การประยุกต์การพิมพ์ภาษาไทยด้วยระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว

Application of a Combination Thai Typing Combining EEG-Based Brain Computer Interface and Video Based Eye-Tracking for The Users With Motor Disabilities

ธงชัย จินาพันธ์ [1*] สุชาดา กรเพชรปาณี [1]

Tongchai Jinaphunt [1*] Suchada Kornpetpanee [1]

[1] Centre of Excellence in Cognitive Science, College of Research Methodology and Cognitive Science, Burapha University, Thailand

บทคัดย่อ

การประยุกต์การพิมพ์ภาษาไทยด้วยระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกทางด้านการสื่อสารที่ออกแบบขึ้นสำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหวหรือผู้ป่วยที่เป็นอัมพาต ไม่สามารถเคลื่อนไหวมือ แขน หรือขา ยกเว้นสมองและดวงตายังคงสามารถทำงานได้เป็นปกติ

ระบบการทำงานหลักประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว และเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวทำหน้าที่ถ่ายภาพเคลื่อนไหวของดวงตาและส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำหน้าที่ประมวลผลทิศทางการเคลื่อนไหวของดวงตาและแปลผลไปควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเมาส์ และเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองทำหน้าที่บันทึกคลื่นไฟฟ้าสมองและแปลผลไปจำลองการกดปุ่มซ้ายของเมาส์

ระบบติดตามดวงตาที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่วิธีการใช้กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวและระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ การออกแบบเครื่องต้นแบบและโปรแกรมการพิมพ์ให้สามารถใช้งานง่ายผ่านทางสัญลักษณ์หรือภาพ (Graphic user interface) ผ่านแป้นพิมพ์บนจอภาพสำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว

ผลการทดสอบปรากฏว่า อาสาสมัครผู้พิการทางการเคลื่อนไหวจำนวน 4 คน มีค่าเฉลี่ยการพิมพ์ (CPM) เท่ากับ 10.09 อักษรต่อนาที อัตราความผิดพลาดในการพิมพ์เฉลี่ยร้อยละ 9.02

ความพึงพอใจในการนำฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ ระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ และระบบติดตามดวงตาไปใช้ในการพิมพ์ภาษาไทย สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหวปรากฏว่า ความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก

คำสำคัญ: การสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์, ระบบติดตามดวงตา, คลื่นไฟฟ้าสมอง

**Corresponding author. E-mail: qa.tongchai@tatung.co.th*

ABSTRACT

Application of a hybrid Thai typing combining EEG–based brain computer interface and video based eye-tracking for the users with motor disabilities aimed to develop the alternative communication tools designed for the paralyzed or physically impaired people unable to move parts of their body but eye movements and brain were active.

The main systems consisted of a camera with a computer and EEG head set. Camera captured eye movement images which then would be sent to the computer, that interpreted the data and controlled the mouse movement functions whereas the EEG head set was recording the brain signal and interpreted the data to control the mouse left click function.

The eye tracking systems in this research focused on camera-based gaze tracking and EEG based brain computer interfaces. The design of the hardware prototype and typing program were to perform simple tasks and provides graphical user interfaces onscreen keyboard in order that the paralyzed or physically impaired persons could easily use it.

We employed four paralyzed persons for typing evaluation and it was found that the average scores for typing speed which were using this developed EEG based brain computer interface and video based eye-tracking system were 10.09 characters per minute whereas the average scores for typing accuracy were 9.02%.

The average scores for user satisfaction level after testing the hardware and software were moderate to high.

Keywords: Brain Computer Interface, Eye Tracking Systems, Electroencephalogram

ความนำ

ความสามารถในสื่อสารและการใช้ชีวิตประจำวันได้อย่างปกติและช่วยเหลือตัวเองได้เป็นความต้องการสูงสุดของมนุษย์ทุกคน และเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ทำให้ชีวิตของมนุษย์มีความสุข (D'albis, Blatt, Tedesco, Sbattella, & Matteucci, 2012)

การติดต่อสื่อสารเป็นกระบวนการรับและการถ่ายทอดข้อมูล เนื้อหาสาระต่าง ๆ ที่บุคคลต้องการ หรือเกี่ยวข้องกันจากบุคคลหนึ่งไปสู่บุคคลหนึ่ง เพื่อสร้างความเข้าใจ การจูงใจ มุ่งให้ความรู้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการกระทำอย่างหนึ่งอย่างใดตามที่ประสงค์ โดยที่ช่องทางที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารสามารถแบ่งประเภทตามวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การติดต่อสื่อสารทางลายลักษณ์อักษร การติดต่อสื่อสารทางวาจาและการติดต่อสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีซึ่งต้องใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกลางนำสารไปสู่ผู้รับสารนั้น โดยข้อมูลการสื่อสารผ่านคอมพิวเตอร์นั้นอยู่ในรูปข้อความ รูปภาพ สัญลักษณ์ หรือ Icon โดยนำเข้าสู่คอมพิวเตอร์ด้วยอุปกรณ์รับข้อมูลเข้ามาตรฐาน (Standard input devices) ได้แก่ เมาส์ แป้นพิมพ์ อุปกรณ์ควบคุมระยะไกลหรืออุปกรณ์รับข้อมูลเข้ามาตรฐานอื่น ๆ เมาส์เป็นอุปกรณ์รับข้อมูลเข้าที่สำคัญโปรแกรมประยุกต์ในปัจจุบันต้องใช้เมาส์เป็นเครื่องมือสำหรับชี้เป้าหมายหรือ Icon ที่ต้องการเข้าถึง (Point) และส่งคำสั่งการกดปุ่มซ้ายของเมาส์ (Click)

สำหรับผู้พิการที่สูญเสียความสามารถในการเคลื่อนไหวร่างกาย (Lacked-in Syndrome) ได้แก่ ผู้ป่วยที่เป็นอัมพาต ผู้ป่วยที่เป็นโรค Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS) ผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บที่ไขสันหลัง (Spinal cord injury)

