

ผลของความยากของข้อสอบและความสามารถของผู้สอบที่มีต่อคลื่นไฟฟ้าสมอง:
การศึกษาศักยไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ขณะทดสอบด้านเลขคณิต

กนก พานทอง

ดุชะฎิณิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการวัดและเทคโนโลยีทางวิทยาการปัญญา

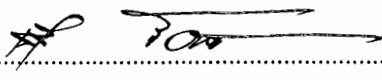
วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา

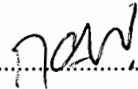
มิถุนายน 2555

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

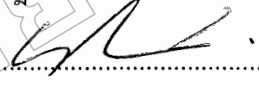
คณะกรรมการควบคุมดุขฎีนิพนธ์และคณะกรรมการสอบดุขฎีนิพนธ์ ได้พิจารณา
ดุขฎีนิพนธ์ของ กนก พานทอง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปรัชญาดุขฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวัดและเทคโนโลยีทางวิทยาการปัญญา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมดุขฎีนิพนธ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดแฉ่ม)

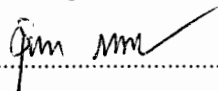

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(แพทย์หญิง กาญจนา พิทักษ์วัฒนานนท์)

คณะกรรมการสอบดุขฎีนิพนธ์

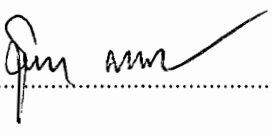

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยศชนัน วงศ์สวัสดิ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดแฉ่ม)


..... กรรมการ
(แพทย์หญิง กาญจนา พิทักษ์วัฒนานนท์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาดณี)

วิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญาอนุมัติให้รับดุขฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุขฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวัดและเทคโนโลยีทางวิทยาการปัญญา
ของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีวิทยาลัยวิทยาการวิจัย
และวิทยาการปัญญา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กรเพชรปาดณี)

วันที่ ..21... เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2555

ประกาศคุณูปการ

ดุชฎินิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้คำปรึกษาและช่วยแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี ชัดเข้ม อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และแพทย์หญิง กาญจนา พิทักษ์วัฒนานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งกรุณาชี้แนวทางในการศึกษาค้นคว้า ทำให้ผู้วิจัยได้รับความรู้และประสบการณ์ในการทำดุชฎินิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปากเปล่าดุชฎินิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขดุชฎินิพนธ์ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ และความสามารถทำดุชฎินิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ กรเพชรปानी ที่ช่วยแนะนำแก้ไขแนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และขอขอบคุณ อาจารย์ยรรยง พันธุ์สวัสดิ์ อาจารย์รัตตดา เหลืองรัตนมาศ และอาจารย์อัญชญา จุลศิริ ที่ช่วยแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และตอบข้อสงสัยในการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๑ โรงเรียนปริชานุศาสน์ จังหวัดชลบุรี ที่สมัครเข้าเป็นอาสาสมัครทุกคน และผู้ปกครองทุกท่านที่ให้อนุญาตนักเรียนกลุ่มอาสาสมัครเข้าเป็นกลุ่มตัวอย่างในการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองมา ณ โอกาสนี้

และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา สมาชิกครอบครัวพานทอง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณแม่กอบแก้ว พานทอง คุณเบ็ญจภรณ์ พานทอง เด็กหญิงสิริเพ็ญ พานทอง และเด็กชายสิริวิญช์ พานทอง ที่เป็นกำลังใจสำคัญ และให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัย ขอขอบคุณกำลังใจจากพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุก ๆ ท่านที่มีได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

กนก พานทอง

50810982: สาขาวิชา: การวัดและเทคโนโลยีทางวิทยาการปัญญา;

ปร.ต. (การวัดและเทคโนโลยีทางวิทยาการปัญญา)

คำสำคัญ: ความยากของข้อสอบ/ ความสามารถของผู้สอบ/ คลื่นไฟฟ้าสมอง/ ศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์
กับเหตุการณ์/ การทดสอบด้านเลขคณิต

