



## รายงานการวิจัย

เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ  
ที่ควบคุมความหนาแผ่นยางแบบอัตโนมัติ  
(Intelligent Electric Rubber Pressure Machine with Rubber  
Sheet Thickness Automatic Control)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.กองพล อารีรักษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายชาคริต ปานแป้น

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการสำเร็จล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ครู อาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ทางด้านต่าง ๆ ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน และบุคคลที่สำคัญอย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้ความรัก กำลังใจ การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเสมอมา

กองพล อารีรักษ์



## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนลูกรีดสำหรับรีดแผ่นยางพาราแทนการใช้มือหมุน ซึ่งได้ทำการออกแบบชุดติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพาราแบบมือหมุนเพื่อให้สามารถขับเคลื่อนลูกรีดของเครื่องรีดยางพารา โดยมีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้ตัวควบคุมพีซีลอจิก การควบคุมความเร็วดังกล่าวจะส่งผลต่อความหนาของแผ่นยางพาราอีกด้วย นอกจากนี้ในงานวิจัยได้นำเสนอวิธีการค้นหาค่าเหมาะที่สุดแบบตามูเชิงปรับตัว สำหรับหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการขับเคลื่อนเครื่องรีดยางพารา เพื่อให้ได้กำไรในการขายแผ่นยางพารามากที่สุด โดยพลังงานที่ใช้จะต้องคุ้มค่าที่สุด ผลการทดสอบการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ พบว่าแผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดด้วยเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าดังกล่าว มีคุณภาพเป็นยางแผ่นดิบชั้น 1 สามารถขายได้กำไรสูงสุด โดยมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า งานวิจัยนี้ได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญในการใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานสะอาด ไม่มีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเหมาะสมกับพื้นที่สวนยางพาราที่เป็นที่โล่งแจ้งสามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดี มาใช้เป็นแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ และได้ทำการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อพิจารณาต้นทุนในการสร้างและประเมินจุดคุ้มทุนของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ รวมทั้งได้นำเสนอแนวทางการใช้งาน เพื่อให้การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะเกิดประโยชน์สูงสุดต่อเกษตรกร

กองพล อารีรักษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## Abstract

This research proposes the intelligent electric rubber pressure machine with rubber sheet thickness automatic control. The manual drive system is replaced by the motor drive system for this machine. The electric motor is applied to drive the Para rubber rolling machine. The adaptive fuzzy logic controller is used to control the motor speed. The speed control affects the thickness of the Para sheets. The optimal motor speed value for the Para rubber rolling machine using an artificial intelligence technique called adaptive Tabu search is proposed in the research. The main objective of this work is the maximum profit from the products, while the maximum value of energy saving is considered. The testing results of the intelligent electric rubber pressure machine with rubber sheet thickness automatic control show that these Para sheets are produced to be a best quality (first class). The proposed process can also provide the maximum profit under optimizing energy resources. The solar cell is used in this work. The considered source is green energy. Therefore, it is important to reduce the environmental pollution. The operating area has an open spaces. This site can provide good performance for an absorption of light. For this reason, the solar energy is suitable for the intelligent Para rubber rolling machine. The economic evaluation is presented in the research. The cost and break-even point of the intelligent electric rubber pressure machine with rubber sheet thickness automatic control are analyzed. In addition, the technical manual of the intelligent electric rubber pressure machine with rubber sheet thickness automatic control is also presented in this thesis. It is very useful for agriculturist.

Kongpol Areerak

## สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ .....	ก
บทคัดย่อ .....	ข
Abstract .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ญ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ</b> .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	7
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	7
1.4 สมมติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย .....	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	8
1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย .....	8
1.7 การจัดรูปเล่มรายงานวิจัย .....	8
<b>2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b> .....	10
2.1 กล่าวนำ .....	10
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร .....	10
2.3 วงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี .....	12
2.4 แบตเตอรี่ .....	13
2.5 ทฤษฎีของฟuzzy .....	14
2.5.1 ฟuzzy เซต .....	14
2.5.2 การดำเนินการทางฟuzzy เซต .....	15
2.5.3 ฟังก์ชันสมาชิกภาพ .....	18
2.5.4 ตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษา .....	20
2.5.5 กฎของฟuzzy .....	20
2.5.6 การอนุมานฟuzzy แบบ Takagi-Sugeno .....	21
2.6 สรุป .....	22