หรือระบบประสาทเสียหายอย่างรุนแรง คนกลุ่มนี้จะมีขีดจำกัดในการเคลื่อนไหวมือ แขน หรือขายกเว้นสมองและดวงตายังคงสามารถทำงานได้เป็นปกติ (Cardwell, 2013) ผู้พิการกลุ่มนี้จะไม่สามารถทำการสื่อสารโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกลางได้ เนื่องจากไม่สามารถใช้มือหยิบหรือจับเมาส์หรือแป้นพิมพ์ได้ และวิธีการที่จะทำให้ผู้พิการกลุ่มนี้สามารถใช้คอมพิวเตอร์ได้ จะต้องใช้เทคโนโลยีการที่ไม่ใช้มือ เช่น กล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เสียง และ เทคโนโลยีด้านการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain Computer Interface: BCI) ซึ่งเป็นหนึ่งในความพยายามของมนุษย์ที่จะสร้างเทคโนโลยีสำหรับควบคุมคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีการสั่งการจากสมองโดยตรงไปยังเครื่องมือหรืออุปกรณ์ภายนอกด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง (Electroencephalogram) โดยไม่ผ่านช่องทางปกติจากสมองสู่กล้ามเนื้อ เช่น การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ในการพิมพ์อักษร การควบคุมการทำงานของอวัยวะเทียม เพื่อทำหน้าที่ทดแทนการทำงานของมือ แขนหรือขา ที่สูญเสียไป ทำให้ผู้ป่วยกลุ่มนี้สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ และเป็นการยกระดับคุณภาพชีวิตของคนกลุ่มนี้ให้ดีขึ้น

ข้อจำกัดของเทคโนโลยีการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ (BCI) มีอยู่ด้วยกันหลายประการได้แก่ ความแรงของสัญญาณต่ำอยู่ในระดับไมโครโวลท์ (μV) ทำให้มีความต้านทานต่อสัญญาณรบกวนต่ำ (Low signal to noise ratio) อัตราการสื่อสารข้อมูลที่ต่ำ ความเร็วในการตอบสนองต่อคำสั่งที่ซับซ้อนต่ำ อัตราความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลสูง (Gneo, Severini, Conforto, Schmid, & D'Alessio, 2011) ทำให้การประยุกต์เทคโนโลยี BCI เพียงอย่างเดียวในการควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ ยังคงมีขีดจำกัดในด้านประสิทธิภาพของระบบที่ต่ำแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมุ่งไปที่วิธีการอื่นที่ตอบสนองได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า เช่น ระบบติดตามดวงตา (Eye Tracker Systems: EGTs)

เทคโนโลยีระบบติดตามดวงตามีหลักการทำงานคือ ใช้การเคลื่อนไหวดวงตาในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเมาส์เคอร์เซอร์ ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการบนหน้าจอภาพคอมพิวเตอร์ เลือกหรือจำลองการกดปุ่มซ้ายของเมาส์คอมพิวเตอร์ด้วยการตั้งเวลาเพื่อเลือกคำสั่งหรือ Icon

ข้อเสียของวิธีนี้ได้แก่ถ้าระยะเวลาสั้นเกินไปจะเกิดความผิดพลาดในการเลือก Icon โดยไม่ได้ตั้งใจ (False positive) แต่ถ้านานเกินไป ผู้ใช้งานจะเกิดความเครียดความเบื่อหน่ายจากการจดจ่ออยู่กับเคอร์เซอร์ของเมาส์ และ ไม่เกิดการจูงใจให้ใช้งานระบบหรือถ้ามีสิ่งเร้ารอบข้างรบกวนจะทำให้ความสนใจถูกเบี่ยงเบนไป ดวงตาจะมองไปยังสิ่งเร้าแทนหน้าจอภาพ ทำให้เมาส์เคอร์เซอร์เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งที่เป็นเป้าหมายผลการกดปุ่มเมาส์ที่ได้ก็จะไม่ถูกต้อง แนวทางในการแก้ปัญหาความผิดพลาดในการกดปุ่มเมาส์โดยไม่ได้ตั้งใจ จึงต้องใช้วิธีการจำลองการกดปุ่มเมาส์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวดวงตา

จากการศึกษาสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวมือที่สามารถวัดได้บนกระโหลกศีรษะของมนุษย์ พบว่าสัญญาณที่เกิดขึ้นบริเวณสมองส่วนหน้า (Primary motor cortex) ที่ความถี่ต่ำกว่า 40 Hz (Fok et al., 2011) สามารถวัดได้ในขณะวางแผนการเคลื่อนไหวด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองแบบราคาประหยัดโดยบันทึกสัญญาณนี้เกิดขึ้น ในขณะที่สมองเกิดกิจกรรมการวางแผนการเคลื่อนไหวร่างกาย เช่น แขนหรือขา เพื่อใช้เป็นสัญญาณในการจำลองการกดปุ่มเมาส์คอมพิวเตอร์เพื่อเลือก Icon อักษร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ลูกผสม คลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา (Hybrid EEG Based BCI and Eye-Tracker) สำหรับควบคุมโปรแกรมการพิมพ์ภาษาไทยดังนี้

1.1 พัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ประมวลผลระบบติดตามดวงตา สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์คอมพิวเตอร์ (Computer mouse cursor movement) โดยฮาร์ดแวร์ระบบติดตามดวงตาประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว และแผงวงจรไฟฟ้าที่ควบคุมสัญญาณการเคลื่อนไหวดวงตา และซอฟต์แวร์

ประมวลผลระบบติดตามดวงตาประกอบด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับแปลงสัญญาณการเคลื่อนไหวของดวงตา เป็นสัญญาณควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์ ที่มีความเร็วในการพิมพ์ภาษาไทยสูงกว่าการพิมพ์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง

1.2 พัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain Computer Interface) โดยฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย เครื่องบันทึกและประมวลผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง ที่ส่งสัญญาณการประมวลผลแบบไร้สาย แผงวงจรไฟฟ้าสำหรับแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองเป็นสัญญาณการกดปุ่มเมาส์ และซอฟต์แวร์ประกอบด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง เป็นสัญญาณควบคุมการกดปุ่มเมาส์ ที่มีความผิดพลาดในการพิมพ์ภาษาไทยต่ำกว่าการพิมพ์ด้วยระบบติดตามดวงตา

1.3 พัฒนาโปรแกรมแป้นพิมพ์จำลองสำหรับการพิมพ์ภาษาไทย (Thai virtual keyboard) ที่ควบคุมการพิมพ์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง และระบบติดตามดวงตา (Hybrid EEG Based BCI and Eye-Tracker)

