



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การใช้ตำแหน่ง 2 ตำแหน่งในการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้สัญญาณคลื่นสมองช่วงเดลต้า

TWO POSITIONS FOR PERSONAL AUTHENTICATION USING THE

DELTA BRAIN WAVE SIGNAL

ปรีชา ตั้งเกรียงกิจ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2560

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จและสมบูรณ์เป็นรูปเล่ม ด้วยความกรุณาและเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์ ผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะแนวทางในการดำเนินการทำรายงานในครั้งนี้ โดยไม่มีข้อบกพร่อง รวมทั้งข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดทั้งการตรวจแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคุณครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และประสบการณ์ตลอดจนอำนวยความสะดวกสำเร็จให้บังเกิดขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและให้คำแนะนำในการทำรายงานการวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดีตลอดมา

ปรีชา ตั้งเกรียงกิจ

ผู้วิจัย

สิงหาคม 2561

คำนำ

รายงานการวิจัยฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการพิสูจน์ตัวตน โดยงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการใช้สัญญาณคลื่นสมองในการพิสูจน์ตัวตน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้คลื่นสมองช่วงเดลต้าซึ่งเป็นคลื่นสมองที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิร์ตซ์สามารถพิสูจน์ตัวตนได้ผลดีขึ้นกว่าการใช้คลื่นสมองปกติ และจากหลักการของโครงข่ายประสาทแบบมีการสอน (Supervised neural network) จำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสมในชั้นข้อมูลแอบแฝงเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้การพิสูจน์ตัวตนได้ผลดีขึ้น ซึ่งการวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงจำนวน 5-26 เซลล์ประสาทเป็นช่วงที่เหมาะสมในการพิสูจน์ตัวตน ดังนั้นจึงมีการนำผลการวิจัยที่ผ่านมาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการพิสูจน์ตัวตนโดยมีเป้าหมายที่จะลดตำแหน่งในการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้คลื่นสมองจาก 4 ตำแหน่งให้เหลือเพียง 2 ตำแหน่ง ในกลุ่มผู้ทดสอบ 40 คน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นปัญหาที่น่าสนใจศึกษาเพื่อที่จะทำให้ผลการแยกแยะบุคคลมีประสิทธิภาพดีขึ้น เพื่อให้ นักวิจัยที่สนใจเกี่ยวกับการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้คลื่นสมองได้ใช้เป็นเอกสารอ่านเพิ่มเติม และอ้างอิงต่อไป

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานการวิจัยฉบับนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจเกี่ยวกับการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้คลื่นสมอง โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองใช้คลื่นสมองช่วงเดลต้า และใช้จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝง จำนวน 5-26 เซลล์ประสาท กับจำนวนกลุ่มผู้ทดสอบ 40 คน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการใช้ตำแหน่ง 2 ตำแหน่งในการพิสูจน์ตัวตน ซึ่งหวังว่าผู้อ่านจะได้นำมาใช้ประโยชน์ได้ต่อไป หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ปรีชา ตั้งเกรียงกิง

ผู้วิจัย

สิงหาคม 2561

หัวข้อวิจัย : การใช้ตำแหน่ง 2 ตำแหน่งในการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้สัญญาณคลื่นสมองช่วง
เคลตต้า

ผู้วิจัย : นายปรีชา ตั้งเกรียงกิจ

หน่วยงาน : มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน

ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงเรื่องการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้คลื่นสมองช่วงเคลตต้ามาศึกษา มีจุดประสงค์เพื่อที่จะใช้ตำแหน่งเพียง 2 ตำแหน่งของคลื่นสมองในการพิสูจน์ตัวตน จากหลักการของโครงข่ายประสาทแบบมีการสอน (Supervised neural network) จำนวนคุณสมบัติที่น้อยลง ทำให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ตำแหน่งคลื่นสมองในการพิสูจน์ตัวตน 2 ตำแหน่ง โดยใช้คลื่นสมองช่วงเคลตต้าของผู้ทดลอง 40 คน มีการใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ (ICA) โดยวิธี SOBIRO ในการแยกสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณคลื่นสมองของแต่ละบุคคลและคัดแยกคลื่นสมองโดยใช้ช่วงที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิร์ตซ์มาทดสอบ ใช้เทคนิคของโครงข่ายประสาทเทียมในการพิสูจน์ตัวตนของบุคคล 40 คน โดยมีการเปลี่ยนค่าจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝง (Hidden layer) ตั้งแต่ 5-26 เซลล์เพื่อหาค่าที่เหมาะสม ในการหาคำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการพิสูจน์ตัวตน

คำสำคัญ : สัญญาณคลื่นสมอง ชีวมาตร การพิสูจน์ตัวตน การวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ
โครงข่ายประสาทเทียม เซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝง

Research Title : Two Positions for Personal Authentication Using
The Delta Brain Wave Signal.
Name of Researcher : Mr.Preecha Tangkraingki
Name of Institution : Sripatum University, Bangkhen Campus
Year of Publication : B.E. 2561

ABSTRACT

This study discusses the authentication that uses delta brainwave signals. The purpose is to use only two positions of brainwaves to prove authentication. Based on the principle of supervised neural network, the number of features is reduced. Make learning more effective. The objective of this study was to investigate two-position of brainwave. The Delta brainwave signals of 40 subjects are explored. The practical technique, Independent Component Analysis (ICA) by SOBIRO algorithm is considered clean and separates the individual signals from noise. Delta brainwaves are extracted from brain signal for group recognition using the technique of supervised neural network for authenticating 40 subjects. The number of neurons in the hidden layer 5-26 neurals were test to find the optimal value of authentication for two positions brainwaves.

Keywords : Electroencephalogram, Biometric, Identification, Independent component analysis, Neural network, Number of Neurons in Hidden Layer

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
	1.3 คำถามการวิจัย.....	2
	1.4 สมมุติฐานการวิจัย.....	2
	1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
	1.6 นิยามศัพท์	3
2	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
	2.1 ความรู้พื้นฐาน.....	4
	2.2 ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย.....	5
	2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
3	ระเบียบวิธีวิจัย.....	9
	3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	9
	3.1.1 จัดเก็บข้อมูลสัญญาณคลื่นสมอง.....	10
	3.1.2 กำจัดสัญญาณรบกวน โดยผ่านการวิเคราะห์ห้วงคัมภ์ประกอบอิสระ.....	11
	3.1.3 แยกสัญญาณคลื่นสมองตามความถี่ออกเป็น 5 ช่วง.....	13
	3.1.4 นำคลื่นสมองช่วงเดลต้ามาทำการทดลองเพื่อหาจำนวนเซลล์ประสาท ที่เหมาะสมในชั้นข้อมูลแอมแปง.....	18

สารบัญ(ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.2 ผลการทดลอง.....	20
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	109
	4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	109
5	สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....	114
	5.1 สรุปผลการวิจัย.....	114
	5.2 อภิปราย.....	115
	5.3 ข้อเสนอแนะ.....	115
	บรรณานุกรม	116
	ประวัติย่อผู้วิจัย	119

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 5 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 21
2	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 5 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 22
3	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 5 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 23
4	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 5 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 24
5	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 6 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 25
6	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 6 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 26
7	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 6 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 27
8	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 6 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 28

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
9	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 7 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30.....	29
10	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 7 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60.....	30
11	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 7 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90.....	31
12	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 7 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120.....	32
13	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 8 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30.....	33
14	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 8 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60.....	34
15	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 8 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90.....	35
16	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 8 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120.....	36

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 9 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30.....	37
18	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 9 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60.....	38
19	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 9 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90.....	39
20	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 9 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120.....	40
21	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 10 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30.....	41
22	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 10 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60.....	42
23	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 10 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90.....	43
24	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 10 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120.....	44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
25	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 11 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 45
26	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 11 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 46
27	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 11 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 47
28	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 11 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 48
29	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 12 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 49
30	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 12 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 50
31	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 12 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 51
32	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 12 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
33	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 13 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 53
34	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 13 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 54
35	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 13 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 55
36	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 13 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 56
37	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 14 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 57
38	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 14 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 58
39	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 14 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 59
40	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 14 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
41	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 15 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 61
42	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 15 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 62
43	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 15 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 63
44	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 15 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 64
45	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 16 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 65
46	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 16 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 66
47	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 16 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 67
48	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 16 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
49	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 17 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30.....	69
50	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 17 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60.....	70
51	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 17 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90.....	71
52	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 17 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120.....	72
53	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 18 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30.....	73
54	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 18 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60.....	74
55	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 18 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90.....	75
56	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 18 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120.....	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
57	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 19 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 77
58	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 19 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 78
59	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 19 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 79
60	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 19 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 80
61	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 20 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 81
62	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 20 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 82
63	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 20 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 83
64	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 20 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
65	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 21 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 85
66	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 21 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 86
67	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 21 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 87
68	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 21 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 88
69	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 22 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 89
70	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 22 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 90
71	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 22 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 91
72	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 22 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
73	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 23 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 93
74	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 23 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 94
75	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 23 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 95
76	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 23 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 96
77	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 24 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 97
78	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 24 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 98
79	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 24 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 99
80	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 24 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
81	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 25 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 101
82	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 25 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 102
83	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 25 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 103
84	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 25 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 104
85	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 26 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 – 30..... 105
86	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 26 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60..... 106
87	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 26 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 – 90..... 107
88	คำร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน จำนวนเซลล์ ในชั้นข้อมูลแอมแปง 26 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 – 120..... 108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
89	ค่าร้อยละของความถูกต้องสูงสุดในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลองจำนวน 40 คน ในการใช้จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมแปงตั้งแต่ 5 – 26 เซลล์.....	109
90	ค่าความถี่ของตำแหน่งคลื่นสมองที่ได้ค่าร้อยละของความถูกต้องสูงสุด ในการใช้จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมแปงตั้งแต่ 5 – 26 เซลล์.....	111
91	การเปรียบเทียบค่าร้อยละของความถูกต้องของการใช้คลื่นสมองทุกความถี่กับการ ใช้คลื่นสมองช่วง Delta และใช้เซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอมแปงที่เหมาะสม.....	113

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 (a) แสดงถึงการผสมสัญญาณที่ได้จากการจัดเก็บคลื่นสมอง (b) หลักการทำงานของ ของการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบอิสระ.....	6
2 แสดงถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก.....	10
3 แสดงถึงตำแหน่งที่จัดเก็บคลื่นสมองตามระบบ 10 – 20.....	11
4 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณคลื่นสมองทั้ง 16 ช่องสัญญาณของสัญญาณที่จัด เก็บมาในขั้นตอนแรกกับสัญญาณที่ผ่านขั้นตอนวิธี SOBIRO.....	12
5 แสดงการเปรียบเทียบคลื่นสมองในลักษณะ Time domain และ Frequency domain ของตำแหน่ง F4.....	14
6 แสดงการเปรียบเทียบคลื่นสมองในลักษณะ Time domain และ Frequency domain ของตำแหน่ง P4.....	14
7 แสดงการเปรียบเทียบคลื่นสมองในลักษณะ Time domain และ Frequency domain ของตำแหน่ง C4.....	15
8 แสดงการเปรียบเทียบคลื่นสมองในลักษณะ Time domain และ Frequency domain ของตำแหน่ง O2.....	15
9 แสดงสัญญาณคลื่นสมองทั้ง 5 ช่วงความถี่ ความยาว 1000 ข้อมูล ที่ถูกเปลี่ยน กลับมาอยู่ในรูป Time domain โดยอาศัยกระบวนการ Reverse FFT.....	17

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
10	แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลอง มี 3 ชั้นคือข้อมูลเข้า, ชั้นข้อมูล แอบแฝงและชั้นข้อมูลออก..... 18
11	แสดงรูปแบบการกระจายของข้อมูลในกลุ่ม Training, Validating, และ Testing ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม..... 19
12	แสดงถึงตำแหน่งที่ใช้ตัวเลข 1 – 16 ที่ใช้แทนตำแหน่งมาตรฐานในการจัดเก็บ คลื่นสมองตามระบบ 10 – 20..... 20
13	แสดงการเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝงและค่าร้อยละความถูกต้อง สูงสุดของการพิสูจน์ตัวตน..... 110
14	แสดงการเปรียบเทียบตำแหน่งและค่าความถี่ของตำแหน่งคลื่นสมองที่ได้ค่าร้อยละของ ความถูกต้องสูงสุด ในการใช้จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 5 – 26 เซลล์..... 112

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพิสูจน์ตัวตนเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อใช้เป็นวิธีการในการพิสูจน์บุคคลและใช้ในระบบรักษาความปลอดภัย ในปัจจุบันการพิสูจน์ตัวตนมีหลากหลายรูปแบบ เช่น ลายเซ็น, ลายนิ้วมือ, การสแกนม่านตา, การใช้รูปแบบของใบหน้า, การใช้เสียง ฯลฯ ซึ่งวิธีต่างๆก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป คลื่นสมองเริ่มต้นถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์รักษาโรคต่างๆที่เกี่ยวกับสมองในทางการแพทย์ จนกระทั่งมีการค้นพบว่าคลื่นสมองมีเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละบุคคล จึงเริ่มมีการนำคลื่นสมองมาใช้ในการพิสูจน์ตัวตนและเริ่มเป็นการพิสูจน์ตัวตนที่น่าสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน

ปัญหาที่ศึกษาในการทำวิจัยเกี่ยวข้องกับการค้นหาวិธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อพิสูจน์ตัวบุคคลในลักษณะที่เป็นรหัสผ่านโดยใช้คลื่นสมองของแต่ละบุคคล ซึ่งการใช้คลื่นสมองจะมีข้อดีกว่าการใช้สายอักขระเป็นรหัสผ่านเนื่องจากการปลอมคลื่นสมองทำได้ยากมาก ดังนั้นคุณค่าทางวิชาการของงานจึงอยู่ที่องค์ความรู้ของวิธีการที่จะรู้จำคลื่นสมองและแยกความแตกต่างคลื่นสมองของแต่ละคนอย่างมีประสิทธิภาพ ผลที่ได้จากงานนี้สามารถนำไปประยุกต์ในเรื่องอื่นๆที่ใช้คลื่นสมองควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือเครื่องคอมพิวเตอร์

ในงานวิจัยนี้การแยกแยะบุคคลได้ใช้หลักการของโครงข่ายประสาทแบบมีการสอน (Supervised neural network) โดยมีเป้าหมายที่จะใช้ตำแหน่งในการจัดเก็บสัญญาณคลื่นสมอง 2 ตำแหน่ง รวมทั้งมีการทดลองใช้จำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสมในชั้นข้อมูลแอบแฝงในช่วง 5 ถึง 26 เซลล์ประสาทเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงที่สุดในการแยกแยะบุคคลจำนวน 40 คน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อวัดประสิทธิภาพของการแยกแยะบุคคลโดยใช้จำนวนตำแหน่งในการจัดเก็บสัญญาณคลื่นสมอง 2 ตำแหน่ง จากตำแหน่งที่จัดเก็บทั้งหมด 16 ตำแหน่ง
- 2) เพื่อหาตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด 2 ตำแหน่งในการพิสูจน์ตัวตนของบุคคล 40 คน
- 3) เพื่อให้ทราบถึงจำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสมในชั้นข้อมูลแอบแฝงจะทำการใช้ในช่วง 5 – 26 เซลล์ประสาท ว่าจำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสมมีค่าเป็นเท่าไร ที่ให้ประสิทธิภาพที่สูงที่สุดในการแยกแยะบุคคลจำนวน 40 คน โดยใช้สัญญาณคลื่นสมองช่วงเคลต้า

1.3 คำถามการวิจัย

คำถามการวิจัยได้กำหนดขึ้นตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ

- 1) ในการกำหนดตำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่ให้ในการจัดเก็บสัญญาณคลื่นสมองโดยใช้สัญญาณคลื่นสมองช่วงเคลต้า มีความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนเท่าไร
- 2) ตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง ตรงจุดไหนมีประสิทธิภาพในการพิสูจน์ตัวตนมากที่สุด
- 3) จำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสมในชั้นข้อมูลแอบแฝงที่เหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพที่สูงที่สุดในการแยกแยะบุคคลจำนวน 40 คน โดยใช้สัญญาณคลื่นสมองช่วงเคลต้า

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

เนื่องจากคลื่นสมองช่วงเคลต้า มีความสามารถในการแยกแยะบุคคลได้ดีกว่าการใช้คลื่นสมองทุกช่วงความถี่ (Tangkraingki P., 2015:103-113) และจากการใช้ช่วงจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงที่เหมาะสมในการวิจัยที่ผ่านมา (Tangkraingki P., Montapun A., and Nakavisut I, 2017:232-236) น่าจะมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกแยะบุคคลโดยจะทดลองลดจำนวนตำแหน่งในการจัดเก็บคลื่นสมองจากเดิม 4 ตำแหน่งเหลือ 2 ตำแหน่ง และสามารถใช้กับกลุ่มข้อมูลบุคคลเพิ่มขึ้นได้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยจะทดสอบทำการเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแยกแยะบุคคลโดยหาตำแหน่งที่มีความสามารถแยกแยะบุคคล 2 ตำแหน่งที่ดีที่สุด โดยเริ่มต้นในการจัดเก็บคลื่นสมอง (Electroencephalogram, EEG) จำนวน 40 คน แล้วนำคลื่นสมองที่จัดเก็บมาผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ (Independent component analysis) เพื่อสำหรับแยกแยะสัญญาณที่เกิดจากการผสมสัญญาณหลายสัญญาณให้ได้สัญญาณเดิม แล้วแบ่งคลื่นสมองออกเป็น 5 ช่วง ตามพื้นฐานความถี่ของคลื่นสมอง นำคลื่นสมองเฉพาะช่วงเหล่านี้มาทดสอบค่าความถูกต้องในการแยกแยะบุคคล (Accuracy percentage) โดยจะทดลองใช้จำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสมในชั้นข้อมูลแอมแปง 5 - 26 เซลล์ประสาท เพื่อหาตำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่ดีที่สุดในการแยกแยะบุคคล 40 คน โดยกำหนดระยะเวลาไว้ 1 ปี

1.6 นิยามศัพท์

- คลื่นสมอง (Electroencephalogram, EEG) หมายถึงการบันทึกผลรวมของศักย์ไฟฟ้านอกเซลล์ของกลุ่มเซลล์ประสาทในสมองที่อยู่ใต้บริเวณเครื่องมือที่ใช้บันทึก
- การพิสูจน์ตัวตน (Authentication) หมายถึงขั้นตอนที่ผู้ใช้แสดงหลักฐานว่าตนเองคือใคร
- การวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ (Independent component analysis, ICA) หมายถึง เทคนิคในการแยกแยะสัญญาณที่เกิดจากการผสมสัญญาณหลายสัญญาณให้ได้สัญญาณเดิม
- โครงข่ายประสาทแบบมีการสอน (Supervised neural network) หมายถึง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบการเชื่อมต่อของหน่วยประมวลผลย่อยหลายหน่วย จนเป็นเครือข่ายที่สามารถประมวลผลและทำงานร่วมกัน โดยมีการเรียนรู้ข้อมูลเพื่อนำมาปรับการเชื่อมต่อ เพื่อให้ได้รับค่าผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับเป้าหมาย
- ค่าร้อยละของความถูกต้อง (Accuracy percentage) หมายถึง ร้อยละของค่าความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตน
- ชั้นข้อมูลแอมแปง (Hidden layer) หมายถึง ชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นรับข้อมูลและส่งข้อมูลออกทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล
- คลื่นสมองช่วงเดลต้า (Delta brainwave signals) หมายถึงคลื่นสมองที่มีช่วงความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิรตซ์

