

เทคนิคการตรวจวัดคลื่นสมองสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้โดยใช้วิธีจีราคาาประหยัดแบบน้อย  
ช่องสัญญาณ

นายกฤษณ์กร เยาว์มณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2555  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

BRAIN SIGNAL DETECTION METHODOLOGY FOR COGNITIVE REHABILITATION  
USING LOW-COST EEG WITH MINIMAL CHANNELS

Mr. Kridsakon Yaomanee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เทคนิคการตรวจวัดคลื่นสมองสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้โดยใช้ไอจีราคาประหยัดแบบน้อยช่องสัญญาณ
โดย	นายกฤษณ์กร เขาว์มณี
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เศรษฐา ปานงาม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศศิริวงษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิษณุ โคตรจรัส)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เศรษฐา ปานงาม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ดร. พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. วินัย ชนปรมัตถ์)

กฤษณ์กร เยาว์มณี : เทคนิคการตรวจวัดคลื่นสมองสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้โดยใช้  
 อีอีจีราคาประหยัดแบบน้อยช่องสัญญาณ . (BRAIN SIGNAL DETECTION  
 METHODOLOGY FOR COGNITIVE REHABILITATION USING LOW-COST EEG  
 WITH MINIMAL CHANNELS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. เศรษฐา ปานงาม,  
 อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร. พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา, 117 หน้า.

ในปัจจุบันมีอุปกรณ์ที่ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อตรวจวัดคลื่นสมองอย่างแพร่หลาย ทั้งแบบ  
 อุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีราคาสูงมากและอุปกรณ์ที่มีราคาประหยัด งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ  
 แนวทางที่จะสามารถนำอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นสมองที่มีราคาประหยัดมาใช้สำหรับการทำการฟื้นฟู  
 การรับรู้ในผู้สูงอายุให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้กับคลื่น  
 แกมมา เบต้า และแอลฟา หาดำแหน่งบนหนังศีรษะที่สามารถตรวจวัดคลื่นสมองได้อย่างมี  
 ประสิทธิภาพโดยใช้น้อยช่องสัญญาณ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่น  
 สมองระหว่างอุปกรณ์ g.MOBIIab+ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในมาตรฐานระดับงานวิจัยที่มีราคาสูงและ  
 อุปกรณ์ Emotiv EPOC ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาประหยัด งานวิจัยนี้ให้ผู้เข้ารับการทดลองจำนวน  
 10 คน โดยให้ผู้เข้ารับการทดลองทำแบบทดสอบเพื่อกระตุ้นการรับรู้ด้านต่างๆและตรวจวัดคลื่น  
 สมองของผู้เข้ารับการทดลองขณะทำแบบทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์ ผลจากการวิเคราะห์แสดง  
 ให้เห็นว่าเมื่อมีความตั้งใจสมองจะปล่อยพลังงานคลื่นเบต้าที่มีค่าสูงกว่าในขณะผ่อนคลาย  
 ในทางกลับกันเมื่อมีความผ่อนคลายสมองจะปล่อยพลังงานคลื่นแอลฟาที่มีค่าสูงกว่าในขณะ  
 ตั้งใจ และคลื่นแกมมาก็มีค่าพลังงานที่สูงขึ้นในขณะใช้ความทรงจำเช่นกัน จาก electrode  
 จำนวน 14 จุด ของ Emotiv EPOC งานวิจัยนี้ได้แนะนำจุดที่สามารถทำการตรวจวัดคลื่นสมองได้  
 ดีเป็นจำนวน 4 จุด คือ จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาและคลื่นเบต้าได้ดีคือจุดที่ 2(F7) และจุด  
 ที่ 13(F8) ตามลำดับ จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีคือจุดที่ 6(P7) และ 9(P8) และจาก  
 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ Emotiv EPOC และ g.MOBIIab+ โดยให้ผู้  
 เข้ารับการทดลองใช้งานโปรแกรมสะกดคำ ผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าสามารถนำอุปกรณ์  
 ตรวจวัดคลื่นสมอง Emotiv EPOC ที่มีราคาประหยัดนี้ไปใช้งานกับโปรแกรมสำหรับการทำการ  
 ฟื้นฟูการรับรู้ได้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่น้อยกว่าอุปกรณ์ g.MOBIIab+ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ใน  
 มาตรฐานระดับงานวิจัยที่มีราคาสูงเพียง 3%

ภาควิชา .....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์.... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา .....วิศวกรรมคอมพิวเตอร์... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา .....2555..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

## 5470113521 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : BRAIN SIGNAL / COGNITIVE REHABILITATION / EEG

KRIDSAKON YAOMANEE : BRAIN SIGNAL DETECTION METHODOLOGY FOR COGNITIVE REHABILITATION USING LOW-COST EEG WITH MINIMAL CHANNELS. ADVISOR : ASST.PROF. SETHA PAN-NGUM, Ph.D., CO-ADVISOR : PASIN ISARASENA, Ph.D., 117 pp.

At present, many devices that detect brain waves have been invented; the devices vary from the high-cost medical grade to low-cost commercial grade. This research work presents efficient methods for using low-cost commercial grade devices in cognitive rehabilitation. The research identifies an association between cognition and Alpha, Beta and Gamma waves. It also identifies appropriate locations on the scalp for detecting brain waves with minimal channels. Furthermore, it benchmarks between research grades high-cost EEG recording device g.MOBllab+ and commercial grades low-cost EEG recording device Emotiv EPOC. In this research, 10 volunteers did cognitive related activities and their EEGs were recorded. Data analysis shows that in high attention state, beta wave has higher power spectrum than in the relaxation state. On the other hand, in relaxation state alpha wave has higher power spectrum. And gamma wave has higher power spectrum when memory is utilized. From 14 electrode nodes of Emotiv EPOC, this research suggests that only 4 nodes are required for EEG measurement. The appropriate location for detecting the alpha wave is 2(F7), the appropriate location for detecting the beta wave is 13(F8), and the appropriate locations for detecting the gamma wave are 6(P7) and 9(P8). From the EEG device benchmarking between Emotiv EPOC and g.MOBllab+ using spelling program by volunteers, it can be concluded that the low cost commercial grade device Emotiv EPOC could be used for a cognitive rehabilitation system, as it has less accuracy than research grades high-cost EEG recording device g.MOBllab+ by only 3%.

Department : ...Computer Engineering....Student's Signature : .....

Field of Study : ..Computer Engineering... Advisor's Signature : .....

Academic Year : .....2012.....Co-Advisor's Signature : .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างยิ่งของ ผศ.ดร. เศรษฐา ปานงาม และ ดร. พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา ทั้งสองท่านได้ให้ความรู้ให้คำปรึกษา สละเวลาอันมีค่าของท่านมาช่วยงานในส่วนที่ขัดข้อง และชี้แนะแนวทางอันมีประโยชน์อีกมากมายตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ นายสุวิชา จิรายุเจริญศักดิ์ และ นายอภิสิทธิ์ เหมาคม ที่คอยแนะนำ ช่วยเหลือ และทำงานร่วมกันมาโดยตลอด ขอขอบคุณ อ.พญ.โสฬพัทธ์ เหมรัญชโรจน์ ที่ให้คำปรึกษาเรื่อง การทำงานของสมองและเทคนิคในการตรวจวัดคลื่นสมอง ขอขอบคุณผู้เข้ารับการทดลองทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี รวมถึงท่านอื่น ๆ ที่มีได้กล่าวชื่อไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ สำเร็จได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	23
3.2 การทดลองเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha, Beta และ Gamma สำหรับวัดระดับการรับรู้ได้ดีที่สุด 4 จุด.....	23
3.3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับ อุปกรณ์ g.MOBllab+ ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER.....	30
บทที่ 4 การทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	33
4.1 การทดลองเพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจ(Attention) กับคลื่น Alpha.....	33
4.1.1 การวิเคราะห์ผลความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจ(Attention) กับคลื่น Alpha.....	34
4.2 การทดลองเพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจ(Attention) กับคลื่น Beta.....	36

4.2.1 การวิเคราะห์ผลความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจ(Attention) กับคลื่น Beta.....	37
4.3 การทดลองเพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่างความทรงจำ(Memory) กับคลื่น Gamma.....	40
4.3.1 การวิเคราะห์ผลความเชื่อมโยงระหว่างความทรงจำ(Memory) กับคลื่น Gamma.....	40
4.4 การวิเคราะห์ผลแบบทดสอบที่สามารถกระตุ้นภาวะตั้งใจของผู้เข้ารับการทดลองได้ดีที่สุด.....	42
4.5 การทดลองเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha ได้ดี.....	43
4.5.1 การวิเคราะห์ผลการเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha ได้ดี.....	43
4.6 การทดลองเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Beta ได้ดี.....	46
4.6.1 การวิเคราะห์ผลเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Beta ได้ดี.....	46
4.7 การวิเคราะห์ผลการเลือกจุด 4 จุด ที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha และ Beta ได้ดี.....	49
4.8 การทดลองเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Gamma ได้ดี.....	51
4.8.1 การวิเคราะห์ผลเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Gamma ได้ดี.....	51
4.9 การวิเคราะห์ผลการเลือกจุด 4 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่น Alpha Beta และ Gamma ได้ดีที่สุดใน.....	58
4.9.1 การวิเคราะห์เหตุที่ต้องเลือกจุดสำหรับการตรวจวัดคลื่น Gamma 2 จุด.....	60
4.10 การวิเคราะห์ผลเพื่อการเพื่อการตรวจวัดคลื่นสมองแบบน้อยช่องสัญญาณ.....	62
4.11 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับ อุปกรณ์ g.MOBIlab+ ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER.....	68
4.11.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER.....	68



	ณ
	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป.....	72
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	74
รายการอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก.....	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	117

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่น EEG รุ่นต่างๆที่มีวางจำหน่ายโดยทั่วไป.....	14
2	ผลสรุปประสิทธิภาพในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ระหว่าง ANT และ Emotiv EPOC.....	19
3	แสดงจำนวนจุด electrode ที่ใช้วัดคลื่น EEG ของงานวิจัยต่างๆ.....	22
4	แสดงจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแแกมม่าจากมากไปหาน้อย โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย Power spectrum.....	53
5	แสดงจุดที่มีค่าเฉลี่ย Power spectrum คลื่นแแกมม่า ขณะผ่อนคลายลบบกับขณะเล่นเกมส์จับคู่รูปภาพ มีค่าเป็นลบเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ของผู้เข้ารับ การทดลองแต่ละคนเทียบกับค่าน้ำหนัก.....	55
6	แสดงการหาค่าเฉลี่ย Power spectrum แบบถ่วงน้ำหนักเพื่อหาจุดที่ดีในการ ตรวจวัดคลื่นแแกมม่า.....	56
7	จุดที่ดีที่สุดเรียงลำดับจากมากไปน้อยจากการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก.....	57
8	จุดร่วมระหว่างการหาแบบค่าเฉลี่ยรวมกับการหาแบบถ่วงน้ำหนัก.....	57
9	ผลการหาค่าเฉลี่ย Power spectrum ของการใช้จำนวนจุดต่างๆ.....	67
10	ผลการเรียงลำดับค่าเฉลี่ย Power spectrum ของการใช้จำนวนจุดต่างๆ.....	67
11	แบบบันทึกผลการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับ G.MobiLab+.....	68
12	แบบบันทึกผลการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับ G.MobiLab+.....	71

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	รูปแสดงการตรวจวัดคลื่น EEG จากสมองโดยใช้ electrode จำนวน 128 จุด เป็นอุปกรณ์หนึ่งในการตรวจวัดของบริษัท Courtesy Electrical Geodesics, Inc .....	6
2	ตัวอย่างของคลื่น EEG ที่ได้จากการตรวจวัด.....	7
3	ตัวอย่างของ EEG electrode.....	8
4	แสดงรูปคลื่นอัลฟา.....	9
5	แสดงรูปคลื่นเบต้า.....	9
6	แสดงรูปคลื่นแกมมา.....	10
7	แสดงรูปคลื่นเดต้า.....	10
8	ตำแหน่งศีรษะมุมมองด้านข้างแยกส่วนตัวอักษรตาม 10-20 system.....	11
9	ศีรษะมุมมองด้านบนแยกส่วนตัวอักษรตาม 10-20 system.....	12
10	ตำแหน่งการวาง electrode บนศีรษะตาม 10-20 system.....	13
11	อุปกรณ์ Emotiv EPOC.....	15
12	แสดงจุด electrode ทั้ง 14 จุดของ Emotiv EPOC เทียบกับระบบ 10-20.....	16
13	อุปกรณ์ g.MOBIlab+.....	16
14	ภาพรวมของระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	24
15	รูปตัวอย่างโปรแกรม BCI2000.....	25
16	Raw data text file.....	25
17	Raw data in .csv format.....	26
18	Raw data in matrix format.....	26
19	Raw data in vector format.....	27
20	Bandpass filter และ Power spectrum compute.....	28
21	โปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER .....	31
22	จุดที่ใช้ในการตรวจวัดคลื่นสัญญาณสมองจาก Emotiv EPOC.....	33
23	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแอลฟา ขณะผ่อนคลายหลับ ขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองอ่านหนังสือ.....	34

รูปที่		ฉ หน้า
24	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแอลฟา ขณะผ่อนคลายหลับกับ ขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองคุณภาพสามมิติ.....	35
25	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแอลฟา ขณะผ่อนคลายหลับกับ ขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองทำแบบประเมิน.....	35
26	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายหลับกับ ขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองอ่านหนังสือ.....	37
27	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายหลับกับ ขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองคุณภาพสามมิติ.....	38
28	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายหลับกับ ขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองทำแบบประเมิน.....	39
29	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายหลับกับ ขณะเล่นเกมสัจจับคู่ไฟ.....	41
30	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ของแต่ละแบบทดสอบ.....	42
31	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแอลฟา ขณะผ่อนคลายหลับกับ ขณะมีความตั้งใจ.....	43
32	ขั้นตอนในการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแอลฟา.....	44
33	กราฟแสดงการจัดอันดับค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแอลฟา ขณะผ่อน คลายหลับกับขณะมีความตั้งใจ.....	45
34	รูปแสดงจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแอลฟา.....	45
35	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายหลับกับ ขณะมีความตั้งใจ.....	46
36	ขั้นตอนในการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นเบต้า.....	47
37	กราฟแสดงการจัดอันดับค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อน คลายหลับกับขณะมีความตั้งใจ.....	48
38	รูปแสดงจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นเบต้า.....	48
39	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายหลับกับ ขณะมีความตั้งใจ.....	49
40	จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าได้ดี.....	50
41	ขั้นตอนในการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแกมมา.....	52

รูปที่	ผู้ หน้า
42	กราฟแสดงค่าเฉลี่ย Power spectrum คลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายหลับกับขณะ เล่นเกมจับคู่รูปภาพ ของผู้เข้ารับการทดลอง..... 53
43	จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นเกมมาได้ดี..... 58
44	จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าได้ดี..... 58
45	จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นเกมมาได้ดี..... 59
46	จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่น Alpha Beta และ Gamma ได้ดีที่สุด..... 59
47	จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่น Gamma ได้ดีที่สุด..... 61
48	จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่น Alpha Beta และ Gamma ได้ดีที่สุด..... 62
49	3 จุดแรกที่ทำกรวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวม..... 63
50	ค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ F7(CH2) F8(CH13) และ P7(CH6)..... 63
51	3 จุดที่สองที่ทำกรวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวม..... 64
52	ค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ F7(CH2) F8(CH13) และ P8(CH9)..... 64
53	4 จุดที่ทำกรวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวม..... 65
54	ค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ F7(CH2) F8(CH13) P7(CH6) และ P8(CH9).... 65
55	6 จุดที่ทำกรวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวม..... 66
56	ค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ AF3(CH1) F7(CH2) P7(CH6) FC6(CH11) F8(CH13) และ P8(CH9)..... 66

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผู้สูงอายุเป็นกลุ่มคนที่ควรได้รับความใส่ใจในการดูแลเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นวัยที่ร่างกายเริ่มเสื่อมสภาพจากการใช้งานมาตลอดชีวิต กลุ่มผู้สูงอายุเป็นกลุ่มคนที่ยังมีประสิทธิภาพที่จะทำงานหรือเป็นที่ปรึกษาที่ดีของคนรุ่นใหม่ได้เนื่องจากประสบการณ์ที่สั่งสมมาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ทั้งนี้ประสิทธิภาพการทำงานของผู้สูงอายุขึ้นอยู่กับความรู้ของสมองและความทรงจำ ซึ่งในปัจจุบันมีผู้สูงอายุจำนวนมากที่ต้องเผชิญกับโรคเกี่ยวกับการเสื่อมถอยของการรับรู้หรือความทรงจำ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือโรคอัลไซเมอร์หรือโรคความจำเสื่อม ทางด้านสถาบันวิศวกรรมฟื้นฟูสมรรถภาพและเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก (REAT) เนคเทค ได้สังเกตเห็นปัญหานี้และได้ริเริ่มโครงการเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้บีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุขึ้นมา

โครงการนี้ได้สนใจเกี่ยวกับการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุเป็นพิเศษ การฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุในปัจจุบันจะทำการฟื้นฟูโดยให้ผู้สูงอายุทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การฝึกสมองโดยการคิดเลข การนั่งสมาธิ การเล่นเกมสลับรูปแบบต่างๆ เป็นต้น ซึ่งการฝึกฝนด้วยกิจกรรมต่างๆเหล่านี้เป็นการฝึกฝนที่สามารถช่วยฟื้นฟูการรับรู้ได้จริง โดยหลังจากการทำกิจกรรมผู้สูงอายุจะได้รับการทำแบบทดสอบมาตรฐานซึ่งเป็นแบบฝึกหัดที่ทำบนกระดาษหรืออาจใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้วัดระดับการรับรู้ อย่างเช่น โปรแกรม CANTAB จาก Cambridge Cognition ในการทำการวิเคราะห์ผลการรับรู้ [53] จะเห็นได้ว่าข้อด้อยของเครื่องมือหรือกิจกรรมที่ใช้ทำการฟื้นฟูเหล่านี้คือไม่สามารถเห็นผลการเปลี่ยนแปลงของคลื่นสมองแบบทันทีทันใดได้ ในขณะที่ใช้เครื่องมือหรือทำกิจกรรมเหล่านั้น ซึ่งโครงการเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้บีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุนี้เป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยทำการฟื้นฟูการรับรู้โดยการใช้คลื่นสมองของผู้เข้ารับการฟื้นฟูควบคุมสั่งการระบบโดยตรงและมีจุดเด่นตรงที่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นสมองได้แบบทันทีทันใด สามารถบันทึกข้อมูลของผู้เข้ารับการฟื้นฟูแต่ละคนจากการตรวจวัดคลื่นสมองได้โดยตรงขณะทำการฟื้นฟูและเห็นพัฒนาการของคลื่นสมองของผู้เข้ารับการฟื้นฟูในแต่ละครั้งที่เข้ารับการฟื้นฟู สืบเนื่องมาจากงานวิจัยทางการแพทย์พบว่าคลื่น Alpha, Beta และ Gamma ที่ส่งออกมาจากการส่งผ่านคลื่นไฟฟ้าระหว่างเส้นใยประสาทในสมองมีความสัมพันธ์กับการทำงาน

ของสมองในส่วนการรับรู้และจดจำ โครงการนี้จึงสนใจนำเทคโนโลยีบีซีไอมาใช้โดยใช้เครื่องมือที่ชื่อว่า Emotiv EPOC ในการวัดคลื่นสมอง

งานวิจัยนี้เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของโครงการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยงานวิจัยนี้จะดำเนินการหาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น Alpha, Beta และ Gamma กับการรู้จำ และเลือกจุดบนหนังศีรษะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวัดคลื่นสัญญาณสมองของแต่ละคลื่นความถี่จากวิธี digital signal processing โดยมีจุดประสงค์ที่จะลดจำนวนจุดในการวัดให้น้อยที่สุดเพื่อความแม่นยำและสะดวกในการใช้งานในโครงการเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้บีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุ และงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ Emotiv EPOC ซึ่งมีราคาต่ำกว่าอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีราคาสูงเพื่อยืนยันว่าสามารถใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC ในโครงการเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้บีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุได้จริง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่น EEG สำหรับงานวิจัย (Research grade) ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER
- เลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha, Beta และ Gamma สำหรับวัดระดับการรับรู้ได้ดีที่สุด 4 จุด

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- ใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC neuroheadset ในการตรวจวัดคลื่น EEG
- พัฒนาคอนเฟอเรนซ์ BCI2000 Framework และ Matlab
- ผู้เข้ารับการทดลองที่รับการตรวจวัดคลื่น EEG จำนวน 10 คน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากองค์ความรู้ที่ได้มาจากงานวิจัยนี้ในเรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น Alpha, Beta และ Gamma กับการรู้จำ การเลือกจุดบนหนังศีรษะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวัดคลื่นสัญญาณสมองของแต่ละคลื่นความถี่จากวิธี digital signal processing เพื่อลดจำนวนจุดในการวัดให้น้อยที่สุดเพื่อความแม่นยำและสะดวกในการนำไปใช้งานต่อไปในโครงการเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้บีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุ ทำให้งานวิจัยนี้เป็นส่วนเสริมให้โครงการเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้บีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุมีประสิทธิภาพ มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น และทำให้ผู้ที่ทำงานส่วนอื่นๆ ในโครงการสามารถทำงานในส่วนของ

ตัวเองได้อย่างเต็มที่ โดยที่ไม่ต้องมาศึกษาเกี่ยวกับเรื่องในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและสรุปผลไว้แล้ว

ประโยชน์สูงสุดที่จะได้รับเมื่อเกิดการต่อยอดจนได้ระบบเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้บีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุ คือจะได้ระบบเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้บีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุที่ประกอบด้วยส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวก ผู้สูงอายุที่ได้ใช้ระบบนี้จะสามารถรับรู้ได้ถึงระดับการรับรู้ของตนเองและสามารถพัฒนาให้สูงขึ้นได้ โดยการฝึกฝนจากผลการตอบสนองแบบทันทีทันใดของระบบ ทำให้เกิดมิติใหม่ของการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุ ซึ่งอาจนำไปสู่การลดจำนวนลงของผู้ป่วยทางด้าน การรับรู้ในที่สุด

### 1.5 วิธีดำเนินการทำวิจัย

- ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ BCI
- ศึกษาการทำงานของ BCI2000 ในการเชื่อมต่อกับ Emotiv EPOC Headset และ Matlab
- ศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณ Alpha, Beta และ Gamma wave โดยศึกษาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสมองส่วนการรับรู้ (Cognitive) คือ ด้านความตั้งใจ (Attention) และ การรู้จำ (Memory)
- เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC Headset กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่น EEG สำหรับงานวิจัย (Research grade) ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER
- ออกแบบตัวกรองสัญญาณให้ได้ช่วงสัญญาณความถี่ที่ต้องการเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลในขั้นต่อไป
- ออกแบบการทดลองเพื่อหาความเกี่ยวข้องระหว่าง ความตั้งใจ (Attention) กับ สัญญาณ Alpha และ Beta wave และความเกี่ยวข้องระหว่าง การรู้จำ (Memory) กับ สัญญาณ Gamma wave
- พัฒนาตัวกรองสัญญาณและระบบที่จะนำไปทดลองซึ่งได้มาจากการออกแบบจากข้อก่อนหน้า
- ดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลองโดยใช้ผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 10 คน
- วิเคราะห์ผลเพื่อลดจำนวนช่องสัญญาณในการตรวจวัด
- นำผลการทดลองจากข้อก่อนหน้ามาเป็นองค์ความรู้เพื่อที่จะพัฒนาระบบเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้บีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุให้ดีที่สุด โดยส่งผล





แผนงานวิจัย	เดือนที่											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1. ศึกษาการทำงานของระบบ BCI												
2. ศึกษาการทำงานของ BCI2000 ในการเชื่อมต่อกับ Emotiv EPOC Headset และ Matlab												
3. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ สัญญาณ EEG กับการรู้จำ												
4. ออกแบบระบบที่จะนำไปใช้ เก็บข้อมูล EEG จากผู้เข้ารับ การทดลอง												
5. ดำเนินการทดลองและบันทึก ผลการทดลองจากผู้เข้ารับ การทดลอง	**	**	**									
6. ทำการทดสอบประเมิน การใช้งานกับระบบ VR					**	**	**					
7. เขียนบทความวิชาการ				**								
8. เขียนวิทยานิพนธ์/สอบ								**	**	**	**	**

### 1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง Brain Signal Detection Methodology for Attention Training using minimal EEG channels [4] โดย นายกฤษณ์กร เขาวังมณี ผศ.ดร. เศรษฐา ปานงาม และ ดร. พศิน อิศรเสนา ณ อยุธยา ในงานประชุมวิชาการ IEEE ICT and Knowledge Engineering 2012 Conference (ICT-KE 2012) ณ มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพฯ ประเทศไทย ระหว่างวันที่ 21 – 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 Electroencephalogram

Electroencephalogram หรือ EEG คือภาพคลื่นไฟฟ้าสมอง โดยส่วนใหญ่ใช้จุด electrode จำนวน 20 ถึง 256 จุด ติดกับบริเวณหนังศีรษะของผู้เข้ารับการตรวจวัดเพื่อดูภาพคลื่นไฟฟ้าสมอง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแสดงการตรวจวัดคลื่น EEG จากสมองโดยใช้ electrode จำนวน 128 จุด เป็นอุปกรณ์หนึ่งในการตรวจวัดของบริษัท Courtesy Electrical Geodesics, Inc [3]

สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดนี้จะถูกส่งไปยังระบบประมวลผลที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วย amplifier, filter และ กระจกขั้วบันทึกหรือจอคอมพิวเตอร์ การตรวจวัดคลื่น EEG นี้ถูกใช้ครั้งแรกโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ชื่อ Hans Berger ในปี 1924 และเขายังได้ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่มีนัยยะสำคัญจากการทดลองของเขา นั่นคือ การกระพริบตาหรือหลับตาทำให้รูปคลื่นสัญญาณเปลี่ยนไป[3]

ประจุไฟฟ้าจากสมองเกิดขึ้นโดยเส้นใยประสาทนับล้านเส้น เส้นใยประสาทสร้างกระแสไฟฟ้านี้ได้โดยการถ่ายเทโปรตีนของเยื่อหุ้มเซลล์ที่จะส่งประจุไฟฟ้าระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ เส้นใยประสาทจะแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้ากับ extracellular milieu ประจุไฟฟ้าที่มีประจุเหมือนกัน จะมีแรงผลักต่อกันและเมื่อประจุไฟฟ้าถูกผลักออกจากเส้นใยประสาทหลายๆเส้นในเวลาเดียวกัน มันจะผลักเส้นใยประสาทข้างๆ ส่วนเส้นใยประสาทข้างๆนั้นก็ผลักเส้นใยประสาทข้างๆต่อไปเช่นกัน จนทำให้เกิดเป็นคลื่น กระบวนการนี้ถูกเรียกว่า Volume conduction เมื่อคลื่นของประจุไฟฟ้าเหล่านี้เดินทางไปถึง electrode บนหนังศีรษะ มันจะทำการผลักหรือดึง electron บนโลหะของ electrode ในที่สุดเมื่อโลหะถูกดึงและผลักโดย electron ผลต่างของค่าความต่างศักย์ระหว่าง electrode สองจุดสามารถวัดได้โดยโวลต์มิเตอร์ และการบันทึกค่าความต่างศักย์เหล่านี้ในช่วงเวลาหนึ่งๆทำให้เราได้คลื่น EEG ออกมา[4] ดังตัวอย่างในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างของคลื่น EEG ที่ได้จากการตรวจวัด [17]

### 2.1.2 EEG electrodes

EEG electrode (รูปที่ 3) คือ แผ่นโลหะขนาดเล็กส่วนใหญ่ทำมาจากสเตนเลส ดีบุก ทอง ทองแดงหรือเงิน เคลือบด้วยคอลลอยด์ของอนุภาคเงิน สัมผัสกับหนังศีรษะในจุดที่ต้องการวัดคลื่น EEG [18]

ส่วนที่เป็นโลหะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าขึ้นมา และยังมีอีกส่วนหนึ่งที่ทำตัวเป็นตัวนำไฟฟ้าจากสมองมาสู่ตัว electrode ตัวนำไฟฟ้านี้อาจจะเป็นน้ำเกลือ เจล หรือยาป้ายที่นำไฟฟ้าชนิดต่างๆ การรวมตัวกันระหว่างโลหะและตัวนำไฟฟ้าเหล่านี้เมื่อได้สัมผัสกับหนังศีรษะจะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในสมองออกมาเป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ใน electrode ได้ในที่สุด [19]



รูปที่ 3 ตัวอย่างของ EEG electrode [20]

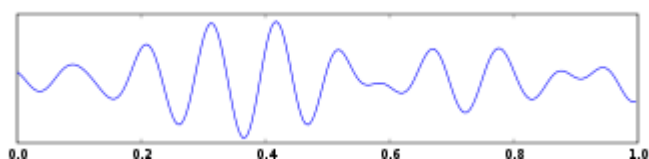
### 2.1.3 คลื่น EEG ชนิดต่างๆ

การจำแนกชนิดของคลื่น EEG สามารถแบ่งด้วยความถี่ของช่วงคลื่นที่ต่างกันได้ดังนี้

#### (1) Alpha

คลื่นอัลฟา (รูปที่4) เป็นคลื่นที่เกิดจากเส้นใยประสาทของสมองในช่วงความถี่ระหว่าง 8-12 Hz ถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าคลื่น Berger เพื่อเป็นเกียรติให้กับผู้ค้นพบคลื่นนี้

คลื่นอัลฟามีความแรงของคลื่นมากในขณะมนุษย์หลับตาและรู้สึกผ่อนคลาย คลื่นอัลฟาจะมีความแรงของคลื่นลดลงเมื่อเปิดตาและมีความตั้งใจ (Attention)[8]

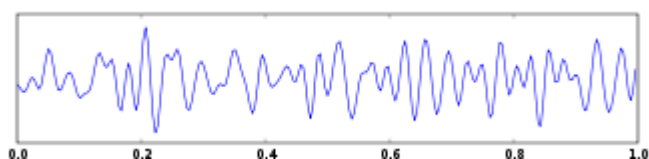


รูปที่ 4 แสดงรูปคลื่นอัลฟา [7]

#### (2) Beta

คลื่นเบต้า(รูปที่5) เป็นคลื่นที่เกิดจากเส้นใยประสาทของสมองในช่วงความถี่ระหว่าง 12-30 Hz แยกเป็น 3 ช่วงคลื่นคือ Low Beta ที่ความถี่ 12.5-16 Hz Beta 16.5-20 Hz และ High Beta ที่ 20.5-28 Hz คลื่นเบต้ามีความสัมพันธ์กับสมองมนุษย์ในขณะดำเนินชีวิตปกติในสภาวะตื่นและยังมีสติ [9]

คลื่นความถี่เบต้าในช่วงคลื่นต่างๆมีความสัมพันธ์กับการตื่นตัวของสมอง ความคิดที่ยุ่งเหยิงและความคิดที่ต้องใช้สมาธิ [10]

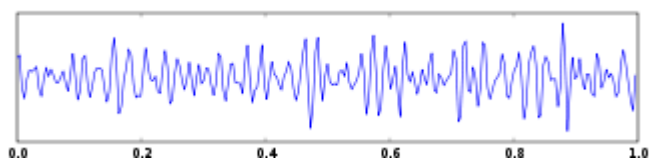


รูปที่ 5 แสดงรูปคลื่นเบต้า [11]

#### (3) Gamma

คลื่นแกมมา(รูปที่6) เป็นคลื่นที่เกิดจากเส้นใยประสาทของสมองในช่วงความถี่ระหว่าง 30-100 Hz

คลื่นแกมมามีความเป็นไปได้ที่จะเป็นส่วนสำคัญในการสร้างความสัมพันธ์ของการรวมเป็นหนึ่งเดียวกันของระบบความคิดในสมองหรือการรู้จำ(Cognitive)[13][14][2]



รูปที่ 6 แสดงรูปคลื่นแกมมา [12]

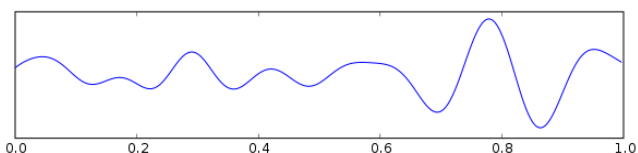
#### (4) Theta

คลื่นเตต้า(รูปที่7) เป็นคลื่นที่ตรวจวัดได้จากสมอง คลื่นเตต้าแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ Hippocampal theta rhythm และ Cortical theta rhythms

ชนิดแรก Hippocampal theta rhythm เป็นชนิดที่มีความแรงของคลื่นสูง สามารถตรวจวัดได้จากสมองส่วน Hippocampus และส่วนอื่นๆของสมองในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหลายเผ่าพันธุ์ เช่น สัตว์ตระกูลหนู กระต่าย หมา ค้างคาว และสัตว์ตระกูลที่มีกระเปาะหน้าท้อง [16]

ชนิดที่สอง Cortical theta rhythms เป็นชนิดที่มีความถี่ของคลื่นต่ำที่วัดได้จากวิธี EEG ส่วนใหญ่จะตรวจวัดจากมนุษย์

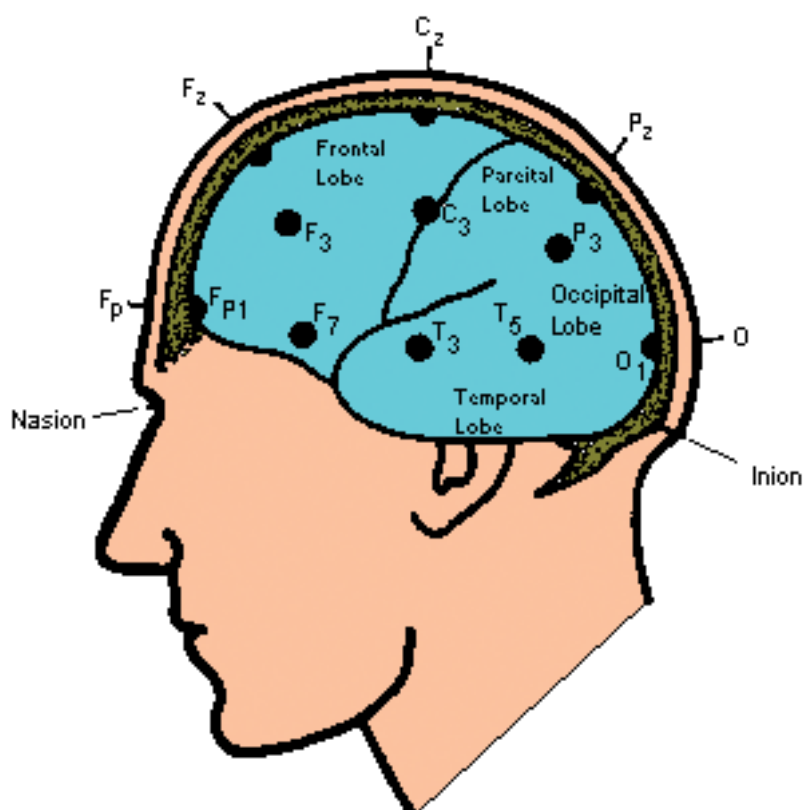
ในการศึกษา EEG ในมนุษย์คลื่นเตต้าหมายถึงคลื่นความถี่ในย่าน 4-7 Hz คลื่นเตต้าจะพบมากในเด็กเล็ก สำหรับในเด็กโตและผู้ใหญ่คลื่นนี้จะพบมากในขณะง่วงนอน มีสมาธิ หรือตอนหลับ



รูปที่ 7 แสดงรูปคลื่นเตต้า [15]

### 2.1.4 10-20 System [5]

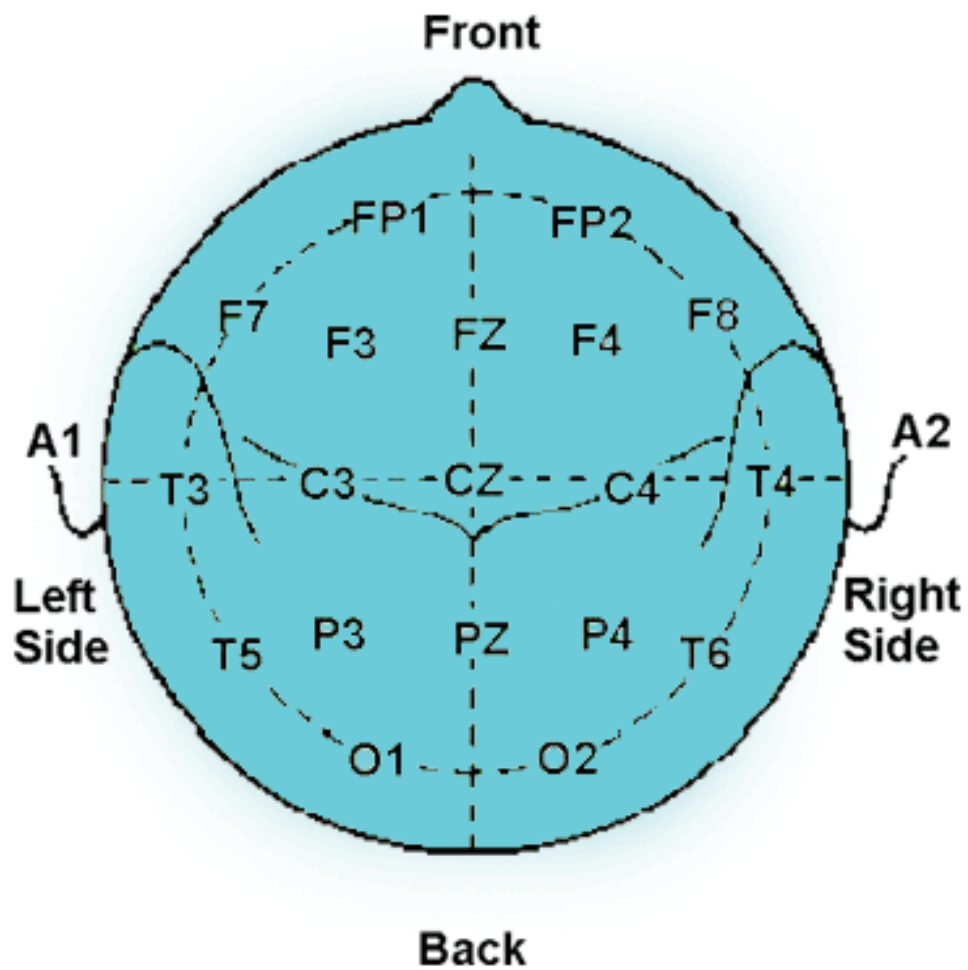
10-20 System เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อกำหนดจุดให้กับตำแหน่งที่จะวาง Electrode บนหนังศีรษะสำหรับการตรวจวัดคลื่น EEG ระบบนี้มีพื้นฐานมาจากความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการวาง Electrode กับพื้นที่ส่วนที่เป็น cerebral cortex แต่ละจุดจะถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ตัวอักษรและตัวเลขเพื่อระบุถึงตำแหน่งบนหนังศีรษะ



รูปที่ 8 ตำแหน่งศีรษะมุมมองด้านข้างแยกส่วนตัวอักษรตาม 10-20 system [21]

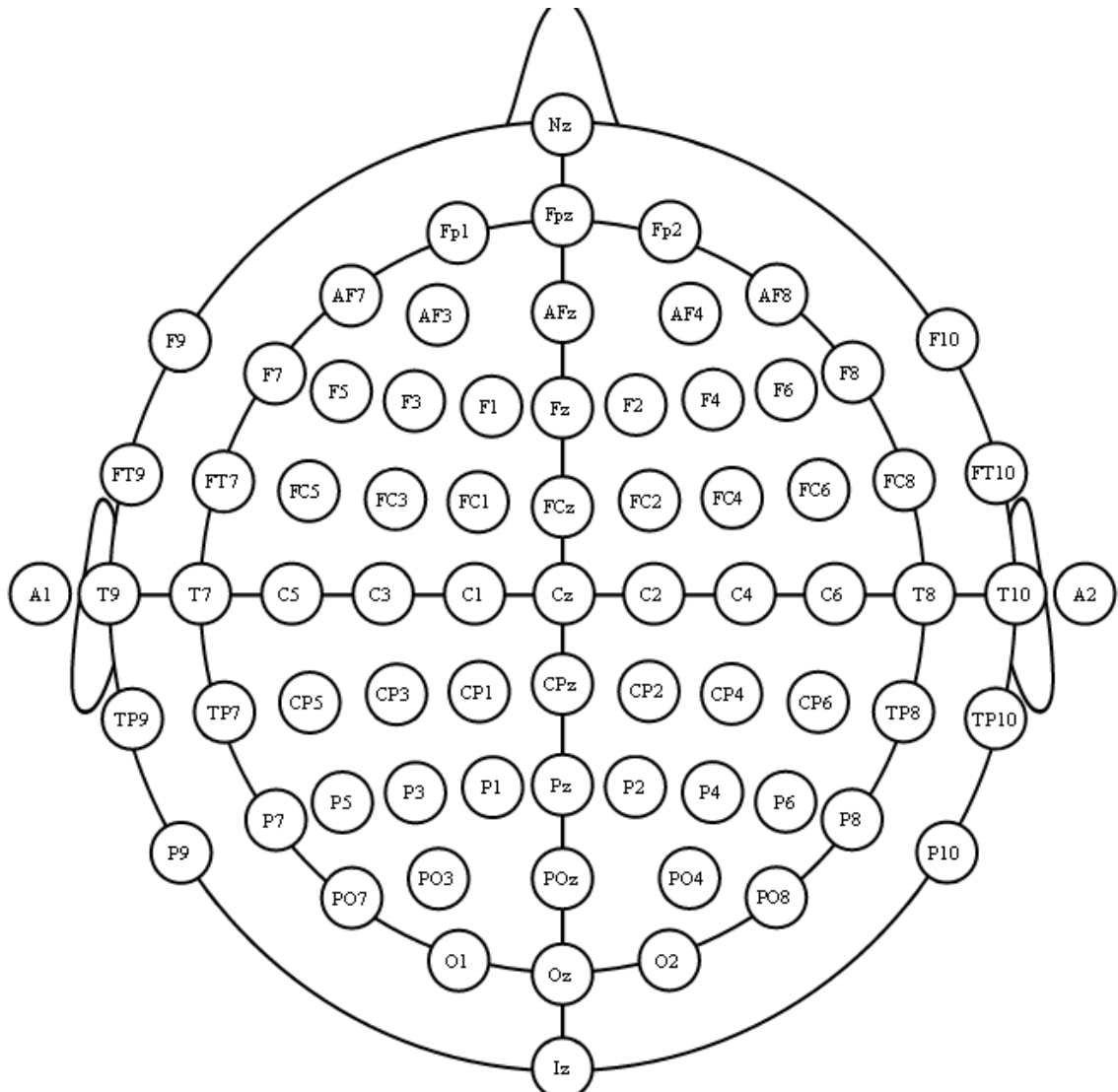
ตัวอักษรที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งมีดังนี้คือ “F” แทนหนังศีรษะบริเวณส่วนหน้า “T” แทนบริเวณส่วนขมับ “C” แทนหนังศีรษะบริเวณส่วนกลาง “P” แทนหนังศีรษะบริเวณด้านข้าง “O” แทนหนังศีรษะบริเวณด้านหลัง เลขคู่ (2,4,6,8) แทนซีกขวาของศีรษะ และเลขคี่ (1,3,5,7) แทนซีกซ้ายของศีรษะ อักษร “Z” แทนจุดกึ่งกลางของศีรษะ “Fp” ย่อมาจาก Front polar หรือ หน้าผาก “Nasion” คือจุดบริเวณระหว่างหน้าผากและจมูก “Inion” คือจุดที่อยู่ตรงโหนกท้ายทอย ซึ่งจะสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 8 ที่แสดงในมุมมองด้านข้างและรูปที่ 9 ที่แสดงในมุมมองด้านบน “10” และ “20” หรือ (10-20 system) มีที่มาจาก ระยะห่าง 10% และ 20% ระหว่างจุด electrode ข้างเคียง ตำแหน่งทั้งหมดของ 10-20 system ได้แสดงไว้ในรูปที่ 10





รูปที่ 9 ศีรษะมุมมองด้านบนแยกส่วนตัวอักษรตาม 10-20 system [22]

หากต้องการตรวจจับคลื่น EEG ที่ละเอียดขึ้น จำเป็นต้องใช้ electrode เพิ่มเติม electrode เหล่านี้จะถูกเพิ่มเข้าไปในพื้นที่ว่างระหว่าง electrode ของ 10-20 system ระบบใหม่ที่ได้เพิ่ม electrode เข้าไปนี้ได้ถูกเรียกว่า Modified Combinatorial Nomenclature หรือ MCN



รูปที่ 10 ตำแหน่งการวาง electrode บนศีรษะตาม 10-20 system [6]

### 2.1.5 อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่น EEG

มีอุปกรณ์หลากหลายชนิดที่ผลิตขึ้นมาเพื่อตรวจวัดคลื่น EEG มีทั้งแบบที่ผลิตออกมาทางการแพทย์ซึ่งมีความแม่นยำของการตรวจวัดสูงแต่มีราคาแพงและเคลื่อนย้ายไม่สะดวก ในตารางที่ 1 ได้แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่น EEG รุ่นต่างๆที่มีวางจำหน่ายโดยทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ใช้งานได้สะดวก มีราคาต่ำกว่าอุปกรณ์ทางการแพทย์

ชื่ออุปกรณ์	ราคา	จำนวน Electrodes	SDK	ผู้ผลิต
MindWave	\$99.95 <sup>[23]</sup>	1	มี <sup>[24]</sup>	NeuroSky
Mindflex	\$40 <sup>[25]</sup>	1	ไม่มี	Mattel(Neuroskypartner)
Emotiv EPOC	\$299 <sup>[26]</sup>	14	มี <sup>[27]</sup>	Emotiv Systems
Star Wars Force Trainer	\$40 <sup>[28]</sup>	1	ไม่มี	Uncle Milton(Neuroskypartner)
MindSet	\$199 <sup>[29]</sup>	1	มี <sup>[24]</sup>	NeuroSky
Neural Impulse Actuator	\$88 <sup>[30]</sup>	3	มี <sup>[31]</sup>	OCZ Technology
Mindball	\$20,000 <sup>[3]</sup> 2]	1	ไม่มี	Interactive Productline
XWave headset	\$99 <sup>[33]</sup>	1	มี	XWave
MyndPlay BrainBand	\$129 <sup>[34]</sup>	1	มี	MyndPlay

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ตรวจวัดคลื่น EEG รุ่นต่างๆ ที่มีจำหน่ายเพื่อการค้า [35]

จากการเปรียบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่น EEG ที่มีวางจำหน่ายโดยทั่วไปซึ่งไม่ใช่เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า Emotiv EPOC มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานวิจัยมากที่สุด เนื่องจากมีจำนวน electrode มากที่สุด คือ 14 จุด ครอบคลุมทั่วทั้งศีรษะจึงทำให้สามารถทำการวัดคลื่น EEG ได้ละเอียดครอบคลุมกว่าอุปกรณ์ยี่ห้ออื่นๆ