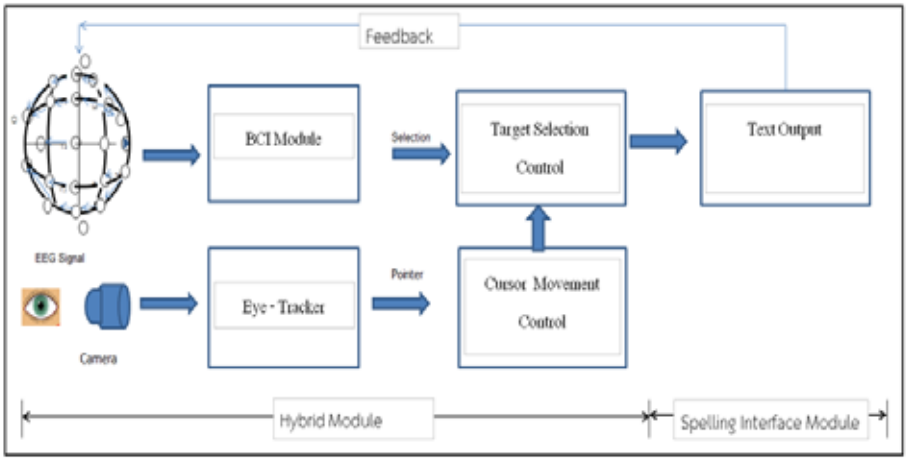
2. เพื่อนำฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา (Hybrid EEG Based BCI and Eye-Tracker) ไปใช้ในการควบคุมโปรแกรมการพิมพ์ภาษาไทยสำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว เพื่อการสื่อสารกับบุคคลอื่นได้

กรอบแนวคิดการวิจัย

การประยุกต์การพิมพ์ภาษาไทยด้วยระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมอง และระบบติดตามดวงตา สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว เป็นการออกแบบและพัฒนาวิธีการสำหรับควบคุมการทำงานของเมาส์เลือกใช้การบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองขณะที่สมองเกิดกิจกรรมการวางแผนการเคลื่อนไหวแขนขวา ด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG) แบบเวลาจริง (Real time) ขยายและประมวลผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองเพื่อ ไปกำหนดเป็นคำสั่งให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำงานในการจำลองกดปุ่มเมาส์ (Mouse click simulation)

การพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ระบบติดตามดวงตา (Eye–Tracker System Development) ด้วยวิธีการบันทึกภาพเคลื่อนไหวดวงตา (Video Occulography: VOG) เพื่อนำไปแปลงเป็นคำสั่งให้ไมโครคอนโทรเลอร์ (Microcontroller) สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเมาส์เคอร์เซอร์ (Drewes, 2010)

กระบวนการออกแบบแป้นพิมพ์จำลองที่ใช้สำหรับควบคุมการพิมพ์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง ร่วมกับระบบติดตามดวงตาสำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว โดยวิธีการพิมพ์ใช้วิธีการเลือกพิมพ์อักษรบนแป้นพิมพ์จำลอง เลือกพิมพ์ข้อความด้วยวิธีการพิมพ์ผ่านรหัสตัวเลข และเลือกพิมพ์ข้อความด้วยวิธีการพิมพ์ผ่านรูปภาพ กรอบแนวความคิดการวิจัยแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1. ฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ประมวลผลระบบติดตามดวงตาสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์คอมพิวเตอร์ (Computer mouse cursor movement) ที่พัฒนาขึ้นมามีความเร็วในการพิมพ์ภาษาไทยสูงกว่าการพิมพ์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง

2. ฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain Computer Interface) สำหรับควบคุมการกดปุ่มเมาส์ (Mouse click simulation) ที่พัฒนาขึ้นมามีความผิดพลาดในการพิมพ์ภาษาไทยต่ำกว่าการพิมพ์ด้วยระบบติดตามดวงตา

3. โปรแกรมแป้นพิมพ์จำลองสำหรับการพิมพ์ภาษาไทย (Thai virtual keyboard) มีประสิทธิภาพสำหรับการพิมพ์ภาษาไทยที่พิมพ์ด้วยระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว

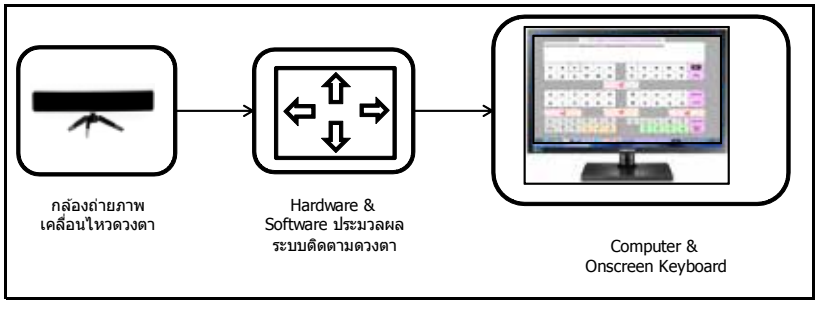
4. ผู้พิการทางการเคลื่อนไหวสามารถทำการพิมพ์ภาษาไทย ด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา (Hybrid EEG based BCI and Eye-Tracker) ที่พัฒนาขึ้นมา เพื่อการสื่อสารกับบุคลอื่นได้ และมีความพึงพอใจในการใช้งาน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้วิธีวิจัยเชิงทดลองแบบการทดลองเบื้องต้น (Pre-Experimental Study Design) ดังนี้

1. วิธีการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ประมวลผลระบบติดตามดวงตาสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์คอมพิวเตอร์

ศึกษาวิธีการบันทึกการติดตามการเคลื่อนไหวดวงตาจากรายงานการวิจัยของ Drewes (2010) เลือกพัฒนาระบบติดตามดวงตาด้วยวิธีการบันทึกภาพเคลื่อนไหวดวงตาดำเนินการสร้างฮาร์ดแวร์เครื่องต้นแบบโดยเลือกอุปกรณ์รับภาพ (Image sensor) ที่มี Frame Rate: 60 fps Output Format 8 Bit: RGB 565/555และ Support USB 2.0 Interface ออกแบบซอร์ฟแวร์สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์คอมพิวเตอร์ (Computer mouse cursor movement) ด้วยโปรแกรม Visual C++ เพื่อนำไปควบคุมโปรแกรมเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์คอมพิวเตอร์สำหรับการชี้ Icon อักษร โครงสร้างของฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ระบบติดตามดวงตาแสดงดังภาพที่ 2