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐาน

ชีวมาตร (Biometrics) คือการใช้ลักษณะทางกายภาพ หรือ ลักษณะทางพฤติกรรม ที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละคนในการพิสูจน์ตัวตน การพิสูจน์ตัวตนเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อใช้เป็นวิธีการพิสูจน์บุคคลและใช้ในระบบรักษาความปลอดภัย ในปัจจุบันการพิสูจน์ตัวตนมีหลากหลายรูปแบบ เช่น ลายเซ็น ลายนิ้วมือ การสแกนม่านตา การใช้รูปแบบของใบหน้า การใช้เสียง ฯลฯ ซึ่งวิธีต่างๆก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป คลื่นสมองเริ่มต้นถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์รักษาโรคต่างๆที่เกี่ยวกับสมองในทางการแพทย์ จนกระทั่งมีการค้นพบว่าคลื่นสมองมีเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละบุคคล จึงเริ่มมีการนำคลื่นสมองมาใช้ในการพิสูจน์ตัวตนและเริ่มเป็นที่สนใจมากขึ้น ในปัจจุบัน

การพิสูจน์ตัวตนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท 1. การพิสูจน์ตัวตนโดยการใช้ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของร่างกาย โดยการพิสูจน์ตัวตนในประเภทนี้จะเกี่ยวข้องกับรูปร่างและลักษณะเฉพาะของส่วนต่างๆของร่างกายเช่น การใช้ลายนิ้วมือ ใบหน้า ฝ่ามือ หู ลายม่านตา DNA เป็นต้น 2. การพิสูจน์ตัวตนโดยการใช้ลักษณะเกี่ยวกับพฤติกรรมของแต่ละบุคคล เช่น ลายเซ็นต์ เสียง ลักษณะการพิมพ์แป้นพิมพ์ ลักษณะการเดิน เป็นต้น

2.2 ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย

2.2.1 Electroencephalography (EEG)

เป็นวิธีการวัดค่าสัญญาณไฟฟ้าซึ่งถูกผลิตออกมาจากสมองโดยใช้ตัวรับคลื่นไฟฟ้าติดที่บริเวณหนังศีรษะ คลื่นสมองที่ตรวจวัดได้จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับสมองหรือเส้นประสาทในบริเวณที่ตรวจวัด EEG ถูกใช้ในทางการแพทย์เพื่อศึกษาถึงหน้าที่ของบริเวณต่างๆ ของสมอง นอกจากนี้ยังถูกใช้ศึกษาเกี่ยวกับกลไกพื้นฐานของจิตใจและวินิจฉัยโรคที่เกี่ยวกับความผิดปกติของสมอง ปัจจุบัน EEG ยังถูกใช้มากในการวิจัยในเรื่อง Brain computer interface (BCI)

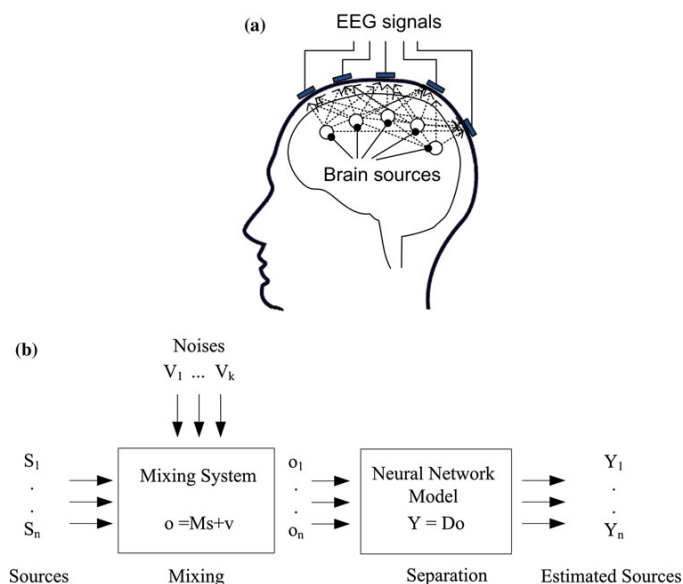
คลื่นสมองถูกแบ่งตามความถี่เป็น 5 ช่วงความถี่ดังนี้คือ

- 1) คลื่นเดลต้า (Delta wave) มีความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิร์ตซ์
- 2) คลื่นเซต้า (Theta wave) ความถี่ประมาณ 4-8 เฮิร์ตซ์
- 3) คลื่นอัลฟา (Alpha wave) ความถี่ประมาณ 8-12 เฮิร์ตซ์
- 4) คลื่นเบต้า (Beta wave) ความถี่ประมาณ 12-30 เฮิร์ตซ์
- 5) คลื่นแกมมา (Gamma wave) ความถี่ประมาณ 30-100 เฮิร์ตซ์

จากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่ากลุ่มของช่องสัญญาณคลื่นสมองที่ดีที่สุดในการพิสูจน์ตัวตนคือ กลุ่มสัญญาณคลื่นสมอง 4 ช่องสัญญาณ (Tangkraingki P., et al. 2013:463-476) โดยกลุ่มช่องสัญญาณดังกล่าวคือตำแหน่ง F4, P4, C4 และ O2 (Tangkraingki P., 2015:103-113) ได้พบว่าคลื่นสมองช่วง Delta ซึ่งเป็นคลื่น สมองช่วงที่มีความสามารถในการพิสูจน์ตัวตนสูงที่สุด

2.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ Independent component analysis (ICA)

เนื่องจากสัญญาณจากคลื่นสมองเป็นสัญญาณที่มีความแรงต่ำมาก ในการจัดเก็บมักจะมีสัญญาณจากแหล่งอื่นๆ มาผสมด้วย เช่นสัญญาณไฟฟ้าจากหัวใจ สัญญาณไฟฟ้าจากการขยับกล้ามเนื้อที่ใบหน้า การกระพริบตา สัญญาณรบกวนจากการสะท้อน รวมถึงสัญญาณรบกวนจากตำแหน่งที่จัดเก็บข้างเคียง เป็นต้น ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ จึงถูกนำมาเพื่อที่จะใช้แยกสัญญาณ EEG ที่จัดเก็บมาจากสัญญาณรบกวนอื่นๆ เพื่อที่จะได้ค่าสัญญาณคลื่นสมองในแต่ละจุดที่แท้จริงโดยไม่มีสัญญาณอื่นมารบกวน



ภาพประกอบ 1 (a) แสดงถึงการผสมสัญญาณที่ได้จากการจัดเก็บคลื่นสมอง (b) หลักการทำงานของ การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบอิสระ

จากผลการวิจัยที่ผ่านมา (Tangkraingkiy P., et al. 2013:463-476) ได้ทดสอบขั้นตอนวิธี ต่างๆของการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบอิสระเพื่อหาขั้นตอนวิธีที่เหมาะสม โดยทำการทดลองกับ ขั้นตอนวิธีคือ AMUSE, ERICA, EVD2, EWASOBI, FAJDC4, FJADE, FOBI-E, JADEop, JADETd, MULCOMBI, POWERICA, QJADE, SAD, SIMBEC, SOBI, SOBI-BPF, SOBIRO, SONS, SYMMETRIC, THINICA, UNICA, และ WASOBI พบว่าขั้นตอนวิธี SOBIRO ของการ วิเคราะห์ห้องค์ประกอบอิสระเป็นขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมกับคลื่นสมอง ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้วิธี ทดลองกับขั้นตอนวิธี SOBIRO โดยใช้ โปรแกรม ICALAB

2.2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network classification concept)

โครงข่ายประสาทเทียม เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เลียนแบบการทำงานของสมอง มนุษย์สำหรับประมวลผลสารสนเทศ โดยการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วย ส่วนของการประมวลผลที่เรียกว่าเซลล์ประสาท ซึ่งมีการเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายติดต่อกันภายใน ระหว่างเซลล์ประสาท มีน้ำหนักเป็นตัวกำหนดความสำคัญของการติดต่อภายในและช่วยในการ ตัดสินใจ การทำงานของเซลล์ประสาท บางโครงข่ายสามารถที่จะปรับแตงน้ำหนักได้ซึ่งอาจจะเป็น การปรับแตงจากภายนอก เพื่อความสามารถในการเรียนรู้และจดจำของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาต่างๆ อย่างกว้างขวาง การประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมมีตั้งแต่การใช้เพื่อตัดลึนใจที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนไปจนถึงงานที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมาก ตัวอย่างการประยุกต์ของโครงข่ายประสาทเทียมได้แก่ การพยากรณ์ การจำแนกประเภท การจดจำรูปแบบ การควบคุมการประมวลผลแบบขนานกับข้อมูลปริมาณมากๆ ความสามารถในการเรียนรู้ เป็นต้น

จากปัญหาการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้สัญญาณคลื่นสมอง สัญญาณที่ได้จากการแยกสัญญาณคลื่นสมอง โดยใช้ ICA ไม่สามารถใช้ในการพิสูจน์ตัวตนโดยตรง ปัญหาในการพิสูจน์ตัวตนถูกแปลงให้เป็นปัญหาในการจำแนกกลุ่มข้อมูล โดยใช้หลักการของโครงข่ายประสาทเทียม โครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัยนี้เป็นแบบเพอร์เซพตรอนหลายชั้น Multilayer perceptron (MLP) โดยมีการเรียนรู้ของระบบแบบ Conjugate gradient backpropagation โครงข่ายประสาทเทียมมี 3 ชั้นคือ ข้อมูลเข้า, ชั้นข้อมูลแอบแฝง, และชั้นข้อมูลออก ฟังก์ชันถ่ายโอนรูปแบบคือ Hyperbolic tangent

2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าคลื่นสมองมีเอกลักษณ์ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือพิสูจน์ตัวตนได้ โดยมีงานวิจัยดังนี้ (Paranjape, et al., 2001) ใช้เทคนิค Autoregressive (AR) model and Discriminant function analysis เพื่อที่จะใช้คลื่นสมองพิสูจน์ว่าเป็นบุคคลเดียวกัน (Poulos, et al., 2001) ใช้เทคนิค Fast fourier transform (FFT) and AR model สำหรับแยกแยะคุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นสมองแล้วใช้เทคนิค Learning vector quantizer (LVQ) and Computational geometry (CG) ในการแยกแยะตัวบุคคล (Palaniappan and Mandic, 2007) ใช้การกระตุ้นด้วยแสงต่อระบบรับภาพ Visual Evoked Potential (VEP) ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการแยกแยะบุคคลโดยใช้คลื่นสมอง (Marcel and Millan, 2007) เสนอเทคนิค Statistical framework based on a gaussian mixture และ Maximum a-posteriori models สำหรับการพิสูจน์ตัวตน (Tangkraingkiy P., et al. 2013:463-476) ได้เสนอผลงานการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระและโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นการใช้คลื่นสมองทุกความถี่มาใช้ในการพิสูจน์ตัวตน โดยใช้ตำแหน่งที่มีความสัมพันธ์กัน 4 ตำแหน่งคือ F4, P4, C4 และ O2 โดยสัญญาณในแต่ละช่องสัญญาณมีความยาว 1000 จุด จำนวนผู้ทดลอง 20 คน ได้ค่าร้อยละของความถูกต้องอยู่ที่ 98.51 (Tangkraingkiy P., 2015:103-113) ได้เสนอผลงานการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้คลื่นสมองช่วง Delta ซึ่งเป็นคลื่นสมองที่มี

ความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิร์ตซ์ เป็นช่วงที่มีความสามารถในการพิสูจน์ตัวตนสูงที่สุด ซึ่งสามารถพิสูจน์ตัวตน 20 คน ได้รับความถูกต้องถึง 100 %

(Kaewwit, et al., 2017) ได้ใช้เทคนิค ICA และ AR Model ในการจำแนกบุคคลจำนวน 20 คน โดยมีการพัฒนาการใช้สัญญาณคลื่นสมองในแต่ละช่องสัญญาณมีความยาว 256 จุด และได้ผลของความถูกต้องที่ 99.78 % (Wu Q., et al., 2018) ได้เสนอการนำสัญญาณคลื่นสมองโดยมีการผสมรวมกับสัญญาณที่เกิดจากการกระพริบตา เพื่อทำการพิสูจน์ตัวตน

ในการศึกษาเกี่ยวกับจำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสมในชั้นข้อมูลแอบแฝง ได้มีผู้ศึกษาและเสนอวิธีการพิจารณาจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงที่เหมาะสมไว้คือ จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงควรมีค่า $2/3$ ของจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นรับข้อมูลเข้ารวมกับจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นส่งข้อมูลออก (Boger and Guterman, 1997) จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงควรมีน้อยกว่าสองเท่าของจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นส่งข้อมูลออก (Berry, et al., 1997) และจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงควรอยู่ระหว่างจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นรับข้อมูลเข้าและจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นส่งข้อมูลออก (Blum, 1992) ในปัญหาการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้คลื่นสมอง (Tangkraingki P., et al. 2017:232-236) ได้ทำการทดลองหาช่วงจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝง มีผลกับความสามารถในการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้คลื่นสมองในช่วง Delta ซึ่งเป็นช่วงคลื่นสมองที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิร์ตซ์ โดยจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงที่น้อยเกินไปหรือมากเกินไป มีผลทำให้ในการพิสูจน์ตัวตนไม่ดี จำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสมสำหรับจำนวนคน 30 คน จะอยู่ช่วงระหว่าง 5-26 เซลล์ประสาท นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์พบว่าถ้าจำนวนคนมากขึ้น ช่วงของเซลล์ประสาทที่เหมาะสมจะมีค่ามากขึ้นตามจำนวนคน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

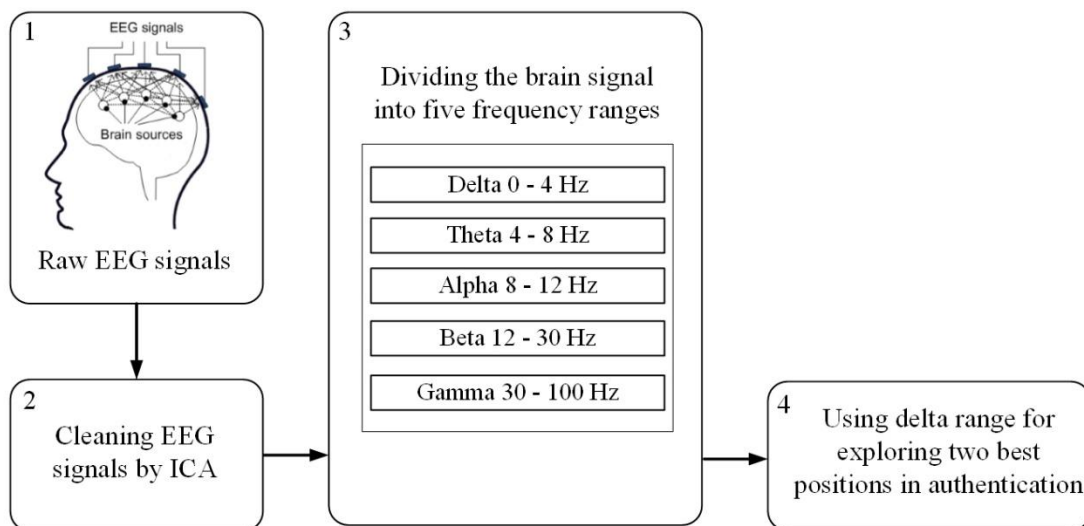
ในการศึกษาช่วงคลื่นสมองที่มีความสำคัญในการพิสูจน์ตัวตนได้ทำการทดลองกับผู้ทดลองจำนวน 40 คน โดยนำคลื่นสมองของแต่ละคนมาผ่านการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบอิสระเพื่อที่จะให้ได้สัญญาณของคลื่นสมองในแต่ละจุดที่แท้จริง โดยไม่มีสัญญาณรบกวนอื่นๆ หลังจากนั้นจะทำการแยกสัญญาณคลื่นสมองออกเป็น 5 ช่วงตามความถี่ และนำความถี่ในแต่ละช่วงมาเปรียบเทียบความสามารถในการพิสูจน์ตัวตน โดยอาศัยหลักการของการจำแนกกลุ่มข้อมูล ในโครงข่ายประสาทเทียม โดยรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

3.1.1 จัดเก็บข้อมูลสัญญาณคลื่นสมอง

3.1.2 กำจัดสัญญาณรบกวนโดยผ่านการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบอิสระ

3.1.3 แยกสัญญาณคลื่นสมองตามความถี่ออกเป็น 5 ช่วง

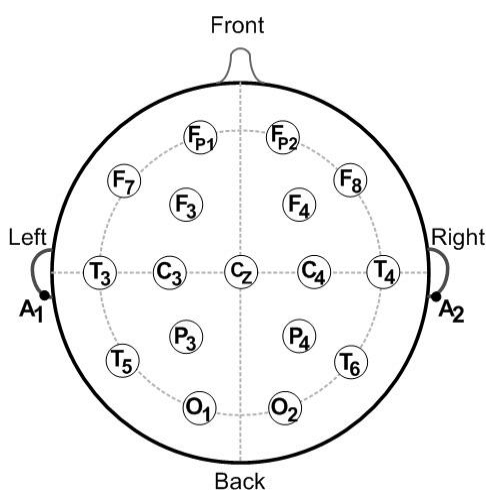
3.1.4 นำคลื่นสมองช่วงเคลด้ามาทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยการใช้ตำแหน่งในการจัดเก็บสัญญาณคลื่นสมอง 2 ตำแหน่งจากตำแหน่งทั้งหมด 16 ตำแหน่ง และจำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสมในชั้นข้อมูลแอบแฝงในช่วง 5 – 26 เซลล์ประสาท เพื่อให้ทราบถึงจำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสม ที่ให้ประสิทธิภาพที่สูงที่สุดในการแยกแยะบุคคลจำนวน 40 คน



