

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองประสิทธิภาพการทำงานของต้นแบบถุงมืออิเล็กทรอนิกส์และระบบจดจำภาษามือไทย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม คือ การทดลองประสิทธิภาพการตรวจจับการงอและเหยียดนิ้วของต้นแบบถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ การทดลองประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมระหว่างแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมและแบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม และการทดลองสุดท้ายเป็นการนำเอาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าความแม่นยำที่ดีที่สุดจากการทดลองที่หนึ่งมาทำการทดลองประสิทธิภาพของระบบจดจำภาษามือไทย

1. การทดลองประสิทธิภาพการตรวจจับการงอและเหยียดนิ้วของต้นแบบถุงมืออิเล็กทรอนิกส์

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อทดสอบความละเอียดในการวัดมุมการงอนิ้วมือโดยใช้ต้นแบบถุงมืออิเล็กทรอนิกส์ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยทำการทดลองวัดองศาการงอของนิ้วข้อกลางในช่วง 0 ถึง 100 องศาและวัดองศาการงอของนิ้วข้อโคนในช่วง 0 ถึง 90 องศาของนิ้วทั้งห้านี้ เป็นจำนวน 10 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนจากค่าที่ได้จากการวัดองศาการงอของนิ้ว ผลที่ได้ คือ ความละเอียดในการวัดองศาการงอของนิ้วข้อโคนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.03 องศา (ตารางที่ 4.1) สำหรับความละเอียดในการวัดองศาการงอของนิ้วข้อกลางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.04 องศา (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดองศาการงอของข้อโคนนิ้ว

องศา	ค่าที่ได้จากการวัดมุมการงอนิ้ว	ข้อโคนนิ้ว				
		นิ้วชี้	นิ้วกลาง	นิ้วนาง	นิ้วก้อย	นิ้วโป้ง
0	$\bar{X}_{10}$	288.20	1090.00	945.60	104.90	116.60
	S.D.	0.40	0.63	0.80	0.54	0.66
15	$\bar{X}_{10}$	2025.00	1900.50	1831.10	1940.10	932.00
	S.D.	14.93	15.52	48.71	46.28	267.50
30	$\bar{X}_{10}$	2132.00	2023.90	2034.00	2121.10	1816.90
	S.D.	8.39	10.86	2.65	17.63	38.47
45	$\bar{X}_{10}$	2319.20	2136.40	2157.40	2400.00	1986.00
	S.D.	28.73	28.32	26.35	75.62	21.26
60	$\bar{X}_{10}$	2904.10	2612.40	2708.90	2906.70	2060.90
	S.D.	96.17	122.14	229.25	405.82	15.40

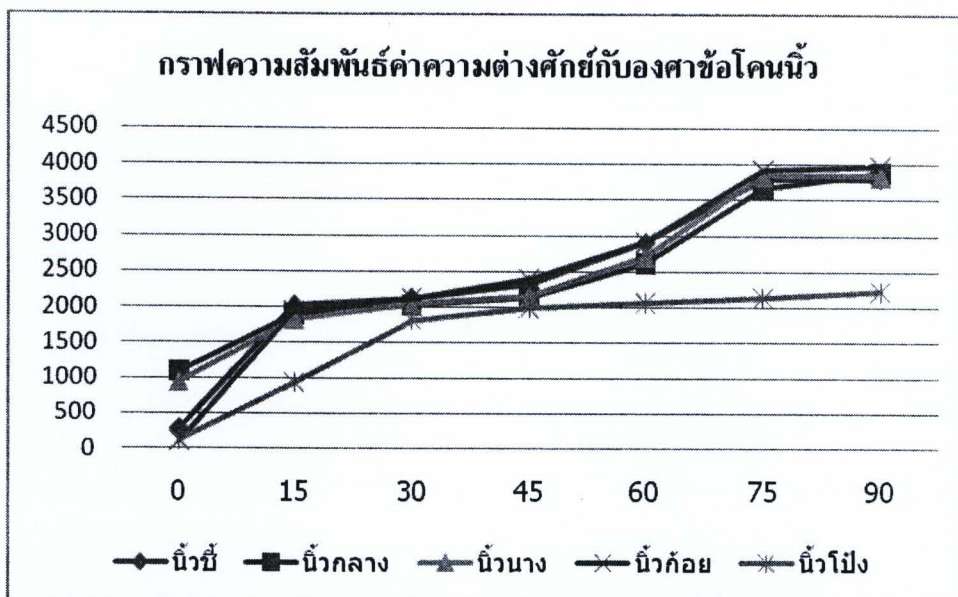


ตารางที่ 4.1 ผลการวัดองค์การของข้อโคนนิ้ว (ต่อ)

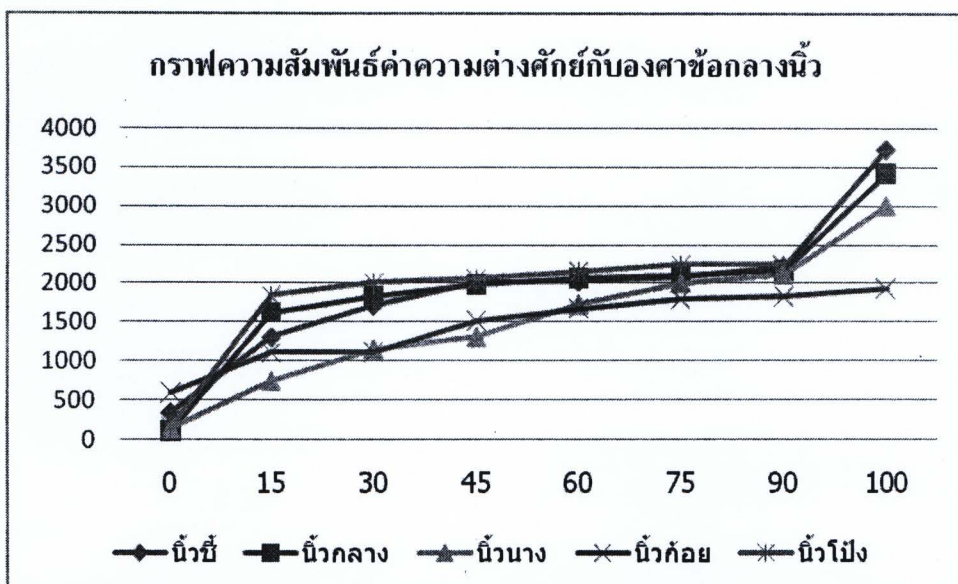
องศา	ค่าที่ได้จากการวัดมุมการงอนิ้ว	ข้อโคนนิ้ว				
		นิ้วชี้	นิ้วกลาง	นิ้วนาง	นิ้วก้อย	นิ้วโป้ง
75	$\bar{X}_{10}$	3790.10	3654.10	3833.50	3917.80	2139.20
	S.D.	7.94	189.55	25.69	56.69	28.18
90	$\bar{X}_{10}$	3794.30	3876.20	3829.70	3974.10	2230.50
	S.D.	4.10	27.48	41.37	28.28	49.75
ความละเอียดในการวัดมุม (องศา)		0.03	0.03	0.03	0.02	0.04

