงไฟล์และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Matlab ที่ซับซ้อนและต้องใช้ความเชี่ยวชาญในการเขียนคำสั่ง ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลโดย Mind Monitor Graphing แบบออนไลน์ แสดงให้เห็นสภาวะการทำงานของสมองแตกต่างกันไปตามกิจกรรมที่ทำ โดยการทำกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้าง ในช่วงการออกแบบให้คลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟา (ความถี่ 8–12 Hz) เฉลี่ยสูงกว่ากิจกรรมสะเต็มแบบเปิด และลดลงต่ำสุดในช่วงการฟังบรรยาย (71.637) เมื่อพิจารณาความสมมาตรของคลื่นอัลฟาในสมองซีกขวาและซีกซ้าย พบว่า กิจกรรมสะเต็มแบบเปิดให้คลื่นอัลฟาในสมองซีกขวามากกว่าซีกซ้ายอย่างชัดเจน (ส่วนต่างหรืออสมมาตร = 11.160)

คำสำคัญ: กิจกรรมสะเต็ม วิธีการบันทึกคลื่นไฟฟ้าในสมอง ประสาทวิทยาศาสตร์

The Application of Portable Electroencephalography Device to Measure Learners' Creative Thinking when Learning with Structured and Open STEM Activities

Suthida Chamrat

Science Division, Department of Curriculum, Instruction and Learning,
Faculty of Education, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
*E-mail: suthida.c@cmu.ac.th

Received: 28 February 2020 Revised: 24 May 2020 Accepted: 29 May 2020

Abstract

This research explored the utilization of neuroscience technology using portable electroencephalography (EEG) devices to measure the state of students' creative thinking during their performance of STEM activities and structured and open STEM activities. After obtaining Institutional Review Board approval, 12 students who voluntarily participated in this study were assigned to engage in two STEM activities consisting of listening to lectures, watching YouTube videos, and engaging in hands–on activities. Participants were measured for their creative thinking using the EEG Muse Headband while they were performing the tasks. The Muse headband transmitted brain signals collected by four electrodes in areas of AF7, AF8, TP9 and TP10 to mobile equipment via Bluetooth in 2 methods: 1) streaming data to a computer via the Muse Direct application in the Muse file format, which is displayed in real–time by Neuro visual program, and 2) streaming data to mobile phones via the Mind Monitor application, which connects and stores data automatically in Cloud Storage with Dropbox in CVS format. The results indicated that the second method is more convenient and gives a stable, ready to analyze data. The first method, the file in *.Muse format must be converted before analyzed by Matlab, which is more complicated and requires expertise in writing commands. The results of the online data analysis by Mind Monitor Graphing show the brain wave conditions vary according to the activity. In the structured STEM activity, the alpha band (8–12 Hz) showed that creative thinking was higher than open STEM activity. The alpha brain wave was lowest during the lecture sessions. When considering the alpha wave's symmetry in the

right and left hemisphere, open STEM activity is giving the alpha waves in the right hemisphere than the left hemisphere (difference or asymmetry = 11.160).

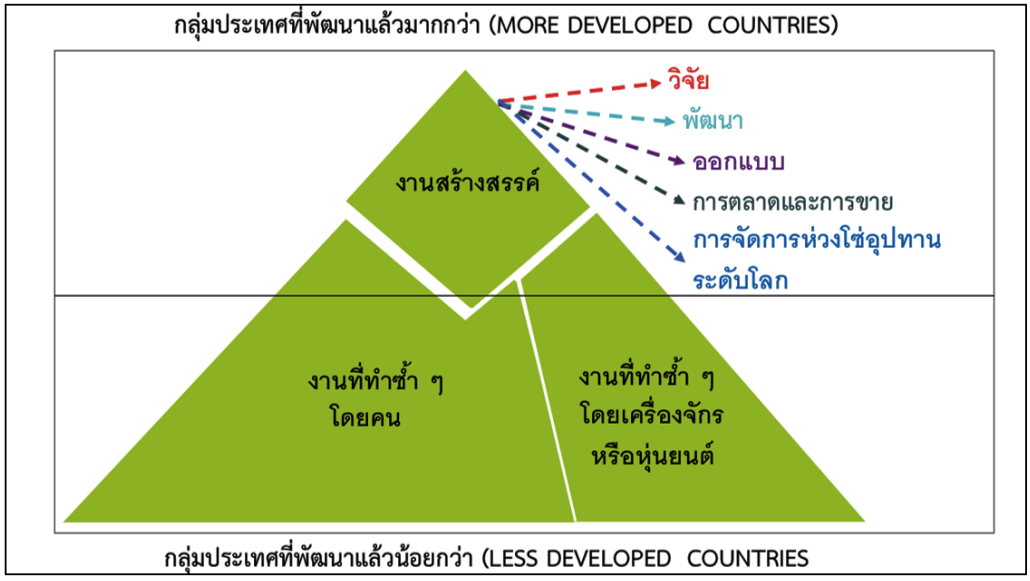
Keywords: STEM activity, Electroencephalography, Neuroscience

บทนำ

การดำรงชีวิตในโลกแห่งศตวรรษที่ 21 ในปัจจุบันมีความรู้แต่เพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพออีกต่อไป หลายหน่วยงานทั้งในประเทศและต่างประเทศตระหนักถึงความสำคัญของทักษะต่าง ๆ ที่จะต้องใช้ในการดำรงชีวิต โดยเรียกทักษะเหล่านี้อย่างหลากหลาย เช่น ทักษะการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 ซึ่งให้นิยามโดยภาคีเพื่อการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2011, 2015) หรือ Metri Group (Turiman *et al.*, 2012) แบ่งองค์ประกอบของทักษะสำคัญแห่งศตวรรษที่ 21 เป็น 4 ด้านคือ 1) การรู้เรื่องในยุคดิจิทัล (digital age literacy) 2) การคิดเชิงประดิษฐ์ (inventive thinking) 3) การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ (effective communication) และ 4) ผลิตภาพหรือศักยภาพการผลิตที่สูง (high productivity) แนวคิดของ Metri Group สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในสังคมและการจ้างงานที่เน้นทักษะที่เพิ่มขึ้นของประเทศไทย (Maesinsee, 2016) รวมทั้งการขับเคลื่อนนโยบายประเทศไทย 4.0 ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ของภาคีเพื่อการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2015) สมรรถนะสำคัญของผู้เรียนและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ในการพัฒนาผู้เรียนตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน (Ministry of Education Thailand, 2008) ท่ามกลางหลากหลายทักษะที่จัดอยู่ในกลุ่มทักษะสำคัญดังกล่าว ทักษะการคิดสร้างสรรค์หรือ “ความคิดสร้างสรรค์” เป็นทักษะที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสามอันดับแรกในการทำงานทั้งปัจจุบันและอนาคต (World Economic Forum, 2017)

ความคิดสร้างสรรค์ยังมีความสำคัญในฐานะปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (STEM Education) ซึ่งเป็นแนวการจัดการเรียนรู้ที่ได้รับการขับเคลื่อนโดยนโยบายทางการศึกษา เนื่องจากคาดหวังว่าเป็นหมุดหมายสำคัญของการนำพาประเทศให้ก้าวข้ามกับดักรายได้ปานกลางผ่านการเร่งรัดพัฒนานวัตกรรมด้วยกรอบแนวคิดและแนวปฏิบัติเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ (science, technology, engineering and mathematics, STEM) หรือที่บัญญัติศัพท์ว่า สะเต็ม (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST], 2013) ซึ่งได้รับการผลักดันให้เป็นแผนปฏิบัติการในระดับชาติ ดังจะเห็นได้จากการระบุในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 ที่มุ่งพัฒนากำลังคนด้านสะเต็ม (Office of the National Economic and Social, 2017) และการประกาศนโยบายด้านการศึกษาที่ส่งเสริมการเรียนรู้ที่บูรณาการองค์ความรู้ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ ดังที่ระบุในแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560–2579 (Office of the Education Council, 2017) โดยมีเป้าหมายในการบรรลุวิสัยทัศน์ยุทธศาสตร์ชาติ ระยะ 20 ปี

(The 20–years National Strategy, 2018) ทั้งนี้ความคาดหวังคือเพื่อผลักดันประเทศออกจากกับดักรายได้ปานกลาง (middle income trap) (Jitsuchon, 2012; Phongpaichit and Benyaapikul, 2012) เข้าสู่ประเทศที่มั่นคง มีความมั่งคั่ง และมีการพัฒนาอย่างยั่งยืน การพัฒนากำลังคนต้องมุ่งพัฒนากลุ่มทักษะขั้นสูงที่จำเป็นต่อการใช้ชีวิตในปัจจุบันและอนาคต (Partnership for 21st Century Learning, 2015) ความคิดสร้างสรรค์เป็นทักษะขั้นสูงที่มีความสำคัญเพื่อเตรียมพร้อมในการตัดสินใจและแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทั้งในปัจจุบันและอนาคต ไม่เพียงแต่จะสร้างคุณลักษณะที่ดีในการใช้ชีวิตและการทำงาน แต่ทักษะความคิดสร้างสรรค์ยังมีบทบาทอย่างมากในการกำหนดคุณภาพชีวิตของคน ดังในภาพ 1



ภาพ 1 การแบ่งกลุ่มประเทศตามระดับของการพัฒนาด้วยธรรมชาติของงานเชิงสร้างสรรค์
ที่มา : ดัดแปลงจาก The Partnership for 21st Century skills (2008)

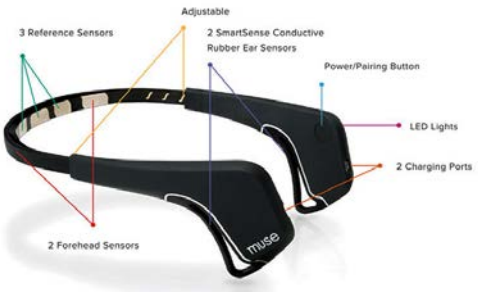
ภาพ 1 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วมีธรรมชาติของงานที่ใช้ความคิดสร้างสรรค์เป็นอย่างมาก ไม่ว่างานนั้นจะเป็นการวิจัย พัฒนา การออกแบบ การตลาดและการขาย การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Partnership for 21st Century Skills, 2008) แผนภาพยังแสดงให้เห็นว่างานที่ทำซ้ำ ๆ จะถูกแทนที่ด้วยเครื่องจักรและหุ่นยนต์ หากไม่สามารถพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีทักษะขั้นสูง (higher order skills, HOS) เพื่อไปสู่งานเชิงสร้างสรรค์ได้ การทำงานในเชิงแรงงานไร้ฝีมืออาจประสบกับปัญหาเรื่องภาวะการมีงานทำและระดับของรายได้ ที่ไม่เพียงพอในการเก็บเงินไว้ยามเกษียณ (Wongboonsin *et al*., 2003) มีแนวโน้มว่า คนจะมีอายุที่ยืนยาวมากขึ้น ทำให้ระยะเวลาการใช้ชีวิตหลังเกษียณมีระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น จึงต้องมีรายได้เพียงพอต่อการใช้ในช่วง