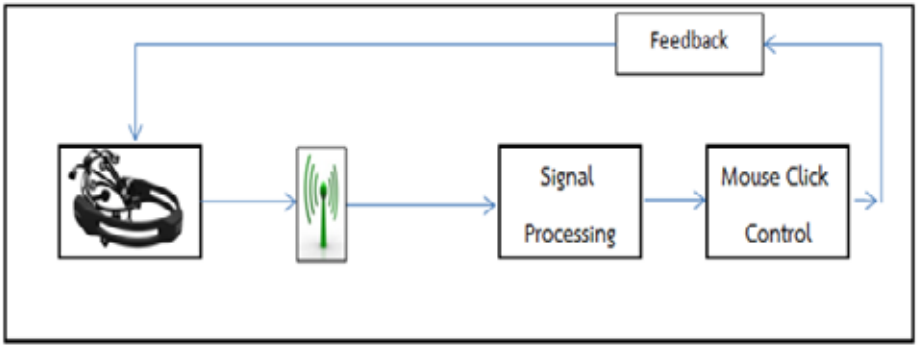


ภาพที่ 2 โครงสร้างของฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ระบบติดตามดวงตาสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์คอมพิวเตอร์

2. วิธีการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ประมวลผลคลื่นไฟฟ้าสมองสำหรับจำลองการกดปุ่มเมาส์

ศึกษาวิธีการบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองจากรายงานการวิจัยของ McFarland & Wolpaw (2011) พัฒนาการบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองขณะที่เกิดจินตนาการเคลื่อนไหวแขนขวา เพื่อนำไปพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain Computer Interface) ประกอบด้วยเครื่องบันทึกและประมวลผลคลื่นไฟฟ้าสมอง ที่ส่งสัญญาณการประมวลผลแบบไร้สาย ชุดประมวลผลสัญญาณ

คลื่นไฟฟ้าสมอง (Signal processing) แผงวงจรไฟฟ้าสำหรับแปลงสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง เป็นสัญญาณการกดปุ่มเม้าส์ (Mouse click control) ส่วนป้อนกลับสัญญาณเพื่อยืนยันผลการกดปุ่มเมาส์ แสดงดังภาพที่ 3

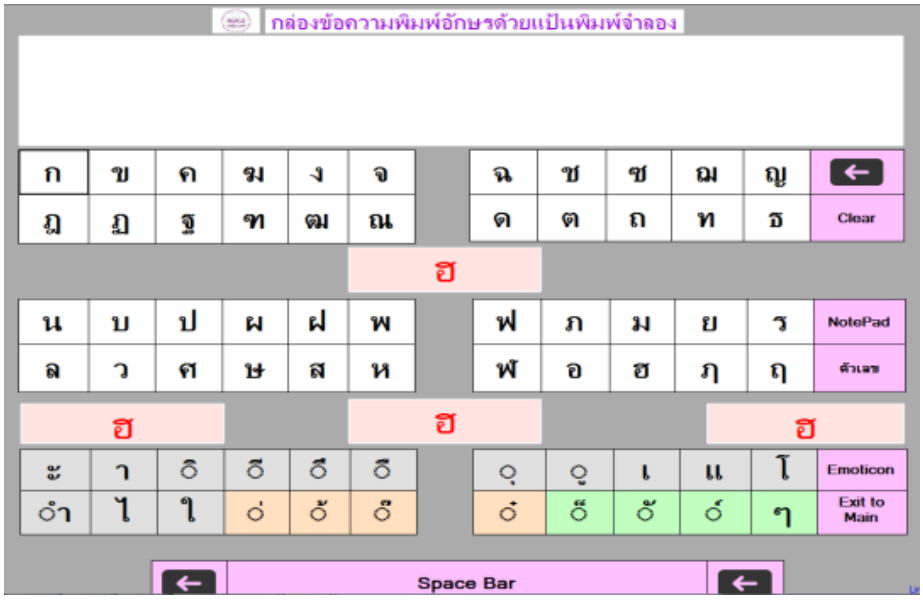


ภาพที่ 3 โครงสร้างของฮาร์ดแวร์ระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์สำหรับการกดปุ่มเมาส์

3. วิธีการพัฒนาโปรแกรมแป้นพิมพ์จำลองสำหรับการพิมพ์ภาษาไทย (Thai Virtual Keyboard)

การพัฒนาโปรแกรมแป้นพิมพ์จำลองสำหรับการพิมพ์ภาษาไทย มีเป้าหมายเพื่อสร้างโปรแกรมการพิมพ์ที่มีประสิทธิภาพและเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานสากล ISO 9241–9: 2000 กระบวนการออกแบบโปรแกรมการพิมพ์แบ่งออกเป็นสองขั้นตอนได้แก่ขั้นตอนการออกแบบแป้นพิมพ์จำลองสำหรับการพิมพ์ภาษาไทยและขั้นตอนการคัดเลือกคำที่ใช้บ่อยในการสื่อสารกับคนพิการ

จากการศึกษาการพัฒนาแป้นพิมพ์จำลองสำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหวของงานวิจัยก่อนหน้านี้โดยโปรแกรมการพิมพ์เลือกวิธีการพิมพ์ได้สองวิธีคือ โปรแกรมการพิมพ์อักษรภาษาไทย วิธีการพิมพ์ผสมอักษร และโปรแกรมการพิมพ์ประโยคสำเร็จรูปด้วยวิธีการพิมพ์ผ่าน Icon รูปภาพ เป็นโปรแกรมที่ช่วยให้สามารถพิมพ์อักษรได้ครั้งละหลายคำหรือเป็นประโยค ออกแบบด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Basic แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โปรแกรมการพิมพ์อักษรด้วยแป้นพิมพ์จำลอง (Virtual keyboard)

