บทที่ 4
อภิปรายผลการวิจัยและวิจารณ์

ในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของส่วนต่างๆ ของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ ได้แก่ การทดสอบความสามารถในการสะท้อนของเซนเซอร์ การทดสอบความเร็ว การทดสอบการเคลื่อนตามทางโค้ง การทดสอบการรับน้ำหนักของวัสดุ และการทดสอบการตอบสนองต่อคำสั่งของผู้ใช้

4.1 การทดสอบความสามารถในการสะท้อนของเซนเซอร์

การทดสอบความสามารถในการสะท้อนของเซนเซอร์นี้เป็นการทดสอบการสะท้อนของเซนเซอร์บนแถบสีต่างๆ และระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และแถบสีโดยใช้สีและปรับระยะห่างจากเซนเซอร์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยการทดสอบจะตรวจสอบจากการติด ดับ ของ LED และบันทันทึกค่าเป็นลอจิก คือ ถ้า LED ติดแสดงว่า เซนเซอร์มีการสะท้อนกับสีนั้นได้ดี (ลอจิก = 0) แต่ถ้า LED ไม่ติดแสดงว่าเซนเซอร์มีการสะท้อน กับสีนั้นน้อยหรือไม่มีการสะท้อนเลย (ลอจิก = 1) ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางค่าลอจิกของการสะท้อนของเซนเซอร์บนแถบสีและระยะห่างต่าง ๆ

สี	LED ติด/ดับ (0/1)					
	ระยะห่าง 0.5 cm.	ระยะห่าง 1.0 cm.	ระยะห่าง 1.5 cm.	ระยะห่าง 2.0 cm.	ระยะห่าง 2.5 cm.	ระยะห่าง 3.0 cm.
ขาว	0	0	0	0	0	0
เหลือง	0	0	0	0	0	0
ส้ม	0	0	0	0	1	1
เขียว	0	0	0	0	0	1
น้ำเงิน	0	0	0	1	1	1
ดำ	1	1	1	1	1	1

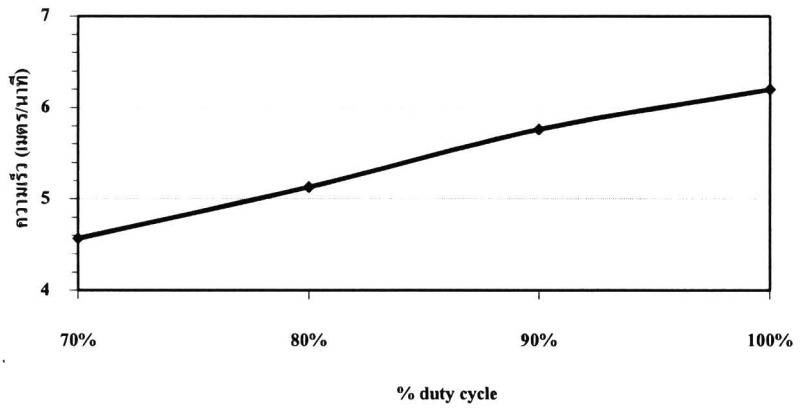
จากการทดลอง เมื่อนำแถบสีต่างๆ มาทดลองที่ระยะที่ต่างกัน สีที่โทนสีสว่าง คือ สีขาว สีเหลือง สีส้ม จะมีการสะท้อนของแสงอินฟราเรดได้ดีไม่ว่าจะมีระยะห่างใกล้หรือไกล แต่ในการทดลองอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากแสงจากภายนอก ส่วนแถบสีที่เป็นโทนสีเข้ม เช่น สีเขียว สีน้ำเงินและสีดำ ความสามารถในการสะท้อนของแสงอินฟราเรดลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และแถบสียิ่งเพิ่มขึ้น แต่ระยะห่างจะไม่มีผลต่อสีดำซึ่งจากตาราง 4.1 จะเห็นว่าสีดำไม่สามารถสะท้อนแสงของอิฟราเรดกลับได้ในระยะห่างที่กำหนด ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้แถบสีดำเป็นเส้นทางเพื่อให้เซนเซอร์สามารถตรวจจับเส้นทางและใช้สีเหลืองหรือสีขาวเป็นพื้นเพราะมีความแตกต่างของการ สะท้อนแสงอินฟราเรดมากที่สุด