ภาพประกอบ 2 แสดงถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก

3.1.1 จัดเก็บข้อมูลสัญญาณคลื่นสมอง

สัญญาณคลื่นสมองถูกจัดเก็บโดยมีจำนวน 40 คน โดยแบ่งเป็นผู้ชาย 18 คนและผู้หญิง 22 คน โดยมีอายุระหว่าง 10 - 40 ปี สัญญาณคลื่นสมองถูกจัดเก็บทั้งหมด 16 ตำแหน่งบนหนังศีรษะตามระบบ 10-20 สัญญาณคลื่นสมองถูกจัดเก็บที่ตำแหน่ง FP_1 , F_7 , T_3 , T_5 , FP_2 , F_8 , T_4 , T_6 , F_3 , C_3 , P_3 , O_1 , F_4 , C_4 , P_4 , O_2 ในการจัดเก็บใช้ระบบ Mono-polar montage โดยมีจุดอ้างอิงที่ Mastoid area A1 and A2 เครื่องขยายสัญญาณคลื่นสมองใช้ เครื่อง Grass model 8 plus จัดเก็บโดยใช้ Sampling rate เท่ากับ 200 Hz. สัญญาณคลื่นสมองได้ถูก Notch filtered ที่ 60 Hz โดย BMSI board และใช้โปรแกรม Stellate harmony EEG แปลงเป็นรูปแบบ EDF (European Data Format) คลื่นสมองที่ถูกจัดเก็บมาทั้ง 16 ช่องสัญญาณนั้นจะถูกคัดเลือกสัญญาณให้เหลือความยาว 3000 ข้อมูล โดยหลีกเลี่ยงช่วงที่มีสัญญาณรบกวนชัดเจนจาก Electromyography (EMG)

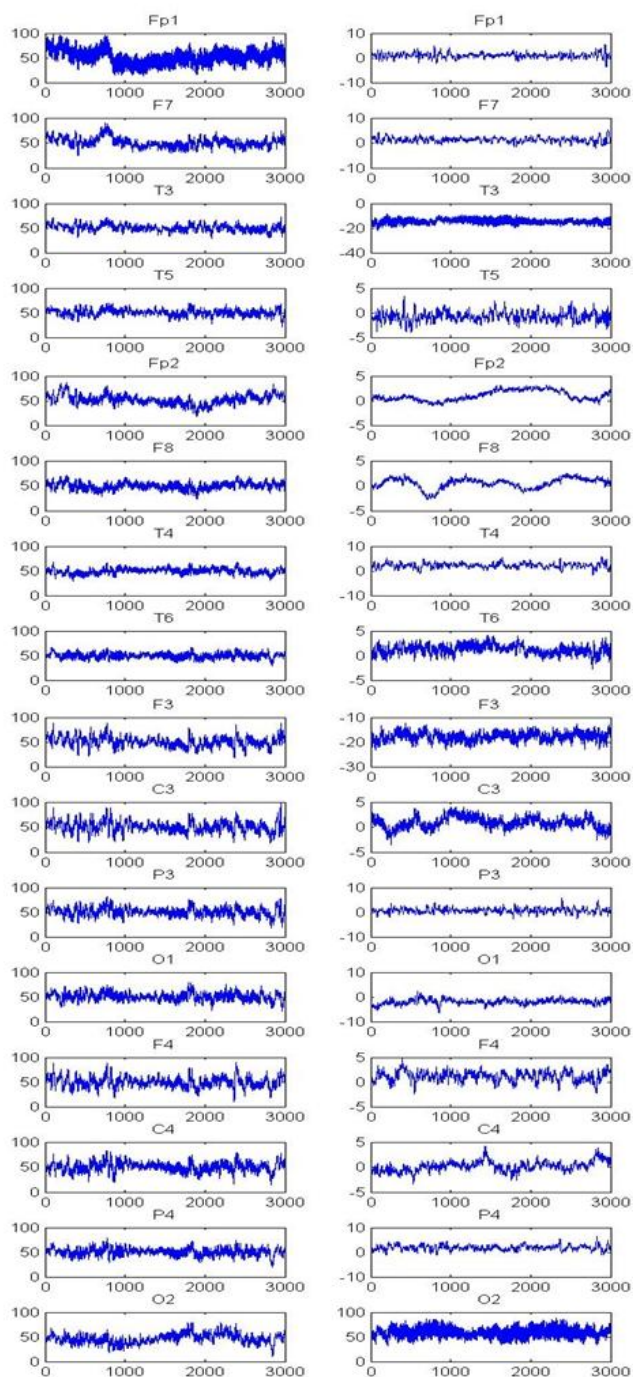


ภาพประกอบ 3 แสดงถึงตำแหน่งที่จัดเก็บคลื่นสมองตามระบบ 10 – 20

3.1.2 กำจัดสัญญาณรบกวนโดยผ่านการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบอิสระ

จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือการใช้การวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบอิสระในการแยกสัญญาณที่เป็นสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณคลื่นสมองที่จัดเก็บมาในขั้นตอนแรก จากผลการทดลองของ (Tangkraingki P., et al. 2013:463-476) พบว่าขั้นตอนวิธี SOBIRO เป็นขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมกับคลื่นสมอง ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้วิธีทดลองกับขั้นตอนวิธี SOBIRO โดยใช้ โปรแกรม ICALAB

เริ่มต้นโดยนำสัญญาณคลื่นสมองความยาว 3000 ข้อมูล ทั้ง 16 ช่องสัญญาณของผู้ทดลองจำนวน 40 คน มาผ่านขั้นตอนวิธี SOBIRO โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ จำนวน Time-delayed covariance matrices เท่ากับ 100 และ ไม่มีการตั้ง order ในภาพประกอบ 4 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณคลื่นสมองทั้ง 16 ช่องสัญญาณที่จัดเก็บมาในขั้นตอนแรกกับสัญญาณคลื่นสมองที่ผ่านขั้นตอนวิธี SOBIRO สัญญาณคลื่นสมองที่ผ่านขั้นตอนวิธี SOBIRO จะถูกแบ่งออกเป็น 5 ช่วงตามความถี่ในการทดลองขั้นถัดไป



ภาพประกอบ 4 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณคลื่นสมองทั้ง 16 ช่องสัญญาณของสัญญาณที่
จัดเก็บมาในขั้นตอนแรกกับสัญญาณที่ผ่านขั้นตอนวิธี SOBIRO

3.1.3 แยกสัญญาณคลื่นสมองตามความถี่ออกเป็น 5 ช่วง

จากการทดลองที่ผ่านมาได้พบว่าคลื่นสมองช่วง Delta เป็นช่วงที่มีความสามารถในการพิสูจน์ตัวตนสูงที่สุด โดยสามารถพิสูจน์ตัวตน 20 บุคคลได้ความถูกต้องถึง 100 % (Tangkraingkij P., 2015:103-113) ดังนั้น จุดประสงค์ในขั้นตอนนี้เพื่อแยกสัญญาณคลื่นสมองที่ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระแล้วให้ได้สัญญาณคลื่นสมองแต่ละตัวซึ่งเป็นคลื่นสมองที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิรตซ์ มาทำการทดลองในการหาดำแหน่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด 2 ตำแหน่งต่อไป

การทดลองทำการแยกความถี่ของคลื่นสมองออกเป็น 5 ช่วงตามความถี่ดังนี้คือ

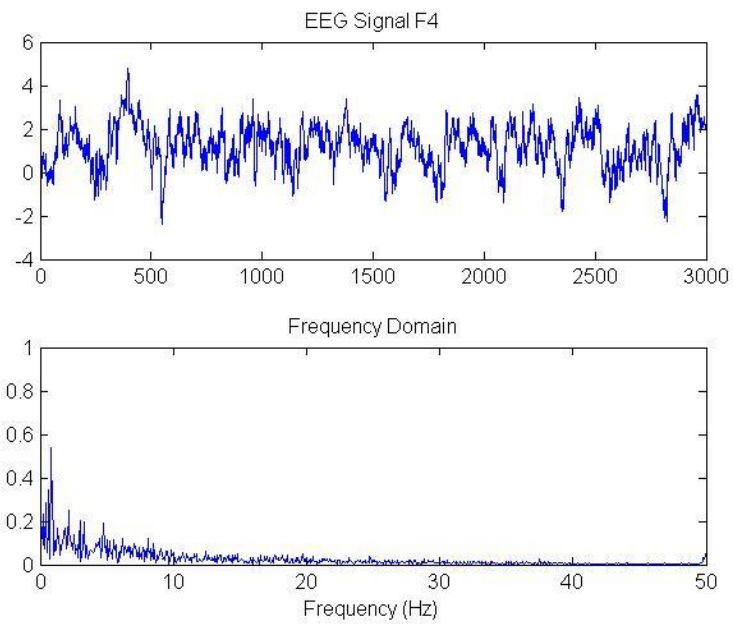
- 1) คลื่นเดลต้า (Delta wave) มีความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิรตซ์
- 2) คลื่นเซต้า (Theta wave) ความถี่ประมาณ 4-8 เฮิรตซ์
- 3) คลื่นอัลฟา (Alpha wave) ความถี่ประมาณ 8-12 เฮิรตซ์
- 4) คลื่นเบต้า (Beta wave) ความถี่ประมาณ 12-30 เฮิรตซ์
- 5) คลื่นแกมมา (Gamma wave) ความถี่ประมาณ 30-100 เฮิรตซ์

โดยการแบ่งสัญญาณคลื่นสมองออกเป็น 5 กลุ่มตามความถี่จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

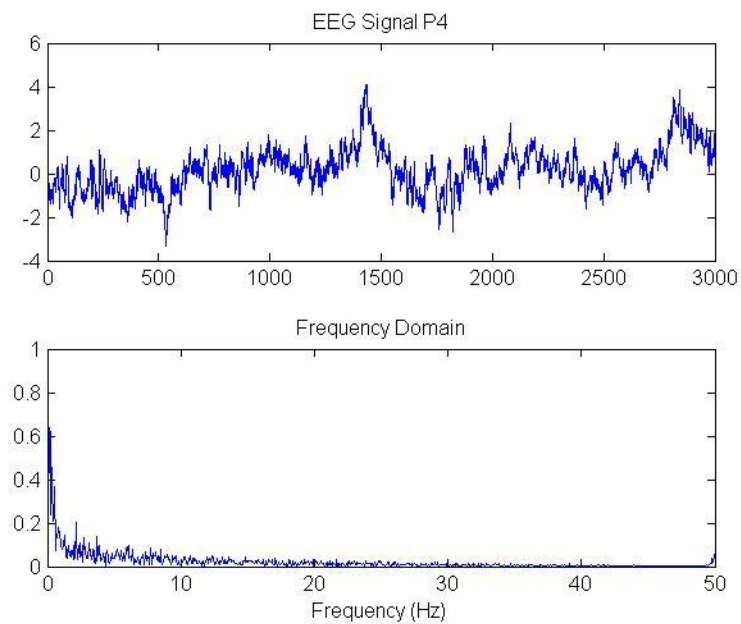
1. การเปลี่ยนสัญญาณคลื่นสมองในลักษณะที่เป็น Time domain ให้เป็นลักษณะ

Frequency domain

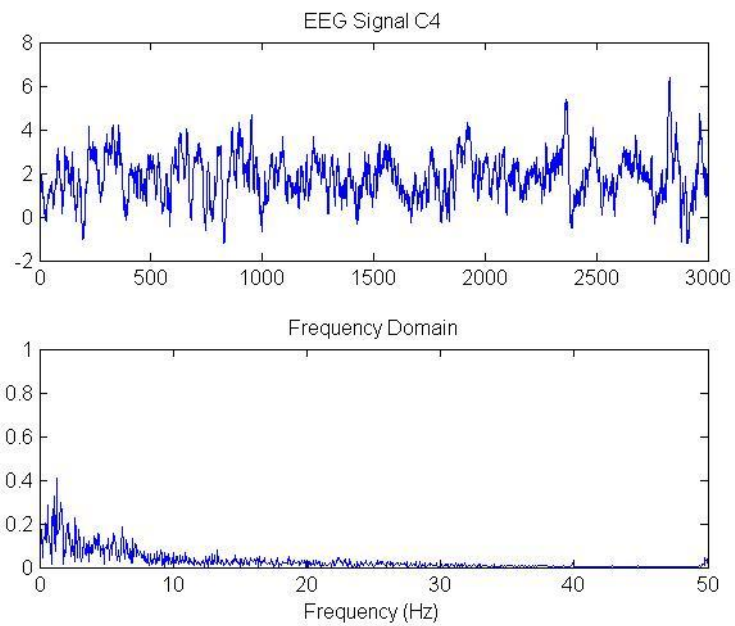
เนื่องจากสัญญาณคลื่นสมองที่ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระมีลักษณะเป็น Time domain การแบ่งคลื่นสมองให้เป็น 5 ช่วงตามความถี่จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนสัญญาณคลื่นสมองที่อยู่ในลักษณะ Time domain ให้เป็นคลื่นสมองที่อยู่ในรูปแบบ Frequency domain เพื่อที่จะสามารถแบ่งออกเป็นช่วงความถี่ได้ โดยอาศัยกระบวนการ Fast fourier transform (FFT) โดยจะนำสัญญาณคลื่นสมองที่ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระแล้วทั้ง 16 ช่องสัญญาณ โดยมีความยาว 3000 ข้อมูลของผู้ทดลองจำนวน 40 คนมาผ่านกระบวนการ FFT จะได้สัญญาณคลื่นสมองที่เป็นลักษณะ Frequency domain ดังแสดงในภาพประกอบ 5-8



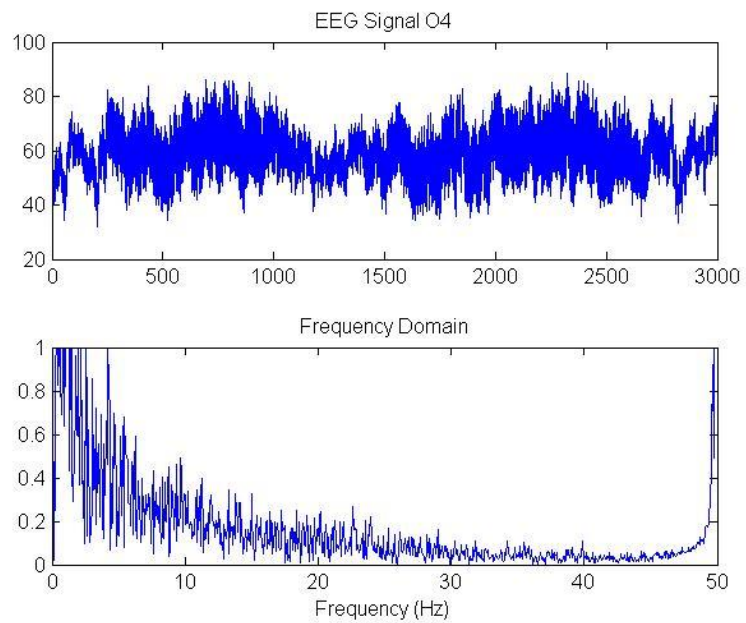
ภาพประกอบ 5 แสดงการเปรียบเทียบคลื่นสมองในลักษณะ Time domain และ Frequency domain ของตำแหน่ง F4



ภาพประกอบ 6 แสดงการเปรียบเทียบคลื่นสมองในลักษณะ Time domain และ Frequency domain ของตำแหน่ง P4



ภาพประกอบ 7 แสดงการเปรียบเทียบคลื่นสมองในลักษณะ Time domain และ Frequency domain ของตำแหน่ง C4



ภาพประกอบ 8 แสดงการเปรียบเทียบคลื่นสมองในลักษณะ Time domain และ Frequency domain ของตำแหน่ง O2

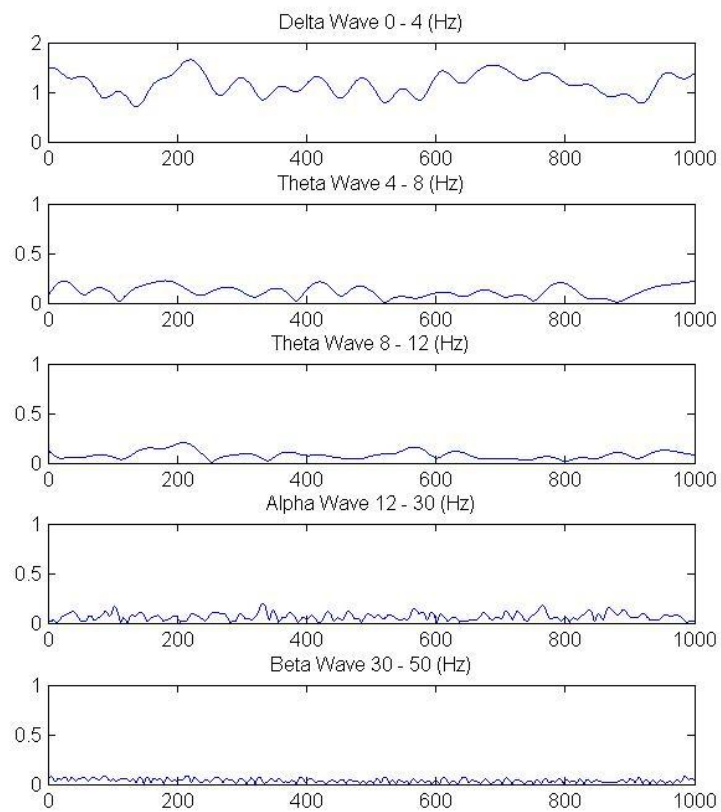
2. การแบ่งสัญญาณคลื่นสมองที่อยู่ในรูป Frequency domain เป็น 5 ช่วงตามความถี่

ในขั้นตอนนี้จะนำสัญญาณคลื่นสมองที่อยู่ในลักษณะ Frequency domain ที่ได้มาจากขั้นตอนที่ผ่านมาทำการแบ่งสัญญาณคลื่นสมองออกเป็น 5 ช่วงตามความถี่ โดยความถี่แรกจะตัดสัญญาณคลื่นสมองที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิร์ตซ์ ออกมาซึ่งคลื่นสมองช่วงนี้เรียกว่าคลื่นเดลต้า ซึ่งเป็นคลื่นสมองที่มีความถี่ต่ำที่สุด, คลื่นสมองช่วงที่ 2 ที่ถูกแยกออกมาจะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 4-8 เฮิร์ตซ์เป็นคลื่นช่วงเซต้า คลื่นสมองช่วงที่ 3 ที่ถูกแยกออกมาจะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 8-12 เฮิร์ตซ์ เป็นคลื่นช่วงอัลฟา คลื่นสมองช่วงที่ 4 ที่ถูกแยกออกมาจะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 12-30 เฮิร์ตซ์ เป็นคลื่นช่วงเบต้า และคลื่นสมองช่วงที่ 5 ที่ถูกแยกออกมาจะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 30-100 เฮิร์ตซ์ เป็นคลื่นช่วงแกมมา