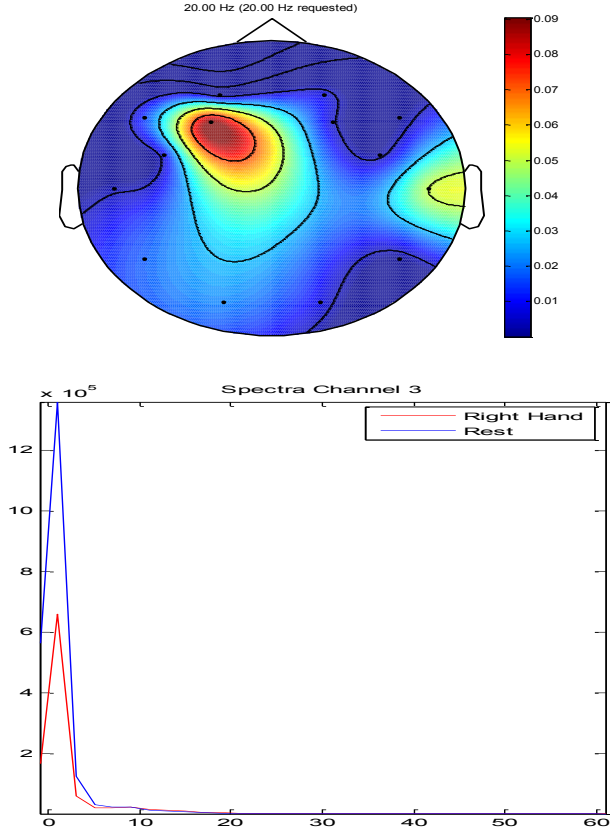
การดำเนินการทดลอง

เป็นการวิจัยเชิงทดลองแบบการทดลองเบื้องต้น แผนการทดลองชนิด Posttest design (One-Group) หรือ One shot case study (Edmonds & Kennedy, 2012) อาสาสมัครเป็นผู้พิการทางการเคลื่อนไหวจำนวน 4 คน (n=4) ทำการทดสอบการพิมพ์จำนวน 36 ตัวอักษร มีขั้นตอนดังนี้

1. ติดต่อประสานงานกับผู้อำนวยการศูนย์ฟื้นฟูสมรรถภาพคนงานประจำภาคตะวันออก (จังหวัดระยอง) เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการคัดกรองผู้พิการทางการเคลื่อนไหวสำหรับเป็นกลุ่มตัวอย่าง

2. คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเฉพาะผู้ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดได้แก่ ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยทางจิต ไม่มีการใช้ยาทางจิตเวชหรือสารเสพติดที่มีผลต่อระบบประสาทอาสาสมัครมีประสบการณ์ในการใช้คอมพิวเตอร์ มีสายตาปกติ ไม่สวมแว่นตา แต่ใส่คอนแทคเลนส์ได้ และมีความเต็มใจเข้าร่วมการทดลองตามที่ผู้วิจัยกำหนด ทำการนัดหมายผู้พิการทางการเคลื่อนไหว เพื่อชี้แจงขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

การติดตั้งเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองและเครื่องติดตามดวงตาเข้าด้วยกันและเตรียมการ ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน เปิดโปรแกรมการพิมพ์อักษรด้วยแป้นพิมพ์บนจอภาพ ทำการพิมพ์อักษรด้วยการเคลื่อนดวงตาไปทาง ซ้าย ขวา บน และล่าง เมาส์เคอร์เซอร์จะเคลื่อนที่ไปหาอักษรเป้าหมายและส่งคำสั่งเลือก Icon ตัวอักษรด้วยการคิด สร้างภาพกดปุ่มเมาส์ด้วยแขนขวา สัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองจากการคิดสร้างภาพจะถูกบันทึกจากขั้วไฟฟ้า F3 และส่งสัญญาณด้วยระบบไร้สายไปประมวลผลเป็นสัญญาณกดปุ่มเมาส์ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความถี่ และตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า (Channel) ที่ตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวแขนขวา

การวิเคราะห์ข้อมูล

1.วิเคราะห์ความเร็วในการพิมพ์โดยความเร็วในการพิมพ์ = จำนวนอักษรที่พิมพ์ ÷ ความเร็วเฉลี่ยของอักษรที่พิมพ์ × 60 มีหน่วยเป็น อักษรต่อนาที (Characters per minute)

2. วิเคราะห์ความแม่นยำในการพิมพ์ โดยวิธีการวัดค่าเฉลี่ยการพิมพ์ที่ผิดพลาดคำนวนจากจำนวนอักษรที่พิมพ์ ÷ จำนวนอักษรที่พิมพ์ x 100 มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

3. การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา โดยมีหัวข้อการประเมินจำนวน 8 ข้อตามมาตรฐาน ISO 9241-9 Ergonomic Requirements for Office Work With Visual Display Terminals (VDTs)-Part 9: Requirements for Non-Keyboard Input Devices (ISO 9241-9)

ผลการวิจัย

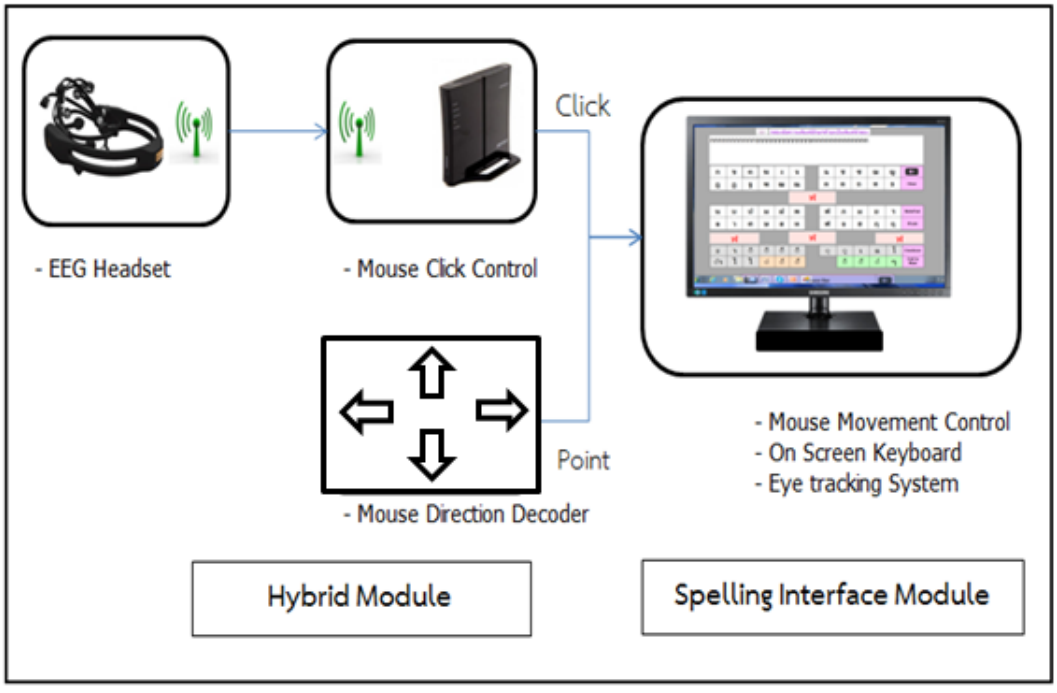
ผลการวิจัยประกอบด้วย 1) ผลการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain Computer Interface) สำหรับควบคุมการกดปุ่มเมาส์ (Mouse click simulation) สำหรับการเลือก Icon อักษร 2) ผลการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ประมวลผลระบบติดตามดวงตาสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์คอมพิวเตอร์ (Computer mouse pointing) สำหรับการชี้ Icon อักษร 3) ผลการบูรณาการฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตาและ 4) ผลของการนำฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ที่ได้จาก การบูรณาการระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ และระบบติดตามดวงตาไปใช้ ในการควบคุมการทำงานของเมาส์คอมพิวเตอร์สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหวโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ (Brain Computer Interface) สำหรับควบคุมการกดปุ่มเมาส์ (Mouse click simulation) โดยฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG Acquisition Unit) ทำหน้าที่บันทึกและประมวลผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองเบื้องต้นแปลงสัญญาณจาก Analogue เป็น Digital ส่งสัญญาณต่อไปยังหน่วยประมวลผลสัญญาณแบบไร้สายทำหน้าที่รับ ส่งสัญญาณระหว่างเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองและหน่วยประมวลผลแบบไร้สายทำงานร่วมกับ Microcontroller Atmega 8 ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเครื่องบันทึกสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองไปทำการประมวลผลหน่วยประมวลผลสัญญาณ (Signal processing unit) ทำหน้าที่กำหนดรูปแบบของสัญญาณขาเข้าไปเป็นคำสั่งให้อุปกรณ์ภายนอกทำงาน ในที่นี้คือการกดปุ่มเมาส์โดยรูปแบบของคำสั่งจากหน่วยประมวลผลเป็นรหัสตัวเลขที่ได้จากการประมวลผลคลื่นไฟฟ้าสมอง รูปแบบของคำสั่งจากหน่วยประมวลผลสำหรับการกดปุ่มเมาส์จะทำงานตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์เมื่อสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองจากหน่วยประมวลผล อ่านค่าระดับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองจากระดับ 0-100 กำหนดระดับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองที่ทำให้เกิดการกดปุ่มซ้ายของเมาส์ทำงานที่ระดับ 70 โปรแกรมคอมพิวเตอร์พัฒนาด้วยภาษา C++ และ Microcontroller Atmega 8 ส่งสัญญาณการกดปุ่มเมาส์ทางพอร์ท USB mouse click control unit ทำหน้าที่แปลงรหัสตัวเลข 70 ที่กำหนดให้เป็นรหัสสำหรับการกดปุ่มซ้ายของเมาส์ การกดปุ่มเมาส์จะเกิดขึ้นทุกครั้งเมื่อหน่วยประมวลผลสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองอ่านค่าคลื่นไฟฟ้าสมองได้ที่ระดับ 70

2. ผลการพัฒนาฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ประมวลผลระบบติดตามดวงตาสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์คอมพิวเตอร์ (Computer mouse pointing) ฮาร์ดแวร์ประมวลผลระบบติดตามดวงตาประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหวดวงตา ทำหน้าที่ถ่ายภาพเคลื่อนไหวของดวงตา แล้วส่งสัญญาณภาพเคลื่อนไหวดวงตาไปยังแผงวงจรไฟฟ้าเพื่อประมวลผลทิศทางการเคลื่อนไหวของดวงตา แผงวงจรไฟฟ้าที่ประมวลผลและควบคุมสัญญาณการเคลื่อนไหวดวงตาประกอบด้วย Microcontroller และโปรแกรมทำหน้าที่ถอดรหัสทิศทางการเคลื่อนไหวดวงตา ซอร์ฟแวร์ประมวลผลระบบติดตามดวงตาประกอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับแปลงรหัสการเคลื่อนไหวของดวงตา

เป็นสัญญาณควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์ในสี่ทิศทางคือ ซ้าย ขวา บน และล่าง

3. ผลการบูรณาการฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา การบูรณาการฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตาเป็นการเชื่อมประสาน (Interface) ระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอร์ฟแวร์ประมวลผลระบบติดตามดวงตาสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ เข้าด้วยกันเป็นระบบเพื่อควบคุมการทำงานของเมาส์ในการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เพื่อหา Icon และจำลองการกดปุ่มเมาส์ (Click) เพื่อเลือก Icon แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ฮาร์ดแวร์ระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์และฮาร์ดแวร์ระบบติดตามดวงตาระบบที่บูรณาการ

4. ผลของการนำฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตาผู้พิการทางการเคลื่อนไหว

4.1 ผลการทดสอบการพิมพ์อักษรภาษาไทยด้วยระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตาของอาสาสมัครคนปกติจำนวน 30 คนเพื่อหาข้อบกพร่องของระบบก่อนนำไปใช้งานจริงกับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว ผลการทดสอบปรากฏว่า ความเร็วในการพิมพ์สูงสุด 14 อักษรต่อนาที ความเร็วในการพิมพ์ต่ำสุด 8 อักษรต่อนาที ค่าเฉลี่ยของความเร็วในการพิมพ์อยู่ที่ 10 อักษรต่อนาที ความเร็วในการพิมพ์อักษรของอาสาสมัครแต่ละคนใกล้เคียงกันโดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.32 ส่วนผลค่าผิดพลาดในการพิมพ์สูงสุดอยู่ที่ 6 ครั้ง ต่ำสุดอยู่ที่ 0 ครั้ง อัตราความผิดพลาดในการพิมพ์เฉลี่ย 4% โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.36

4.2 ผลการนำฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ที่ได้จากการบูรณาการระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ และระบบติดตามดวงตาไปใช้ ในการควบคุมการทำงานของเมาส์คอมพิวเตอร์ สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว ทำการทดสอบด้วยวิธีการพิมพ์อักษร

ภาษาไทยบนแป้นพิมพ์บนจอภาพ (On screen keyboard) ที่พัฒนาขึ้น สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว เป็นการทดสอบประสิทธิภาพฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้พิการทางการเคลื่อนไหวจากศูนย์ฟื้นฟูสมรรถภาพคนงานประจำภาคตะวันออก จังหวัดระยอง จำนวน 4 คนผลการทดสอบพบว่าความเร็วในการพิมพ์ (Typing speed 1) สูงสุด 11.76 อักษรต่อนาที ความเร็วในการพิมพ์ต่ำสุด 8.90 อักษรต่อนาที ค่าเฉลี่ยของความเร็วในการพิมพ์อยู่ที่ 10.09 อักษรต่อนาที ความเร็วในการพิมพ์อักษรของอาสาสมัครแต่ละคนใกล้เคียงกัน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.28 ความผิดพลาดในการพิมพ์ (Error rate) สูงสุดอยู่ที่ 4 ครั้ง ต่ำสุดอยู่ที่ 2 ครั้ง อัตราความผิดพลาดในการพิมพ์เฉลี่ยเท่ากับ 9.02% ความผิดพลาดในการพิมพ์อักษรของอาสาสมัครแต่ละคนใกล้เคียงกันโดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.96 ผลการพิมพ์ของอาสาสมัครแต่ละคนแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการพิมพ์ของอาสาสมัครแต่ละคน