### 2.1.6 Emotiv EPOC neuroheadset

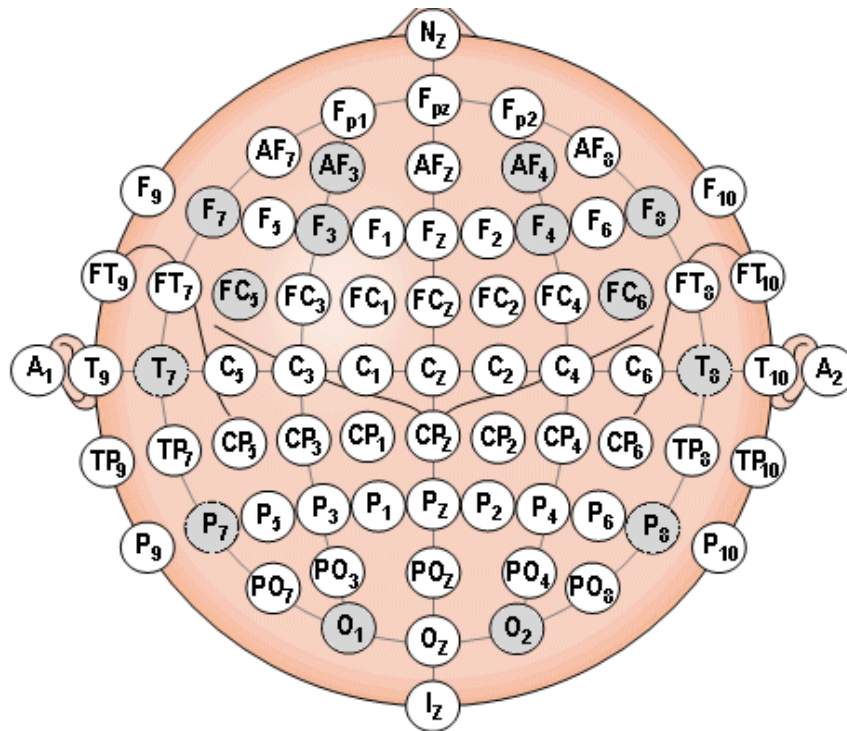
Emotiv EPOC neuroheadset เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นสมองความละเอียดสูง ทำงานด้วยระบบไร้สายเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยตรง



รูปที่ 11 อุปกรณ์ Emotiv EPOC [36]

#### คุณสมบัติ

- มีเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดคลื่นสมอง 14 ตัว มีตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 12
- มี Gyroscope สำหรับตรวจจับการเคลื่อนไหวของศีรษะ
- ใช้ Bluetooth ในการเชื่อมต่อระหว่างตัว Headset กับคอมพิวเตอร์
- Lithium Battery สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง



รูปที่ 12 แสดงจุด electrode ทั้ง 14 จุดของ Emotiv EPOC เทียบกับระบบ 10-20 [37]

### 2.1.7 g.MOBllab+

g.MOBllab+ เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่นสมองความละเอียดสูงอยู่ในระดับที่สามารถใช้ในงานวิจัยได้ (Research grade) [44]



รูปที่ 13 อุปกรณ์ g.MOBllab+ [43]

#### คุณสมบัติ

- ตรวจวัดคลื่น EEG, EOG, EMG และคลื่นสัญญาณอื่นๆ
- มีการแสดงผลแบบ online และมีพื้นที่หน่วยความจำสำหรับจัดเก็บคลื่นสัญญาณจำนวน 16 ช่อง

- สามารถเชื่อมต่อกับ Simulink ได้แบบ real-time
- ส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ด้วยระบบไร้สายผ่าน Bluetooth
- ตัวหมวกของ G.MOBllab+ มีช่องให้เลือกสำหรับติดตั้ง Electrodes ได้ครอบคลุมในทุกตำแหน่งของระบบ 10-20 system โดยมีจำนวน Electrodes ในชุดจำนวน 8 ตัว

### 2.1.7 BCI2000 framework [38]

BCI2000 เป็นระบบ open source ที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยทางด้าน Brain Computer Interface (BCI) ซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อเก็บข้อมูล EEG เพื่อแสดงผลทางจอภาพ และยังมีแอปพลิเคชันตรวจวัดคลื่นสมองรูปแบบต่างๆมากมาย

BCI2000 รองรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดคลื่น EEG หลายชนิด ในการตรวจวัดสามารถปรับตั้งค่าเบื้องต้นต่างๆได้ เช่น จำนวนบิตเรทของข้อมูลและระยะเวลาในการตรวจวัด เป็นต้น นอกจากนี้ BCI2000 ยังได้รวบรวมเครื่องมือหลายรูปแบบที่ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับการประมวลผลของ Matlab โดยผ่าน Matlab script ได้

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] งานวิจัยนี้เป็นการจัดการทดลองขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น Alpha และ Beta กับ ช่วงเวลาในขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจ (Attention) การทดลองนี้ได้ใช้ผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 20 คน ทำการทดลองโดยให้ผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนนั่งมองจอภาพที่จะมีรูปขึ้นมาแสดงบนจอด้านซ้ายและขวาของจอสลับกัน โดยผู้เข้ารับการทดลองจะถูกสั่งให้ใช้ความตั้งใจในการฟังไปที่รูปที่ปรากฏขึ้นบนจอ นั้น ขณะทำการทดลองคลื่นสมองได้ถูกตรวจวัดโดย EEG sensor ที่ได้ติดไว้บนหนังศีรษะของผู้เข้ารับการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้ electrode จำนวน 13 จุด ในการตรวจวัดคลื่น EEG โดยคลื่นความถี่ที่สนใจคือ Alpha และ Beta เทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์คลื่นคือการใช้ filter ในการเลือกช่วงคลื่นที่สนใจและหาค่าเฉลี่ย power spectrum ของ electrode ทุกๆจุด เพื่อตรวจดูระดับความแรงของคลื่น

ผลจากงานวิจัยสรุปได้ว่าในขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจคลื่น Alpha จะมีระดับความแรงลดลง ในทางกลับกันคลื่น Beta จะมีระดับความแรงเพิ่มมากขึ้น

จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือการจัดรูปแบบการทดลองการวัดความตั้งใจโดยการให้ผู้เข้ารับการทดลองใช้สมาธิฟังไปที่รูปนั้นทำให้สามารถวัดความตั้งใจของสมองได้อย่างตรงจุด

เป็นที่น่าสังเกตว่างานวิจัยนี้ใช้ electrode จำนวน 13 จุด ในการตรวจวัดคลื่น EEG โดยที่ไม่มีการอธิบายว่าทำไมต้องใช้ 13 จุดนี้ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถรู้ได้เลยว่าทั้ง 13 จุด ที่เลือกใช้นี้สามารถใช้ในการตรวจวัดคลื่นในย่านความถี่ Alpha และ Beta ได้ดีหรือไม่

วิทยานิพนธ์นี้จึงสามารถแก้ปัญหาการเลือกจุดในการใช้วัดคลื่น Alpha และ Beta ที่ ถูกต้องได้

[2] งานวิจัยนี้เป็นการรวบรวมงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับความเชื่อมโยงระหว่างการเรียนรู้จำ (Cognitive) และ คลื่น Gamma

จากงานวิจัยสามารถสรุปลักษณะที่สำคัญของคลื่นแกมมาได้ 4 หัวข้อ คือ

- (1) คลื่นแกมมามีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับกระบวนการรู้จำ(cognitive processes) โดยการใช้ความทรงจำ memory-matches มีความสัมพันธ์กับคลื่นแกมมามากที่สุด
- (2) ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแกมมากับการเรียนรู้จำนี้ไม่ได้พบเฉพาะใน Gamma Band Rhythm(GBR) ในช่วงท้ายๆของการถูกกระตุ้นการเรียนรู้จำ แต่สามารถตรวจพบความสัมพันธ์นี้ได้ตั้งแต่ช่วงต้นของ GBR ที่เกิดขึ้นหลังจากคลื่นแกมมาถูกปล่อยออกมาจาก Early sensory cortices
- (3) มีหลักฐานที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่าง GBR กับพฤติกรรมของมนุษย์ (ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้ระบุว่าคือพฤติกรรมอะไร)
- (4) GBR สามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบโครงข่ายจำลองของระบบ Spiking Neurons ได้

[39] งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่น EEG 2 ตัว คือ Emotiv EPOC ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีขายโดยทั่วไปและมีราคาถูก กับ ANT (Advanced Neuro Technology) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทางการแพทย์และมีราคาสูงมาก

การวิจัยนี้ได้จัดทำทดลองเพื่อเทียบประสิทธิภาพโดยใช้ผู้เข้ารับการทดลองผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 7 คน ทดลองโดยการให้ผู้เข้ารับการทดลองใช้โปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER ในการสะกดคำตามที่กำหนดไว้ โดยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER นี้จะรับคำสั่งญาณมาจากสมองโดยตรง ผู้เข้ารับการทดลองเพียงแค่มองจอภาพแล้วเลือกตัวอักษรที่ต้องการจะสะกด ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทั้งสองถูกวัดจากความถูกต้องของการสะกดคำ ซึ่งมีผลดังตารางที่ 2

Hardware	ANT (sitting/walking)			EMOTIV (sitting/walking)		
	k-fold	Training set	Testing set	k-fold	Training set	Testing set
Subject 1	90 %/85.5 %	100 %/100 %	100 %/100 %	78.16 %/72.5 %	100 %/92 %	84 %/56 %
Subject 2	94.66 %/88 %	100 %/100 %	100 %/88 %	76.5 %/76.2 %	100 %/96 %	92 %/80 %
Subject 3	94.66 %/86.7 %	100 %/100 %	100 %/96 %	81.3 %/83.3 %	100 %/100 %	84 %/96 %
Subject 4	89 %/80.2 %	100 %/100 %	100 %/100 %	82.63 %/75.3 %	100 %/100 %	92 %/92 %
Subject 5	79.9 %/77.83 %	100 %/100 %	96 %/96 %	85.4 %/81.5 %	100 %/100 %	100 %/88 %
Subject 6	70.3 %/69.7 %	88 %/100 %	72 %/76 %	70.8 %/74.2 %	96 %/100 %	72 %/88 %
Subject 7	81.16 %/79 %	96 %/100 %	68 %/84 %	74.5 %/58.3 %	96 %/92 %	52 %/72 %
Mean	85.7 %/81 %	97.7 %/100 %	90.9 %/91.4 %	78.5 %/74.5 %	98.9 %/97.1 %	82.3 %/81.7 %
Std	7.7 %/5.5 %	4.5 %/0 %	12.4 %/7.86 %	4.4 %/7 %	2 %/3.8 %	13.8 %/12 %

ตารางที่ 2 ผลสรุปประสิทธิภาพในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ระหว่าง ANT และ Emotiv EPOC

ทางผู้วิจัยได้ให้ความเห็นว่า Emotiv EPOC ยังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าประสิทธิภาพของ ANT จึงควรมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่มีวงจำหน่ายทั่วไปและราคาถูกลงให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่านี้เพื่อทดแทนอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีราคาแพง

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง Emotiv EPOC กับ ANT (Advanced Neuro Technology) โดยใช้ BCI2000'S P300 SPELLER โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการเปรียบเทียบด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER ด้วยเช่นกัน แต่จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง Emotiv EPOC กับ g.MOBIlab+

[40] งานวิจัยนี้พยายามจะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแกมม่ากับกระบวนการการรู้จำ(cognitive processes) ทางผู้วิจัยได้กล่าวว่าในปัจจุบันมีผู้ที่ทำงานวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแกมม่ากับกระบวนการการรู้จำที่ประสบผลสำเร็จมีน้อยและนักวิจารณ์หลายๆคนก็ตั้งข้อสงสัยว่าผลจากงานวิจัยเหล่านั้นนั้นอาจจะเป็นผลที่ไม่ถูกต้องที่เกิดขึ้นในกระบวนการการตรวจวัดการทำงานของระบบเส้นใยประสาทในสมอง

งานวิจัยนี้จึงได้ตั้งมาตรฐานขึ้นมาใหม่เพื่อการตรวจวัดคลื่นแกมม่าที่เกี่ยวข้องกับการรู้จำจริงๆ โดยสร้างการทดลองขึ้นมา คือ ให้ผู้เข้ารับการทดลองทำการจับคู่ระหว่างรูปภาพกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกันและวัดคลื่นสมองระหว่างการจับคู่ได้เกิดขึ้น การทดลองรูปแบบนี้ก็เพื่อจะอธิบายรูปแบบการตอบสนองช่วงแรกของคลื่นแกมม่า (Early gamma-band responses) และผลการทดลองก็ได้แสดงให้เห็นว่าคลื่นแกมม่ามีการเปลี่ยนแปลงที่เชื่อมโยงกับการทดลองน้อยอย่างมีทิศทางที่สามารถแสดงออกมาเป็นรูปแบบที่เห็นได้ชัด



งานวิจัยนี้ไม่ได้ระบุว่าใช้ electrode จำนวนเท่าไรในการตรวจวัดคลื่น EEG โดยคลื่นความถี่ที่สนใจคือแกมมา เทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์คลื่นคือการใช้ filter ในการเลือกช่วงคลื่นที่สนใจและใช้ Wavelet transform ในการหาค่าพลังงานของคลื่น เพื่อนำค่าพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองได้ทำการทดลองนี้ไปวิเคราะห์ผลหาความสัมพันธ์ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือการใช้รูปแบบการทดลองที่ตรงกับการรู้จำ การใช้เกมส์จับคู่ซึ่งถือว่าการกระตุ้นสมองส่วนการรู้จำได้อย่างตรงจุด

เป็นที่น่าสังเกตว่างานวิจัยนี้ไม่ได้กล่าวไว้ว่าใช้ electrode จำนวนกี่จุดในการตรวจวัดคลื่น EEG และไม่ได้ระบุว่าใช้ผู้เข้ารับการทดลองผู้เข้ารับการทดลองจำนวนกี่คน ซึ่งเป็นสิ่งที่มีในการอธิบายงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้มีรูปแบบการทดลองที่คล้ายคลึงกับวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ซึ่งมีความเหมือนตรงที่การตรวจหาความเชื่อมโยงระหว่างคลื่นแกมมา กับกระบวนการการรู้จำ แต่ทางด้านวิทยานิพนธ์นี้นั้นจะทำการหาและระบุตำแหน่งของ electrode ที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีด้วย

[41] งานวิจัยนี้ต้องการตรวจหาการเคลื่อนที่ของพลังงานความแรงของคลื่น EEG โดยเฉพาะ Alpha, Beta และ Theta จากจุด electrode หนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง และทำการหาความเกี่ยวข้องระหว่างคลื่น Alpha, Beta และ Theta กับภาวะจิตขณะมีความตั้งใจและไม่ตั้งใจ

งานวิจัยนี้ใช้ผู้เข้ารับการทดลองผู้รับการทดลองจำนวน 6 คน ทุกคนที่เข้ารับการทดลองจะถูกบันทึกคลื่น EEG ตลอดเวลาที่เข้ารับการทดลอง การทดลองนี้ได้ถูกจัดขึ้นสองรูปแบบ คือรูปแบบที่ต้องการให้ผู้เข้ารับการทดลองใช้ความตั้งใจและรูปแบบที่ต้องการให้ผู้เข้ารับการทดลองไม่ใช้ความตั้งใจ

การทดลองที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองได้ใช้ความตั้งใจนั้นจัดทำขึ้นโดยการสุ่มตัวเลขขึ้นมาบนจอภาพแล้วให้ผู้เข้ารับการทดลองกดปุ่มให้ตรงกับตัวเลขนั้นๆ ที่ขึ้นมา โดยช่วงแรกเป็นเลขสามหลักและเพิ่มความยากขึ้นมาเป็นเลขห้าหลัก

การทดลองที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองไม่ใช้ความตั้งใจนั้นจัดทำขึ้นโดยการสุ่มตัวเลขขึ้นมาบนจอ แต่ให้ผู้เข้ารับการทดลองเมินเฉยต่อตัวเลขนั้นๆ โดยไม่มีปฏิกิริยาใดๆ ตอบสนอง

ผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าพลังงานของคลื่น EEG จะเคลื่อนที่จากส่วนขวาของศีรษะไปสู่อีกส่วนกลางและเคลื่อนที่จากส่วนกลางกลับไปสู่ส่วนขวาในขณะที่มีการเปลี่ยนจากภาวะไม่ตั้งใจ (inattention state) ไปสู่ภาวะตั้งใจ (attention state) และช่วงคลื่นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นคลื่น Alpha และ Beta

งานวิจัยนี้ใช้ electrode จำนวน 16 จุด ในการตรวจวัดคลื่น EEG โดยคลื่นความถี่ที่สนใจคือ Alpha, Beta และ Theta เทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์คลื่นคือการใช้ filter ในการเลือกช่วงคลื่นที่สนใจและนำคลื่นความถี่เหล่านั้นไปผ่าน Directed Transfer Function (DTF) เพื่อทำการหาการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งทำให้สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าของสมองได้

จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือมีการใช้รูปแบบการทดลองที่ดีในการตรวจวัดภาวะขณะมีความตั้งใจและไม่ตั้งใจ

งานวิจัยนี้ต้องการหาการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจึงใช้วิธี Directed Transfer Function (DTF) ทางด้านงานในวิทยานิพนธ์เล่มนี้นั้นใช้วิธี Fast Fourier Transform Square (FFT<sup>2</sup>) เพื่อทำการหาค่า Power spectrum ของคลื่น

[42] งานวิจัยนี้ต้องการหาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในสมองโดยใช้คลื่น EEG ในขณะที่มีความตั้งใจ (Attention state) โดยการทดลองได้จัดทำขึ้นโดยใช้ผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 11 คน ในขณะที่ทำการทดลองทุกคนจะถูกทำการตรวจวัดคลื่น EEG ผู้เข้ารับการทดลองจะถูกสั่งให้เล่นเกมจำลองการขับรถเสมือนจริง โดยรถในเกมจะวิ่งอยู่ตรงเลนส์กลางของถนนแต่ในทุกๆ 3 หรือ 7 วินาที รถจะเคลื่อนที่ออกไปด้านข้างอย่างช้าๆ ผู้เข้ารับการทดลองต้องกดปุ่มเพื่อบังคับให้รถเข้ามาอยู่ที่ตำแหน่งตรงกลางเหมือนเดิม ซึ่งก็คือการใช้ความตั้งใจนั่นเอง

ในขณะที่ใช้ความตั้งใจในการบังคับรถนั้นจะเห็นความเปลี่ยนแปลงพลังงานของคลื่น Alpha, Beta และ Theta ชัดเจน คือ คลื่น Beta และ Theta จะมีพลังงานเพิ่มสูงขึ้น ส่วนทางด้านคลื่น Alpha จะมีจุดสูงสุดของ amplitude ของคลื่นลดลง

งานวิจัยนี้ใช้ electrode จำนวน 256 จุด ในการตรวจวัดคลื่น EEG โดยคลื่นความถี่ที่สนใจคือ Alpha, Beta และ Theta เทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์คลื่นคือการใช้ filter ในการเลือกช่วงคลื่นที่สนใจและทำการหาค่าเฉลี่ย power spectrum ของ electrode ทุกๆจุด เพื่อหาค่าพลังงาน power spectrum ของคลื่นเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไปดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น

จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือมีรูปแบบการทดลองที่สร้างสรรค์ ทำให้ผู้ที่เข้ารับการทดลองไม่เกิดการเบื่อ รูปแบบการทดลองมีความสัมพันธ์กับภาวะตั้งใจ(Attention state) เป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้ใช้ electrode จำนวนถึง 256 จุด ซึ่งเป็นจุดเด่น โดยการใช้จำนวนจุดที่มากนี้ทำให้การตรวจวัดคลื่นสมองทำได้ครอบคลุมบริเวณหนังศีรษะมากกว่าเมื่อเทียบกับวิทยานิพนธ์นี้ซึ่งใช้เพียง 14 จุด แต่จุดเด่นของวิทยานิพนธ์นี้ คือการใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC ซึ่งมีราคาต่ำกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ 256 จุดนี้

ในงานวิจัยเกี่ยวกับ EEG ยังไม่มีงานวิจัยที่พูดถึงกระบวนการหาจำนวนจุดของ electrode ที่น้อยที่สุดในการตรวจวัดคลื่น EEG แต่สามารถจำแนกจำนวนจุดที่แต่ละงานวิจัยใช้ในการตรวจวัดคลื่น EEG ได้ ดังตารางที่ 3

ชื่องานวิจัย	จำนวน electrode	ตำแหน่งของจุด ตาม 10-20 system	คลื่นความถี่ที่สนใจ
Temporal evolution of Alpha and Beta bands during visual spatial attention[1]	13 จุด	Fz, Cz, Pz, O1, P3, T5, C3, F3, O2, P4, T6, C4, F4	Alpha และ Beta
Analysis of Propagation of Multi-channel EEG in the Test of Sustained Attention[40]	16 จุด	FP1, FP2, F3, F4, FC3, FC4, CP3, CP4, P3, P4, P7, P8, Fz, FCz, CPz, Pz. A1,A2	Alpha, Beta และ Theta
Cognitive functions of gamma-band activity: memory match and utilization[2]	ไม่ระบุ	-	Gamma
Learning EEG-based Spectral-Spatial Patterns for Attention Level Measurement[41]	15 จุด	F3, Fz, F4, FC3, FCz, FC4, C3, Cz, C4, CP3, CPz, CP4, P3, Pz, P4	Alpha, Beta และ Theta
Multi-scale EEG Brain Dynamics during Sustained Attention Tasks [42]	256 จุด	ไม่ระบุ	Alpha, Beta และ Theta

ตารางที่ 3 แสดงจำนวนจุด electrode ที่ใช้วัดคลื่น EEG ของงานวิจัยต่างๆ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การออกแบบการทดลอง

เพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ทางผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha, Beta และ Gamma สำหรับวัดระดับการรับรู้ได้ดีที่สุด 4 จุด และการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER

1. การทดลองเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha, Beta และ Gamma สำหรับวัดระดับการรับรู้ได้ดีที่สุด 4 จุด

ในการทดลองนี้จะแยกออกเป็น 2 ส่วนย่อย คือ การทดลองทางด้านความตั้งใจ (Attention) และการทดลองทางด้านความทรงจำ (Memory) ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นว่า คลื่น Alpha และ Beta จะเกี่ยวข้องกับความตั้งใจ ส่วนคลื่น Gamma จะเกี่ยวข้องกับความทรงจำ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ผลการเชื่อมโยงของทั้ง 3 คลื่นดังกล่าวนี้ด้วย

2. การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER

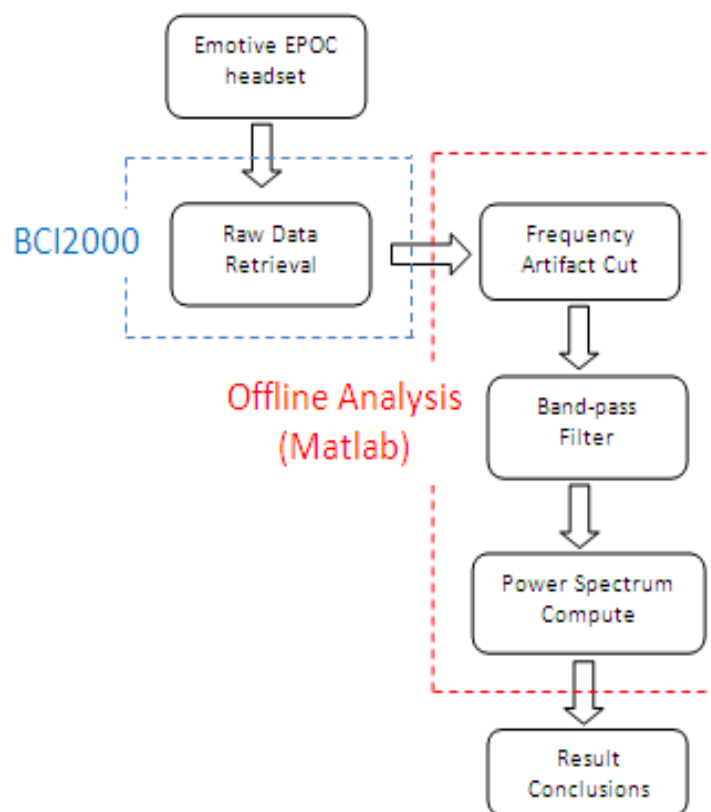
ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC และอุปกรณ์ g.MOBIlab+ ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER โดยใช้ผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 20 คน

#### 3.2 การทดลองเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha, Beta และ Gamma สำหรับวัดระดับการรับรู้ได้ดีที่สุด 4 จุด

การทดลองนี้จะทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น Alpha, Beta และ Gamma กับการรับรู้จำ (Cognitive) เลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha, Beta และ Gamma ได้ดีที่สุดในจำนวน 4 จุด เหตุผลที่ใช้ 4 จุด เพราะทางผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าคลื่น Alpha, Beta และ Gamma อาจมีจุดที่ตรวจวัดได้ดีของแต่ละคลื่น ซึ่งถ้าตรงตามสมมติฐานก็จะได้จุดที่ดีที่สุดอย่างน้อย 3 จุด และเพื่อความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้นและยังคงเป็นความน้อยจุดอยู่ การทดลองนี้จึงจะทำการหาจุดที่ดีที่สุดจำนวน 4 จุด ซึ่งเป็นจำนวนจุดที่เหมาะสมในการนำไปใช้กับโครงการพัฒนาระบบเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้พีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุ เนื่องจากการใช้น้อยจุดจะทำให้การทำงานแบบทันทีทันใด (real time) ของระบบเป็นไปได้ง่ายขึ้นเพราะ

ใช้ทรัพยากรของระบบในการรับข้อมูลจากจุด electrode น้อยลง ทั้งนี้หากพบว่าการใช้จุดที่น้อยหรือมากกว่า 4 จุดให้ผลเป็นอย่างไรก็จะได้มีการวิเคราะห์และสรุปผลในขั้นต่อไป ซึ่งการทำการทดลองนี้จะเน้นไปที่การเก็บข้อมูลสัญญาณ EEG จากผู้เข้ารับการทดลองกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน ผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 10 คน เป็นผู้ชาย 6 คน อายุ 23 ปี 3 คน อายุ 30 ปี 1 คน อายุ 53 ปี 1 คน อายุ 62 ปี 1 คน และผู้หญิง 4 คน อายุ 24 ปี 1 คน อายุ 28 ปี 1 คน อายุ 55 ปี 1 คน อายุ 61 ปี 1 คน และนำมาวิเคราะห์ ซึ่งจำนวนกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้เป็นจำนวนที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ดังจะเห็นได้ว่าในงานวิจัย [1] ใช้จำนวนผู้เข้ารับการทดลอง 20 คน งานวิจัย [39] ใช้จำนวนผู้เข้ารับการทดลอง 7 คน งานวิจัย [41] ใช้จำนวนผู้เข้ารับการทดลอง 6 คน และงานวิจัย [42] ใช้จำนวนผู้เข้ารับการทดลอง 11 คน

การทำการทดลองจะเริ่มจากการพัฒนาระบบที่จะนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลคลื่นสมองจากผู้เข้ารับการทดลองกลุ่มตัวอย่าง โดยภาพรวมของระบบที่ใช้ในการทดลองนี้จะเป็นดังรูปที่ 14



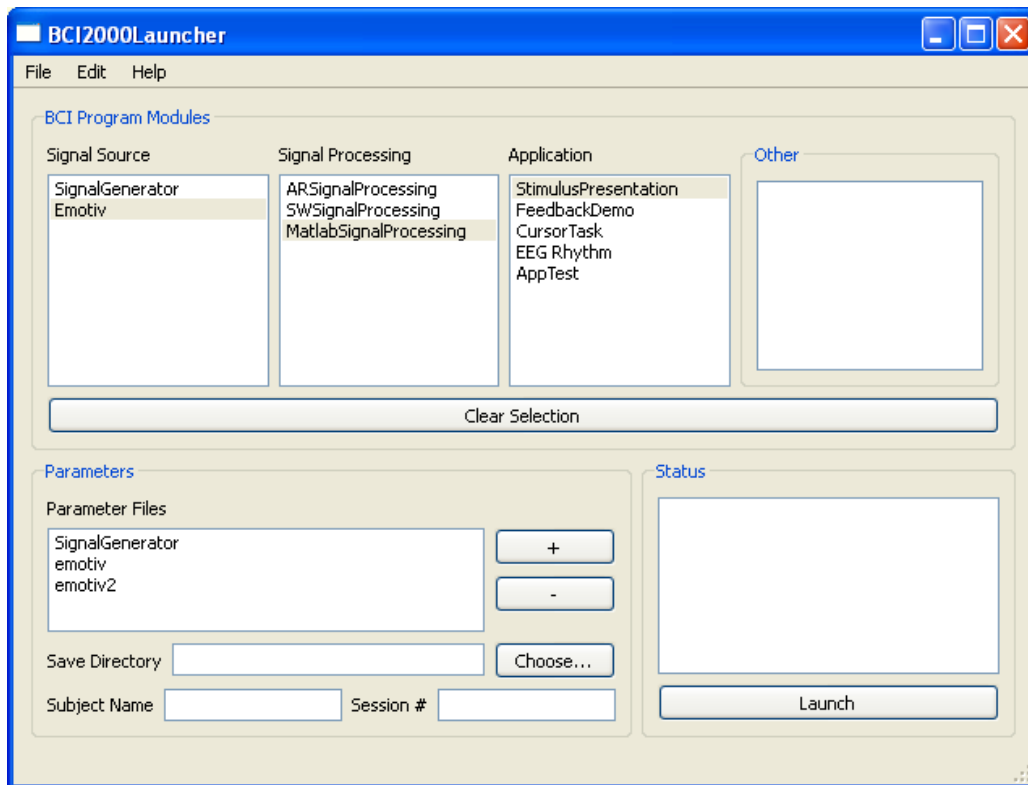
รูปที่ 14 ภาพรวมของระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ระบบที่ใช้ในการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

(1) ส่วน BCI2000

ใช้ BCI2000 framework ในการดึงสัญญาณ EEG จาก Emotive EPOC headset ทั้ง 14 จุด ผ่าน Matlab Signal Processing module โดยการเขียน Matlab

script หรือ M-File ให้ค่าที่ได้จาก Emotive EPOC headset ส่งต่อไปยัง Module ฝั่งรับ สัญญาณของ BCI2000 ซึ่งใน Module นี้ได้ทำการแก้ไขให้เขียนค่าที่ได้รับมาจาก Matlab ลงใน Text file ซึ่งจะขอเรียก Text File นี้ว่า raw data



รูปที่ 15 รูปตัวอย่างโปรแกรม BCI2000

ข้อมูล raw data ที่ถูกบันทึกเป็น Text File มีรูปแบบดังรูปที่ 16 ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น block แต่ละ block ประกอบด้วย 128 แถว และ 14 คอลัมน์ แต่ละคอลัมน์แทนตำแหน่ง electrode ของ Emotive EPOC headset ซึ่งมี 14 จุด

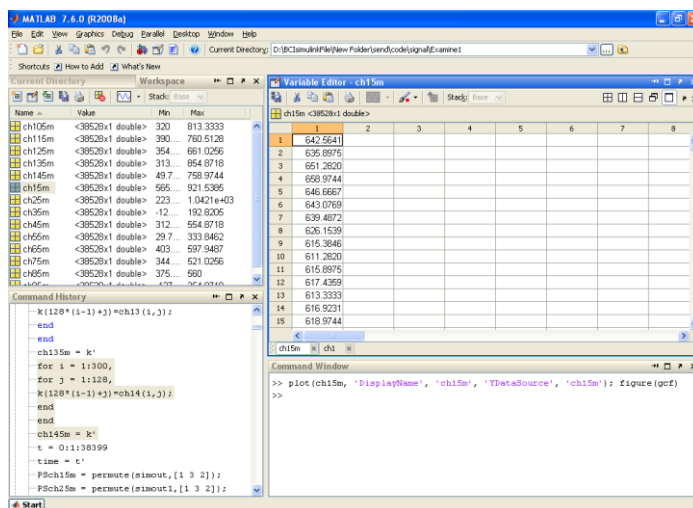
642.5641	502.5641	129.2308	424.1002	300	527.6923	494.8718	492.3077	26.66667	45
675.8976	495.8974	121.0216	425.641	203.0769	541.1212	491.1212	481.0216	10.5641	45
651.1282	500	127.1795	425.641	203.0769	540.5128	497.9487	488.2051	20.1282	45
636.9744	495.1842	127.9487	423.2323	202.5641	538.9744	507.1795	521.0216	55.9842	45
646.6667	488.718	131.7949	420.2564	199.4872	521.2077	491.7949	482.5641	16.43016	45
640.0769	491.8421	124.0214	420.5090	202.5641	538.9744	507.1795	521.0216	-6.666667	45
639.4872	494.359	122.5641	420.2564	184.4214	517.9487	472.8205	455.8974	-7.179487	45
626.1232	488.718	106.9212	427.4923	209.2564	525.1028	477.4252	460.1218	-6.020219	45
615.7846	494.4214	106.6667	425.1282	197.4319	529.5128	472.3077	458.4615	-10.78937	45
611.122	477.9487	102.0513	427.4923	204.0214	528.1028	528.1028	470.7602	-1.120205	45
615.8976	480.5128	106.1518	424.1002	204.0214	544.1028	481.0216	474.8718	6.123846	45
627.4319	495.8974	105.641	427.9487	206.6667	526.6667	485.4615	478.4615	-1.202564	45
612.3733	488.718	103.0769	423.0769	204.1028	524.1028	477.4319	471.7949	23.07692	45
616.9214	494.718	107.1795	427.9487	207.1795	527.1795	477.9487	472.9487	-1.238462	45
628.9744	494.359	108.179	429.1002	204.0214	524.1028	477.4319	471.7949	-11.18461	45
616.9214	494.359	107.0769	428.718	205.641	525.6415	475.8974	461.0216	-11.18205	45
623.1897	490.1514	104.0214	429.718	206.6667	521.3846	475.8974	461.0216	-1.123846	45
621.3077	495.1842	114.1519	423.182	212.3077	541.5385	477.9487	471.2333	-10.12382	45
624.9718	521.0216	126.9211	423.182	214.9718	521.7949	477.9487	474.359	-1.076923	45
637.9487	495.1842	115.8974	423.2323	206.1518	522.0513	476.4302	465.1282	-8.729489	45
637.4319	486.1518	128.4615	428.718	199.4872	522.5641	476.4302	461.0216	-10.74923	45
632.8205	487.1795	126.9211	422.0513	201.5385	522.0513	477.4319	465.1282	-5.641016	45
624.1519	486.6667	126.9211	422.0513	201.5385	522.0513	479.4872	471.2333	-1.589744	45
626.1519	486.6667	92.82051	426.1518	204.0214	515.8976	476.9211	471.2333	8.729489	45
624.0214	488.718	90.26441	428.1028	212.3077	521.8462	479.4872	465.1282	-1.120205	45
636.4202	495.1842	97.94872	429.2308	217.4319	527.6923	477.9487	462.5385	6.123846	45
641.0216	491.3077	97.94872	429.2308	215.3846	521.8462	477.9487	462.5385	-1.120205	45
641.0216	491.3077	86.8718	424.1002	215.3846	521.8462	477.9487	462.5385	-1.120205	45
641.0216	491.3077	104.5385	422.0513	214.9718	522.0513	476.4302	462.5385	-1.120205	45
648.2011	497.9487	104.1002	429.718	211.7949	521.0216	476.4302	462.5385	-1.120205	45
649.2308	494.359	101.0513	444.0214	102.0513	524.0214	464.0214	458.9744	-1.076923	45
651.8461	490.7602	112.3077	429.2308	214.9718	524.1028	467.4302	465.641	-1.641016	45
651.8997	501.9641	120.7902	424.9718	216.4202	520.2564	467.0769	462.2333	-10.74923	45
662.5641	508.718	124.1519	444.0214	215.3846	521.8462	468.641	472.1077	10.78937	45
664.4202	509.2308	127.0513	427.9487	216.4202	520.2564	466.1518	462.2333	-10.74923	45
664.1028	505.641	128.4615	428.3744	214.9718	522.0513	468.2051	460.5128	4.547474e-013	45
669.2308	499.1028	127.0513	446.1518	216.4202	520.2564	476.9211	471.2333	10.120205	45
654.3589	495.8974	124.1519	426.1518	213.8462	522.5641	473.8462	466.6667	-1.523846	45
646.1028	488.1028	121.0216	426.1518	215.3846	526.1028	469.2308	466.1518	-1.333333	45
653.3733	495.1842	111.7949	429.7436	215.8974	528.9744	475.3846	461.5385	-4.123846	45
651.1282	484.3589	112.3077	429.7436	214.9718	527.3733	475.3846	461.5385	-1.120205	45
652.3077	498.9744	126.1028	427.1795	216.9211	521.3846	474.359	470.7602	6.666667	45
651.8976	527.0216	123.1519	429.2308	223.0216	527.3733	475.3846	471.2333	-1.120205	45
651.8976	527.0216	128.4615	429.7436	218.4615	527.3733	475.3846	471.2333	-1.120205	45
647.6923	504.0214	126.1028	427.1795	215.3846	528.718	475.3846	465.641	-7.692307	45
652.3077	509.2308	120.2564	423.2323	223.0769	526.6667	480	462.5385	-6.666667	45
650.2564	510.2564	110.2564	424.9718	226.1518	528.4615	480	460	-10.120205	45
649.4611	506.6667	102.0513	421.0216	218.4615	527.1795	477.9487	467.4302	-10.74923	45
650.2564	509.2308	104.0214	424.1028	213.8462	525.4411	472.8205	457.9487	-10.78937	45
662.5285	518.9744	102.0513	426.1518	216.4202	524.0214	476.4302	465.1282	4.625385	45
675.3846	524.6667	125.1282	426.1518	217.1795	541.5385	476.9211	475.8974	18.97416	45
683.0769	524.1518	127.0513	426.1518	216.4202	540.641	476.4302	475.8974	18.48718	45
685.1282	524.0214	128.2051	428.3744	223.0769	529.2308	474.359	472.3077	4.102564	45
689.7436	529.2308	124.1519	441.0216	216.4202	521.8462	472.8205	469.2308	-1.289744	45
692.3077	527.1795	128.9744	446.1518	218.4615	521.7949	462.0769	466.1518	6.666667	45

รูปที่ 16 Raw data text file



ขั้นต่อมาคือการเตรียมข้อมูลให้พร้อมสำหรับการส่งข้อมูลไปดำเนินการใน Simulink ซึ่งการดำเนินการข้อมูลใน Simulink นี้ต้องเปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ในรูป Vector format

เมื่อเปลี่ยนข้อมูลให้อยู่ในรูป Vector format เรียบร้อยแล้ว จะได้เวกเตอร์ที่มีขนาด 38,400(ในกรณีใช้เวลา 5 นาที ในการเก็บ raw data) ซึ่งได้มาจากการคูณ 300 ด้วย 128 คือ ข้อมูลจำนวน 300 blocks มาเรียงต่อกันเป็นแถวเดียว ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 Raw data in vector format

## (2) ส่วน Offline Analysis

ส่วนนี้ทำโดยใช้ Matlab เป็นเครื่องมือ แบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ 2 ส่วน คือ

### (2.1) Frequency artifact cut

ส่วนนี้จะทำหน้าที่รับข้อมูลดิบที่ทำการดึงมาจากขั้นตอนที่ (1) มาทำการตัดเอาคลื่นความถี่ที่มี amplitude สูงกว่าปกติหรือคลื่นความถี่ที่รบกวนออก โดยใช้เทคนิค Threshold คือตัดคลื่นความถี่ส่วนที่มี amplitude สูงกว่าปกติออกไป ทำให้สามารถรักษารูปคลื่นของข้อมูลได้ดีขึ้น โดยคลื่นความถี่ที่มี amplitude ที่สูงผิดปกติของ EEG ส่วนใหญ่จะมาจากภาวะกระพริบตา ซึ่งจะทำให้ amplitude ของคลื่นขณะกระพริบตานั้นสูงขึ้นอย่างชัดเจน

จากการสังเกตจาก raw data สัญญาณปกติจะมี amplitude อยู่ระหว่าง -150 ถึง 150 โดยมีแกน x ปกติอยู่ที่ 0 แกน x ปกตินี้ได้ทำการหาโดยการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณทั้งหมดที่พิจารณา แล้วนำค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้นี้มาเป็นเส้นแกน x ปกติ สัญญาณที่มี amplitude อยู่ในช่วง -150 ถึง 150 จะถูกตัดออกไปโดยการปรับค่าที่เกินมานั้นให้เหลือ 0 คือค่าที่เส้นแกน x ปกตินั้นเอง

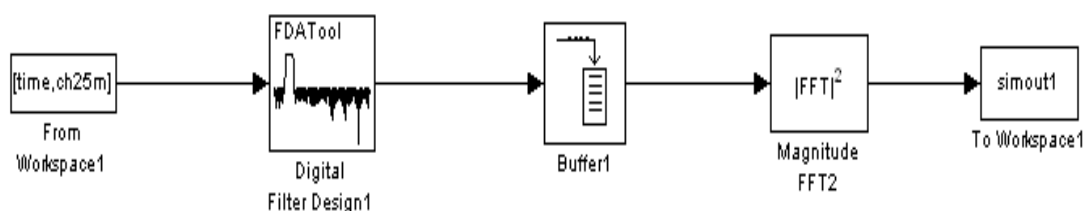


## (2.2) Bandpass filter และ Power spectrum compute

สัญญาณที่ได้ตัดคลื่นรบกวนออกไปแล้วจะเข้าสู่การกรองสัญญาณเพื่อดึงเอาเฉพาะช่วงคลื่นที่สนใจออกมา เช่น หากต้องการได้คลื่น Alpha เพื่อนำไปวิเคราะห์ ก็ต้องนำคลื่นความถี่ที่เป็นข้อมูลดิบและได้ผ่านการตัดคลื่นรบกวนออกแล้วมาผ่าน bandpass filter ที่มี ค่าบนอยู่ที่ 12 Hz ค่าล่างอยู่ที่ 7 Hz ซึ่งผลที่ได้ ออกมาก็คือคลื่นในช่วง 7-12 Hz

ขั้นต่อไปคือการคำนวณหาค่า Power ของสัญญาณที่ถูกส่งผ่านมาจาก bandpass filter โดยใช้เทคนิค FFT square คือ การนำสัญญาณที่ได้รับมาผ่านกระบวนการ Fast Fourier Transform เพื่อเปลี่ยนรูปคลื่นจากแกนเวลาเป็นแกนความถี่และนำค่าที่ได้ไปทำการยกกำลังสองก็จะได้ค่า Power spectrum ของคลื่นความถี่นั้นๆ

กระบวนการ Bandpass filter และ Power spectrum compute แสดงไว้ดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 Bandpass filter และ Power spectrum compute

ข้อมูลที่จะทำการเก็บจากกลุ่มตัวอย่างคือข้อมูลดิบ (Raw data) ของคลื่น EEG ที่วัดจากสมองของผู้ที่เข้ารับการทดลอง เนื่องจากต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น Alpha, Beta และ Gamma กับความรู้จำ การสร้างรูปแบบการทดลองจึงต้องทำให้สอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยการทดลองนี้ได้รับการยืนยันจากแพทย์ทางด้านจิตเวชแล้วว่า มีผลต่อความรู้จำของมนุษย์ ซึ่งแบบทดสอบด้านความตั้งใจจะแบ่งออกเป็น 3 แบบทดสอบย่อย คือ การอ่านหนังสือ การดูภาพสามมิติ และการทำแบบประเมิน แบบทดสอบทั้ง 3 แบบทดสอบนี้จัดอยู่ในภาวะการใช้ความตั้งใจ Focus attention ดังได้กล่าวไว้ในงานวิจัย “A Feature-Integration Theory of Attention”[47] และในอีกหลายงานวิจัยที่นำแบบทดสอบการอ่านหนังสือไปใช้เพื่อกระตุ้นความตั้งใจ เช่น งานวิจัย “Learning EEG-based Spectral-Spatial Patterns for Attention

Level Measurement”[48] และ งานวิจัย “Reading Between the Lines: Event-related Brain Potentials during Natural Sentence Processing”[49]

มีผลการวิจัยจากหนังสือ “Introduction to Cognitive Rehabilitation: Theory and Practice” [50] ที่จำแนกความตั้งใจออกเป็นหลายประเภท ซึ่งการอ่านหนังสือ การดูภาพสามมิติ การทำแบบประเมิน สามารถจัดอยู่ในความตั้งใจทั้งประเภท Focused attention, Sustained attention, Selective attention และ Alternating attention

จากผลการวิจัยที่ได้กล่าวมาเหล่านี้จึงสามารถสรุปได้ว่าเราสามารถเลือกใช้แบบทดสอบทั้งสามแบบทดสอบในการกระตุ้นความตั้งใจของผู้เข้ารับการทดลองได้

การทดลองจะมีการแบ่งช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองรู้สึกผ่อนคลายเพื่อวัดคลื่นสมองในช่วงนั้นโดยการให้ผู้เข้ารับการทดลองฟังเพลงบรรเลงเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นก็จะเริ่มการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการรู้จำต่างๆ ที่ได้จัดทำขึ้น การทดลองในชุดแรกจะทำการทดลองเกี่ยวกับด้านความตั้งใจ (Attention)

ซึ่งการทดลองแบ่งออกเป็น 3 แบบทดสอบดังต่อไปนี้ โดยระยะเวลาพักระหว่างแต่ละแบบทดสอบ คือ 10 นาที

#### แบบทดสอบที่ 1

- (1) สวมอุปกรณ์ Emotiv Headset ให้ผู้รับการทดสอบ
- (2) ให้ผู้รับการทดสอบฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที
- (3) ให้ผู้รับการทดสอบอ่านหนังสือเป็นเวลา 5 นาที
- (4) ถอดอุปกรณ์ Emotive Headset ออก

#### แบบทดสอบที่ 2

- (1) สวมอุปกรณ์ Emotiv Headset ให้ผู้รับการทดสอบ
- (2) ให้ผู้รับการทดสอบฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที
- (3) ให้ผู้รับการทดสอบดูภาพสามมิติ 2 ภาพ โดยดูทีละภาพ และให้ผู้ทดสอบพยายามดูให้ออกว่าเป็นรูปอะไร โดยทำทั้งหมดนี้ภายในเวลา 5 นาที หากครบกำหนดเวลา 5 นาที แล้วยังไม่ออกก็ให้หยุดการทดสอบแค่นั้น
- (4) ถอดอุปกรณ์ Emotive Headset ออก

#### แบบทดสอบที่ 3

- (1) สวมอุปกรณ์ Emotiv Headset ให้ผู้รับการทดสอบ
- (2) ให้ผู้รับการทดสอบฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที

- (3) ให้ผู้รับการทดสอบทำแบบทดสอบที่ได้เตรียมไว้ให้ ภายในเวลา 5 นาที
- (4) ถอดอุปกรณ์ Emotive Headset ออก

การทดลองชุดที่สองจะทำการทดลองเกี่ยวกับด้านความจำ (Memory) ซึ่งการทดลองมีแบบทดสอบดังต่อไปนี้

แบบทดสอบด้านความจำ

- (1) สวมอุปกรณ์ Emotiv Headset ให้ผู้รับการทดสอบ
- (2) ให้ผู้รับการทดสอบฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที
- (3) ให้ผู้รับการทดสอบเล่นเกมจับคู่รูปภาพ (Memory matching) เป็นเวลา 5 นาที
- (4) ถอดอุปกรณ์ Emotive Headset ออก