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดองค์การของข้อกลางนิ้ว

องศา	ค่าที่ได้จากการวัดมุมการงอนิ้ว	ข้อกลางนิ้ว				
		นิ้วชี้	นิ้วกลาง	นิ้วนาง	นิ้วก้อย	นิ้วโป้ง
0	$\bar{X}_{10}$	349.70	111.30	136.60	598.40	158.10
	S.D.	4.94	0.46	1.43	56.43	0.94
15	$\bar{X}_{10}$	1308.50	1625.00	740.60	1110.30	1837.60
	S.D.	126.69	39.04	109.96	48.33	59.54
30	$\bar{X}_{10}$	1716.80	1836.20	1151.10	1122.20	2009.60
	S.D.	75.57	22.15	124.27	65.08	9.70
45	$\bar{X}_{10}$	2013.00	1985.90	1306.90	1518.00	2054.90
	S.D.	11.73	21.56	142.03	83.74	17.77
60	$\bar{X}_{10}$	2034.50	2065.40	1727.40	1676.20	2151.60
	S.D.	14.62	9.35	80.45	66.38	20.12
75	$\bar{X}_{10}$	2090.10	2105.50	2007.50	1802.00	2243.70
	S.D.	13.97	8.86	35.50	38.41	82.56
80	$\bar{X}_{10}$	0.00	0.00	0.00	0.00	2237.60
	S.D.	0.00	0.00	0.00	0.00	195.51
90	$\bar{X}_{10}$	2223.90	2174.40	2116.80	1831.00	0.00
	S.D.	55.60	21.44	19.49	19.71	0.00
100	$\bar{X}_{10}$	3733.10	3426.50	3007.50	1938.90	0.00
	S.D.	7.66	254.96	138.52	50.44	0.00
ความละเอียดในการวัดมุม (องศา)		0.03	0.03	0.03	0.07	0.04



ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับองศาการงอข้อโคนนิ้ว



ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับองศาการงอข้อกลางนิ้ว

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.1 และ 4.2 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับองศาการงอข้อโคนนิ้วและข้อกลางนิ้ว (ภาพที่ 4.1 และ 4.2) ซึ่งจากคุณลักษณะของกราฟสามารถนำมาใช้พิจารณาสร้างกฎของตรรกศาสตร์คลุมเครือได้ โดยพิจารณาข้อมูลค่าความต่างศักย์ที่ได้จากการวัดไปเป็นข้อมูลการงอของข้อนิ้ว สามารถทำการแบ่งค่าความต่างศักย์ออกเป็น 3 เซต คือ น้อย ปานกลางและมาก สำหรับการงอของข้อนิ้วแบ่งเป็น 3 เซต ได้แก่ ตรง งอและกำ ตรรกศาสตร์คลุมเครือจะช่วยให้ระบบสามารถพิจารณาข้อมูลที่มีความคลุมเครือหรือไม่

ชัดเจน ออกเป็นระดับของค่าความเป็นสมาชิกของเซตนั้นในแต่ละชุดข้อมูลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ทำให้การพิจารณาข้อมูลทำได้ง่ายและมีความถูกต้องมากขึ้น (ดูภาคผนวก ข)

1.1 ข้อมูลค่าความต่างศักย์

การประกาศข้อมูลสำหรับการสร้างฟัซซีเซตของข้อมูลค่าความต่างศักย์

1.1.1 เซตน้อย (Low) ฟังก์ชันสมาชิกสี่เหลี่ยม (Trapezoidal) ได้แก่ (0, 0, 1927, 2087)

1.1.2 เซตปานกลาง (Mid) ฟังก์ชันสมาชิกสามเหลี่ยม (Trapezoidal) ได้แก่ (1927, 2087, 2408, 2596)

1.1.3 เซตมาก (High) ฟังก์ชันสมาชิกสี่เหลี่ยม (Trapezoidal) ได้แก่ (2408, 2596, 4096, 4096)

1.2 ข้อมูลการงอข้อนิ้ว

การประกาศข้อมูลสำหรับการสร้างฟัซซีเซตของข้อมูลการงอข้อนิ้ว

1.2.1 เซตตรง (Straight) ฟังก์ชันสมาชิกสี่เหลี่ยม (Trapezoidal) ได้แก่ (0, 0, 15, 25)

1.2.2 เซตงอ (Flex) ฟังก์ชันสมาชิกสามเหลี่ยม (Trapezoidal) ได้แก่ (15, 25, 65, 75)

1.2.3 เซตกำ (Hold) ฟังก์ชันสมาชิกสี่เหลี่ยม (Trapezoidal) ได้แก่ (65, 75, 90, 90)

1.3 กฎของฟัซซี

เงื่อนไขสำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูล

1.3.1 Rule 1: IF Distance IS Low THEN Angle IS Straight

1.3.2 Rule 2: IF Distance IS Mid THEN Angle IS Flex

1.3.3 Rule 3: IF Distance IS High THEN Angle IS Hold

2. การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมระหว่างแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมและแบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

การทดลองนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองแรกเป็นการทดลองเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ และความเร็วในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมและแบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม การทดลองที่สองเป็นการทดลองเพื่อค้นหาค่า