กนก พานทอง: ผลของความยากของข้อสอบและความสามารถของผู้สอบที่มีต่อ
คลื่นไฟฟ้าสมอง: การศึกษาศักย์ไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ขณะทดสอบด้านเลขคณิต (EFFECTS
OF ITEM DIFFICULTY AND STUDENTS' ABILITY ON EEG: AN EVENT-RELATED POTENTIALS
STUDY DURING ARITHMETIC TESTING) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์: เสรี ชัดเข้ม, ค.ต.,
พญ.กาญจนา พิทักษ์วัฒนานนท์, พ.บ. 168 หน้า. ปี พ.ศ. 2555.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ของ
ผู้สอบขณะทดสอบด้านเลขคณิต จำแนกตามความยากของข้อสอบ และความสามารถของผู้สอบ และ
ศึกษาผลสัมพัทธ์ระหว่างความยากของข้อสอบกับความสามารถของผู้สอบที่มีต่อความสูงและ
ความกว้างของคลื่น P300 ขณะทดสอบด้านเลขคณิต กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2554 โรงเรียนปริษานุศาสน์ จังหวัดชลบุรี ได้มาโดยการรับสมัครอาสาสมัคร
รวม 30 คน จำแนกเป็นกลุ่มย่อย จำนวน 3-กลุ่ม ๆ ละ 10 คน คือ กลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ กิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง (EEG)
โดยใช้เครื่องวัดสัญญาณรุ่น EEG 100C, MP150 BIOPAC และหมวกอิเล็กทรอนิกส์ที่อ้างอิงระบบ
มาตรฐานสากล 10-20 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way
ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS

ผลการวิจัยหลักปรากฏว่า ความสูงและความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ
ด้านเลขคณิต จำแนกตามความยากของข้อสอบ และความสามารถของผู้สอบแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติที่ระดับ .05 ถ้าจำแนกตามความยากของข้อสอบ ปรากฏว่า ข้อสอบยากมีความสูงของคลื่น
P300 มากกว่าข้อสอบง่ายปานกลางและข้อสอบง่าย และข้อสอบง่ายปานกลางมีความสูงของ
คลื่น P300 มากกว่าข้อสอบง่าย แต่เมื่อจำแนกตามความสามารถของผู้สอบ ปรากฏว่า ผู้สอบกลุ่มอ่อน
และกลุ่มปานกลางมีความสูงของคลื่น P300 มากกว่ากลุ่มเก่ง ส่วนผู้สอบกลุ่มอ่อนมีความกว้างของ
คลื่น P300 มากกว่ากลุ่มปานกลาง และกลุ่มเก่ง ในบริเวณจุดอิเล็กโทรด Fp1 Fp2 F3 F4 C3 P3 P4
O1 O2 F7 Fz Cz และ Pz ที่มีความสูงและความกว้างของคลื่น P300 แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง ยังชี้ให้เห็นว่ามี
ผลสัมพัทธ์ระหว่างความยากของข้อสอบกับความสามารถของผู้สอบต่อความกว้างของคลื่น P300
ที่จุดอิเล็กโทรด Fp2 และ Pz

50810982: MAJOR: MEASUREMENT AND TECHNOLOGY IN COGNITIVE SCIENCE;
Ph.D. (MEASUREMENT AND TECHNOLOGY IN COGNITIVE SCIENCE)

KEYWORDS: ITEM DIFFICULTY/ STUDENTS' ABILITY/ ELECTROENCEPHALOGRAPHY (EEG)/
EVENT-RELATED POTENTIALS/ ARITHMETIC TESTING

KANOK PANTHONG: EFFECTS OF ITEM DIFFICULTY AND STUDENTS' ABILITY
ON EEG: AN EVENT-RELATED POTENTIALS STUDY DURING ARITHMETIC TESTING: SEREE
CHADCHAM, Ph.D., KANJANA PITUKVATTANANON, M.D. 168 P. 2012.