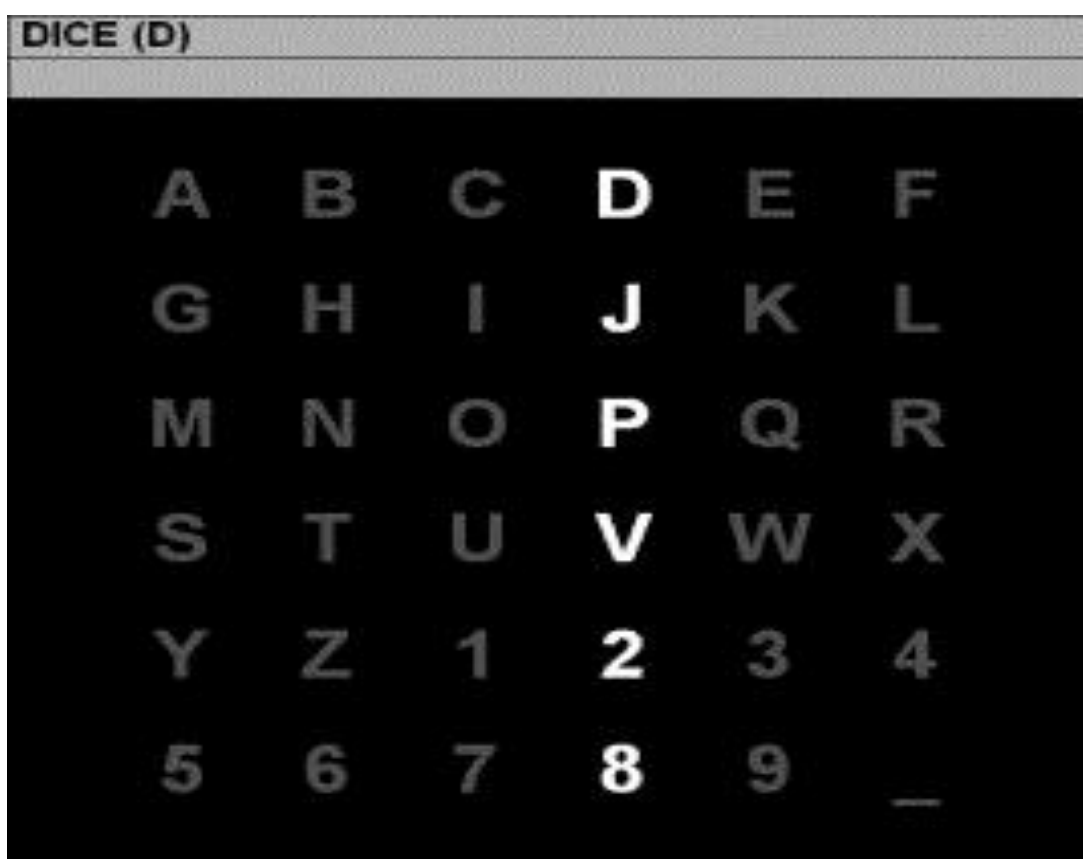
ทุกขั้นตอนของการทดลองจะบันทึกข้อมูลคลื่น EEG ของผู้เข้ารับการทดลองทุกคน โดยใช้ขั้นตอนกระบวนการดังในรูปที่ 14 โดยเมื่อสิ้นสุดกระบวนการจะได้ค่า Power spectrum ออกมา

### 3.3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER

งานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดคลื่น EEG สำหรับงานวิจัย (Research grade) เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของ Emotiv EPOC ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับการนำไปใช้ต่อไปในโครงการพัฒนาระบบเทคโนโลยีเสมือนจริงโดยใช้พีซีไอสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้ในผู้สูงอายุ โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์นี้จะใช้โปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER ซึ่งเป็นโปรแกรมสะกดคำโดยการส่งงานผ่านสมองที่มีอยู่ใน BCI2000 framework ทำการตรวจวัดจากผู้เข้ารับการทดลอง โดยการตรวจวัดนี้ใช้ช่องสัญญาณของ Emotiv EPOC เป็นจำนวน 14 ช่องสัญญาณ คือ ตำแหน่ง AF3 AF4 F3 F4 F7 F8 FC5 FC6 P7 P8 T7 T8 O1 O2 ใช้ช่องสัญญาณของ g.MOBIlab+ เป็นจำนวน 8 ช่องสัญญาณ คือ ตำแหน่ง AF3 AF4 FC5 FC6 P7 P8 O1 O2 การใช้ 14 ช่องสัญญาณและ 8 ช่องสัญญาณนี้ เป็นการใช้อำนาจของช่องสัญญาณที่เต็มประสิทธิภาพของทั้งสองอุปกรณ์ ขึ้นต่อไปคือเปรียบเทียบผลการสะกดคำที่ถูกต้องและแม่นยำของแต่ละอุปกรณ์ แล้วทำการบันทึกในเชิงสถิติเพื่อเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์

การทำงานของโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER (รูปที่ 21) มีดังนี้

- 1) ผู้ใช้ทำการ calibrate โปรแกรมโดยการสะกดคำ "THE" "QUICK" "BROWN" "FOX"
- 2) โปรแกรมจะทำการคำนวณค่า Parameter ของผู้ใช้เก็บไว้
- 3) นำค่า Parameter ของผู้ใช้ไปทำการทดสอบการสะกดคำที่ต้องการ
- 4) ในการสะกดคำ จอของโปรแกรมจะมีแสงสีขาวกระพริบตามแนวบรรทัดของตัวอักษร ทั้งแนวตั้งและแนวนอน หากแสงสีขาวยังกระพริบในตำแหน่งตัวอักษรที่ต้องการสะกดก็ให้ทำการนับในใจ โดยจะมีการกระพริบที่ตัวอักษรที่ต้องการสะกดเป็นจำนวน 20 ครั้ง ใน 1 ตัวอักษรผู้ใช้จึงต้องทำการนับเป็นจำนวน 20 ครั้ง
- 5) หากมีการนับที่ถูกต้องตัวอักษรที่ต้องการที่จะสะกดนั้นจะขึ้นมาปรากฏบนจอของโปรแกรมทางด้านซ้ายมือ



รูปที่ 21 โปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับ G.MobiLab+

- 1) ผู้เข้ารับการทดลองสวมอุปกรณ์ Emotiv EPOC
- 2) ทำการ calibrate ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER
- 3) ผู้เข้ารับการทดลองสะกดคำว่า "CHULA" สั่งการโดยสมองผ่านโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER
- 4) ผู้เข้ารับการทดลองสะกดคำว่า "UNIVERSITY" สั่งการโดยสมองผ่านโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER
- 5) บันทึกผลการทดลอง
- 6) ถอดอุปกรณ์ Emotiv EPOC  
พักระหว่างการทดลอง 2 นาที
- 1) ผู้เข้ารับการทดลองสวมอุปกรณ์ G.MobiLab+
- 2) ทำการ calibrate ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER
- 3) ผู้เข้ารับการทดลองสะกดคำว่า "CHULA" สั่งการโดยสมองผ่านโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER
- 4) ผู้เข้ารับการทดลองสะกดคำว่า "UNIVERSITY" สั่งการโดยสมองผ่านโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER
- 5) บันทึกผลการทดลอง
- 6) ถอดอุปกรณ์ G.MobiLab+

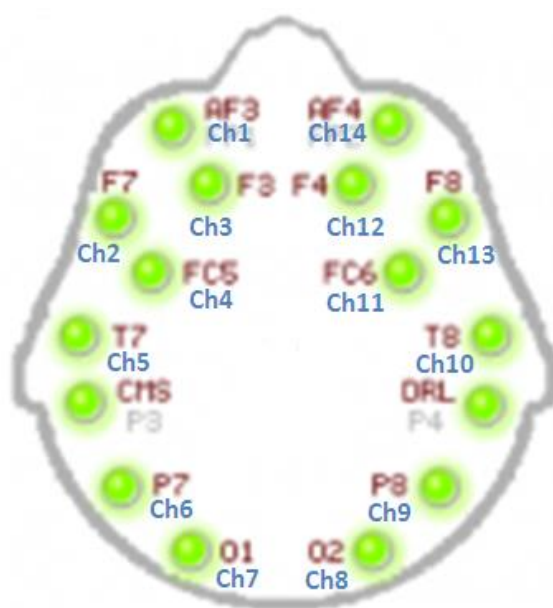
## บทที่ 4

### การทดลองและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 การทดลองเพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจ(Attention) กับคลื่น Alpha

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ผลของความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจ(Attention) กับพลังงานคลื่นแอลฟา โดยใช้ชุดรูปแบบการทดลองด้านความตั้งใจที่ได้กล่าวไว้ในวิธีดำเนินการวิจัย ในการทดลองด้านความตั้งใจจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองฟังเพลงผ่อนคลายเป็นเวลา 2 นาทีแล้ววัดคลื่นสมองในช่วงนั้น และช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจ

การดำเนินการเพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจกับพลังงานคลื่นแอลฟา ทำได้ดังนี้ คือ การใช้ Bandpass filter เพื่อแยกช่วงคลื่นแอลฟาออกมา แล้วนำไปเข้ากระบวนการหาค่า Power Spectrum โดยค่า Power spectrum ของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนจะถูกเก็บแยกตามชุดการทดลองและแยกตามช่องสัญญาณที่ได้จัดเก็บสัญญาณจาก Emotiv EPOC headset เข้ามา 14 จุด ดังในรูปที่ 22



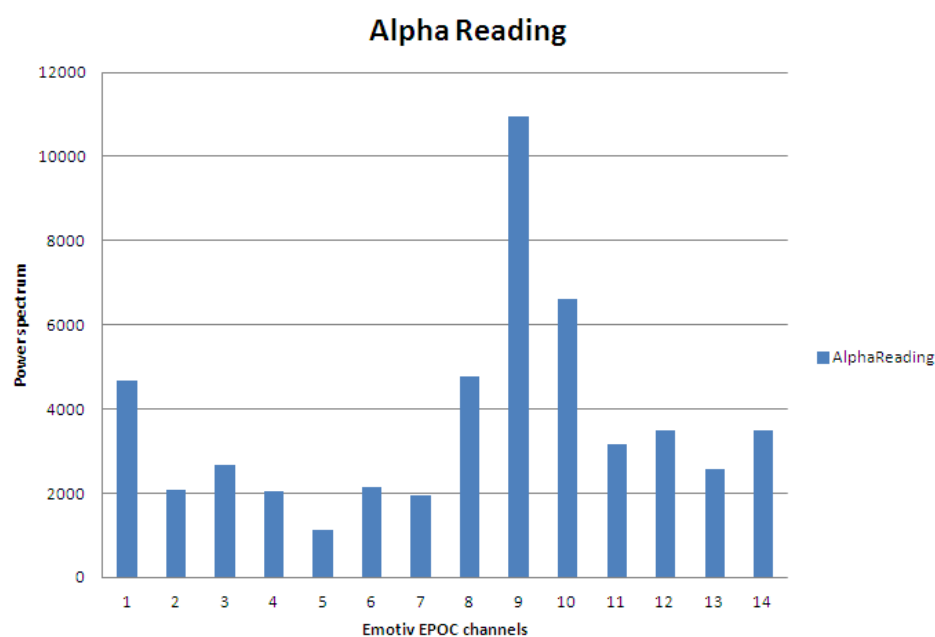
รูปที่ 22 จุดที่ใช้ในการตรวจวัดคลื่นสัญญาณสมองจาก Emotiv EPOC

#### 4.1.1 การวิเคราะห์ผลความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจ(Attention) กับคลื่น Alpha

การวิเคราะห์ผลเพื่อหาความเชื่อมโยงนี้จัดทำขึ้นโดยการนำค่า Power spectrum ที่ได้กรองย่านความถี่เฉพาะช่วงคลื่นแอลฟา ที่เก็บมาจากผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 10 คน เป็นผู้ชาย 6 คน อายุระหว่าง 23 ถึง 62 ปี และผู้หญิง 4 คน อายุระหว่าง 24 ถึง 61 ปีในชุดการทดลองด้านความตั้งใจมาดำเนินการ โดยการนำค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองผ่อนคลายโดยการฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที ลบกับค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจเป็นเวลา 5 นาที

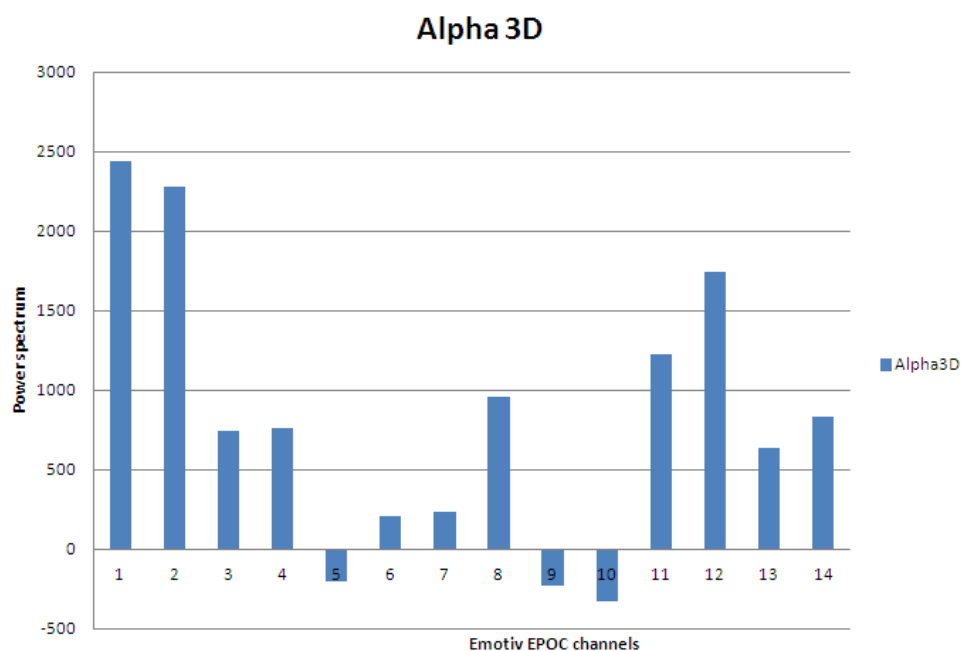
เมื่อนำค่า Power spectrum เฉลี่ยขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองผ่อนคลายโดยการฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที ลบกับค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจเป็นเวลา 5 นาทีและนำไปหาค่าเฉลี่ยทั้งหมดจากผู้เข้ารับการทดลองทั้ง 10 คน แยกเป็นแต่ละช่องสัญญาณทั้ง 14 ช่องสัญญาณ โดยผลที่ได้แต่ละแบบทดสอบของชุดการทดลองด้านความตั้งใจแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้

##### (1) แบบทดสอบการอ่านหนังสือ



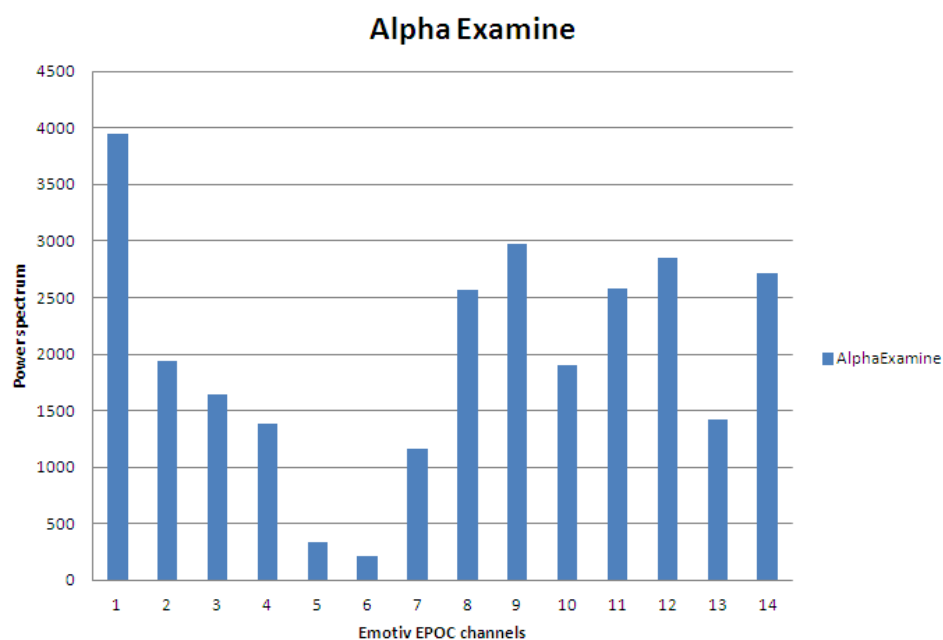
รูปที่ 23 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแอลฟา ขณะผ่อนคลายลบกับขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองอ่านหนังสือ

## (2)แบบทดสอบการดูภาพสามมิติ



รูปที่ 24 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแอลฟา ขณะผ่อนคลายลบบกับขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองดูภาพสามมิติ

## (3)แบบทดสอบการทำแบบประเมิน



รูปที่ 25 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแอลฟา ขณะผ่อนคลายลบบกับขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองทำแบบประเมิน



จากรูปที่ 23 24 และ 25 แสดงให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจกับคลื่นแอลฟาได้อย่างชัดเจน สามารถสังเกตจากกราฟได้ว่าแท่งกราฟส่วนใหญ่จะอยู่ในแกนบวก ซึ่งแกนบวกนี้หมายความว่าขณะผู้เข้ารับการทดลองอยู่ในภาวะผ่อนคลายจากการฟังเพลงสมองจะมีการปล่อยคลื่นแอลฟาที่มีค่า power spectrum สูงกว่าในขณะที่มีความตั้งใจ เนื่องจากกราฟนี้แสดงผลจากการนำค่า power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองผ่อนคลายโดยการฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที ลบกับค่า power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจเป็นเวลา 5 นาที

#### 4.2 การทดลองเพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจ(Attention) กับคลื่น Beta

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ผลของความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจ(Attention) กับพลังงานคลื่นเบต้า โดยใช้ชุดรูปแบบการทดลองด้านความตั้งใจที่ได้กล่าวไว้ในวิธีดำเนินการวิจัย ในการทดลองด้านความตั้งใจจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองฟังเพลงผ่อนคลายเป็นเวลา 2 นาทีแล้ววัดคลื่นสมองในช่วงนั้น และช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจ

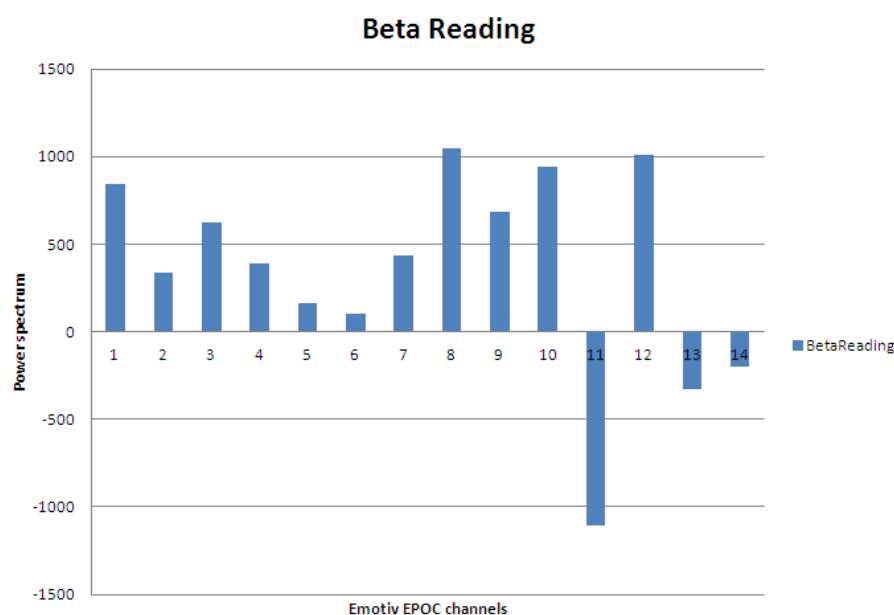
การดำเนินการเพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจกับพลังงานคลื่นเบต้า ทำได้ดังนี้ คือ การใช้ Bandpass filter เพื่อแยกช่วงคลื่นเบต้าออกมา แล้วนำไปเข้ากระบวนการหาค่า Power Spectrum โดยค่า Power spectrum ของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนจะถูกเก็บแยกตามชุดการทดลองและแยกตามช่องสัญญาณที่ได้จัดเก็บสัญญาณจาก Emotiv EPOC headset เข้ามา 14 จุด ดังในรูปที่ 22

#### 4.2.1 การวิเคราะห์ผลความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจกับคลื่น Beta

การวิเคราะห์ผลเพื่อหาความเชื่อมโยงนี้จัดทำขึ้นโดยการนำค่า Power spectrum ที่ได้กรวย่านความถี่เฉพาะช่วงคลื่นเบต้า ที่เก็บมาจากผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 10 คน เป็นผู้ชาย 6 คน อายุระหว่าง 23 ถึง 62 ปี และผู้หญิง 4 คน อายุระหว่าง 24 ถึง 61 ปี ในชุดการทดลองด้านความตั้งใจมาดำเนินการ โดยการนำค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองผ่อนคลาย โดยการฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที ลบกับค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจเป็นเวลา 5 นาที

เมื่อนำค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองผ่อนคลายโดยการฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที ลบกับค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจเป็นเวลา 5 นาที และนำไปหาค่าเฉลี่ยทั้งหมดจากผู้เข้ารับการทดลองทั้ง 10 คน แยกเป็นแต่ละช่องสัญญาณทั้ง 14 ช่องสัญญาณ โดยผลที่ได้แต่ละแบบทดสอบของชุดการทดลองด้านความตั้งใจแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้

##### (1) แบบทดสอบการอ่านหนังสือ

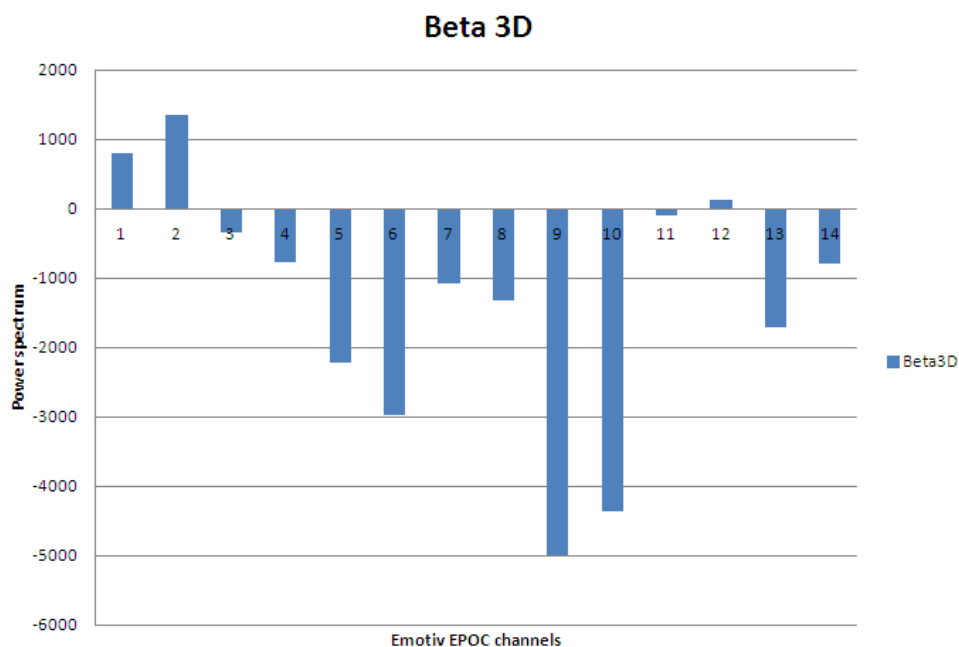


รูปที่ 26 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายลบกับขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองอ่านหนังสือ

จากกราฟรูปที่ 26 แสดงให้เห็นว่าค่า power spectrum ของคลื่นเบต้าขณะอ่านหนังสือมีค่าน้อยกว่าค่า power spectrum ขณะผ่อนคลาย นั่นคือมีแท่งกราฟอยู่ในแกนบวกในหลายจุดของการตรวจวัดคลื่นสมอง แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าผลต่างเมื่อทำการลบค่า power spectrum ขณะผ่อนคลายกับค่า power spectrum ขณะมีความตั้งใจนี้มีแนวโน้มที่น้อยลงจากผลของกราฟคลื่น

แอลฟา และในขณะมีความตั้งใจเมื่อตรวจวัดคลื่นเบต้าจะมีค่า power spectrum ที่สูงกว่าขณะผ่อนคลายในบางจุด

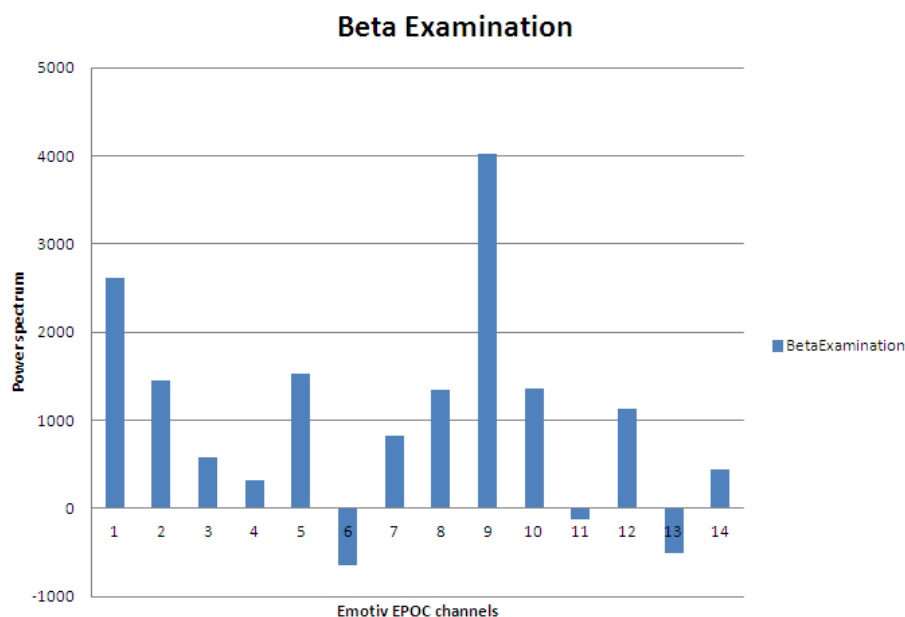
## (2) แบบทดสอบการดูภาพสามมิติ



รูปที่ 27 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายลบกับขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองดูภาพสามมิติ

จากกราฟรูปที่ 27 แสดงให้เห็นว่าค่า power spectrum ของคลื่นเบต้าขณะตั้งใจดูภาพสามมิติมีค่ามากกว่าค่า power spectrum ขณะผ่อนคลาย นั่นคือมีแท่งกราฟอยู่ในแกนลบในหลายจุดของการตรวจวัดคลื่นสมอง ซึ่งให้เห็นว่าในขณะมีความตั้งใจในการดูภาพสามมิติค่า power spectrum จะสูงกว่าในขณะผ่อนคลายค่อนข้างมาก

## (3)แบบทดสอบการทำแบบประเมิน



รูปที่ 28 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายลกับขณะมีความตั้งใจ ในการทดลองทำแบบประเมิน

จากกราฟรูปที่ 28 แสดงให้เห็นว่าค่า power spectrum ของคลื่นเบต้าขณะทำแบบประเมินมีค่าน้อยกว่าค่า power spectrum ขณะผ่อนคลาย นั่นคือมีแท่งกราฟอยู่ในแกนบวกในหลายจุดของการตรวจวัดคลื่นสมอง แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าผลต่างเมื่อทำการลบค่า power spectrum ขณะผ่อนคลายกับค่า power spectrum ขณะมีความตั้งใจมีแนวโน้มที่น้อยลงจากผลของกราฟคลื่นแอลฟา และในขณะมีความตั้งใจเมื่อตรวจวัดคลื่นเบต้าจะมีค่า power spectrum ที่สูงกว่าขณะผ่อนคลายในบางจุด

จากกราฟรูปที่ 26 27 และ 28 แสดงให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างความตั้งใจกับพลังงานคลื่นเบต้า สามารถสังเกตจากกราฟได้ว่าแท่งกราฟจะไม่อยู่ในแกนบวกเกือบทั้งหมดเหมือนกับกราฟของคลื่นแอลฟา และแท่งกราฟที่อยู่ในแกนบวกก็มีค่า power spectrum ที่ไม่สูงเท่ากับของคลื่นแอลฟา แท่งกราฟที่อยู่ในแกนบวกจากการตรวจวัดคลื่นเบต้ามีค่า power spectrum เฉลี่ยเท่ากับ 977.19 โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 4023.40 และค่าต่ำสุดอยู่ที่ 104.56 ส่วนค่า power spectrum เฉลี่ยของแท่งกราฟที่อยู่ในแกนบวกจากการตรวจวัดคลื่นแอลฟามีค่าสูงถึง 2343.43 โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 10966.94 และค่าต่ำสุดอยู่ที่ 209.84 เป็นที่น่าสังเกตอีกว่าแบบทดสอบการดูภาพสามมิติมีแท่งกราฟที่อยู่ในแกนลบมากกว่าแบบทดสอบอื่นๆ เนื่องมาจากการดูภาพสามมิติให้ออกกว่าเป็นรูปอะไรนั้นต้องใช้ความตั้งใจอย่างสูง ส่วนแบบทดสอบการอ่านหนังสือนั้นผู้เข้ารับการ

ทดลองอาจอ่านหนังสือแบบผ่อนคลายไม่ได้ใช้ความตั้งใจในการอ่านมากนัก เช่นเดียวกับแบบทดสอบการทำแบบประเมิน แต่ค่า power spectrum จากกราฟของแบบทดสอบการอ่านหนังสือและแบบทดสอบการทำแบบประเมินก็ยังมีส่วนที่มีค่าอยู่ในแกนลบและส่วนที่อยู่ในแกนบวกก็มีค่าเฉลี่ยที่ไม่สูงเท่ากับแท่งกราฟของคลื่นแอลฟา ซึ่งค่าที่มีแนวโน้มอยู่ในแกนลบนี้หมายความว่าขณะผู้เข้ารับการทดลองอยู่ในภาวะผ่อนคลายจากการฟังเพลงสมองจะมีการปล่อยคลื่นเบต้าที่มีค่า power spectrum น้อยกว่าในขณะที่มีความตั้งใจ เนื่องจากกราฟนี้แสดงผลจากการนำค่า power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองผ่อนคลายโดยการฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที ลบกับค่า power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจเป็นเวลา 5 นาที

#### 4.3 การทดลองเพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่างความทรงจำ(Memory) กับคลื่น Gamma

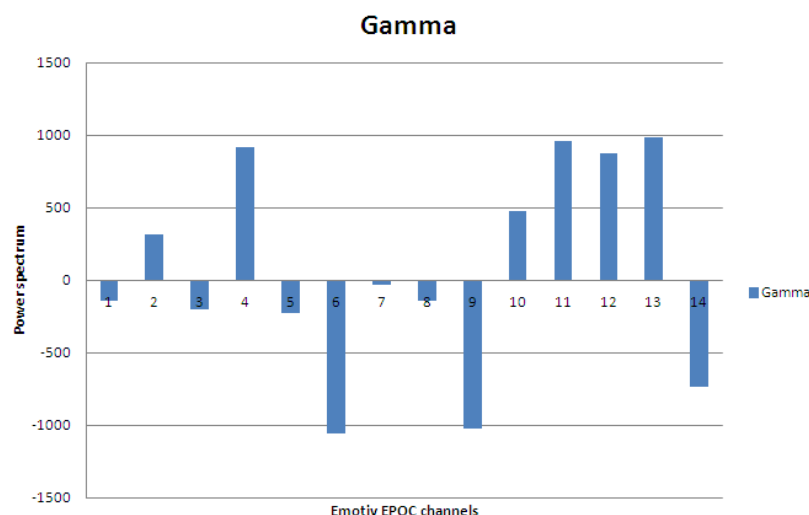
ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ผลของความเชื่อมโยงระหว่างความทรงจำ(Memory) กับคลื่นแอลฟาแกมมา โดยใช้ชุดรูปแบบการทดลองด้านความทรงจำที่ได้กล่าวไว้ในวิธีดำเนินการวิจัย ในการทดลองด้านความทรงจำจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองฟังเพลงผ่อนคลายเป็นเวลา 2 นาทีแล้ววัดคลื่นสมองในช่วงนั้น และช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองใช้ความทรงจำโดยการเล่นเกมสัจจับคู่ไฟ

การดำเนินการเพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่างความทรงจำกับคลื่นแกมมาทำได้ดังนี้ คือการใช้ Bandpass filter เพื่อแยกช่วงคลื่นแกมมาออกมา แล้วนำไปเข้ากระบวนการหาค่า Power Spectrum โดยค่า Power spectrum ของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนจะถูกเก็บแยกตามช่องสัญญาณที่ได้จัดเก็บสัญญาณจาก Emotiv EPOC headset เข้ามา 14 จุด ดังในรูปที่ 22

##### 4.3.1 การวิเคราะห์ผลความเชื่อมโยงระหว่างความทรงจำ(Memory) กับคลื่น Gamma

การวิเคราะห์ผลเพื่อหาความเชื่อมโยงนี้จัดทำขึ้นโดยการนำค่า Power spectrum ที่ได้กรองย่านความถี่เฉพาะช่วงคลื่นแกมมา ที่เก็บมาจากผู้เข้ารับการทดลองในชุดการทดลองด้านความทรงจำมาดำเนินการ โดยการนำค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองผ่อนคลายโดยการฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที ลบกับค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองเล่นเกมสัจจับคู่ไฟเป็นเวลา 5 นาที

เมื่อนำค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองผ่อนคลายโดยการฟังเพลงเป็นเวลา 2 นาที ลบกับค่า Power spectrum ขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองเล่นเกมสัจจับคู่ไฟเป็นเวลา 5 นาทีและนำไปหาค่าเฉลี่ยทั้งหมดจากผู้เข้ารับการทดลองทั้ง 10 คน แยกเป็นแต่ละช่องสัญญาณทั้ง 14 ช่องสัญญาณ โดยผลที่ได้แต่ละแบบทดสอบของชุดการทดลองด้านความตั้งใจแสดงเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 29 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแกมมา ขณะผ่อนคลายเทียบกับขณะเล่นเกมสจ๊วตไฟ

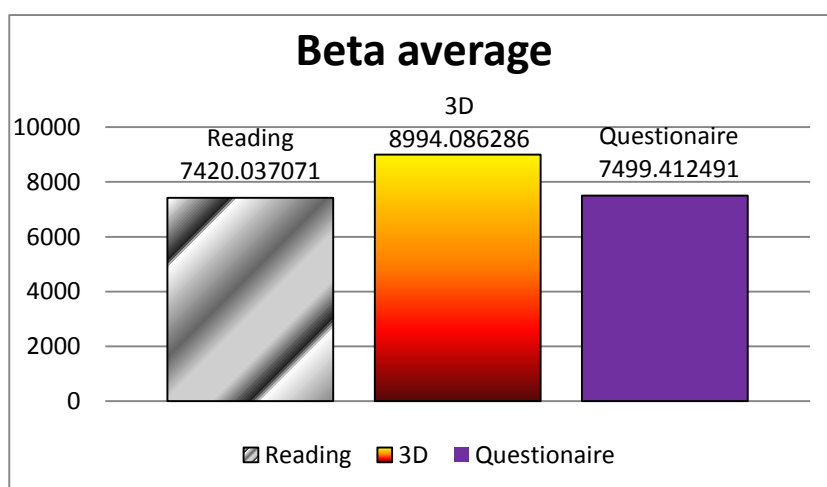
จากรูปที่ 29 แสดงให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างความทรงจำกับพลังงานคลื่นแกมมา กราฟที่อยู่ในแกนลบแสดงให้เห็นว่ากราฟแท่งที่อยู่ใน channel นั้นๆ มีค่า Power spectrum ในขณะที่สมองใช้ความทรงจำมากกว่าในขณะที่สมองมีความผ่อนคลาย กราฟที่อยู่ในแกนบวกแสดงให้เห็นว่ากราฟแท่งที่อยู่ใน channel นั้นๆ มีค่า Power spectrum ในขณะที่สมองมีความผ่อนคลายมากกว่าในขณะที่สมองใช้ความทรงจำ ความสัมพันธ์ที่ได้ปรากฏให้เห็นนี้จึงเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีในหัวข้อต่อไป

ซึ่งได้มีงานวิจัยคือ “Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory” [46] ได้ทำการหาความเชื่อมโยงระหว่างคลื่นแกมมากับความตั้งใจและความทรงจำ ซึ่งจากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า ขณะทำกิจกรรมที่ใช้ความทรงจำคลื่นแกมมาจะมีค่าพลังงานที่สูงขึ้น โดยหากดูจากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ในรูปที่30 จะเห็นได้ว่ามีบางจุดที่มีพลังงานของคลื่นแกมมาในขณะที่ใช้ความทรงจำในการเล่นเกมส์จ๊วตไฟที่มากกว่าในขณะที่ภาวะที่มีความผ่อนคลาย

#### 4.4 การวิเคราะห์ผลแบบทดสอบที่สามารถกระตุ้นภาวะตั้งใจของผู้เข้ารับการทดลองได้ดีที่สุด

จากการหาความเชื่อมโยงระหว่างคลื่นเบต้ากับความตั้งใจที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.2 จะเห็นได้ว่าการทดลองนั้นประกอบด้วยแบบทดสอบจำนวน 3 แบบทดสอบ นั่นก็คือ อ่านหนังสือ ดูภาพสามมิติ และทำแบบประเมิน ทั้ง 3 แบบทดสอบนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อกระตุ้นความตั้งใจของผู้เข้ารับการทดลองเพื่อที่จะสามารถตรวจวัดและวิเคราะห์ผลของคลื่นสมองขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจ

การวิเคราะห์ผลในหัวข้อนี้จัดทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละแบบทดสอบเพื่อหาแบบทดสอบที่สามารถกระตุ้นภาวะตั้งใจของผู้เข้ารับการทดลองได้ดีที่สุด โดยจะดำเนินการโดยการนำค่าเฉลี่ย Power spectrum คลื่นเบต้าของผู้เข้ารับการทดลองทุกคนของแต่ละแบบทดสอบมาเปรียบเทียบ โดยหากค่าเฉลี่ย Power spectrum คลื่นเบต้าของแบบทดสอบใดมีค่าสูงที่สุดจะสามารถสรุปได้ว่าแบบทดสอบนั้นเป็นแบบทดสอบที่สามารถกระตุ้นภาวะตั้งใจของผู้เข้ารับการทดลองได้ดีที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดดังกราฟรูปที่ 30



รูปที่ 30 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ของแต่ละแบบทดสอบ

จากกราฟรูปที่ 30 สามารถสรุปได้ว่าแบบทดสอบการดูภาพสามมิติสามารถกระตุ้นความสนใจของผู้เข้ารับการทดลองได้มากที่สุด รองลงมา ก็จะเป็นการทำแบบประเมินและการอ่านหนังสือตามลำดับ

เหตุที่ใช้เพียงคลื่นเบต้าในการวิเคราะห์แบบทดสอบที่กระตุ้นความตั้งใจได้ดี เนื่องจากการวิเคราะห์จากหัวข้อ 4.1 4.2 4.3 ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีความตั้งใจคลื่นเบต้าจะมีค่าพลังงานของคลื่นที่สูงขึ้น ส่วนคลื่นแอลฟาจะมีค่าพลังงานที่มีแนวโน้มลดลง ทางด้านคลื่นแกมมานั้นจะมีค่าพลังงานเชื่อมโยงกับความทรงจำ

#### 4.5 การทดลองเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha ได้ดี

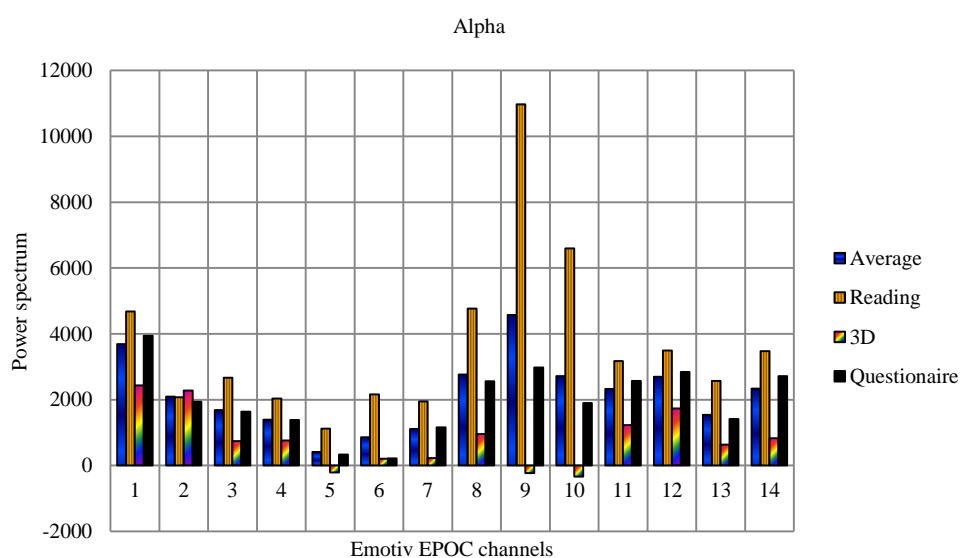
การทดลองนี้ใช้ชุดรูปแบบการทดลองด้านความตั้งใจที่ได้กล่าวไว้ในวิธีดำเนินการวิจัย ในการทดลองด้านความตั้งใจจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองฟังเพลงผ่อนคลายเป็นเวลา 2 นาทีแล้ววัดคลื่นสมองในช่วงนั้น และช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจ

การดำเนินการเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha ได้ดี ทำได้ดังนี้ คือ ใช้ Bandpass filter เพื่อแยกช่วงคลื่นแอลฟาออกมา แล้วนำไปเข้ากระบวนการหาค่า Power Spectrum โดยค่า Power spectrum ของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนจะถูกเก็บแยกตามชุดการทดลองและแยกตามช่องสัญญาณที่ได้จัดเก็บสัญญาณจาก Emotiv EPOC headset เข้ามา 14 จุด ดังในรูปที่ 22

##### 4.5.1 การวิเคราะห์ผลการเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha ได้ดี

การวิเคราะห์ผลนี้จัดทำขึ้นโดยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจกับคลื่นแอลฟาที่ได้วิเคราะห์ไว้ใน 4.1 โดยเมื่อมีความตั้งใจคลื่นแอลฟาจะมีค่า Power spectrum ที่ปล่อยออกมาจากสมองน้อยกว่าในขณะที่ผ่อนคลาย จากข้อเท็จจริงนี้การเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาได้ดีคือจุดที่เห็นความแตกต่างของค่า Power spectrum ของคลื่นแอลฟาขณะสมองมีความตั้งใจและสมองมีความผ่อนคลายได้ดีที่สุด

โดยจะทำการเปรียบเทียบค่า Power spectrum ที่ตรวจวัดได้แสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 31

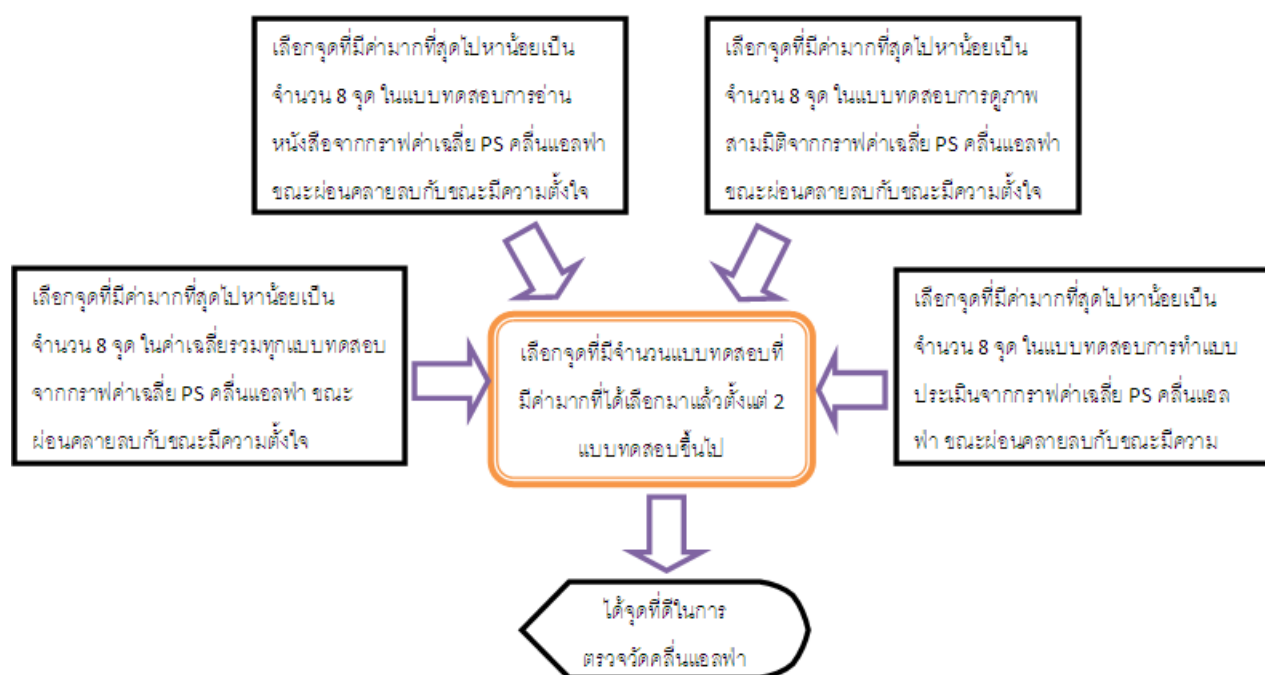


รูปที่ 31 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแอลฟา ขณะผ่อนคลายเทียบกับขณะมีความตั้งใจ



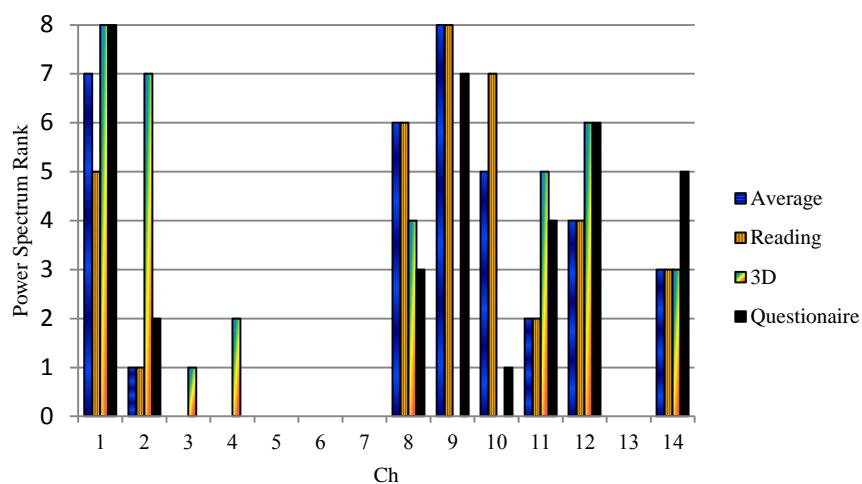
กราฟรูปที่ 31 คือกราฟแท่งที่รวมค่า Power spectrum เฉลี่ยรวมผู้เข้ารับการทดลองทุกคนของแต่ละการทดลอง และกราฟแท่งที่แยกค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลอง แท่งกราฟที่อยู่ในแถบวงกลมหมายถึงค่าเฉลี่ย Power spectrum ขณะที่มีความผ่อนคลายมีค่ามากกว่าขณะที่มีความตั้งใจ เนื่องจากกราฟนี้ใช้วิธีการหามาจากการใช้ค่า Power spectrum ขณะผ่อนคลายลบค่า Power spectrum ขณะตั้งใจ

ขั้นตอนในการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแอลฟา แสดงไว้ในรูปที่ 32



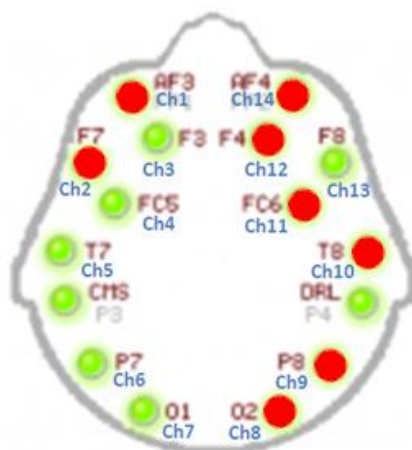
รูปที่ 32 ขั้นตอนในการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแอลฟา

โดยวิธีการหาจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาได้ดีทำได้โดยการเรียงลำดับจุดที่มีค่า Power spectrum ที่มีผลต่างระหว่างขณะมีความตั้งใจกับขณะผ่อนคลายมากที่สุดไปหาจุดที่มีผลต่างน้อยที่สุด ซึ่งผลต่างที่มากน้อยนี้ก็คือความสูงของแท่งกราฟนั่นเอง ในเบื้องต้นจะเลือกมาเฉพาะ 8 จุดที่มีค่า Power spectrum มากที่สุด โดยแยกตามแต่ละแบบทดสอบ ซึ่งมีด้วยกัน 3 แบบทดสอบ เมื่อเลือกจุดที่มีค่า Power spectrum มากที่สุดมา 8 จุดของแต่ละแบบทดสอบจะได้ผลดังกราฟรูปที่ 33