หลังเกษียณอายุ การทำงานเชิงสร้างสรรค์จะสัมพันธ์กับรายได้ที่มากขึ้น โดยมีงานวิจัยพบว่าสุขภาพชีวิตที่ดี (healthy) นั้น มีความสัมพันธ์กับรายได้หรือความมั่งคั่ง (wealthy) (Rosling, 2011)

จากที่กล่าวมา ความคิดสร้างสรรค์มีความสำคัญในการพัฒนาศักยภาพของบุคคลมาก ไม่ว่าจะในการดำเนินชีวิต เศรษฐกิจหรือสังคม ความคิดสร้างสรรค์นั้นมีผู้ให้นิยามเป็นจำนวนมาก โดย Treffinger (1996) ได้ทบทวนวรรณกรรมและศึกษาเอกสาร พบว่ามีมากกว่า 100 นิยามของความคิดสร้างสรรค์ ทั้งนี้ไม่มีนิยามที่ตายตัวหรือเป็นสากล ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและการนำไปใช้ โดย Jung *et al*. (2013) ได้ทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและให้นิยามกระบวนการทางปัญญาที่เกี่ยวข้องกับความคิดสร้างสรรค์ว่า “การผลิตสิ่งที่ทั้งใหม่และเป็นประโยชน์” นอกจากนี้ Treffinger *et al.* (2002) รวบรวมความหมายไว้จากนักวิจัย 14 คนที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์ โดยได้สรุปเป็นกลุ่มจำแนกตามจุดเน้นคือ 1) กลุ่มที่มองว่าความคิดสร้างสรรค์เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของบุคคล นักจิตวิทยาในกลุ่มนี้ ได้แก่ Fromm, Khatena และ MacKinnon 2) กลุ่มที่เน้นความสำคัญของกระบวนการทางปัญญา ทักษะ หรือการปฏิบัติการในการคิดแก้ปัญหา การสร้างสรรค์ผลลัพธ์ใหม่ ๆ ได้แก่ Gordon, Guilford, Mednick, Torrance, Treffinger และ Wallas 3) นักจิตวิทยากลุ่มที่ศึกษาความคิดสร้างสรรค์ที่เชื่อมโยงความมั่นใจในตนเอง สุขภาพ และพัฒนาการของบุคคลที่ส่งผลต่อรูปแบบการใช้ชีวิต หรือการพัฒนาตนเอง ได้แก่ Maslow และ Rogers 4) กลุ่มที่เน้นผลผลิตผลลัพธ์ หรือความสำเร็จของการสร้างสรรค์ ได้แก่ Gardner และ Khatena และ 5) กลุ่มที่เน้นความคิดสร้างสรรค์เกี่ยวกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคล กระบวนการ สถานการณ์และผลลัพธ์ ได้แก่ Amabile และ Rhodes ซึ่งจะเห็นได้ว่านิยามของความคิดสร้างสรรค์มีหลากหลาย มีจุดเน้นที่แตกต่าง จึงทำให้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความคิดสร้างสรรค์มีการแตกแขนงอย่างมาก โดยการศึกษาเกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายมาหลายทศวรรษ โดยแบ่งออกเป็นสองแนวทางกว้าง ๆ คือ การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ และการวัดความคิดสร้างสรรค์ ในการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์นั้น มีปัจจัยหลายประการที่มีรายงานว่าสามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ได้ ทั้งในส่วนของการสร้างสิ่งแวดล้อม โปรแกรมการพัฒนาด้วยกิจกรรมต่าง ๆ แต่เดิมนั้นมีความเข้าใจว่าความคิดสร้างสรรค์จะเกิดขึ้นและถูกใช้ในกิจกรรมในเชิงศิลปะ เช่น การวาดรูป การเต้นรำ (Fink *et al.*, 2009) การประพันธ์เพลงหรือหนังสือ (Sawyer, 2011) แต่ในปัจจุบันพบว่าความคิดสร้างสรรค์มีความจำเป็นในการดำเนินชีวิตประจำวันหรือการทำงาน เช่น การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งจำเป็นต้องมีแนวคิดใหม่เพื่อหาทางออกอื่น ๆ ที่เป็นไปได้ในสถานการณ์ปัญหาที่พบ จากที่กล่าวมา ความคิดสร้างสรรค์ มีความสำคัญในการพัฒนาศักยภาพของบุคคลมาก ไม่ว่าจะในการดำเนินชีวิต เศรษฐกิจหรือสังคม งานวิจัยในครั้งนี้จึงต้องการศึกษาผลของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่มีต่อการคิดเชิงสร้างสรรค์ของผู้เรียน โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่แตกต่างกันคือ กิจกรรมสะเต็มแบบเปิด (Open STEM activity) และกิจกรรมสะเต็มที่มีโครงสร้าง (Structured STEM activity) โดยมีการประยุกต์ใช้ความก้าวหน้าและการเข้าถึงเทคโนโลยีเกี่ยวกับประสาท-

วิทยาศาสตร์มาวัดความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียน

นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา วิทยาการด้านสมองที่เรียกว่า ประสาทวิทยาศาสตร์ (neuroscience) ได้มีการพัฒนามากขึ้นอย่างก้าวกระโดด ทั้งในส่วนทฤษฎีและกระบวนการ/เทคนิควิธีในการศึกษาเกี่ยวกับประสาทและสมอง ทำให้นักวิจัยสามารถศึกษาความคิดสร้างสรรค์ได้หลากหลายวิธี เช่น EEG PET MRI (Sawyer, 2011) จึงทำให้นักวิจัยและผู้ที่ต้องการศึกษามีทางเลือกที่หลากหลายในการศึกษาเกี่ยวกับการวัดความคิดสร้างสรรค์มากขึ้น การบันทึกคลื่นไฟฟ้าในสมอง (electroencephalography, EEG) เป็นวิธีหนึ่งที่นักวิจัยด้านประสาทวิทยาศาสตร์นิยมใช้ เนื่องจากมีความไวสูงต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการส่งสัญญาณจากเซลล์สมอง ในช่วง 5– 50 Hz มีความละเอียดในการวัดและไวต่อการเปลี่ยนแปลงคลื่นในระดับสูง (Sawyer, 2011; Przegalinska *et al.,* 2018) โดย EEG มีหลักการคือการตรวจจับและติดตามคลื่นไฟฟ้าสมองจากหลายช่วงความถี่โดยเฉพาะช่วง N200 and P300 (Krigolson, 2017) ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการตรวจวัดคลื่นไฟฟ้าสมองในช่วงอัลฟา ซึ่งเป็นช่วงที่มีความถี่อยู่ที่ช่วง 8–12 Hz เนื่องจากเป็นช่วงที่สมองอยู่ในภาวะความคิดสร้างสรรค์ (Fink *et al*., 2009; Fink and Benedek, 2014; Lustenberger *et al*., 2015; Punsawad *et al*., 2014) ซึ่งอาจตรวจสอบโดยวิธีที่เรียกว่าการตรวจศักย์ไฟฟ้าสมองสัมพันธ์กับเหตุการณ์ (event related potentials: EPRs) กอรปกับในรายงานวิจัยล่าสุดในช่วงปี 2016–2018 มีการผลิตเครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบต้นทุนต่ำ (low cost EEG) ที่สามารถพกพาได้วางจำหน่ายในราคาต่ำกว่า 10,000 บาท/เครื่อง ($199) ดังในภาพ 2



ภาพ 2 เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง EEG แบบพกพา เครื่องหมายการค้า Muse

ที่มา: Muse (2018)

เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง EEG แบบพกพา เครื่องหมายการค้า Muse สามารถเก็บข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองของบุคคลผ่านแอปพลิเคชันมือถือที่เชื่อมต่อด้วยสัญญาณ Bluetooth ทำให้มีการตีพิมพ์ผลงานวิจัยเครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง EEG แบบพกพาซึ่งพบว่าสามารถเก็บข้อมูลได้เทียบเท่าเครื่องมือ EEG มาตรฐานตามห้องปฏิบัติการ (Krigolson *et al.,* 2017) โดยเครื่องมือดังกล่าวมีลักษณะเป็นแถบคาดศีรษะ ข้อดีของเครื่องมือ EEG แบบพกพา คือ การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองกับพฤติกรรมของบุคคลในสถานการณ์ชีวิตจริง โดยมีลักษณะเป็นเทคโนโลยีที่ถูกเรียกอย่างหลากหลายว่า อุปกรณ์ที่สวมใส่ได้ (wearable devices) (Balconi *et al.,* 2017) หรือ Brain–sensing device (Crivelli *et al*., 2019) รวมทั้ง mobile brain–body imaging (MoBI) ดังที่ Herrera-Arcos *et al.* (2017) ได้ใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบพกพาเครื่องหมายการค้า Muse วัดคลื่นไฟฟ้าสมองของพลวิจัยระหว่างเดินเยี่ยมชมงานศิลปะในพิพิธภัณฑ์ โดยพลวิจัยเป็นอาสาสมัครจำนวน 25 คน อายุระหว่าง 18–30 ปี ได้รับการแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 6–8 คน โดยแต่ละคนได้สวมเครื่อง

คาดศีรษะที่เป็นเครื่องเก็บข้อมูลจากคลื่นไฟฟ้าสมองที่ประกอบด้วย dry electrode จำนวน 4 จุด เพื่อวัดคลื่นไฟฟ้าสมองในส่วน AF7 AF8 TP9 และ TP10 โดยส่งข้อมูลไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ของพลวิจัยแต่ละคน ในงานวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยศึกษาการทำงานของสมองในสถานการณ์จริง โดยเฉพาะช่วงที่พลวิจัยชมงานศิลปะที่ตนเองชื่นชอบ การศึกษาโดยใช้เครื่องมือดังกล่าวยังพบในงานของ Surangsrirat and Intarapanich (2015) ซึ่งเป็นนักวิจัยจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) โดยผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือ EEG แบบพกพา (Muse) ศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองของพระภิกษุในขณะทำสมาธิ อ่านหนังสือ และการสนทนา โดยผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจาก Muse จากนั้นไปวิเคราะห์ด้วยวิธี spectral analysis

จากความสำคัญของความคิดสร้างสรรค์ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่ศึกษาผลของกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนขณะลงมือปฏิบัติโดยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบพกพา ทั้งนี้ความคิดสร้างสรรค์นั้นเป็นทักษะหนึ่งที่ต้องมีการฝึกฝนและสามารถพัฒนาได้ โดยมีองค์ประกอบของกิจกรรมในการพัฒนาหลายมิติมีความเกี่ยวข้องทั้งกระบวนการทางปัญญาและกระบวนการทางสังคม/ความรู้สึก โดยการเตรียมความพร้อมและการให้การศึกษามีความสำคัญทั้งการศึกษาในระบบและนอกระบบ (Feldman, 1999) มีการวิจัยพบว่าความเชื่อว่าความคิดสร้างสรรค์สามารถพัฒนาได้จะเป็นปัจจัยบวกที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ (Intasao and Hao, 2018) ซึ่งสนับสนุนแนวคิดของ Dweck (2008) ที่ระบุว่าความคิดสร้างสรรค์เป็นทักษะหนึ่งที่สามารถพัฒนาได้ ซึ่งถือว่าเป็นชุดความคิดแบบเติบโต (growth mindset) เนื่องจากเชื่อว่าศักยภาพคนหรือทักษะต่าง ๆ เป็นสิ่งที่สามารถเติบโตหรือพัฒนาได้