4.2 การทดสอบความเร็ว

การทดสอบความเร็วนี้เป็นการทดสอบหาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุเมื่อปรับ duty cycle ของสัญญาณ PWM ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ทั้งซ้ายและขวา โดยการทดสอบจะวัดผลจากเวลาการวิ่งของรถขนถ่ายวัสดุ ในเส้นทางตรงระยะทาง 1.5 เมตรโดยไม่มีการบรรทุกชิ้นส่วนใดๆ ซึ่งได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ต่อค่าสัญญาณ PWM หนึ่งค่า แล้วนำค่าเวลา ที่รถขนถ่ายวัสดุวิ่งได้ทั้ง 3 ครั้งมาหาเวลาการเคลื่อนที่เฉลี่ย และนำผลที่ได้มาคำนวณ หาความเร็วเฉลี่ยของรถขนถ่ายวัสดุ เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ PWM ที่ควบคุมมอเตอร์กับความเร็วของ รถขนถ่ายวัสดุที่ได้ ซึ่งค่าสัญญาณ PWM มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 หรือเท่ากับ % duty cycle ตั้งแต่ 0 – 100%

ตารางที่ 4.2 ตารางค่าความเร็วที่ค่า % duty cycle ต่างๆ

% duty cycle (0 – 100%)	เวลาการเคลื่อนที่ (วินาที)				ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
70%	19.90	19.88	19.29	19.69	4.57
80%	17.93	17.56	17.16	17.55	5.13
90%	15.28	15.79	15.79	15.62	5.76
100%	14.58	14.31	14.64	14.51	6.20

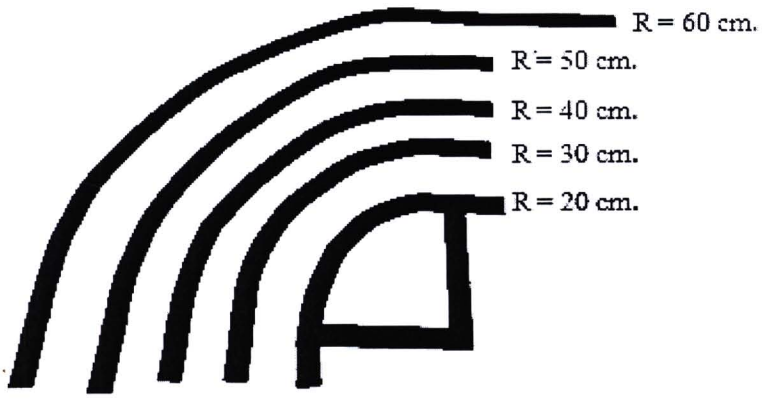


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณ PWM กับความเร็วการเคลื่อนที่

จากกราฟในรูปที่ 4.1 พบว่า เมื่อค่า % duty cycle สูงขึ้นความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุจะสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อปรับค่า % duty cycle ให้เป็น 100% พบว่ารถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6.20 เมตรต่อนาที ซึ่งความเร็วที่ทดสอบได้นี้น้อยกว่าขอบเขตของความเร็วที่ตั้งไว้ คือ 7 เมตรต่อนาที ซึ่งอาจมีสาเหตุจากในขั้นตอนการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ไม่ได้มีการคำนวณเผื่อความเร็วที่อาจสูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทานต่างๆ เช่น แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้น แรงเสียดทานระหว่างเพลากับแบริ่ง เป็นต้น มีผลให้ความเร็วไม่เป็นไปตามขอบเขตที่กำหนด ดังนั้นจึงใช้ % duty cycle ที่ 100% เพื่อให้รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6.20 เมตรต่อนาทีในระหว่างที่เคลื่อนที่ ตามแนวเส้นตรง ซึ่งใกล้เคียงกับขอบเขตมากที่สุด

4.3 การทดสอบการเคลื่อนที่ตามทางโค้ง

การทดสอบการเคลื่อนที่ตามทางโค้งนี้เป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุตามทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งต่างๆ เพื่อทดสอบว่ารถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่บนเส้นทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งน้อยที่สุดเท่าใดโดยให้ รถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่ทั้งทวนเข็มและตามเข็มนาฬิกา ซึ่งการวิ่งทวนเข็มนาฬิกาจะปรับค่า % duty cycle ที่มอเตอร์ขวา 80% และมอเตอร์ซ้าย 30% ในส่วนของการวิ่งตามเข็มนาฬิกาจะปรับค่า % duty cycle ที่มอเตอร์ขวา 30% และมอเตอร์ซ้าย 80% หลังจากทดสอบการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุแล้วได้ผลดังตารางที่ 4.3



สำนักงานคณะกรรมการวิจัย ห้องสมุดงานวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.2 รัศมีทางโค้งต่างๆที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการเคลื่อนที่ตามทางโค้ง

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการเคลื่อนที่ตามเส้นทางโค้งที่มีรัศมีความโค้งต่างๆ

รัศมีความโค้ง (cm.)	ความสามารถในการเคลื่อนที่					
	ทวนเข็มนาฬิกา			ตามเข็มนาฬิกา		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
60	Y	Y	Y	Y	Y	Y
50	Y	Y	Y	Y	Y	Y
40	Y	Y	Y	Y	Y	Y
30	Y	Y	Y	Y	Y	Y
20	N	N	N	N	N	N