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>3</b>	<b>การควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมพีชซีลอจิก</b> .....	<b>23</b>
3.1	กล่าวนำ.....	23
3.2	ระบบที่พิจารณา .....	23
3.3	การออกแบบและสร้างตัวควบคุมพีชซีลอจิก สำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา.....	24
3.3.1	รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพ .....	24
3.3.2	การออกแบบตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษา.....	25
3.3.3	การออกแบบกฎของพีชซี .....	27
3.3.4	การสร้างตัวควบคุมพีชซีลอจิก บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR .....	29
3.4	การสร้างชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมพีชซีลอจิก .....	31
3.4.1	วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า .....	33
3.4.2	วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก .....	39
3.4.3	วงจรสร้างสัญญาณ PWM.....	40
3.4.4	วงจรแยกโคตสัญญาณ .....	45
3.4.5	วงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี .....	47
3.5	การติดตั้งชุดควบคุมและมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพารา .....	48
3.6	การทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา .....	50
3.7	การแก้ไขปัญหาของตัวควบคุมพีชซีลอจิกเพื่อให้มีโครงสร้างเหมาะสม สำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา .....	54
3.7.1	จำนวนค่าเชิงภาษา .....	54
3.7.2	กฎของพีชซี .....	56
3.7.3	การทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา หลังจากการแก้ไข .....	57
3.7.4	การเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา ของตัวควบคุมพีชซีลอจิกกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 3 ค่า กับกรณีที่ใช้ ค่าเชิงภาษาจำนวน 5 ค่า.....	61
3.8	สรุป.....	62
<b>4</b>	<b>การหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา</b> .....	<b>63</b>
4.1	กล่าวนำ.....	63
4.2	วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาชั่งปรับตัว .....	63

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา โดยใช้วิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู่เชิงปรับตัว.....	67
4.3.1 การทดสอบรีดแผ่นยางพาราสำหรับหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุด.....	67
4.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุด ในการรีดแผ่นยางพารา.....	83
4.3.3 การค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา .....	84
4.4 การทดสอบรีดแผ่นยางพาราโดยใช้ค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุด ที่ได้จากการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว .....	89
4.5 สรุป.....	94
<b>5 การออกแบบแหล่งพลังงานและการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ .....</b>	<b>95</b>
5.1 กล่าวนำ.....	95
5.2 การออกแบบแหล่งพลังงาน .....	95
5.2.1 การออกแบบแบตเตอรี่.....	95
5.2.2 การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	96
5.2.3 การออกแบบตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์.....	97
5.2.4 การทดสอบแหล่งพลังงาน .....	98
5.3 แนวทางการใช้เครื่องรีดยางไฟฟ้าอัจฉริยะด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิก.....	101
5.4 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ .....	109
5.4.1 การประเมินราคาของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ ด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิก .....	109
5.4.2 การประเมินจุดคุ้มทุน .....	110
5.5 สรุป.....	112
<b>6 สรุปและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>113</b>
6.1 สรุป.....	113
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	114
รายการอ้างอิง .....	115
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. โปรแกรมการสร้างตัวควบคุมฟuzzyลอจิกสำหรับควบคุมความเร็ว ของเครื่องรีดยางพาราบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR.....	117
ภาคผนวก ข. การทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ ATS สำหรับหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุด ในการรีดแผ่นยางพารา.....	124
ภาคผนวก ค. การคำนวณหาค่าตัวประกอบต้นทุนแสงอาทิตย์ .....	129

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง. แบบฟอร์มการให้ข้อมูลของเกษตรกร .....	132
ภาคผนวก จ. คู่มือการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ ที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ .....	134
ภาคผนวก ฉ. การเผยแพร่ผลงานวิจัย .....	139
ประวัติผู้วิจัย .....	145





## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	1
1.2	6
3.1	26
3.2	36
3.3	43
3.4	51
3.5	55
3.6	58
3.7	61
4.1	68
4.2	70
4.3	72
4.4	74
4.5	76
4.6	78
4.7	80
4.8	81
4.9	84
4.10	85
4.11	93
5.1	99
5.2	101
5.3	103