นอกจากนี้ Fasko (2010) ได้เสนอแนวทางการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ผ่านโปรแกรมการศึกษาดังนี้ 1) ให้ประสบการณ์เบื้องต้นแก่ผู้เรียนเพื่อให้เกิดความสนใจเกี่ยวกับปัญหา แนวคิด สถานการณ์ที่กำลังจะเรียน 2) ให้สถานการณ์และอุปกรณ์ที่เตรียมไว้แล้วเพื่อให้ผู้เรียนได้สืบเสาะค้นคว้า 3) ให้แหล่งข้อมูลสารสนเทศสำหรับผู้เรียนในปัญหาที่กำลังสืบเสาะ 4) ให้สื่อการเรียนรู้และเครื่องมือที่จะกระตุ้นและส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ทดลองและสร้างสรรค์ 5) ให้เวลาผู้เรียนในการจัดกระทำกับสื่อการเรียนรู้และเครื่องมือเพื่อให้เกิดการอภิปราย ทดลอง ล้มเหลวและสำเร็จ 6) ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ ให้แรงเสริมเพื่อให้ผู้เรียนเกิดแนวคิดและสมมติฐาน และ 7) ให้รางวัลหรือเสริมกำลังใจในกลยุทธ์การแก้ปัญหาที่ผู้เรียนคิดขึ้น เนื่องจากการสร้างบรรยากาศเชิงบวกจะส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งกิจกรรมการเรียนรู้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้กรอบแนวคิดสะเต็ม ที่เน้นการบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การใช้การออกแบบเชิงวิศวกรรม และหลักการคณิตศาสตร์ในการดำเนินกิจกรรม ทั้งในส่วนของการใช้เทคโนโลยีในเชิงหุ่นยนต์ในกิจกรรมสะเต็มแบบเปิด และการลงมือปฏิบัติตามกรอบแนวคิดเมกเกอร์ในกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้าง ในการวิจัยครั้งนี้มีองค์ประกอบที่สอดคล้องกับแนวคิดของ Fasco ในส่วนของการเก็บข้อมูลจะประยุกต์ใช้เทคโนโลยี EEG ที่เป็นลักษณะ MoBI ที่สามารถติดตามการทำงานของสมองแบบ real–time ขณะลงมือปฏิบัติกิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษาดังกล่าว ในระยะ

ประมาณ 30–55 นาที ข้อมูลได้รับการจัดเก็บโดย Muselab (Muse Developers, 2015) หรือ Muse Monitor application (Muse Monitor, 2017) ซึ่งปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น “Mind Monitor” (Mind Monitor, 2020) จะสัมพันธ์กับเวลาที่กิจกรรมดำเนินไป ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Matlab (Gurumurthy *et al.*, 2013; Hassan et al., 2015) หรือโปรแกรมใกล้เคียงที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ เช่น Mind Monitor Google API ผลการวิจัยเป็นข้อค้นพบใหม่ที่แสดงให้เห็นช่วงเวลาของการทำงานของสมองในช่วงอัลฟา ซึ่งจะช่วยให้ผู้วิจัยทราบถึงกราฟคลื่นไฟฟ้าสมองที่สะท้อนกิจกรรมส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ข้อค้นพบดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อครู นักการศึกษา นักพัฒนาหลักสูตร รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา เพื่อให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติในกิจกรรมที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์มากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบเคลื่อนที่ในการวัดคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนที่เรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดและแบบมีโครงสร้าง

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหา

กรอบแนวคิดสะเต็มศึกษาในการวิจัยนี้เน้นไปที่สะเต็มศึกษาซึ่งหมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการทำความเข้าใจและประยุกต์แนวคิดกระบวนการ เจตคติ วิธีคิดและธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ร่วมกัน เพื่อสืบเสาะ อธิบาย แก้ปัญหา สร้างสรรค์สิ่งต่าง ๆ ที่ไม่สามารถทำได้โดยสาขาความรู้แบบเดี่ยว โดยแนวคิดและกระบวนการสะเต็มจะหมายรวมถึงการให้คุณค่าและตระหนักถึงความเชื่อมโยงระหว่าง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ซึ่งเชื่อมโยงกับทักษะขั้นสูง รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 เพื่อประยุกต์ใช้ความรู้หรือทำความเข้าใจบทบาทของสะเต็มที่มีต่อการพัฒนาตัวบุคคล สังคม สิ่งแวดล้อม รวมทั้งการพัฒนาในมิติเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยการวิจัยครั้งนี้จะใช้กิจกรรมการเรียนรู้หุ่นยนต์เป็นตัวแทนของกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบเปิด ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ไม่มีกรอบในการสร้างสรรค์ชิ้นงาน ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างอิสระ และกิจกรรมวิทยาศาสตร์อวกาศเป็นตัวแทนของกิจกรรมแบบมีโครงสร้างที่มีกรอบในการสร้างสรรค์ชิ้นงาน

ขอบเขตด้านกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าพลวิจัย (research participants) คือ นักศึกษาครูสาขาวิทยาศาสตร์ จำนวน 12 คน ที่กำลังศึกษาในระดับชั้นปีที่ 3 อายุระหว่าง 19–23 ปี เป็นชาย 2 คน หญิง 10 คน ได้มาด้วยวิธีการเลือกแบบอาสาสมัคร (volunteer sampling) พลวิจัยได้รับการบอกกล่าวข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัยตามข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ้างอิงตามแบบฟอร์ม AF03–09 และพลวิจัยได้ลงนามในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยตามแบบฟอร์ม AF02–09

ขอบเขตเนื้อหาและกิจกรรมในงานวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยเน้นการปฏิบัติกิจกรรมสะเต็มแบบเปิด (กิจกรรมหุ่นยนต์) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการต่อวงจรไฟฟ้า การออกแบบการ

ทำงานของชิ้นส่วนหุ่นยนต์ และสะเต็มแบบมีโครงสร้าง (กิจกรรมวิทยาศาสตร์อวกาศ) ที่เชื่อมโยงแนวคิด ทักษะกระบวนการและวิธีปฏิบัติแบบสะเต็มในเนื้อหาเทคโนโลยีอวกาศ และผลกระทบจากขยะอวกาศ

ขอบเขตของสื่อการเรียนรู้และกิจกรรมสะเต็มศึกษา

สื่อการเรียนรู้และกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มแบบเปิดซึ่งจะใช้รูปแบบของการเรียนรู้หุ่นยนต์และสะเต็มแบบมีโครงสร้างซึ่งจะใช้กิจกรรมวิทยาศาสตร์อวกาศ มีระยะเวลากิจกรรมละ 2 คาบ คาบละ 55 นาที (อ้างอิงตามคาบเรียนของระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน) โดยมีชุดอุปกรณ์คือ

1) ชุดประกอบหุ่นยนต์สำหรับการเรียนรู้ Crawl body kit และชุด Solar Cell robot

กิจกรรมการเรียนรู้หุ่นยนต์ เป็นกิจกรรมที่บูรณาการแนวคิดและแนวปฏิบัติของหลายสาขาวิชา โดยเฉพาะสะเต็มศึกษา ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ชุดหุ่นยนต์สำหรับการเรียนรู้ระดับเริ่มต้นจนถึงระดับกลาง โดยเริ่มจากการประกอบหุ่นยนต์อย่างง่าย และการเขียนโปรแกรมอย่างง่ายเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ชุดประกอบหุ่นยนต์สำหรับการเรียนรู้ Crawl body kit จำหน่ายโดยบริษัท Ominent Inc. (ผลิตโดยบริษัท Bynas Co. Ltd. ประเทศญี่ปุ่น) ลักษณะกิจกรรมเป็นการให้ผู้เรียนต่อชุดอุปกรณ์และเขียนคำสั่งระบบ sensor ให้กับหุ่นยนต์ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของพลวิจัย ในการวิจัยครั้งนี้พบว่า ยังมีพื้นฐานเกี่ยวกับหุ่นยนต์ไม่มากนัก ผู้วิจัยจึงได้สร้างทางเลือกเพิ่มเติมสำหรับพลวิจัยเพื่อให้เลือกลงมือปฏิบัติจากหุ่นยนต์พื้นฐาน ที่ไม่ได้ใช้การเขียนโปรแกรม มาเป็นทางเลือกที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น คือชุดหุ่นยนต์โซล่าเซลล์ (6 in 1) โดยพลวิจัยออกแบบวางแผน สืบค้น ประกอบชิ้นส่วนด้วยตนเอง โดยมีครู/ผู้สอนเป็นผู้ให้คำแนะนำ

2) ชุดอุปกรณ์กิจกรรมขยะอวกาศ ดังนี้

ในส่วนของกิจกรรมวิทยาศาสตร์อวกาศตามแนวสะเต็มศึกษา เป็นกิจกรรมลงมือปฏิบัติเพื่อสร้างสรรค์ชิ้นงาน กิจกรรมออกแบบให้ใช้อุปกรณ์ที่หาได้โดยง่าย เน้นไปที่หลักการของกระบวนการคิด โดยกิจกรรมเริ่มต้นจากความใฝ่ฝันของมนุษยชาติที่จะบินเพื่อสำรวจท้องฟ้าตั้งแต่สมัยโบราณ จนกระทั่งถึงกลางศตวรรษที่ 20 ยุคอวกาศเริ่มต้นขึ้นจากการที่สหภาพโซเวียตในขณะนั้นสามารถส่งดาวเทียมดวงแรกของโลกขึ้นไปในอวกาศ คือ Sputnik 1 จนกระทั่งปัจจุบันเทคโนโลยีอวกาศได้เป็นส่วนหนึ่งของการดำรงชีวิตในยุคใหม่ที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในหลายแง่มุมจากอวกาศ เช่น การกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยเทคโนโลยี GPS การสื่อสารและการพยากรณ์อากาศ การส่งสัญญาณดาวเทียมเพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีอวกาศก็มีผลกระทบทั้งด้านบวกและด้านลบ การส่งวัตถุเพื่อไปโคจรในอวกาศนั้นทำให้เกิดสิ่งที่เรียกว่าขยะอวกาศ (space debris) โดยปัจจุบันมีขยะอวกาศสะสมมากกว่า 500,000 ชิ้นในอวกาศ ขยะอวกาศส่วนใหญ่โคจรอยู่ในวงโคจรรอบโลก จากสถิติทำให้ทราบว่าขยะอวกาศไม่มีแนวโน้มจะลดลง จากความตระหนักดังกล่าวนำไปสู่การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเทคโนโลยี หรือการแก้ปัญหาที่จะช่วยในการกำจัดขยะอวกาศ โดยใช้รูปทรงเรขาคณิตอย่างสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (rhombus) ในการประดิษฐ์สิ่งประดิษฐ์ที่สามารถนำไปใช้ในการคีบขยะอวกาศได้ กิจกรรมนี้ใช้แนวคิดเชิงบูรณาการของสะเต็ม ที่ส่งเสริมให้