อาสาสมัคร	ความเร็วในการพิมพ์ 36 ตัวอักษร	ความผิดพลาด	
	อักษร/นาที	อักษร	%
1	9.31	3	8.33%
2	10.40	4	11.11%
3	8.90	4	11.11%
4	11.76	2	5.55%
Min	8.90	2	5.55%
Max	11.76	4	11.11%
Mean	10.09	3.25	9.02%
SD	1.28	0.96	

ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งาน ฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ที่ได้จาก การบูรณาการระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ และระบบติดตามดวงตาไปใช้ ในการควบคุมการทำงานของเมาส์คอมพิวเตอร์สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว ปรากฏว่าการออกแรงในการใช้เครื่องมือ (The force required for actuation) ความสะดวกสบายทั่วไป (General comfort) และความเมื่อยล้าของคอ (Neck fatigue) มีระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยที่ระดับ 4 คือมีความพึงพอใจมาก

ความลื่นไหลขณะใช้เครื่องมือ (Smoothness during operation) ความพยายามที่ต้องใช้สมองในการใช้งานเครื่องมือ (The mental effort require for operation) ความเร็วในการใช้งาน (Operation speed) ภาพรวมในการใช้งานอุปกรณ์ขาเข้า (Overall, the input device was) มีระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยที่ระดับ 3.5 คือมีความพึงพอใจปานกลางถึงมาก

ความแม่นยำ (The accurate pointing) มีระดับคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยที่ระดับ 3 คือมีความพึงพอใจปานกลาง

สรุปความพึงพอใจในการนำฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ที่ได้จากการบูรณาการ ระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ และระบบติดตามดวงตาไปใช้ ในการควบคุมการทำงานของเมาส์คอมพิวเตอร์ สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหวพบว่า ความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลางถึงมาก

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ลูกผสมระบบการสื่อสารระหว่างสมองกับคอมพิวเตอร์ และระบบติดตามดวงตาไปใช้ในการควบคุม

การทำงานของเมาส์คอมพิวเตอร์ สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการพิมพ์ได้ดีกว่าการพิมพ์ด้วยวิธีการพิมพ์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมอง หรือระบบติดตามดวงตาเพียงอย่างเดียวด้านความเร็วและความผิดพลาดซึ่งอภิปรายผลได้ดังนี้

1. การควบคุมการเคลื่อนที่ของเมาส์เคอร์เซอร์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการบนจอภาพ (Pointing) ด้วยระบบติดตามดวงตา ด้วยเทคโนโลยีการบันทึกภาพเคลื่อนไหวดวงตา โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของเมาส์เคอร์เซอร์มีผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการพิมพ์อักษรการพัฒนาฮาร์ดแวร์ระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการพิมพ์ที่สูงนั้นจะต้องควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของเมาส์ ให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของดวงตาในสี่ทิศทางคือ ซ้าย ขวา บน และล่าง โดยการใช้อิเล็กทรอนิกส์สวิทช์เมื่อดวงตามองไปด้านบนไม่ว่าจะเป็นด้าน บน-ซ้าย บน-กลาง หรือบน-ขวา การตอบสนองต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของเมาส์จะเป็นทิศทางเดียวคือ เมาส์จะเคลื่อนที่ไปด้านบนซึ่งจะทำให้เมาส์เคอร์เซอร์เคลื่อนที่เป็นไปอย่างมีระเบียบมีความแม่นยำ ควบคุมความเร็วได้ง่าย

การทดสอบความเร็วของการพิมพ์อักษรด้วยฮาร์ดแวร์ระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตาที่พัฒนาขึ้นมานั้น ระบบติดตามดวงตาจะทำหน้าที่ชี้ (Pointing) Icon ตำแหน่งอักษรที่ต้องการพิมพ์โดยเคอร์เซอร์ของเมาส์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่สอดคล้องกับดวงตาและหยุดตรงตำแหน่งที่ Icon ของอักษรที่ต้องการพิมพ์เพื่อรอรับคำสั่งเลือก Icon พิมพ์อักษรจากคลื่นไฟฟ้าสมองจากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยด้านความเร็วในการพิมพ์อักษรภาษาไทยด้วยระบบลูกผสม คลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา โดยผู้พิการทางการเคลื่อนไหวสามารถพิมพ์อักษรด้วยความเร็วเฉลี่ยที่ 10.09 ซึ่งเพียงพอสำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหวในการสื่อสารกับบุคคลอื่น แสดงดังภาพที่ 7 และลักษณะความพิการของอาสาสมัครแสดงดังตารางที่ 2

ภาพที่ 7 อาสาสมัครและลักษณะทางกายภาพของอาสาสมัครขณะทำการทดลอง

ตารางที่ 2 ลักษณะความพิการของอาสาสมัคร

อาสาสมัครคนที่	เพศ	ลักษณะความพิการ
1	ชาย	ไม่สามารถเคลื่อนไหวแขน ขา และคอได้ อายุ 23 ปี
2	หญิง	ไม่สามารถเคลื่อนไหวแขนและขาได้ อายุ 25 ปี
3	ชาย	เคลื่อนไหวแขนได้เล็กน้อยเขียนหนังสือไม่ได้ เดินไม่ได้ อายุ 35 ปี
4	ชาย	เป็นโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรง ALS ไม่สามารถเคลื่อนไหวแขนและขาได้ อายุ 57 ปี

2. อัตราความผิดพลาดในการพิมพ์อักษรซึ่งเกิดขึ้นในขั้นตอนการเลือกอักษร (Click) เฉลี่ยอยู่ที่ 9.02% ซึ่งเป็นอัตราที่สามารถยอมรับได้ สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหวในการสื่อสารกับบุคคลอื่นโดยเมื่อมีความชำนาญในการใช้เครื่องมือมากขึ้นอาสาสมัครสามารถทำการพิมพ์ด้วยความเร็วที่สูงขึ้นและอัตราความผิดพลาดในการพิมพ์ที่ต่ำลง