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.4 แนวทางการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงาน ไม่เพียงพอในการรีดแผ่นยางพารา.....	106
5.5 รายละเอียดการประเมินของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ .....	110
ข.1 ผลการทดสอบจำนวนคำตอบเริ่มต้น .....	125
ข.2 ผลการทดสอบจำนวนคำตอบรอบข้าง .....	126
ข.3 ผลการทดสอบค่ารัศมีเริ่มต้น .....	127
ข.4 ผลการทดสอบค่าตัวประกอบปรับลดรัศมี .....	128
ค.1 ต้นทุนของแหล่งพลังงานสำหรับเครื่องรีดยางไฟฟ้าอัจฉริยะด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิก .....	130
ค.2 พลังงานที่ได้รับทั้งหมดจากการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ .....	130



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การใช้ยางธรรมชาติแยกตามผลิตภัณฑ์.....	5
1.2 เครื่องรีดยางพาราแบบมือหมุน.....	5
1.3 เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.1 รูปร่างภายนอกและโครงสร้างภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....	11
2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบ.....	11
2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและแรงดันอาร์มเจอร์.....	11
2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันอาร์มเจอร์.....	12
2.5 วงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซีอย่างง่าย.....	13
2.6 ฟังก์ชันแสดงความเป็นสมาชิกของฟuzzyเซต.....	15
2.7 การยูเนียนของฟuzzyเซต A และ B.....	16
2.8 การอินเตอร์เซกชันของฟuzzyเซต A และ B.....	16
2.9 ส่วนเติมเต็มค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟuzzyเซต A.....	17
2.10 ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปสามเหลี่ยม.....	18
2.11 ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปสี่เหลี่ยมคางหมู.....	19
2.12 ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปเกาส์เซียน.....	19
2.13 ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปประฆังคว่ำ.....	20
2.14 หลักการอนุมานฟuzzy.....	22
3.1 ระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิก.....	24
3.2 ฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุตรูปสามเหลี่ยม.....	25
3.3 ฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุตรูปแท่งตรงโทน.....	25
3.4 ระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราโดยใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิก.....	26
3.5 ฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error กรณี 3 ค่าเชิงภาษา.....	27
3.6 ฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage กรณี 3 ค่าเชิงภาษา.....	27
3.7 การเปรียบเทียบสัญญาณ.....	28
3.8 ผลการเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณ PWM.....	29
3.9 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET - EASY MEGA.....	30
3.10 ระบบชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิก.....	32
3.11 ชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิก.....	33
3.12 ไอซีเบอร์ LM331.....	34
3.13 วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า.....	34
3.14 วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานจริง.....	35

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่อินพุตที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร็ว และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดได้จากวงจร.....	37
3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของมอเตอร์ และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดได้.....	38
3.17 ไอซีเบอร์ MCP4922.....	39
3.18 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก .....	39
3.19 ไอซีเบอร์ SG3524 .....	41
3.20 วงจรสร้างสัญญาณ PWM.....	41
3.21 วงจรสร้างสัญญาณ PWM ที่ใช้งานจริง.....	42
3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรหน้าที่ และแรงดันอินพุต .....	44
3.23 ไอซีเบอร์ TLP250 .....	45
3.24 วงจรแยกโหนดสัญญาณ .....	45
3.25 วงจรแยกโหนดสัญญาณที่ใช้งานจริง .....	46
3.26 ผลการทดสอบวงจรแยกโหนดสัญญาณกรณีที่ 1 มีค่าวัฏจักรหน้าที่ 25% .....	46
3.27 ผลการทดสอบวงจรแยกโหนดสัญญาณกรณีที่ 2 มีค่าวัฏจักรหน้าที่ 50% .....	47
3.28 ผลการทดสอบวงจรแยกโหนดสัญญาณกรณีที่ 3 มีค่าวัฏจักรหน้าที่ 75% .....	47
3.29 วงจรแปลงผันตีสี่เป็นตีสี่ที่ใช้งานจริง.....	48
3.30 การติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพารา.....	49
3.31 การติดตั้งชุดควบคุมและมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพารา.....	50
3.32 ผลการทดสอบตัวควบคุมฟuzzyลอจิกของจักรลื่นกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 3 ค่า .....	52
3.33 ผลการทดสอบตัวควบคุมฟuzzyลอจิกของจักรดอกกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 3 ค่า.....	53
3.34 ฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error กรณี 5 ค่าเชิงภาษา.....	55
3.35 ฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage กรณี 5 ค่าเชิงภาษา.....	56
3.36 ผลการทดสอบตัวควบคุมฟuzzyลอจิกของจักรลื่นกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 5 ค่า .....	59
3.37 ผลการทดสอบตัวควบคุมฟuzzyลอจิกของจักรดอกกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 5 ค่า.....	60
4.1 การสุ่มคำตอบเริ่มต้นภายในพื้นที่การค้นหา .....	64
4.2 คำตอบรอบข้างภายในพื้นที่รัศมีการค้นหา .....	64
4.3 การประเมินคำตอบ $S_1$ .....	65
4.4 การกำหนดค่าใกล้เคียงใหม่ .....	65
4.5 การกำหนดค่า $S_0$ ใหม่ .....	65
4.6 กลไกการเดินย้อนรอย.....	66