ผู้เรียนเข้าใจผลกระทบของเทคโนโลยีอวกาศ ใช้แนวคิดและแนวปฏิบัติของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

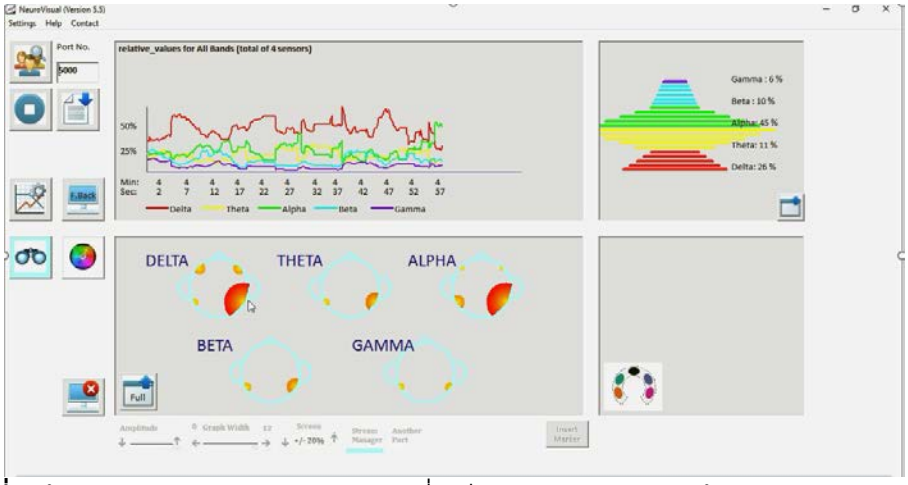
ขอบเขตระยะเวลา

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี (19 กันยายน 2561 – 19 กันยายน 2562) โดยในช่วงเก็บข้อมูลใช้ระยะเวลาในการทำกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มแบบเปิด และกิจกรรมเรียนรู้สะเต็มแบบมีโครงสร้าง ไม่เกินคนละ 1 ชั่วโมง

ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินการวิจัยเริ่มต้นโดยการศึกษาเอกสารและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทฤษฎี 3 หัวข้อหลักคือ 1) สะเต็มและสะเต็มศึกษา 2) ความคิดสร้างสรรค์ และ 3) การศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองโดยวิธีการบันทึกคลื่นไฟฟ้าในสมอง (electroencephalography: EEG) จากนั้นพัฒนาโครงร่างวิจัย กิจกรรมการเรียนรู้แนวสะเต็มศึกษา แบบเปิดและแบบมีโครงสร้าง เครื่องมือวิจัย แล้วยื่นเสนอขออนุมัติการทำวิจัยต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากนั้นผู้วิจัยได้ทดลองกิจกรรมในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รวมทั้งการศึกษาระบบการเก็บข้อมูลด้วยวิธี EEG ด้วยเครื่องวัดแบบสวมศีรษะ Muse รวมทั้งศึกษาวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ของการวิเคราะห์ข้อมูล 2 แนวทาง ได้แก่

แนวทางที่ 1 การเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Muse Direct เพื่อสตรีมข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองไปยังโปรแกรม Neurovisual (Mindresearch, n.d.) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างแบบจำลองภาพเพื่อนำเสนอข้อมูลแบบ real–time ดังในภาพ 3 นอกจากนี้ยังสามารถแปลงรูปแบบข้อมูลจาก *.Muse ไปเป็น *.MAT เพื่อนำเข้าโปรแกรม Matlab ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมได้



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการทำงานของ Neurovisual ที่สตรีมข้อมูลผ่านแอปพลิเคชัน Muse Direct และแปลผลคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นกราฟเส้นและภาพบนแผนที่สมอง (Brain map) ด้วยโปรแกรม Neuro Visual (Version 5.5)

ที่มา: ภาพหน้าจอที่บันทึกขณะทำการวิจัย

แนวทางที่ 2 โดยใช้โปรแกรม Mind Monitor เพื่อสตรีมข้อมูลจากอุปกรณ์เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง Muse ไปยังอุปกรณ์มือถือ (โทรศัพท์มือถือหรือแทบเล็ต) จากนั้นจะอัพโหลดข้อมูลไปยังระบบคลาวด์ของ Dropbox ผู้วิจัยพบว่าเป็นรูปแบบที่ง่ายและสะดวกกว่าแบบที่ 1 โดยจะนำข้อมูลที่ได้ในรูปแบบ *.CVS เพื่อวิเคราะห์ใน Mind Monitor Graphing Online ซึ่งได้ข้อมูลดังภาพ 4 ซึ่งแสดงกราฟค่าเฉลี่ยรายวินาทีของคลื่นทั้งเดลตา (δ) ทีตา (θ) อัลฟา (α) บีตา (β) แกมมา (γ) และค่าเฉลี่ยจากสมองทั้งสองซีก (ซ้ายและขวา)

ในขั้นนี้ผู้วิจัยใช้ตัวอย่างข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงต่าง ๆ (AF7 AF8 TP9 และ TP10) ที่มีให้ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ httpp://developer.choosemuse.com (จากลิงค์ http://developer.choosemuse.com/tools/windows-tools/available-data-muse-direct) เพื่อศึกษาและเตรียมการระบบวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อโครงการวิจัยได้รับอนุมัติให้ดำเนินการได้ ผู้วิจัยจึงได้เปิดรับสมัครพลวิจัยและเก็บข้อมูลจากพลวิจัย

เครื่องมือและวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ 1) การเก็บข้อมูลด้วย EEG ที่ประกอบด้วยชุดคาดศีรษะ 3 ชุดและโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เชื่อมต่อกันผ่านสัญญาณ Bluetooth โดยผู้วิจัยเลือกใช้แอปพลิเคชัน Muse Direct และ Mind Monitor ในการสตรีมข้อมูล และใช้ Mind Monitor Online Graphing ในการวิเคราะห์ข้อมูล 2) การบันทึกวีดิทัศน์ ในระหว่างการดำเนินกิจกรรม โดยมีรายละเอียดการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

1) หลังจากการอนุมัติให้ดำเนินการเก็บข้อมูลวิจัย โดยสำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน (วันที่ 9 มีนาคม 2562) ผู้วิจัยประกาศรับสมัครพลวิจัยจำนวน 12 คน เพื่อเข้าร่วมกิจกรรม โดยมีเกณฑ์คือ สุขภาพแข็งแรง อายุระหว่าง 19–23 ปี ได้มาด้วยวิธีการเลือกแบบอาสาสมัคร พลวิจัยได้รับการบอกกล่าวข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัยตามข้อกำหนดของ สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ้างอิงตามแบบฟอร์ม AF03–09 และพลวิจัยจะได้ลงนามในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัยตามแบบฟอร์ม AF02–09

2) นัดหมายเพื่อเก็บข้อมูลวิจัยในวันและเวลาที่พลวิจัยสะดวก ผู้วิจัยแจ้งแก่พลวิจัยว่าไม่มีเกณฑ์การคัดออก และมีเกณฑ์การยุติคือหากพลวิจัยแสดงอาการเครียดอย่างชัดเจน

3) พลวิจัยร่วมกิจกรรมครั้งละ 6 คน (สวมเครื่อง Muse เพื่อเก็บข้อมูล ครั้งละ 3 คน) ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบเปิด (กิจกรรมหุ่นยนต์) และกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบมีโครงสร้าง (กิจกรรมขยะอวกาศ) ก่อนเริ่มกิจกรรม พลวิจัยทดลองสวม Muse Headband เพื่อให้เกิดความคุ้นเคยและเพื่อทดสอบระบบการเชื่อมข้อมูลกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมทั้งข้อปฏิบัติเพื่อป้องสัญญาณหลุดการเชื่อมต่อ

4) พลวิจัยสวมเครื่องวัด Muse Head band และเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือเพื่อส่งสัญญานคลื่นไฟฟ้าสมองช่วง pre–intervention เพื่อเก็บข้อมูลพื้นฐาน (baseline data) เป็นระยะเวลา 15 นาที โดย Muse Headband จะส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกในสองรูปแบบดังที่ได้อธิบายไป โดยมีการบันทึกวีดิทัศน์ขณะทำการวิจัย

5) พลวิจัย 6 คนแรกเข้าร่วมกิจกรรมหุ่นยนต์ โดยรูปแบบกิจกรรมคือการประกอบหุ่นยนต์ตามคู่มือและมีผู้สอนคอยให้คำแนะนำ ระยะเวลาประมาณ 55 นาที (กิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้างดำเนินตามขั้นตอนเหมือนกัน เก็บข้อมูลคนละช่วงเวลา)

6) เมื่อสิ้นสุดกิจกรรม มีการเก็บข้อมูลด้วย Muse Headband จากพลวิจัยอีกครั้ง เป็นช่วง post–intervention ระยะเวลา 15 นาที

7) ในการเก็บข้อมูลมีระยะเวลาของการเตรียมอุปกรณ์ การเชื่อมต่อสัญญาณ และการสตรีมข้อมูลในแต่ละครั้งใช้เวลาค่อนข้างมาก ผู้วิจัยนัดเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 3 ครั้ง ในวันที่ 9 และ 16 มิถุนายน 2562 และ 25 สิงหาคม 2562 โดยเว้นระยะ (wash out period) ไม่น้อยกว่า 7 วัน

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่ 1

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลรูปแบบที่ 1 ด้วยแอปพลิเคชัน Muse Direct ร่วมกับ Neuro Visual ซึ่งเป็นโปรแกรม Freeware ข้อมูลที่ได้จะนำไปวิเคราะห์ด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Matlab (Gurumurthy *et al*., 2013; Hassan *et al*., 2015)

การวิเคราะห์ข้อมูลแบบที่ 2

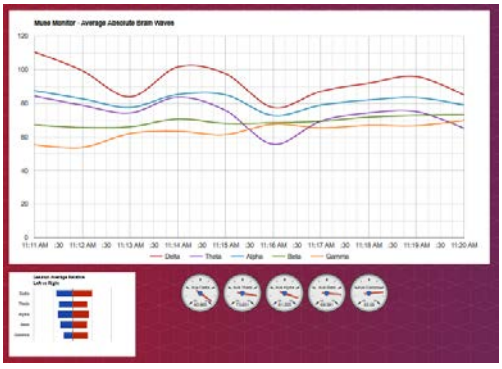
ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลรูปแบบที่ 2 ด้วยแอปพลิเคชัน Mind Monitor จากนั้นจะใช้เว็บแอปพลิเคชัน Mind Monitor Online Graphing ที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลโดย Google Charts ในรูปแบบของ API (Application Programming Interface)