3. การเปลี่ยนสัญญาณคลื่นสมองในลักษณะที่เป็น Frequency domain ให้กลับเป็นลักษณะ

Time domain

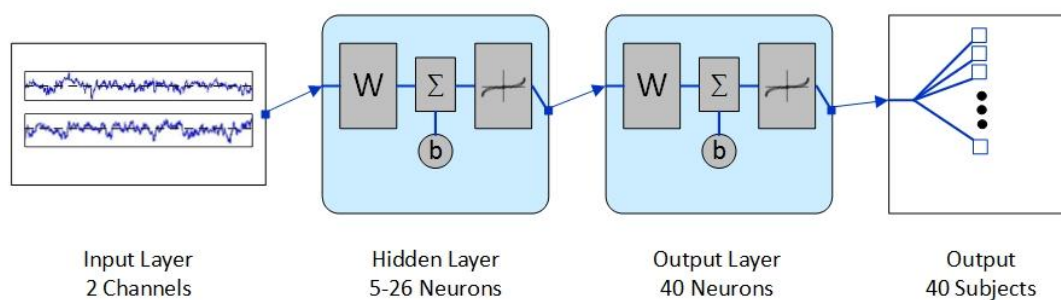
ขั้นตอนนี้จะนำคลื่นสมองทั้ง 5 ช่วงความถี่ที่อยู่ในรูป Frequency domain มาแปลงกลับให้อยู่ในรูป Time domain โดยอาศัยหลักการ Reverse FFT สัญญาณคลื่นสมองในแต่ละช่วงความถี่ที่ได้จะถูกตัดให้เหลือ 1000 ข้อมูล เพื่อเตรียมข้อมูลให้พร้อมเพื่อวัดประสิทธิภาพโดยใช้หลักการความสามารถในการจำแนกกลุ่มในขั้นตอนถัดไป ภาพประกอบ 9 แสดงตัวอย่างภาพสัญญาณคลื่นสมองทั้ง 5 ช่วงความถี่ ความยาว 1000 ข้อมูลหลังจากเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูป Time domain แล้ว นำข้อมูลในช่วงความถี่ Delta ซึ่งเป็นสัญญาณคลื่นสมองที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 Hz มาทดสอบในขั้นตอนต่อไป



ภาพประกอบ 9 แสดงสัญญาณคลื่นสมองทั้ง 5 ช่วงความถี่ ความยาว 1000 ข้อมูล ที่ถูกเปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูป Time domain โดยอาศัยกระบวนการ Reverse FFT

3.1.4 นำคลื่นสมองช่วงเดลต้ามาทำการทดลองเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสม 2 ตำแหน่งที่ได้ผลดีที่สุดในการพิสูจน์ตัวตน

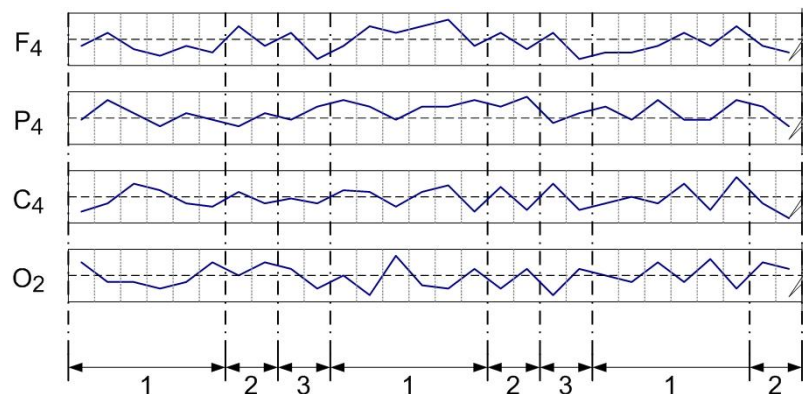
ในขั้นตอนนี้จะทำการทดลองเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสม 2 ตำแหน่งที่ได้ผลดีที่สุดในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลองจำนวน 40 คน การเปรียบเทียบความสามารถในการพิสูจน์ตัวตนใช้หลักการของการจำแนกกลุ่มข้อมูลในโครงข่ายประสาทเทียม โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้เป็นแบบเพอร์เซพตรอนหลายชั้น Multilayer perceptron (MLP) โดยมีการเรียนรู้ของระบบแบบ Conjugate gradient backpropagation โครงข่ายประสาทเทียมมี 3 ชั้นคือชั้นข้อมูลเข้าจะใช้สัญญาณคลื่นสมอง 2 ช่องสัญญาณจากทั้งหมด 16 ช่องสัญญาณ โดยคลื่นสมองในแต่ละช่องสัญญาณมีความยาว 1000 ข้อมูลของผู้ทดลองจำนวน 40 คน ในชั้นข้อมูลแอมแปงใช้เซลล์ประสาทในการทดลองตั้งแต่ 5 - 26 เซลล์ ฟังก์ชันถ่ายโอนรูปแบบคือ Hyperbolic tangent, และชั้นข้อมูลออกจะได้ผลการแบ่งกลุ่มข้อมูล 40 คน ฟังก์ชันถ่ายโอนรูปแบบคือ Hyperbolic tangent ดังแสดงในภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลอง มี 3 ชั้นคือข้อมูลเข้า, ชั้นข้อมูลแอมแปงและชั้นข้อมูลออก

โดยในแต่ละการทดลองซึ่งใช้ข้อมูลมีความยาว 1000 ข้อมูลมีการแยกข้อมูลออกเป็นกลุ่มข้อมูลที่ใช้สำหรับ Training, Validating, และ Testing มีอัตราส่วน 60 %, 20 % และ 20 % ตามลำดับ โดยการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะให้มีการสลับกันในแต่ละกลุ่ม ซึ่งรูปแบบการสลับกันของข้อมูล 1 ชุด ซึ่งมีข้อมูล 10 ข้อมูลจะเริ่มต้นด้วยกลุ่มข้อมูล Training จำนวน 6 ข้อมูล ตามด้วยกลุ่มข้อมูล Validating จำนวน 2 ข้อมูล และกลุ่มข้อมูล Testing จำนวน 2 ข้อมูล

ตามลำดับ โดยการสลับกันของข้อมูลในแต่ละชุดนี้เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่มในการทดลองกับโครงข่ายประสาทเทียม รายละเอียดดังแสดงในภาพประกอบ 11

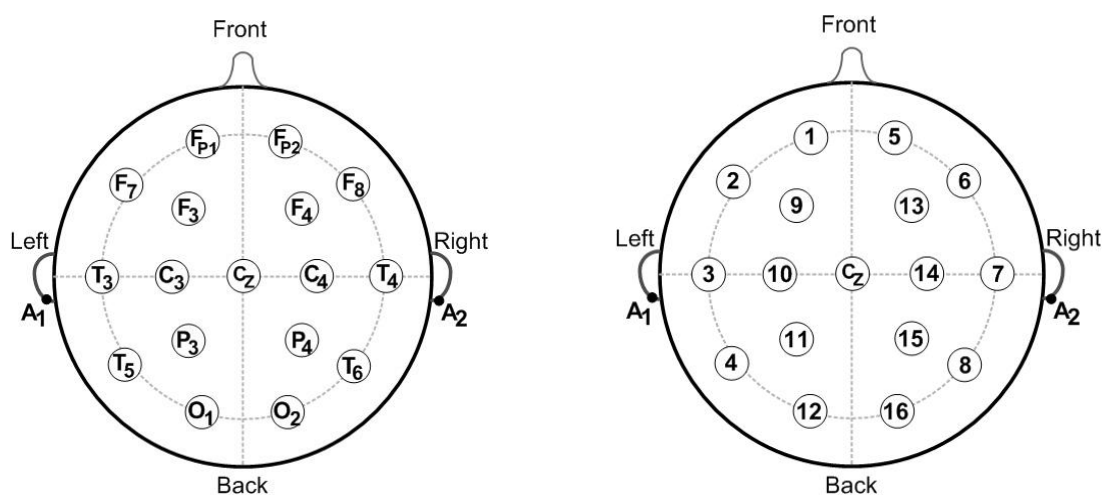


The numbers "1" show the group of training patterns.
 The numbers "2" show the group of validating patterns.
 The numbers "3" show the group of testing patterns.

ภาพประกอบ 11 แสดงรูปแบบการกระจายของข้อมูลในกลุ่ม Training, Validating, และ Testing
 ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

3.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยการนำคลื่นสมองช่วงเดลต้ามาทำการทดสอบหาตำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลองจำนวน 40 คน โดยในการทำลองนี้ได้ใช้เลข 1- 16 แทนตำแหน่ง $FP_1, F_7, T_3, T_5, FP_2, F_8, T_4, T_6, F_3, C_3, P_3, O_1, F_4, C_4, P_4, O_2$ โดยแสดงในภาพประกอบที่ 12



ภาพประกอบ 12 แสดงถึงตำแหน่งที่ใช้ตัวเลข 1 – 16 ที่ใช้แทนตำแหน่งมาตรฐานในการจัดเก็บคลื่นสมองตามระบบ 10 – 20

ในการหาตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด 2 ตำแหน่งจาก 16 ตำแหน่ง การทดลองจะทำการจับคู่ตำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดจาก 16 ตำแหน่ง โดยเริ่มจากตำแหน่งที่ (1, 2) (1, 3) (1, 4) ... (15, 16) ซึ่งมีทั้งหมด 120 คู่ โดยในแต่ละคู่จะมีการทดลองกับจำนวนเซลล์ประสาทที่เหมาะสมในชั้นข้อมูลแอบแฝง ซึ่งใช้จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝงตั้งแต่ 5 - 26 เซลล์ โดยใช้จำนวนผู้ทดลอง 40 คน จากผลการทดลองได้ร้อยละของความสามารถในการพิสูจน์ตัวตนของแต่ละกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 88

ตารางที่ 1. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมพลิง 5 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	57.15
2	1	3	72.51
3	1	4	68.22
4	1	5	67.18
5	1	6	50.34
6	1	7	62.90
7	1	8	60.53
8	1	9	58.34
9	1	10	69.35
10	1	11	66.94
11	1	12	60.73
12	1	13	64.16
13	1	14	72.46
14	1	15	62.10
15	1	16	55.67
16	2	3	71.55
17	2	4	64.81
18	2	5	61.47
19	2	6	67.67
20	2	7	66.74
21	2	8	52.60
22	2	9	69.12
23	2	10	85.30
24	2	11	63.03
25	2	12	71.13
26	2	13	78.03
27	2	14	80.07
28	2	15	76.18
29	2	16	70.19
30	3	4	68.98

ตารางที่ 2. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 5 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	71.93
32	3	6	70.10
33	3	7	75.19
34	3	8	73.79
35	3	9	74.82
36	3	10	77.10
37	3	11	74.87
38	3	12	75.84
39	3	13	73.17
40	3	14	69.93
41	3	15	68.80
42	3	16	68.48
43	4	5	60.79
44	4	6	64.08
45	4	7	78.23
46	4	8	70.84
47	4	9	71.31
48	4	10	83.37
49	4	11	76.26
50	4	12	71.45
51	4	13	67.85
52	4	14	75.62
53	4	15	61.19
54	4	16	68.77
55	5	6	75.29
56	5	7	79.12
57	5	8	60.90
58	5	9	72.29
59	5	10	64.68
60	5	11	73.15

ตารางที่ 3. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมพลิง 5 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	70.75
62	5	13	75.14
63	5	14	69.47
64	5	15	64.20
65	5	16	67.91
66	6	7	77.79
67	6	8	74.02
68	6	9	72.35
69	6	10	73.16
70	6	11	63.19
71	6	12	70.39
72	6	13	69.88
73	6	14	72.89
74	6	15	69.49
75	6	16	64.64
76	7	8	64.79
77	7	9	69.69
78	7	10	82.81
79	7	11	76.83
80	7	12	75.58
81	7	13	70.25
82	7	14	81.67
83	7	15	72.41
84	7	16	68.62
85	8	9	68.57
86	8	10	80.70
87	8	11	71.55
88	8	12	63.94
89	8	13	66.90
90	8	14	70.11

ตารางที่ 4. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 5 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	68.04
92	8	16	68.84
93	9	10	75.75
94	9	11	76.64
95	9	12	74.91
96	9	13	79.23
97	9	14	76.35
98	9	15	70.38
99	9	16	65.95
100	10	11	83.82
101	10	12	72.92
102	10	13	78.75
103	10	14	77.88
104	10	15	67.00
105	10	16	65.63
106	11	12	67.19
107	11	13	68.71
108	11	14	79.50
109	11	15	69.15
110	11	16	67.34
111	12	13	69.75
112	12	14	78.87
113	12	15	63.33
114	12	16	74.73
115	13	14	71.58
116	13	15	76.85
117	13	16	72.79
118	14	15	73.54
119	14	16	66.44
120	15	16	56.02

ตารางที่ 5. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 6 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	55.14
2	1	3	65.33
3	1	4	64.73
4	1	5	61.69
5	1	6	62.22
6	1	7	75.41
7	1	8	68.46
8	1	9	64.26
9	1	10	78.81
10	1	11	71.31
11	1	12	65.76
12	1	13	68.17
13	1	14	66.27
14	1	15	71.09
15	1	16	57.08
16	2	3	71.83
17	2	4	69.95
18	2	5	65.94
19	2	6	68.27
20	2	7	64.89
21	2	8	73.85
22	2	9	66.96
23	2	10	75.74
24	2	11	70.32
25	2	12	59.39
26	2	13	72.63
27	2	14	79.92
28	2	15	63.70
29	2	16	59.42
30	3	4	66.73

ตารางที่ 6. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 6 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	70.35
32	3	6	65.57
33	3	7	71.58
34	3	8	72.37
35	3	9	72.65
36	3	10	79.75
37	3	11	71.28
38	3	12	72.00
39	3	13	74.58
40	3	14	85.47
41	3	15	63.25
42	3	16	59.20
43	4	5	73.29
44	4	6	65.58
45	4	7	78.32
46	4	8	76.78
47	4	9	75.50
48	4	10	72.64
49	4	11	69.14
50	4	12	72.42
51	4	13	72.00
52	4	14	65.96
53	4	15	71.47
54	4	16	64.82
55	5	6	74.45
56	5	7	77.89
57	5	8	74.76
58	5	9	72.27
59	5	10	77.98
60	5	11	67.03

ตารางที่ 7. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 6 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	73.19
62	5	13	75.41
63	5	14	81.41
64	5	15	81.37
65	5	16	74.73
66	6	7	75.26
67	6	8	69.77
68	6	9	76.48
69	6	10	81.47
70	6	11	72.26
71	6	12	65.87
72	6	13	75.93
73	6	14	72.94
74	6	15	63.41
75	6	16	69.31
76	7	8	73.74
77	7	9	79.89
78	7	10	83.58
79	7	11	75.84
80	7	12	72.14
81	7	13	68.97
82	7	14	83.22
83	7	15	76.64
84	7	16	80.02
85	8	9	69.68
86	8	10	86.03
87	8	11	77.74
88	8	12	74.80
89	8	13	74.32
90	8	14	72.19

ตารางที่ 8. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 6 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	73.26
92	8	16	76.86
93	9	10	75.15
94	9	11	76.96
95	9	12	68.11
96	9	13	76.80
97	9	14	83.28
98	9	15	70.14
99	9	16	77.66
100	10	11	79.33
101	10	12	75.65
102	10	13	86.04
103	10	14	83.22
104	10	15	78.90
105	10	16	84.60
106	11	12	72.53
107	11	13	70.11
108	11	14	82.36
109	11	15	80.42
110	11	16	75.16
111	12	13	71.77
112	12	14	83.13
113	12	15	75.45
114	12	16	83.29
115	13	14	62.19
116	13	15	65.47
117	13	16	76.51
118	14	15	73.85
119	14	16	73.43
120	15	16	84.03

ตารางที่ 9. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมพลิง 7 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	69.26
2	1	3	76.70
3	1	4	62.99
4	1	5	61.24
5	1	6	65.95
6	1	7	65.87
7	1	8	71.88
8	1	9	62.54
9	1	10	76.45
10	1	11	55.90
11	1	12	69.75
12	1	13	73.39
13	1	14	59.40
14	1	15	76.10
15	1	16	63.73
16	2	3	66.75
17	2	4	72.63
18	2	5	62.94
19	2	6	69.47
20	2	7	64.35
21	2	8	77.24
22	2	9	72.64
23	2	10	86.73
24	2	11	63.85
25	2	12	78.13
26	2	13	78.55
27	2	14	77.60
28	2	15	79.78
29	2	16	77.35
30	3	4	58.84

ตารางที่ 10. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแบ่ง 7 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	71.26
32	3	6	67.26
33	3	7	74.61
34	3	8	65.14
35	3	9	76.09
36	3	10	73.37
37	3	11	77.45
38	3	12	73.98
39	3	13	79.13
40	3	14	67.42
41	3	15	78.51
42	3	16	71.14
43	4	5	71.24
44	4	6	78.30
45	4	7	74.94
46	4	8	73.62
47	4	9	71.26
48	4	10	82.28
49	4	11	78.56
50	4	12	74.11
51	4	13	78.02
52	4	14	79.98
53	4	15	62.33
54	4	16	71.19
55	5	6	68.93
56	5	7	78.08
57	5	8	78.69
58	5	9	68.48
59	5	10	79.31
60	5	11	78.23

ตารางที่ 11. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 7 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	67.21
62	5	13	73.94
63	5	14	72.24
64	5	15	69.71
65	5	16	70.04
66	6	7	73.58
67	6	8	72.02
68	6	9	65.45
69	6	10	80.00
70	6	11	76.49
71	6	12	76.60
72	6	13	68.13
73	6	14	76.54
74	6	15	75.01
75	6	16	75.98
76	7	8	70.78
77	7	9	85.09
78	7	10	65.63
79	7	11	74.54
80	7	12	72.19
81	7	13	65.03
82	7	14	65.42
83	7	15	76.87
84	7	16	79.93
85	8	9	72.87
86	8	10	70.67
87	8	11	74.62
88	8	12	70.78
89	8	13	71.87
90	8	14	63.03

ตารางที่ 12. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 7 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	77.41
92	8	16	71.05
93	9	10	87.06
94	9	11	75.75
95	9	12	62.62
96	9	13	79.80
97	9	14	85.51
98	9	15	73.54
99	9	16	73.42
100	10	11	66.11
101	10	12	76.25
102	10	13	75.57
103	10	14	82.41
104	10	15	77.19
105	10	16	79.25
106	11	12	70.02
107	11	13	77.05
108	11	14	80.69
109	11	15	80.83
110	11	16	71.03
111	12	13	65.89
112	12	14	74.89
113	12	15	73.88
114	12	16	79.01
115	13	14	82.40
116	13	15	79.15
117	13	16	76.47
118	14	15	72.30
119	14	16	68.45
120	15	16	81.45

ตารางที่ 13. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 8 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	58.63
2	1	3	74.75
3	1	4	71.09
4	1	5	60.51
5	1	6	65.36
6	1	7	64.79
7	1	8	72.41
8	1	9	72.96
9	1	10	64.89
10	1	11	66.21
11	1	12	74.24
12	1	13	70.76
13	1	14	61.52
14	1	15	72.90
15	1	16	64.36
16	2	3	72.45
17	2	4	65.41
18	2	5	68.43
19	2	6	63.10
20	2	7	69.67
21	2	8	67.98
22	2	9	78.26
23	2	10	77.06
24	2	11	62.96
25	2	12	68.38
26	2	13	78.98
27	2	14	72.43
28	2	15	81.94
29	2	16	68.34
30	3	4	70.54