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ชุดทดสอบรีดแผ่นยางพารา.....	67
4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารา กรณีความเร็วจักรดอกคองที่ 2000 รอบต่อนาที.....	69
4.9 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารา กรณีความเร็วจักรดอกคองที่ 1750 รอบต่อนาที.....	71
4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารา กรณีความเร็วจักรดอกคองที่ 1500 รอบต่อนาที.....	73
4.11 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารา กรณีความเร็วจักรดอกคองที่ 1250 รอบต่อนาที.....	75
4.12 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารา กรณีความเร็วจักรดอกคองที่ 1000 รอบต่อนาที.....	77
4.13 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารา กรณีความเร็วจักรดอกคองที่ 750 รอบต่อนาที.....	79
4.14 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารา กรณีความเร็วจักรดอกคองที่ 500 รอบต่อนาที.....	80
4.15 กราฟแสดงผลการทดสอบทดสอบการเดินเครื่องรีดยางพาราตัวเปล่า.....	82
4.16 การรู้เข้าของค่ากำไรสูงสุด สำหรับการค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุด ในการรีดแผ่นยางพารา.....	87
4.17 ผลการค้นหาความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่น และจักรดอก.....	89
4.18 การวัดความหนาของแผ่นยางพารา.....	90
4.19 ความหนาของแผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดด้วยความเร็วในกรณีที่ 1.....	91
4.20 ความหนาของแผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดด้วยความเร็วในกรณีที่ 2.....	92
4.21 ความหนาของแผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดด้วยความเร็วในกรณีที่ 3.....	92
5.1 แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 18 แอมแปร์-ชั่วโมง.....	96
5.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมโพลีขนาด 50 วัตต์ ต่ออนุกรมกัน.....	97
5.3 ตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ชนิด MPPT P&O.....	98
5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลา 1 วัน.....	100
จ.1 เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ.....	135
จ.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ ที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ.....	136
จ.3 กล่องควบคุมเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ ที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ.....	138

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยจากสถิติที่จัดทำโดยสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้รายงานไว้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก โดยผลิตได้ปีละประมาณ 3.57 ล้านตัน ประเทศไทยมีพื้นที่ในการปลูกยางพาราประมาณ 18.46 ล้านไร่ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นภาคใต้ รองลงมาคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยข้อมูลพื้นที่การปลูกยางพาราในประเทศไทยแสดงได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 พื้นที่การปลูกยางพาราในประเทศไทย

หน่วย : ไร่

จังหวัด	ปี 2552	ปี 2553	ปี 2554
1. เชียงราย	118,885	237,025	240,364
2. เพชรบูรณ์	25,759	29,585	36,988
3. น่าน	54,620	64,571	66,588
4. พะเยา	121,520	124,685	124,942
5. พิษณุโลก	152,768	158,918	159,690
6. อุทัยธานี	22,497	25,719	28,291
7. ลำปาง	27,597	29,332	29,332
8. ลำพูน	9,397	9,911	9,911
9. เชียงใหม่	33,465	33,349	33,417
10. แม่ฮ่องสอน	3,228	3,906	3,906
11. ตาก	19,014	19,284	19,762
12. กำแพงเพชร	34,235	35,855	36,591
13. สุโขทัย	21,390	22,102	22,444
14. แพร่	18,552	19,010	20,615
15. อุตรดิตถ์	19,340	19,719	19,719