ผลการวิจัย

จากข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่ได้จากวิธีการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยเครื่องคาดศีรษะ Muse ผ่านแอปพลิเคชัน Muse Direct เพื่อเชื่อมต่อไปยังโปรแกรม Neuro Visual เปรียบเทียบกับการใช้แอปพลิเคชัน Mind Monitor บนระบบปฏิบัติการ iOS ที่เชื่อมต่อด้วยระบบ Bluetooth ไปยังอุปกรณ์มือถือทุก 1 วินาที พบว่า วิธีการที่ 2 สะดวกและให้ข้อมูลที่เสถียรมากกว่า สามารถนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์ผลได้เลย ในขณะที่แบบที่ 1 ข้อมูลนามสกุล .Muse ต้องนำไปแปลงไฟล์และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Matlab ที่ต้องใช้ความเชี่ยวชาญในการเขียนคำสั่ง ทำให้มีความซับซ้อนและใช้เวลามากกว่าวิธีที่ 2 แต่วิธีที่ 1 มีข้อดี คือ สามารถแสดงผลการวิเคราะห์เป็นกราฟเส้นและแผนภาพแสดงแผนที่สองแบบ real–time ดังในภาพ 3

ข้อมูลที่เก็บในงานวิจัยครั้งนี้เป็น Absolute Band Power โดยใช้ Algorithm ของ Power Spectral Density (PSD) จากตำแหน่งเซ็นเซอร์อิเล็กโทรด 4 ช่องทางคือ TP9–บริเวณหูซ้าย AF7–บริเวณหน้าผากส่วนหน้าด้านซ้าย AF8–บริเวณหน้าผากส่วนหน้าด้านขวา และ TP10–บริเวณหูขวา โดยแอปพลิเคชันจะเสนอข้อมูล PSD ในช่วง +1:–1 ข้อมูลในรูปแบบ CVS จะถูกอัพโหลดเข้าสู่แอปพลิเคชัน Dropbox ในระบบคลาวด์ ข้อมูลวิเคราะห์ใน Mind Monitor Online Graphing ที่วิเคราะห์โดยใช้ Google Chart API ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองจะถูกนำเสนออยู่ในช่วง 0–100 ซึ่งเป็นค่าสัมพัทธ์ที่สามารถนำมาเปรียบเทียบระดับการทำงานของสมองในส่วนของคลื่นอัลฟาได้ (โปรแกรมแสดงค่าเดลตา ทีตา อัลฟา บีตา และแกมมา แต่ขอบเขตงานวิจัยนี้วิเคราะห์

เฉพาะอัลฟา) ทั้งจากกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้างและกิจกรรมสะเต็มแบบเปิด รวมทั้งสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบคลื่นอัลฟาจากสมองซีกซ้ายและสมองซีกขวาโดยการศึกษาสมมาตรของสมอง (brain symmetry) ดังในภาพ 4



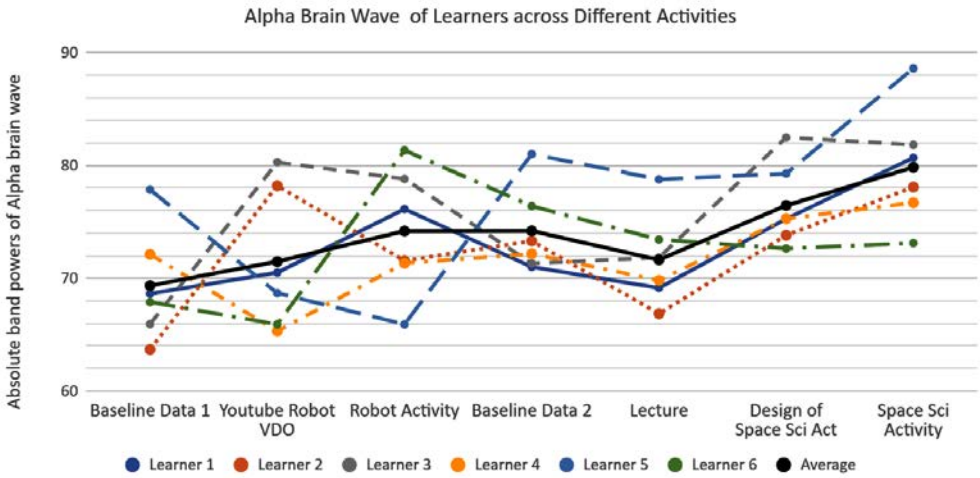
ภาพที่ 4 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองด้วยแอปพลิเคชันออนไลน์ Muse Online Graphing ที่แสดงข้อมูล PSD สัมพัทธ์ของคลื่น เดลตา ทีตา อัลฟา บีตา และแกมมา ทั้งในภาพรวมและแยกสมองซีกซ้าย/ซีกขวา
ที่มา: ภาพหน้าจอที่บันทึกขณะวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อค้นพบข้างต้น ผู้วิจัยจึงรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการที่ 2 เพื่อการเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาของผู้เรียนคนเดียวกันในขณะทำกิจกรรมสะเต็มแบบเปิด ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมการศึกษาเกี่ยวกับหุ่นยนต์จากวีดิทัศน์ใน YouTube กิจกรรมศึกษาและประกอบหุ่นยนต์ (robot activity) กับขณะทำกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้าง ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมย่อยคือ การฟังบรรยาย (lecture) การออกแบบอุปกรณ์ในกิจกรรมวิทยาศาสตร์อวกาศ (Design of space science activity) กิจกรรมประกอบอุปกรณ์ (Space science activity) ซึ่งก่อนเริ่มแต่ละกิจกรรมจะเก็บข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองพื้นฐาน (baseline data 1 และ baseline data 2) เป็นเวลา 15 นาที โดยแสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกิจกรรมย่อยต่าง ๆ ที่ เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มในภาพรวมดังแสดงในตาราง 1

จากข้อมูลในตาราง 1 และภาพที่ 5 พบว่า คลื่นไฟฟ้าสมองของผู้เรียนแต่ละคน มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับรูปแบบและการดำเนินกิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษา รวมทั้งกิจกรรมการเก็บข้อมูลพื้นฐานก่อนการทดลอง ในขั้นแรกกิจกรรมที่ผู้เรียนเตรียมพร้อมสำหรับการทำกิจกรรมโดยในขั้นนี้ผู้เรียนจะอยู่นิ่งเป็นเวลา 15 นาที ทั้ง baseline data 1 และ baseline data 2 ซึ่งพบว่าผู้เรียนแต่ละคนจะมีระดับของคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาที่แตกต่างกัน แต่เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยพบว่า ระดับคลื่นไฟฟ้าสมองอัลฟาในช่วง baseline data 1 และ baseline data 2 มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันคือ 69.345 และ 74.199 แต่เมื่อพิจารณา 2 กิจกรรมเปรียบเทียบกัน พบว่ากิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้าง ให้แนวโน้มของคลื่นอัลฟาสูงกว่ากิจกรรมสะเต็มแบบเปิด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกิจกรรมลงมือปฏิบัติการประกอบมือจับขยะอวกาศ (79.843) กับกิจกรรมลงมือปฏิบัติประกอบหุ่นยนต์ (74.182) จะเห็นได้ชัดว่าค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้าสมองของผู้เรียนมีความแตกต่างกันถึงร้อยละ 5 อย่างไรก็ตามในส่วนของการฟังบรรยายแม้จะเป็นการฟังบรรยายในส่วนของกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้าง (กิจกรรมขยะอวกาศ) หรือการฟังบรรยายประกอบการสาธิตการประกอบหุ่นยนต์ผ่านวีดิทัศน์ในเว็บไซต์ YouTube ให้ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้าสมองที่ใกล้เคียงกันคือ 71.479 และ 71.637

ตาราง 1 คลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาของผู้เรียนในขณะทำกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดและแบบมีโครงสร้าง

ผู้เรียน	Baseline Data 1	YouTube Robot VDO	Robot Activity	Baseline Data 2	Lecture	Design of Space Science Activity	Space Science Activity
ผู้เรียน 1	68.617	70.503	76.133	71.001	69.137	75.260	80.688
ผู้เรียน 2	63.676	78.208	71.551	73.303	66.851	73.809	78.088
ผู้เรียน 3	65.929	80.290	78.813	71.309	71.827	82.488	81.849
ผู้เรียน 4	72.115	65.300	71.333	72.165	69.803	75.284	76.697
ผู้เรียน 5	77.857	68.671	65.904	81.017	78.773	79.283	88.620
ผู้เรียน 6	67.877	65.904	81.355	76.398	73.429	72.629	73.114
ค่าเฉลี่ย	69.345	71.479	74.182	74.199	71.637	76.459	79.843



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาของผู้เรียนในขณะทำกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดและแบบมีโครงสร้าง

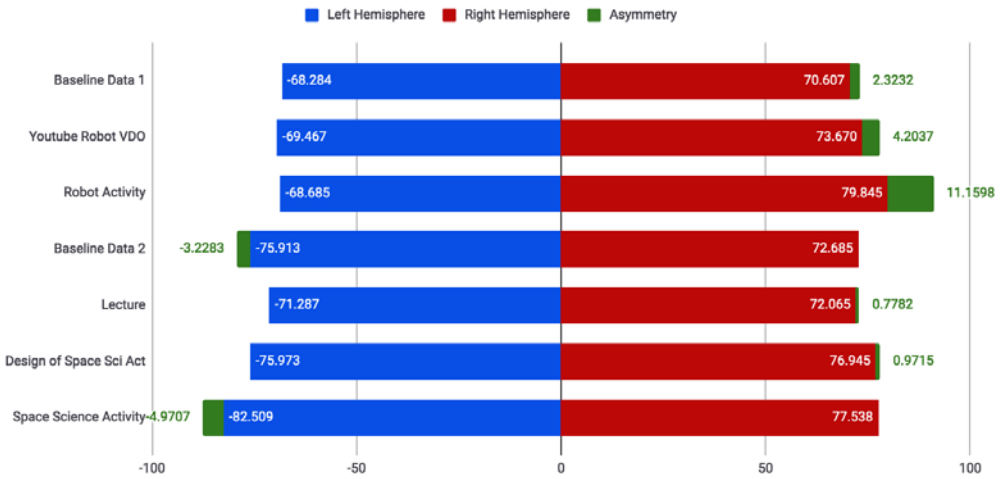
การเปรียบเทียบสมมาตรของสมอง (brain symmetry)

หัวข้อนี้นำเสนอผลการเปรียบเทียบสมมาตรของคลื่นไฟฟ้าช่วงอัลฟาในสมองซีกซ้ายและซีกขวาของผู้เรียนในขณะทำกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้างและกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดดังในตาราง 2 ที่นำเสนอข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองเฉลี่ยจากสมองซีกซ้ายและซีกขวาของผู้เรียนแต่ละคน รวมทั้งการหาค่าเฉลี่ยในภาพรวม ในการนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์สมมาตรของสมองซีกซ้ายและซีกขวาโดยการหาค่าผลรวมของ Absolute wave values ซึ่งแสดงความไม่สมมาตรของสมองโดยพิจารณาจากค่าความแตกต่าง โดยเครื่องหมายลบแสดงการทำงานของสมองซีกซ้าย และเครื่องหมายเป็นบวกแสดงการทำงานของสมองซีกขวา หากสมองทั้งสองซีกทำงานใกล้เคียงกันจะมีค่า