3. โปรแกรมแป้นพิมพ์บนจอภาพมีความสำคัญสูงต่อประสิทธิภาพในการพิมพ์ โปรแกรมที่นิยมใช้สำหรับการพิมพ์อักษรด้วยระบบติดตามดวงตาโดยทั่วไปได้แก่ Eye Graz ซึ่งเป็นโปรแกรมการพิมพ์อักษรที่มีรูปแบบ GUI คล้ายกับโปรแกรมการพิมพ์บนจอภาพที่มีการวางรูปแบบอักษรตามแบบมาตรฐานแป้นพิมพ์ QWERTY ที่พบในคอมพิวเตอร์ทั่วไป และ โปรแกรม Graz Talk ซึ่งเป็นโปรแกรมการพิมพ์อักษรที่มีรูปแบบโครงสร้างการแสดงรายการอักษรเรียงคำเป็นลำดับขั้นมี function ทำนายคำและอักษร (Word prediction) โปรแกรมเหล่านี้ได้พัฒนามาจากโปรแกรมแป้นพิมพ์บนจอภาพที่มีใช้กันทั่วไปในคอมพิวเตอร์ (Pannasch, Helmert, Malischke, Storch, & Velichkovsky, 2008) ข้อจำกัดของโปรแกรมเหล่านี้คือ ไม่มีพื้นที่ว่างให้เมาส์เคอร์เซอร์เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการพิมพ์อักษรที่ไม่ต้องการได้ ดังนั้นในการออกแบบโปรแกรมแป้นพิมพ์บนจอภาพสำหรับการพิมพ์อักษรด้วยระบบลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตาสำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหวนั้นจึงออกแบบให้มีช่องว่างระหว่างอักษรหรือระหว่าง Icon เพื่อลดความผิดพลาดในการเลือก Icon และทำการฝึกจนมีความชำนาญ ประสิทธิภาพในการพิมพ์อักษรก็จะสูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ลูกผสมคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา (Hybrid EEG Based BCI and Eye-Tracker) สำหรับควบคุมโปรแกรมการพิมพ์ภาษาไทยที่พัฒนาขึ้นเหมาะสำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหวที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวร่างกายได้ตั้งแต่ไหล่ลงมา ในการใช้งานคอมพิวเตอร์ควรเตรียมการสำหรับการใช้งานเครื่องมือโดยผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมการใช้เครื่องมือมาก่อน

2. นักพัฒนานวัตกรรมสามารถนำเครื่องมือนี้ไปประยุกต์ในการควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์โดยปราศจากการสัมผัส (Touch less) เช่น แป้นพิมพ์ อุปกรณ์ชี้เป้า (Pointer) เมาส์ Touchpad สำหรับผู้พิการทางการเคลื่อนไหว พัฒนาเกมและอุปกรณ์การเล่นเกมโดยไม่สัมผัสพัฒนาระบบการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทำกายภาพบำบัด (Rehabilitation control devices)

3. นักการตลาดสามารถนำเอาเครื่องมือนี้ไปใช้ในการวิจัยการตัดสินใจการเลือกซื้อสินค้า ด้วยการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของดวงตาสำหรับงานวิจัยด้านการตลาด

ข้อเสนอแนะการวิจัยต่อไป

1. ควรพัฒนาความแม่นยำในการตรวจจับการเคลื่อนไหวดวงตาของฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ประมวลผลระบบติดตามดวงตาสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของเคอร์เซอร์เมาส์คอมพิวเตอร์ด้วยทฤษฎีอื่น เช่น ทฤษฎีการตรวจจับสีของดวงตา (Eye color tracking) แต่ต้องใช้คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์รับภาพที่มีความสามารถในการประมวลผลที่สูงและมีราคาแพง

2. ควรพัฒนาวิธีการบันทึกและประมวลผลลักษณะเด่นของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าสมองประเภทอื่น ที่สะดวกและสามารถตอบสนองสัญญาณได้เร็ว โดยใช้ระยะเวลาการฝึกที่สั้น และประมวลผลได้ในแบบเวลาจริง (Real time) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ เช่น การตั้งใจเลือก (Selective attention)

3. การพัฒนาโปรแกรมแป้นพิมพ์จำลองสำหรับการพิมพ์ภาษาไทย (Thai virtual keyboard) ที่ควบคุมการพิมพ์ด้วยคลื่นไฟฟ้าสมองและระบบติดตามดวงตา (Hybrid EEG Based BCI and Eye-Tracker) ควรพัฒนาควบคู่ไปกับโปรแกรมทำนายอักษร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพิมพ์

4. ควรพัฒนาฮาร์ดแวร์ระบบติดตามดวงตาที่เป็นแบบติดตั้งกับศีรษะเพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้ายไปกับผู้พิการทางการเคลื่อนไหวพร้อมกับรถเข็น โดยพัฒนาแป้นพิมพ์อักษรด้วยประโยคสำเร็จรูปให้มีจำนวนประโยคที่มากขึ้นและตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน

References

Cardwell, M. S. (2013). Locked-in syndrome. *Texas medicine*, *109*(2), 213-230.

D'albis, T., Blatt, R., Tedesco, R., Sbattella, L., & Matteucci, M. (2012). A predictive speller controlled by a brain-computer interface based on motor imagery. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact., 19*(3), 1-25.

Drewes, H. (2010). *Eye gaze tracking for human computer interaction.* lmu.

Edmonds, W. A., & Kennedy, T. D. (2012). *An applied reference guide to research designs: Quantitative, qualitative, and mixed methods*: Sage.

Fok, S., Schwartz, R., Wronkiewicz, M., Holmes, C., Zhang, J., Somers, T., & Leuthardt, E. (2011). An EEG-based brain computer interface for rehabilitation and restoration of hand control following stroke using ipsilateral cortical physiology. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2011*, 6277-6280.

Gneo, M., Severini, G., Conforto, S., Schmid, M., & D'Alessio, T. (2011). Towards a brain-activated and eye-controlled wheel chair. *Int. J. Bioeletromagn, 13*, 44-45.

ISO 9241-9. (ISO.2000). Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)-Part 9: Requirements for non-keyboard input devices (FDIS-Final Draft International Standard), สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2557 จาก http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=30030

Pannasch, S., Helmert, J. R., Malischke, S., Storch, A., & Velichkovsky, B. M. (2008). Eye typing in application: a comparison of two systems with ALS patients. *J. Eye Mov. Res, 2*, 1-8.

McFarland, D. J., & Wolpaw, J. R. (2011). Brain-computer interfaces for communication and control. *Communications of the ACM*, *54*(5), 60-66.