ตารางที่ 14. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 8 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	75.41
32	3	6	78.27
33	3	7	64.50
34	3	8	66.29
35	3	9	83.37
36	3	10	89.03
37	3	11	69.19
38	3	12	61.50
39	3	13	72.94
40	3	14	74.93
41	3	15	74.31
42	3	16	76.79
43	4	5	59.17
44	4	6	61.53
45	4	7	76.23
46	4	8	62.73
47	4	9	69.27
48	4	10	70.07
49	4	11	76.55
50	4	12	73.23
51	4	13	73.61
52	4	14	78.75
53	4	15	70.10
54	4	16	68.49
55	5	6	73.63
56	5	7	76.47
57	5	8	61.31
58	5	9	77.39
59	5	10	81.92
60	5	11	61.13

ตารางที่ 15. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 8 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	78.62
62	5	13	76.97
63	5	14	69.05
64	5	15	68.81
65	5	16	82.32
66	6	7	71.03
67	6	8	74.50
68	6	9	72.19
69	6	10	77.51
70	6	11	78.16
71	6	12	70.55
72	6	13	82.79
73	6	14	76.77
74	6	15	74.02
75	6	16	78.23
76	7	8	67.85
77	7	9	74.30
78	7	10	65.90
79	7	11	76.81
80	7	12	78.12
81	7	13	70.34
82	7	14	71.99
83	7	15	84.36
84	7	16	75.42
85	8	9	76.35
86	8	10	81.59
87	8	11	74.36
88	8	12	77.23
89	8	13	73.87
90	8	14	78.72

ตารางที่ 16. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 8 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	64.76
92	8	16	73.90
93	9	10	86.79
94	9	11	71.09
95	9	12	74.94
96	9	13	74.71
97	9	14	79.51
98	9	15	71.77
99	9	16	71.73
100	10	11	79.42
101	10	12	81.63
102	10	13	81.94
103	10	14	84.33
104	10	15	83.70
105	10	16	73.19
106	11	12	73.28
107	11	13	68.60
108	11	14	80.57
109	11	15	76.26
110	11	16	71.56
111	12	13	75.24
112	12	14	79.79
113	12	15	78.32
114	12	16	70.33
115	13	14	81.03
116	13	15	79.79
117	13	16	83.37
118	14	15	79.03
119	14	16	65.98
120	15	16	75.19

ตารางที่ 17. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 9 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	69.21
2	1	3	68.25
3	1	4	73.64
4	1	5	66.95
5	1	6	67.45
6	1	7	75.65
7	1	8	67.62
8	1	9	69.94
9	1	10	75.28
10	1	11	69.09
11	1	12	68.11
12	1	13	67.78
13	1	14	61.62
14	1	15	75.20
15	1	16	75.91
16	2	3	71.57
17	2	4	66.53
18	2	5	71.92
19	2	6	71.66
20	2	7	70.03
21	2	8	71.55
22	2	9	70.89
23	2	10	79.72
24	2	11	70.15
25	2	12	71.61
26	2	13	74.02
27	2	14	63.37
28	2	15	80.19
29	2	16	60.48
30	3	4	69.10

ตารางที่ 18. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 9 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	74.33
32	3	6	71.36
33	3	7	73.65
34	3	8	73.18
35	3	9	70.91
36	3	10	82.46
37	3	11	65.03
38	3	12	74.68
39	3	13	70.68
40	3	14	70.91
41	3	15	76.07
42	3	16	77.97
43	4	5	67.24
44	4	6	59.84
45	4	7	77.08
46	4	8	72.95
47	4	9	74.51
48	4	10	82.01
49	4	11	74.14
50	4	12	70.13
51	4	13	74.02
52	4	14	76.83
53	4	15	71.48
54	4	16	67.12
55	5	6	72.37
56	5	7	74.81
57	5	8	74.22
58	5	9	74.28
59	5	10	79.60
60	5	11	70.18

ตารางที่ 19. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 9 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	78.13
62	5	13	79.05
63	5	14	76.16
64	5	15	78.94
65	5	16	71.35
66	6	7	78.78
67	6	8	79.54
68	6	9	76.86
69	6	10	85.21
70	6	11	73.47
71	6	12	73.17
72	6	13	78.17
73	6	14	78.35
74	6	15	75.68
75	6	16	70.86
76	7	8	78.73
77	7	9	81.79
78	7	10	66.75
79	7	11	71.78
80	7	12	78.75
81	7	13	75.53
82	7	14	78.71
83	7	15	73.54
84	7	16	74.99
85	8	9	73.47
86	8	10	80.41
87	8	11	68.05
88	8	12	80.05
89	8	13	75.30
90	8	14	76.30

ตารางที่ 20. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 9 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	70.00
92	8	16	79.27
93	9	10	84.08
94	9	11	80.44
95	9	12	79.74
96	9	13	75.86
97	9	14	81.56
98	9	15	76.79
99	9	16	74.84
100	10	11	82.51
101	10	12	81.60
102	10	13	85.09
103	10	14	82.29
104	10	15	78.54
105	10	16	57.95
106	11	12	71.91
107	11	13	69.88
108	11	14	76.36
109	11	15	60.23
110	11	16	66.10
111	12	13	70.20
112	12	14	73.72
113	12	15	60.74
114	12	16	78.90
115	13	14	80.01
116	13	15	82.08
117	13	16	83.14
118	14	15	74.64
119	14	16	87.25
120	15	16	80.82

ตารางที่ 21. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 10 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	63.26
2	1	3	72.98
3	1	4	74.69
4	1	5	69.46
5	1	6	73.18
6	1	7	63.39
7	1	8	71.30
8	1	9	65.22
9	1	10	76.90
10	1	11	63.64
11	1	12	62.44
12	1	13	71.48
13	1	14	67.45
14	1	15	66.48
15	1	16	62.47
16	2	3	61.79
17	2	4	77.30
18	2	5	74.00
19	2	6	79.07
20	2	7	66.54
21	2	8	78.21
22	2	9	71.71
23	2	10	84.24
24	2	11	73.64
25	2	12	70.02
26	2	13	67.28
27	2	14	68.86
28	2	15	79.93
29	2	16	74.35
30	3	4	68.38

ตารางที่ 22. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 10 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	78.82
32	3	6	67.28
33	3	7	74.13
34	3	8	81.59
35	3	9	84.24
36	3	10	87.83
37	3	11	76.43
38	3	12	71.18
39	3	13	78.40
40	3	14	77.42
41	3	15	78.96
42	3	16	72.00
43	4	5	81.22
44	4	6	72.33
45	4	7	73.96
46	4	8	81.89
47	4	9	75.03
48	4	10	81.70
49	4	11	81.63
50	4	12	75.20
51	4	13	74.19
52	4	14	78.56
53	4	15	74.84
54	4	16	78.83
55	5	6	71.11
56	5	7	81.90
57	5	8	59.20
58	5	9	74.14
59	5	10	71.05
60	5	11	68.53

ตารางที่ 23. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 10 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	77.81
62	5	13	76.67
63	5	14	83.92
64	5	15	74.86
65	5	16	74.49
66	6	7	77.46
67	6	8	74.85
68	6	9	84.55
69	6	10	87.43
70	6	11	69.68
71	6	12	73.09
72	6	13	74.60
73	6	14	71.43
74	6	15	74.55
75	6	16	72.49
76	7	8	76.04
77	7	9	86.48
78	7	10	70.04
79	7	11	74.99
80	7	12	77.39
81	7	13	80.19
82	7	14	75.79
83	7	15	74.11
84	7	16	73.37
85	8	9	73.04
86	8	10	80.97
87	8	11	70.78
88	8	12	80.29
89	8	13	77.50
90	8	14	62.75

ตารางที่ 24. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 10 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	71.41
92	8	16	75.70
93	9	10	86.05
94	9	11	77.44
95	9	12	66.70
96	9	13	82.14
97	9	14	86.51
98	9	15	84.67
99	9	16	60.49
100	10	11	80.95
101	10	12	74.29
102	10	13	60.17
103	10	14	79.58
104	10	15	81.30
105	10	16	92.22
106	11	12	76.22
107	11	13	73.88
108	11	14	73.68
109	11	15	82.49
110	11	16	77.79
111	12	13	76.18
112	12	14	85.70
113	12	15	63.53
114	12	16	78.40
115	13	14	77.71
116	13	15	80.51
117	13	16	85.85
118	14	15	75.15
119	14	16	74.94
120	15	16	78.34

ตารางที่ 25. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 11 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	53.54
2	1	3	78.20
3	1	4	74.67
4	1	5	62.47
5	1	6	61.45
6	1	7	62.77
7	1	8	71.42
8	1	9	62.72
9	1	10	76.13
10	1	11	61.74
11	1	12	69.73
12	1	13	71.66
13	1	14	71.96
14	1	15	70.28
15	1	16	66.63
16	2	3	76.90
17	2	4	77.56
18	2	5	68.89
19	2	6	80.59
20	2	7	71.03
21	2	8	79.18
22	2	9	78.59
23	2	10	78.27
24	2	11	71.33
25	2	12	74.06
26	2	13	73.84
27	2	14	77.95
28	2	15	76.85
29	2	16	71.88
30	3	4	71.41

ตารางที่ 26. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 11 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	76.69
32	3	6	79.31
33	3	7	68.02
34	3	8	73.94
35	3	9	77.58
36	3	10	83.69
37	3	11	67.28
38	3	12	78.28
39	3	13	84.20
40	3	14	80.12
41	3	15	83.05
42	3	16	68.23
43	4	5	71.04
44	4	6	71.94
45	4	7	64.92
46	4	8	74.29
47	4	9	69.91
48	4	10	77.45
49	4	11	80.09
50	4	12	79.81
51	4	13	75.23
52	4	14	59.46
53	4	15	76.64
54	4	16	60.65
55	5	6	62.97
56	5	7	65.49
57	5	8	76.64
58	5	9	69.63
59	5	10	73.39
60	5	11	71.99

ตารางที่ 27. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 11 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	79.49
62	5	13	71.39
63	5	14	79.01
64	5	15	79.21
65	5	16	73.02
66	6	7	80.22
67	6	8	77.76
68	6	9	77.98
69	6	10	86.24
70	6	11	66.10
71	6	12	68.89
72	6	13	73.83
73	6	14	77.20
74	6	15	67.24
75	6	16	74.43
76	7	8	76.39
77	7	9	73.74
78	7	10	67.95
79	7	11	72.61
80	7	12	72.70
81	7	13	54.94
82	7	14	75.09
83	7	15	80.45
84	7	16	74.65
85	8	9	72.95
86	8	10	82.12
87	8	11	75.40
88	8	12	74.03
89	8	13	65.08
90	8	14	61.32

ตารางที่ 28. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 11 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	71.58
92	8	16	83.60
93	9	10	87.06
94	9	11	74.75
95	9	12	63.13
96	9	13	73.87
97	9	14	75.58
98	9	15	71.23
99	9	16	83.07
100	10	11	76.80
101	10	12	83.85
102	10	13	74.80
103	10	14	73.14
104	10	15	71.63
105	10	16	80.31
106	11	12	74.52
107	11	13	76.16
108	11	14	65.89
109	11	15	74.70
110	11	16	72.74
111	12	13	79.56
112	12	14	79.34
113	12	15	69.02
114	12	16	79.76
115	13	14	59.03
116	13	15	71.89
117	13	16	85.92
118	14	15	82.02
119	14	16	75.21
120	15	16	81.20

ตารางที่ 29. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 12 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	71.74
2	1	3	81.93
3	1	4	71.88
4	1	5	61.06
5	1	6	70.72
6	1	7	66.74
7	1	8	69.55
8	1	9	67.53
9	1	10	82.42
10	1	11	69.29
11	1	12	60.57
12	1	13	71.87
13	1	14	70.60
14	1	15	66.77
15	1	16	63.43
16	2	3	73.51
17	2	4	75.51
18	2	5	62.63
19	2	6	67.44
20	2	7	77.85
21	2	8	71.53
22	2	9	71.37
23	2	10	69.64
24	2	11	73.05
25	2	12	76.71
26	2	13	72.00
27	2	14	60.09
28	2	15	69.35
29	2	16	61.18
30	3	4	71.41

ตารางที่ 30. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 12 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	70.39
32	3	6	65.50
33	3	7	61.34
34	3	8	63.93
35	3	9	78.03
36	3	10	83.07
37	3	11	78.53
38	3	12	73.33
39	3	13	74.26
40	3	14	79.77
41	3	15	74.08
42	3	16	64.16
43	4	5	76.32
44	4	6	69.64
45	4	7	78.79
46	4	8	66.65
47	4	9	69.45
48	4	10	80.66
49	4	11	84.50
50	4	12	73.07
51	4	13	71.51
52	4	14	65.92
53	4	15	77.03
54	4	16	70.14
55	5	6	71.89
56	5	7	81.67
57	5	8	74.07
58	5	9	68.33
59	5	10	72.35
60	5	11	69.26

ตารางที่ 31. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 12 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	64.11
62	5	13	72.19
63	5	14	65.94
64	5	15	71.88
65	5	16	72.96
66	6	7	73.71
67	6	8	69.65
68	6	9	63.74
69	6	10	89.74
70	6	11	69.82
71	6	12	77.18
72	6	13	78.05
73	6	14	75.10
74	6	15	78.20
75	6	16	78.83
76	7	8	62.43
77	7	9	86.38
78	7	10	72.35
79	7	11	71.77
80	7	12	71.21
81	7	13	76.33
82	7	14	67.32
83	7	15	65.61
84	7	16	65.64
85	8	9	71.09
86	8	10	67.54
87	8	11	72.14
88	8	12	71.82
89	8	13	73.74
90	8	14	67.23

ตารางที่ 32. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 12 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	72.33
92	8	16	68.23
93	9	10	81.47
94	9	11	64.18
95	9	12	78.12
96	9	13	69.18
97	9	14	73.97
98	9	15	67.38
99	9	16	74.20
100	10	11	78.50
101	10	12	57.33
102	10	13	77.84
103	10	14	72.43
104	10	15	81.97
105	10	16	88.01
106	11	12	61.69
107	11	13	67.19
108	11	14	83.71
109	11	15	84.70
110	11	16	64.68
111	12	13	72.83
112	12	14	60.46
113	12	15	75.01
114	12	16	82.31
115	13	14	74.44
116	13	15	75.74
117	13	16	71.38
118	14	15	81.79
119	14	16	69.67
120	15	16	81.89

ตารางที่ 33. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 13 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	69.76
2	1	3	75.99
3	1	4	74.35
4	1	5	64.38
5	1	6	74.42
6	1	7	61.37
7	1	8	74.64
8	1	9	73.55
9	1	10	74.02
10	1	11	61.68
11	1	12	70.81
12	1	13	73.49
13	1	14	63.90
14	1	15	57.98
15	1	16	62.99
16	2	3	69.16
17	2	4	72.18
18	2	5	66.44
19	2	6	74.44
20	2	7	70.16
21	2	8	68.37
22	2	9	69.04
23	2	10	74.91
24	2	11	72.64
25	2	12	72.94
26	2	13	54.10
27	2	14	68.12
28	2	15	79.53
29	2	16	73.67
30	3	4	70.32

ตารางที่ 34. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 13 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	82.22
32	3	6	73.48
33	3	7	74.82
34	3	8	72.27
35	3	9	78.67
36	3	10	84.13
37	3	11	71.61
38	3	12	75.30
39	3	13	80.87
40	3	14	75.70
41	3	15	73.64
42	3	16	58.70
43	4	5	73.40
44	4	6	73.29
45	4	7	67.69
46	4	8	71.08
47	4	9	71.91
48	4	10	77.45
49	4	11	71.56
50	4	12	74.49
51	4	13	67.21
52	4	14	69.43
53	4	15	66.73
54	4	16	65.78
55	5	6	71.04
56	5	7	82.63
57	5	8	72.85
58	5	9	66.75
59	5	10	71.89
60	5	11	58.84

ตารางที่ 35. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 13 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	77.98
62	5	13	69.66
63	5	14	61.70
64	5	15	72.05
65	5	16	76.03
66	6	7	74.61
67	6	8	68.67
68	6	9	71.71
69	6	10	83.18
70	6	11	72.05
71	6	12	73.96
72	6	13	75.82
73	6	14	70.32
74	6	15	69.72
75	6	16	80.43
76	7	8	70.23
77	7	9	68.13
78	7	10	68.67
79	7	11	65.80
80	7	12	69.76
81	7	13	70.81
82	7	14	77.03
83	7	15	76.96
84	7	16	68.98
85	8	9	69.48
86	8	10	57.93
87	8	11	73.37
88	8	12	76.61
89	8	13	70.83
90	8	14	66.18

ตารางที่ 36. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 13 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	77.44
92	8	16	75.79
93	9	10	73.03
94	9	11	79.49
95	9	12	74.92
96	9	13	75.83
97	9	14	84.21
98	9	15	69.73
99	9	16	80.70
100	10	11	74.74
101	10	12	86.55
102	10	13	75.75
103	10	14	64.41
104	10	15	92.41
105	10	16	77.01
106	11	12	73.06
107	11	13	79.71
108	11	14	74.86
109	11	15	79.21
110	11	16	76.14
111	12	13	69.96
112	12	14	76.01
113	12	15	78.20
114	12	16	75.16
115	13	14	58.55
116	13	15	70.57
117	13	16	83.91
118	14	15	69.05
119	14	16	79.65
120	15	16	84.07

ตารางที่ 37. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 14 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	67.46
2	1	3	71.99
3	1	4	65.54
4	1	5	58.20
5	1	6	66.85
6	1	7	76.12
7	1	8	73.97
8	1	9	64.50
9	1	10	66.23
10	1	11	58.44
11	1	12	68.91
12	1	13	68.94
13	1	14	70.40
14	1	15	70.79
15	1	16	68.02
16	2	3	73.83
17	2	4	69.25
18	2	5	67.84
19	2	6	76.90
20	2	7	69.56
21	2	8	73.04
22	2	9	77.92
23	2	10	75.90
24	2	11	69.41
25	2	12	63.05
26	2	13	74.16
27	2	14	70.57
28	2	15	75.07
29	2	16	75.55
30	3	4	72.77

ตารางที่ 38. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 14 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	79.71
32	3	6	65.36
33	3	7	71.87
34	3	8	71.45
35	3	9	74.76
36	3	10	83.05
37	3	11	66.69
38	3	12	78.65
39	3	13	73.57
40	3	14	72.22
41	3	15	71.06
42	3	16	65.92
43	4	5	67.17
44	4	6	69.06
45	4	7	69.37
46	4	8	74.46
47	4	9	67.28
48	4	10	78.92
49	4	11	63.17
50	4	12	71.88
51	4	13	67.89
52	4	14	79.60
53	4	15	81.50
54	4	16	72.19
55	5	6	70.70
56	5	7	75.40
57	5	8	68.70
58	5	9	62.95
59	5	10	65.72
60	5	11	74.42