ความอสมมาตรเข้าใกล้ศูนย์ จากตาราง 2 และภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่า กิจกรรมที่ให้ค่าคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาซีกขวาสูงสุด คือ กิจกรรมการลงมือปฏิบัติเพื่อประกอบหุ่นยนต์มีความแตกต่างกันถึง 11.160 ในขณะที่กิจกรรมการประกอบมือจับขยะอวกาศในชุดกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้างนั้นให้ค่าติดลบซึ่งแสดงการทำงานในช่วงอัลฟาของสมองซีกซ้ายมากกว่า (อสมมาตร) โดยมีความแตกต่างถึง –4.971 จึงสรุปได้ว่ากิจกรรมสะเต็มแบบเปิดแสดงการทำงานของสมอง ซีกขวาในช่วงอัลฟาสูงสุดเมื่อเทียบกับกิจกรรมอื่นใน ขณะที่กิจกรรมประกอบมือจับขยะอากาศในชุดกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้างนั้นให้ค่าการทำงานของสมองซีกซ้ายในช่วงอัลฟาสูงสุด

ตาราง 2 ค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาทั้งซีกซ้ายและซีกขวาของผู้เรียนในขณะทำกิจกรรมสะเต็มแบบเปิด (หุ่นยนต์) และแบบมีโครงสร้าง (วิทยาศาสตร์อวกาศ)

Average Absolute wave values	Left Hemisphere	Right Hemisphere	Asymmetry
Baseline Data 1	–68.284	70.607	2.3232
YouTube Robot VDO	–69.467	73.670	4.2037
Robot Activity	–68.685	79.845	11.1598
Baseline Data 2	–75.913	72.685	–3.2283
Lecture	–71.287	72.065	0.7782
Design of Space Science Activity	–75.973	76.945	0.9715
Space Science Activity	–82.509	77.538	–4.9707



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาทั้งซีกซ้ายและซีกขวาของผู้เรียนในขณะทำกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดและแบบมีโครงสร้าง รวมทั้งค่าอสมมาตรของสมองสองซีก

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสมองของผู้เรียนในกิจกรรมต่าง ๆ มีความหลากหลาย ผู้เรียนที่ทำกิจกรรมสะเต็มอย่างกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้างหรือกิจกรรมสะเต็มแบบเปิด มีแนวโน้มของคลื่นไฟฟ้าสมองอัลฟาเพิ่มขึ้น แม้ว่าผู้เรียนแต่ละคนจะมีช่วงคลื่นในระดับที่แตกต่างกัน แต่แนวโน้มในแต่ละกิจกรรมนั้นปรากฏรูปแบบของแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่ากิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้าง (กิจกรรมขยะอวกาศ) ในขั้นการลงมือทำ (Space Science Activity) มีปริมาณคลื่นอัลฟาสูงสุด รองลงมาคือขั้นการออกแบบมือจับขยะอวกาศ (Design of Space Science Activity) ในขณะที่กิจกรรมสะเต็มแบบเปิด (กิจกรรมหุ่นยนต์) ให้คลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาที่สูงที่สุดในขั้น การประกอบหุ่นยนต์ (Robot Activity) ซึ่งสูงกว่าช่วงการเก็บมูลพื้นฐานและช่วงของการดูวีดิทัศน์จาก YouTube ซึ่งสอดคล้องกันทั้งสองกิจกรรมที่พบว่าการฟังบรรยายให้คลื่นอัลฟาที่ต่ำที่สุดในทั้งในกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้างและกิจกรรมสะเต็มแบบเปิด ในภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่า คลื่นอัลฟาลดลงในการฟังบรรยายสะเต็มแบบมีโครงสร้าง (เป็นการบรรยายเกี่ยวกับประวัติความเป็นมา และความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์อวกาศ) และการฟังบรรยายการสาธิตการประกอบหุ่นยนต์ในวิดีโอหุ่นยนต์จาก YouTube ผลการวิจัยยืนยันว่ากิจกรรมสะเต็มที่เน้นการออกแบบและการลงมือปฏิบัติ อย่างสะเต็มแบบมีโครงสร้างและกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดช่วยเพิ่มการทำงานของสมองในช่วงอัลฟา ในขณะที่กิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้างให้คลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาที่สูงที่สุด แต่กิจกรรมสะเต็มแบบเปิดปรากฏอสมมาตรของคลื่นไฟฟ้าสมองอัลฟาโดยสมองในซีกขวามีคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟามากกว่าซีกซ้ายอย่างชัดเจน

จากผลการวิจัยสามารถลงข้อสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบพกพาสามารถวัดความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนที่เรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มที่แตกต่างกันได้ โดยวิธีการที่สะดวกและไม่ซับซ้อน คือ วิธีการใช้การเชื่อมต่ออุปกรณ์ Muse กับแอปพลิเคชัน Mind Monitor จากนั้นใช้เว็บแอปพลิเคชัน Mind Monitor Online Graphing ที่ใช้บริการของ Google Charts ในรูปแบบของ API โดยพบว่ารูปแบบของกิจกรรมที่ผู้เรียนปฏิสัมพันธ์หรือมีประสบการณ์ ส่งผลต่อกระบวนการคิดซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในสมองของผู้เรียน และผู้เรียนแต่ละคนมีความแตกต่างกัน ข้อสรุปนี้เป็นที่ยอมรับในวงการการศึกษา ทั้งจากทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตัวเอง (constructivism) และวิทยาการความรู้ด้านปัญญาหรือประสาทวิทยาศาสตร์ (Karmiloff–Smith, 2012) ความคิดสร้างสรรค์ก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่เกิดขึ้นภายในสมองของผู้เรียน มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์ ทั้งในส่วนของการวัดความคิดสร้างสรรค์และความพยายามในการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของบุคคล ปกติแล้วคนเรามักจะคิดว่ากิจกรรมในเชิงศิลปะ ดนตรี และกิจกรรมในเชิงสร้างสรรค์ด้านมนุษยศาสตร์สังคมศาสตร์ เป็นกิจกรรมที่ช่วยในการคิดสร้างสรรค์ (Fink *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยนี้สามารถยืนยันได้ว่า กิจกรรมในสะเต็มสามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ได้เช่นกัน โดยส่งเสริมให้สมองของผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดในช่วงของคลื่นอัลฟา ซึ่งเป็นที่ยอมรับในงานวิจัยว่ามีความสัมพันธ์กับกระบวนการคิดสร้างสรรค์ มีงานวิจัย

เกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์ในเชิงประสาทวิทยาศาสตร์ได้ใช้ การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองเพื่อระบุหรือยืนยันเกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์ของบุคคล (Fink and Benedeck, 2014) โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบกิจกรรมในชุดกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดและชุดกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้าง ซึ่งพบว่าทั้ง 2 กิจกรรมสามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนมีกระบวนการคิดสร้างสรรค์ได้ โดยพบว่าเมื่อกิจกรรมดำเนินไปแล้ว คลื่นไฟฟ้าสมองส่วนอัลฟาจะมีปริมาณมากขึ้น ในกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดเกี่ยวกับหุ่นยนต์ ได้แบ่งเป็นกิจกรรมย่อย 3 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลพื้นฐานหรือ baseline data 2) ช่วงการดูวีดิทัศน์เกี่ยวกับหุ่นยนต์ที่ผู้เรียนแต่ละคนสนใจศึกษาด้วยตนเอง ซึ่งขั้นตอนนี้จะคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Poulsen *et al*. (2017) ที่มีการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองขณะพลวิจัยดูภาพยนตร์ และส่วนสุดท้ายคือ 3) การลงมือประกอบหุ่นยนต์ตามความสนใจของพลวิจัย จากผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนแต่ละคนมีกระบวนการคิดที่แตกต่างกันแม้ในขณะที่อยู่นิ่งในช่วงข้อมูลพื้นฐาน (baseline data) ปริมาณของคลื่นอัลฟาก็แตกต่างกันในช่วงเวลาดังกล่าว แต่เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ย ในภาพรวมและแนวโน้มที่ปรากฏในกิจกรรมทั้งสามส่วนพบว่า ผู้เรียนจะมีปริมาณคลื่นอัลฟาที่ลดลงในช่วงกิจกรรมการฟังผู้อื่นอธิบายเกี่ยวกับหุ่นยนต์ผ่านวีดิทัศน์ในเว็บไซต์ YouTube เมื่อเทียบกับช่วงเก็บข้อมูลพื้นฐาน และจะมีปริมาณคลื่นอัลฟาเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงการลงมือปฏิบัติเพื่อประกอบหุ่นยนต์ด้วยตนเอง

กิจกรรมที่ 2 เป็นกิจกรรมที่เน้นแนวคิดสะเต็มแบบมีโครงสร้าง โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับผลกระทบของเทคโนโลยีอวกาศ เมื่อเทคโนโลยีอวกาศมีการพัฒนามากขึ้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นคือ การเพิ่มขึ้นของขยะอวกาศ จากจุดนี้ผู้เรียนจะได้ออกแบบมือจับขยะอากาศ (robotic arm extension) ซึ่งกิจกรรมนี้สอดคล้องกับแนวคิดของกิจกรรมองค์การบริหารการบินและอวกาศของสหรัฐอเมริกา (NASA) ที่ชื่อว่า “Build Your Own Robot Arm” เป็นกิจกรรมที่จะนำผู้เรียนศึกษาการออกแบบแขนของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการหยิบจับ ในที่นี้ NASA ได้นำเสนอการใช้อุปกรณ์ที่หาได้ไม่ยากนัก เช่น เส้นลวด แก้วน้ำพลาสติก เทปกาว รายการออกแบบอุปกรณ์ปลายแขนหุ่นยนต์ที่เรียกว่า End Effector (NASA IEEE Teacher In–Service Program, 2017) โดยกิจกรรมในงานวิจัยนี้ใช้แนวคิดของการประยุกต์สมบัติของสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนมาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือที่มีกลไกในการยึดและหดและสามารถจับวัตถุที่อยู่ไกลออกไปได้ โดยกิจกรรมแบ่งเป็น 4 ช่วงคือ 1) การเก็บข้อมูลพื้นฐาน 2) การฟังบรรยายเกี่ยวกับเทคโนโลยีอวกาศ 3) การออกแบบมือจับขยะอวกาศ และกิจกรรมสุดท้าย 4) การสร้างมือจับขยะอวกาศ จากข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองที่บันทึกโดยเครื่องคาดศีรษะ พบว่า แนวโน้มของคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาจะลดลงเมื่อเข้าสู่ช่วงการฟังบรรยาย จากนั้นผู้เรียนจะมีคลื่นไฟฟ้าสมองอัลฟาเพิ่มขึ้นในช่วงการออกแบบ โดยมีคลื่นอัลฟาสูงสุด ในช่วงการลงมือปฏิบัติเพื่อประกอบเครื่องมือ

จากผลการวิจัยเกี่ยวกับความสมมาตรของสมองทั้ง 2 ซีก มีงานวิจัยระบุมาอย่างยาวนานว่าสมองซีกขวาเป็นกระบวนการคิดที่สัมพันธ์กับความคิดสร้างสรรค์ คนที่มีความคิดสร้างสรรค์จะมีกิจกรรมของสมองซีกขวามากกว่าซีกซ้าย (Martindale *et al*., 1984) แม้ว่าในระยะหลังจะมีการ