รูปที่ 33 กราฟแสดงการจัดอันดับค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นแอลฟา ขณะผ่อนคลาย กับขณะมีความตั้งใจ

ขั้นตอนต่อไปของการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแอลฟาคือการหาจุดที่มีค่าอยู่ในการจัดอันดับตั้งแต่ 2 แบบทดสอบขึ้นไป นั่นก็คือจุดที่ 1(AF3) 2(F7) 8(O2) 9(P8) 10(T8) 11(FC6) 12(F4) และ 14(AF4) ดังแสดงในรูปที่ 34



รูปที่ 34 รูปแสดงจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแอลฟา

#### 4.6 การทดลองเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Beta ได้ดี

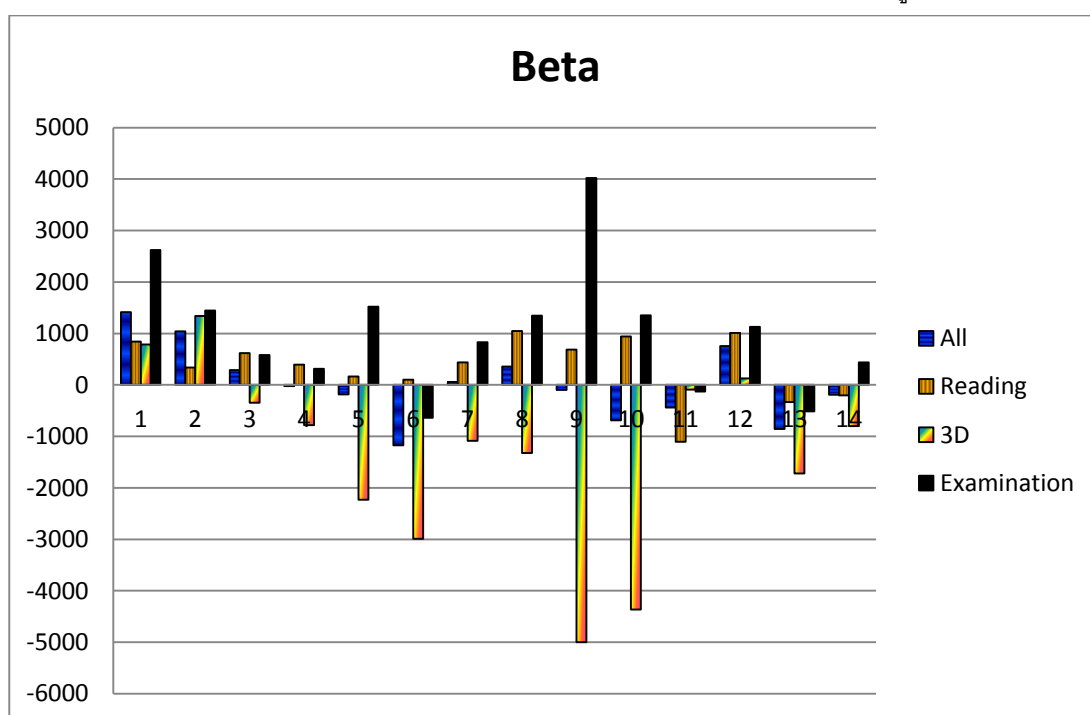
การทดลองนี้ใช้ชุดรูปแบบการทดลองด้านความตั้งใจที่ได้กล่าวไว้ในวิธีดำเนินการวิจัย ในการทดลองด้านความตั้งใจจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองฟังเพลงผ่อนคลายเป็นเวลา 2 นาทีแล้ววัดคลื่นสมองในช่วงนั้น และช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจ

การดำเนินการเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Beta ได้ดี ทำได้ดังนี้ คือ ใช้ Bandpass filter เพื่อแยกช่วงคลื่นเบต้าออกมา แล้วนำไปเข้ากระบวนการหาค่า Power Spectrum โดยค่า Power spectrum ของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนจะถูกเก็บแยกตามชุดการทดลองและแยกตามช่องสัญญาณที่ได้จัดเก็บสัญญาณจาก Emotiv EPOC headset เข้ามา 14 จุด ดังในรูปที่ 22

##### 4.6.1 การวิเคราะห์ผลการเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Beta ได้ดี

การวิเคราะห์ผลนี้จัดทำขึ้นโดยการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจกับคลื่นเบต้าที่ได้วิเคราะห์ไว้ใน 4.2 โดยเมื่อมีความตั้งใจคลื่นแอลฟาจะมีค่า Power spectrum ที่ปล่อยออกมาจากสมองมากกว่าในขณะที่ผ่อนคลาย จากข้อเท็จจริงนี้การเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นเบต้าได้ดีคือจุดที่เห็นความแตกต่างของค่า Power spectrum ของคลื่นเบต้าขณะสมองมีความตั้งใจและสมองมีความผ่อนคลายได้ดีที่สุด

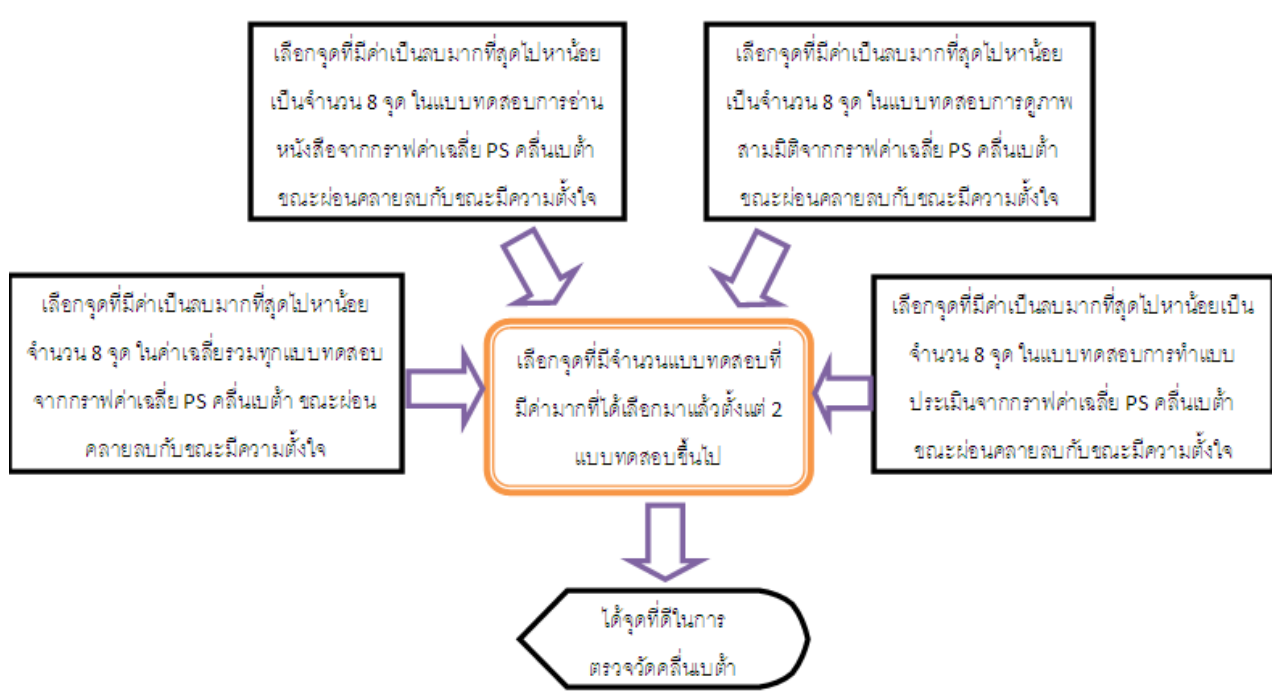
โดยจะทำการเปรียบเทียบค่า Power spectrum ที่ตรวจวัดได้แสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 35



รูปที่ 35 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายเทียบกับขณะมีความตั้งใจ

กราฟรูปที่ 35 คือกราฟแท่งที่รวมค่า Power spectrum เฉลี่ยของแต่ละการทดลอง และ กราฟแท่งที่แยกค่าเฉลี่ยของแต่ละการทดลอง แท่งกราฟที่อยู่ในแกนบวกลบหมายถึงค่าเฉลี่ย Power spectrum ขณะที่มีความตั้งใจมีค่าน้อยกว่าขณะที่มีความผ่อนคลาย เนื่องจากกราฟนี้ใช้วิธีการหา มาจากการใช้ค่า Power spectrum ขณะผ่อนคลายลบค่า Power spectrum ขณะตั้งใจ จะเห็นได้ ว่าในแบบทดสอบการอ่านหนังสือและการทำแบบประเมินนั้นมีแท่งกราฟที่อยู่ในแกนลบน้อยกว่า แบบทดสอบการดูภาพสามมิติ แต่การที่เราต้องเอาผลทั้งจากแบบทดสอบการอ่านและ แบบทดสอบการทำแบบประเมินมาร่วมวิเคราะห์ในการหาจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นเบต้าด้วยนั้น ก็เนื่องจากมีงานวิจัยที่ได้อ้างอิงถึง [46] [47] [48] [49] แสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 แบบทดสอบนี้มีผล ต่อการกระตุ้นความตั้งใจของผู้เข้ารับการทดสอบ และเนื่องจากเราต้องการจุดที่ดีในการตรวจวัดที่ ครอบคลุมในทุกรูปแบบการทดลอง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำจุดเหล่านี้ไปใช้ในการตรวจวัด จริงซึ่งอาจมีกิจกรรมเพื่อกระตุ้นความตั้งใจของผู้เข้ารับการทดลองที่หลากหลาย

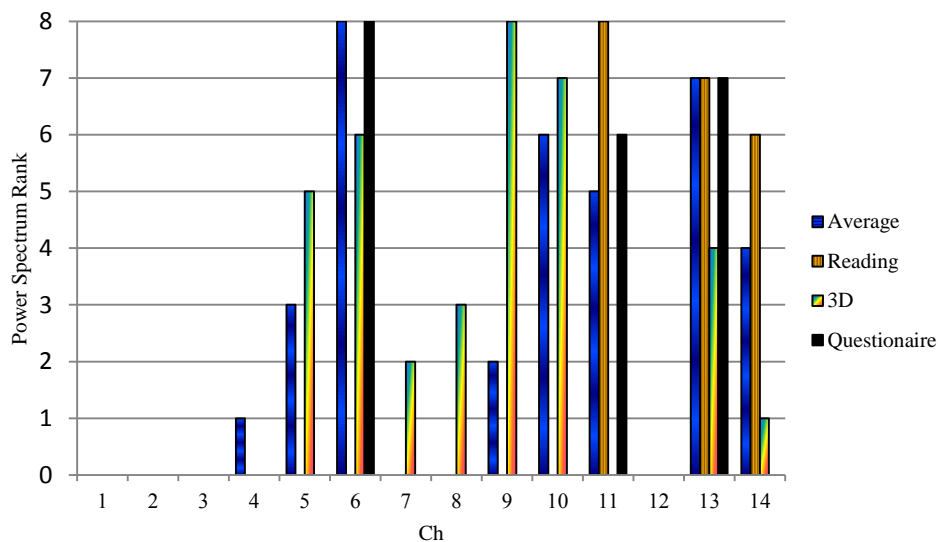
ขั้นตอนในการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นเบต้า แสดงไว้ในรูปที่ 36



รูปที่ 36 ขั้นตอนในการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นเบต้า

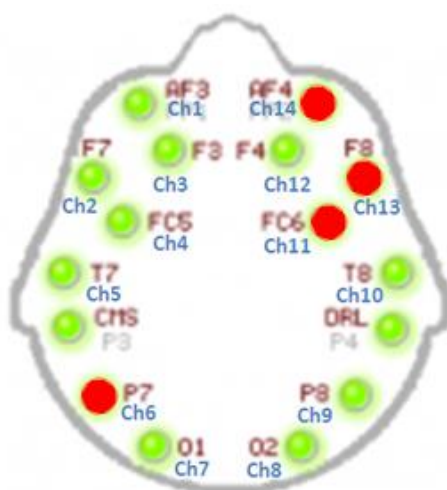
โดยวิธีการหาจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นเบต้าได้ดีทำโดยการเรียงลำดับจุดที่มีค่า Power spectrum ที่มีผลต่างระหว่างขณะมีความตั้งใจกับขณะผ่อนคลายที่อยู่ในการลบจากมากที่สุดไปหาจุดที่มีผลต่างน้อยที่สุด ซึ่งผลต่างที่มากน้อยนั้นก็คือความสูงของแท่งกราฟนั่นเอง ในเบื้องต้นจะ เลือกมาเฉพาะ 8 จุดที่มีค่า Power spectrum เป็นลบมากที่สุดไปหาหน่อยตามลำดับ โดยแยก

ตามแต่ละแบบทดสอบ ซึ่งมีด้วยกัน 3 แบบทดสอบ เมื่อเลือกจุดที่มีค่า Power spectrum เป็นลบมากที่สุดไปหาหน่วยตามลำดับมา 8 จุดของแต่ละแบบทดสอบจะได้ผลดังกราฟรูปที่ 37



รูปที่ 37 กราฟแสดงการจัดอันดับค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายกับขณะมีความตั้งใจ

ขั้นตอนต่อไปของการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นเบต้าคือการหาจุดที่มีค่าอยู่ในการจัดอันดับจากกราฟรูปที่ 37 ตั้งแต่ 2 แบบทดสอบขึ้นไป ซึ่งรวมค่าเฉลี่ยรวมของทุกแบบทดสอบไว้ด้วย จากทั้งหมด 3 แบบทดสอบ คือ อ่านหนังสือ ดูภาพสามมิติและทำแบบประเมิน นั่นก็คือจุดที่ 6(P7) 11(FC6) 13(F8) และ 14(AF4) ดังแสดงในรูปที่ 38



รูปที่ 38 รูปแสดงจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นเบต้า

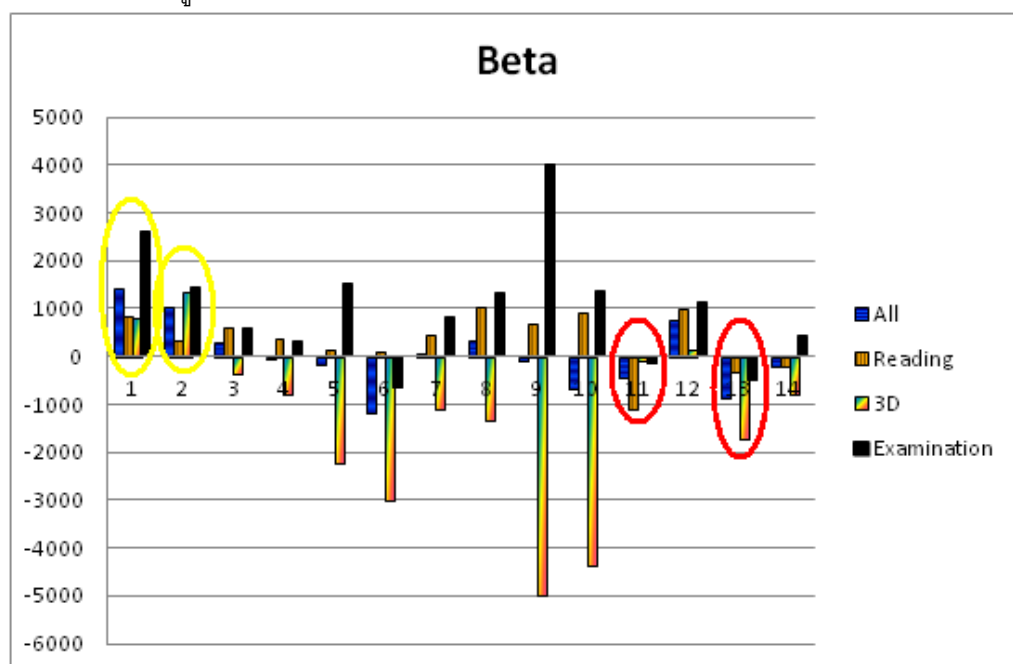
#### 4.7 การวิเคราะห์ผลการเลือกจุด 4 จุด ที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Alpha และ Beta ได้ดี

จากการหาจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าจาก 4.5 และ 4.6 ได้จุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นทั้งสองชนิดแสดงเป็นตารางที่ 3 ได้ดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงจุดที่ดี

Alpha	Beta
9	6
1	13
8	11
10	14
12	-
14	-
11	-
2	-

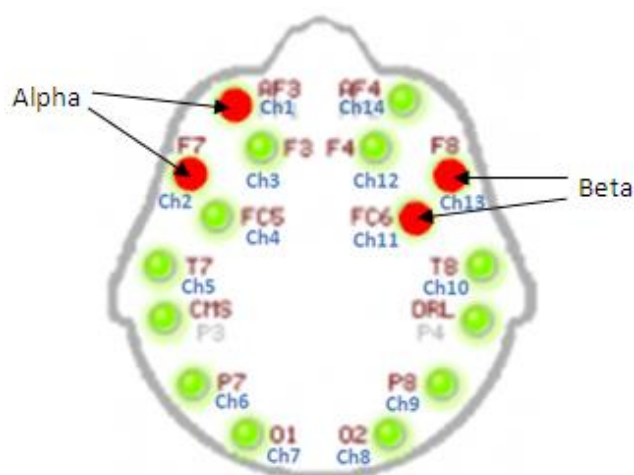
การวิเคราะห์เพื่อหาจุดที่ดี 4 จุดของการตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์จากกราฟรูปที่ 39



รูปที่ 39 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลายหลับกับขณะมีความตั้งใจ

กราฟรูปที่ 39 เป็นกราฟแสดงค่าเฉลี่ย power spectrum ของคลื่นเบต้า ขณะผ่อนคลาย ควบกับขณะมีความตั้งใจ ซึ่งจุดที่ตรวจวัดคลื่นเบต้าได้ดีจะเป็นจุดที่แท่งกราฟมีค่าเป็นลบ จากกราฟรูปที่ 39 จะเห็นได้ว่าในจุดที่ 11 และ 13 มีแท่งกราฟอยู่ในแกนลบในทุกแบบทดสอบ โดยที่ทั้งสองจุดนี้เป็นสองจุดจาก 4 จุดที่ถูกเลือกกว่าเป็นจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นเบต้าจาก 4.6 และจะเห็นได้ว่าจุด 1 และ 2 มีแท่งกราฟอยู่ในแกนบวกในทุกแบบทดสอบ และเป็นที่น่าสังเกตว่าทั้งสองจุดนี้เป็นสองจาก 8 จุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแอลฟาได้ดีจาก 4.5 จุดที่ 1 และ 2 จึงเป็นจุดที่ดีที่สุดในการตรวจวัดคลื่นแอลฟา เนื่องจากการตรวจวัดคลื่นแอลฟาโดยสองจุดนี้จะทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างภาวะขณะตั้งใจกับผ่อนคลายในคลื่นเบต้าและแอลฟาได้ดี

ดังนั้นจุดที่ดีที่สุดการตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าคือ 1 2 11 และ 13 ซึ่งแบ่งออกเป็นจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาได้ดีคือจุดที่ 1 และ 2 และจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นเบต้าได้ดีคือจุดที่ 11 และ 13 ดังแสดงในรูปที่ 40



รูปที่ 40 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าได้ดี

#### 4.8 การทดลองเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Gamma ได้ดี

การทดลองนี้ใช้ชุดรูปแบบการทดลองด้านความทรงจำที่ได้กล่าวไว้ในวิธีดำเนินการวิจัย ในการทดลองด้านความทรงจำจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองฟังเพลงผ่อนคลายเป็นเวลา 2 นาทีแล้ววัดคลื่นสมองในช่วงนั้น และช่วงที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองใช้ความทรงจำ โดยการเล่นเกมส์จับคู่ไพ่

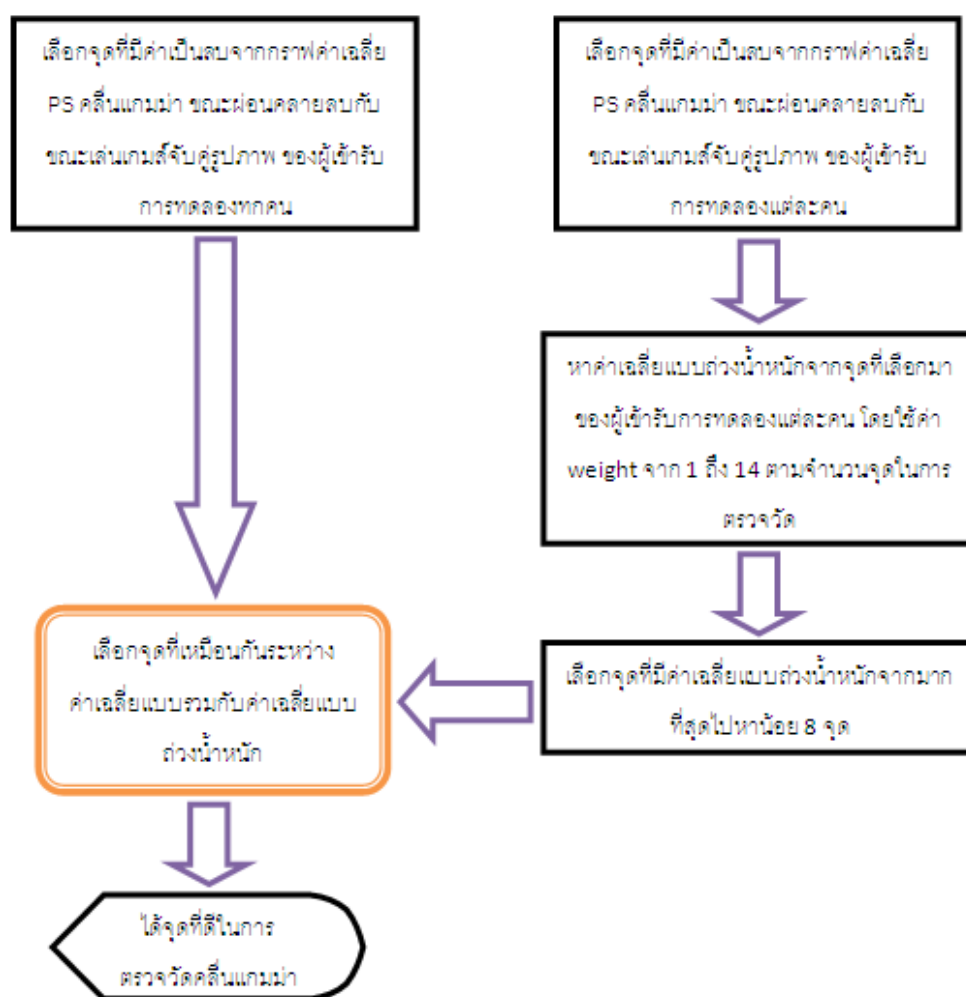
การดำเนินการเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Gamma ได้ดีทำได้ดังนี้ คือ ใช้ Bandpass filter เพื่อแยกช่วงคลื่นแกมมาออกมา แล้วนำไปเข้ากระบวนการหาค่า Power Spectrum โดยค่า Power spectrum ของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนจะถูกเก็บแยกตามช่องสัญญาณที่ได้จัดเก็บสัญญาณจาก Emotiv EPOC headset เข้ามา 14 จุด ดังในรูปที่ 22

##### 4.8.1 การวิเคราะห์ผลการเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่น Gamma ได้ดี

การวิเคราะห์ผลนี้ทำโดยการใช้ 2 วิธี ในการหาจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแกมมาและนำผลของทั้งสองวิธีนี้มาหาจุดที่ซ้ำซ้อนกันระหว่างสองวิธี ซึ่งก็จะได้จุดที่ดีที่สุดในการตรวจวัดคลื่นแกมมา เหตุที่การวิเคราะห์ผลเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่นแกมมาได้ดีต้องใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยถึงสองวิธีดังที่จะได้แสดงต่อไปนี้ เนื่องจากจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดี ซึ่งก็คือจุดที่มีค่าเฉลี่ยของค่า Power spectrum ขณะเล่นเกมจับคู่ไพ่มากกว่าค่าเฉลี่ย Power spectrum ขณะอยู่ในภาวะผ่อนคลายที่ได้ทำการตรวจวัดจากผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนมีผลที่ค่อนข้างแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากตารางที่ 5 ส่วนการวิเคราะห์ผลเพื่อเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดสัญญาณคลื่นแอลฟาและเบต้าได้ดีนั้น สามารถใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย Power spectrum แต่ละจุดของผู้เข้ารับการทดลองก็เพียงพอ เนื่องจากผลของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสามารถดูผลของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนได้ในภาคผนวก

ขั้นตอนในการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแกมมา แสดงไว้ในรูปที่ 41

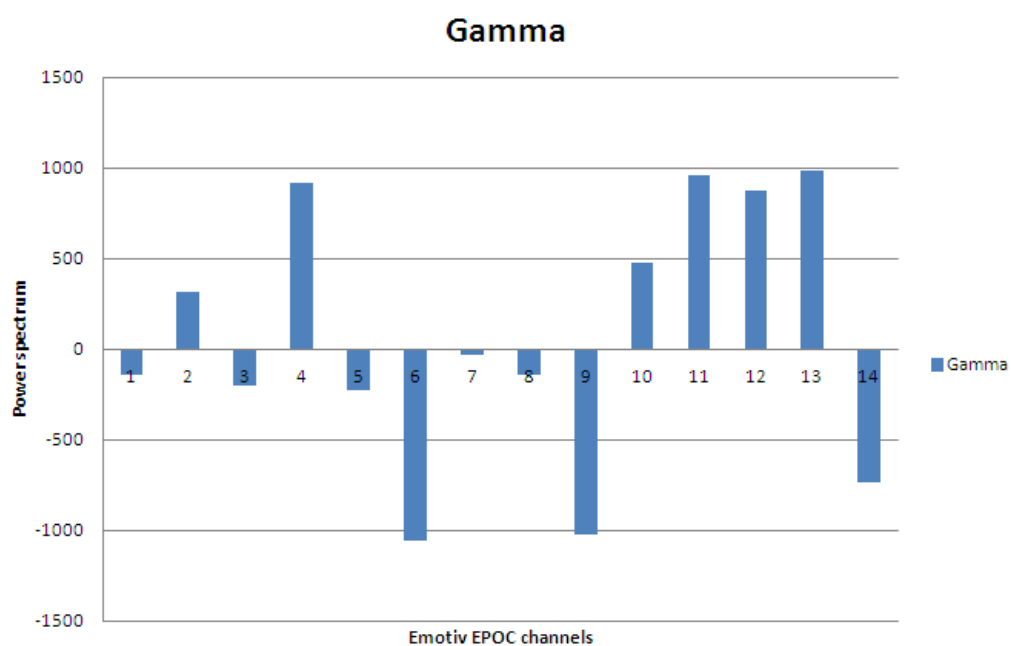




รูปที่ 41 ขั้นตอนในการเลือกจุดที่ดีที่สุดในการตรวจวัดคลื่นแกมมา

1. วิธีหาค่าเฉลี่ย Power spectrum ของคลื่นย่าน Gamma ที่วัดจากผู้เข้ารับการทดลอง

วิธีนี้คือการหาค่าเฉลี่ย Power spectrum ของคลื่นย่าน Gamma ที่วัดจากผู้เข้ารับการทดลอง โดยค่าในกราฟรูปที่ 42 นี้เกิดจากการนำค่าเฉลี่ย Power spectrum ในขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองฟังเพลงมาลบกับขณะผู้เข้ารับการทดลองเล่นเกมส์จับคู่รูปภาพ ค่าที่อยู่ในแกนลบจึงเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าในขณะที่ใช้ความจำในการเล่นเกมส์ค่าพลังงานของคลื่นแกมมาจะสูงกว่าในขณะที่ผ่อนคลาย ซึ่งจากงานวิจัย [46] ได้กล่าวไว้ว่าในขณะที่ใช้ความทรงจำค่าพลังงานคลื่นแกมมาจะมีค่าสูงขึ้น ในทางกลับกันค่าที่อยู่ในแกนบวกแสดงให้เห็นว่าในขณะที่ผ่อนคลายค่าพลังงานของคลื่นแกมมาจะสูงกว่าในการเล่นเกมส์ ด้วยความสัมพันธ์นี้จุดที่ดีที่สุดในการตรวจวัดคลื่นแกมมาคือจุดที่มีแท่งกราฟอยู่ในแกนลบ ซึ่งสามารถเรียงค่า Power spectrum ในแกนลบเพื่อหาจุดที่ดีที่สุดในการตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดังนี้ คือ จุดที่ 6 9 14 5 3 8 1 และ 7



รูปที่ 42 กราฟแสดงค่าเฉลี่ย Power spectrum คลื่นแกมมา ขณะผ่อนคลายเทียบกับขณะเล่นเกมส์  
จับคู่รูปภาพ ของผู้เข้ารับการทดลอง

จากกราฟรูปที่ 42 เราจะได้จุดที่วัดคลื่นแกมมาได้ดีโดยดูจากค่าเฉลี่ยทั้งหมด เรียงลำดับ  
จากมากไปหาน้อยได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแกมมาจากมากไปหาน้อย โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ย POWER  
SPECTRUM

6
9
14
5
3
8
1
7

## 2. วิธีหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก(Weighted average)

วิธีนี้คือการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักหรือ Weighted average จากค่า power spectrum ที่ได้ตรวจวัดจากผู้เข้ารับการทดลองทั้ง 10 คน โดยแยกค่า power spectrum ของแต่ละคนแบ่งตามแต่ละจุดของอุปกรณ์ Emotiv EPOC ทั้ง 14 จุด แล้วทำการเรียงค่า power spectrum ของจุดที่มีรูปภาพค่าเฉลี่ยอยู่ในแกนลบ ซึ่งเกิดจากการใช้ค่า power spectrum ขณะผ่อนคลายลบกับค่า power spectrum ขณะใช้ความทรงจำเล่นเกมสัจจับคู่รูปภาพ ค่าน้ำหนักในการหาค่าเฉลี่ยมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 14 โดยจุดที่มีค่า power spectrum เมื่อดูจากกราฟที่ใช้ค่า power spectrum ขณะผ่อนคลายลบกับค่า power spectrum ขณะใช้ความทรงจำเล่นเกมสัจจับคู่รูปภาพ เป็นลบมากที่สุดจะมีค่าน้ำหนัก 14 จุดรองลงมา ก็จะเป็น 13 12 จนถึง 1 ตามลำดับ ซึ่งการใส่ค่าน้ำหนักของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนในแต่ละจุดของ Emotiv EPOC ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 5 โดยค่าที่เป็นบวกจากใช้ค่า power spectrum ขณะผ่อนคลายลบกับค่า power spectrum ขณะใช้ความทรงจำเล่นเกมสัจจับคู่รูปภาพของผู้เข้ารับการทดลองนั้นจะเป็นค่าว่างในตารางที่ 5 ที่ไม่นำไปคิดในการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก

ตารางที่ 5 แสดงจุดที่มีค่าเฉลี่ย POWER SPECTRUM คลื่นแกมมา ขณะผ่อนคลายกับขณะเล่นเกมส์จับคู่รูปภาพ มีค่าเป็นลบเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคน เทียบกับค่าน้ำหนัก

Weight value	Benz	Tom	Aug	NaWat	Tae	Top	NaPat	Tum	Dad	Film
14	12	1	12	9	6	9	9	14	-	-
13	6	5	11	4	1	5	12	13	-	-
12	2	8	13	10	2	13	10	6	-	-
11	14	4	14	3	5	4	11	11	-	-
10	9	6	8	1	-	11	13	9	-	-
9	-	7	9	8	-	10	14	1	-	-
8	-	-	3	6	-	7	3	10	-	-
7	-	-	2	12	-	3	2	3	-	-
6	-	-	10	13	-	14	8	2	-	-
5	-	-	5	7	-	1	1	12	-	-
4	-	-	-	5	-	-	6	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

จากตารางที่ 5 จะทำการนับค่าที่อยู่ในแต่ละค่าน้ำหนักของจุดบน Emotiv EPOC ทั้ง 14 จุด โดยนำจำนวนที่นับได้นี้เป็นค่าน้ำหนักในการหาค่าเฉลี่ยของจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแกมมา โดยการนำค่าน้ำหนักที่นับได้ที่คูณกับค่าน้ำหนัก 1 ถึง 14 ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 บวกกันทั้งหมดในแต่ละจุด แล้วหารด้วยจำนวนเต็มของค่าน้ำหนักคือ 14 ซึ่งผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงการหาค่าเฉลี่ย POWER SPECTRUM แบบถ่วงน้ำหนักเพื่อหาจุดที่ดีในการตรวจวัด  
คลื่นแกมมา

Point/Ch	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
14	1					1			3			2		
13	1			1	2	1					1		1	
12		2				1		1		2			2	
11			1	2	1						2			2
10	1					1		1	2		1		1	
9	1						1	1	1	1				1
8			2			1	1			1				
7		2	2									1		
6		1						1		1			1	1
5	2				1		1					1		
4					1	1								
3							1							
2					1									
1														
Average	4	3.1 4	2.92	2.5	3.42	4.35	1.78	2.64	5.07	3.35	3.21	2.85	3.78	2.64

จากการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักหรือ Weighted average ได้จุดที่ดีที่สุดเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 จุดที่ดีที่สุดเรียงลำดับจากมากไปน้อยจากการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก

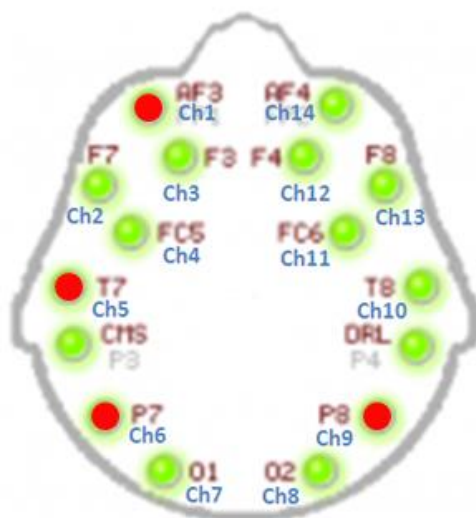
Rank
9
6
1
13
5
10
11
2

ขั้นต่อไปจะทำการเลือกจุดที่ดีที่สุด 4 จุด โดยการหาจุดร่วมระหว่างการหาแบบค่าเฉลี่ยรวมกับการหาแบบ Weighted average ได้ผลดังตารางที่ 8 ซึ่งมีจุดร่วมด้วยกัน 4 จุดตามที่ได้เน้นตัวหนาไว้ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 จุดร่วมระหว่างการหาแบบค่าเฉลี่ยรวมกับการหาแบบถ่วงน้ำหนัก

Rank	AllAverage
9	6
6	9
1	14
13	5
5	3
10	8
11	1
2	7

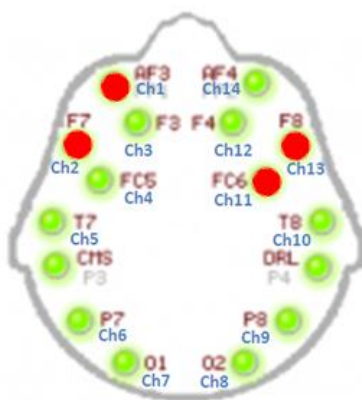
ดังนั้น จุดที่ดีที่สุด 4 จุดที่เหมาะสมจะใช้ในการตรวจวัดคลื่นแกมมาคือ 9 6 1 และ 5 ดังแสดงในรูปที่ 43



รูปที่ 43 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดี

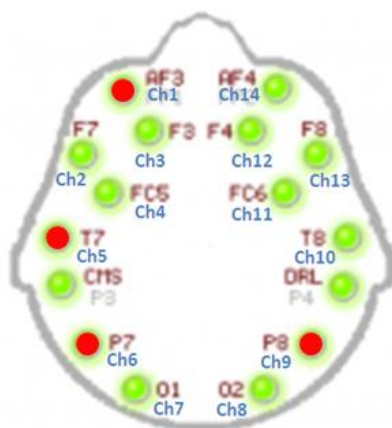
#### 4.9 การวิเคราะห์ผลการเลือกจุด 4 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่น Alpha Beta และ Gamma ได้ดีที่สุด

การวิเคราะห์ผลการเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าได้ดีจาก 4.7 จุดที่ดีที่สุดในการตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าคือ 1 2 11 และ 13 ซึ่งแบ่งออกเป็นจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาได้ดีคือจุดที่ 1 และ 2 และจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นเบต้าได้ดีคือจุดที่ 11 และ 13 ดังแสดงในรูปที่ 44



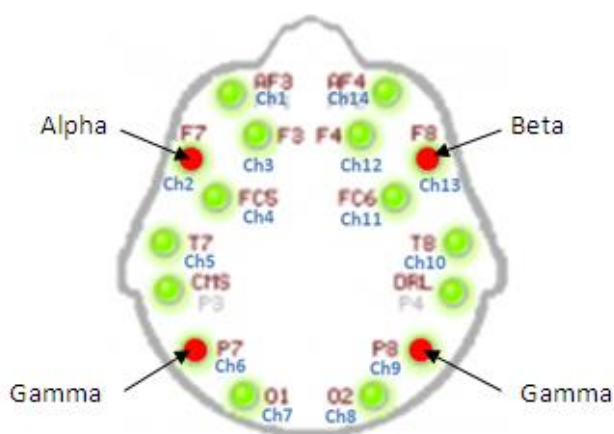
รูปที่ 44 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าได้ดี

การวิเคราะห์ผลการเลือกจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีจาก 4.8 จุดที่ดีที่สุดในการตรวจวัดคลื่นแกมมาคือ 1 5 6 และ 9 ดังแสดงในรูปที่ 45



รูปที่ 45 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดี

จากข้อมูลข้างต้นทางผู้จัดทำงานวิจัยนี้ขอสรุปผลจุดที่ดีที่สุดในการตรวจวัดคลื่นสมอง เพื่อใช้ในการฟื้นฟูการรู้จำ (Cognitive) ซึ่งประกอบไปด้วยความตั้งใจ (Attention) และความทรงจำ (Memory) ดังนี้ คือ จุดที่ 2 6 9 และ 13 ดังแสดงในรูปที่ 46



รูปที่ 46 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่น Alpha Beta และ Gamma ได้ดีที่สุด

ซึ่ง 4 จุดที่ได้ใช้นี้ประกอบไปด้วยจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาได้ดีหนึ่งจุด จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นเบต้าได้ดีหนึ่งจุดและจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีสองจุด โดยจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาได้ดีคือจุดที่ 2 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นเบต้าได้ดีคือจุดที่ 13 และจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีคือจุดที่ 6 และ 9 เหตุผลที่เลือก 4 จุดนี้มีดังนี้

- (1) จุดเหล่านี้แต่ละจุดได้ผ่านการทดลองและวิเคราะห์มาแล้วว่าสามารถใช้ในการตรวจวัดคลื่นความถี่ในย่านนั้นๆได้ดี



- (2) จากการทดลองและวิเคราะห์ผลได้เห็นว่า การตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้ามีความเสถียรมากกว่าการตรวจวัดคลื่นแกมมา จึงใช้จุดในการตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าอย่างละหนึ่งจุด
- (3) ในทางกลับกันการตรวจวัดคลื่นแกมมามีความเสถียรน้อยกว่าจึงใช้จุดในการตรวจวัดเป็นจำนวนสองจุด
- (4) จุดที่เลือกมานี้เป็นจุดที่สมมาตรกันพอดี ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดคลื่นทั้งสามชนิดในอนาคต โดยจะทำให้การออกแบบอุปกรณ์ทำได้สะดวกขึ้น และมีผลดีทางอ้อมคือสามารถใช้อุปกรณ์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาในอนาคตนี้ตรวจวัดอารมณ์ของผู้ใช้ได้ เนื่องจากมีการวิจัยได้กล่าวถึงอารมณ์ต่างๆของสมองที่แสดงผลของรูปคลื่นสมองแตกต่างกันในซีกขวาและซีกซ้ายของสมอง [45]

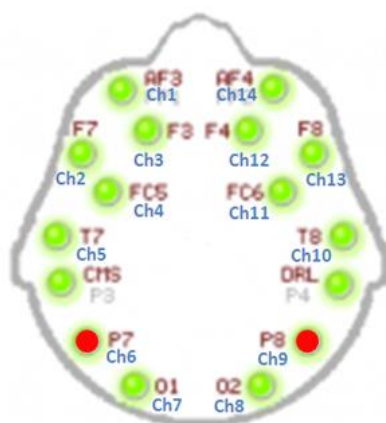
#### 4.9.1 การวิเคราะห์เหตุที่ต้องเลือกจุดสำหรับการตรวจวัดคลื่น Gamma 2 จุด

จากการทดลองการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแกมมาจะเห็นได้ว่า จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีของผู้เข้ารับการทดลองแต่ละคนค่อนข้างมีความแตกต่างกัน ดังในตารางที่ 5 รวมทั้งจากงานวิจัยหลายๆงานได้กล่าวถึงในความไม่เสถียรของการตรวจวัดคลื่นแกมมา เช่น งานวิจัย “High-frequency broadband modulations of electroencephalographic spectra”[51] ได้ชี้ให้เห็นว่าการตรวจวัดคลื่นสมองที่มีความถี่สูงหรือคลื่นแกมมานั้นจะมีแอมพลิจูดของคลื่นที่ต่ำซึ่งอาจเกิดการปะปนกันกับคลื่นรบกวนจากการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อหนังศีรษะ ทำให้ตรวจวัดได้ยากกว่าคลื่นที่มีความถี่ต่ำ และงานวิจัย “High-Frequency Oscillations Recorded on Scalp EEG”[52] ได้กล่าวว่คลื่นแกมมามีความถี่ที่สูงมีแอมพลิจูดต่ำ ทำให้โดนรบกวนจากคลื่นรบกวนได้มาก ในการตรวจวัดจึงควรใช้ขั้นตอนตรวจวัดแบบพิเศษ เช่น การตรวจวัดซ้ำ

โดยปกติการตรวจวัดคลื่นสมอง รวมถึงคลื่นแกมมาสามารถตรวจวัดได้จากทุกจุดจากตำแหน่ง 10-20 system ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการเลือกจุดที่ดีสำหรับการตรวจวัดคลื่นแกมมาโดยการดูความแตกต่างของค่า Power spectrum ขณะผ่อนคลายโดยการฟังเพลงกับขณะใช้สมองส่วนความทรงจำในการเล่นเกมส์จับคู่ไพ่ โดยจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีที่ได้เลือกจากกระบวนการดังหัวข้อ 4.9 คือ จุดที่ 6(P8) และ จุดที่ 9(P8) ดังรูปที่ 47 ซึ่งสองจุดนี้ได้รับการวิเคราะห์จากผู้เข้ารับการทดลองกลุ่มตัวอย่างแล้วว่ามีแนวโน้มที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีกว่าจุดอื่นๆ

เนื่องจากไม่มีนัยยะสำคัญทางด้านข้อมูลที่สามารถบ่งชี้ได้ว่าสองจุดนี้เป็นจุดที่ดีที่สุดสำหรับการตรวจวัดคลื่นแกมมาสำหรับบุคคลโดยทั่วไปได้ แต่มีแนวโน้มว่าสองจุดที่ได้เลือกไปนี้มีแนวโน้มเป็นจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดี จากที่ได้กล่าวไปข้างต้นว่าทุกจุดจากตำแหน่ง 10-20 system สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ ด้วยข้อมูลจากการทดลองและเทคนิคการเลือกจุด จึงสรุปได้ว่าสองจุดนี้เป็นจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแกมมา ซึ่งการเลือกนี้จะนำไปสู่กระบวนการลดจำนวนจุดในการตรวจวัดลงให้เหลือน้อยของสัญญาณ และจากสาเหตุความไม่แน่นอนด้านข้อมูลดังกล่าวและเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.9 จึงได้ทำการเลือกจุดที่ดีในการตรวจวัดคลื่นแกมมาสองจุดคือ จุดที่ 6(P8) และ จุดที่ 9(P8)

เหตุผลที่อยากให้อาจเกิดคือทำไมจึงไม่ใช้มากกว่าสองจุดขึ้นไป เนื่องจากดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าทุกจุดใน 10-20 สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ หากสองจุดนี้ไม่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีที่สุดในบุคคลนั้นๆ แต่สองจุดนี้ก็ยังสามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้และยังมีแนวโน้มที่ดีกว่าจุดอื่นอีกด้วย และเนื่องจากต้องการทำระบบให้มีน้อยของสัญญาณที่สุด การเลือกใช้จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีเป็นจำนวนสองจุดนี้จึงเป็นสิ่งที่เหมาะสม



รูปที่ 47 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่น Gamma ได้ดีที่สุด

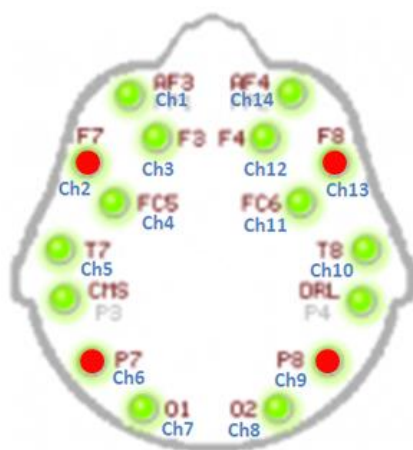
#### 4.10 การวิเคราะห์ผลเพื่อการเพื่อการตรวจวัดคลื่นสมองแบบน้อยช่องสัญญาณ

การวิเคราะห์ผลในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้จุดในการตรวจวัดที่น้อยกว่า 4 จุด และมากกว่า 4 จุด โดยจะทำการนำจุดที่ดีที่สุดของการตรวจวัดแต่ละคลื่นความถี่มาวิเคราะห์ การวิเคราะห์ผลนี้จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยการหาค่าเฉลี่ย Power spectrum ของแต่ละช่วงคลื่นโดยการนำแบบทดสอบที่ดีที่สุดของแต่ละช่วงคลื่นมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งแบบทดสอบที่ดีที่สุดของการตรวจวัดคลื่นเบต้าคือแบบทดสอบการดูภาพสามมิติที่เป็นการกระตุ้นภาวะตั้งใจของผู้เข้ารับการทดลองได้ดีที่สุด ดังที่ได้วิเคราะห์ผลไว้ในหัวข้อที่ 4.4 การตรวจวัดคลื่นแอลฟาใช้จากช่วงเวลาผ่อนคลายโดยการฟังเพลงก่อนเริ่มแบบทดสอบ และการตรวจวัดคลื่นแกมมาใช้จากขณะผู้เข้ารับการทดลองเล่นเกมสัจชีพ ซึ่งทั้ง 3 รูปแบบที่จะดึงข้อมูลค่า Power spectrum มาใช้นี้เป็นรูปแบบที่สามารถกระตุ้นพลังงานหรือค่า Power spectrum ของแต่ละช่วงคลื่นได้ดีที่สุด

การวิเคราะห์จะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ การดูประสิทธิภาพของการตรวจวัดโดยใช้ 3 จุด การตรวจวัดโดยใช้ 4 จุด และการตรวจวัดโดยใช้ 6 จุด

##### (1) ค่าเฉลี่ย Power spectrum รวมเมื่อใช้ 3 จุดในการตรวจวัด

3 จุด ที่เลือกมาทำการตรวจวัดนี้ได้ทำการเลือกมาจาก 4 จุดที่วิเคราะห์มาแล้วว่าสามารถทำการตรวจวัดคลื่นแอลฟา เบต้าและแกมมาได้ดีที่สุด ดังรูปที่ 48