ตารางที่ 39. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 14 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	73.75
62	5	13	78.81
63	5	14	69.62
64	5	15	68.28
65	5	16	77.72
66	6	7	69.91
67	6	8	68.75
68	6	9	77.91
69	6	10	77.37
70	6	11	66.91
71	6	12	72.69
72	6	13	76.92
73	6	14	62.53
74	6	15	76.37
75	6	16	82.90
76	7	8	64.90
77	7	9	76.54
78	7	10	74.32
79	7	11	73.70
80	7	12	67.05
81	7	13	65.87
82	7	14	68.81
83	7	15	59.60
84	7	16	71.69
85	8	9	74.93
86	8	10	79.73
87	8	11	71.15
88	8	12	73.34
89	8	13	69.23
90	8	14	75.91

ตารางที่ 40. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 14 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	68.30
92	8	16	74.99
93	9	10	81.65
94	9	11	70.06
95	9	12	71.62
96	9	13	78.29
97	9	14	72.07
98	9	15	70.20
99	9	16	76.98
100	10	11	72.61
101	10	12	71.59
102	10	13	62.95
103	10	14	77.84
104	10	15	85.77
105	10	16	87.31
106	11	12	61.78
107	11	13	69.23
108	11	14	55.54
109	11	15	77.03
110	11	16	70.33
111	12	13	76.80
112	12	14	73.73
113	12	15	78.24
114	12	16	77.93
115	13	14	70.67
116	13	15	76.85
117	13	16	78.47
118	14	15	73.47
119	14	16	73.96
120	15	16	82.87

ตารางที่ 41. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 15 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	62.59
2	1	3	73.09
3	1	4	65.86
4	1	5	65.98
5	1	6	66.16
6	1	7	74.37
7	1	8	72.58
8	1	9	61.23
9	1	10	68.47
10	1	11	63.58
11	1	12	68.61
12	1	13	64.36
13	1	14	63.19
14	1	15	72.49
15	1	16	64.33
16	2	3	61.36
17	2	4	69.69
18	2	5	71.24
19	2	6	77.57
20	2	7	65.95
21	2	8	52.31
22	2	9	67.51
23	2	10	77.24
24	2	11	71.88
25	2	12	69.77
26	2	13	61.20
27	2	14	64.67
28	2	15	75.52
29	2	16	70.61
30	3	4	70.14

ตารางที่ 42. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 15 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	75.86
32	3	6	77.42
33	3	7	69.89
34	3	8	65.47
35	3	9	76.48
36	3	10	63.67
37	3	11	79.11
38	3	12	68.49
39	3	13	61.62
40	3	14	77.40
41	3	15	75.85
42	3	16	70.80
43	4	5	65.95
44	4	6	77.11
45	4	7	74.16
46	4	8	74.26
47	4	9	64.55
48	4	10	79.02
49	4	11	74.04
50	4	12	63.32
51	4	13	71.80
52	4	14	73.08
53	4	15	64.99
54	4	16	72.85
55	5	6	66.40
56	5	7	71.40
57	5	8	62.79
58	5	9	68.90
59	5	10	67.45
60	5	11	61.83

ตารางที่ 43. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 15 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	68.00
62	5	13	69.08
63	5	14	83.02
64	5	15	60.24
65	5	16	81.17
66	6	7	82.15
67	6	8	66.44
68	6	9	71.07
69	6	10	70.32
70	6	11	61.30
71	6	12	76.10
72	6	13	67.83
73	6	14	68.97
74	6	15	78.29
75	6	16	76.18
76	7	8	65.42
77	7	9	63.74
78	7	10	67.24
79	7	11	62.59
80	7	12	69.41
81	7	13	58.14
82	7	14	71.27
83	7	15	76.59
84	7	16	72.71
85	8	9	63.23
86	8	10	59.95
87	8	11	66.18
88	8	12	64.79
89	8	13	71.90
90	8	14	67.43

ตารางที่ 44. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 15 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	74.93
92	8	16	66.61
93	9	10	60.25
94	9	11	64.08
95	9	12	65.42
96	9	13	78.97
97	9	14	55.63
98	9	15	77.98
99	9	16	76.31
100	10	11	76.87
101	10	12	61.04
102	10	13	81.01
103	10	14	61.73
104	10	15	70.93
105	10	16	70.17
106	11	12	73.21
107	11	13	74.64
108	11	14	68.86
109	11	15	75.33
110	11	16	69.06
111	12	13	73.78
112	12	14	79.92
113	12	15	64.67
114	12	16	75.84
115	13	14	72.08
116	13	15	69.92
117	13	16	79.49
118	14	15	63.35
119	14	16	73.40
120	15	16	79.28

ตารางที่ 45. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 16 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	69.18
2	1	3	50.90
3	1	4	63.02
4	1	5	65.47
5	1	6	61.85
6	1	7	67.83
7	1	8	68.22
8	1	9	64.11
9	1	10	76.60
10	1	11	64.08
11	1	12	66.71
12	1	13	65.07
13	1	14	69.49
14	1	15	62.87
15	1	16	70.99
16	2	3	73.60
17	2	4	70.03
18	2	5	69.68
19	2	6	80.03
20	2	7	68.21
21	2	8	72.90
22	2	9	67.93
23	2	10	74.44
24	2	11	65.88
25	2	12	66.07
26	2	13	66.02
27	2	14	77.11
28	2	15	66.42
29	2	16	66.83
30	3	4	74.20

ตารางที่ 46. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 16 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	61.53
32	3	6	63.90
33	3	7	75.15
34	3	8	68.60
35	3	9	76.93
36	3	10	74.86
37	3	11	77.62
38	3	12	69.94
39	3	13	70.85
40	3	14	79.73
41	3	15	76.13
42	3	16	61.01
43	4	5	67.78
44	4	6	68.33
45	4	7	70.42
46	4	8	74.61
47	4	9	66.71
48	4	10	74.50
49	4	11	74.29
50	4	12	71.80
51	4	13	69.89
52	4	14	79.92
53	4	15	72.28
54	4	16	78.37
55	5	6	64.24
56	5	7	69.60
57	5	8	57.15
58	5	9	73.55
59	5	10	68.70
60	5	11	75.27

ตารางที่ 47. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 16 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	67.80
62	5	13	58.65
63	5	14	73.93
64	5	15	66.39
65	5	16	75.00
66	6	7	68.69
67	6	8	75.63
68	6	9	70.92
69	6	10	80.31
70	6	11	72.05
71	6	12	73.18
72	6	13	79.42
73	6	14	64.27
74	6	15	76.99
75	6	16	74.84
76	7	8	69.29
77	7	9	67.25
78	7	10	55.81
79	7	11	67.00
80	7	12	69.49
81	7	13	65.66
82	7	14	59.24
83	7	15	68.63
84	7	16	81.64
85	8	9	59.85
86	8	10	78.21
87	8	11	70.49
88	8	12	67.16
89	8	13	68.36
90	8	14	63.94

ตารางที่ 48. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 16 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	74.78
92	8	16	66.98
93	9	10	74.63
94	9	11	66.84
95	9	12	66.02
96	9	13	72.17
97	9	14	63.74
98	9	15	67.62
99	9	16	64.16
100	10	11	62.99
101	10	12	62.68
102	10	13	75.79
103	10	14	75.20
104	10	15	90.18
105	10	16	78.24
106	11	12	62.84
107	11	13	74.47
108	11	14	70.10
109	11	15	78.83
110	11	16	75.44
111	12	13	71.90
112	12	14	71.00
113	12	15	69.43
114	12	16	78.64
115	13	14	50.16
116	13	15	54.43
117	13	16	79.78
118	14	15	59.81
119	14	16	65.47
120	15	16	67.11

ตารางที่ 49. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 17 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	67.70
2	1	3	60.31
3	1	4	64.13
4	1	5	57.26
5	1	6	68.51
6	1	7	66.12
7	1	8	69.66
8	1	9	63.27
9	1	10	56.30
10	1	11	61.87
11	1	12	71.17
12	1	13	64.49
13	1	14	67.58
14	1	15	65.82
15	1	16	61.83
16	2	3	66.67
17	2	4	69.18
18	2	5	66.66
19	2	6	62.90
20	2	7	65.97
21	2	8	57.03
22	2	9	71.90
23	2	10	75.55
24	2	11	71.01
25	2	12	71.21
26	2	13	78.82
27	2	14	68.16
28	2	15	70.74
29	2	16	79.56
30	3	4	62.20

ตารางที่ 50. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 17 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	71.40
32	3	6	77.07
33	3	7	65.38
34	3	8	70.46
35	3	9	65.84
36	3	10	83.79
37	3	11	64.07
38	3	12	80.72
39	3	13	64.61
40	3	14	76.03
41	3	15	74.83
42	3	16	70.63
43	4	5	72.96
44	4	6	68.24
45	4	7	55.71
46	4	8	73.67
47	4	9	62.36
48	4	10	62.17
49	4	11	67.31
50	4	12	72.44
51	4	13	68.44
52	4	14	64.79
53	4	15	67.86
54	4	16	62.21
55	5	6	67.56
56	5	7	73.68
57	5	8	65.44
58	5	9	64.67
59	5	10	72.97
60	5	11	66.30

ตารางที่ 51. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 17 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	69.24
62	5	13	62.55
63	5	14	52.57
64	5	15	72.60
65	5	16	74.92
66	6	7	61.64
67	6	8	71.28
68	6	9	81.09
69	6	10	76.73
70	6	11	66.47
71	6	12	73.29
72	6	13	69.99
73	6	14	68.53
74	6	15	83.78
75	6	16	69.90
76	7	8	64.68
77	7	9	76.84
78	7	10	63.74
79	7	11	74.99
80	7	12	62.46
81	7	13	67.42
82	7	14	75.22
83	7	15	73.39
84	7	16	78.24
85	8	9	65.63
86	8	10	63.84
87	8	11	65.62
88	8	12	69.31
89	8	13	65.02
90	8	14	60.09

ตารางที่ 52. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 17 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	71.25
92	8	16	64.62
93	9	10	74.68
94	9	11	71.40
95	9	12	72.40
96	9	13	59.21
97	9	14	69.67
98	9	15	75.25
99	9	16	56.44
100	10	11	77.63
101	10	12	69.63
102	10	13	62.48
103	10	14	50.01
104	10	15	72.15
105	10	16	61.47
106	11	12	66.13
107	11	13	66.35
108	11	14	68.31
109	11	15	78.77
110	11	16	70.14
111	12	13	76.46
112	12	14	67.97
113	12	15	57.55
114	12	16	61.34
115	13	14	60.50
116	13	15	65.81
117	13	16	77.81
118	14	15	71.20
119	14	16	74.70
120	15	16	75.32

ตารางที่ 53. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 18 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	57.89
2	1	3	77.14
3	1	4	58.64
4	1	5	63.50
5	1	6	58.11
6	1	7	66.45
7	1	8	62.27
8	1	9	52.62
9	1	10	62.79
10	1	11	59.69
11	1	12	67.18
12	1	13	60.15
13	1	14	53.78
14	1	15	67.65
15	1	16	65.96
16	2	3	71.34
17	2	4	58.54
18	2	5	62.18
19	2	6	69.74
20	2	7	69.91
21	2	8	55.60
22	2	9	70.19
23	2	10	66.61
24	2	11	76.75
25	2	12	65.75
26	2	13	61.35
27	2	14	57.05
28	2	15	74.78
29	2	16	59.91
30	3	4	56.17

ตารางที่ 54. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 18 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	63.49
32	3	6	72.13
33	3	7	67.24
34	3	8	70.01
35	3	9	69.27
36	3	10	66.66
37	3	11	66.65
38	3	12	74.56
39	3	13	79.87
40	3	14	70.53
41	3	15	65.48
42	3	16	75.99
43	4	5	64.43
44	4	6	67.99
45	4	7	73.97
46	4	8	72.31
47	4	9	71.10
48	4	10	58.58
49	4	11	74.53
50	4	12	73.69
51	4	13	70.32
52	4	14	76.76
53	4	15	73.02
54	4	16	59.63
55	5	6	76.87
56	5	7	62.93
57	5	8	70.68
58	5	9	70.47
59	5	10	67.65
60	5	11	58.37

ตารางที่ 55. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 18 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	67.90
62	5	13	66.14
63	5	14	65.61
64	5	15	68.81
65	5	16	71.02
66	6	7	69.90
67	6	8	64.17
68	6	9	68.68
69	6	10	77.05
70	6	11	74.45
71	6	12	66.06
72	6	13	71.07
73	6	14	71.21
74	6	15	73.01
75	6	16	76.10
76	7	8	64.50
77	7	9	52.86
78	7	10	64.84
79	7	11	68.82
80	7	12	64.48
81	7	13	58.51
82	7	14	50.76
83	7	15	71.48
84	7	16	61.70
85	8	9	53.87
86	8	10	64.58
87	8	11	68.46
88	8	12	65.95
89	8	13	62.22
90	8	14	60.69

ตารางที่ 56. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 18 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	63.51
92	8	16	72.50
93	9	10	68.89
94	9	11	64.73
95	9	12	68.49
96	9	13	70.62
97	9	14	70.23
98	9	15	67.27
99	9	16	78.65
100	10	11	78.50
101	10	12	59.40
102	10	13	57.65
103	10	14	68.98
104	10	15	64.52
105	10	16	70.03
106	11	12	60.70
107	11	13	62.15
108	11	14	74.91
109	11	15	74.24
110	11	16	71.25
111	12	13	68.42
112	12	14	69.98
113	12	15	72.45
114	12	16	78.48
115	13	14	56.14
116	13	15	73.86
117	13	16	55.54
118	14	15	69.95
119	14	16	66.12
120	15	16	81.82

ตารางที่ 57. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 19 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	69.03
2	1	3	70.64
3	1	4	60.73
4	1	5	67.04
5	1	6	59.45
6	1	7	72.76
7	1	8	61.50
8	1	9	61.99
9	1	10	68.79
10	1	11	58.16
11	1	12	63.05
12	1	13	62.13
13	1	14	59.17
14	1	15	54.39
15	1	16	58.50
16	2	3	67.86
17	2	4	67.58
18	2	5	62.97
19	2	6	66.40
20	2	7	65.55
21	2	8	67.53
22	2	9	68.65
23	2	10	68.80
24	2	11	67.77
25	2	12	71.26
26	2	13	70.05
27	2	14	63.12
28	2	15	63.68
29	2	16	64.28
30	3	4	60.21

ตารางที่ 58. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 19 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	59.07
32	3	6	72.96
33	3	7	59.60
34	3	8	71.14
35	3	9	64.02
36	3	10	62.24
37	3	11	77.16
38	3	12	69.82
39	3	13	69.59
40	3	14	64.80
41	3	15	69.98
42	3	16	63.60
43	4	5	65.75
44	4	6	57.19
45	4	7	60.53
46	4	8	80.14
47	4	9	64.86
48	4	10	78.01
49	4	11	64.13
50	4	12	65.79
51	4	13	75.64
52	4	14	68.35
53	4	15	71.48
54	4	16	68.40
55	5	6	66.43
56	5	7	57.44
57	5	8	70.30
58	5	9	62.39
59	5	10	67.39
60	5	11	60.48

ตารางที่ 59. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 19 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	68.67
62	5	13	65.68
63	5	14	73.72
64	5	15	62.53
65	5	16	74.84
66	6	7	67.12
67	6	8	69.62
68	6	9	59.83
69	6	10	74.46
70	6	11	62.69
71	6	12	67.81
72	6	13	74.49
73	6	14	63.56
74	6	15	70.11
75	6	16	69.65
76	7	8	59.94
77	7	9	68.41
78	7	10	60.97
79	7	11	69.52
80	7	12	67.10
81	7	13	58.73
82	7	14	66.47
83	7	15	75.27
84	7	16	67.58
85	8	9	74.80
86	8	10	70.08
87	8	11	70.91
88	8	12	76.44
89	8	13	71.12
90	8	14	63.73

ตารางที่ 60. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 19 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	69.09
92	8	16	70.55
93	9	10	63.57
94	9	11	52.58
95	9	12	70.40
96	9	13	60.90
97	9	14	59.93
98	9	15	73.37
99	9	16	77.42
100	10	11	63.72
101	10	12	63.38
102	10	13	58.40
103	10	14	67.34
104	10	15	69.58
105	10	16	67.92
106	11	12	60.71
107	11	13	74.10
108	11	14	77.30
109	11	15	67.63
110	11	16	75.24
111	12	13	71.43
112	12	14	72.70
113	12	15	72.30
114	12	16	76.13
115	13	14	60.01
116	13	15	78.02
117	13	16	60.01
118	14	15	60.03
119	14	16	71.99
120	15	16	77.93

ตารางที่ 61. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 20 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	63.54
2	1	3	71.29
3	1	4	61.65
4	1	5	59.38
5	1	6	64.83
6	1	7	65.48
7	1	8	66.34
8	1	9	63.04
9	1	10	53.29
10	1	11	56.33
11	1	12	59.79
12	1	13	63.01
13	1	14	54.36
14	1	15	62.60
15	1	16	62.11
16	2	3	78.29
17	2	4	71.40
18	2	5	67.16
19	2	6	58.14
20	2	7	65.99
21	2	8	65.86
22	2	9	58.10
23	2	10	62.81
24	2	11	69.42
25	2	12	68.75
26	2	13	69.57
27	2	14	69.24
28	2	15	68.25
29	2	16	64.33
30	3	4	65.21

ตารางที่ 62. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 20 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	59.89
32	3	6	75.13
33	3	7	73.42
34	3	8	63.00
35	3	9	66.56
36	3	10	71.14
37	3	11	73.03
38	3	12	77.24
39	3	13	71.06
40	3	14	80.62
41	3	15	54.79
42	3	16	65.77
43	4	5	67.87
44	4	6	66.25
45	4	7	65.00
46	4	8	63.44
47	4	9	60.37
48	4	10	67.62
49	4	11	85.52
50	4	12	69.50
51	4	13	60.19
52	4	14	64.73
53	4	15	74.10
54	4	16	58.44
55	5	6	66.99
56	5	7	58.95
57	5	8	63.80
58	5	9	64.29
59	5	10	55.87
60	5	11	67.65

ตารางที่ 63. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 20 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	65.24
62	5	13	67.36
63	5	14	66.67
64	5	15	69.05
65	5	16	80.32
66	6	7	73.44
67	6	8	69.23
68	6	9	76.15
69	6	10	67.70
70	6	11	69.70
71	6	12	61.22
72	6	13	76.46
73	6	14	67.25
74	6	15	65.92
75	6	16	62.54
76	7	8	53.53
77	7	9	70.49
78	7	10	56.18
79	7	11	64.44
80	7	12	68.27
81	7	13	64.32
82	7	14	74.57
83	7	15	82.04
84	7	16	72.52
85	8	9	62.33
86	8	10	87.88
87	8	11	66.32
88	8	12	66.35
89	8	13	61.19
90	8	14	51.19