นำเสนอแนวคิดใหม่และเป็นที่ยอมรับว่าความคิดสร้างสรรค์ต้องเกิดจากความสัมพันธ์ของสมองทั้ง 2 ซีกทำงานร่วมกัน (Dietrich and Kanso, 2010) ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็ใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองจากอิเล็กโทรดทั้ง 2 ซีก (ขวา AF7/TP9 และซ้าย AF8/TP10) แต่ด้วยงานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่าสมองซีกขวาจะตื่นตัวมากในช่วงที่เกิดกระบวนการคิดสร้างสรรค์ (Sousa and Pilecki, 2018) จึงทำให้งานวิจัยนี้สนใจเปรียบเทียบการวิเคราะห์อสมมาตรของคลื่นไฟฟ้าสมองช่วงอัลฟาจากสมองทั้งสองซีกเพิ่มเติมจากการศึกษาคลื่นไฟฟ้าสมองในภาพรวม ซึ่งผลวิจัยแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการประกอบหุ่นยนต์ทำให้เกิดอสมมาตรของสมองทั้งสองซีกโดยซีกขวามีคลื่นอัลฟาสูงกว่าซีกซ้าย (มีความแตกต่างถึง 11.160 จากค่า Absolute brain wave) ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่าธรรมชาติของกิจกรรมทำให้เกิดความแตกต่างนี้ได้อย่างไร หากพิจารณาในภาพรวมกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้างจะให้ค่าของคลื่นอัลฟาในภาพรวมสูงกว่ากิจกรรมสะเต็มแบบเปิด ซึ่งตรงกับข้อสรุปของ Dietrich and Kanso (2010) ที่นำเสนอว่าการพิจารณาความคิดสร้างสรรค์น่าจะพิจารณาในภาพรวมทั้งสมองซีกซ้ายและซีกขวา ซึ่งเป็นการทำงานของสมองที่ซับซ้อนไม่ได้จำเพาะเจาะจงว่าส่วนใด แต่เป็นการทำงานของสมองหลายส่วน (Jung *et al*., 2013) ทั้ง cingulate cortex และ prefrontal cortex ซึ่งเป็นสมองส่วนหน้า สมองส่วน hippocampus ที่อยู่ตรงกลางบริเวณขมับ (Duff *et al*., 2013) และ corpus collosum ซึ่งเป็นสมองที่กั้นระหว่างสมองซีกซ้ายและซีกขวาโดยทำหน้าที่เชื่อมข้อมูลและการทำงานของสมองทั้งสองซีกด้วยเช่นกัน (Sousa and Pilecki, 2018) ในการวิจัยนี้ก็เช่นกัน พบว่า กิจกรรมที่ให้ค่าคลื่นไฟฟ้าสมองส่วนอัลฟาในภาพรวมของสมองทั้งสองซีกสูงที่สุด คือ กิจกรรมการลงมือประดิษฐ์มือจับขยะอวกาศ ซึ่งให้ค่าอสมมาตรของคลื่นอัลฟาของสมองซีกซ้ายมากกว่า (–4.9707) ในขณะที่กิจกรรมประดิษฐ์หุ่นยนต์ซึ่งให้ค่าคลื่นไฟฟ้าสมองอัลฟาในภาพรวมรองลงมาให้ค่าอสมมาตรของคลื่นอัลฟาที่สมองซีกขวามากกว่า (11.1598) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณากิจกรรมสะเต็มแบบเปิดพบว่าการทำให้เกิดอสมมาตรนั้น มีความเป็นไปได้ว่าเกิดจากธรรมชาติของกิจกรรมที่เป็นลักษณะแบบเปิด ที่กิจกรรมไม่ได้ระบุกระบวนการที่แน่ชัด (Ill-defined process) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jausovec (1997) ที่พบว่าผู้เรียนที่ทำการแก้ปัญหาแบบเปิดซึ่งไม่ได้ระบุปัญหาและกระบวนการแก้ปัญหาที่แน่ชัด จะมีคลื่นอัลฟาต่ำกว่าผู้เรียนในกิจกรรมการแก้ปัญหาที่ปัญหามีการระบุอย่างแน่ชัดแล้ว เช่นเดียวกับธรรมชาติของกิจกรรมแบบมีโครงสร้างในงานวิจัยนี้ กิจกรรมประกอบอุปกรณ์ในสะเต็มแบบมีโครงสร้าง เป็นกิจกรรมที่มีการกำหนดรูปแบบของชิ้นงานไว้แล้ว ผู้เรียนเพียงแต่ออกแบบจำนวนของไม้ไอศกรีมที่ต้องใช้ ความยาวที่ต้องการ และรูปแบบของมือจับและกลไกที่ใช้ในการหยิบจับสิ่งของ ซึ่งกิจกรรมนี้ผู้เรียนมีคลื่นอัลฟาสูงกว่ากิจกรรมประกอบหุ่นยนต์ ที่เป็นกิจกรรมการสืบเสาะแบบเปิด (open inquiry) ในบริบทสะเต็มศึกษา โดยเริ่มจากปัญหาแบบเปิดซึ่งเป้าหมายและวิธีแก้ไม่ได้ระบุอย่างแน่ชัด ผู้เรียนต้องเลือกรูปแบบหุ่นยนต์ ประกอบและศึกษาการทำงานด้วยตนเอง แต่ประเด็นที่น่าสนใจคือเพราะเหตุใดกิจกรรมสะเต็มแบบเปิด ซึ่งเป็นรูปแบบการแก้ปัญหาแบบเปิดนั้น กลับให้คลื่นอัลฟาแบบอสมมาตรมากกว่า นั่นคือ คลื่นไฟฟ้า

สมองอัลฟาเกิดขึ้นในสมองซีกขวาด้วยอัตราส่วนที่มากกว่าสมองซีกซ้ายเมื่อเทียบกับกิจกรรมอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ Sousa and Pilecki (2018) ได้อธิบายไว้ว่า กิจกรรมในเชิงที่ไม่มีโครงสร้างหรือไม่มีลำดับขั้นตอนอย่างชัดเจน ผู้เรียนจะมีกระบวนการคิด ในเชิงมิติ รูปร่าง วัตถุ ที่เกิดขึ้นในสมองซีกขวามากกว่าการคิดเกี่ยวกับรายละเอียด ลำดับเวลา ข้อความ ตัวเลข ที่เกิดขึ้นในสมองซีกซ้าย

จากผลการวิจัยที่การทำงานของสมองในช่วงอัลฟาของผู้เรียนมีค่าที่ต่ำกว่ากิจกรรมอื่น ๆ ในช่วงของการฟังบรรยาย ไม่อาจกล่าวได้ว่าการฟังบรรยายเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่ไม่พัฒนากระบวนการคิดเชิงสร้างสรรค์ เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างมาเกี่ยวข้อง ทั้งรูปแบบของการบรรยาย สื่อประกอบการบรรยาย การใช้คำถาม รวมทั้งเนื้อหาที่ใช้ในการบรรยาย ดังนั้นการสรุปผลจึงต้องเป็นไปอย่างระมัดระวัง ดังที่ Masters (2014) ได้ให้ข้อสังเกตไว้ในการทดลองที่มีการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองของผู้เรียนในระหว่างการฟังบรรยาย ซึ่งมีข้อจำกัดหลายประการ อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ความแตกต่างของกิจกรรมย่อมส่งผลให้รูปแบบกระบวนการคิดของผู้เรียนมีความแตกต่างกัน ในส่วนของความคิดสร้างสรรค์นั้นจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อผู้เรียนอยู่ในสภาวะที่มีคลื่นอัลฟาสูง นั่นก็คือกิจกรรมในเชิงของการลงมือปฏิบัติ ซึ่งผลการวิจัยชี้ชัดทั้งในส่วนของกิจกรรมสะเต็มแบบมีโครงสร้างและกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดตามแนวสะเต็มศึกษา เนื่องจากข้อจำกัดของจำนวนพลวิจัย และจำนวนครั้งของการทดสอบ ผู้วิจัยไม่ได้ต้องการสรุปอ้างอิงไปยังกลุ่มประชากร การสรุปผลการวิจัยในครั้งนี้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับพลวิจัยในงานวิจัยครั้งนี้เท่านั้น โดยใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์ที่เป็นผลจากการวิจัยอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งพบว่ารูปแบบของกิจกรรมที่เกิดขึ้นในห้องเรียนนั้นส่งผลต่อรูปแบบการคิดของผู้เรียน โดยเฉพาะในภาวะที่ผู้เรียนผ่อนคลาย สงบ มีสมาธิพร้อมเรียนรู้ ซึ่งในช่วงนี้จะมีคลื่นไฟฟ้าสมองในส่วนอัลฟามากขึ้น ส่งผลต่อการเรียนรู้รวมทั้งเกิดกระบวนการคิดสร้างสรรค์มากยิ่งขึ้น จากข้อมูลจึงสรุปได้ว่ากิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มแบบเปิดและสะเต็มแบบมีโครงสร้างที่เป็นลักษณะการใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การออกแบบเชิงวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ เข้ามาช่วยในการประดิษฐ์กลไกที่สามารถทำงานตามคำสั่ง หรือความต้องการส่งผลต่อความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนโดยทำให้กิจกรรมของสมองในช่วงอัลฟาให้สูงขึ้น ซึ่งกระบวนการนี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับว่าผู้เรียนจะระบุว่าตนเองเป็นผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์มากหรือน้อยแต่อย่างใด

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะต่อผู้สนใจในการที่จะนำผลการวิจัยไปใช้หรือศึกษาวิจัย โดยเฉพาะนักการศึกษา สถาบันการศึกษา และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดการเรียนรู้ของผู้เรียน ดังนี้

1) รูปแบบกิจกรรมมีผลต่อกระบวนการคิดของผู้เรียน การออกแบบกิจกรรมแบบเปิดในเชิงประดิษฐ์เครื่องมือกลไก หรือหุ่นยนต์สามารถส่งเสริมกระบวนการคิดสร้างสรรค์ได้ เนื่องจากระหว่างการดำเนินกิจกรรมนี้ให้คลื่นอัลฟาที่สูงกว่าอยู่นิ่ง และสูงกว่าการฟังบรรยาย

2) กิจกรรมการออกแบบที่ใช้หลักการหรือกรอบการทำงานแบบมีโครงสร้างส่งผลต่อคลื่นอัลฟาได้มาก แต่มีความสมมาตรของสมองมากกว่ากิจกรรมการออกแบบและลงมือปฏิบัติ

แบบเปิดที่การทำงานของสมองซีกขวาเด่นชัดกว่า ผู้สอนอาจจะเริ่มโดยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติที่ประดิษฐ์กลไกแบบมีแบบแผนหรือวิธีที่ชัดเจน จากนั้นจึงพัฒนาเป็นกิจกรรมแบบเปิดที่ผู้เรียนมีอิสระในความคิดมากขึ้น