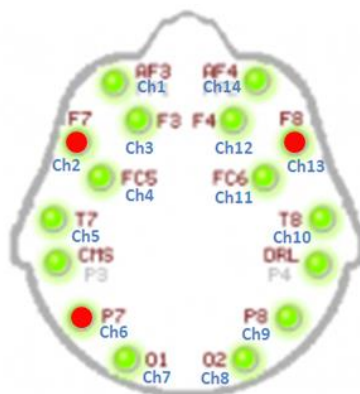


รูปที่ 48 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่น Alpha Beta และ Gamma ได้ดีที่สุด

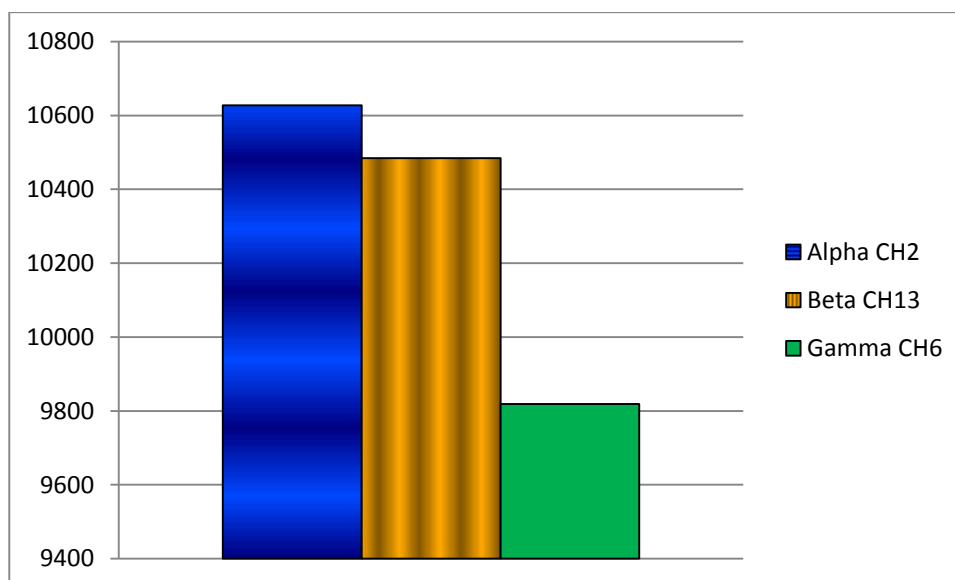
โดยจาก 4 จุดที่ทำการวิเคราะห์มีจุดที่ทำการตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดี 2 จุด คือ P7(CH6) และ P8(CH9) การวิเคราะห์นี้จะลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการรวมจุดใดจุดหนึ่งใน 2

จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีนี้เข้าไปในการวิเคราะห์รวม 3 จุด ที่ประกอบด้วยจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาได้ดี F7(CH2) และ จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นเบต้าได้ดี F8(CH13)

3 จุดแรกที่ทำกรวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ย Power spectrum รวมคือ F7(CH2) F8(CH13) และ P7(CH6) ดังแสดงในรูปที่ 49 โดยค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ 3 จุดนี้เป็นดังกราฟรูปที่ 50



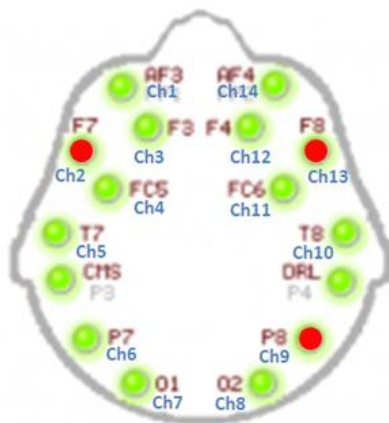
รูปที่ 49 3 จุดแรกที่ทำกรวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวม



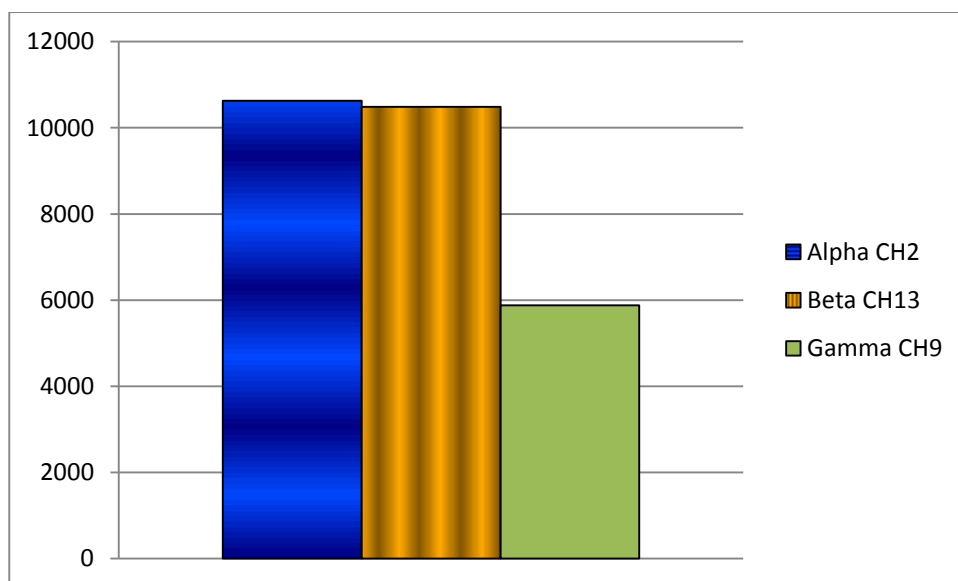
รูปที่ 50 ค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ F7(CH2) F8(CH13) และ P7(CH6)

จากกราฟรูปที่ 50 ค่าเฉลี่ยรวม Power spectrum ของการตรวจวัดจาก 3 จุดนี้ คือ 10310.32

3 จุดที่สองที่ทำการวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวมคือ F7(CH2) F8(CH13) และ P8(CH9) ดังแสดงในรูปที่ 51 โดยค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ 3 จุดนี้เป็นดังกราฟรูปที่ 52



รูปที่ 51 3 จุดที่สองที่ทำการวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวม

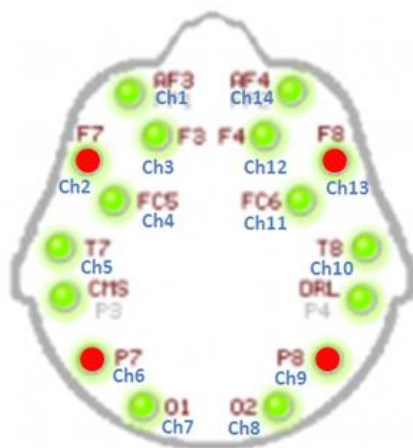


รูปที่ 52 ค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ F7(CH2) F8(CH13) และ P8(CH9)

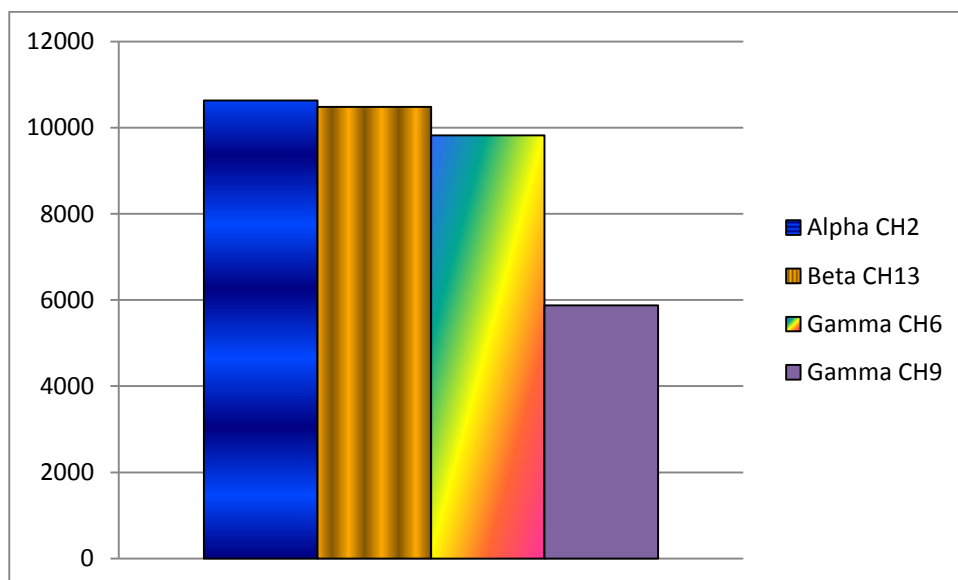
จากกราฟรูปที่ 52 ค่าเฉลี่ยรวม Power spectrum ของการตรวจวัดจาก 3 จุดนี้ คือ 8996.80

(2) ค่าเฉลี่ย Power spectrum รวมเมื่อใช้ 4 จุดในการตรวจวัด

4 จุดที่ใช้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวมคือ F7(CH2) F8(CH13) P7(CH6) และ P8(CH9) ดังแสดงในรูปที่ 53 โดยค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ 4 จุดนี้เป็นดังกราฟรูปที่ 54



รูปที่ 53 4 จุดที่ทำการวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวม

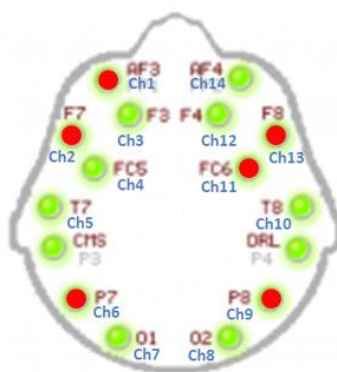


รูปที่ 54 ค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ F7(CH2) F8(CH13) P7(CH6) และ P8(CH9)

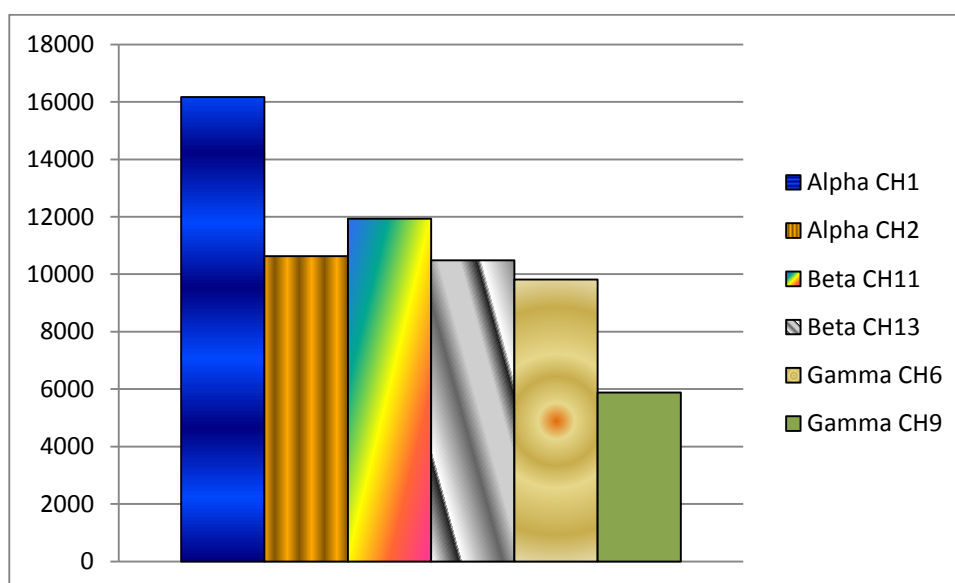
จากกราฟรูปที่ 54 ค่าเฉลี่ยรวม Power spectrum ของการตรวจวัดจาก 4 จุดนี้ คือ 9202.29

(3) ค่าเฉลี่ย Power spectrum รวมเมื่อใช้ 6 จุดในการตรวจวัด

4 จุดที่ใช้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวมคือ AF3(CH1) F7(CH2) P7(CH6) FC6(CH11) F8(CH13) และ P8(CH9) ดังแสดงในรูปที่ 55 โดยค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ 6 จุดนี้เป็นดังกราฟรูปที่ 56



รูปที่ 55 6 จุดที่ทำการวิเคราะห์เพื่อหาเฉลี่ย Power spectrum รวม



รูปที่ 56 ค่าเฉลี่ย Power spectrum ของ AF3(CH1) F7(CH2) P7(CH6) FC6(CH11) F8(CH13) และ P8(CH9)

จากกราฟรูปที่ 56 ค่าเฉลี่ยรวม Power spectrum ของการตรวจวัดจาก 6 จุดนี้ คือ

10818.37

จากผลการหาค่าเฉลี่ย Power spectrum ของการใช้จำนวนจุดต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมา สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการหาค่าเฉลี่ย POWER SPECTRUM ของการใช้จำนวนจุดต่างๆ

จุดที่ทำการตรวจวัด	ค่า Power spectrum เฉลี่ย
F7(CH2) F8(CH13) P7(CH6)	10310.32
F7(CH2) F8(CH13) P8(CH9)	8996.80
F7(CH2) F8(CH13) P7(CH6) P8(CH9)	9202.29
AF3(CH1) F7(CH2) P7(CH6) FC6(CH11) F8(CH13) และ P8(CH9)	10818.37

จากตารางที่ 9 สามารถหาความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยการเรียงลำดับค่า Power spectrum เฉลี่ย ได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการเรียงลำดับค่าเฉลี่ย POWER SPECTRUM ของการใช้จำนวนจุดต่างๆ

ลำดับที่	จุดที่ทำการตรวจวัด
1	6 จุด: AF3(CH1) F7(CH2) P7(CH6) FC6(CH11) F8(CH13) P8(CH9)
2	3 จุด: F7(CH2) F8(CH13) P7(CH6)
3	4 จุด: F7(CH2) F8(CH13) P7(CH6) P8(CH9)
4	3 จุด: F7(CH2) F8(CH13) P8(CH9)

จากข้อมูลในตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ย Power spectrum รวมเมื่อใช้จุดที่ทำการตรวจวัด 6 จุด มีค่ามากที่สุด อันดับสองคือจำนวน 3 จุด ที่ใช้ F7(CH2) F8(CH13) P7(CH6) อันดับสามคือจำนวน 4 จุด และอันดับสุดท้ายคือจำนวน 3 จุดที่ใช้ F7(CH2) F8(CH13) P8(CH9)

ถ้าหากดูจากข้อมูลข้างต้นนี้ควรจะใช้ 6 จุด ในการตรวจวัดเพื่อประสิทธิภาพที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากการใช้ 6 จุด และ 4 จุดในการตรวจวัด ไม่ได้มีความแตกต่างกันทางด้านข้อมูลมากพอที่จะนำไปสู่การทำการเพิ่มจุด จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าค่า Power spectrum เฉลี่ยรวมของการตรวจวัดโดย 6 จุด มากกว่าค่า Power spectrum เฉลี่ยรวมของการตรวจวัดโดย 4 จุด อยู่ที่ 1,616 หน่วย เนื่องจากค่า Power spectrum นี้ทำการหาโดยใช้ค่า amplitude ของคลื่นความถี่นั้นๆมาทำการยกกำลังสอง เมื่อทำการถอดรากที่สองของ 1,616 หน่วย ก็จะมีค่าเพียงประมาณ 18 หน่วย ซึ่งถือว่าเป็นตัวเลขที่น้อยมาก คิดเป็นประมาณ 6% เมื่อเทียบกับ amplitude ระดับปกติ



ที่อยู่ประมาณ 200-400 หน่วย และจากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ผ่านมาจึงสามารถยืนยันได้ว่าการเลือก 4 จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟา เบต้า และแกมมา ได้ดีที่สุด เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการพัฒนาระบบการตรวจวัดแบบน้อยช่องสัญญาณ

การที่การวิเคราะห์ข้างต้นไม่ได้กล่าวถึงการใช้ 3 จุด F7(CH2) F8(CH13) P7(CH6) ในการตรวจวัด ซึ่งมีค่าเฉลี่ย Power spectrum มากเป็นอันดับที่สอง เนื่องจากความไม่เสถียรของการตรวจวัดคลื่นแกมมาดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.9.1

#### 4.11 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER

การทดลองนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ โดยใช้ผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 6 คน รูปแบบของการทดลองได้แสดงไว้ในวิธีดำเนินการทดลอง 3.3

##### 4.11.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER

การวิเคราะห์ผลการทดลองนี้จัดทำขึ้นโดยการใช้ตารางบันทึกผลการทดลองที่ได้ทำการบันทึกไว้ขณะทดลอง ซึ่งผลของการทดลองที่ได้บันทึกลงในตารางนี้คือจำนวนคำที่ผู้เข้ารับการทดลองสะกดผิด แยกตามแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แบบบันทึกผลการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ EMOTIV EPOC กับ G.MOBI LAB+

ผู้เข้ารับการทดลองคนที่	อุปกรณ์ Emotiv EPOC		อุปกรณ์ G.MobiLab+	
	จำนวนตัวอักษรที่สะกดผิดของคำว่า "CHULA"	จำนวนตัวอักษรที่สะกดผิดของคำว่า "UNIVERSITY"	จำนวนตัวอักษรที่สะกดผิดของคำว่า "CHULA"	จำนวนตัวอักษรที่สะกดผิดของคำว่า "UNIVERSITY"
1	1	1	0	0
2	1	1	1	2
3	3	5	4	6
4	3	7	4	10
5	7	2	3	2
6	2	4	3	5

จากตารางที่ 11 สามารถสรุปผลการสะกดคำผิดออกมาเป็นอัตราส่วนร้อยละได้ดังนี้

- (1) คนที่ 1
  - ใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC สะกดผิดคิดเป็น 13% หรือมีความถูกต้อง 87%
  - ใช้อุปกรณ์ G.MobiLab+ สะกดผิดคิดเป็น 0% หรือมีความถูกต้อง 100%
- (2) คนที่ 2
  - ใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC สะกดผิดคิดเป็น 13% หรือมีความถูกต้อง 87%
  - ใช้อุปกรณ์ G.MobiLab+ สะกดผิดคิดเป็น 20% หรือมีความถูกต้อง 80%
- (3) คนที่ 3
  - ใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC สะกดผิดคิดเป็น 53% หรือมีความถูกต้อง 47%
  - ใช้อุปกรณ์ G.MobiLab+ สะกดผิดคิดเป็น 67% หรือมีความถูกต้อง 33%
- (4) คนที่ 4
  - ใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC สะกดผิดคิดเป็น 67% หรือมีความถูกต้อง 33%
  - ใช้อุปกรณ์ G.MobiLab+ สะกดผิดคิดเป็น 93% หรือมีความถูกต้อง 7%
- (5) คนที่ 5
  - ใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC สะกดผิดคิดเป็น 60% หรือมีความถูกต้อง 40%
  - ใช้อุปกรณ์ G.MobiLab+ สะกดผิดคิดเป็น 33% หรือมีความถูกต้อง 67%
- (6) คนที่ 6
  - ใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC สะกดผิดคิดเป็น 40% หรือมีความถูกต้อง 60%
  - ใช้อุปกรณ์ G.MobiLab+ สะกดผิดคิดเป็น 53% หรือมีความถูกต้อง 47%

จากผลวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนร้อยละของการสะกดคำที่ถูกต้องของแต่ละคนคละกันไปแบบไม่มีความเชื่อมโยงที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 9 โดยส่วนใหญ่มิค่าความถูกต้องไม่เกิน 50% ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากหากจะนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ทั้งสอง

จากการสังเกตจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าผู้ที่เข้ารับการทดลองที่ยังไม่มีความคุ้นเคยกับอุปกรณ์จะเกิดอาการประหม่า ตื่นเต้น หรือมีความรู้สึกต่างๆที่รบกวนการทำงานของอุปกรณ์ ตรวจวัดได้ถูกต้อง ทางผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าการที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสองอุปกรณ์นี้ให้ได้ผลที่ถูกต้องแม่นยำนั้น ควรที่จะตัดปัจจัยรบกวนภายนอกออกไป ซึ่งปัจจัยที่เห็นได้ชัดคือ ปัจจัยด้านความหลากหลายของผู้เข้ารับการทดสอบ ดังจะเห็นได้ว่าผู้เข้ารับการทดสอบคนที่ 1

และ คนที่ 2 ในตารางที่ 9 สามารถสะกดคำได้ถูกต้องได้มากกว่า 80% ทั้งสองอุปกรณ์ เนื่องจากผู้เข้ารับการทดลองคนที่ 1 และคนที่ 2 นั้นเป็นผู้ที่มีความคุ้นเคยกับอุปกรณ์ทั้งสองนี้เป็นอย่างดี

จากข้อสังเกตนี้จึงได้มีการคิดรูปแบบการทดลองขึ้นมาใหม่เพื่อตัดปัจจัยภายนอกคือ ความหลากหลายของผู้เข้ารับการทดลอง โดยจะใช้ผู้ที่คุ้นชินกับอุปกรณ์และมีความสามารถที่จะใช้ อุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพของอุปกรณ์เพื่อไม่ให้เกิดการได้เปรียบเสียเปรียบ ในแง่ของปัจจัยด้านความหลากหลายของผู้เข้ารับการทดลอง จึงได้เลือกคนที่ 1 และคนที่ 2 จากการทดลองในครั้งนี้เพื่อนำไปทดลองกับการทดลองรูปแบบใหม่

การทดลองรูปแบบใหม่จะใช้ผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 2 คน ดังที่ได้กล่าวไว้ในเบื้องต้น โดยทำการเพิ่มจำนวนคำที่สะกดเป็น 50 คำ 250 ตัวอักษร ดังนี้

“The quick brown fox jumps over the lazy dog. The earliest known appearance of the phrase is from The Michigan School Moderator, a journal that provided teachers with education related news and suggestions for lessons. It has been used to test typewriters and computer keyboards. Number test 1234 5678 99.”

ขั้นตอนของการทดลองเป็นดังนี้

- 1) ผู้เข้ารับการทดลองสวมอุปกรณ์ Emotiv EPOC
- 2) ทำการ calibrate ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER
- 3) ผู้เข้ารับการทดลองสะกดคำ 50 คำ ส่งการโดยสมองผ่านโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER โดยสะกดครั้งละ 10 คำ แล้วทำการพัก 2 นาที
- 4) บันทึกผลการทดลอง
- 5) ถอดอุปกรณ์ Emotiv EPOC

พักระหว่างการทดลอง 1 วัน

- 1) ผู้เข้ารับการทดลองสวมอุปกรณ์ G.MobiLab+
- 2) ทำการ calibrate ด้วยโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER
- 3) ผู้เข้ารับการทดลองสะกดคำ 50 คำ ส่งการโดยสมองผ่านโปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER โดยสะกดครั้งละ 10 คำ แล้วทำการพัก 2 นาที
- 4) บันทึกผลการทดลอง
- 5) ถอดอุปกรณ์ G.MobiLab+

โดยผลที่ได้จากการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แบบบันทึกผลการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ EMOTIV EPOC  
กับ G.MOBILAB+

ผู้เข้ารับการ ทดลองคนที่	อุปกรณ์ Emotiv EPOC	อุปกรณ์ G.MobiLab+
	จำนวนตัวอักษรที่สะกดผิด	จำนวนตัวอักษรที่สะกดผิด
1	53	42
2	54	49

จากตารางที่ 12 สามารถสรุปผลการสะกดคำผิดออกมาเป็นอัตราส่วนร้อยละได้ดังนี้

(1) คนที่ 1

- ใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC สะกดผิดคิดเป็น 21% หรือมีความถูกต้อง 79%
- ใช้อุปกรณ์ G.MobiLab+ สะกดผิดคิดเป็น 17% หรือมีความถูกต้อง 83%

(2) คนที่ 2

- ใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC สะกดผิดคิดเป็น 22% หรือมีความถูกต้อง 78%
- ใช้อุปกรณ์ G.MobiLab+ สะกดผิดคิดเป็น 20% หรือมีความถูกต้อง 80%

การทดลองนี้ ใช้เวลาในการทดลองของผู้เข้ารับการทดลองคนละ 180 นาที หรือ 3 ชั่วโมง  
รวมสองคนเป็นเวลารวม 360 นาที หรือ 6 ชั่วโมง

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ G.MobiLab+ ซึ่งเป็นอุปกรณ์เพื่อการวิจัย  
(Researcher grade) ที่มีราคาสูงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าอุปกรณ์ Emotiv EPOC ซึ่งมีราคา  
ประหยัด แต่ทั้งนี้จากการวิเคราะห์เห็นได้ว่าอุปกรณ์ Emotiv EPOC ซึ่งมีราคาประหยัดนี้มี  
ประสิทธิภาพในการใช้งานไม่แตกต่างจาก G.MobiLab+ มากนัก คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ  
ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าเพียง 3% ซึ่งทางผู้วิจัยเห็นว่าสามารถใช้งานอุปกรณ์ Emotiv EPOC นี้ในการ  
ทำงานควบคู่กับตำแหน่งจุดที่ได้สามารถตรวจวัดคลื่นสมองได้ดีซึ่งได้ทำการหาไว้ในหัวข้อที่ผ่าน  
มาเพื่อทำการฟื้นฟูการรับรู้ได้เป็นอย่างดีและเป็นการประหยัดงบประมาณค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างดี  
มาก

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าคลื่นแอลฟาและเบต้าที่ตรวจวัดได้จากสมองมีความเชื่อมโยงกับภาวะความตั้งใจและผ่อนคลาย โดยเมื่อมีความตั้งใจสมองจะปล่อยพลังงานคลื่นเบต้าที่มีค่าสูงกว่าในขณะที่ผ่อนคลาย ในทางกลับกันเมื่อมีความผ่อนคลายสมองจะปล่อยพลังงานคลื่นแอลฟาที่มีค่าสูงกว่าในขณะที่ตั้งใจ ความเชื่อมโยงนี้มีการพูดถึงในงานวิจัยอื่นๆ อีกหลายงานซึ่งมีความสอดคล้องกับผลของการวิจัยนี้ อาทิเช่น

- (1) งานวิจัย “Temporal evolution of alpha and beta bands during visual spatial attention” [1] เป็นการจัดการทดลองขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแอลฟาและเบต้า กับ ช่วงเวลาในขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจ (Attention) ผลจากงานวิจัยสรุปได้ว่าในขณะที่ผู้เข้ารับการทดลองมีความตั้งใจคลื่นแอลฟาจะมีระดับความแรงลดลง ในทางกลับกันคลื่นเบต้าจะมีระดับความแรงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้
- (2) งานวิจัย “Analysis of Propagation of Multi-channel EEG in the Test of Sustained Attention” [41] ต้องการตรวจหาการเคลื่อนที่ของพลังงานความแรงของคลื่น EEG โดยเฉพาะ Alpha, Beta และ Theta จากจุด electrode หนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง และทำการหาความเกี่ยวข้องระหว่างคลื่น Alpha, Beta และ Theta กับภาวะจิตขณะมีความตั้งใจและไม่ตั้งใจ ผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าพลังงานของคลื่น EEG จะเคลื่อนที่จากส่วนขวาของศีรษะไปสู่ส่วนกลางและเคลื่อนที่จากส่วนกลางกลับไปสู่ส่วนขวาในขณะที่มีการเปลี่ยนจากภาวะไม่ตั้งใจ (inattention state) ไปสู่ภาวะตั้งใจ (attention state) และช่วงคลื่นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นคลื่น Alpha และ Beta ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยนี้คือคลื่นแอลฟาและเบต้ามีผลที่เชื่อมโยงกับภาวะตั้งใจและภาวะผ่อนคลาย
- (3) งานวิจัย “Multi-scale EEG Brain Dynamics during Sustained Attention Tasks” [42] ต้องการหาการเปลี่ยนแปลงของพลังงานคลื่นสมองโดยตรวจวัดคลื่น EEG ในขณะมีความตั้งใจ (Attention state) ในขณะที่ใช้ความตั้งใจจะเห็นความเปลี่ยนแปลงพลังงานของคลื่น Alpha และ Beta คือ คลื่น Beta จะมีพลังงานเพิ่ม

สูงขึ้น ส่วนทางด้านคลื่น Alpha จะมีพลังงานลดลง ซึ่งผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยนี้

งานวิจัยเทคนิคการตรวจวัดคลื่นสมองสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้โดยใช้อีอีราคา ประหยัดแบบน้อยช่องสัญญาณ ได้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย สามารถทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอุปกรณ์ Emotiv EPOC กับอุปกรณ์ g.MOBIlab+ และสรุปได้ว่าสามารถใช้อุปกรณ์ Emotiv EPOC ซึ่งมีราคาประหยัดนี้ไปทำการตรวจวัดคลื่นสมองเพื่อระบบการฟื้นฟูการรับรู้ที่จะทำขึ้นในอนาคตได้ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ g.MOBIlab+ มีประสิทธิภาพดีกว่า Emotiv EPOC เพียงแค่ 3% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องงานหนึ่งที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง Emotiv EPOC กับ ANT (Advanced Neuro Technology) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทางการแพทย์และมีราคาสูงมาก งานวิจัยที่ทำการเปรียบเทียบ Emotiv EPOC กับ ANT นี้ได้จัดทำทดลองเพื่อเทียบประสิทธิภาพโดยให้ผู้เข้ารับการทดลองผู้เข้ารับการทดลองจำนวน 7 คน ทดลองโดยการให้ผู้เข้ารับการทดลองใช้โปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER ในการสะกดคำตามที่กำหนดไว้ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทั้งสองถูกวัดจากความถูกต้องของการสะกดคำ ซึ่งผลคือ ANT มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า Emotiv EPOC ประมาณ 8% ซึ่งจะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้ก็ใช้โปรแกรม BCI2000'S P300 SPELLER ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน แต่เนื่องด้วยอุปกรณ์ ANT นั้นเป็นอุปกรณ์ระดับที่ใช้ทางการแพทย์ ส่วน g.MOBIlab+ เป็นระดับที่ใช้ในการวิจัย ความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพของ g.MOBIlab+ ที่มากกว่า Emotiv EPOC ที่ระดับ 3% และความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพของ ANT ที่มากกว่า Emotiv EPOC ที่ระดับ 8% จึงเป็นผลที่สอดคล้องและสมเหตุสมผล ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Emotive EPOC มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับ g.MOBIlab+ และ ANT

บทสรุปอีกข้อหนึ่งคือสามารถหาจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟา เบต้า และแกมมาได้ดี ซึ่งการเลือกจุดที่ดีเหล่านี้ทำให้สามารถลดจำนวนจุดในการตรวจวัดคลื่นสมองได้ โดยจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟา เบต้า และแกมมาได้ดีจากงานวิจัยนี้มี 4 จุด โดยจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแอลฟาได้ดีคือจุดที่ 2(F7) จุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นเบต้าได้ดีคือจุดที่ 13(F8) และจุดที่สามารถตรวจวัดคลื่นแกมมาได้ดีคือจุดที่ 6(P7) และ 9(P8) เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการการตรวจวัดคลื่นสมองสำหรับการทำการฟื้นฟูการรับรู้โดยใช้อีอีราคา ประหยัดแบบน้อยช่องสัญญาณ วิธีที่ได้ดำเนินการมาจึงเป็นวิธีที่จะหาจุดที่สามารถตรวจวัดได้ดีควบคู่ไปกับการลดจำนวนจุดด้วย ซึ่งจากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาจึงได้ 4 จุดเหล่านี้เป็นจุดที่ดีที่สุด จากการต้องการตรวจวัดคลื่นใน 3 ย่านความถี่คือ แอลฟา เบต้า และแกมมา จำนวนจุดตั้งต้นที่ได้ตั้งสมมุติฐานไว้

ในตอนแรกคือใช้สามจุด จุดละหนึ่งย่านความถี่ ซึ่งต่อมาได้เห็นว่าการใช้สามจุดยังไม่สามารถทำให้การตรวจวัดมีประสิทธิภาพที่ดีพอ และเมื่อคำนึงถึงการใช้หน่วยจุดเป็นประเด็นสำคัญอีกประเด็นหนึ่งการใช้จำนวนมากกว่า 4 จุดจึงถือว่ามากไป เพราะการใช้ 4 จุดเหล่านี้ก็เพียงพอตามที่ได้วิเคราะห์ไว้อย่างละเอียดในหัวข้อที่ 4.10 ซึ่งเหตุผลที่เลือก 4 จุดนี้มีดังนี้

- (1) จุดเหล่านี้แต่ละจุดได้ผ่านการทดลองและวิเคราะห์มาแล้วว่าสามารถใช้ในการตรวจวัดคลื่นความถี่ในย่านนั้นๆ ได้ดี
- (2) จากการทดลองและวิเคราะห์ผลได้เห็นว่า การตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้ามีความเสถียรมากกว่าการตรวจวัดคลื่นแกมมา จึงใช้จุดในการตรวจวัดคลื่นแอลฟาและเบต้าอย่างละหนึ่งจุด
- (3) ในทางกลับกันการตรวจวัดคลื่นแกมมามีความเสถียรน้อยกว่าจึงใช้จุดในการตรวจวัดเป็นจำนวนสองจุด
- (4) จุดที่เลือกมานี้เป็นจุดที่สมมาตรกันพอดี ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดคลื่นทั้งสามชนิดในอนาคต โดยจะทำให้การออกแบบอุปกรณ์ทำได้สะดวกขึ้น และมีผลดีทางอ้อมคือสามารถใช้อุปกรณ์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาในอนาคตนี้ตรวจวัดอารมณ์ของผู้ใช้ได้ เนื่องจากมีการวิจัยได้กล่าวถึงอารมณ์ต่างๆ ของสมองที่แสดงผลของรูปคลื่นสมองแตกต่างกันในซีกขวาและซีกซ้ายของสมอง [45]

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการตรวจวัดคลื่น EEG การขยับร่างกายหรือการกระพริบตาของผู้เข้ารับการทดลองจะมีผลกระทบต่อรูปคลื่นในรูปแบบสัญญาณรบกวน ซึ่งสัญญาณรบกวนนี้จะแสดงออกมาในรูปคลื่นที่มี amplitude ของคลื่นในแกนเวลาที่มีค่าสูงผิดปกติในขณะที่เคลื่อนไหวร่างกายหรือกระพริบตาในงานวิจัยนี้ได้แนะนำให้ผู้ใช้รับการทดลองนั่งนิ่งๆ ไม่เคลื่อนไหวร่างกายและกระพริบตาให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้หรือกระพริบให้เป็นไปตามธรรมชาติ เนื่องจากหากทำการบังคับให้ผู้ใช้รับการทดลองกระพริบตาให้น้อยครั้งที่สุดอาจจะทำให้ผู้ใช้รับการทดลองเกิดอาการเกร็งและมีผลกระทบต่อคลื่นสมอง แนวทางแก้ไขอีกทางที่งานวิจัยนี้ได้ใช้เพื่อเข้ามาช่วยตัดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ออกไปนอกจากการให้คำแนะนำและขอความร่วมมือจากผู้เข้ารับการทดลองคือการใช้วิธีตัดสัญญาณรบกวนออก โดยวิธีที่ใช้คือการตัดสัญญาณที่มีค่า amplitude สูงกว่าปกติออกไป ซึ่งสามารถตัดสัญญาณรบกวนจากการกระพริบตาได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสัญญาณรบกวนจากการกระพริบตานี้เป็นสัญญาณที่เห็นได้เด่นชัด ทางด้านสัญญาณรบกวนจากการเคลื่อนไหวร่างกายนั้นค่อนข้างจะมีน้อยเพราะขณะทำการทดลองได้ให้ผู้ใช้รับการทดลองนั่งนิ่งๆ ไม่เคลื่อนไหวร่างกาย

อยู่แล้ว หากมีเวลาเพิ่มเติมสิ่งที่จะทำการแก้ไขในงานวิจัยนี้คือการเพิ่มระบบ ICA (Independent Component Analysis) ซึ่งระบบนี้เป็นระบบที่สามารถตรวจจับและทำการตัดสัญญาณรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งสัญญาณจากการเคลื่อนไหวร่างกายและสัญญาณกระพริบตา แต่ข้อเสียของระบบ ICA คือใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างมาก ซึ่งทำให้มีผลกระทบต่อระบบหากนำไปใช้ในแบบ Real-time

การทำงานวิจัยนี้ได้จัดทำระบบ BCI2000 ซึ่งเป็น framework ที่เปิดให้ใช้ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ซึ่งหากจะนำไปใช้ในการพัฒนาผลงานต่อไปเพื่อเป็นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆหรือใช้ในเชิงพาณิชย์ก็ไม่สามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากติดปัญหาทางด้านลิขสิทธิ์ หากมีเวลาในการพัฒนาระบบที่มากกว่านี้ควรจะทำการพัฒนาเพื่อรับค่าการตรวจวัดคลื่นสมองจากอุปกรณ์การตรวจวัดขึ้นมาเองโดยไม่ต้องพึ่งการใช้ BCI2000 จะทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นมาสามารถนำไปใช้ได้โดยตรงกับวัตถุประสงค์ของงานที่จะพัฒนา เนื่องจาก BCI2000 เป็นระบบที่ใหญ่และใช้ทรัพยากรของระบบมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่เกินความจำเป็นหากจะนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์แบบเฉพาะเจาะจง



## รายการอ้างอิง

- [1] Manuel Va'zquez Marrufo\*, Encarna Vaquero, Mar'ia Jesu's Cardoso, and Carlos M. Go'mez, "Temporal evolution of alpha and beta bands during visual spatial attention," *Cognitive Brain Research*, vol.12, pp. 315–320. Elsevier, 2001.
- [2] Christoph S., Herrmann, Ingo Fru, and Daniel Lenz, "Human gamma-band activity: A review on cognitive and behavioral correlates and network models," *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, vol.34, pp. 981–992. Elsevier, 2010.
- [3] Electroencephalogram [Online]. 2012. Available from : [http://www.scholarpedia.org/article/Electroencephalogram#A\\_Window\\_on\\_the\\_Mind](http://www.scholarpedia.org/article/Electroencephalogram#A_Window_on_the_Mind) [2012, October 6]
- [4] Tatum, W. O., Husain, A. M., Benbadis, S. R., "Handbook of EEG Interpretation," Demos Medical Publishing, 2008.
- [5] The international 10-20 system [Online]. 2012. Available from : <http://www.brainm.com/generalinfo/electrodeuse/eegbands/1020/1020.html> [2012, October 6]
- [6] The international 10-20 system picture [Online]. 2012. Available from : [http://www.mariusthart.net/downloads/eeg\\_electrodes\\_10-20.svg](http://www.mariusthart.net/downloads/eeg_electrodes_10-20.svg) [2012, October 6]
- [7] Alpha waves picture [Online]. 2012. Available from : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/Eeg\\_alpha.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ee/Eeg_alpha.svg) [2012, October 10]
- [8] Palva, S. and Palva, J.M., "New vistas for a-frequency band oscillations," *Trends Neurosci*, 2007.
- [9] Rangaswamy M, Porjesz B, Chorlian DB, Wang K, Jones KA, Bauer LO, Rohrbaugh J, O'Connor SJ, Kuperman S, Reich T, Begleiter, "Beta power in the EEG of alcoholics," *BIOLOGICAL PSYCHOLOGY* 52, pp. 831–842, 2002.
- [10] Baumeister J, Barthel T, Geiss KR, Weiss M, "Influence of phosphatidylserine on cognitive performance and cortical activity after induced stress," *NUTRITIONAL NEUROSCIENCE* 11, pp. 103–110, 2008.
- [11] Beta waves picture [Online]. 2012. Available from : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/Eeg\\_beta.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/Eeg_beta.svg) [2012, October 12]

- [12] Gamma waves picture [Online]. 2012. Available from : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Eeg\\_gamma.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Eeg_gamma.svg) [2012, October 12]
- [13] Buzsaki, György, "Cycle 9, The Gamma Buzz," Rhythms of the brain, Oxford, 2006.
- [14] W. Singer and C.M. Gray, "Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis," Annu. Rev. Neurosci. 18, pp. 555-586, 1995.
- [15] Theta waves picture [Online]. 2012. Available from : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Eeg\\_theta.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/33/Eeg_theta.svg) [2012, October 12]
- [16] Hasselmo, "What is the Function of Hippocampal Theta Rhythm?— Linking Behavioral Data to Phasic Properties of Field Potential and Unit Recording Data," Hippocampus 15, pp. 936–949, 2005.
- [17] EEG waves picture [Online]. 2012. Available from : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/Spike-waves.png> [2012, October 12]
- [18] EEG electrode [Online]. 2012. Available from : [http://www.medicine.mcgill.ca/physio/vlab/biomed\\_signals/EEG\\_n.htm](http://www.medicine.mcgill.ca/physio/vlab/biomed_signals/EEG_n.htm) [2012, October 12]
- [19] EEG electrode [Online]. 2012. Available from : <http://faculty.ksu.edu.sa/MFALREZ/EBooks%20Library/EEG/EEG%20electrodes.pdf> [2012, October 12]
- [20] Electrode picture [Online]. 2012. Available from : [http://www.drzukiwski.com/storage/gold%20eeg%20electrodes%201\\_resized.jpg?\\_\\_SQUARESPACE\\_CACHEVERSION=1295143090582](http://www.drzukiwski.com/storage/gold%20eeg%20electrodes%201_resized.jpg?__SQUARESPACE_CACHEVERSION=1295143090582) [2012, October 14]
- [21] The international 10-20 system picture [Online]. 2012. Available from : <http://www.brainm.com/generalinfo/electrodeuse/eegbands/1020/1020S02.gif> [2012, October 13]
- [22] The international 10-20 system picture [Online]. 2012. Available from : <http://www.brainm.com/generalinfo/electrodeuse/eegbands/1020/1020A02.gif> [2012, October 13]
- [23] Mindwave headset [Online]. 2012. Available from : <http://store.neurosky.com/products/mindwave-1> [2012, October 13]
- [24] Mindwave SDK [Online]. 2012. Available from : <http://developer.neurosky.com> [2012, October 13]

- [25] Mindflex [Online]. 2012. Available from : <http://www.google.com/products/catalog?q=mindflex+buy&um=1&ie=UTF-8&tbm=shop&cid=11485849998254666337&sa=X&ei=IrfmTdvUJ4 GasAOR6vWzCw&ved=0CDIQ8wlwAQ> [2012, October 14]
- [26] Emotiv EPOC headset [Online]. 2012. Available from : <http://www.emotiv.com/store/hardware/epoc-bci/epoc-neuroheadset> [2012, October 14]
- [27] Emotiv SDK [Online]. 2012. Available from : <http://www.emotiv.com/apps/sdk/646> [2012, October 14]
- [28] Star Wars Force Trainer (Uncle Milton) [Online]. 2012. Available from : <http://www.google.com/products/catalog?q=force+trainer&um=1&ie=UTF8&tbm=shop&cid=11860856110950701483&sa=X&ei=9LfmTaqvJJC-sQPd7tCeCw&ved=0CHUQ8wlwAQ> [2012, October 14]
- [29] Mindset [Online]. 2012. Available from : <http://store.neurosky.com/products/mindset> [2012, October 14]
- [30] Neural Impulse Actuator(OCZ Technology) [Online]. 2012. Available from : <http://www.google.com/products/catalog?q=neural+impulse+actuator&um=1&ie=UTF8&tbm=shop&cid=18037625765349574247&sa=X&ei=prfmTZqdNYGosAPGutmdCw&ved=0CCcQ8wlwAQ> [2012, October 15]
- [31] NIA SDK [Online]. 2012. Available from : <http://www.ocztechnology.com/nia-game-controller-eol.html> [2012, October 15]
- [32] Mindball (Interactive Productline) [Online]. 2012. Available from : [http://www.slate.com/articles/technology/gaming/2006/12/bowling\\_with\\_brain\\_waves.html](http://www.slate.com/articles/technology/gaming/2006/12/bowling_with_brain_waves.html) [2012, October 15]
- [33] XWave headset [Online]. 2012. Available from : [http://www.plxdevices.com/product\\_info.php?id=XWAVESONIC](http://www.plxdevices.com/product_info.php?id=XWAVESONIC) [2012, October 15]
- [34] Myndplay brainband [Online]. 2012. Available from : <http://myndplay.com/products.php?prod=7> [2012, October 15]
- [35] Comparison of consumer brain–computer interfaces [Online]. 2012. Available from : [http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_consumer\\_brain%E2%80%93computer\\_interfaces](http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_consumer_brain%E2%80%93computer_interfaces) [2012, October 16]

- [36] Emotiv EPOC picture [Online]. 2012. Available from : [http://lifeklugder.net/wp-content/uploads/2010/09/46694\\_5B5-47F5-44D7-8E3B-B28CE0B37B68.jpg](http://lifeklugder.net/wp-content/uploads/2010/09/46694_5B5-47F5-44D7-8E3B-B28CE0B37B68.jpg)  
[2012, October 16]
- [37] The international 10-20 system picture [Online]. 2012. Available from :  
<http://www.bem.fi/book/13/fi/1302c.gif> [2012, October 16]
- [38] BCI2000 [Online]. 2012. Available from : <http://www.bci2000.org/BCI2000/Home.html> [2012, October 17]
- [39] Matthieu Duvinage, Thierry Castermans, Thierry Dutoit, M. Petieau, T. Hoellinger, C. De Saedeleer, K. Seetharaman, and G. Cheron, "A P300-Based quantitative comparison between the Emotiv EPOC headset and a medical EEG device," Proc. Biomedical Engineering , track 764-071, 15-17 February 2012.
- [40] Christoph S. Herrmann, Matthias H.J. Munk and Andreas K. Engel, "Cognitive functions of gamma-band activity: memory match and utilization," TRENDS in Cognitive Sciences Vol.8 No.8, pp. 347-355. Elsevier, August 2004.
- [41] Nan Yan, Jue Wang, Steve An Xue, Hengsong Sheng, Yongfen Jiao and Jing Wang, "Analysis of Propagation of Multi-channel EEG in the Test of Sustained Attention," 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS Buenos Aires, Argentina, August 31 – 4 September 2010.
- [42] Ruey-Song Huang, Tzyy-Ping Jung and Makeig S., "Multi-scale EEG Brain Dynamics during Sustained Attention Tasks," Acoustics Speech and Signal Processing (ICASSP 2007), 2007.
- [43] g.MOBllab+ picture [Online]. 2012. Available from : [http://www.gtec.at/var/plain\\_site/storage/images /media/images/ products/gmobilab/g.mobilab-title/8706-1-eng-GB/g.MOBllab-title.jpg](http://www.gtec.at/var/plain_site/storage/images /media/images/ products/gmobilab/g.mobilab-title/8706-1-eng-GB/g.MOBllab-title.jpg) [2012, November 5]
- [44] g.MOBllab+ [Online]. 2012. Available from : <http://www.gtec.at/Products/Hardware-and-Accessories /g.MOBllab-Specs-Features> [2012, November 5]
- [45] Danny Oude Bos, "EEG-based Emotion Recognition," Department of Computer Science, University of Twente

- [46] Ole Jensen, Jochen Kaiser and Jean-Philippe Lachaux, "Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory," *TRENDS in Neurosciences* Vol.30 No.7 , pp. 317–324, July 2007
- [47] Anne M. Treisman and Garry Gelade, "A Feature-Integration Theory of Attention," *Cognitive Psychology* Vol.12 , Issue 1, pp. 97–136, Elsevier, January 1980
- [48] Brahim Hamadicharef, Haihong Zhang, Cuntai Guan, Chuanchu Wang, Kok Soon Phua, Keng Peng Tee and Kai Keng Ang, "Learning EEG-based Spectral-Spatial Patterns for Attention Level Measurement," *ISCAS 2009*, pp. 1465 – 1468 , IEEE, May 2009
- [49] Marta Kutas and Steven A. Hillyard, "Reading Between the Lines: Event-related Brain Potentials during Natural Sentence Processing," *Brain and Language*, pp. 354-373, Nov 1980
- [50] Sohlberg, "Introduction to Cognitive Rehabilitation: Theory and Practice," February 17, 1989
- [51] Julie Onton, Scott Makeig, "High-frequency broadband modulations of electroencephalographic spectra," Institute for Neural Computation, University of California San Diego
- [52] Andrade-Valenca LP, Dubeau F, Mari F, Zelmann R and Gotman J., "High-Frequency Oscillations Recorded on Scalp EEG ," *Neurology* 2011 pp.524–531
- [53] CANTAB [Online]. 2013. Available from: <http://www.cambridgecognition.com/cantab-tests.asp> [2013, March 25]

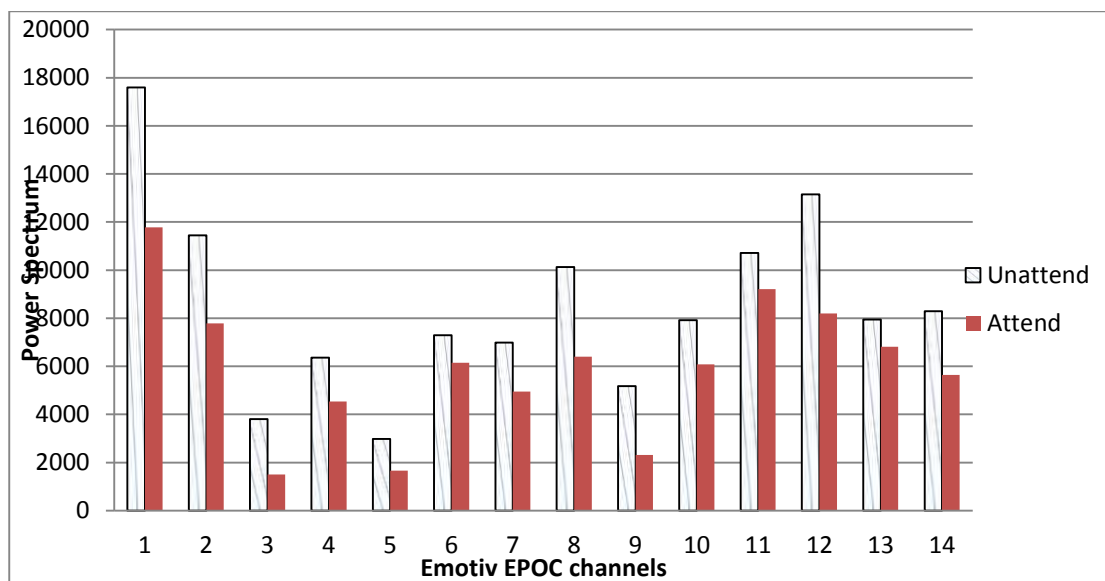
ภาคผนวก

## ภาคผนวก

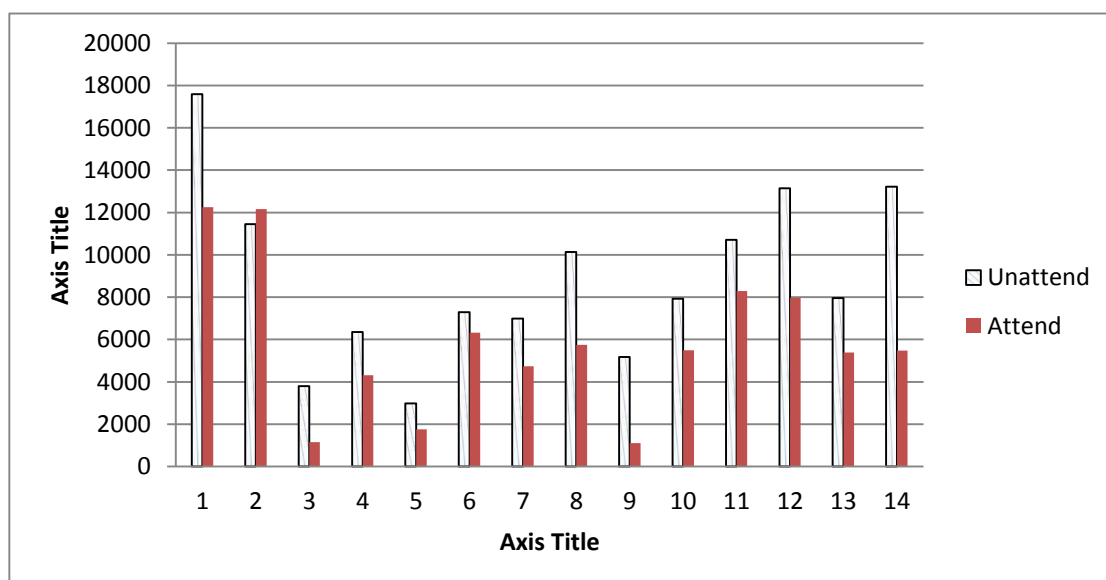
กราฟสรุปการหาค่า Power spectrum ของผู้เข้ารับการทดลองทั้ง 10 คน