ตารางที่ 64. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 20 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	65.70
92	8	16	72.66
93	9	10	70.55
94	9	11	66.75
95	9	12	60.22
96	9	13	69.05
97	9	14	65.09
98	9	15	64.08
99	9	16	73.70
100	10	11	68.20
101	10	12	69.94
102	10	13	70.79
103	10	14	61.54
104	10	15	72.11
105	10	16	68.39
106	11	12	70.67
107	11	13	62.36
108	11	14	78.46
109	11	15	74.80
110	11	16	62.93
111	12	13	58.82
112	12	14	65.17
113	12	15	67.64
114	12	16	65.46
115	13	14	65.75
116	13	15	73.69
117	13	16	79.19
118	14	15	60.90
119	14	16	75.98
120	15	16	79.98

ตารางที่ 65. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 21 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	66.52
2	1	3	71.03
3	1	4	51.99
4	1	5	62.74
5	1	6	61.22
6	1	7	62.67
7	1	8	63.71
8	1	9	60.14
9	1	10	60.49
10	1	11	58.66
11	1	12	62.15
12	1	13	51.06
13	1	14	67.92
14	1	15	65.12
15	1	16	61.77
16	2	3	71.99
17	2	4	66.12
18	2	5	68.31
19	2	6	77.21
20	2	7	68.83
21	2	8	68.75
22	2	9	59.88
23	2	10	71.52
24	2	11	63.69
25	2	12	74.70
26	2	13	64.17
27	2	14	58.28
28	2	15	65.96
29	2	16	81.58
30	3	4	58.31

ตารางที่ 66. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 21 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	53.08
32	3	6	66.84
33	3	7	61.80
34	3	8	58.78
35	3	9	77.87
36	3	10	78.09
37	3	11	64.85
38	3	12	71.08
39	3	13	54.24
40	3	14	68.05
41	3	15	70.12
42	3	16	68.66
43	4	5	63.26
44	4	6	63.46
45	4	7	58.42
46	4	8	63.19
47	4	9	57.35
48	4	10	69.08
49	4	11	69.27
50	4	12	61.02
51	4	13	63.48
52	4	14	66.98
53	4	15	71.25
54	4	16	72.56
55	5	6	63.55
56	5	7	74.38
57	5	8	67.34
58	5	9	73.57
59	5	10	66.94
60	5	11	61.44

ตารางที่ 67. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 21 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	70.55
62	5	13	69.94
63	5	14	62.48
64	5	15	72.05
65	5	16	62.25
66	6	7	68.31
67	6	8	72.72
68	6	9	73.12
69	6	10	63.01
70	6	11	60.75
71	6	12	71.78
72	6	13	71.77
73	6	14	64.81
74	6	15	73.64
75	6	16	61.78
76	7	8	58.87
77	7	9	65.11
78	7	10	59.20
79	7	11	67.88
80	7	12	49.28
81	7	13	62.91
82	7	14	71.90
83	7	15	52.98
84	7	16	63.79
85	8	9	66.36
86	8	10	61.44
87	8	11	65.43
88	8	12	67.83
89	8	13	69.49
90	8	14	55.45

ตารางที่ 68. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 21 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	64.62
92	8	16	75.34
93	9	10	55.19
94	9	11	61.97
95	9	12	66.83
96	9	13	64.64
97	9	14	67.74
98	9	15	54.45
99	9	16	68.19
100	10	11	63.51
101	10	12	74.45
102	10	13	69.35
103	10	14	67.63
104	10	15	66.25
105	10	16	63.54
106	11	12	70.07
107	11	13	78.55
108	11	14	68.42
109	11	15	67.43
110	11	16	67.45
111	12	13	61.00
112	12	14	54.68
113	12	15	66.07
114	12	16	78.36
115	13	14	68.42
116	13	15	66.92
117	13	16	73.54
118	14	15	57.77
119	14	16	67.49
120	15	16	80.77

ตารางที่ 69. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 22 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	65.36
2	1	3	62.26
3	1	4	54.06
4	1	5	63.98
5	1	6	66.33
6	1	7	66.07
7	1	8	56.68
8	1	9	63.32
9	1	10	60.22
10	1	11	56.07
11	1	12	54.28
12	1	13	64.65
13	1	14	68.68
14	1	15	66.86
15	1	16	65.18
16	2	3	61.48
17	2	4	60.14
18	2	5	68.13
19	2	6	60.29
20	2	7	61.72
21	2	8	58.90
22	2	9	62.66
23	2	10	62.35
24	2	11	64.64
25	2	12	67.13
26	2	13	65.67
27	2	14	62.95
28	2	15	76.09
29	2	16	58.66
30	3	4	69.40

ตารางที่ 70. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 22 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	68.46
32	3	6	64.62
33	3	7	71.30
34	3	8	70.36
35	3	9	78.01
36	3	10	59.30
37	3	11	56.26
38	3	12	60.03
39	3	13	47.00
40	3	14	64.04
41	3	15	71.88
42	3	16	71.97
43	4	5	61.82
44	4	6	62.55
45	4	7	65.19
46	4	8	66.61
47	4	9	65.61
48	4	10	61.29
49	4	11	74.34
50	4	12	62.11
51	4	13	81.23
52	4	14	66.18
53	4	15	74.12
54	4	16	64.26
55	5	6	66.00
56	5	7	61.02
57	5	8	63.48
58	5	9	60.89
59	5	10	56.70
60	5	11	66.70

ตารางที่ 71. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 22 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	70.41
62	5	13	68.42
63	5	14	64.98
64	5	15	62.51
65	5	16	73.60
66	6	7	67.62
67	6	8	72.76
68	6	9	63.40
69	6	10	68.88
70	6	11	63.34
71	6	12	59.78
72	6	13	56.52
73	6	14	54.29
74	6	15	75.57
75	6	16	66.10
76	7	8	64.89
77	7	9	49.95
78	7	10	70.86
79	7	11	56.37
80	7	12	51.85
81	7	13	60.46
82	7	14	55.13
83	7	15	63.73
84	7	16	68.18
85	8	9	49.67
86	8	10	56.38
87	8	11	70.63
88	8	12	63.83
89	8	13	59.14
90	8	14	56.20

ตารางที่ 72. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 22 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	61.95
92	8	16	68.17
93	9	10	58.16
94	9	11	67.21
95	9	12	68.68
96	9	13	64.93
97	9	14	76.24
98	9	15	64.99
99	9	16	59.32
100	10	11	69.84
101	10	12	62.77
102	10	13	69.84
103	10	14	70.30
104	10	15	67.62
105	10	16	72.65
106	11	12	55.55
107	11	13	69.61
108	11	14	62.72
109	11	15	76.43
110	11	16	71.73
111	12	13	69.81
112	12	14	67.67
113	12	15	56.27
114	12	16	68.93
115	13	14	59.69
116	13	15	59.33
117	13	16	62.87
118	14	15	69.04
119	14	16	62.93
120	15	16	78.90

ตารางที่ 73. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 23 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	66.67
2	1	3	54.45
3	1	4	53.44
4	1	5	60.05
5	1	6	58.26
6	1	7	57.60
7	1	8	61.50
8	1	9	59.95
9	1	10	66.75
10	1	11	63.73
11	1	12	56.37
12	1	13	57.18
13	1	14	66.77
14	1	15	63.30
15	1	16	61.46
16	2	3	60.84
17	2	4	75.92
18	2	5	56.05
19	2	6	62.01
20	2	7	61.35
21	2	8	70.67
22	2	9	67.58
23	2	10	66.42
24	2	11	64.32
25	2	12	76.05
26	2	13	73.83
27	2	14	63.89
28	2	15	67.75
29	2	16	64.31
30	3	4	72.72

ตารางที่ 74. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 23 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	69.63
32	3	6	70.60
33	3	7	62.57
34	3	8	63.09
35	3	9	69.43
36	3	10	74.97
37	3	11	72.26
38	3	12	69.84
39	3	13	61.85
40	3	14	65.68
41	3	15	76.27
42	3	16	63.56
43	4	5	56.06
44	4	6	60.91
45	4	7	66.99
46	4	8	54.76
47	4	9	67.45
48	4	10	60.34
49	4	11	59.89
50	4	12	65.20
51	4	13	59.95
52	4	14	49.80
53	4	15	61.11
54	4	16	53.80
55	5	6	63.09
56	5	7	59.09
57	5	8	66.45
58	5	9	53.51
59	5	10	71.42
60	5	11	61.26

ตารางที่ 75. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 23 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	59.78
62	5	13	60.01
63	5	14	67.40
64	5	15	65.91
65	5	16	71.88
66	6	7	64.53
67	6	8	78.29
68	6	9	68.33
69	6	10	76.88
70	6	11	62.87
71	6	12	68.25
72	6	13	78.05
73	6	14	79.94
74	6	15	76.17
75	6	16	74.07
76	7	8	47.53
77	7	9	66.64
78	7	10	62.34
79	7	11	65.56
80	7	12	52.06
81	7	13	55.55
82	7	14	59.70
83	7	15	63.77
84	7	16	71.03
85	8	9	57.32
86	8	10	65.28
87	8	11	68.43
88	8	12	65.82
89	8	13	64.50
90	8	14	49.39

ตารางที่ 76. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 23 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	61.45
92	8	16	73.52
93	9	10	50.35
94	9	11	69.98
95	9	12	61.12
96	9	13	54.88
97	9	14	60.78
98	9	15	60.57
99	9	16	73.63
100	10	11	64.39
101	10	12	68.11
102	10	13	69.36
103	10	14	74.22
104	10	15	69.17
105	10	16	63.35
106	11	12	65.57
107	11	13	53.08
108	11	14	74.13
109	11	15	61.56
110	11	16	70.07
111	12	13	60.87
112	12	14	69.43
113	12	15	55.68
114	12	16	73.18
115	13	14	66.53
116	13	15	69.86
117	13	16	70.01
118	14	15	61.44
119	14	16	64.48
120	15	16	76.77

ตารางที่ 77. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 24 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	67.05
2	1	3	63.70
3	1	4	64.29
4	1	5	54.50
5	1	6	71.53
6	1	7	66.13
7	1	8	69.56
8	1	9	58.24
9	1	10	68.41
10	1	11	53.87
11	1	12	63.52
12	1	13	57.62
13	1	14	64.86
14	1	15	56.88
15	1	16	53.94
16	2	3	59.26
17	2	4	60.81
18	2	5	68.96
19	2	6	61.57
20	2	7	54.01
21	2	8	68.81
22	2	9	56.04
23	2	10	55.12
24	2	11	63.96
25	2	12	61.25
26	2	13	66.59
27	2	14	59.58
28	2	15	80.15
29	2	16	75.16
30	3	4	57.14

ตารางที่ 78. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 24 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	56.68
32	3	6	67.48
33	3	7	57.01
34	3	8	64.60
35	3	9	66.56
36	3	10	66.65
37	3	11	62.81
38	3	12	62.80
39	3	13	60.07
40	3	14	60.34
41	3	15	57.92
42	3	16	72.61
43	4	5	64.10
44	4	6	68.36
45	4	7	76.93
46	4	8	65.94
47	4	9	55.09
48	4	10	67.19
49	4	11	71.85
50	4	12	63.98
51	4	13	63.81
52	4	14	53.92
53	4	15	63.11
54	4	16	66.05
55	5	6	57.13
56	5	7	63.20
57	5	8	72.02
58	5	9	62.95
59	5	10	57.32
60	5	11	65.65

ตารางที่ 79. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 24 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	65.88
62	5	13	63.24
63	5	14	56.84
64	5	15	65.03
65	5	16	72.70
66	6	7	68.74
67	6	8	70.36
68	6	9	55.89
69	6	10	64.88
70	6	11	48.89
71	6	12	63.17
72	6	13	70.58
73	6	14	73.73
74	6	15	61.13
75	6	16	69.55
76	7	8	75.26
77	7	9	57.53
78	7	10	68.36
79	7	11	65.19
80	7	12	55.29
81	7	13	64.01
82	7	14	66.55
83	7	15	51.95
84	7	16	63.77
85	8	9	62.39
86	8	10	66.54
87	8	11	68.79
88	8	12	63.63
89	8	13	60.75
90	8	14	53.99

ตารางที่ 80. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 24 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	64.78
92	8	16	72.03
93	9	10	52.32
94	9	11	70.44
95	9	12	62.23
96	9	13	53.58
97	9	14	65.78
98	9	15	69.83
99	9	16	75.81
100	10	11	61.15
101	10	12	62.58
102	10	13	72.70
103	10	14	60.07
104	10	15	63.39
105	10	16	64.89
106	11	12	64.85
107	11	13	60.56
108	11	14	66.17
109	11	15	69.47
110	11	16	52.34
111	12	13	45.94
112	12	14	71.39
113	12	15	73.03
114	12	16	66.44
115	13	14	58.05
116	13	15	70.90
117	13	16	53.34
118	14	15	59.16
119	14	16	72.81
120	15	16	65.19

ตารางที่ 81. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแบบแฝง 25 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	54.34
2	1	3	62.08
3	1	4	59.08
4	1	5	56.05
5	1	6	62.39
6	1	7	56.47
7	1	8	58.74
8	1	9	47.06
9	1	10	65.75
10	1	11	56.60
11	1	12	52.61
12	1	13	65.11
13	1	14	60.24
14	1	15	60.85
15	1	16	63.45
16	2	3	57.29
17	2	4	68.48
18	2	5	66.72
19	2	6	70.98
20	2	7	59.71
21	2	8	61.23
22	2	9	62.76
23	2	10	64.97
24	2	11	68.60
25	2	12	55.54
26	2	13	65.50
27	2	14	61.66
28	2	15	65.51
29	2	16	70.48
30	3	4	54.48

ตารางที่ 82. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 25 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	53.98
32	3	6	57.90
33	3	7	64.78
34	3	8	66.28
35	3	9	73.78
36	3	10	68.69
37	3	11	66.68
38	3	12	77.78
39	3	13	62.47
40	3	14	68.95
41	3	15	74.38
42	3	16	61.45
43	4	5	54.30
44	4	6	62.62
45	4	7	61.65
46	4	8	66.74
47	4	9	64.95
48	4	10	63.38
49	4	11	66.66
50	4	12	67.46
51	4	13	64.89
52	4	14	57.70
53	4	15	73.76
54	4	16	69.90
55	5	6	70.32
56	5	7	54.68
57	5	8	60.82
58	5	9	61.87
59	5	10	51.64
60	5	11	57.68

ตารางที่ 83. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 25 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	59.25
62	5	13	68.35
63	5	14	62.71
64	5	15	58.12
65	5	16	61.67
66	6	7	66.42
67	6	8	60.39
68	6	9	69.80
69	6	10	71.98
70	6	11	68.48
71	6	12	68.26
72	6	13	59.64
73	6	14	60.81
74	6	15	71.57
75	6	16	76.64
76	7	8	50.37
77	7	9	65.94
78	7	10	52.60
79	7	11	58.63
80	7	12	56.14
81	7	13	56.83
82	7	14	53.81
83	7	15	60.88
84	7	16	67.88
85	8	9	52.52
86	8	10	62.21
87	8	11	67.62
88	8	12	58.12
89	8	13	54.86
90	8	14	56.01

ตารางที่ 84. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน
จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 25 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	60.62
92	8	16	66.42
93	9	10	70.69
94	9	11	56.67
95	9	12	58.71
96	9	13	55.12
97	9	14	61.72
98	9	15	73.43
99	9	16	69.87
100	10	11	69.92
101	10	12	69.42
102	10	13	57.17
103	10	14	55.69
104	10	15	60.78
105	10	16	78.49
106	11	12	64.13
107	11	13	58.27
108	11	14	63.51
109	11	15	58.67
110	11	16	64.48
111	12	13	69.75
112	12	14	58.04
113	12	15	60.65
114	12	16	73.99
115	13	14	50.03
116	13	15	69.39
117	13	16	63.36
118	14	15	52.98
119	14	16	54.97
120	15	16	68.12

ตารางที่ 85. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 26 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 1 - 30

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	1	2	63.75
2	1	3	62.35
3	1	4	65.38
4	1	5	49.01
5	1	6	61.57
6	1	7	49.78
7	1	8	53.39
8	1	9	48.08
9	1	10	51.97
10	1	11	66.67
11	1	12	57.16
12	1	13	63.34
13	1	14	55.74
14	1	15	65.40
15	1	16	62.00
16	2	3	65.94
17	2	4	49.56
18	2	5	59.19
19	2	6	77.09
20	2	7	61.67
21	2	8	63.19
22	2	9	53.54
23	2	10	63.94
24	2	11	64.85
25	2	12	60.56
26	2	13	65.03
27	2	14	62.78
28	2	15	68.13
29	2	16	64.24
30	3	4	55.78

ตารางที่ 86. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 26 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 31 – 60

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
31	3	5	65.84
32	3	6	56.51
33	3	7	63.32
34	3	8	57.42
35	3	9	59.26
36	3	10	61.77
37	3	11	64.34
38	3	12	57.59
39	3	13	65.75
40	3	14	65.75
41	3	15	63.99
42	3	16	60.28
43	4	5	61.67
44	4	6	68.28
45	4	7	57.85
46	4	8	61.02
47	4	9	48.54
48	4	10	72.68
49	4	11	61.24
50	4	12	65.62
51	4	13	63.30
52	4	14	54.00
53	4	15	57.73
54	4	16	65.44
55	5	6	56.16
56	5	7	67.21
57	5	8	54.10
58	5	9	58.74
59	5	10	57.02
60	5	11	64.12

ตารางที่ 87. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 26 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 61 - 90

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
61	5	12	57.12
62	5	13	63.74
63	5	14	54.80
64	5	15	60.97
65	5	16	69.60
66	6	7	67.60
67	6	8	60.80
68	6	9	65.17
69	6	10	63.90
70	6	11	59.65
71	6	12	61.63
72	6	13	73.63
73	6	14	63.26
74	6	15	60.88
75	6	16	65.40
76	7	8	59.25
77	7	9	49.40
78	7	10	59.65
79	7	11	55.32
80	7	12	62.13
81	7	13	51.63
82	7	14	55.01
83	7	15	64.53
84	7	16	62.75
85	8	9	37.45
86	8	10	63.83
87	8	11	52.56
88	8	12	63.93
89	8	13	62.04
90	8	14	53.25

ตารางที่ 88. ค่าร้อยละของความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลอง 40 คน

จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 26 เซลล์ การจับคู่ตำแหน่งลำดับ 91 - 120

ลำดับ	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
91	8	15	73.52
92	8	16	68.26
93	9	10	59.36
94	9	11	69.59
95	9	12	58.50
96	9	13	48.26
97	9	14	61.88
98	9	15	60.10
99	9	16	55.93
100	10	11	61.50
101	10	12	64.23
102	10	13	59.75
103	10	14	70.62
104	10	15	77.15
105	10	16	54.44
106	11	12	60.18
107	11	13	54.41
108	11	14	71.95
109	11	15	61.30
110	11	16	67.98
111	12	13	67.43
112	12	14	55.31
113	12	15	64.32
114	12	16	69.04
115	13	14	68.12
116	13	15	61.75
117	13	16	72.30
118	14	15	65.67
119	14	16	65.24
120	15	16	66.43