The purposes of this study were to compare amplitude and latency of P300 of subjects during arithmetic testing between students' ability and item difficulty, and interaction between students' ability and item difficulty to amplitude and latency of P300 during arithmetic testing. Thirty voluntary grade-seven students of Preechanusas school in Chon Buri of the academic year 2011 participated in the study. Subjects were divided into high, medium, and low ability levels on the basis of total test scores, with 10 students per group. The research instruments were the Arithmetic Testing Task and EEG 100C MP150 BIOPAC, Electrode Cap 10-20 System. SPSS was used to test descriptive statistics and test the two-way Analysis of Variance (Two-Way ANOVA).

The major results showed that amplitude and latency of P300 of the subjects during arithmetic testing between students' ability and item difficulty were significant at the .05 level. When dividing by item difficulty, found that the difficult items have higher amplitude of P300 than the moderate and easy items. The moderate items have higher amplitude of P300 than the easy items. When dividing by students' ability, however, found that the low group and the medium group have higher amplitude of P300 than high group. The low group has higher latency of P300 than the medium and high groups. And at the Electrode Fp1 Fp2 F3 F4 C3 P3 P4 O1 O2 F7 Fz Cz and Pz, amplitude and latency of P300 were significant at the .05 level. A two-way analysis of variance revealed the interaction between item difficulty and ability level of latency of P300 at electrode Fp2 and Pz.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	๓
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	6
สมมติฐานของการวิจัย.....	7
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	7
ขอบเขตของการวิจัย.....	8
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	9
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
ตอนที่ 1 หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน กลุ่มสาระการเรียนรู้ คณิตศาสตร์.....	11
ตอนที่ 2 ความยากของข้อสอบ และงานวิจัยที่เกี่ยวกับ EEG.....	14
ตอนที่ 3 ความสามารถของผู้สอบ และงานวิจัยที่เกี่ยวกับ EEG.....	24
ตอนที่ 4 การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง.....	29
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	40
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	41
แบบแผนการทดลอง.....	42
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	43
การสร้างและการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	47
วิธีดำเนินการทดลอง.....	49
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	51

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
สถานที่ทำการทดลอง.....	53
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	53
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน.....	54
ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงและ ความกว้างของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และ ระดับความสามารถของผู้สอบ.....	56
5 สรุปและอภิปรายผล.....	121
สรุปผลการวิจัย.....	121
อภิปรายผลการวิจัย.....	122
ข้อเสนอแนะ.....	126
บรรณานุกรม.....	128
ภาคผนวก.....	137
ภาคผนวก ก ตัวอย่างข้อมูลความสูง (Amplitude) และความกว้าง (Latency) ของ คลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบด้านเลขคณิต.....	138
ภาคผนวก ข หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพ ของเครื่องมือ หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อ การวิจัย.....	143
ภาคผนวก ค ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับมาตรฐาน ค 1.2 ของกลุ่มสาระ คณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.....	146
ภาคผนวก ง ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบรายข้อ และความเที่ยงของ แบบทดสอบเลขคณิตทั้งฉบับ.....	159
ภาคผนวก จ แบบรายงานผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ วิทยาลัย วิทยาการวิจัยและวิทยาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา.....	161
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างใบยินยอมเข้าร่วมการวิจัย ตัวอย่างแบบบันทึกการตรวจสายตา/ Reflexes ตัวอย่างแบบประเมินความถนัดของมือของเอเดินเบิร์ก ตัวอย่างข้อควรปฏิบัติก่อนการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง.....	163
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	168