Population, Generation, Crossover และ Mutation ที่มีผลต่อค่าความแม่นยำของการเรียนรู้แบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองการเรียนรู้และจดจำภาษามือประกอบด้วยคำภาษามือไทยจำนวน 15 คำ แต่ละคำประกอบด้วยข้อมูลที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ (Learning) 20 ชุด และ 10 ชุด สำหรับการจดจำภาษามือ (Recognize) โดยคำที่ใช้ทดลองสำหรับงานวิจัยนี้มีดังนี้ กิน พัน-ตำแหน่ง ถูกเรียก สัตว์ อ่าน ออม ขอบคุณ ชนะ แต่งงาน น้องชาย ป่วย อาสาสมัคร ตาบอด ชีวิต และรัฐบาลไทย (ดูภาคผนวก ค)

สำหรับในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจำนวน 4 โครงข่าย ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบ ตำแหน่ง การเคลื่อนที่และการหมุนของมือ โดยรายละเอียดของแต่ละโครงข่ายเป็นดังนี้

- (1) โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบมือ มีชั้นอินพุต 28 โหนด ชั้นเอาต์พุต 16 โหนด
- (2) โครงข่ายประสาทเทียมตำแหน่งมือ มีชั้นอินพุต 12 โหนด ชั้นเอาต์พุต 8 โหนด
- (3) โครงข่ายประสาทเทียมการเคลื่อนที่มือ มีชั้นอินพุต 20 โหนด ชั้นเอาต์พุต 8 โหนด
- (4) โครงข่ายประสาทเทียมการหมุนมือ มีชั้นอินพุต 18 โหนด ชั้นเอาต์พุต 12 โหนด

ระบบจดจำภาษามือไทยของงานวิจัยนี้ได้พัฒนาด้วยภาษา Csharp (.net framework 3.0) และใช้ทรัพยากรในการเรียนรู้และจดจำภาษามือดังนี้ Processor: Intel® Core™ Quad CPU Q9400 @ 2.66GHz 2.65GHz หน่วยความจำ: 4 GB ระบบปฏิบัติการ: 64 bit operating system (Window 7) และฐานข้อมูล: MySQL 5.0.51a

2.1 การทดลองเปรียบเทียบค่าความแม่นยำและความเร็วในการเรียนรู้

สำหรับการทดลองเปรียบเทียบค่าความแม่นยำในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมและแบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม เทคนิคการวัดความแม่นยำสำหรับงานวิจัยเลือกใช้วิธีความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error: MSE) เป็นเทคนิคที่วัดความแม่นยำ โดยวัดความแปรปรวนระหว่างค่าจากโครงข่ายและค่าเป้าหมาย หากมีความผิดพลาดมากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยจะสูงขึ้นเพราะเป็นค่ากำลังสอง (สมการ 4.1)

$$MSE = \frac{\sum (X_t - F_t)^2}{n} \quad (4.1)$$

เมื่อ X_t คือ ค่าจริงหรือค่าเป้าหมาย

F_t คือ ค่าประมาณจากโครงข่ายประสาทเทียม

n คือ จำนวนข้อมูล

กำหนดให้ค่าการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมเท่ากับ 0.5 และค่าการกลายพันธุ์เท่ากับ 0.01 จากนั้นเปลี่ยนค่าจำนวนประชากร (Population) และค่าจำนวนการสืบทอด (Generation) ตามลำดับดังตารางที่ 4.3 และมีโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลองมี 4 โครงข่าย ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบ ตำแหน่ง การเคลื่อนที่และการหมุนของมือ

ขั้นตอนการทดลอง อันดับแรกทำการค้นหาโครงสร้างและค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าความแม่นยำที่ดีที่สุดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม จากนั้นนำโครงสร้างที่ดีที่สุดในแต่ละโครงข่ายมาทำการเรียนรู้ซ้ำ โดยให้โครงข่ายประสาทเทียมทำสุมค่าน้ำหนักขึ้นมาใหม่เพื่อทำการค่าความแม่นยำโดยไม่มีการนำค่าน้ำหนักที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมไปใช้ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโครงข่ายแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมกับแบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความแม่นยำในการเรียนรู้แบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมและแบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

Population	Generation	รูปแบบ		ตำแหน่ง		การเคลื่อนที่		การหมุน	
		GA	NGA	GA	NGA	GA	NGA	GA	NGA
10	50	0.44	2.91	0.92	3.38	3.99	4.00	0.29	1.07
10	100	2.00	2.00	0.60	1.35	4.00	4.00	0.98	4.86
10	150	2.00	2.00	0.95	3.69	4.00	4.00	1.99	1.99
50	50	5.60	7.96	4.00	4.00	3.99	3.99	5.76	6.00
50	100	1.40	6.99	1.61E-05	0.09	4.00	4.00	0.96	5.45
50	150	7.29	7.97	1.99	2.00	4.00	4.00	3.83	6.00
100	50	7.15	7.99	3.99	3.99	4.00	4.00	3.89	5.95
100	100	7.68	7.99	1.33	1.33	4.00	4.00	4.46	6.00
100	150	7.89	7.98	1.33	1.99	4.00	4.00	3.84	5.78

GA คือ แบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรม และ NGA คือ แบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

ทำการตั้งสมมติฐานที่หนึ่งว่าวิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมให้ค่าความแม่นยำไม่ต่างจากแบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมดังสมการที่ 4.4 และสมมติฐานที่สอง คือ วิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมให้ค่าความแม่นยำน้อยกว่าหรือมากกว่าแบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมดังสมการที่ 4.5 จากนั้นใช้วิธีการทางสถิติด้วยเทคนิค Paired-samples t-test ในการทดสอบสมมติฐานในข้างต้น

$$H_0: \mu_{GA+NN} - \mu_{NN} = 0 \tag{4.2}$$

$$H_1: \mu_{GA+NN} - \mu_{NN} < 0 \text{ หรือ } \mu_{GA+NN} - \mu_{NN} > 0 \tag{4.3}$$

เมื่อ μ_{GA+NN} คือ การเรียนรู้แบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรม
 μ_{NN} คือ การเรียนรู้แบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

ผลจากการทดสอบสมมติฐานด้วยวิธีการทางสถิติดังตารางที่ 4.4 สามารถสรุปได้ว่าวิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมให้ค่าความความแม่นยำน้อยกว่าแบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม เนื่องจากค่านัยสำคัญมีค่าน้อยกว่า 0.05 คือมีค่าเท่ากับ 0.007 ทำให้ปฏิเสธสมมติฐานที่หนึ่งและยอมรับสมมติฐานที่สอง เมื่อพิจารณาช่วงของค่าความเชื่อมั่นจากตารางแสดงให้เห็นว่าการเรียนรู้แบบใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมให้ค่าความแม่นยำน้อยกว่าแบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งให้ค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -2.437 ถึง -0.451 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้โครงสร้างและค่าน้ำหนักจากการเรียนรู้แบบใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้ให้ค่าความแม่นยำที่ดีกว่าการเรียนรู้แบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งสามารถสรุปโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 4 โครงข่ายจากการทดลองได้ดังตารางที่ 4.5 (ค่าน้ำหนักของโครงสร้างภายในโครงข่ายประสาทเทียมไม่สามารถนำมาแสดงได้ เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนมาก)

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการเปรียบเทียบทางสถิติด้วยเทคนิค Paired-samples t-test

Paired	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
GA – NGA	-1.443	1.863	0.466	-2.437	-0.451	-3.101	15	0.007

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลการเปรียบเทียบจำนวนรอบในการลู่เข้าหาคำตอบ Error = 0.01

Neural Network	Population	Generation	Iteration	
			GA	NGA
รูปแบบ	10	50	244,028	322,731
ตำแหน่ง	10	100	1	2,564
การเคลื่อนที่	10	50	N/A	N/A
การหมุน	10	50	396,471	452,626

หมายเหตุ N/A คือ ค่าความแม่นยำไม่ลู่เข้าหาคำตอบที่ Error = 0.01

เมื่อนำโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าความแม่นยำที่ดีที่สุด (ต่ำที่สุด) จากตารางที่ 4.3 มาทดลองเปรียบเทียบจำนวนรอบ (Iteration) ที่ใช้ในการลู่เข้าหาคำตอบ โดยกำหนดให้ Error มีค่าเท่ากับ 0.01 จะเห็นได้ว่าการเรียนรู้ด้วยแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมจะมีจำนวนรอบในการลู่เข้าหาคำตอบได้เร็วกว่าการเรียนรู้แบบไม่ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 และ 4.5 สรุปได้ว่าการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรมที่พัฒนา มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้สำหรับการเรียนรู้ภาษามือไทย แต่อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องหาค่าของ Population Generation Crossover และ Mutation ของวิธีเชิงพันธุกรรมที่เหมาะสมก่อน เพื่อให้ได้ค่าความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้

2.2 การทดลองเพื่อหาค่าของ Population Generation Crossover และ Mutation ของการเรียนรู้แบบใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อทดสอบค่าที่เหมาะสมของตัวแปร 4 ตัวแปร ได้แก่ Population Generation Crossover และ Mutation ที่ทำให้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมมีผลลัพธ์ของค่าความแม่นยำที่ดีที่สุด

โดยกำหนดให้ Population มีค่าเป็น 10 100 และ 150 Generation มีค่าเป็น 50 100 และ 150 Anantaporn Srisawat (n.d.) กล่าวไว้ว่าโดยปกติค่า Crossover ควรอยู่ในช่วงระหว่าง 0.6 ถึง 1.0 และค่า Mutation มีโอกาสกลายพันธุ์ต่ำเมื่อมีค่าน้อยกว่า 0.001 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ Crossover มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1 สำหรับ Mutation กำหนดให้มีค่าตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.005

เมื่อทำการทดลองเสร็จสิ้นได้ผลลัพธ์ค่าความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 4 โครงข่ายดังตารางที่ 4.6 ถึง 4.9 จากนั้นนำค่าความแม่นยำจากตารางมาสร้างกราฟดังภาพที่ 4.3 ถึง 4.6 จากการพิจารณากราฟและข้อมูลจากตารางการทดลองทำให้สามารถสรุปค่า Population, Generation, Crossover และ Mutation ที่ทำให้วิธีเชิงพันธุกรรมให้โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าความแม่นยำที่ดีที่สุด (ต่ำที่สุด) มีค่าดังตารางที่ 4.10 ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 4 โครงข่ายมีค่าดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.6 ค่าความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบมือ

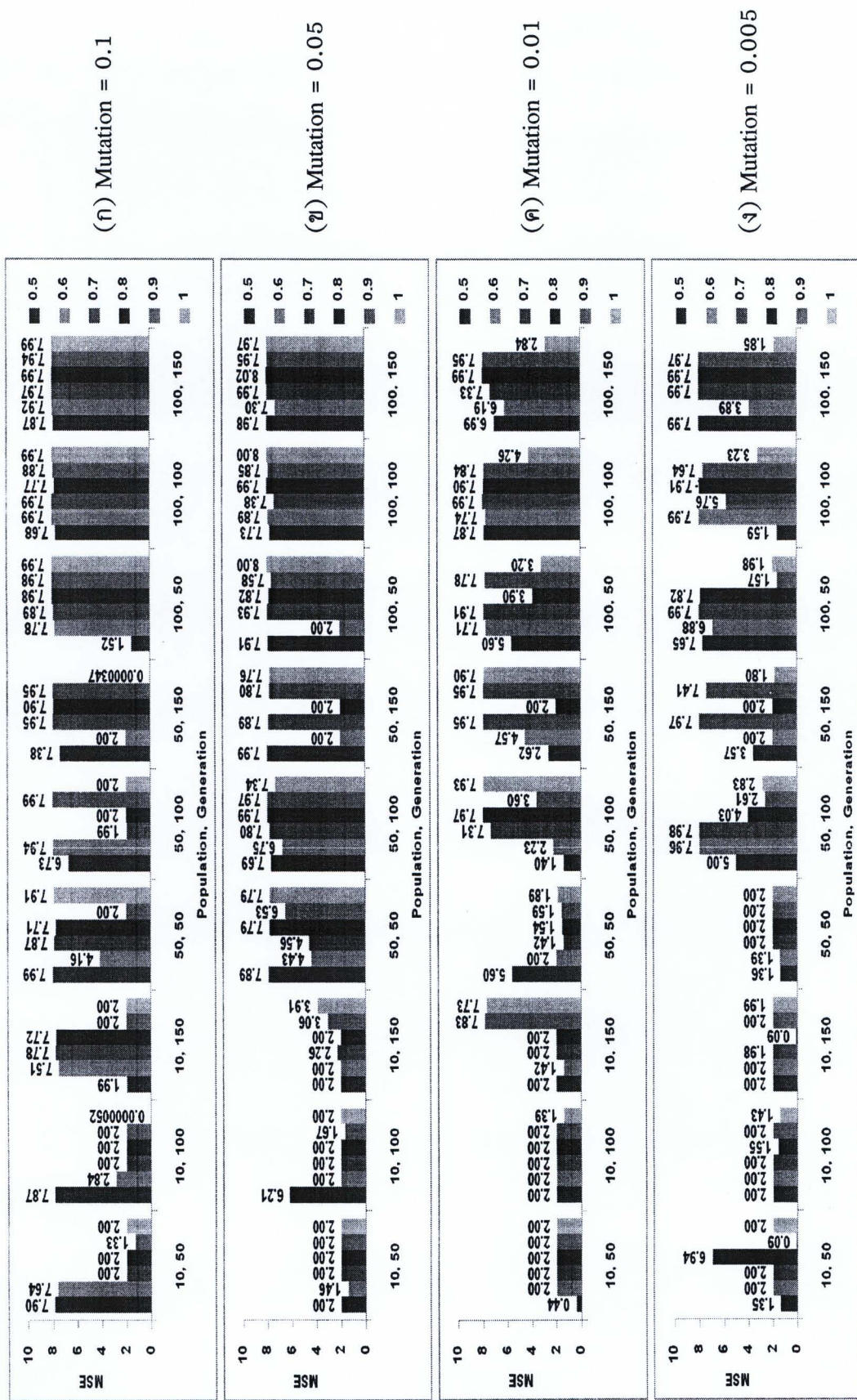
Population	Generation	Mutation (0.1)								Mutation (0.05)								Mutation (0.01)								Mutation (0.005)							
		Crossover								Crossover								Crossover								Crossover							
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1		
10	50	7.90	7.64	2.00	2.00	1.33	2.00	2.00	1.46	2.00	2.00	2.00	2.00	0.44	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.35	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.35	2.00	2.00	2.00	6.94	0.09	2.00	
10	100	7.87	2.84	2.00	2.00	2.00	5.20 E-06	6.21	2.00	2.00	2.00	1.67	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.39	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.55	2.00	1.43		
10	150	1.99	7.51	7.78	7.72	2.00	2.00	2.00	2.00	2.26	2.00	3.06	3.91	2.00	1.42	2.00	2.00	7.83	7.73	2.00	2.00	1.98	0.09	2.00	2.00	2.00	2.00	1.98	0.09	2.00	1.99		
50	50	7.99	4.16	7.87	7.71	2.00	7.91	7.89	4.43	4.56	7.79	6.53	7.79	5.60	2.00	1.42	1.54	1.59	1.89	1.36	1.39	2.00	2.00	2.00	2.00	1.36	1.39	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
50	100	6.73	7.94	1.99	2.00	7.99	2.00	7.69	6.75	7.80	7.99	7.97	7.34	1.40	2.23	7.31	7.97	3.60	7.93	5.00	7.96	7.98	4.03	2.61	2.83	5.00	7.96	7.98	4.03	2.61	2.83		
50	150	7.38	2.00	7.95	7.90	7.95	3.47 E-05	7.99	2.00	7.89	2.00	7.80	7.76	2.62	4.57	7.95	2.00	7.95	7.90	3.57	2.00	7.97	2.00	7.41	1.80	3.57	2.00	7.97	2.00	7.41	1.80		
100	50	1.52	7.78	7.89	7.98	7.98	7.99	7.91	2.00	7.93	7.82	7.58	8.00	5.60	7.71	7.91	3.90	7.78	3.20	7.65	6.88	7.99	7.82	1.57	1.98	7.65	6.88	7.99	7.82	1.57	1.98		
100	100	7.68	7.99	7.99	7.77	7.88	7.99	7.73	7.89	7.38	7.99	7.85	8.00	7.87	7.74	7.99	7.90	7.84	4.26	1.59	7.99	5.76	7.91	7.64	3.23	1.59	7.99	5.76	7.91	7.64	3.23		
100	150	7.87	7.92	7.97	7.99	7.94	7.99	7.98	7.30	7.99	8.02	7.95	7.97	6.99	6.19	7.33	7.99	7.95	2.84	7.99	3.89	7.99	7.99	7.97	1.85	7.99	3.89	7.99	7.99	7.97	1.85		

ตารางที่ 4.7 ค่าความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมตำแหน่งมือ

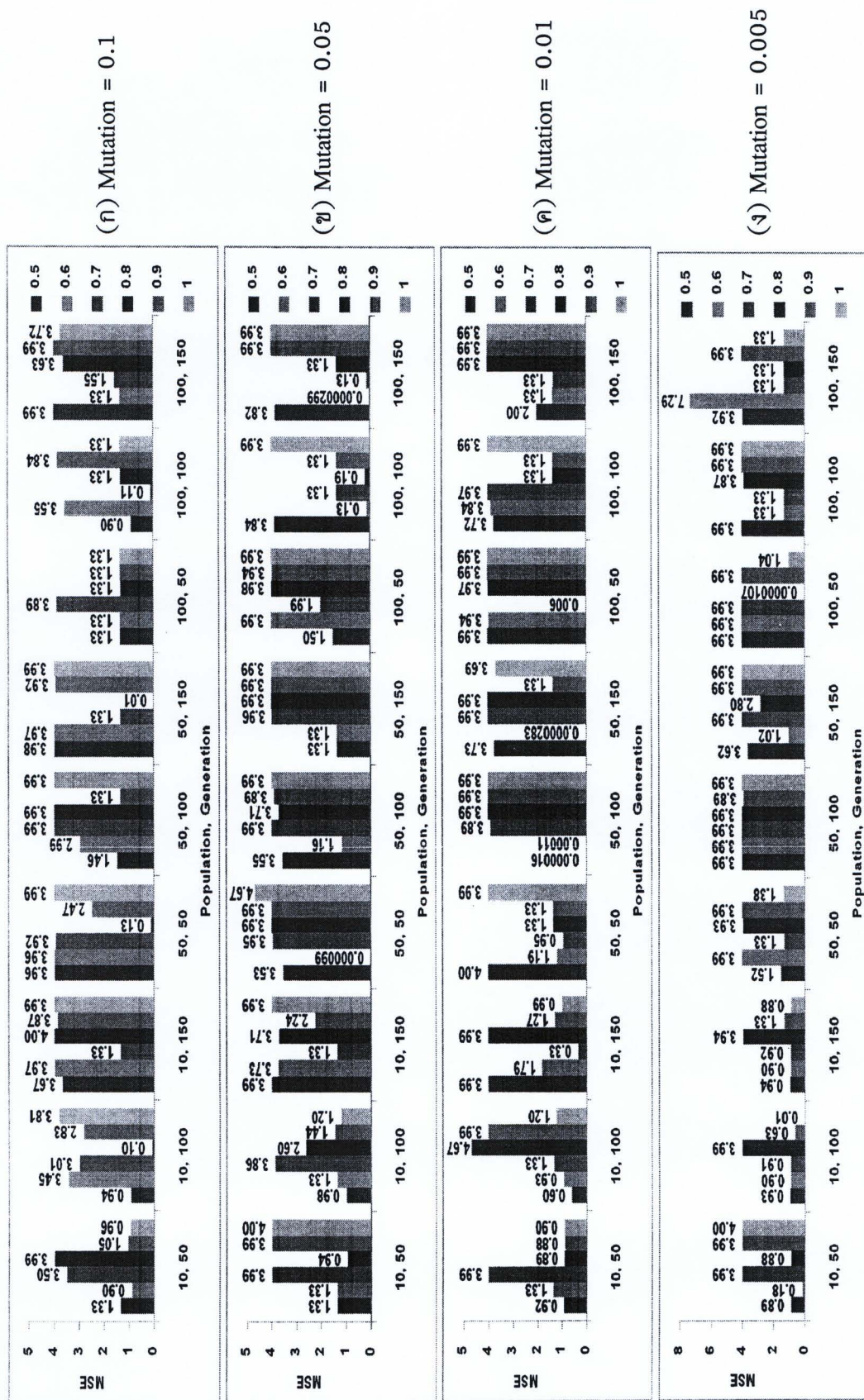
Population	Generation	Mutation (0.1)										Mutation (0.05)										Mutation (0.01)										Mutation (0.005)									
		Crossover										Crossover										Crossover										Crossover									
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1				
10	50	1.33	0.90	3.50	3.99	1.05	0.96	1.33	1.33	3.99	0.94	3.99	4.00	0.92	1.33	3.99	0.89	0.88	0.90	0.89	0.18	3.99	0.88	3.99	4.00	0.89	0.18	3.99	0.88	3.99	4.00	0.89	0.18	3.99	0.88	3.99	4.00				
10	100	0.94	3.45	3.01	0.10	2.83	3.81	0.98	1.33	3.86	2.60	1.44	1.20	0.60	0.93	1.33	4.67	3.99	1.20	0.93	0.90	0.91	3.99	0.63	0.01	0.90	0.93	0.91	3.99	0.63	0.01	0.90	0.93	0.91	3.99	0.63	0.01				
10	150	3.67	3.97	1.33	4.00	3.87	3.99	3.99	3.73	1.33	3.71	2.24	3.99	3.99	1.79	0.33	3.99	1.27	0.99	0.94	0.90	0.92	3.94	1.33	0.88	0.90	0.94	0.92	3.94	1.33	0.88	0.90	0.94	0.92	3.94	1.33	0.88				
50	50	3.96	3.96	3.92	0.13	2.47	3.99	3.53	9.90 E-05	3.95	3.99	3.99	4.67	4.00	1.19	0.95	1.33	1.33	3.99	1.52	3.99	1.33	3.93	3.99	1.38	1.52	3.99	1.33	3.93	3.99	1.38	1.52	3.99	1.33	3.93	3.99	1.38				
50	100	1.46	2.99	3.99	3.99	1.33	3.99	3.55	1.16	3.99	3.71	3.89	3.99	1.60 E-05	1.10 E-04	3.89	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99					
50	150	3.98	3.97	1.33	0.01	3.92	3.99	1.33	1.33	3.96	3.99	3.99	3.99	3.73	2.83 E-05	3.99	3.99	1.33	3.69	3.62	1.02	3.99	2.80	3.99	3.99	3.99	3.62	1.02	3.99	2.80	3.99	3.99	3.99	2.80	3.99	3.99	3.99				
100	50	1.33	1.33	3.89	1.33	1.33	1.33	1.50	3.99	1.99	3.98	3.94	3.99	3.99	3.94	6.00 E-03	3.97	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	1.07 E-05	3.99	1.04	3.99	3.99	3.99	3.99	1.07 E-05	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99			
100	100	0.90	3.55	0.11	1.33	3.84	1.33	3.84	0.13	1.33	0.19	1.33	3.99	3.72	3.84	3.97	1.33	1.33	3.99	3.99	1.33	1.33	3.87	3.99	3.99	1.33	1.33	1.33	3.87	3.99	3.99	1.33	1.33	3.87	3.99	3.99	3.99				
100	150	3.99	1.33	1.55	3.63	3.99	3.72	3.82	2.99 E-05	0.13	1.33	3.99	3.99	2.00	1.33	1.33	3.99	3.99	3.99	3.92	7.29	1.33	1.33	3.99	1.33	3.99	3.92	7.29	1.33	1.33	3.99	1.33	3.99	1.33	3.99	1.33	3.99				

ตารางที่ 4.8 ค่าความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมการเคลื่อนที่มือ

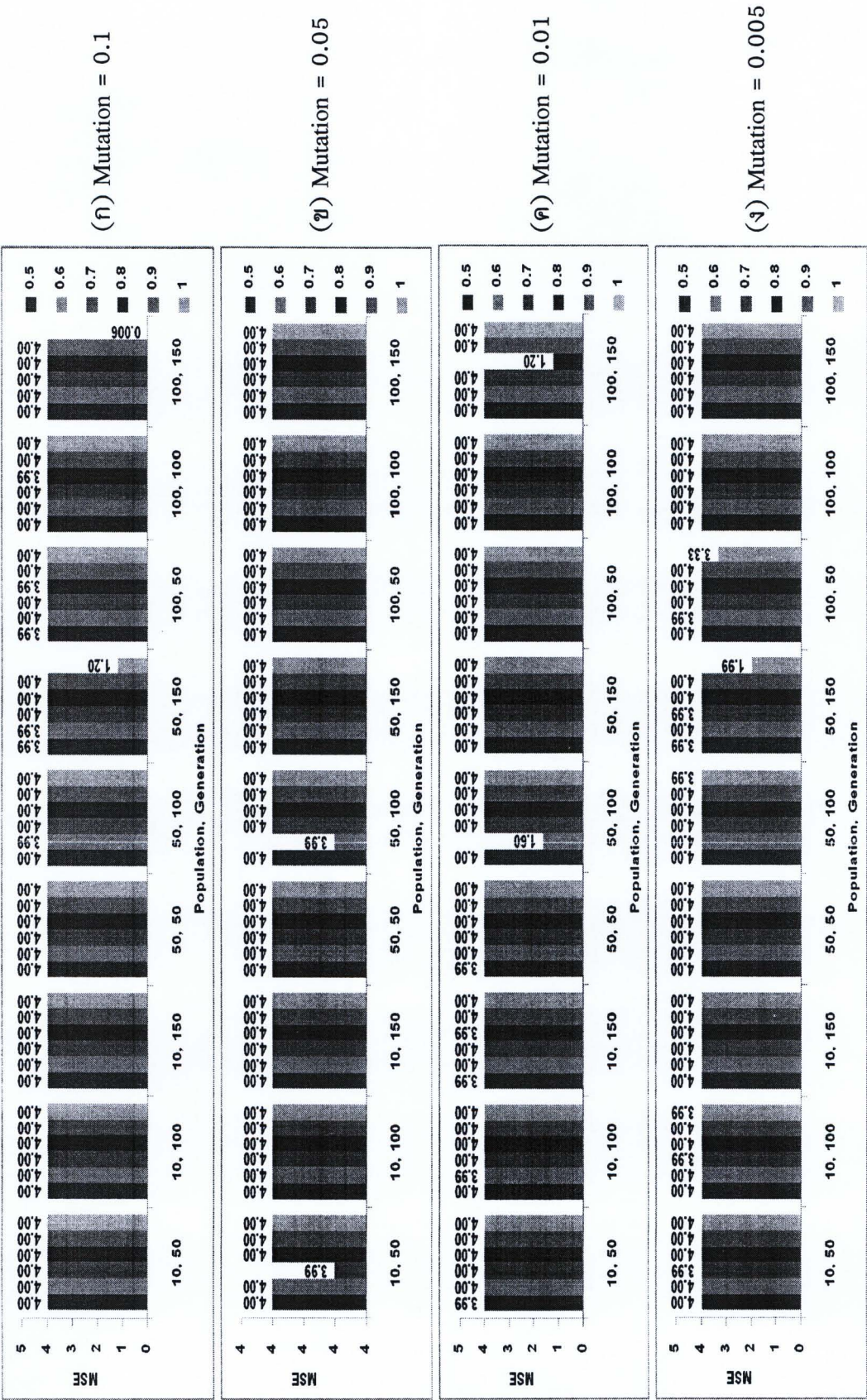
Population	Generation	Mutation (0.1)								Mutation (0.05)								Mutation (0.01)								Mutation (0.005)							
		Crossover								Crossover								Crossover								Crossover							
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1		
10	50	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
10	100	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.99
10	150	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
50	50	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
50	100	4.00	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.99	4.00	4.00	4.00	1.60	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.99
50	150	3.99	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	1.99	
100	50	3.99	4.00	4.00	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	3.33	
100	100	4.00	4.00	4.00	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
150	150	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	6.00 E-03	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00



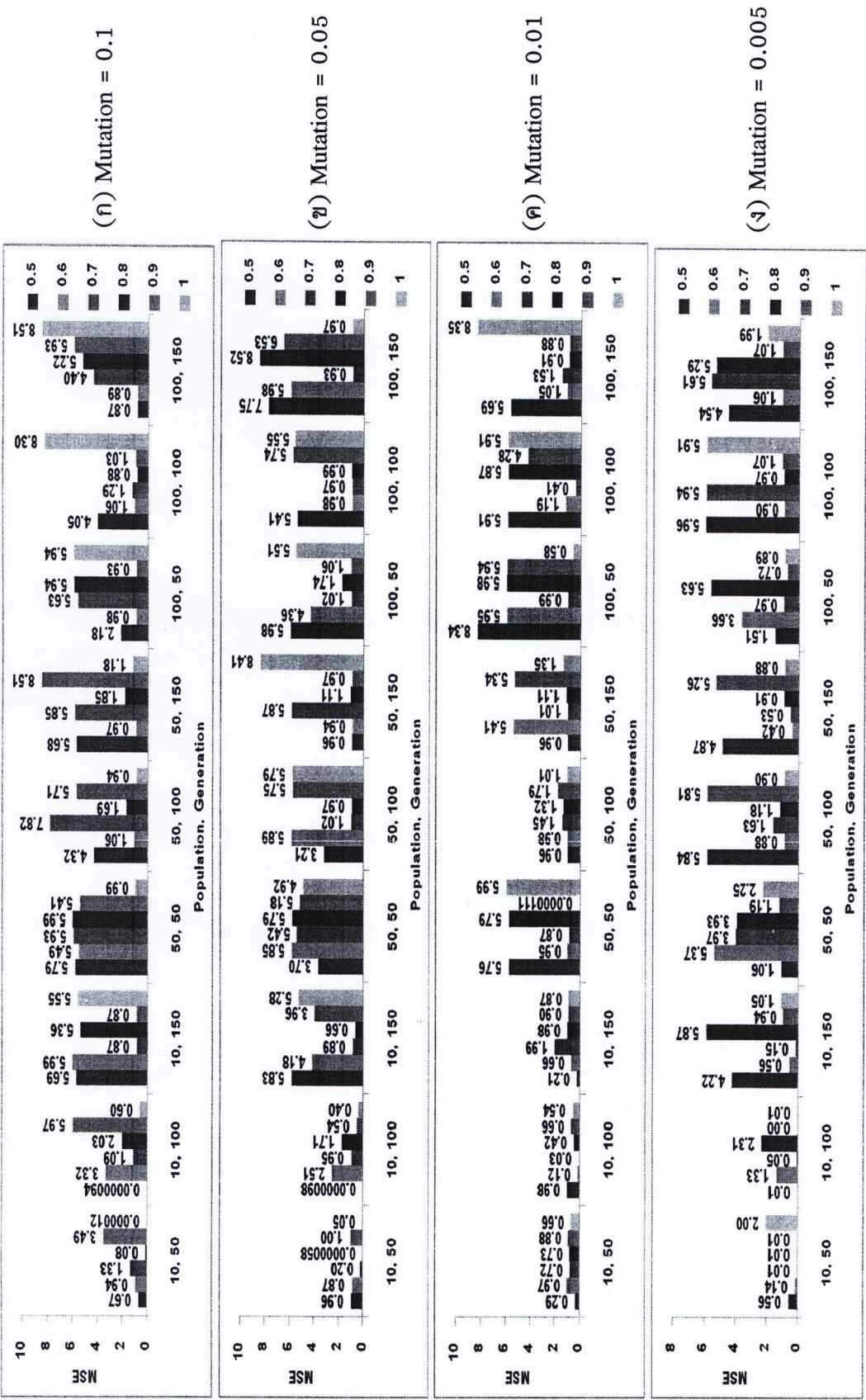
ภาพที่ 4.3 กราฟค่าความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบมือ



ภาพที่ 4.4 กราฟค่าความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมตำแหน่งมือ



ภาพที่ 4.5 กราฟค่าความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมการเคลื่อนที่มือ



ภาพที่ 4.6 กราฟค่าความแม่นยำของโครงข่ายประสาทเทียมการหมุนมั่ว

ตารางที่ 4.10 ค่า Population Generation Crossover และ Mutation ที่ให้ค่าความแม่นยำที่ดีที่สุด

Neural Network	Population	Generation	Crossover	Mutation	ค่าความแม่นยำ
รูปแบบ	10	100	1	0.1	5.20E-06
ตำแหน่ง	100	50	0.8	0.005	1.07E-05
การเคลื่อนที่	100	150	1	0.1	6.00E-03
การหมุน	10	50	0.8	0.05	5.80E-06

ตารางที่ 4.11 สรุปรูปโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

Neural Network	Input node	Hidden node	Output node	Learning rate	Momentum	Sigmoid's alpha
รูปแบบ	28	30	16	0.05	0.1	0.8
ตำแหน่ง	12	62	8	0.01	0.5	0.8
การเคลื่อนที่	20	46	8	0.01	0.8	0.6
การหมุน	18	62	12	0.001	0.1	0.8

3. การทดลองระบบจดจำ

เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมได้ทำการเรียนรู้รูปแบบ ตำแหน่ง การเคลื่อนที่และการหมุนของมือจากการทดลองในข้างต้น โครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมดสามารถนำมาใช้ในการจดจำภาษามือ เพื่อทำการแปลภาษามือไทยให้เป็นคำที่คนปกติสามารถเข้าใจได้ ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จะเป็นการทดลองประสิทธิภาพในการจดจำภาษามือของโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสิ้น โดยจะทำการพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของความถูกต้องแยกตามประเภทของโครงข่าย โดยทำการทดลองกับคำภาษามือไทย 15 คำ และทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของค่าความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละคำจากผู้ทดลอง

คำ	ค่าความถูกต้อง (%)			
	รูปแบบ	ตำแหน่ง	การเคลื่อนที่	การหมุน
กิน	94.79	95.23	80.90	90.47
พันตำแหน่ง	100.00	64.59	90.35	79.41
ถูกเรียก	93.06	87.17	98.53	91.26
สัตว์	96.15	93.42	93.75	75.01
อ่าน	95.83	88.35	100.00	89.53
ออม	86.65	80.03	82.58	79.73
ขอบคุณ	100.00	90.00	89.78	65.59

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของค่าความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละค่าจากผู้ทดลอง
(ต่อ)

ค่า	ค่าความถูกต้อง (%)			
	รูปแบบ	ตำแหน่ง	การเคลื่อนที่	การหมุน
ชนะ	100.00	88.92	97.00	91.29
แต่งงาน	100.00	81.67	74.11	83.09
น้องชาย	100.00	91.30	90.91	69.97
ป่วย	94.79	98.96	97.02	71.42
อาสาสมัคร	100.00	97.73	96.59	77.69
ชีวิต	97.50	100.00	100.00	69.83
ตาบอด	100.00	96.94	96.94	64.96
รัฐบาลไทย	100.00	95.16	96.41	54.61
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	97.25	89.97	92.33	76.92
ค่าเบี่ยงเบน (S.D.)	3.83	9.19	7.69	11.05

ตารางที่ 4.13 ค่าความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียมจากผู้ทดสอบ

ผู้ทดสอบ	ค่าความถูกต้อง (%)			
	รูปแบบ	ตำแหน่ง	การเคลื่อนที่	การหมุน
1	94.37	87.63	87.50	73.37
2	100.00	93.95	93.55	82.67
3	94.64	83.95	94.58	72.02
4	100.00	94.33	93.67	79.63

ตารางที่ 4.12 แสดงผลค่าความถูกต้องการจดจำภาษามือของโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบมือ ตำแหน่งมือ การเคลื่อนที่มือ และการหมุนมือจากผู้ทดลองทั้งหมด 4 คน โดยแยกแสดงค่าตามค่าที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งค่าความถูกต้องโดยเฉลี่ยมีเท่ากับ 97.25% 89.97% 92.33% และ 76.92% และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 3.83 9.19 7.69 และ 11.05 ตามลำดับ สำหรับตารางที่ 4.13 แสดงค่าความถูกต้องของการจดจำภาษามือไทยแยกตามผู้ทดสอบ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจจับท่าทางของมือนั้นมีความถูกต้องในระดับที่ดี สำหรับข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความเร่งที่นำมาวิเคราะห์เป็นตำแหน่งการเคลื่อนที่และการหมุน ได้มีค่าความถูกต้องของตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของมืออยู่ในระดับที่ดี ส่วนการหมุนมือนั้นมีค่าความถูกต้องอยู่ในระดับปานกลาง