สำหรับข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป มีดังนี้

1) การวิจัยโดยประยุกต์ใช้วิทยาการปัญญาหรือประสาทวิทยาศาสตร์ เป็นความก้าวหน้าของระเบียบวิธีวิจัยที่สามารถที่ศึกษาสภาวะการทำงานของสมองที่บ่งชี้ถึงกระบวนการคิดของบุคคล ณ ขณะนั้น (real–time) แต่ยังต้องการการศึกษายืนยันเพิ่มเติม โดยเฉพาะในวงการวิทยาศาสตร์ศึกษา โดยอาจต้องมีแบบแผนการวิจัยที่รัดกุม เช่น แบบแผนการวิจัยโดยใช้รูปแบบการจัด treatment แบบ within–subject design experiments เพื่อกำจัดตัวแปรเกิน (extraneous variables) โดยใช้วิธีกำหนดการจัดกระทำและการเก็บข้อมูลตามคาบเวลา ตามแผนการทดลองแบบจัตุรัสลาติน (latin square design) (Grant, 1948)

2) ด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ เครื่องมือและจำนวนพลวิจัย การยืนยันด้วยการทำซ้ำ การเพิ่มจำนวนการทดสอบ ทั้งเชิงจำนวนของพลวิจัยและจำนวนครั้งของการทดสอบ จะทำให้ความรู้ที่ได้จากการวิจัยมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

3) เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบคาดศีรษะ เป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปต่อยอดเพื่อตอบโจทย์วิจัยได้อย่างกว้างขวาง มีวิธีการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่ซับซ้อน สามารถนำไปทดลองภาคสนามได้ จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพ สามารถนำไปประยุกต์ในการวิจัยทางการศึกษาได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก Murata Science Foundation ประจำปีงบประมาณ 2561 และจริยธรรมการวิจัยในคนของงานวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เลขที่ COA No.011/62, CMUREC No.62/010

เอกสารอ้างอิง

Balconi, M., Fronda, G., Venturella, I., and Crivelli, D. (2017). Conscious, pre–conscious and unconscious mechanisms in emotional behaviour. Some applications to the mindfulness approach with wearable devices. **Applied Sciences** *7*(12): 1280.

Crivelli, D., Fronda, G., Venturella, I., and Balconi, M. (2019). Supporting mindfulness practices with brain–sensing devices. Cognitive and electrophysiological evidences. **Mindfulness** 10: 301–311.

Dietrich, A., and Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. **Psychological bulletin** 136(5): 822–848.

Duff, M. C., Kurczek, J., Rubin, R., Cohen, N. J., and Tranel, D. (2013). Hippocampal amnesia disrupts creative thinking. **Hippocampus** 23(12): 1143–1149.

Dweck, C. S. (2008). **Mindset: The New Psychology of Success**. New York: Random House Digital.

Fasko, D. (2001). Education and creativity. **Creativity Research Journal** 13(3): 317–324.

Feldman, D. H. (1999). The development of creativity. In Sternberg, R. J. (Ed.), **Handbook of Creativity** (pp. 169–186). New York: Cambridge University.

Fink, A., and Benedek, M. (2014). EEG alpha power and creative ideation. **Neuroscience & Biobehavioral Reviews** 44: 111–123.

Fink, A., Grabner, R. H., Benedek, M., Reishofer, G., Hauswirth, V., Fally, M., Neuper, C., Ebner, F., and Neubauer, A. C. (2009). The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI. **Human Brain Mapping** 30(3): 734–748.

Fink, A., Graif, B., and Neubauer, A. C. (2009). Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers. **NeuroImage** 46(3): 854–862.

Grant, D. A. (1948). The latin square principle in the design and analysis of psychological experiments. **Psychological bulletin** 45(5): 427–442.

Gurumurthy, S., Mahit, V. S., and Ghosh, R. (2013). Analysis and simulation of brain signal data by EEG signal processing technique using MATLAB. **International Journal of Engineering and Technology** 5(3): 2771–2776.

Hassan, M., Shamas, M., Khalil, M., Falou, W. El, and Wendling, F. (2015). EEGNET: An open source tool for analyzing and visualizing M/EEG connectome. **PLoS ONE** 10(9): e0138297.

Herrera–Arcos, G., Tamez–Duque, J., Acosta–De–Anda, E. Y., Kwan–Loo, K., De–Alba, M., Tamez–Duque, U., Contreras–Vidal, J. L., and Soto, R. (2017). Modulation of neural activity during guided viewing of visual art. **Frontiers in Human Neuroscience** 11: 581.

Intasao, N., and Hao, N. (2018). Beliefs about creativity influence creative performance: The mediation effects of flexibility and positive affect. **Frontiers in Psychology** 9: 1810.

Jausovec, N. (1997). Differences in EEG activity during the solution of closed and open problems. **Creativity Research Journal** *10*(4): 317–324.

Jitsuchon, S. (2012). Thailand in a middle–income trap. **TDRI Quarterly Review** 27(2): 13–20.

Jung, R. E., Mead, B. S., Carrasco, J., and Flores, R. A. (2013). The structure of creative cognition in the human brain. **Frontiers in Human Neuroscience** 7: 330.

Karmiloff–Smith, A. (2012). From constructivism to neuroconstructivism: The activity–dependent structuring of the human brain. **After Piaget** 1(1): 1–14.

Krigolson, O. E., Williams, C. C., Norton, A.,

Hassall, C. D., and Colino, F. L. (2017). Choosing MUSE: Validation of a low–cost, portable EEG system for ERP research. **Frontiers in Neuroscience** 11: 109.

Lustenberger, C., Boyle, M. R., Foulser, A. A., Mellin, J. M., and Fröhlich, F. (2015). Functional role of frontal alpha oscillations in creativity. **Cortex** 67: 74–82.

Maesincee, S. (2016). **Thailand 4.0 Thriving in the 21st Century through Security, Prosperity; Sustainability**. Retrieved from http://www.ait.ac.th/news-and-events/2016/news/1thailand-4.0-english-dr.-suvit.pdf, November 15, 2019.

Martindale, C., Hines, D., Mitchell, L., and Covello, E. (1984). EEG alpha asymmetry and creativity. **Personality and Individual Differences** 5(1): 77–86.

Masters, K. (2014). Nipping an education myth in the bud: Poh's brain activity during lectures. **Medical Teacher** 36(8): 732–735.

Mindresearch. (n.d.). **NeuroVisual for Muse–Free windows App**. Retrieved from http://www.mindresearch.xyz/NeuroVisual.html, December 22, 2019.

Mind Monitor. (2020). **Technical Manual**. Retrieved https://mind-monitor.com/%20Technical_%20Manual.php%20#help_graphs, December 13, 2019.

Ministry of Education Thailand. (2008). **Basic Education Core Curriculum. Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)**. Retrieved from http://academic.obec.go.th/web/doc/d/147, December 21, 2019.

Muse Developers. (2015). **Tools Muselab**. Retrieved from http://developer.choosemuse.com/tools/mac-tools/muselab, December 3, 2019.

Muse Monitor. (2017). **Technical manual**. Retrieved from http://www.musemonitor.com/Technical_Manual.php#help_graphs, December 3, 2019.

Muse. (2018). **40 Days of Meditation With Muse: A Journey**. Retrieved from https://choosemuse.com/de/blog/40-days-of-meditation-with-muse-a-journey, December 3, 2019.

NASA IEEE Teacher In-Service Program. (2017). **Build Your Own Robot Arm**. Retrieved from https://er.jsc.nasa.gov/seh/Robot_PDF_Files/build_own_robot_arm.pdf, November 14, 2019.

Office of the Education Council (2017). **National Education Plan B.E. 2560-2579**. Bangkok: Prikwan Graphic. (in Thai)

Office of the National Economic and Social. (2017). **The Twelfth National Economic and Social Plan (B.E.2560–2564)**. Bangkok: Prime Minister Office. (in Thai)

Partnership for 21st Century skills. (2008). **21st Century Skills, Education & Competitiveness**. Retrieved from http://www.pkwy.k12.

mo.us/projectParkway/File/21st_century_skills_education_and_competitiveness_guide.pdf, November 23, 2019.

Partnership for 21st Century Learning. (2011). **Framework for 21st Century Learning. Partnership for 21st Century Skills**. Retrieved from http://www.21stcenturyskills.org/documents/framework_flyer_updated_jan_09_final-1.pdf, November 23, 2019.

Partnership for 21st Century Learning. (2015). **P21 Partnership for 21st Century Learning. Partnership for 21st Century Learning**. Retrieved from http://www.p21.org/documents/P21_Framework_Definitions.pdf, November 11, 2019.

Phongpaichit, P., and Benyaapikul, P. (2012). **Locked in the Middle–Income Trap: Thailand's Economy between Resilience and Future Challenges**. Friedrich–Ebert–Stiftung.

Poulsen, A. T., Kamronn, S., Dmochowski, J., Parra, L. C., Hansen, L. K. (2017). EEG in the classroom: Synchronised neural recordings during video presentation. **Scientific Reports** 7: 43916.

Przegalinska, A., Ciechanowski, L., and Gloor, P. (2018). **Collaborative Innovation Networks, (January)**. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74295-3, November 11, 2019.

Punsawad, Y., Chathong, W., and Wongsawat, Y. (2014). The use of quantitative EEG in creativity study with simple task. 2014 **Asia–Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA)**. 2014 Asia–Pacific, Siem Reap, 2014: 1–4.

Rosling, H. (2011). **The Wealth and Health of Nations**. Retrieved from https://bost.ocks.org/mike/nations, November 16, 2019.

Sawyer, K. (2011). The cognitive neuroscience of creativity: A critical review. **Creativity Research Journal** 23(2): 137–154.

Sousa, D. A., and Pilecki, T. (2018). **From STEM to STEAM: Brain–Compatible Strategies and Lessons that Integrate the Arts**. New York: Corwin.

Surangsrirat, D., and Intarapanich, A. (2015). Analysis of the meditation brainwave from consumer EEG device. **Conference Proceedings – IEEE SOUTHEASTCON** 2015: 1–6.

The 20–years National Strategy (B.E.2560–2564). (2018, October). **Government Gazette**. Book 35 Section 82 Kor. 1. (in Thai)

The Institute for the Promotion of teaching Science and Technology [IPST]. (2013). STEM Education Thailand and STEM Ambassadors. **IPST Magazine** 42(185): 14–18. (in Thai)

Treffinger, D. J. (1996). **Creativity, Creative Thinking, and Critical Thinking: In Search of Definitions**. Sarasota, FL: Center for Creative Learning.

Treffinger, D. J., Young, G. C., Selby, E. C.,

and Shepardson, C. (2002*).* **Assessing Creativity: A Guide for Educators**. Retrieved from http://www.eric.ed.gov/ERICWebPortal/detail?accno=ED505548, December 21, 2019.

Turiman, P., Omar, J., Daud, A. M., and Osman, K. (2012). Fostering the 21st century skills through scientific literacy and science process skills. **Procedia – Social and Behavioral Sciences** 59: 110–116.

Wongboonsin, K., Kunwat, M., Prabpal, K., Hongladarom, S., Surasiangsung, S., Chaopreecha, S., Bunjeodpongchai, D., O–panonamata, P., Pothisiri, T., and Tanopas, W. (2003). **The Desirable Labor Skills in the Future**. Final research report. Retrieved from http://cuir.car.chula.ac.th/handle/ 123456789/6357, December 12, 2019. (in Thai)

World Economic Forum. (2017). **The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution**. Retrieved from http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf, December 19, 2019.