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

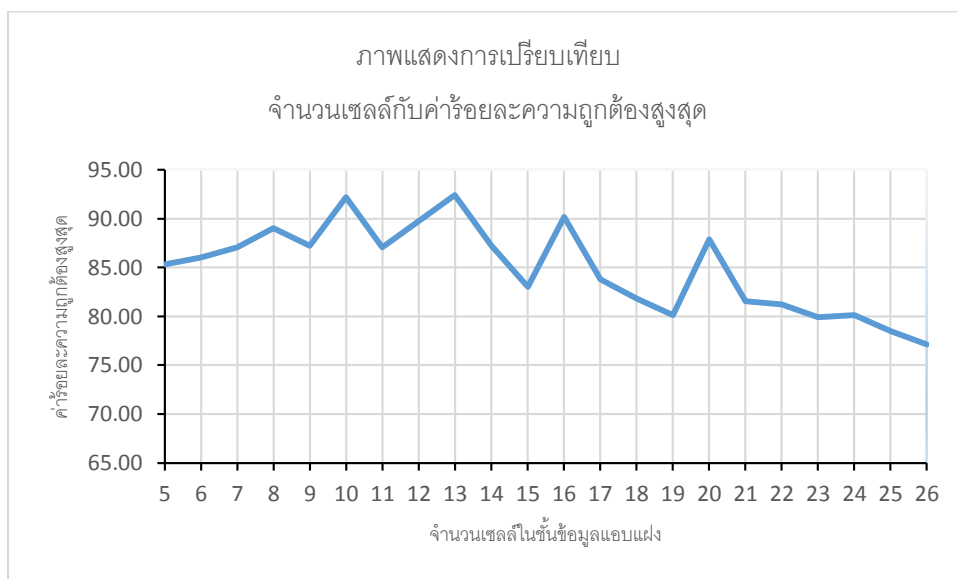
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากผลการทดลองเพื่อหาค่าความถูกต้องในการพิสูจน์ตัวตนของกลุ่มผู้ทดลองจำนวน 40 คน ซึ่งได้มีการทดลองการจับคู่ตำแหน่งในการจัดเก็บข้อมูลคลื่นสมองของทุกตำแหน่ง โดยใช้จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝงตั้งแต่ 5 - 26 ได้ผลเป็นร้อยละของความสามารถในการพิสูจน์ตัวตนในตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 88 โดยสามารถสรุปค่ามากที่สุดและในตารางที่ 89

ตารางที่ 89. ค่าร้อยละของความถูกต้องสูงสุดในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ทดลองจำนวน 40 คน ของในการใช้จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝงตั้งแต่ 5 – 26 เซลล์

ลำดับ	จำนวนเซลล์	ตำแหน่ง1	ตำแหน่ง2	ค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุด
1	5	2	10	85.30
2	6	10	13	86.04
3	7	9	10	87.06
4	8	3	10	89.03
5	9	14	16	87.25
6	10	10	16	92.22
7	11	9	10	87.06
8	12	6	10	89.74
9	13	10	15	92.41
10	14	10	16	87.31
11	15	5	14	83.02
12	16	10	15	90.18
13	17	3	10	83.79
14	18	15	16	81.82
15	19	4	8	80.14
16	20	8	10	87.88
17	21	2	16	81.58
18	22	4	13	81.23
19	23	6	4	79.94
20	24	2	15	80.15
21	25	10	16	78.49
22	26	10	15	77.15

จากตารางที่ 89 พบว่าจำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมแปง 13 เซลล์ ให้ค่าร้อยละของความถูกต้องสูงสุดในการทดสอบคือ 92.41 โดยมีตำแหน่งของคลื่นสมองที่ตำแหน่ง 10 และ 15 รองลงมา มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าร้อยละของความถูกต้องสูงสุดที่ 92.22 โดยมีตำแหน่งของคลื่นสมองที่ตำแหน่ง 10 และ 16 จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมแปงที่ 10 เซลล์ จากผลการทดลองยังพบว่า มีค่าร้อยละของความถูกต้องต่ำสุดในการทดสอบอยู่ที่ 77.15 โดยมีตำแหน่งของคลื่นสมองที่ตำแหน่ง 10 และ 15 เหมือนกับตำแหน่งที่ได้ค่าร้อยละของความถูกต้องสูงสุด จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมแปงอยู่ที่ 26 เซลล์ จากค่าความถูกต้องของการพิสูจน์ตัวตนสูงสุด โดยใช้จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมแปงตั้งแต่ 5-26 สามารถแสดงเป็นภาพในการเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจนในภาพประกอบ 13



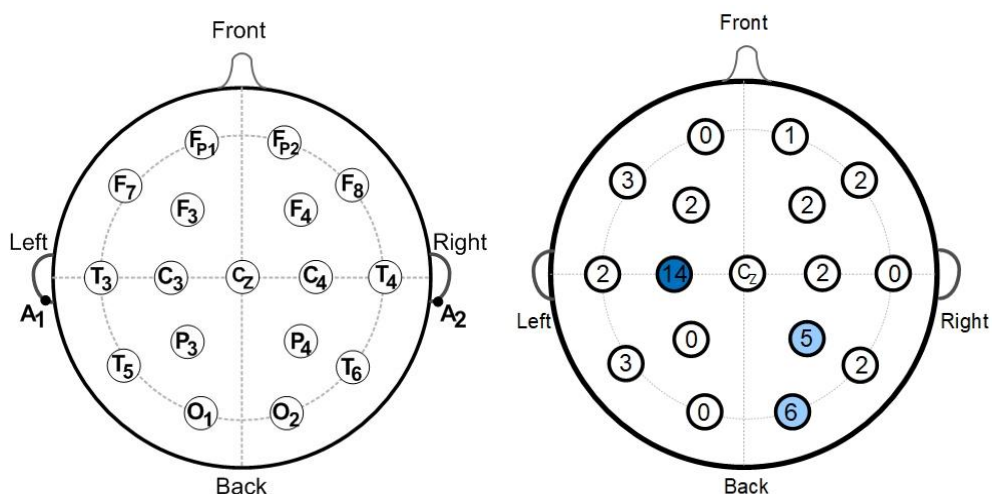
ภาพประกอบ 13 การเปรียบเทียบจำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมแปงและค่าร้อยละความถูกต้องสูงสุดของการพิสูจน์ตัวตน

ถ้านำตำแหน่งที่ได้ค่าความถูกต้องสูงสุดของการพิสูจน์ตัวตน ในแต่ละจำนวนเซลล์มาหาค่าความถี่ พบว่าตำแหน่งที่มีความถี่สูงสุดอันดับ 1 คือตำแหน่งที่ 10 โดยมีความถี่ 14 จากจำนวนความถี่ทั้งหมด 44 ตำแหน่งที่มีความถี่สูงสุดอันดับ 2 คือตำแหน่งที่ 16 โดยมีความถี่ 6 และตำแหน่งที่มีความถี่สูงสุดอันดับ 3 คือตำแหน่งที่ 15 โดยมีความถี่อยู่ที่ 5 ส่วนตำแหน่งที่มีความถี่น้อยที่สุดคือศูนย์ มีอยู่ 4 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งที่ 7 ตำแหน่งที่ 11 และตำแหน่งที่ 12 รายละเอียดได้แสดงไว้ในตารางที่ 90

ตารางที่ 90. ค่าความถี่ของตำแหน่งคลื่นสมองที่ได้ค่าร้อยละของความถูกต้องสูงสุด ในการใช้จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอมพลิจูดตั้งแต่ 5 – 26 เซลล์

ตำแหน่ง	ความถี่
1	0
2	3
3	2
4	3
5	1
6	2
7	0
8	2
9	2
10	14
11	0
12	0
13	2
14	2
15	5
16	6
รวม	44

จากตำแหน่งที่มีความถี่สูงสุดอันดับ 1 คือตำแหน่งที่ 10 ตรงกับตำแหน่ง C_3 โดยตำแหน่ง C_3 อยู่ในส่วน Primary somatosensory cortex เป็นส่วนของสมองที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการสัมผัสและความรู้สึก ตลอดจนการติดตามตำแหน่งของส่วนต่างๆของร่างกาย



ภาพประกอบ 14 การเปรียบเทียบตำแหน่งและค่าความถี่ของตำแหน่งคลื่นสมองที่ได้ค่าร้อยละของความถูกต้องสูงสุด ในการใช้จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝงตั้งแต่ 5 – 26 เซลล์

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้ตำแหน่ง 2 ตำแหน่งในการพิสูจน์ตัวตน โดยมีการทดลองกับผู้ทดลอง 20 คน ได้ค่าร้อยละของความถูกต้องเพียง 61.67 (Tangkraingki P., et al. 2010:419-430) เพื่อเป็นการทดสอบว่าผลที่ได้จากการใช้คลื่นสมองช่วง Delta ซึ่งเป็นช่วงคลื่นสมองที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิร์ตซ์ มาแทนคลื่นสมองทุกช่วงความถี่ รวมทั้งมีการใช้เซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงที่เหมาะสม มีความสามารถในการแยกแยะบุคคลได้ดีกว่า จึงทำการทดลองเพิ่มโดยใช้เงื่อนไขของ (Tangkraingki P., et al. 2010:419-430) ซึ่งจะใช้คลื่นสมองทุกช่วงความถี่โดยใช้ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 7 โดยใช้เซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝง 20 เซลล์ ใช้จำนวนผู้ทดลอง 40 คน มาทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการใช้คลื่นสมองช่วง Delta และใช้เซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงที่เหมาะสมซึ่งได้ผลจากการทดลองนี้ ผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 91

ตารางที่ 91. การเปรียบเทียบค่าร้อยละของความถูกต้อง ของการใช้คลื่นสมองทุกความถี่ กับ การใช้คลื่นสมองช่วง Delta และใช้เซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงที่เหมาะสม

ครั้งที่ทดลอง	ค่าร้อยละของความถูกต้องของ การใช้คลื่นสมองทุกช่วง จำนวน เซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝง 20 เซลล์	ค่าร้อยละของความถูกต้องของการ ใช้คลื่นสมองช่วงDelta จำนวน เซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝง ที่เหมาะสม (13 เซลล์)
1	28.26	67.55
2	30.36	58.77
3	35.50	53.52
4	39.48	46.96
5	40.39	43.85
6	20.01	92.41
7	42.01	80.79
8	41.79	67.2
9	38.51	63.99
10	46.40	66.72
ค่าสูงสุด	46.40	92.41
ค่าเฉลี่ย	36.27	64.18
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.90	14.73
สัมประสิทธิ์ของความผันแปร	21.79	22.95

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ตำแหน่งที่เหมาะสม 2 ตำแหน่งในการจัดเก็บคลื่นสมองเพื่อการพิสูจน์ตัวตน โดยมีการใช้คลื่นสมองช่วง Delta ซึ่งเป็นคลื่นสมองที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิรตซ์ และใช้จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่ใช้ในการพิสูจน์ตัวตน โดยมีการจัดเก็บคลื่นสมองของคนจำนวน 40 คน นำคลื่นสมองสัญญาณคลื่นสมองความยาว 1000 ข้อมูล มาผ่านเทคนิคการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบอิสระโดยขั้นตอนวิธี SOBIRO สำหรับแยกแยะสัญญาณที่เกิดจากการผสมสัญญาณหลายสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณเดิม หลังจากนั้นทำการแยกคลื่นสมองช่วง Delta มาใช้โครงข่ายประสาทแบบมีการสอนเพื่อการพิสูจน์ตัวตน โดยในการทดลองมีการใช้เซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝง ตั้งแต่ 5-26 เซลล์ประสาท โดยทำการทดลองจับคู่ของตำแหน่งในการจัดเก็บคลื่นสมองเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด จากจำนวนทั้งหมด 16 ตำแหน่ง

จากผลการทดลองในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝง ตั้งแต่ 5-26 เซลล์ประสาท พบว่าค่าร้อยละของความถูกต้องสูงสุดในการทดลองคือ 92.41 โดยมีตำแหน่งของคลื่นสมองที่ตำแหน่ง 10 และ 15 ใช้จำนวนเซลล์ในชั้นข้อมูลแอบแฝง 13 เซลล์ ถ้านำตำแหน่งที่ได้ค่าร้อยละของความถูกต้องสูงสุดโดยใช้จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงตั้งแต่ 5-26 เซลล์ประสาท มาหาความถี่เพื่อที่จะได้ตำแหน่งที่มีความสำคัญสูงสุดของการพิสูจน์ตัวตนพบว่า ตำแหน่งที่ 10 ตรงกับตำแหน่ง C_3 เป็นตำแหน่งที่อยู่ในส่วนสมอง Primary somatosensory cortex ซึ่งเป็นส่วนของสมองที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการสัมผัสและความรู้สึก ตลอดจนการติดตามตำแหน่งของส่วนต่างๆของร่างกาย

5.2 อภิปราย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้ตำแหน่ง 2 ตำแหน่งในการพิสูจน์ตัวตน โดยมีการทดลองกับผู้ทดลอง 20 คน ได้ค่าร้อยละของความถูกต้องเพียง 61.67 (Tangkraingki P., et al. 2010:419-430) งานวิจัยนี้มีการปรับปรุงเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบอิสระ โดยขั้นตอนวิธี SOBIRO สำหรับแยกแยะสัญญาณที่เกิดจากการผสมสัญญาณหลายสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณเดิม ใช้คลื่นสมองช่วง Delta ซึ่งเป็นช่วงคลื่นสมองที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิร์ตซ์ มาแทนคลื่นสมองทุกช่วงความถี่ มีการใช้เซลล์ประสาทในชั้นข้อมูลแอบแฝงจำนวน 13 เซลล์ประสาท จากการปรับปรุงเทคนิคต่างๆที่กล่าวมา พบว่าสามารถเพิ่มค่าร้อยละของความถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็น 92.41 และสามารถเพิ่มผู้ทดลองเป็น 40 คน

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากวิธีในการจำแนกกลุ่มข้อมูลมีหลายวิธี ดังนั้นเป็นที่น่าสนใจว่าวิธีการจำแนกกลุ่มข้อมูลวิธีอื่นๆจะมีความสามารถในการพิสูจน์ตัวตนโดยใช้คลื่นสมองเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้โครงข่ายประสาทเทียม

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- Berry, M.J.A., and Linoff, G., 1997. **Data Mining Techniques**, NY: John Wiley & Sons.
- Blum, A., 1992. **Neural Networks in C++**, NY: Wiley.
- Boger, Z., and Guterman, H., 1997. “Knowledge extraction from artificial neural network models”, IEEE Systems, Man, and Cybernetics Conference, Orlando, FL, USA.
- Cichocki A., 2004. Blind Signal Processing Methods for Analyzing Multichannel Brain Signals, **International Journal of Bioelectromagnetism** 6, 1.
- Cichocki A., Amari S., Siwek K., Tanaka T., et al.: ICALAB toolboxes. Available online at <http://www.bsp.brain.riken.jp/ICALAB>
- Jain AK., Ross A., Prabhakar S., 2004. “An introduction to biometric recognition.” **IEEE Trans Circuits Syst Video Technol** 14, 1: 4–20.
- Kaewwit C., Lursinsap C., Sophatsathit P. 2017. “High accuracy EEG biometrics identification using ICA And AR Model”, **Journal Of Ict**, 16, 2: 354-373.
- Marcel S, Millan J., 2007. “Person authentication using brainwaves (EEG) and maximum a posteriori model adaptation.” **IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell** 29, 4: 743–752.
- Paranjape RB., Mahovsky J., Benedicenti L., Koles Z., 2001. “The electroencephalogram as a biometrics.” **Proc Can Conf Electr. ComputEng** 2: 1363–1366.
- Poulos M., Rangoussi M., Alexandris N., Evangelou A., 2001. “A On the use of EEG features towards person identification via neural networks.” **Med Inform Internet Med** 26, 1: 35–48.
- Poulos M., Rangoussi M., Alexandris N., Evangelou A., 2002. “Person identification from the EEG using nonlinear signal classification.” **Methods Inf Med** 41, 1: 64–75.
- Palaniappan R., Ravi KVR., 2003. “A new method to identify individuals using signals from the brain.” Proceedings of fourth international conference information communication and signal processing: 15–18.
- Palaniappan R., Mandic D.P., 2007. “Biometrics from brain electrical activity: a machine learning approach.” **IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell** 29: 738–742.

- Palaniappan R., 2004. "Method of identifying individuals using VEP signals and neural network." **IEEE Proc Sci Mea Technol** 151, 1: 16–20.
- Palaniappan R., Mandic D.P., 2007. "EEG based biometric framework for automatic identity verification." **VLSI Signal Process** 2, 2: 243–250.
- Tangkraingki P., Lursinsap C., Sanguansintukul S., Desudchit.T., 2009. "Selecting relevant EEG signal locations for personal identification problem using ICA and neural network." Eighth IEEE/ACIS international conference on computer and information science (ICIS2009): 616–621.
- Tangkraingki P., Lursinsap C., Sanguansintukul S., Desudchit T., 2010. "Personal identification by EEG using ICA and neural network." Computational science and its applications (ICCSA2010), Lecture Notes in Computer Science vol 6018: 419–430.
- Tangkraingki P., Lursinsap C., Sanguansintukul S., Desudchit T., 2013. "Insider and outsider person authentication with minimum number of brain wave signals by neural and homogeneous identity filtering." **Neural Computing & Applications**, Volume 22, Issue 1 Supplement: 463-476.
- Tangkraingki P., 2015. "Significant Frequency Range of Brainwave Signals for Authentication." Study in Computer Intelligence 612. (Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing 2015): 103-113.
- Tangkraingki P., Montapun A., Nakavisut. I. 2017. "An Appropriate Number of Neurons in a Hidden Layer for Personal Authentication Using Delta Brainwave Signals", 2nd International Conference on Control and Robotics Engineering: 232 -236.
- Wu Q., Zeng Y., Zhang C., Tong L, Yan B. 2018. "An EEG-based person authentication system with open setcapability combining eye blinking signals." **Sensors** 2018, 18, 335
- Wim van Drongelen. 2007. **Signal Processing for Neuroscientists. An introduction to the analysis of physiological signals**: Academic press.
- Yeredor A., 2000. "Blind Separation of Gaussian Sources via Second-Order Statistics with Asymptotically Optimal Weighting." **IEEE Signal Processing Letters** 7, 7: 197-200.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นายปรีชา ตั้งเกรียงกิจ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 7 ธันวาคม 2508
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 363/1-2 ถนนพหลโยธิน เขตบางเขน กทม. 10220
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ประยุกต์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2532 วศ.บ. จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2545 วท.ม. จากสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ พ.ศ. 2555 วท.ด. จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย