

บทที่ 6

ผลการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพในการจำแนกของข่ายงานระบบประสาท ที่ใช้เทคนิควิธีการฝึกสอนแบบป้อนกลับ โดยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ 3 อย่างคือ จำนวนหน่วยประมวลผลในชั้นซ่อน ค่าอัตราการเรียนรู้ และจำนวนรอบในการฝึกสอน รวมทั้งผลของการประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทในการควบคุมการเดินบนพื้นราบและเดินข้ามสิ่งกีดขวางของแบบจำลองหุ่นยนต์สี่ขา และการทดลองกับหุ่นยนต์จริง โดยในการทดลองจะทำการทดสอบทั้งหมด 10 ครั้งกับข่ายงานระบบประสาทแต่ละแบบ

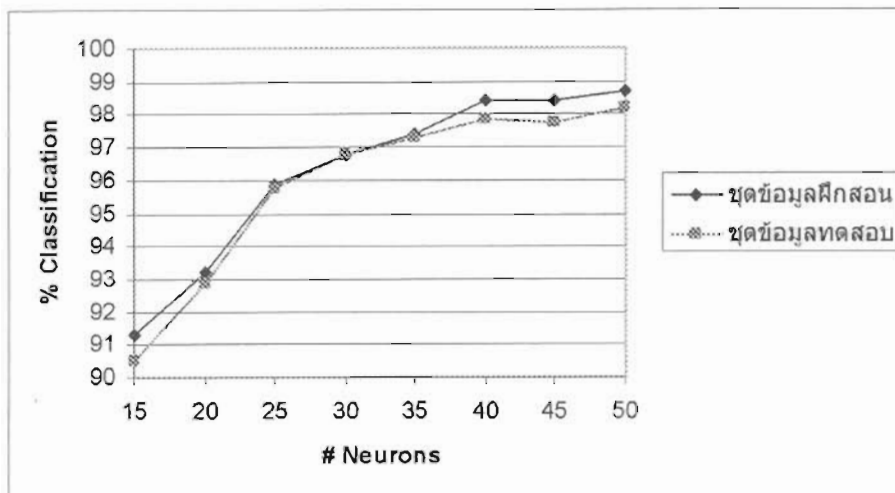
6.1 ผลการทดลองประสิทธิภาพการจำแนก

ตารางที่ 6-1 ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ

จำนวน Neurons	การจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอน(%)			การจำแนกชุดข้อมูลทดสอบ (%)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
15	93.33	91.31	2.22	93.45	90.52	2.79
20	95.11	93.20	1.26	95.45	92.91	1.50
25	97.78	95.89	1.14	97.00	95.75	0.79
30	98.22	96.76	1.51	98.78	96.78	1.57
35	99.11	97.42	0.94	99.11	97.27	1.02
40	99.33	98.40	1.08	99.00	97.88	0.86
45	99.33	98.42	0.90	99.11	97.71	0.86
50	99.56	98.71	0.72	99.11	98.20	0.77

ผลการทดลองโดยใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 6-1 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มหน่วยประมวลผลช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกดีขึ้น โดยการใช้หน่วยประมวลผล 50 หน่วยช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกของข่ายงานดีที่สุด ซึ่ง

สามารถจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอนได้ 98.71 เปอร์เซนต์และจำแนกชุดข้อมูลทดสอบได้ 98.20 เปอร์เซนต์ กราฟแสดงผลการทดลองแสดงในภาพที่ 5-1



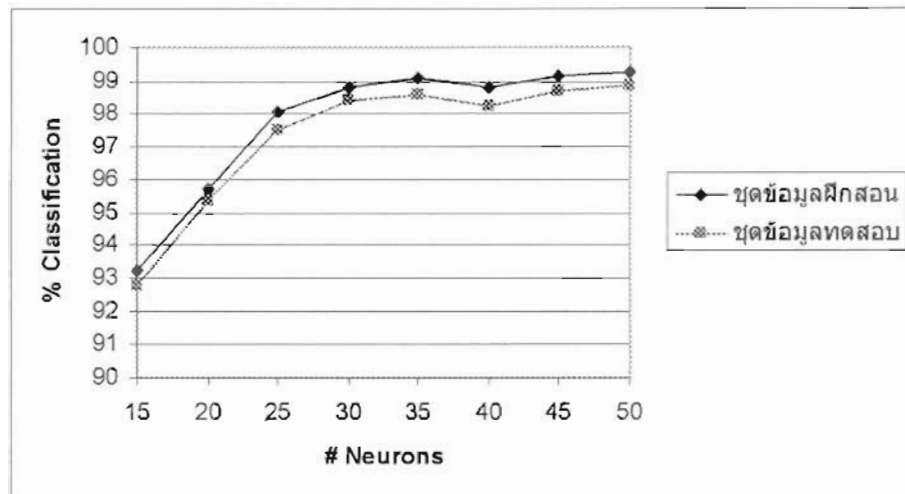
ภาพที่ 6-1 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ

ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ

จำนวน Neurons	การจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอน(%)			การจำแนกชุดข้อมูลทดสอบ (%)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
15	94.89	93.22	1.75	94.45	92.79	1.45
20	97.11	95.71	1.00	96.56	95.39	0.65
25	99.33	98.09	0.96	99.45	97.49	1.34
30	99.33	98.82	0.64	99.45	98.45	0.83
35	99.56	99.09	0.47	99.45	98.57	0.49
40	99.33	98.80	0.47	99.00	98.26	0.32
45	99.56	99.18	0.42	99.56	98.70	0.59
50	99.56	99.29	0.34	99.33	98.87	0.40

ผลการทดลองโดยใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 6-2 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มหน่วยประมวลผลยังคงช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกดีขึ้น โดยการใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 ทำให้ประสิทธิภาพการจำแนกดีกว่าการใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และค่าที่ดีที่สุดคือการใช้หน่วยประมวลผลจำนวน 50 หน่วย ซึ่งสามารถจำแนกชุด

ข้อมูลฝึกสอนได้ 99.29 เปอร์เซนต์และจำแนกชุดข้อมูลทดสอบได้ 98.87 เปอร์เซนต์ กราฟแสดงผลการทดลองแสดงในภาพที่ 6-2



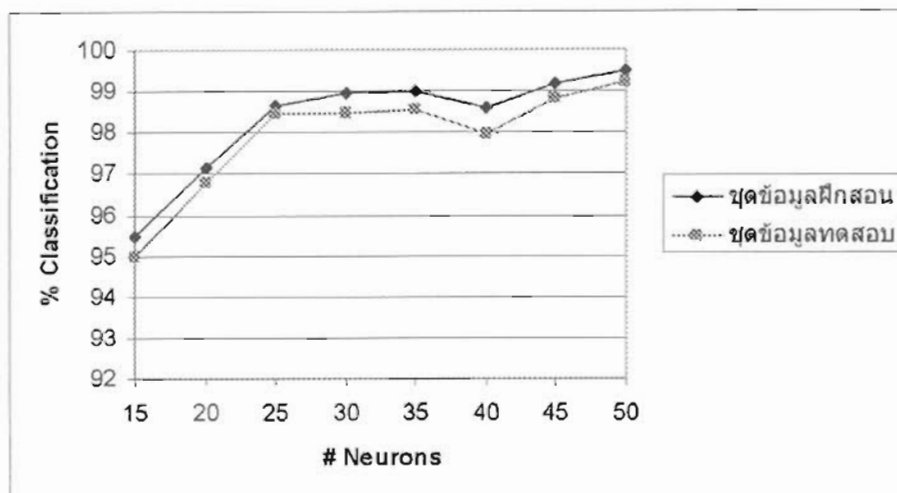
ภาพที่ 6-2 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ

ตารางที่ 6-3 ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ

จำนวน Neurons	การจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอน(%)			การจำแนกชุดข้อมูลทดสอบ (%)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
15	97.33	95.49	0.87	96.23	95.01	0.99
20	98.67	97.13	1.21	98.78	96.80	1.34
25	99.56	98.62	1.05	99.45	98.47	0.77
30	99.78	98.96	0.68	99.56	98.47	1.05
35	99.56	99.02	1.19	99.78	98.57	1.32
40	99.78	98.60	1.27	99.67	97.95	1.40
45	99.78	99.20	1.05	99.67	98.82	0.94
50	99.78	99.49	0.50	99.78	99.21	0.45

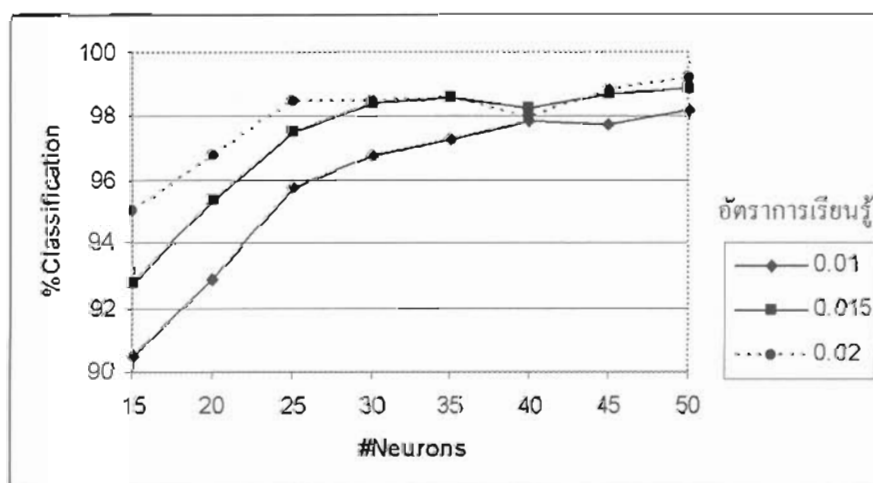
ผลการทดลองโดยใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 6-3 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มหน่วยประมวลผลช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกดีขึ้น โดยการใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 ทำให้ประสิทธิภาพการจำแนกดีกว่าการใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และค่าที่ดีที่สุดคือการใช้หน่วยประมวลผลจำนวน 50 หน่วย ซึ่งสามารถจำแนกชุดข้อมูล

ฝึกสอนได้ 99.49 เปอร์เซ็นต์และจำแนกชุดข้อมูลทดสอบได้ 99.21 เปอร์เซ็นต์ กราฟแสดงผลการทดลองแสดงในภาพที่ 6-3



ภาพที่ 6-3 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 และทำการฝึกสอน 500,000 รอบ

จากการเปลี่ยนการใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ ในการทดลองประสิทธิภาพการจำแนกพบว่าค่าอัตราการเรียนรู้ที่ให้ผลดีที่สุด สำหรับการฝึกสอนจำนวน 500,000 รอบ คือค่า 0.02 และใช้จำนวนหน่วยประมวลผลเท่ากับ 50 หน่วย ซึ่งสามารถจำแนกชุดข้อมูลทดสอบได้เฉลี่ย 99.21 เปอร์เซ็นต์ โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกกับการใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ค่าอื่น ๆ แสดงไว้ดังกราฟในภาพที่ 6-4

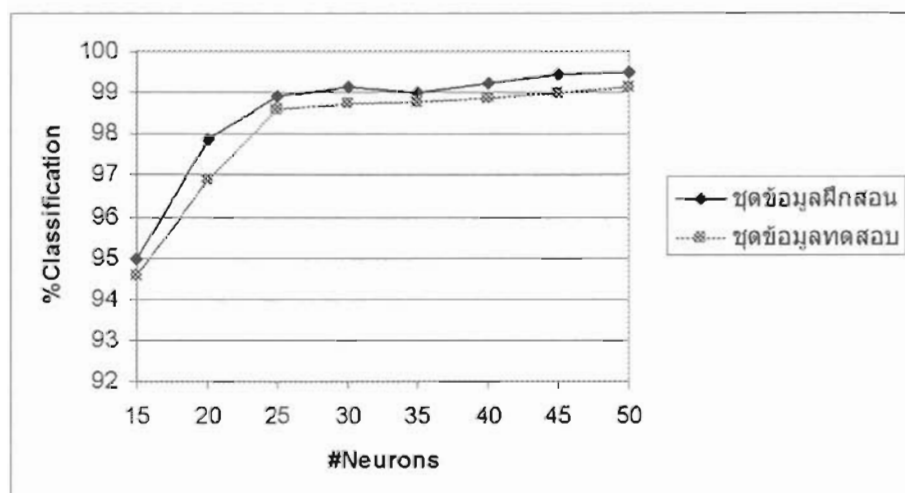


ภาพที่ 6-4 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกเมื่อทำการฝึกสอน 500,000 รอบ

ตารางที่ 6-4 ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ

จำนวน Neurons	การจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอน(%)			การจำแนกชุดข้อมูลทดสอบ (%)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
15	96.89	95.00	1.61	96.78	94.58	2.29
20	99.33	97.89	1.03	99.56	96.86	1.34
25	99.78	98.93	0.72	99.45	98.61	0.63
30	99.56	99.16	0.62	99.67	98.76	0.67
35	99.78	99.00	0.56	99.67	98.79	0.85
40	99.78	99.24	0.53	99.56	98.87	0.47
45	99.78	99.44	0.38	99.78	99.02	0.63
50	99.78	99.49	0.41	99.67	99.15	0.36

ผลการทดลองโดยใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 6-4 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มหน่วยประมวลผลช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกดีขึ้น โดยการใช้หน่วยประมวลผล 50 หน่วย ช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกของข่ายงานดีที่สุด ซึ่งสามารถจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอนได้ 99.49 เปอร์เซนต์และจำแนกชุดข้อมูลทดสอบได้ 99.15 เปอร์เซนต์ กราฟแสดงผลการทดลองแสดงในภาพที่ 6-5

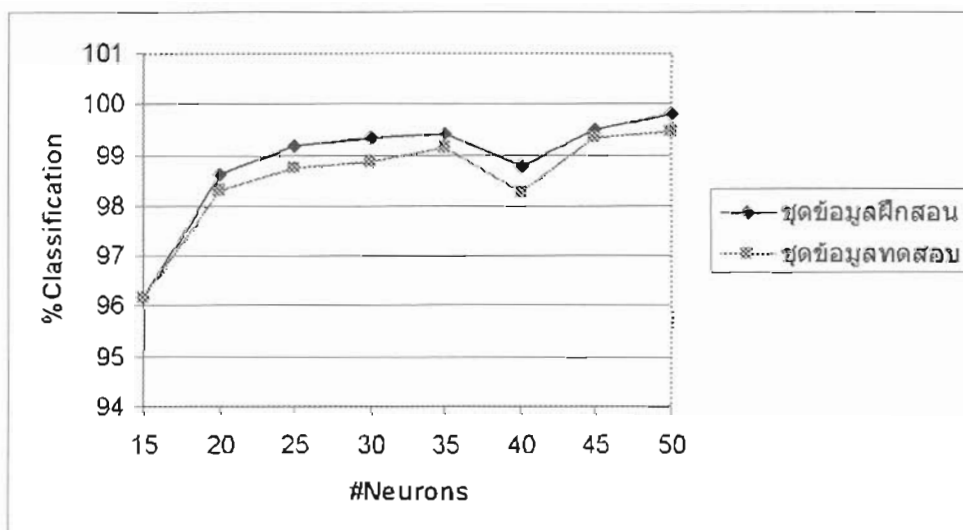


ภาพที่ 6-5 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ

ตารางที่ 6-5 ผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ

จำนวน Neurons	การจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอน(%)			การจำแนกชุดข้อมูลทดสอบ (%)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
15	99.11	96.18	1.64	98.34	96.19	1.69
20	99.56	98.62	1.01	99.00	98.30	0.55
25	100.00	99.18	1.09	99.89	98.75	1.29
30	99.78	99.33	1.00	99.89	98.88	1.22
35	100.00	99.42	0.53	99.78	99.13	0.58
40	100.00	98.80	1.16	99.67	98.26	1.03
45	100.00	99.49	0.64	99.89	99.32	0.54
50	100.00	99.80	0.07	99.89	99.45	0.39

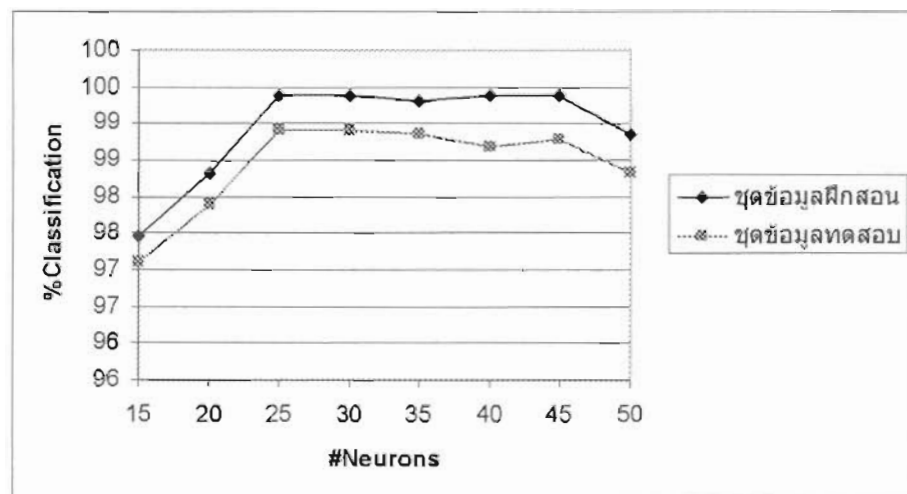
ผลการทดลองโดยใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 6-5 แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มหน่วยประมวลผลช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกดีขึ้น โดยการใช้หน่วยประมวลผล 50 หน่วย ช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกของข่ายงานดีที่สุด ซึ่งสามารถจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอนได้ 99.80 เปอร์เซ็นต์และจำแนกชุดข้อมูลทดสอบได้ 99.45 เปอร์เซ็นต์ กราฟแสดงผลการทดลองแสดงในภาพที่ 6-6



ภาพที่ 6-6 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ

ตารางที่ 6-6 ผลการทดลองข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ

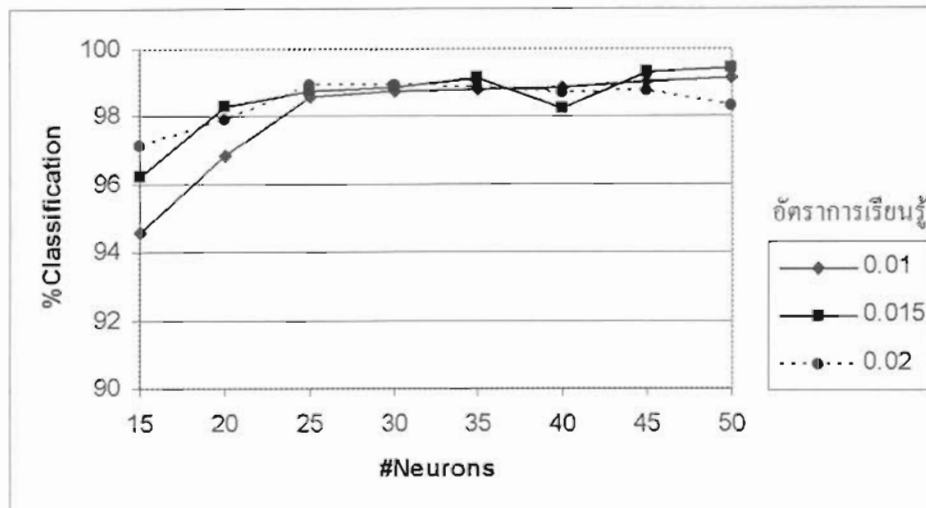
จำนวน Neurons	การจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอน(%)			การจำแนกชุดข้อมูลทดสอบ (%)		
	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
15	99.56	97.47	1.54	99.33	97.09	1.74
20	99.78	98.33	1.58	99.33	97.89	1.76
25	99.78	99.38	0.45	99.78	98.90	0.76
30	100.00	99.40	1.01	99.89	98.90	1.08
35	100.00	99.31	0.99	99.78	98.86	0.93
40	100.00	99.38	0.98	99.78	98.69	1.03
45	100.00	99.40	0.99	99.78	98.78	1.09
50	100.00	98.87	1.40	99.56	98.32	1.42



ภาพที่ 6-7 กราฟผลการทดลองของข่ายงานที่ใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ

การใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 และ 0.02 และทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ ดังแสดงในตารางที่ 6-5 และ ตารางที่ 6-6 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเป็นค่าอัตราการเรียนรู้มีความเหมาะสมกับปัญหาเนื่องจากสามารถให้ค่าประสิทธิภาพการจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอนได้สูงสุดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการจำแนกชุดข้อมูลทดสอบที่สูงถึง 99.45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้หน่วยประมวลผลจำนวน 50 หน่วย ในขณะที่การใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.02 ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการ

จำแนกชุดข้อมูลทดสอบที่ 98.90 เปอร์เซ็นต์ ในภาพที่ 6-8 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกของข่ายงานเมื่อทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ



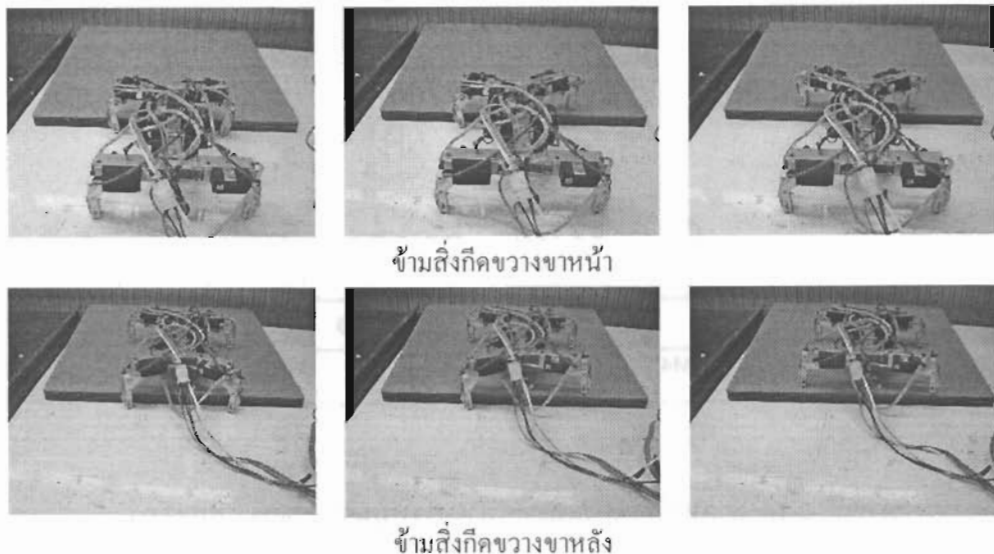
ภาพที่ 6-8 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกเมื่อทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ

จากการทดลองโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาทแบบต่างๆ ตามที่ได้แสดงในตารางและกราฟด้านบนสรุปได้ว่า การใช้หน่วยประมวลผลจำนวน 50 หน่วย กับข่ายงานแต่ละแบบจะให้ค่าประสิทธิภาพการจำแนกที่ดีที่สุด และเมื่อทำการฝึกสอน 1,000,000 รอบ ร่วมกับการใช้ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.015 สามารถให้ค่าประสิทธิภาพการจำแนกชุดข้อมูลฝึกสอนได้สูงสุดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และยังให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการจำแนกชุดข้อมูลทดสอบที่สูงถึง 99.45 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองกับข่ายงานประสาททุกแบบ

6.2 ผลการทดลองใช้ข่ายงานระบบประสาทควบคุมหุ่นยนต์

หลังจากได้โครงสร้างและพารามิเตอร์ของข่ายงานระบบประสาทที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกที่ดีที่สุด รวมทั้งค่าน้ำหนักการเชื่อมโยงที่ผ่านกระบวนการฝึกสอนแล้ว นำมาประยุกต์เข้ากับโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ พบว่าโปรแกรมควบคุมสามารถควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในลักษณะการเดินแบบ Crawling Gait ได้เช่นเดียวกับการควบคุมแบบจำลอง แต่เนื่องจากการอ่านค่าจากอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ของวงจร RC (Resistor-Capacitor circuit) จำเป็นต้องใช้เวลาในการคายประจุ ซึ่งบางครั้งเวลาที่หน่วงไว้ให้กับอุปกรณ์ดังกล่าวอาจไม่สัมพันธ์กับการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ ทำให้ข้อมูลที่ส่งไปซึ่งใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับข่ายงานระบบประสาทไม่ถูกต้อง ส่งผลให้ค่าตอบที่จำแนกออกมาผิดพลาดได้

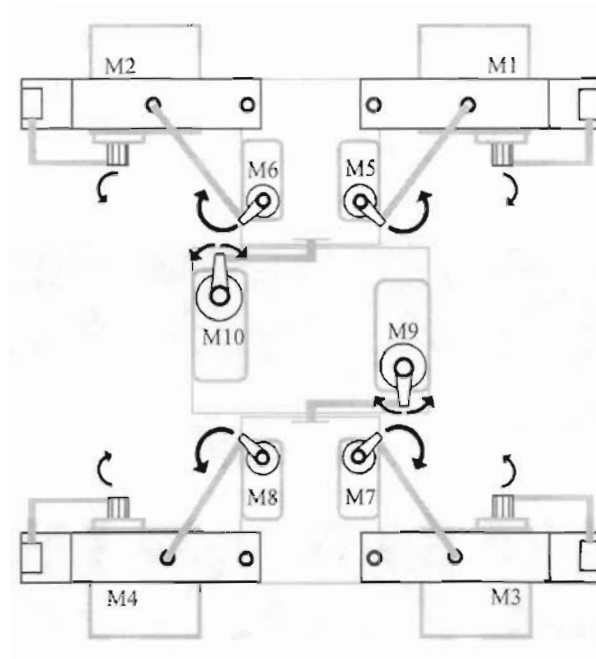
แต่สำหรับกรณีที่ไม่เกิดข้อผิดพลาดจากการอ่านค่าจากอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าว โปรแกรมควบคุมสามารถควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ในการทดลองได้ โดยในภาพที่ 6-9 แสดงการควบคุมหุ่นยนต์ให้ก้าวเดินข้ามสิ่งกีดขวางของขาทั้ง 4 ข้าง



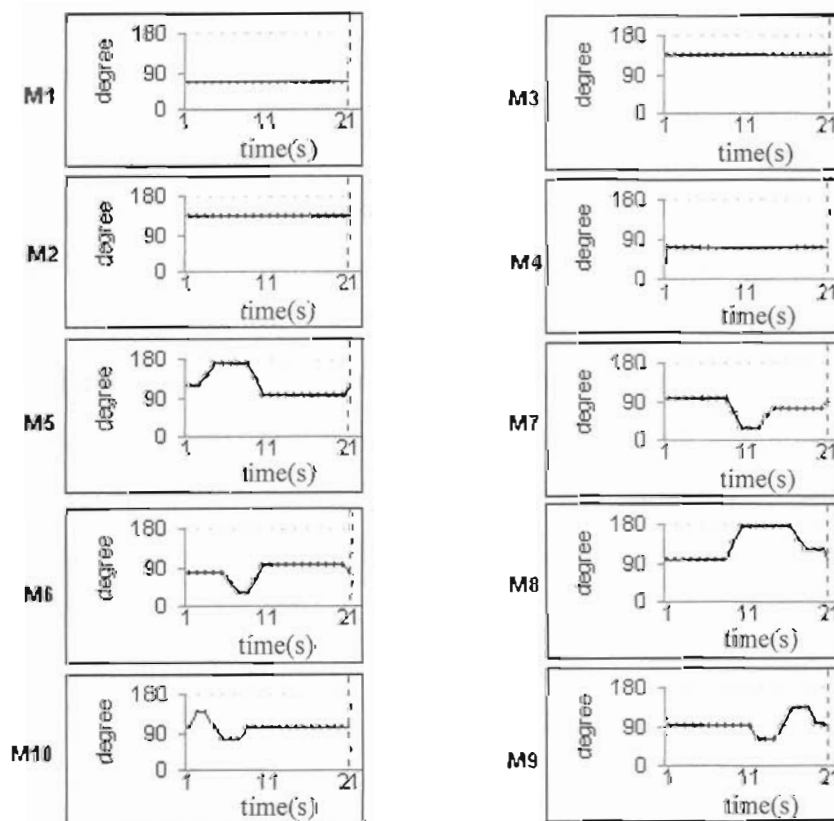
ภาพที่ 6-9 ลักษณะท่าทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามการควบคุม

จากการทดลองควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้โปรแกรมควบคุมแบบข่ายงานระบบประสาท พบว่าเวลาที่เหมาะสมสำหรับการส่งคำสั่งต่อไปเพื่อควบคุมหุ่นยนต์คือ 1.5 วินาที (1500 ms.) และการเดินในแต่ละรอบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ 5 เซนติเมตรใช้เวลาประมาณ 20 วินาที ส่งผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่บนพื้นราบของหุ่นยนต์เฉลี่ยอยู่ที่ 0.25 เซนติเมตรต่อวินาที

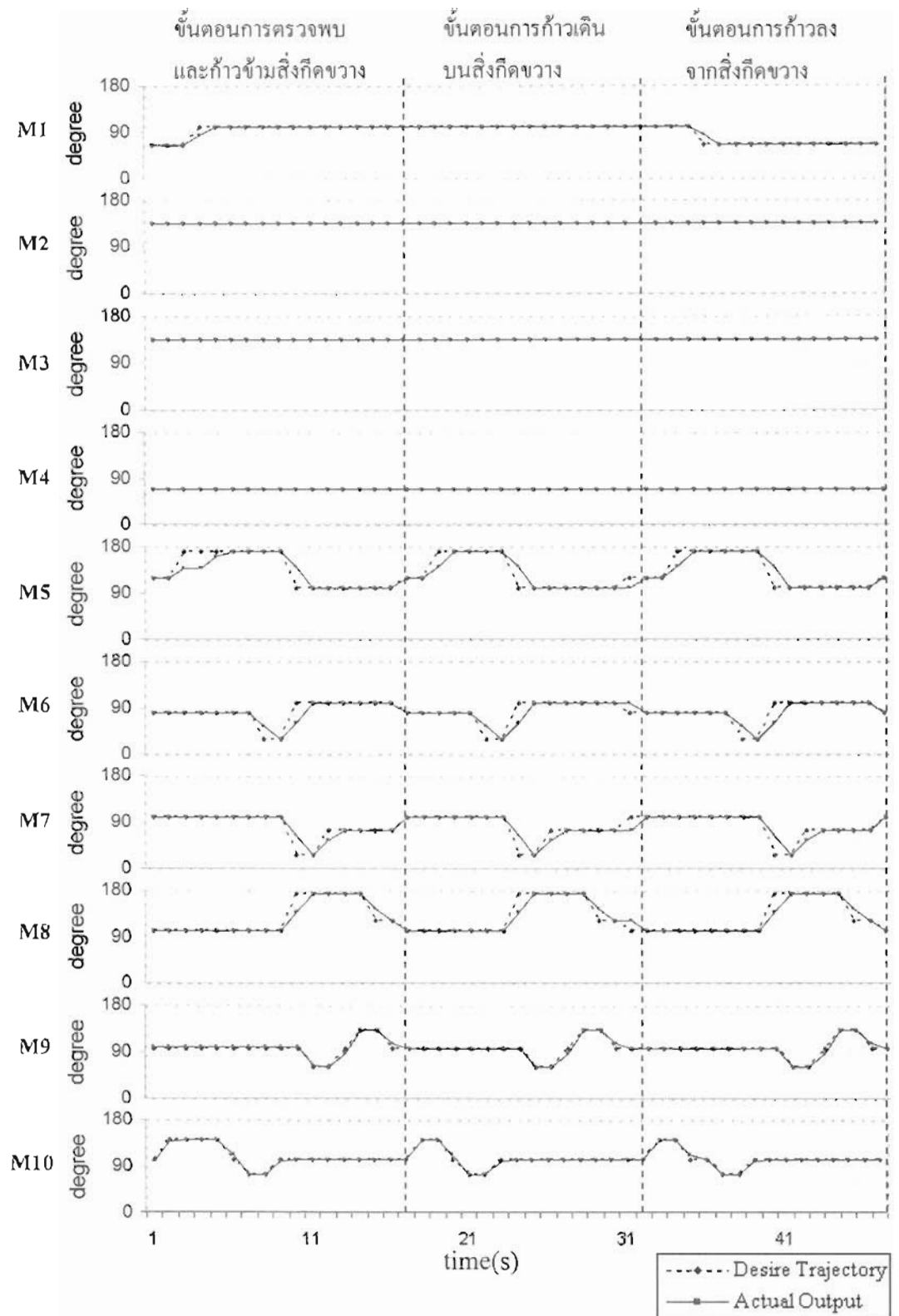
ค่าองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อท่าทางและลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ตามที่ต้องการได้ถ้าค่าองศาการหมุนเป็นไปตามที่โปรแกรมกำหนด ดังนั้นเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคำสั่งควบคุมกับค่าองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละชุดขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้รวบรวมค่าองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละชุดและแสดงในรูปของกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยพิจารณาการเดินแบบ Crawling Gait บนพื้นราบ และพิจารณาเฉพาะเซอร์โวมอเตอร์จำนวน 10 ชุด ภาพที่ 6-10 แสดงโครงสร้างของหุ่นยนต์และตำแหน่งการติดตั้งเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อประกอบการพิจารณาถึงความสัมพันธ์กันของเซอร์โวแต่ละชุด ภาพที่ 6-11 แสดงค่าองศาการหมุนเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 10 ชุดในการเดินบนพื้นราบ ด้านซ้ายคือเซอร์โวมอเตอร์ M1 M2 M5 M6 และ M10 ที่ใช้ควบคุมขาด้านหน้า ด้านขวาคือเซอร์โวมอเตอร์ M3 M4 M7 M8 และ M9 ที่ใช้ควบคุมขาด้านหลัง



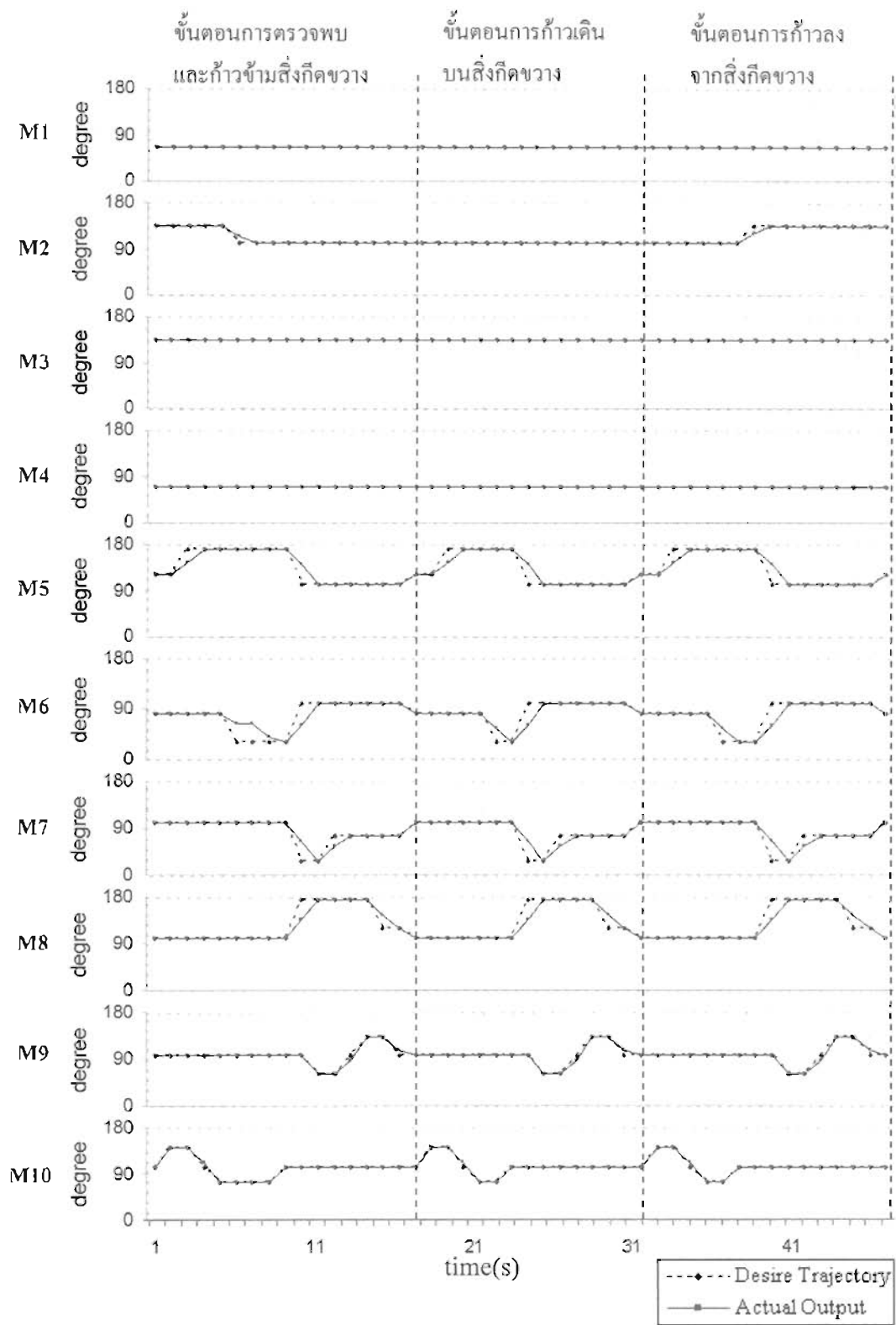
ภาพที่ 6-10 ตำแหน่งติดตั้งและทิศทางการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์



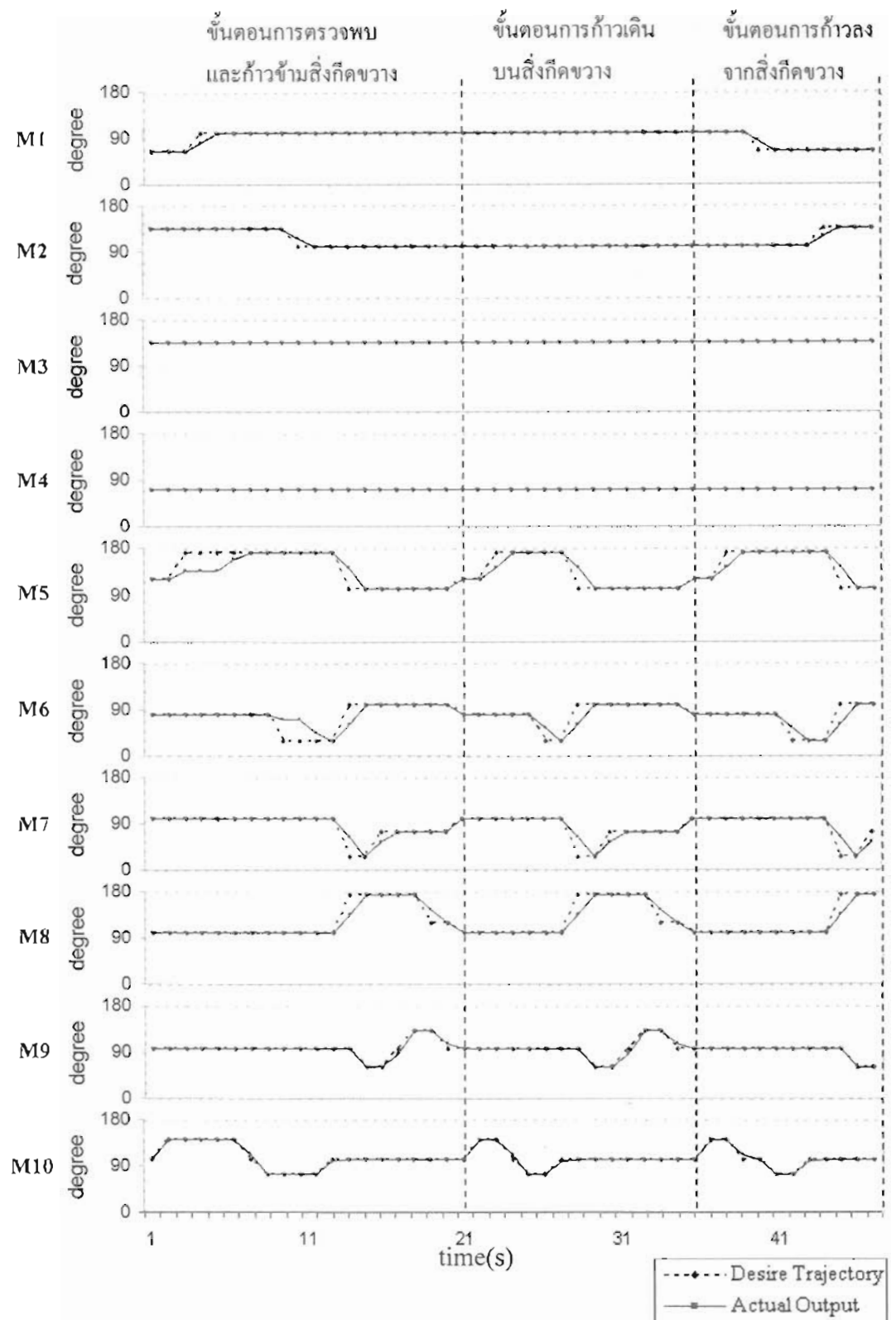
ภาพที่ 6-11 กราฟแสดงค่าองศาการหมุนเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 10 ชุดในการเดินบนพื้นราบ



ภาพที่ 6-12 กราฟเปรียบเทียบค่าองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงกับค่าควบคุมที่ต้องการในการควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินข้ามสิ่งกีดขวางขา FR



ภาพที่ 6-13 กราฟเปรียบเทียบค่าองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงกับค่าควบคุมที่ต้องการในการควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินข้ามสิ่งกีดขวางขา FL



ภาพที่ 6-14 กราฟเปรียบเทียบค่าองศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงกับค่าควบคุมที่ต้องการในการควบคุมหุ่นยนต์ให้เดินข้ามสิ่งกีดขวางขา FR และ FL

จากข้อมูลของกราฟในภาพที่ 6-12 ภาพที่ 6-13 และภาพที่ 6-14 ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าค่า
องศาการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์แต่ละชุดมีความสัมพันธ์กับคำสั่งควบคุมที่ส่งไป แต่ค่าองศาการ
หมุนของเซอร์โวมอเตอร์อาจต่างไปจากตำแหน่งที่คำสั่งควบคุมต้องการ เนื่องจากภาระงานที่เกิด
กับเซอร์โวมอเตอร์แต่ละชุดในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่มีค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ ในกรณีที่มีภาระงาน
มากเซอร์โวมอเตอร์ก็ไม่สามารถหมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้หรือหมุนไปได้ช้า ในทาง
กลับกันถ้ามีภาระงานในทิศทางเดียวกับการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ก็จะส่งผลให้เซอร์โวมอเตอร์
หมุนไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งนอกจากภาระงานของเซอร์โวมอเตอร์แล้ว ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าก็
เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการหมุนและความสามารถในการรองรับภาระงานของเซอร์โวมอเตอร์