หมายเหตุ Y คือ รถขนถ่ายวัสดุสามารถทำงานตามคำสั่งได้

N คือ รถขนถ่ายวัสดุไม่สามารถทำงานตามคำสั่งได้

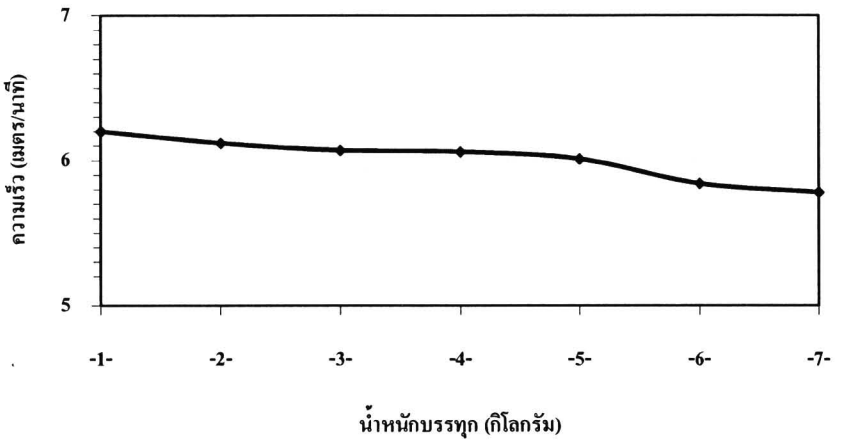
จากการทดลองพบว่า รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ได้บนรัศมีความโค้งตั้งแต่ 30 เซนติเมตร ขึ้นไป ทั้งในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา แต่เมื่อรถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่บนทางโค้งที่มีรัศมี 20 เซนติเมตร รถขนถ่ายวัสดุไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ได้ ทั้งในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ดังนั้นรถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่บนเส้นโค้งที่มีรัศมีที่แคบที่สุด คือ 30 เซนติเมตร

4.4 การทดสอบการรับน้ำหนักของวัสดุ

การทดสอบการรับน้ำหนักของวัสดุนี้เป็นการทดสอบว่ารถขนถ่ายวัสดุสามารถขนถ่ายวัสดุได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ซึ่งการทดลองพิจารณาจากน้ำหนักที่บรรทุกกับความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุที่เปลี่ยนไป โดยกำหนด ค่าความเร็วเริ่มต้นของรถขนถ่ายวัสดุไว้ที่ 6.20 เมตรต่อนาที และให้รถขนถ่ายวัสดุบรรทุกชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 1 ถึง 7 กิโลกรัม การทดสอบนี้จะบันทึกเวลาการเคลื่อนของรถขนถ่ายวัสดุ 3 ครั้ง ต่อการบรรทุกน้ำหนักชิ้นส่วน 1 ค่า โดยเคลื่อนที่บนเส้นทางตรงระยะทาง 1.5 เมตร แล้วจึงนำค่าเวลาเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุทั้ง 3 ครั้งมาเฉลี่ย และนำค่าเวลาเฉลี่ยมาคำนวณหาความเร็วเฉลี่ย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของวัสดุที่ขนถ่ายกับความเร็วของ รถขนถ่ายวัสดุ

ตารางที่ 4.4 ตารางงความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุขณะบรรทุกชิ้นส่วนที่น้ำหนักต่างๆ กัน

น้ำหนักชิ้นส่วน (kg.)	เวลาเคลื่อน (วินาที)				ความเร็วเฉลี่ย (เมตร/นาที)
	ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
1	14.49	14.49	14.54	14.51	6.20
2	14.56	14.99	14.56	14.70	6.12
3	14.88	15.06	14.51	14.82	6.07
4	14.56	14.99	14.56	14.85	6.06
5	14.98	15.07	14.86	14.97	6.01
6	15.41	15.52	15.29	15.41	5.84
7	15.63	15.33	15.77	15.57	5.78



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของวัสดุที่ขนถ่ายกับความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุ

จากการทดลอง เมื่อรถขนถ่ายวัสดุบรรทุกชิ้นส่วนที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักขึ้นไปเรื่อย ๆ พบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุนั้นลดลงไปด้วย โดยที่ช่วงน้ำหนัก 2-5 กิโลกรัม ทำให้รถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ไม่ต่ำกว่า 6 เมตรต่อนาที แต่เมื่อให้น้ำหนัก 6 กิโลกรัมขึ้นไปนั้น รถขนถ่ายวัสดุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ต่ำกว่า 6 เมตรต่อนาที ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากกราฟดังรูปที่ 4.3 จึงสรุปได้ว่ารถขนถ่ายวัสดุจะสามารับน้ำหนักของชิ้นส่วนได้ไม่เกิน 5 กิโลกรัม จึงจะทำให้ความเร็วของรถขนถ่ายวัสดุนั้นมีความเร็วที่ใกล้เคียงกับความเร็วที่กำหนดไว้นั้นคือ 6.20 เมตรต่อนาที