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ระดับช่วงความถี่ของคลื่นสมอง..... 30
2	ขนาดกลุ่มทดลองจำแนกตามระดับความสามารถ..... 42
3	แบบแผนการทดลองแบบ Three-Groups Posttest-Only Design 42
4	จำนวนข้อสอบของแบบทดสอบด้านเลขคณิต จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ..... 48
5	ช่วงเวลาที่ทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างด้วยกิจกรรมทดสอบด้านเลขคณิต..... 52
6	จำนวนข้อสอบที่ใช้ในการทดสอบด้านเลขคณิต จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ.... 55
7	จำนวนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำแนกตามระดับความสามารถ..... 55
8	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์ Fp1..... 58
9	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบ ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์ Fp1..... 59
10	ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ โดยใช้วิธีของเชฟเฟ่ (Scheffe) จุดอิเล็กทรอนิกส์ Fp1..... 60
11	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์ Fp2..... 61
12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบ ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์ Fp2..... 62
13	ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ โดยใช้วิธีของแทมเฮน (Tamhane's T2) ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์ Fp2..... 63
14	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์ F3..... 64
15	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบ ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์ F3..... 65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
16 ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ โดยใช้วิธีของเชฟเฟ (Scheffe) จุดอิเล็ทโรด F3.....	66
17 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็ทโรด F4.....	67
18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบ ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็ทโรด F4.....	68
19 ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ โดยใช้วิธีของเชฟเฟ (Scheffe) จุดอิเล็ทโรด F4.....	69
20 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็ทโรด C3.....	70
21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบ ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็ทโรด C3.....	71
22 ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ โดยใช้วิธีของเชฟเฟ (Scheffe) จุดอิเล็ทโรด C3.....	72
23 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็ทโรด P3.....	73
24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบ ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็ทโรด P3.....	74
25 ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ โดยใช้วิธีของแทมเฮน (Tamhane's T2) ณ จุดอิเล็ทโรด P3.....	75
26 ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามระดับความสามารถ ผู้สอบ โดยใช้วิธีของแทมเฮน (Tamhane's T2) ณ จุดอิเล็ทโรด P3.....	76
27 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็ทโรด P4.....	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบ ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด P4.....	78
29 ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ โดยใช้วิธีของเชฟเฟ่ (Scheffe) จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด P4.....	79
30 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด O1.....	80
31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบ ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด O1.....	81
32 ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ โดยใช้วิธีของแทมเฮน (Tamhane's T2) ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด O1.....	82
33 ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามระดับความสามารถ ผู้สอบ โดยใช้วิธีของแทมเฮน (Tamhane's T2) ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด O1.....	83
34 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด O2.....	83
35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบ ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด O2.....	85
36 ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ โดยใช้วิธีของเชฟเฟ่ (Scheffe) จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด O2.....	86
37 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด F7.....	87
38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความสูงของคลื่น P300 ของผู้สอบ ขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด F7.....	88
39 ผลการเปรียบเทียบรายคู่ความสูงของคลื่น P300 จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ โดยใช้วิธีของแทมเฮน (Tamhane's T2) ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด F7.....	89

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
40	90
41	91
42	92
43	93
44	94
45	95
46	96
47	97
48	98
49	99
50	101
51	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
63	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความกว้างของคลื่น P300 ของผู้สอบขณะทดสอบ ด้านเลขคณิตจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ และระดับความสามารถของผู้สอบ จำแนกแต่ละกลุ่ม ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด Pz.....	115
64	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางของความกว้างของคลื่น P300 ของ ผู้สอบขณะทดสอบด้านเลขคณิต ณ จุดอิเล็กทรอนิกส์โทรด Pz.....	116