### 1. ค่า Power spectrum ของคลื่น Alpha แบบทดสอบการอ่านหนังสือ

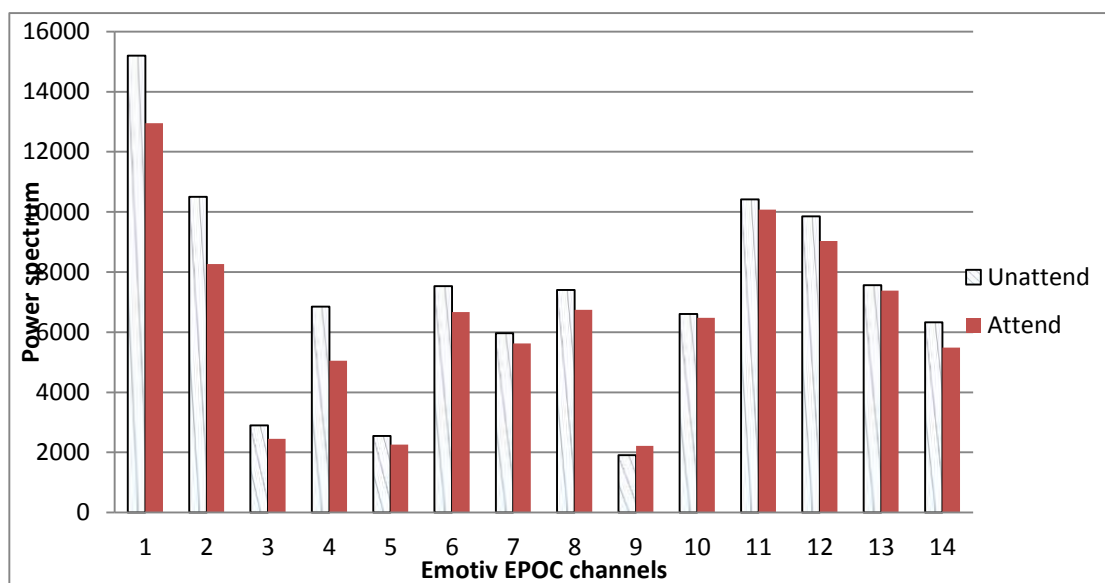
(1) Aug



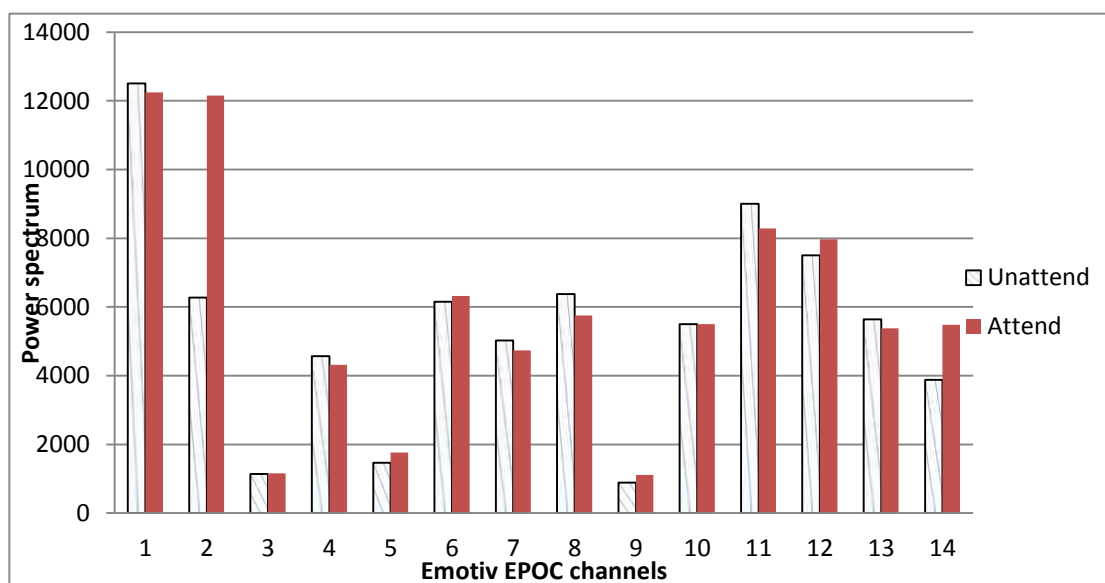
(2) Dad



(3) Mom

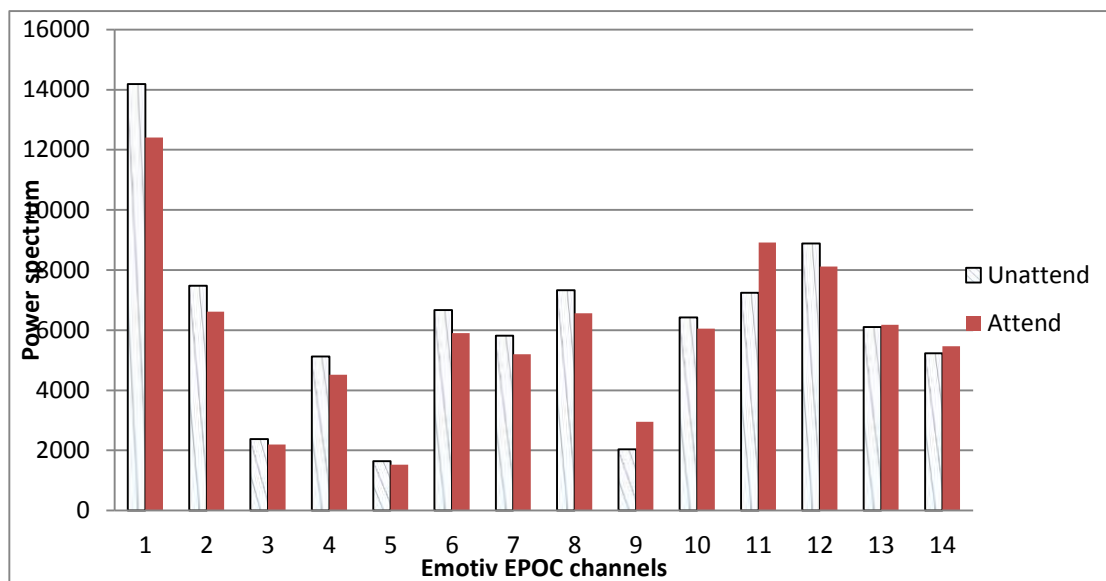


(4) Na

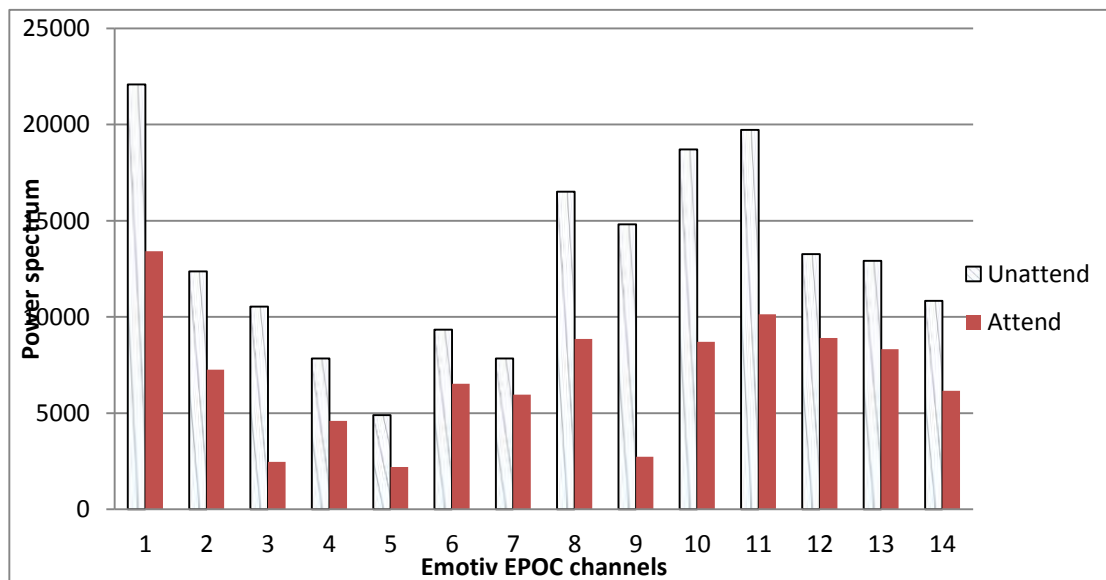




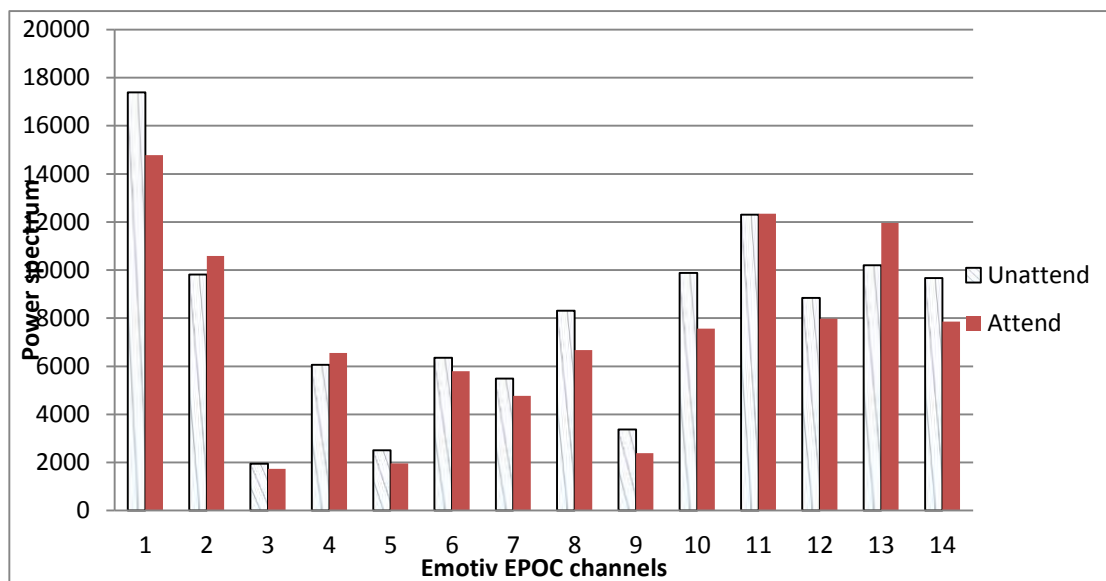
(5) NaDee



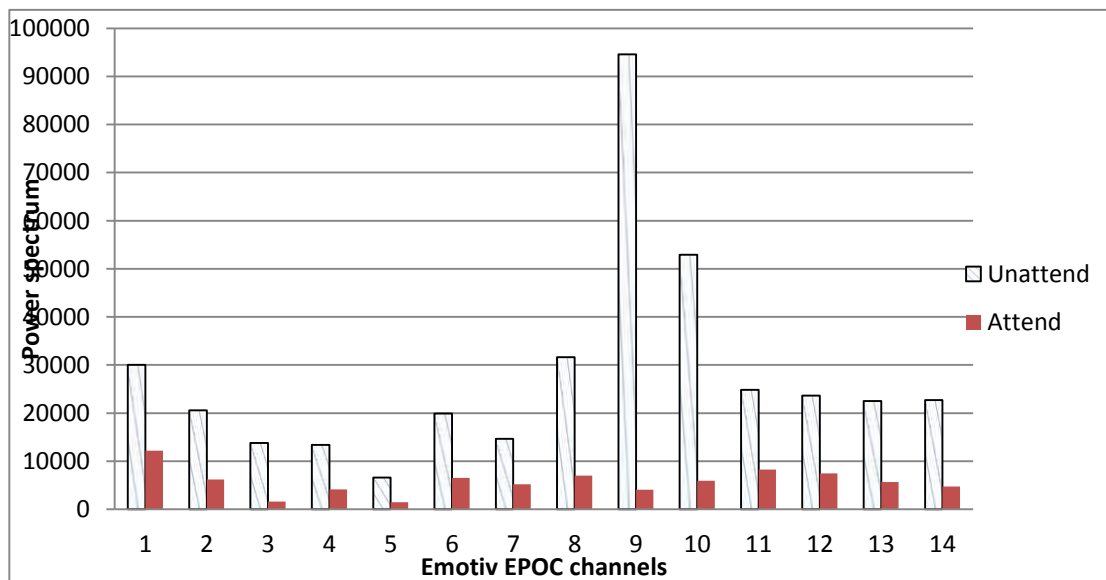
(6) Oad



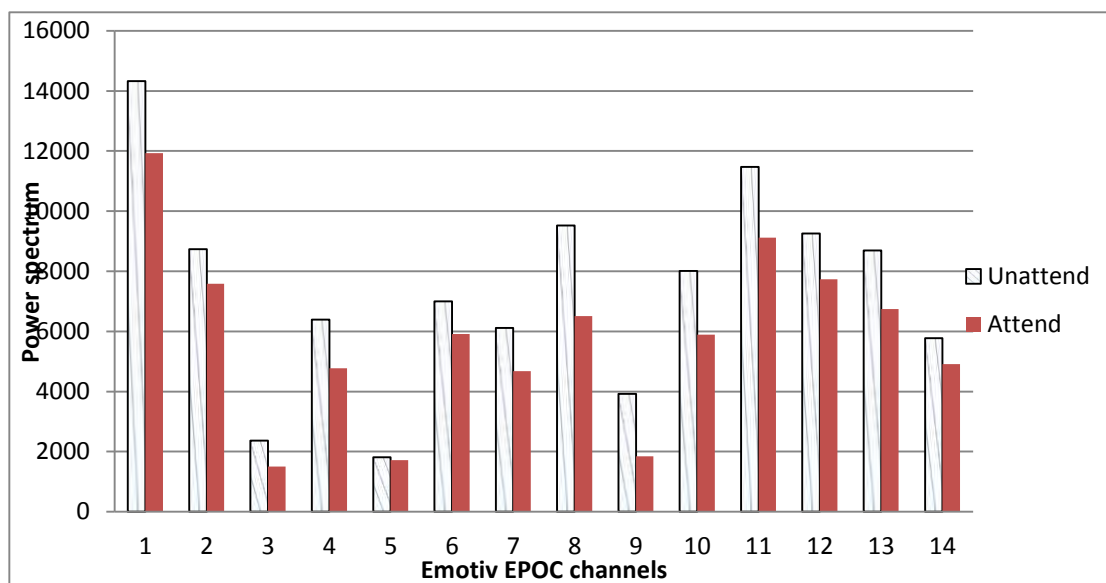
(7) Tae



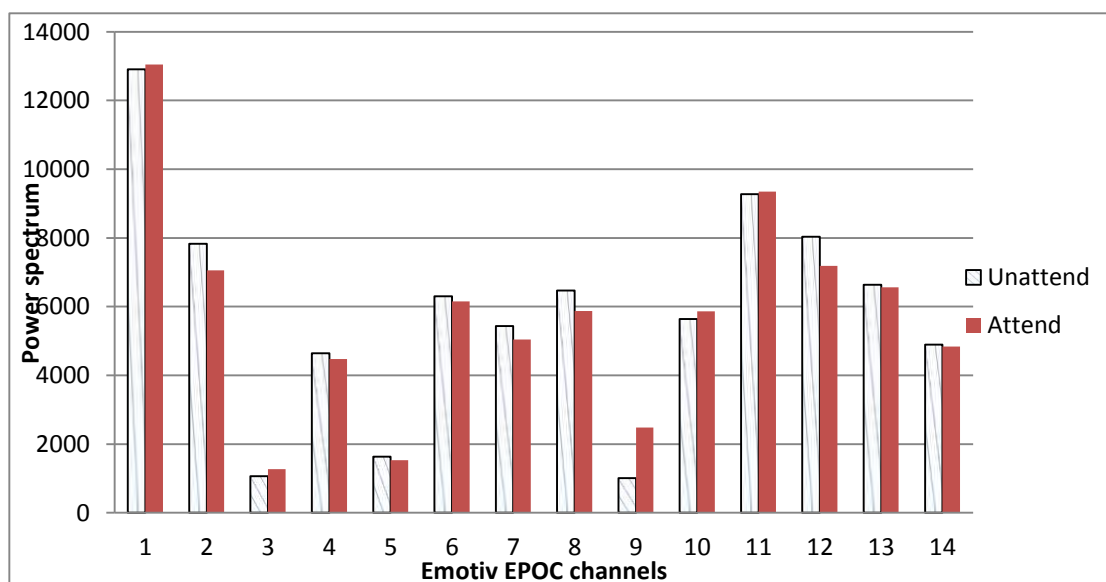
(8) Top



(9) Tuck

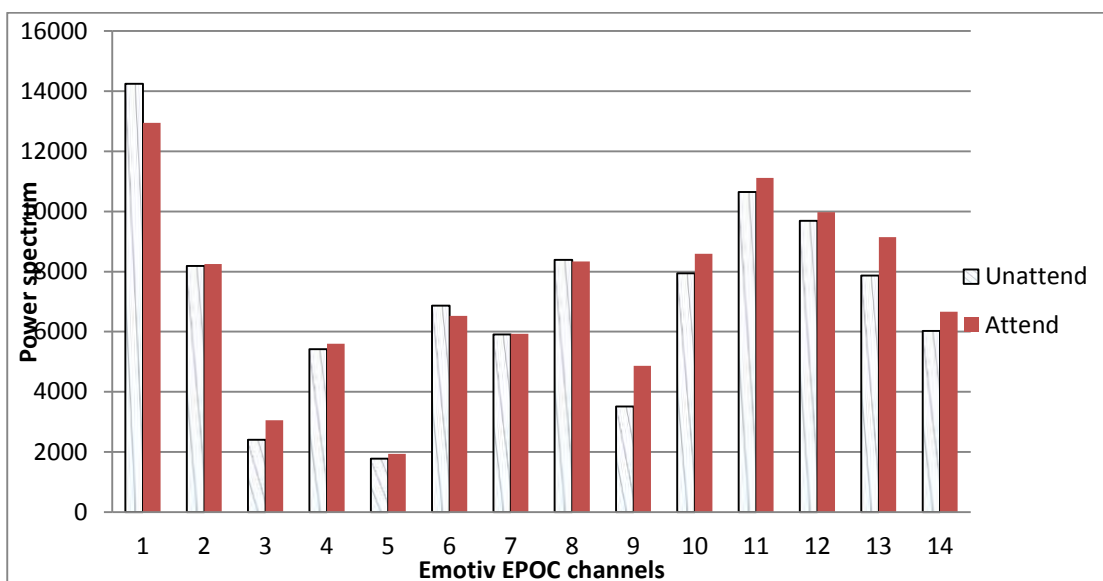


(10) Tum

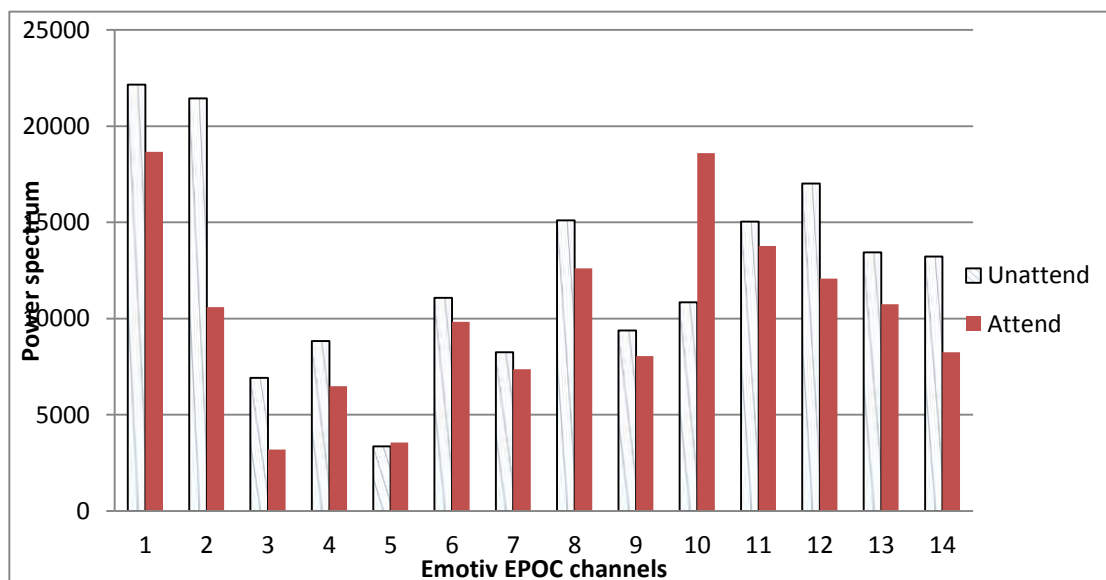


2. ค่า Power spectrum ของคลื่น Alpha แบบทดสอบการดูแบบสามมิติ

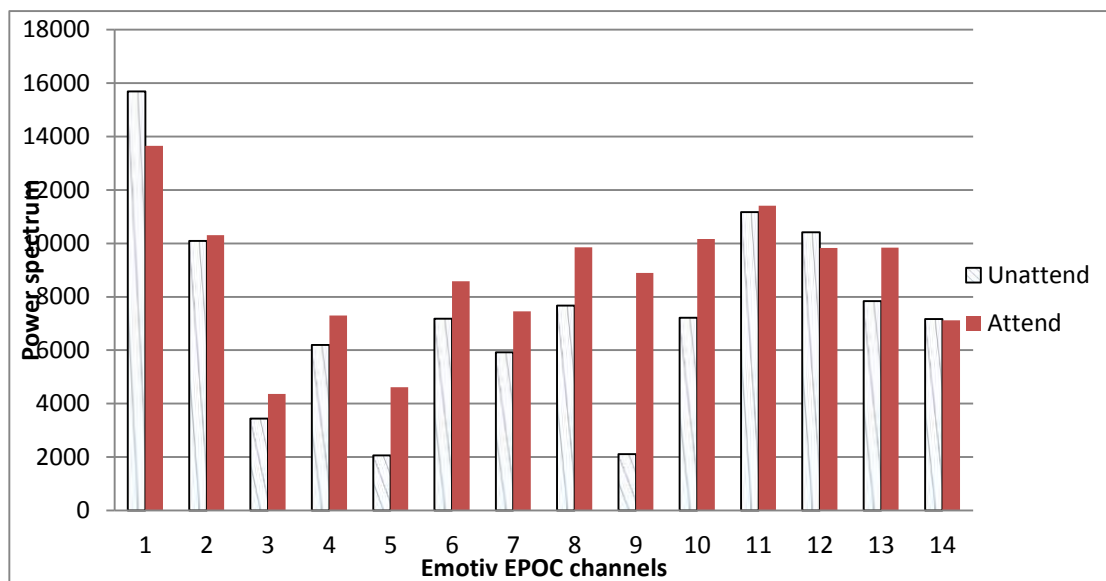
(1) Aug



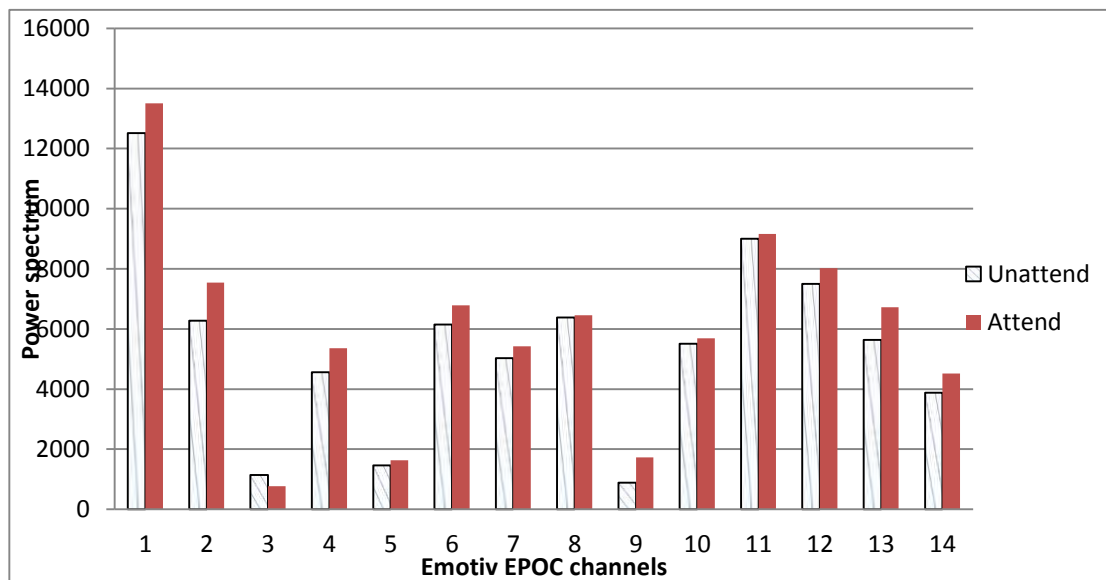
(2) Dad



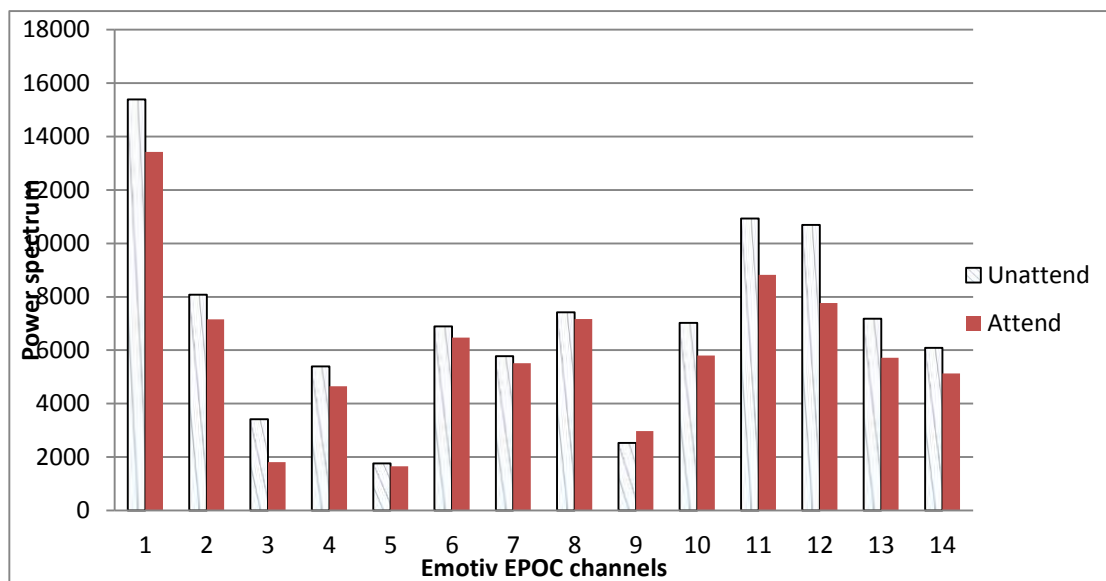
(3) Mom



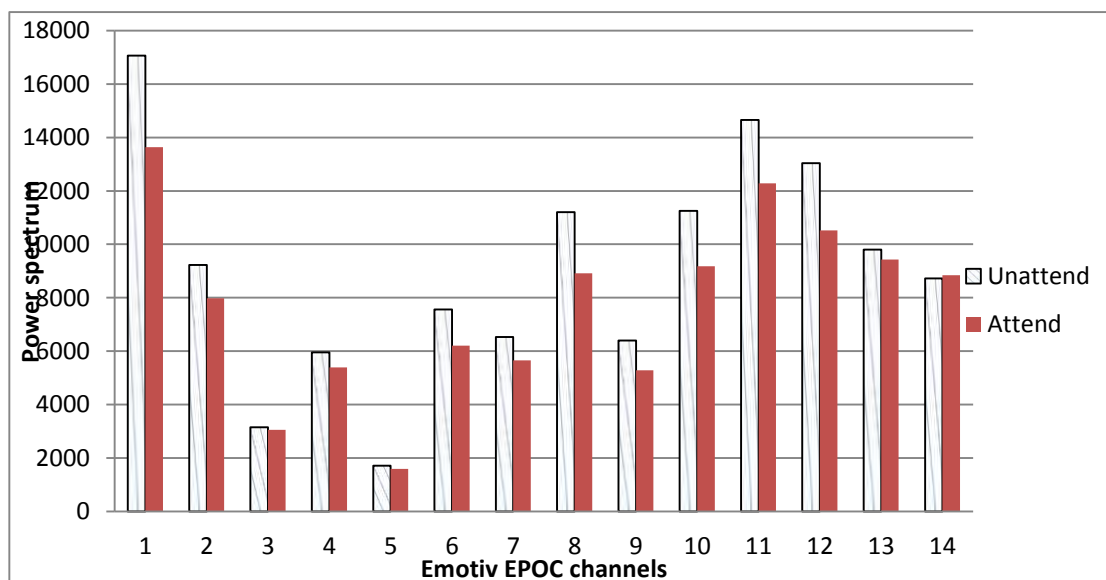
(4) Na



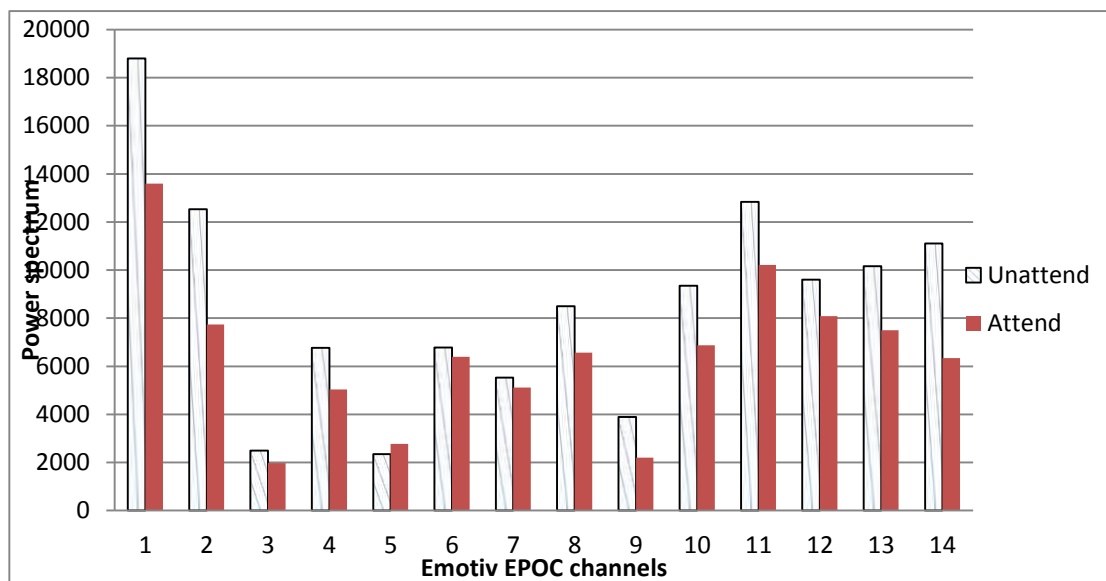
(5) NaDee



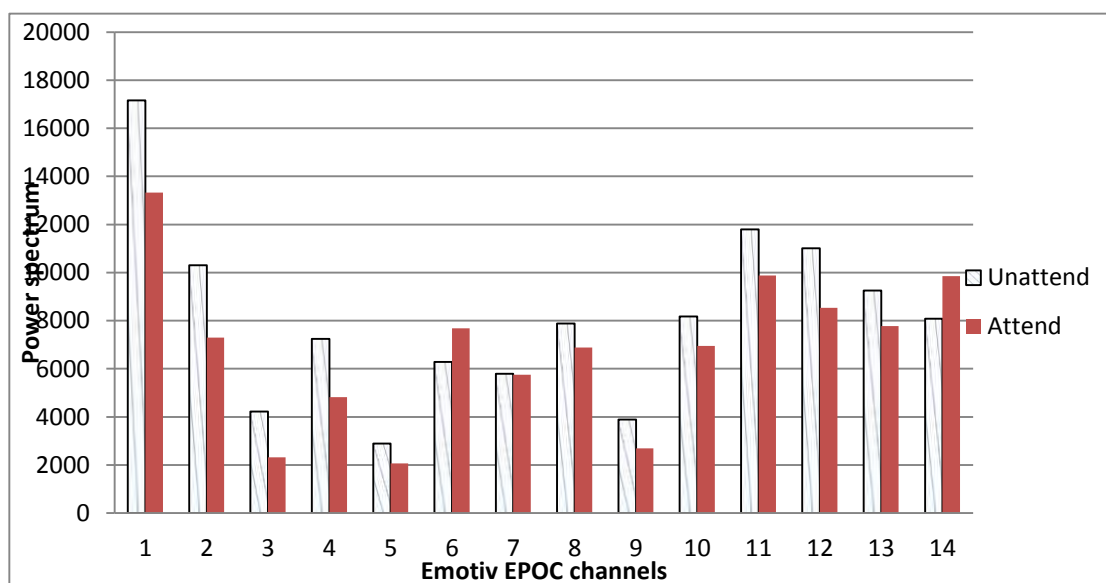
(6) Oad



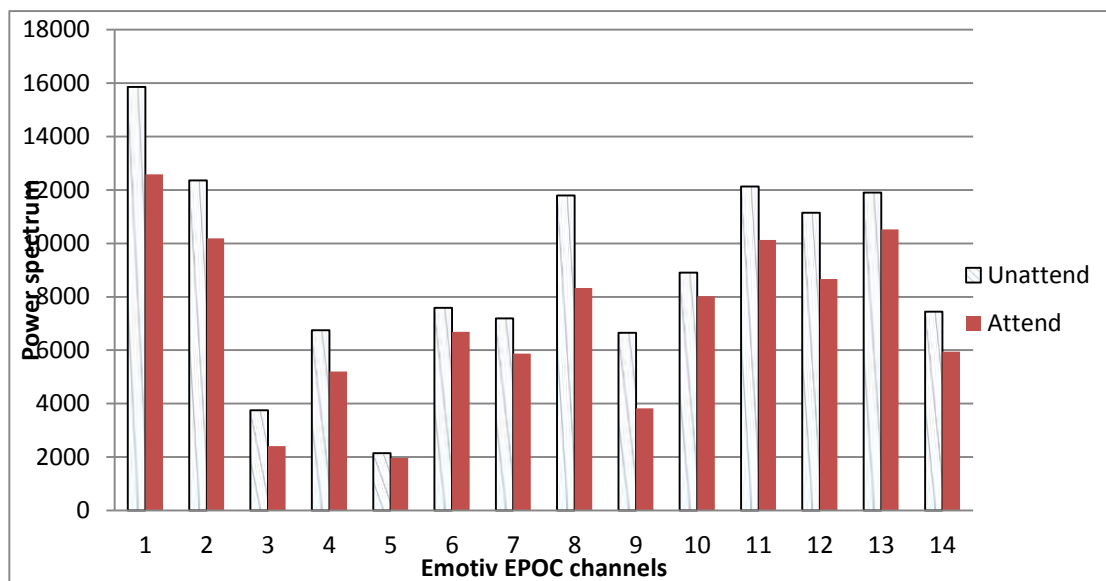
(7) Tae



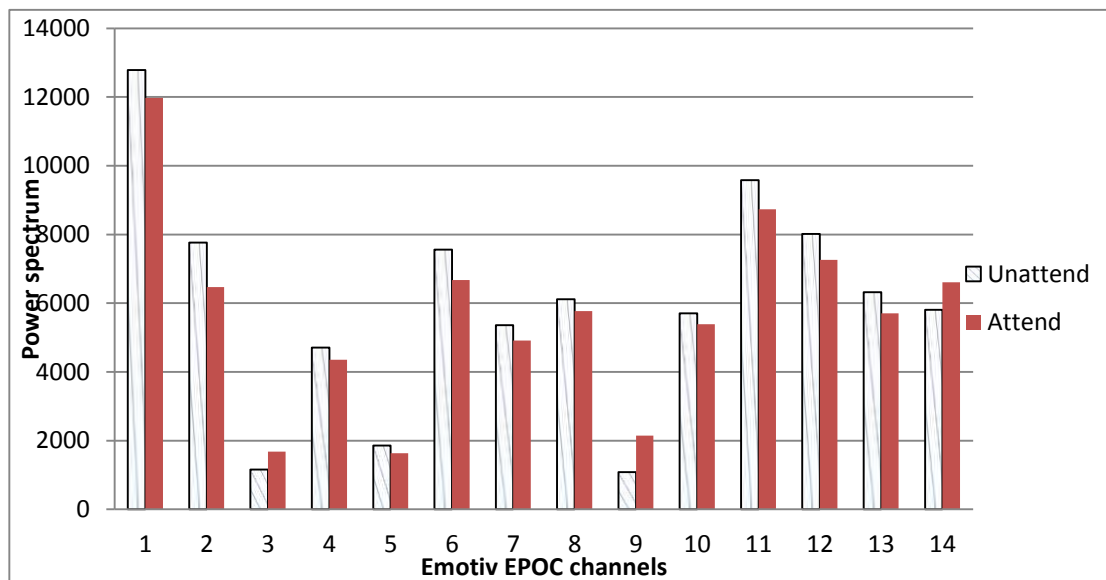
(8) Top



(9) Tuck



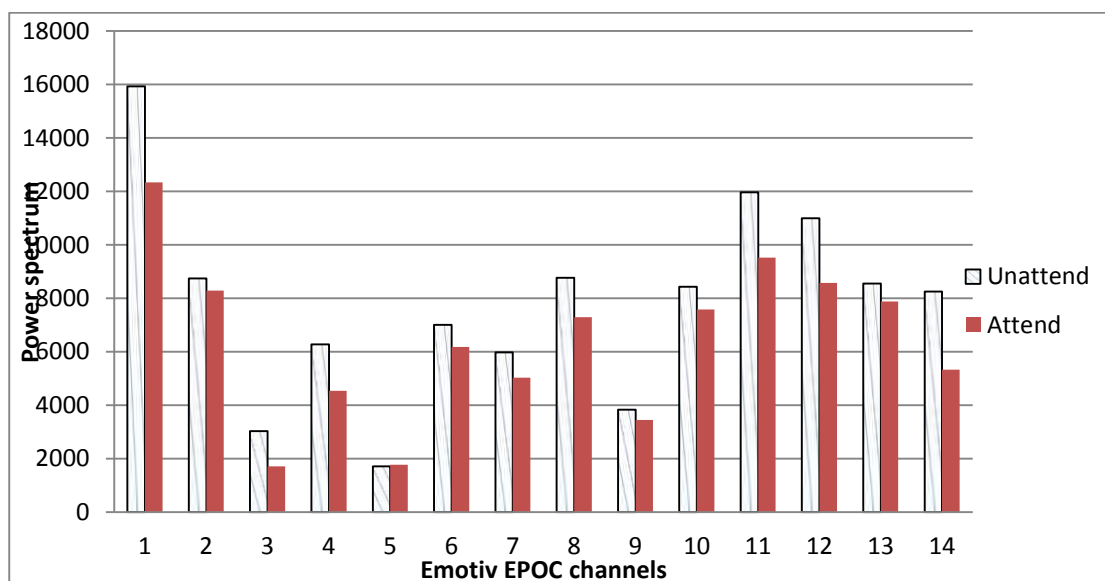
(10) Tum



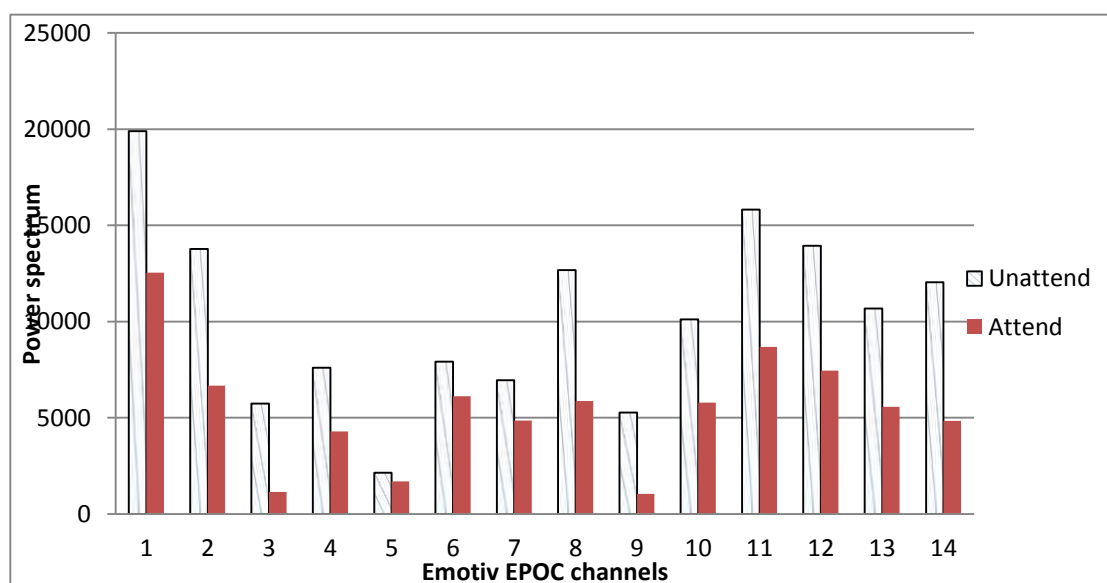


### 3. ค่า Power spectrum ของคลื่น Alpha แบบทดสอบการทำแบบประเมิน

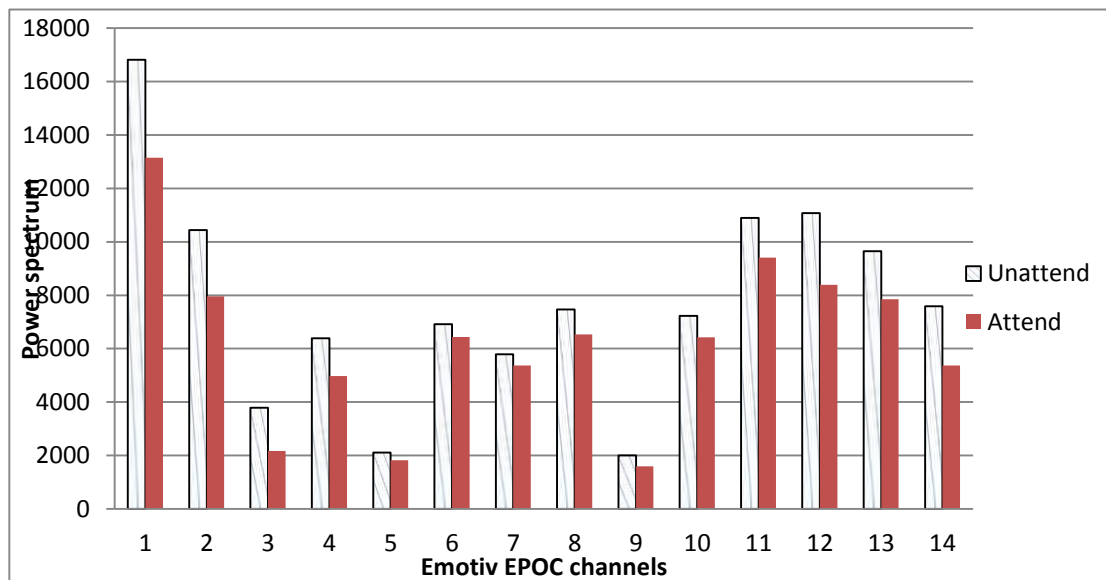
(1) Aug



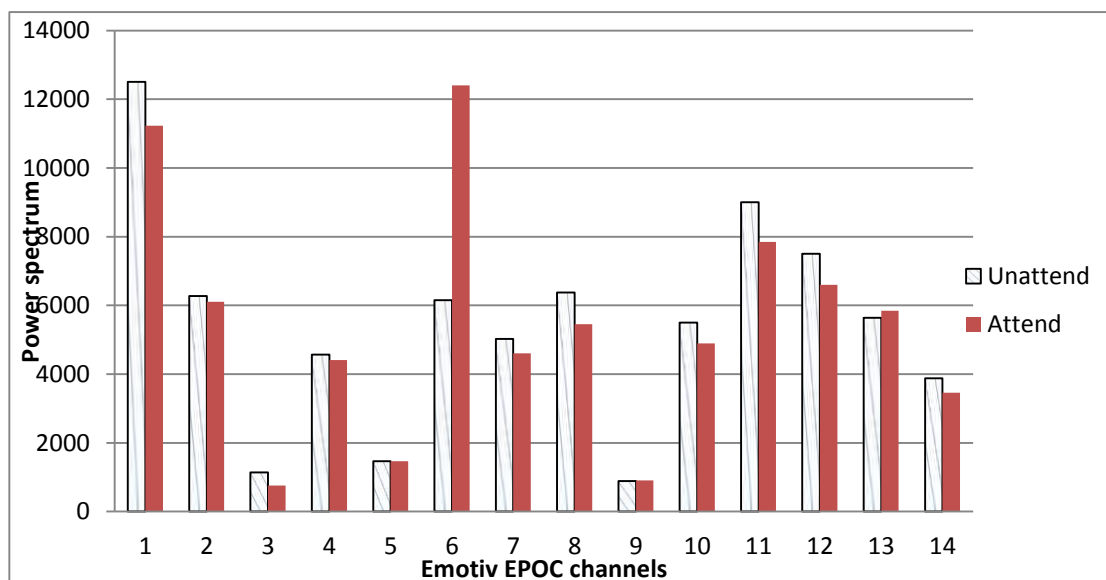
(2) Dad



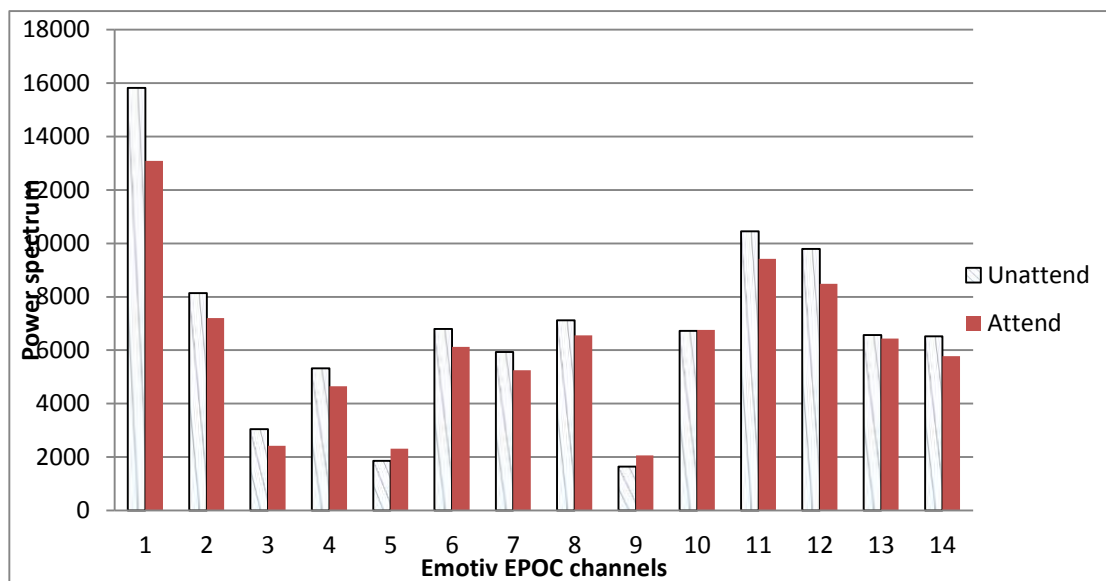
(3) Mom



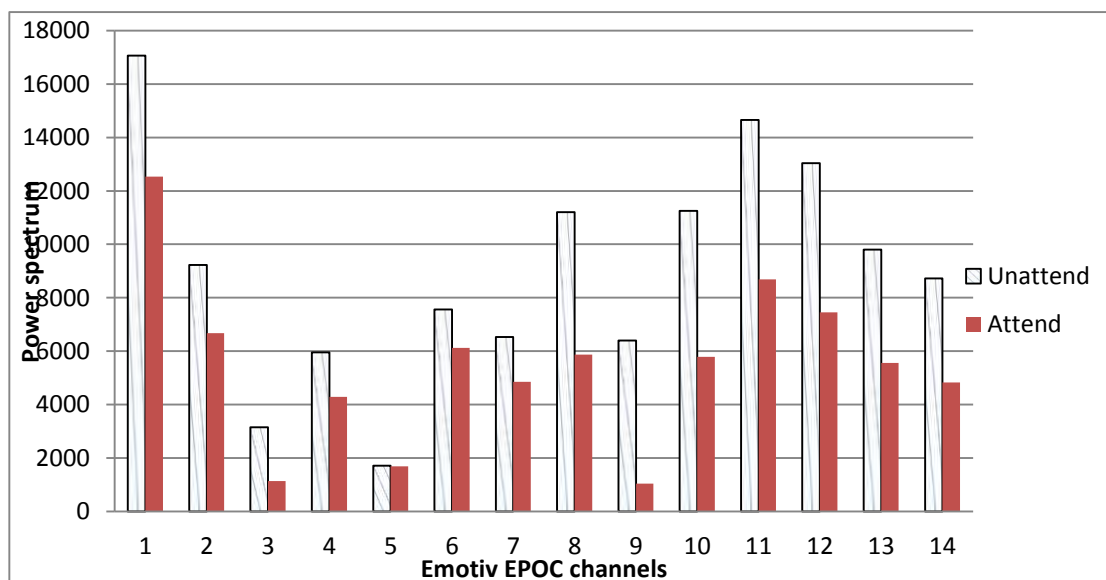
(4) Na



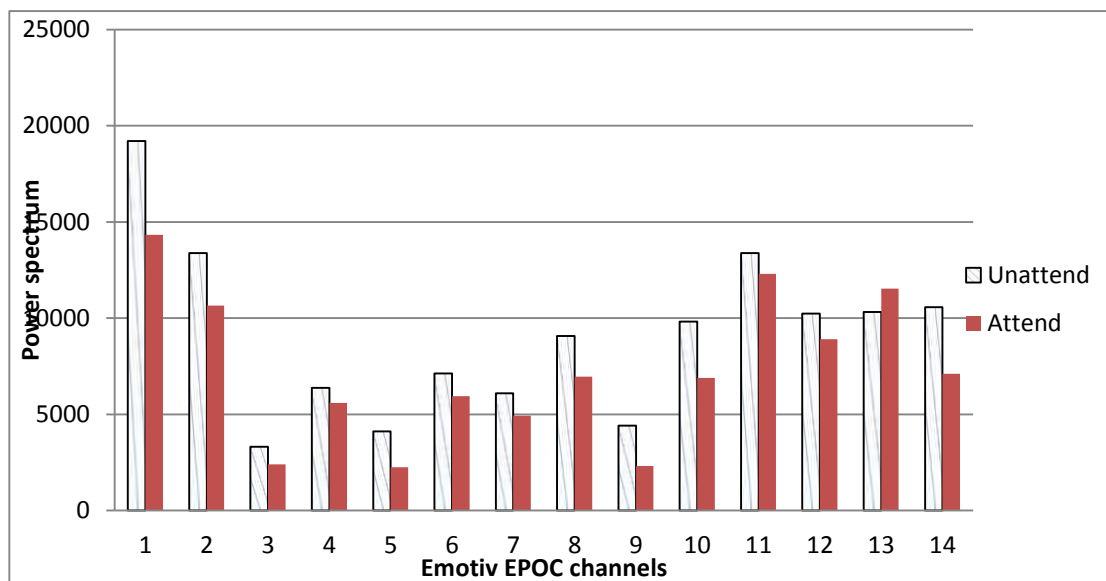
(5) NaDee



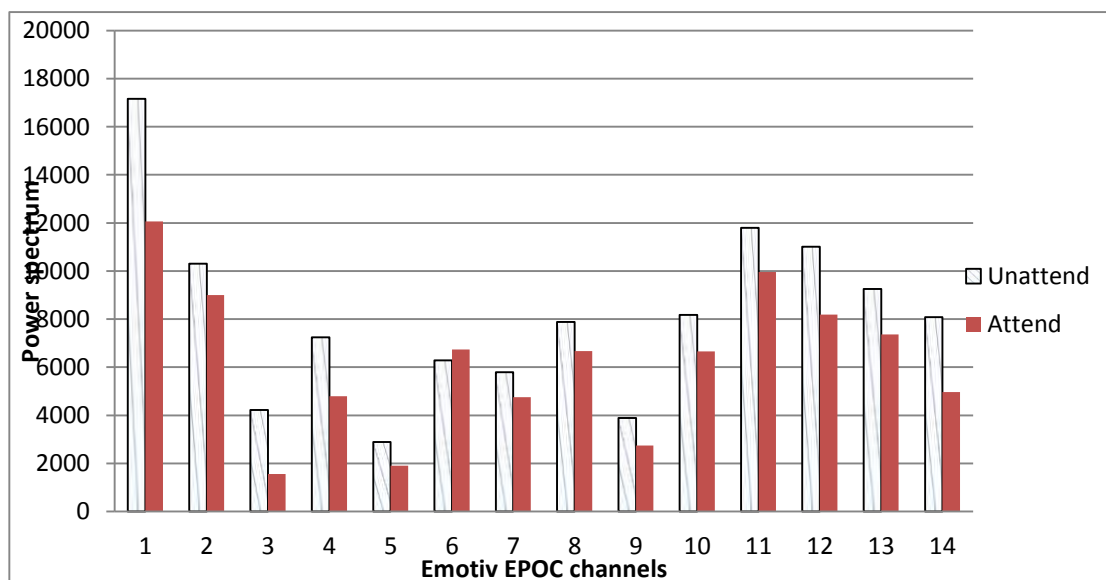
(6) Oad



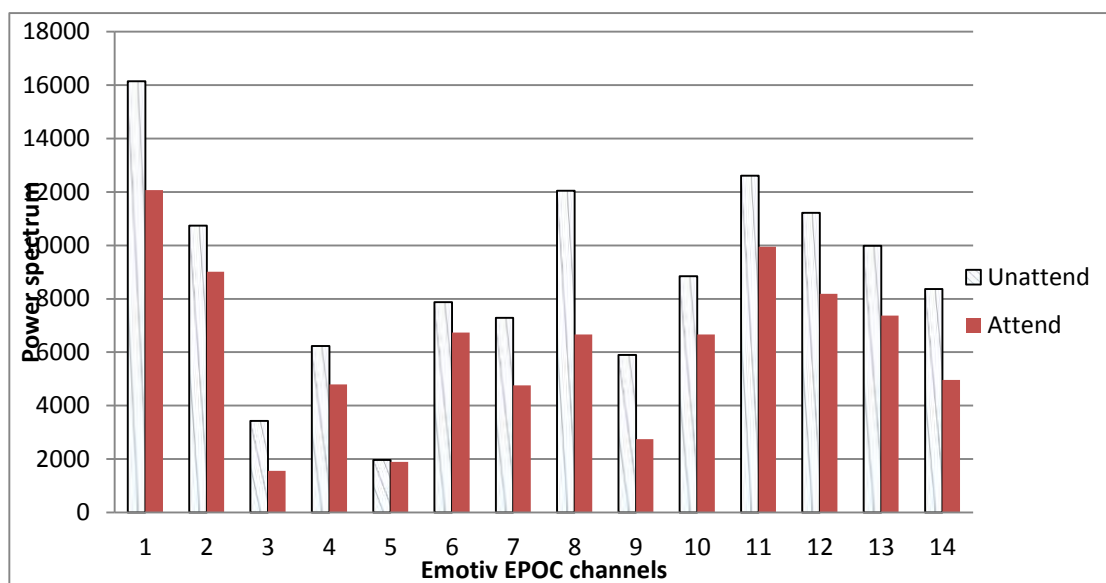
(7) Tae



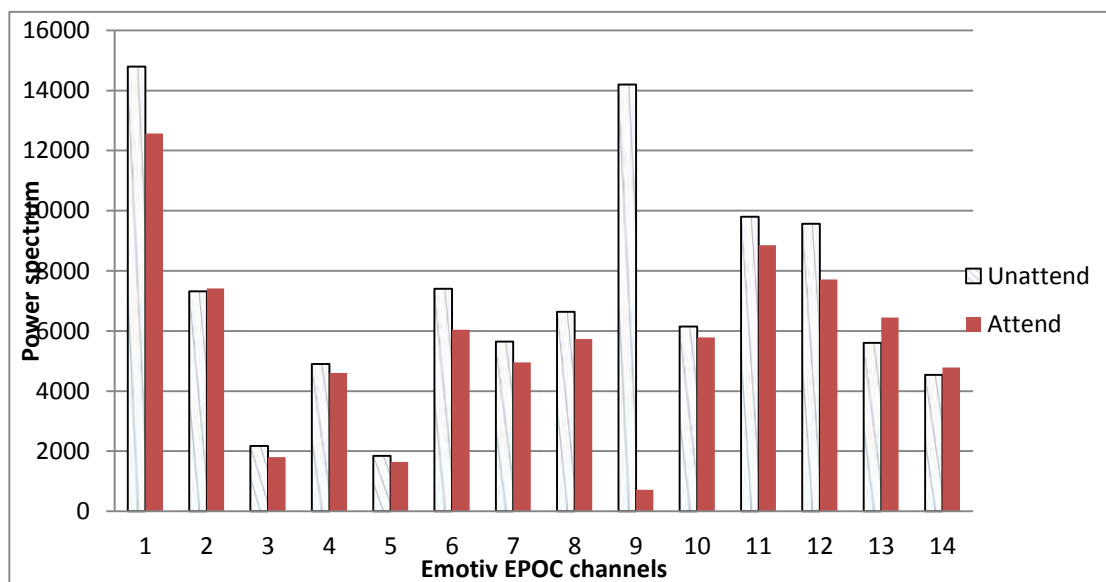
(8) Top



(9) Tuck

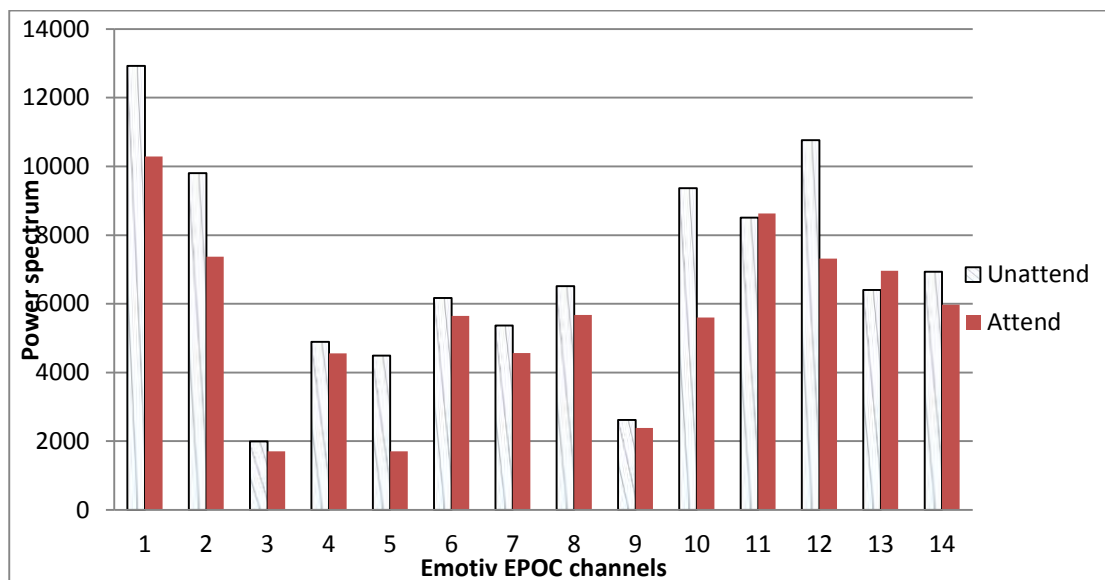


(10) Tum

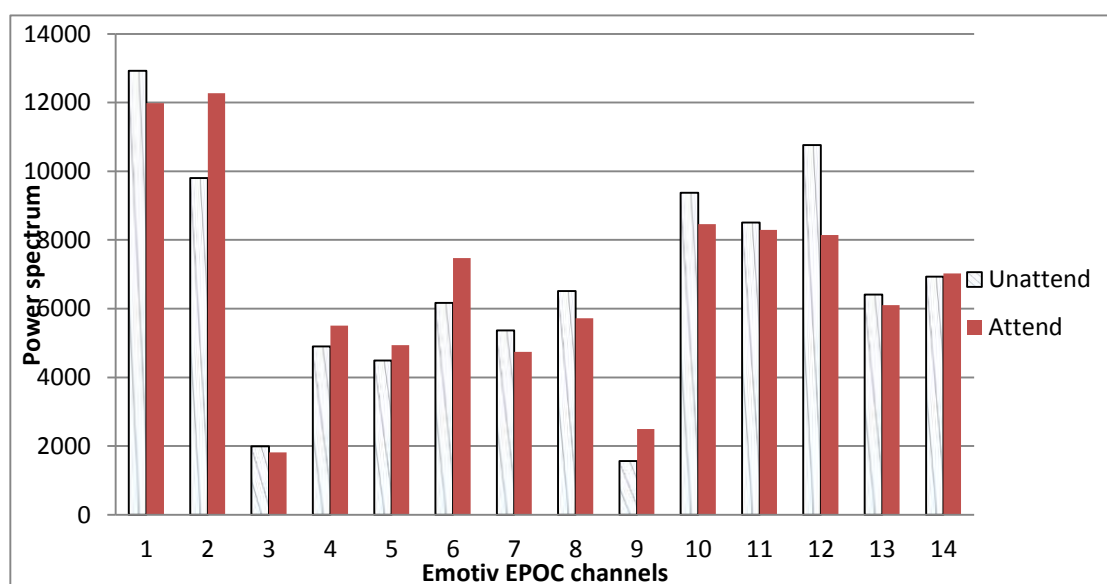


4. ค่า Power spectrum ของคลื่น Beta แบบทดสอบการอ่านหนังสือ

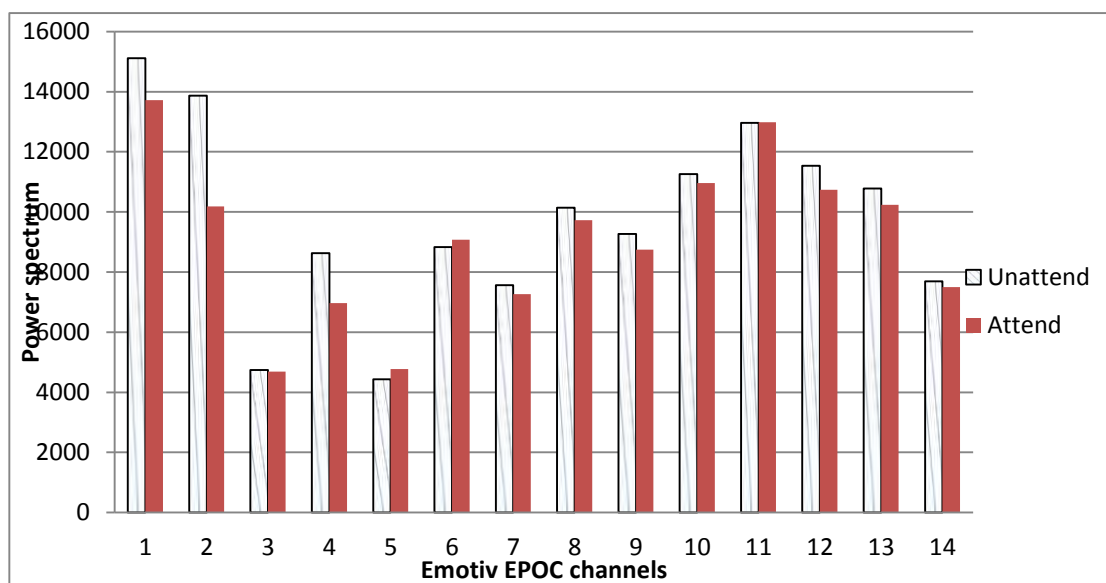
(1) Aug



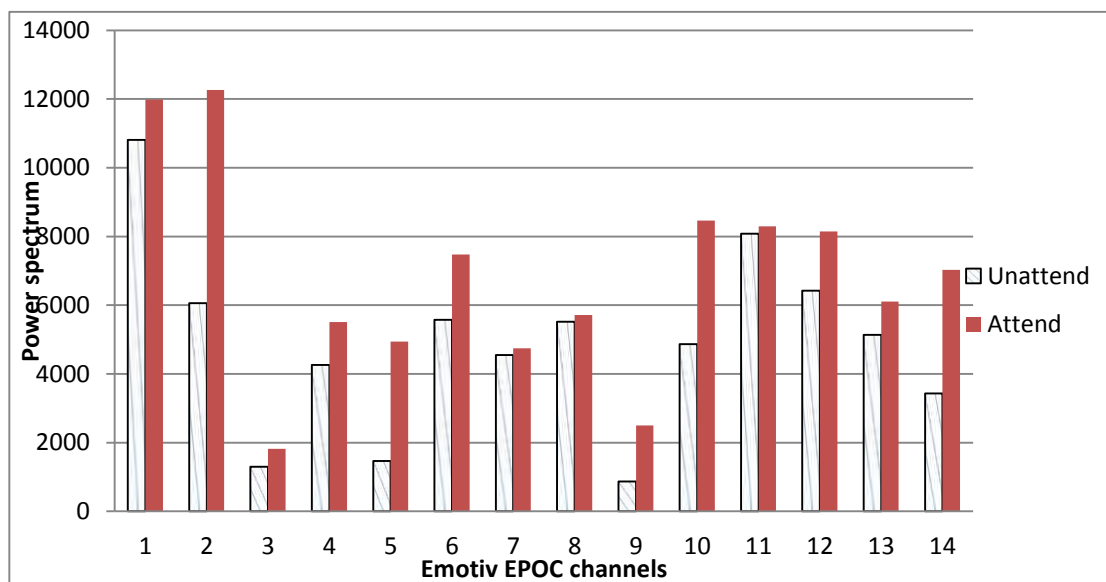
(2) Dad



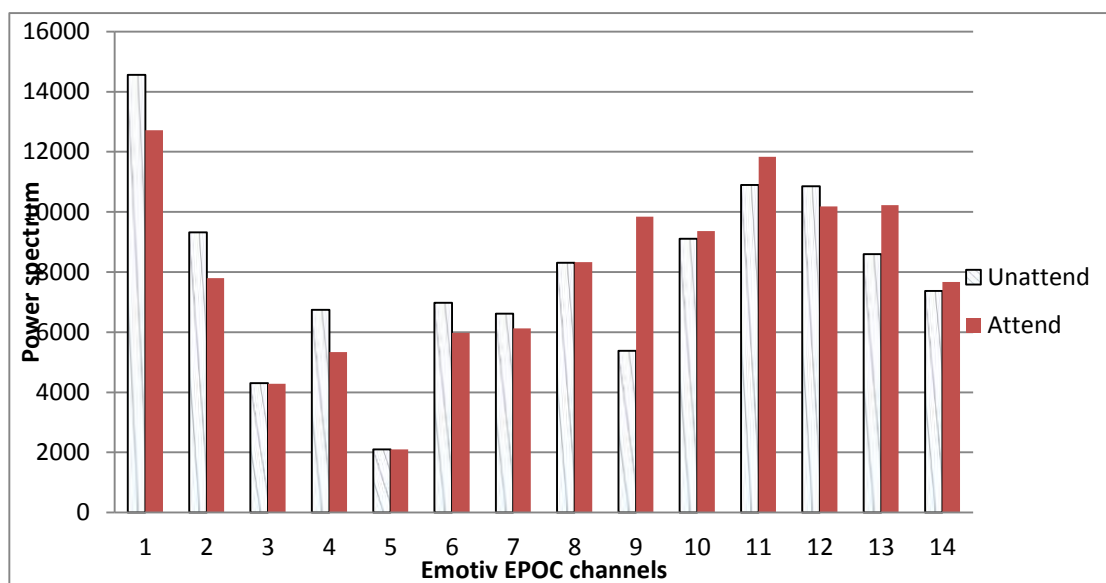
(3) Mom



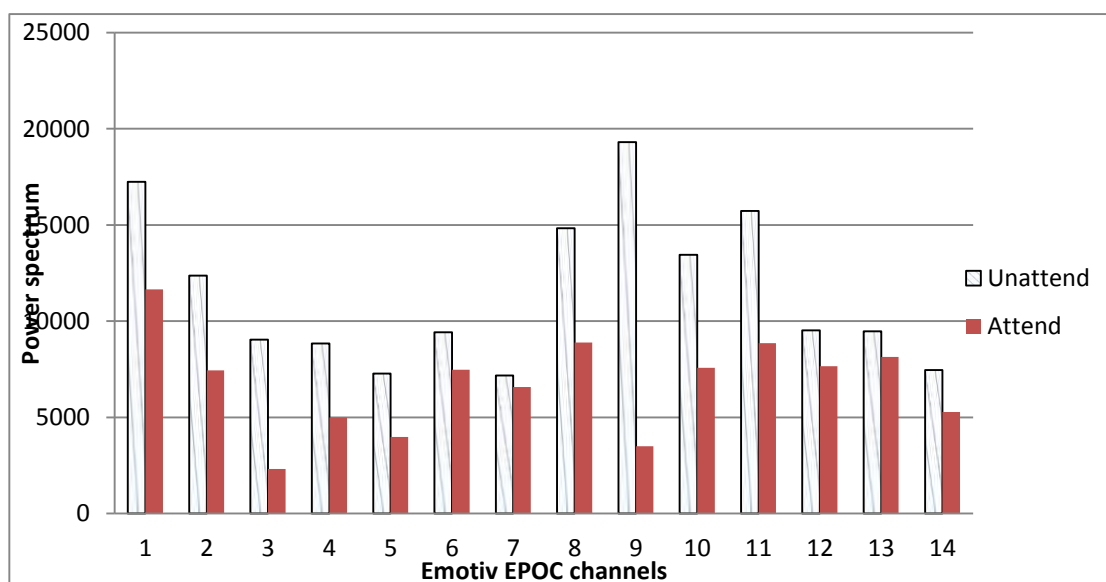
(4) Na



(5) NaDee

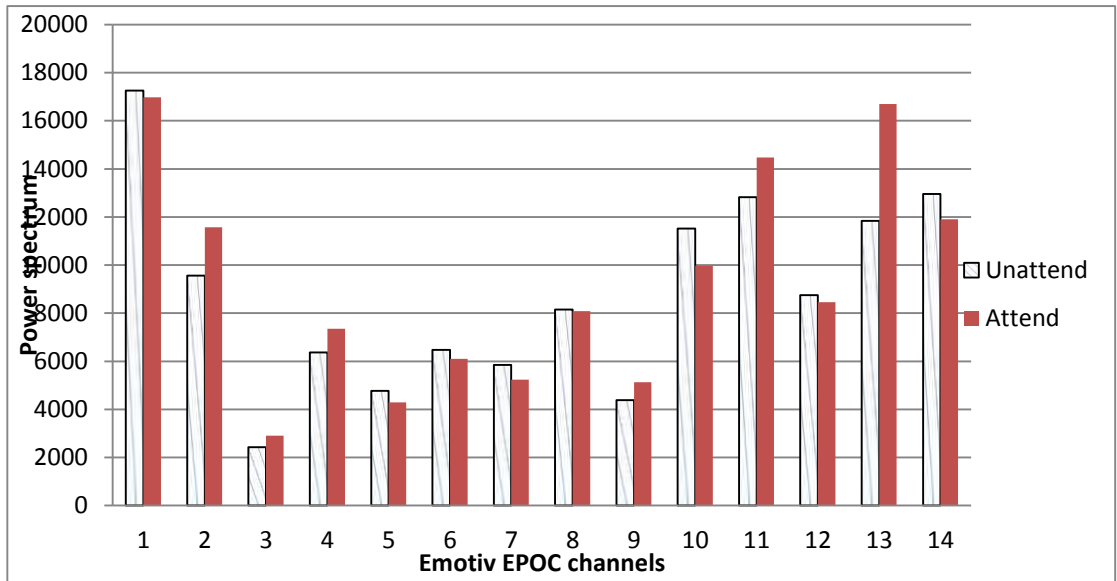