4.5 การทดสอบการตอบสนองต่อคำสั่งของรถขนถ่ายวัสดุ

การทดสอบการตอบสนองต่อคำสั่งนี้เป็นการทดสอบโดยการสั่งให้รถขนถ่ายวัสดุเคลื่อนที่ไปยังสถานีต่างๆ เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการรับคำสั่งหรือการอ่านแถบรหัสของสถานีที่ติดอยู่บนพื้น โดยการทดสอบแต่ละกรณีนั้นรถขนถ่ายวัสดุสามารถเคลื่อนไปข้างหน้าได้ทิศทางเดียวไม่สามารถถอยหลังกลับได้และ ทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.5. และระยะห่างระหว่าง แต่ละสถานี ดังต่อไปนี้

ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 1 และ 2 คือ 3.35 เมตร

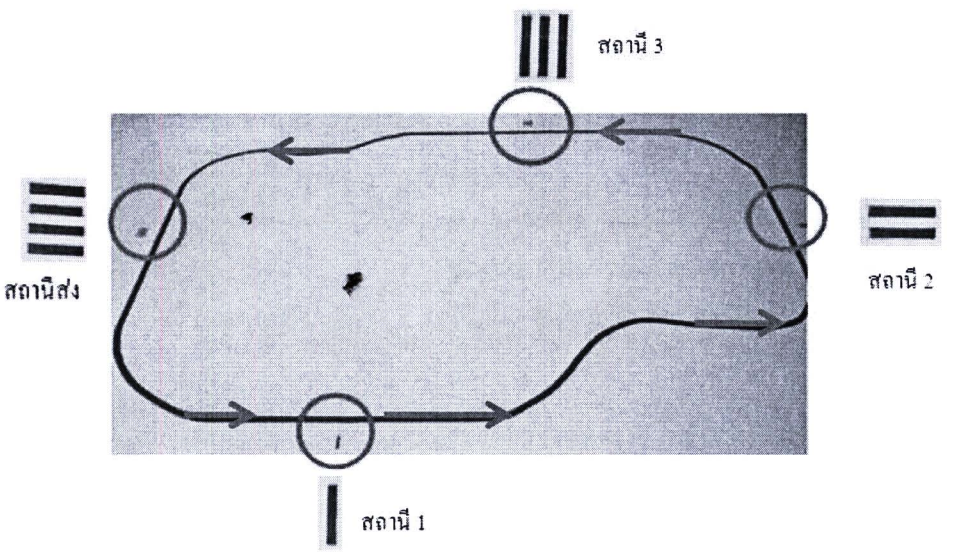
ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 1 และ 3 คือ 5.45 เมตร

ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 1 และ สถานีส่ง คือ 8.59 เมตร

ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 2 และ 3 คือ 2.10 เมตร

ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 2 และ สถานีส่ง คือ 5.24 เมตร

ระยะห่างระหว่างสถานีที่ 3 และ สถานีส่ง คือ 3.14 เมตร



รูปที่ 4.4 เส้นทางในการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุ

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงประสิทธิภาพการตอบสนองต่อคำสั่งของรถขนถ่ายวัสดุ

คำสั่ง	การตอบสนองและการทำตามคำสั่ง			ประสิทธิภาพ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
สถานีส่ง ---> 1	Y	Y	Y	100%
สถานีส่ง ---> 2	Y	Y	Y	100%
สถานีส่ง ---> 3	Y	Y	Y	100%
1 ---> 2	Y	Y	Y	100%
1 ---> 3	Y	Y	Y	100%
1 ---> สถานีส่ง	Y	Y	Y	100%
2 ---> 1	Y	Y	Y	100%
2 ---> 3	Y	Y	Y	100%
2 ---> สถานีส่ง	Y	Y	Y	100%
3 ---> 1	Y	Y	Y	100%
3 ---> 2	Y	Y	Y	100%
3 ---> สถานีส่ง	Y	Y	Y	100%

หมายเหตุ Y คือ รถขนถ่ายวัสดุสามารถทำงานตามคำสั่งได้

N คือ รถขนถ่ายวัสดุไม่สามารถทำงานตามคำสั่งได้

จากการทดลองพบว่า รถขนถ่ายวัสดุสามารถตอบสนองคำสั่งให้เคลื่อนที่ไปยังสถานีต่างๆได้อย่างแม่นยำ โดยไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเลย ดังนั้นประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อคำสั่งของรถขนถ่ายวัสดุ คือ 100%