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กรอบแนวคิดการศึกษาผลของความยากของข้อสอบและความสามารถของผู้สอบที่มีต่อ คลื่นไฟฟ้าสมอง: การศึกษาศักยภาพไฟฟ้าสัมพันธ์กับเหตุการณ์ขณะทดสอบด้านเลขคณิต....	7
2 คลื่นไฟฟ้าสมองแต่ละช่วงความถี่.....	30
3 ส่วนประกอบหลักของเครื่องบันทึกคลื่นไฟฟ้าสมอง.....	31
4 คลื่น ERP ที่ตอบสนองต่อกิจกรรมที่เวลา 0 วินาที.....	33
5 ลักษณะของคลื่น ERD/ERS ที่เกิดขึ้นต่อสิ่งเร้า.....	35
6 ข้อมูลคลื่นไฟฟ้าสมองในรูปของแกนความถี่ด้วยวิธี FFT.....	36
7 ลักษณะหน้าตาต่างของกิจกรรมการทดสอบเลขคณิต.....	44
8 ลักษณะหน้าตาต่างที่ให้เติมชื่อผู้ทำกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต.....	44
9 ลักษณะหน้าตาต่างแสดงเครื่องหมาย (+) เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างให้ความสนใจกับกิจกรรม.....	45
10 ลักษณะหน้าตาต่างตัวอย่างโจทย์ปัญหาของกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต.....	45
11 ลักษณะหน้าตาต่างตัวอย่างหน้าจอบันทึกคำตอบของโจทย์ปัญหาของกิจกรรมการทดสอบ ด้านเลขคณิต.....	46
12 เวลาและลำดับการแสดงสิ่งเร้าของกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต.....	50
13 เวลาทั้งหมดและลำดับขั้นตอนในกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิต.....	51
14 กราฟแสดงความสูงเฉลี่ยของคลื่น P300 ในขณะทดสอบด้านเลขคณิตทางหน้าจอ คอมพิวเตอร์ จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ ณ จุดอิเล็กโทรด Fp1.....	59
15 กราฟแสดงความสูงเฉลี่ยของคลื่น P300 ในขณะทดสอบด้านเลขคณิตทางหน้าจอ คอมพิวเตอร์ จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ ณ จุดอิเล็กโทรด Fp2.....	62
16 กราฟแสดงความสูงเฉลี่ยของคลื่น P300 ในขณะทดสอบด้านเลขคณิตทางหน้าจอ คอมพิวเตอร์ จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ ณ จุดอิเล็กโทรด F3.....	65
17 กราฟแสดงความสูงเฉลี่ยของคลื่น P300 ในขณะทดสอบด้านเลขคณิตทางหน้าจอ คอมพิวเตอร์ จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ ณ จุดอิเล็กโทรด F4.....	68
18 กราฟแสดงความสูงเฉลี่ยของคลื่น P300 ในขณะทดสอบด้านเลขคณิตทางหน้าจอ คอมพิวเตอร์ จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ ณ จุดอิเล็กโทรด C3.....	71
19 กราฟแสดงความสูงเฉลี่ยของคลื่น P300 ในขณะทดสอบด้านเลขคณิตทางหน้าจอ คอมพิวเตอร์ จำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ ณ จุดอิเล็กโทรด P3.....	74

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
33 จุดอิลีกโตรดที่มีความสูงและความกว้างของคลื่น P300 แตกต่างกัน ในขณะที่ทำกิจกรรมการทดสอบด้านเลขคณิตทางหน้าจอคอมพิวเตอร์.....	117
34 (ก) จุดอิลีกโตรดที่มีความสูงของคลื่น P300 แตกต่างกัน เมื่อจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ (ข) จุดอิลีกโตรดที่มีความกว้างของคลื่น P300 แตกต่างกัน เมื่อจำแนกตามค่าความยากของข้อสอบ.....	118
35 (ก) จุดอิลีกโตรดที่มีความสูงของคลื่น P300 แตกต่างกัน เมื่อจำแนกตามความสามารถของผู้สอบ (ข) จุดอิลีกโตรดที่มีความกว้างของคลื่น P300 แตกต่างกัน เมื่อจำแนกตามความสามารถของผู้สอบ.....	119
36 กราฟแสดงผลปฏิกริยาร่วมกันระหว่างค่าความยากของข้อสอบและระดับความสามารถของผู้สอบต่อความกว้างของคลื่น P300 ที่จุดอิลีกโตรด Fp2 และ Pz.....	120