(6) Oad

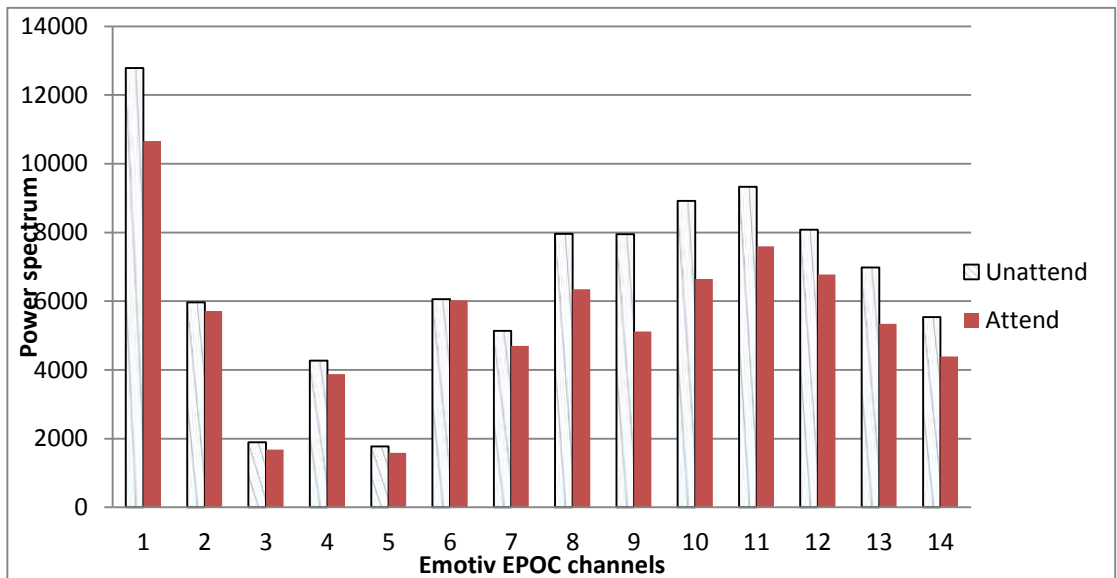




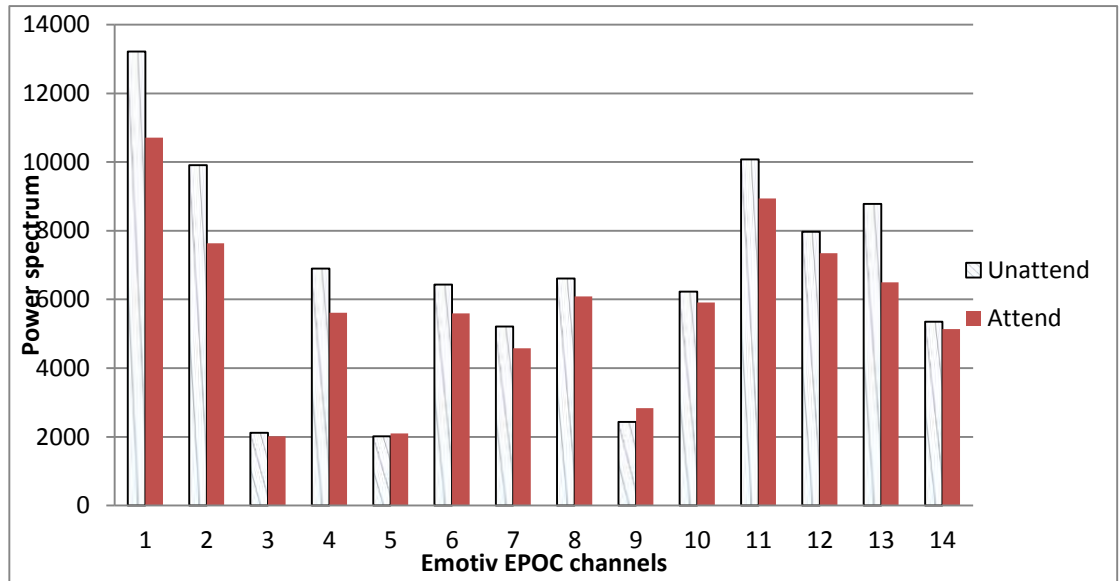
(7) Tae



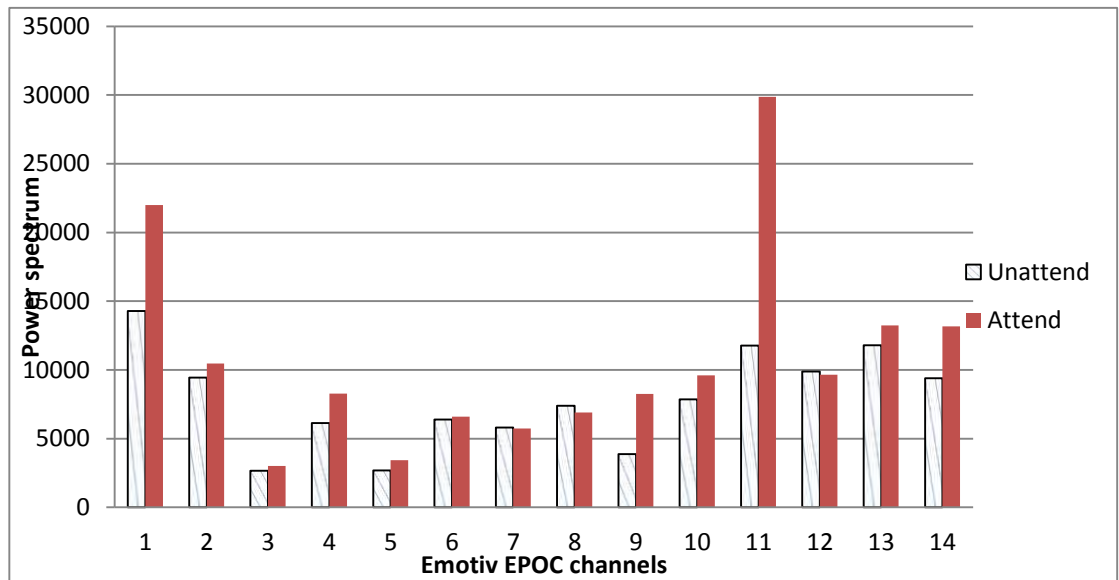
(8) Top



(9) Tuck

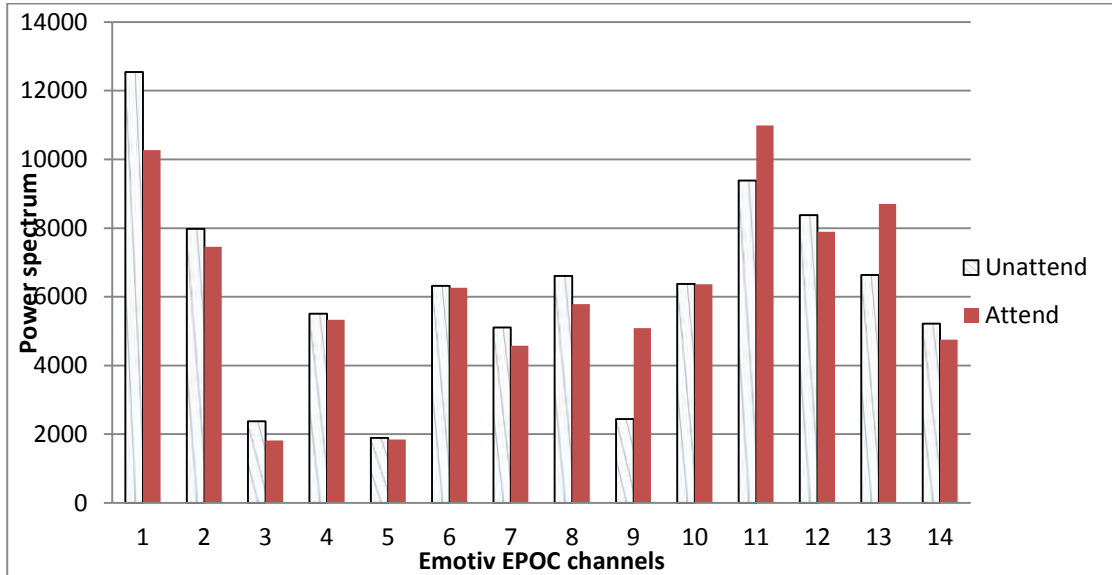


(10) Tum

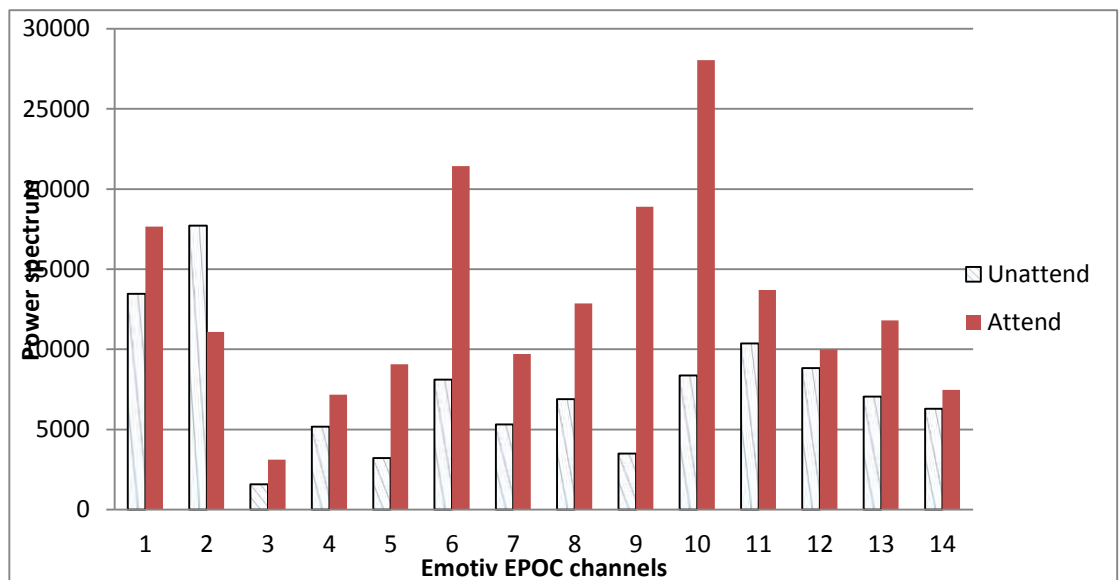


5. ค่า Power spectrum ของคลื่น Beta แบบทดสอบการดูภาพสามมิติ

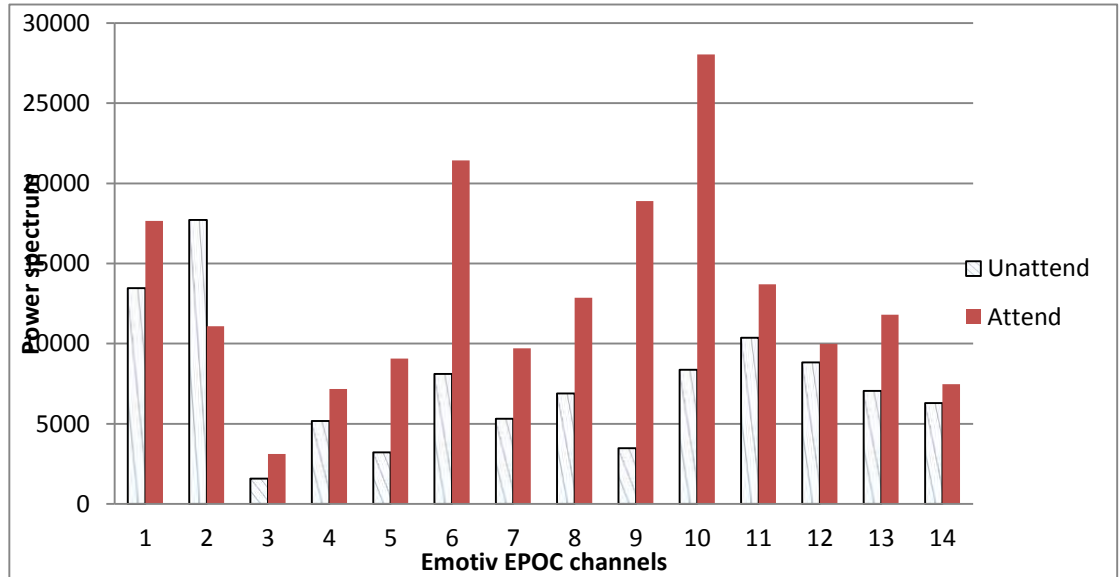
(1) Aug



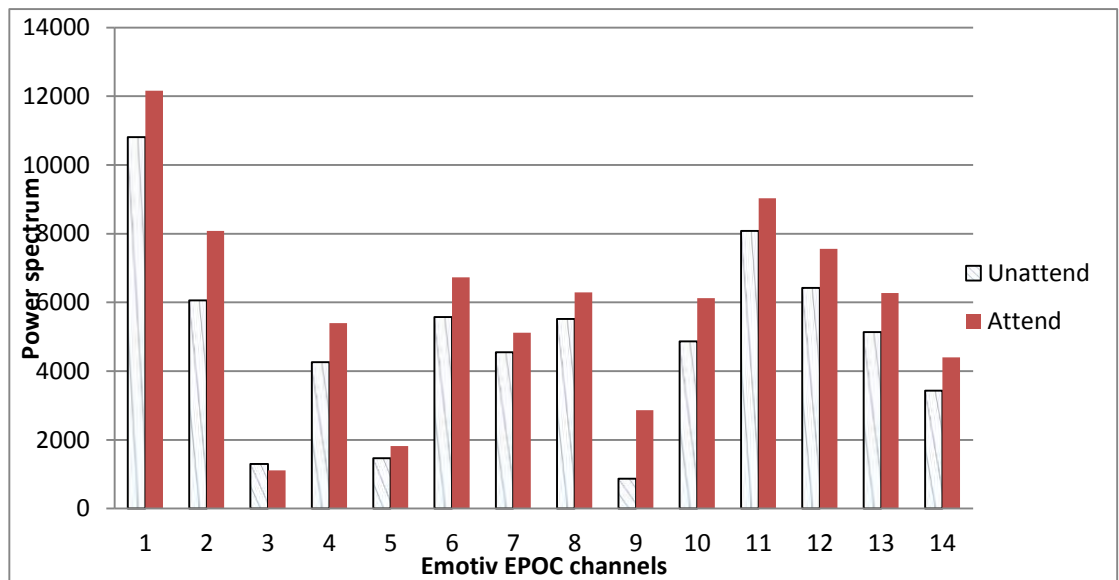
(2) Dad



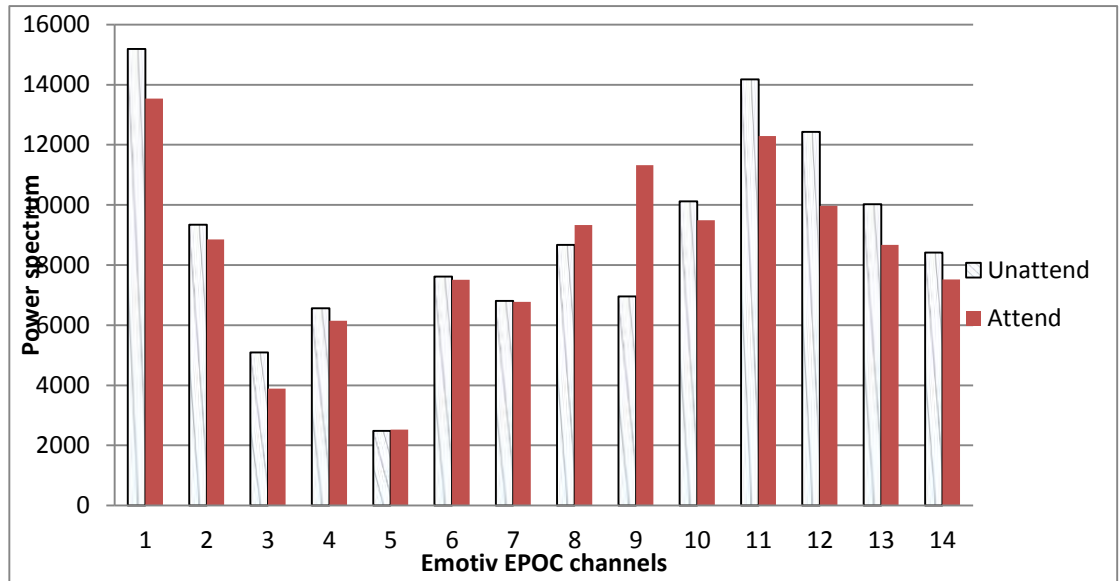
(3) Mom



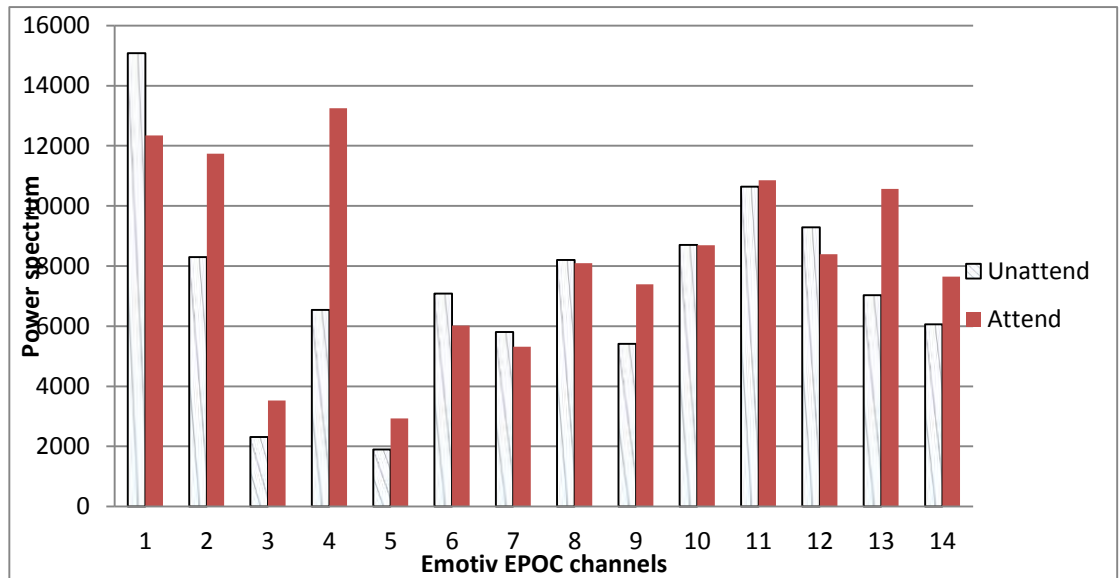
(4) Na



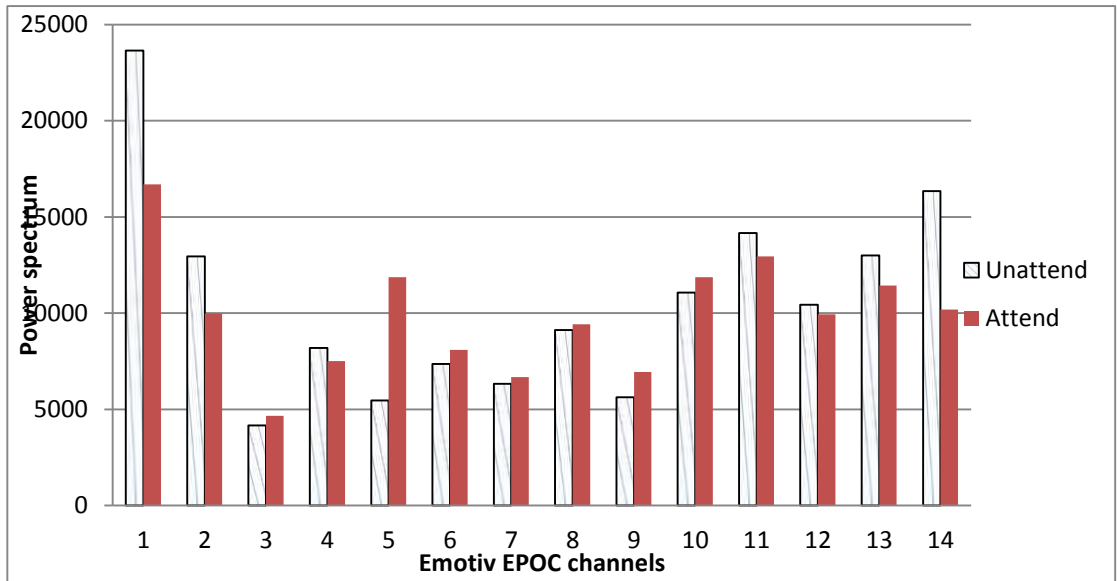
(5) NaDee



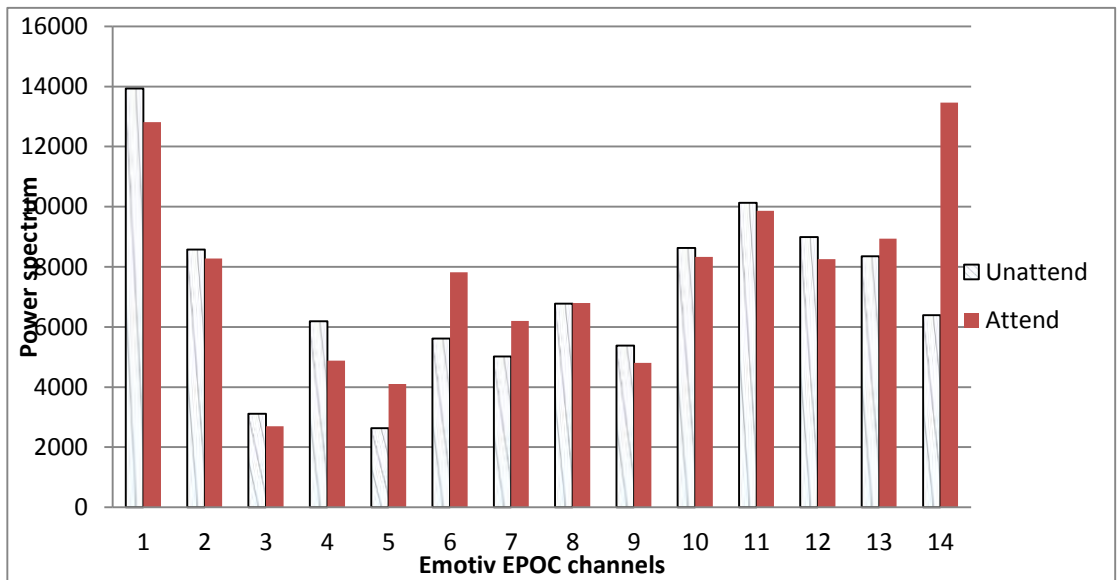
(6) Oad



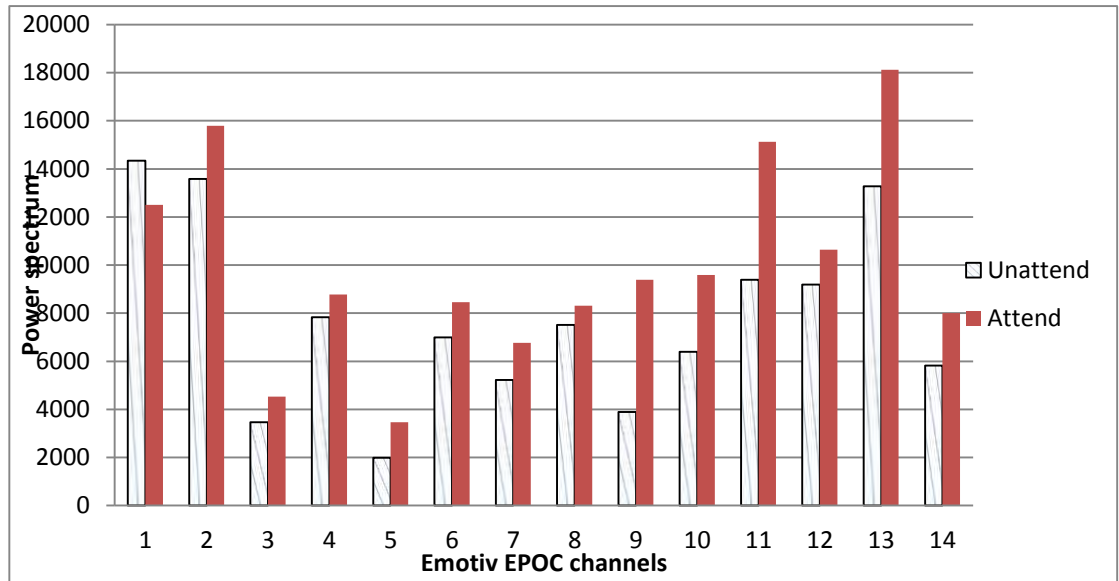
(7) Tae



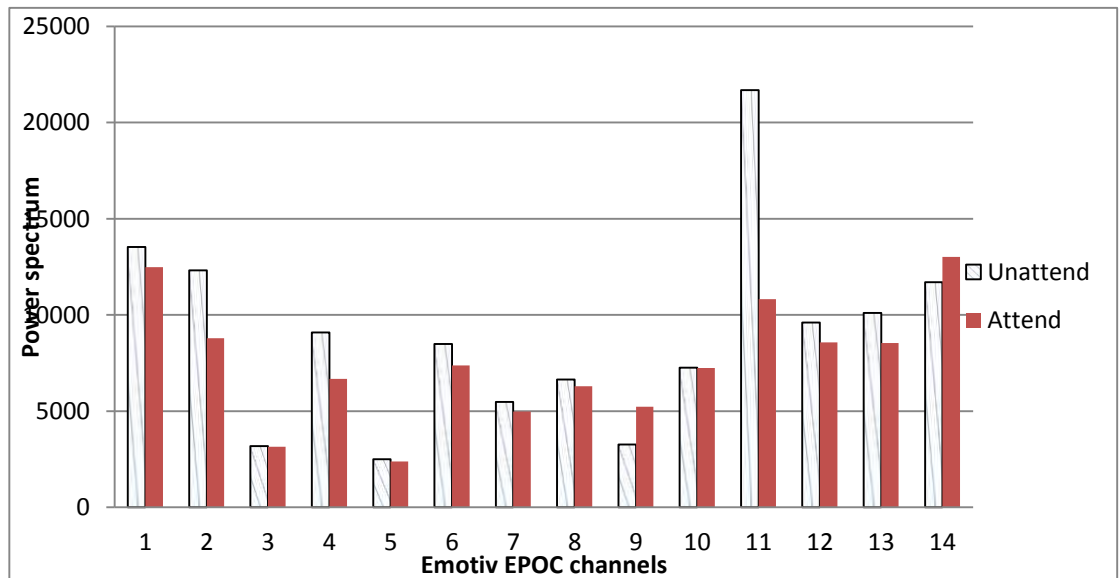
(8) Top



(9) Tuck

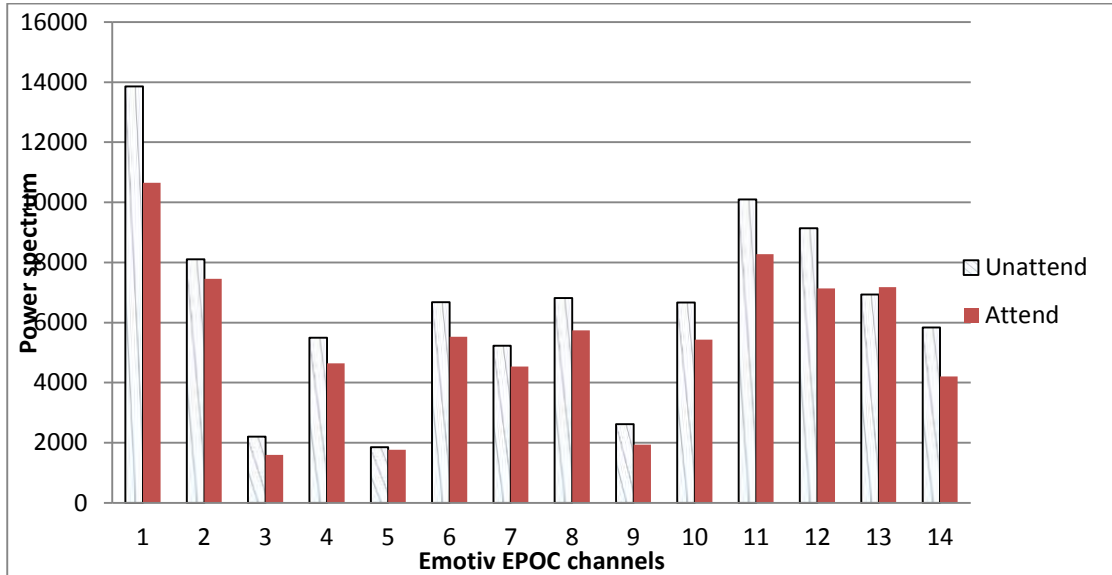


(10) Tum

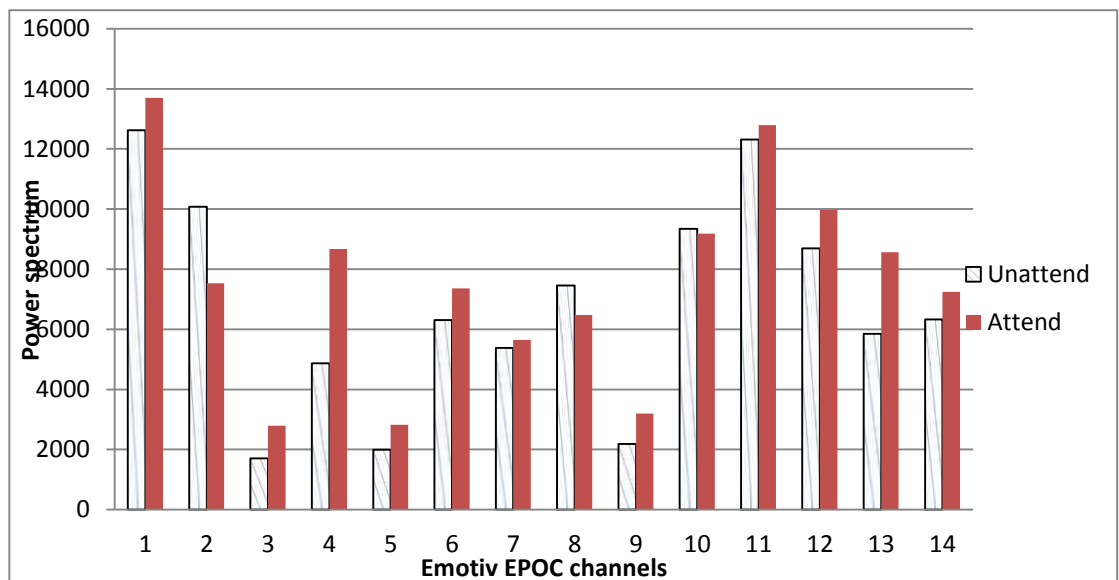


6. ค่า Power spectrum ของคลื่น Beta แบบทดสอบการทำแบบประเมิน

(1) Aug

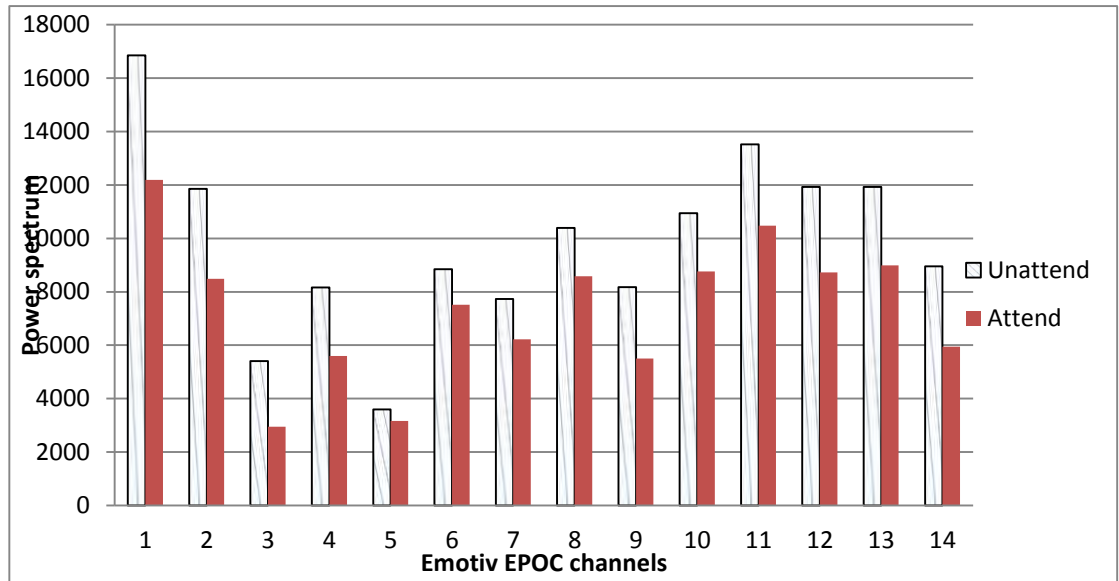


(2) Dad

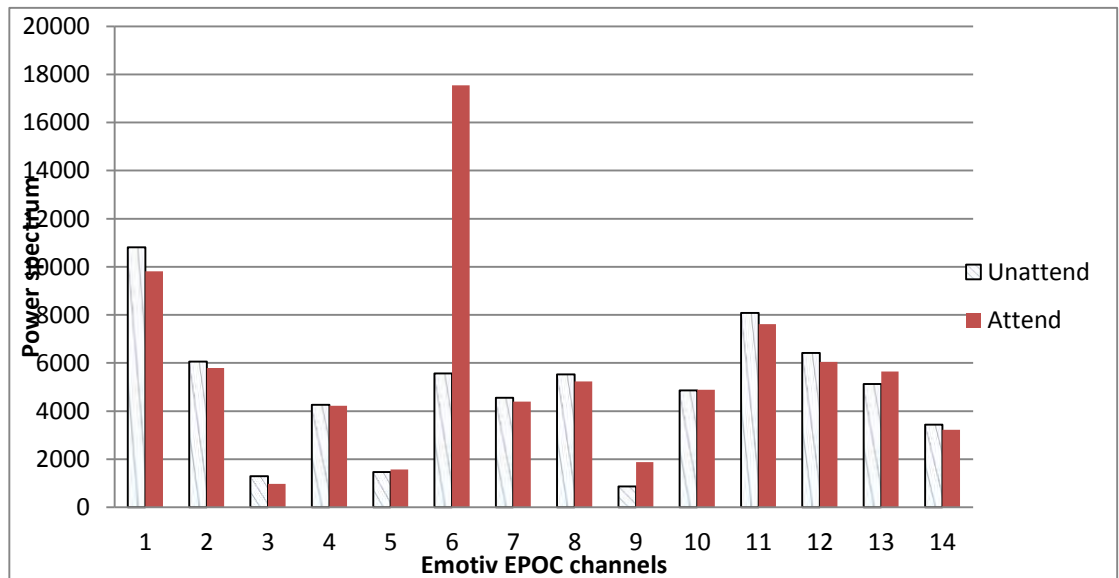




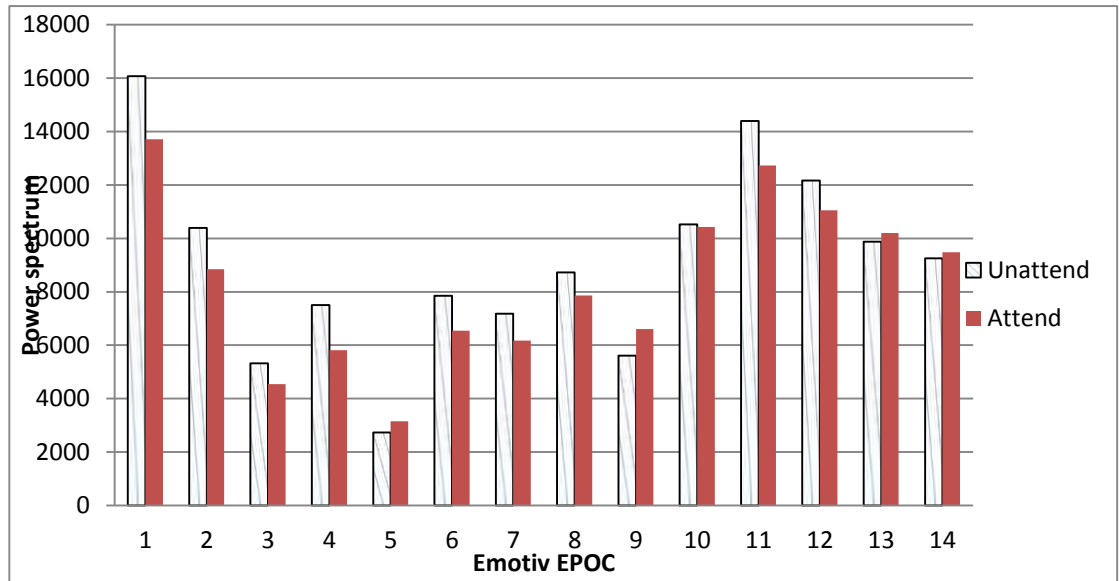
(3) Mom



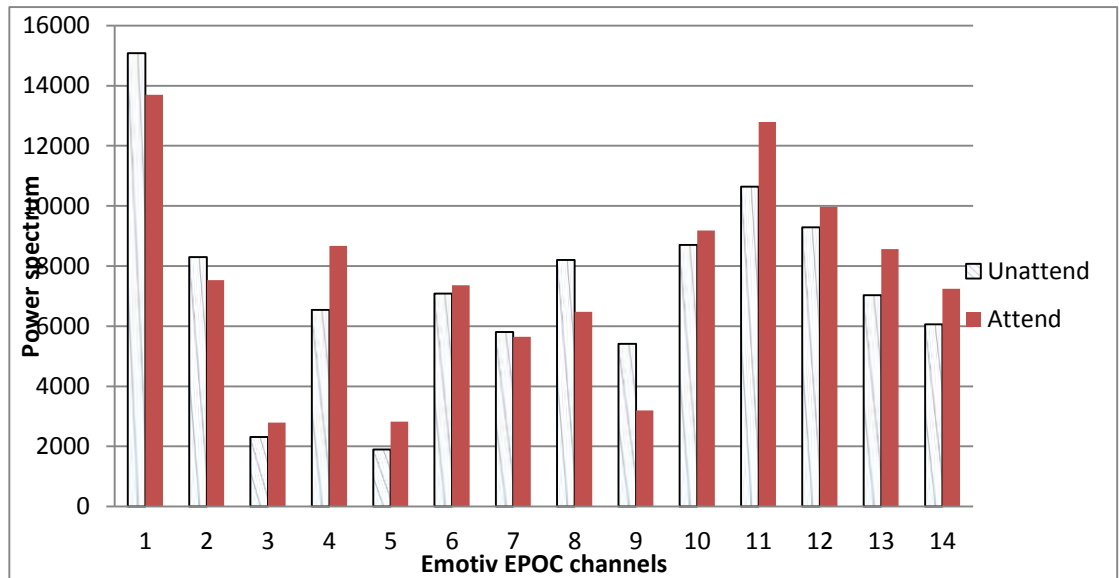
(4) Na



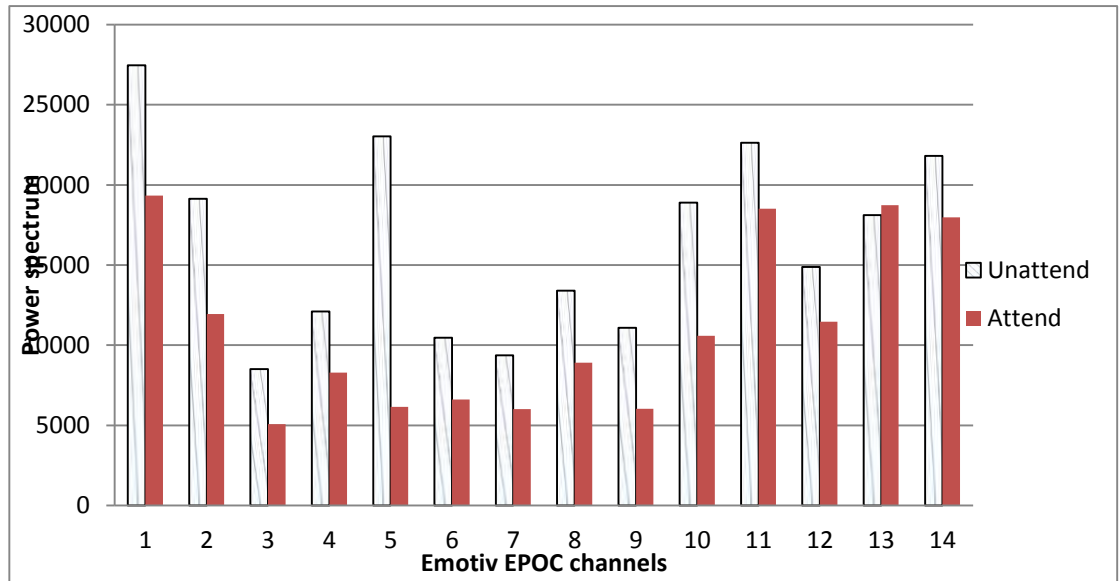
(5) NaDee



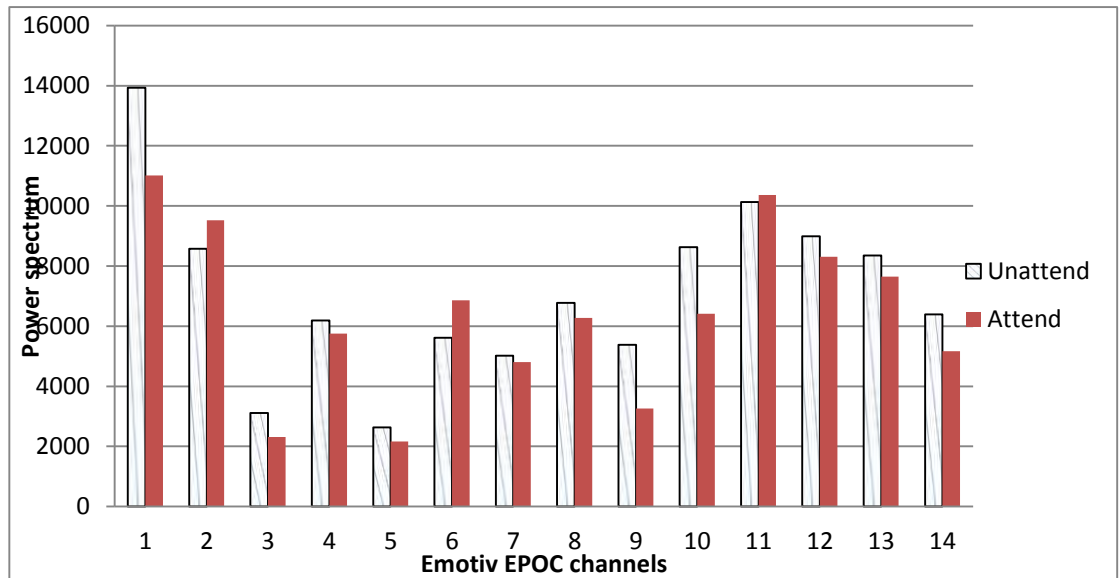
(6) Oad



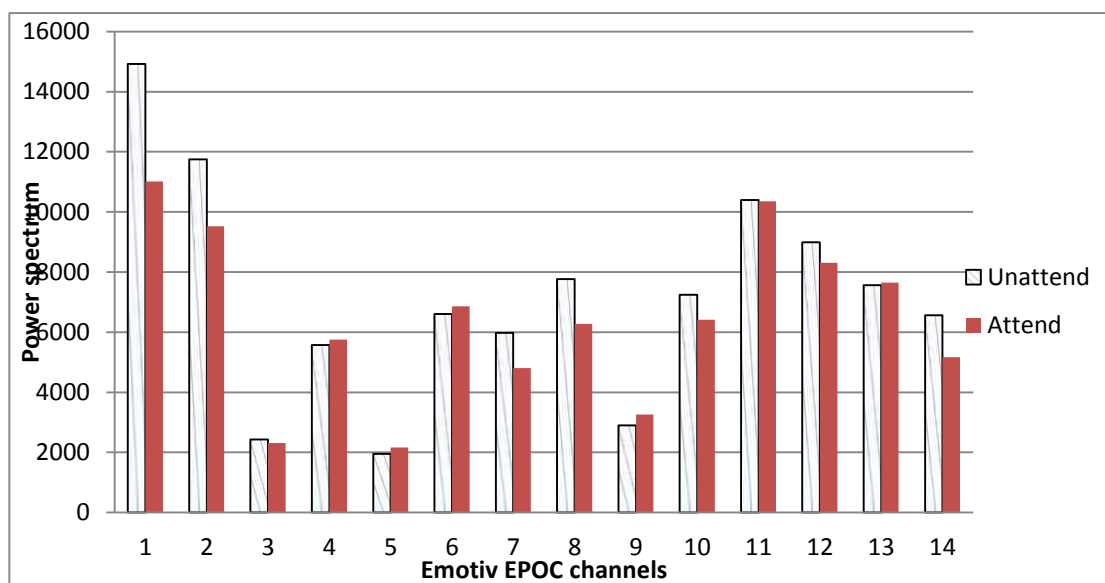
(7) Tae



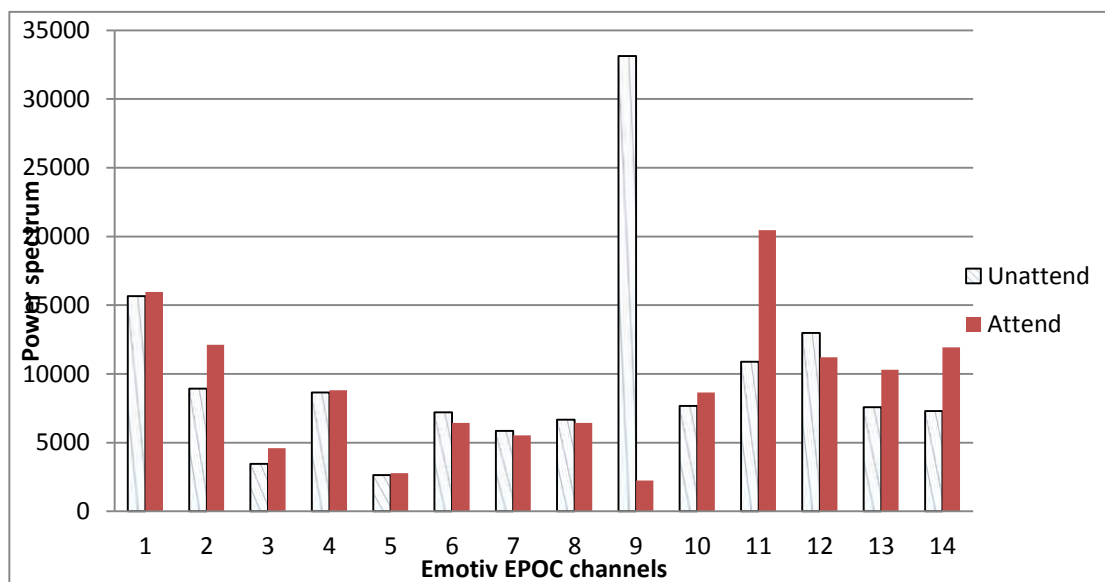
(8) Top



(9) Tuck

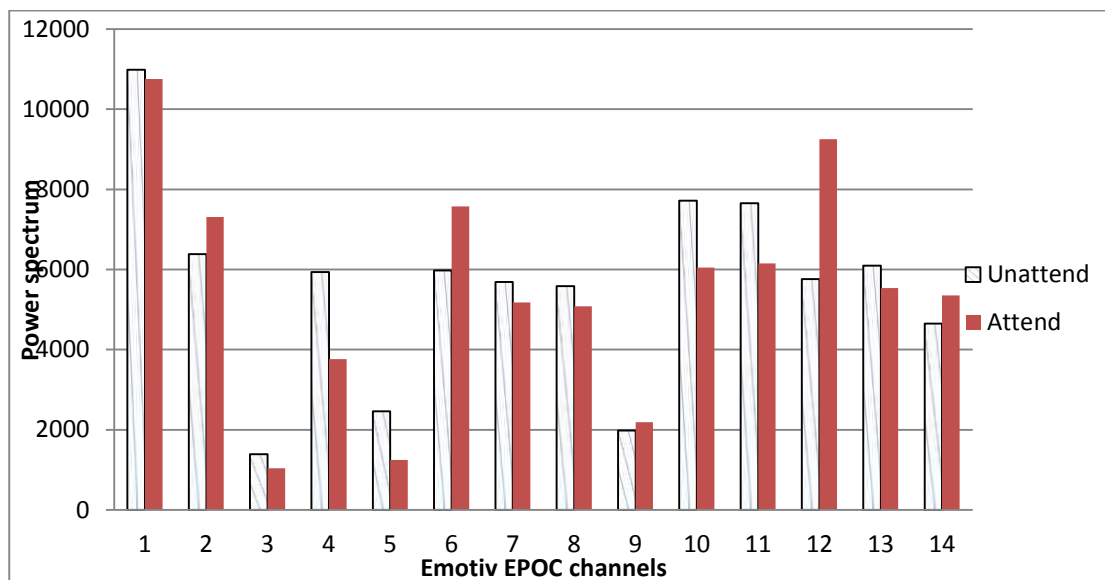


(10) Tum

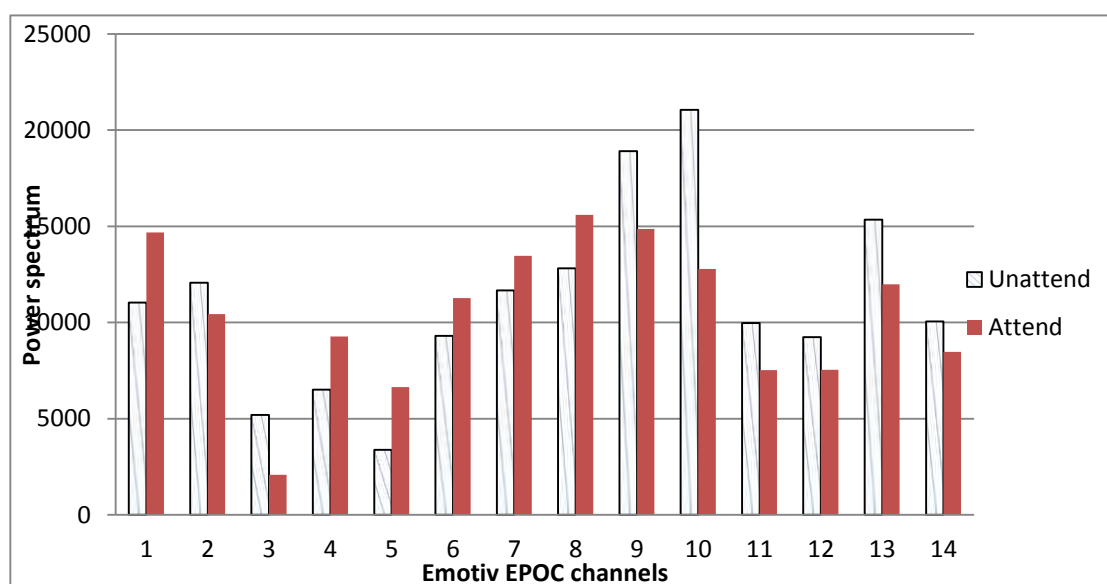


7. ค่า Power spectrum ของคลื่น Gamma แบบทดสอบการเล่นเกมสัจจับคู่ไฟ

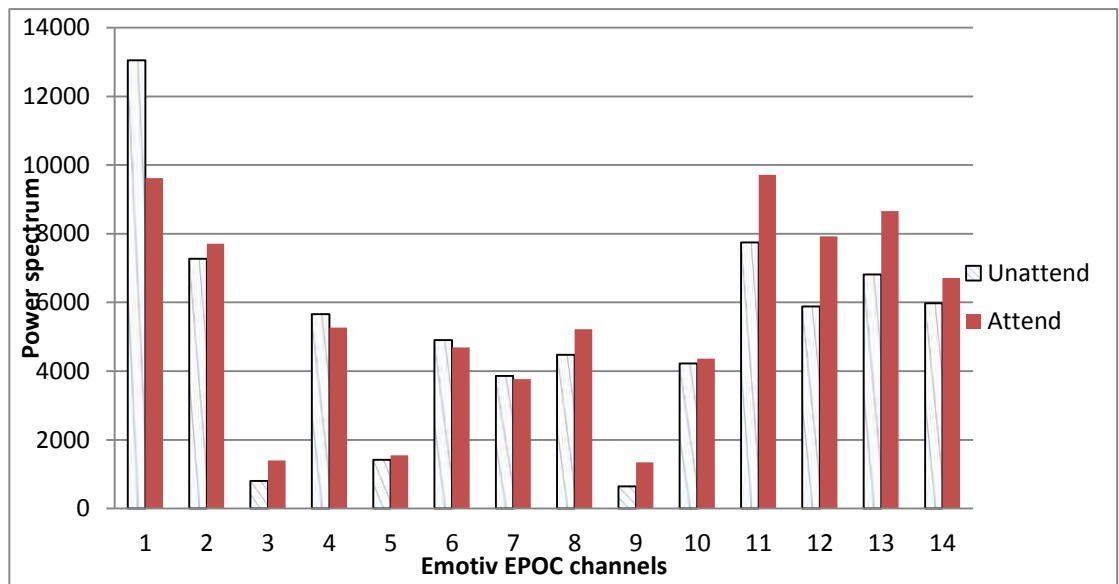
(1) Benz



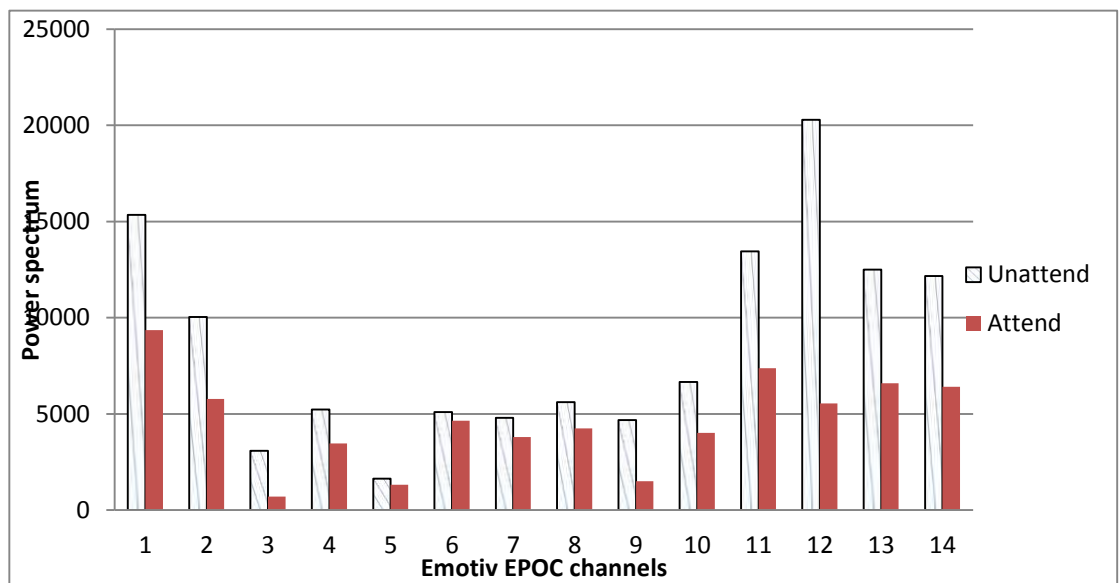
(2) Tom



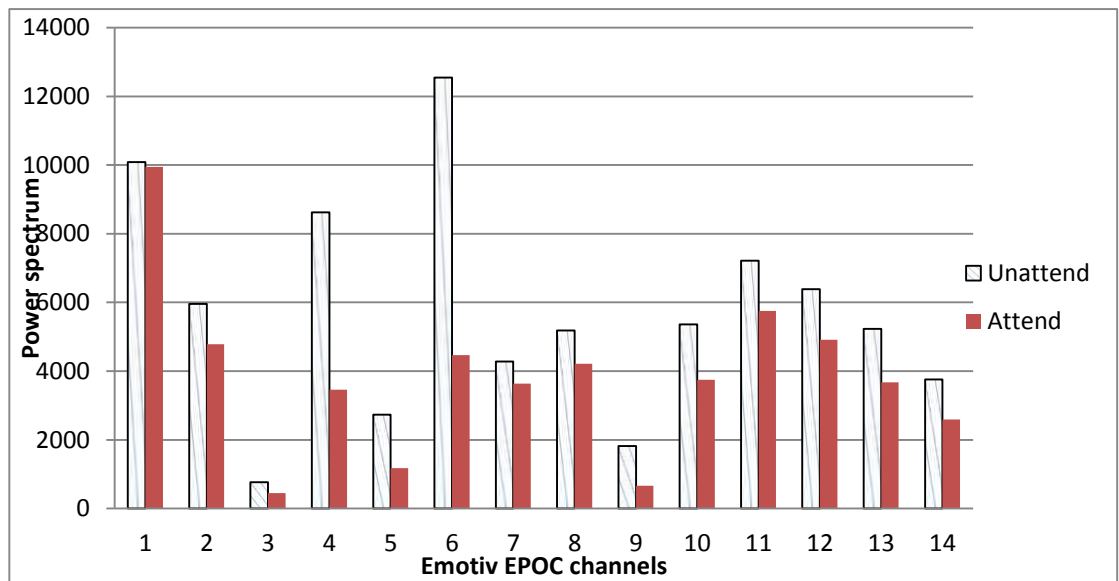
(3) Aug



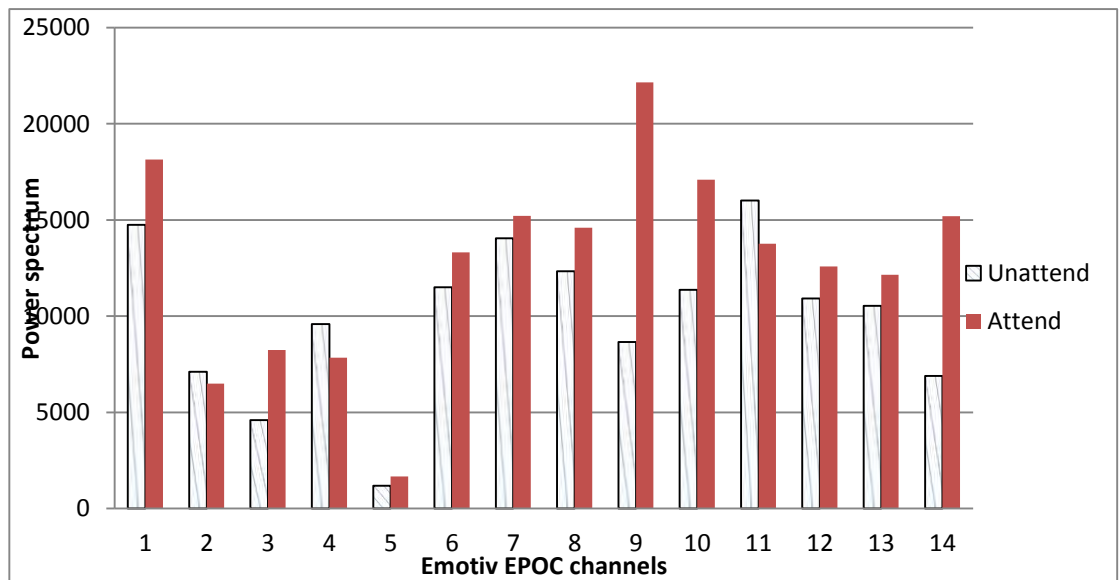
(4) Dad



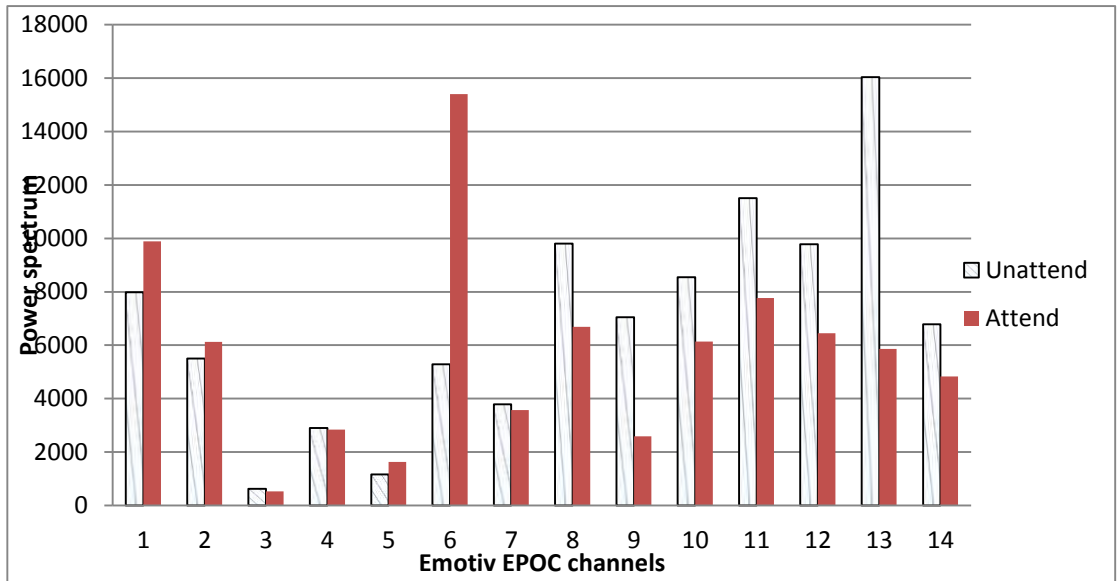
(5) Film



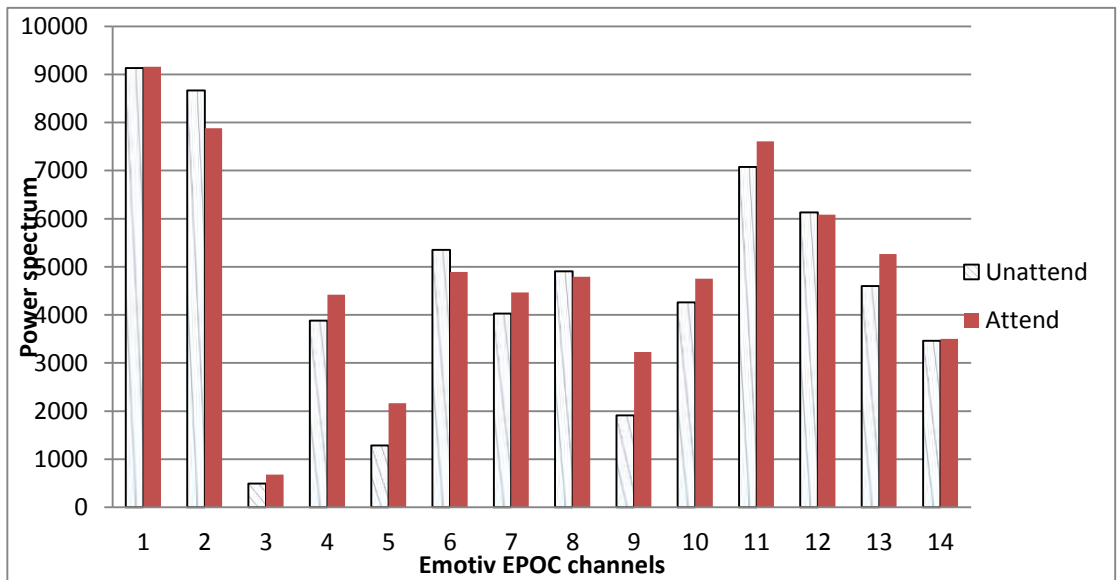
(6) NaWat



(7) Tae

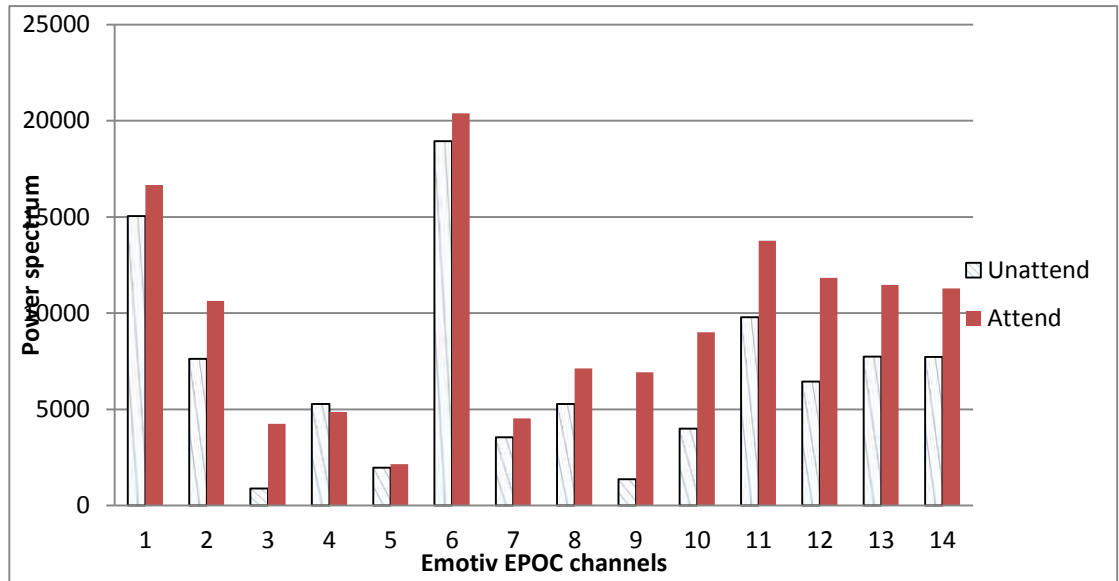


(8) Top

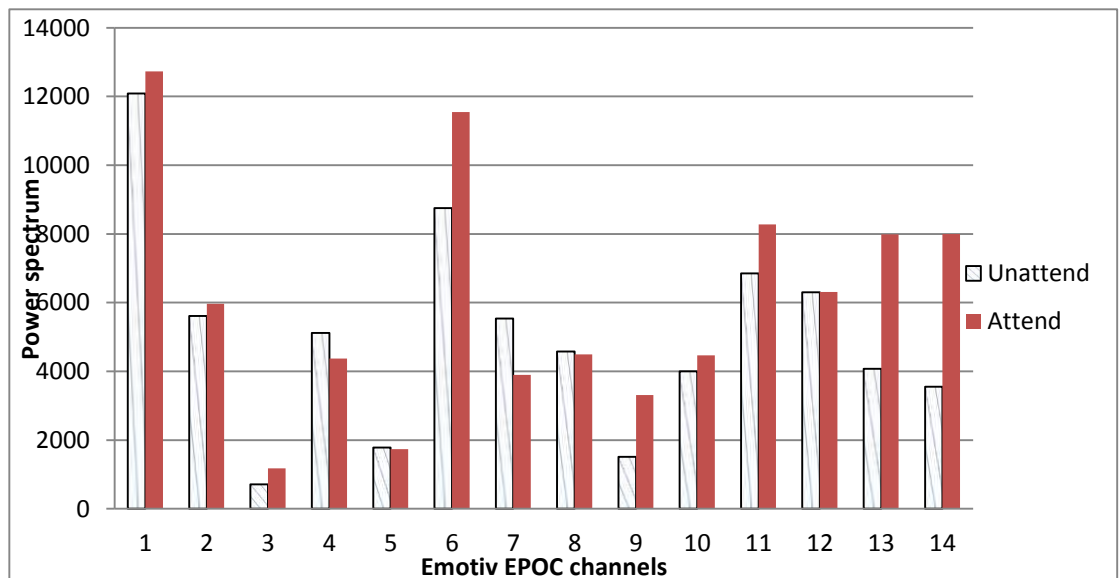




(9) NaPat



(10) Tum



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกฤษณ์กร เยว้รัมย์ณี เกิดเมื่อวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554