## ตารางที่ 1.1 พื้นที่การปลูกยางพาราในประเทศไทย (ต่อ)

หน่วย : ไร่

จังหวัด	ปี 2552	ปี 2553	ปี 2554
16. พิจิตร	2,154	10,387	2,459
17. นครสวรรค์	9,391	10,494	12,383
<b>รวมภาคเหนือ</b>	<b>693,812</b>	<b>853,852</b>	<b>867,402</b>
จังหวัด	ปี 2552	ปี 2553	ปี 2554
1. กาฬสินธุ์	144,268	147,848	155,240
2. ขอนแก่น	44,283	47,604	52,364
3. ชัยภูมิ	34,574	37,164	39,025
4. นครพนม	148,158	178,151	181,714
5. นครราชสีมา	27,455	28,539	41,157
6. บุรีรัมย์	189,138	194,651	210,223
7. มหาสารคาม	4,580	5,314	5,360
8. มุกดาหาร	131,067	135,203	136,083
9. ยโสธร	57,106	63,812	70,198
10. ร้อยเอ็ด	27,123	30,021	33,023
11. เลย	427,083	461,968	475,827
12. ศรีสะเกษ	189,866	195,673	231,208
13. สกลนคร	182,531	235,269	210,401
14. สุรินทร์	93,017	91,686	103,094
15. หนองคาย	648,973	838,290	208,135
16. บึงกาฬ	-	-	626,819
17. หนองบัวลำภู	98,136	108,435	110,604
18. อำนาจเจริญ	44,539	47,458	52,222
19. อุตรดิตถ์	315,049	325,866	332,383

ตารางที่ 1.1 พื้นที่การปลูกยางพาราในประเทศไทย (ต่อ)

หน่วย : ไร่

จังหวัด	ปี 2552	ปี 2553	ปี 2554
20. อุบลราชธานี	177,151	189,839	202,223
<b>รวมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ</b>	<b>2,984,097</b>	<b>3,362,791</b>	<b>3,477,303</b>
จังหวัด	ปี 2552	ปี 2553	ปี 2554
1. กาญจนบุรี	102,180	131,000	132,400
2. จันทบุรี	470,234	479,192	484,180
3. ฉะเชิงเทรา	122,112	125,653	126,224
4. ชลบุรี	189,043	193,188	196,130
5. ตราด	257,566	268,169	288,145
6. ปราจีนบุรี	16,167	20,613	20,888
7. ระยอง	718,607	744,708	746,070
8. ราชบุรี	15,026	23,900	22,812
9. สระแก้ว	30,543	31,547	35,635
10. ประจวบคีรีขันธ์	130,010	142,793	143,270
11. เพชรบุรี	8,760	9,855	9,900
12. สุพรรณบุรี	2,100	2,415	2,462
13. ปทุมธานี	-	-	-
14. นครนายก	-	411	-
15. สระบุรี	678	678	657
16. ลพบุรี	392	871	871
<b>รวมภาคกลาง (ภาคตะวันออก)</b>	<b>2,063,418</b>	<b>2,174,993</b>	<b>2,209,644</b>



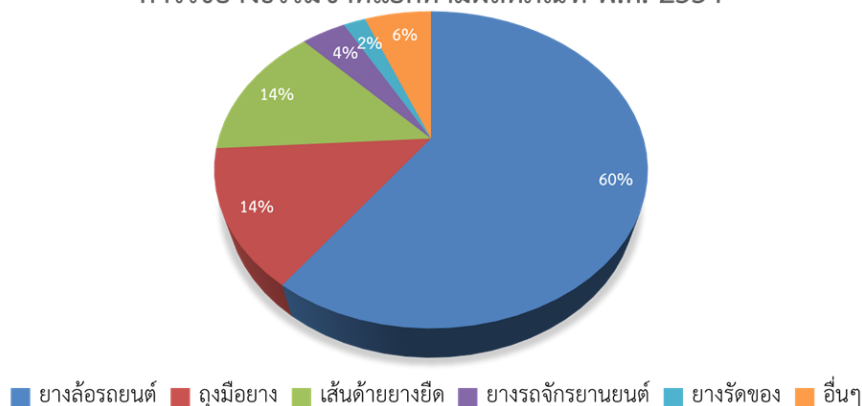
ตารางที่ 1.1 พื้นที่การปลูกยางพาราในประเทศไทย (ต่อ)

หน่วย : ไร่

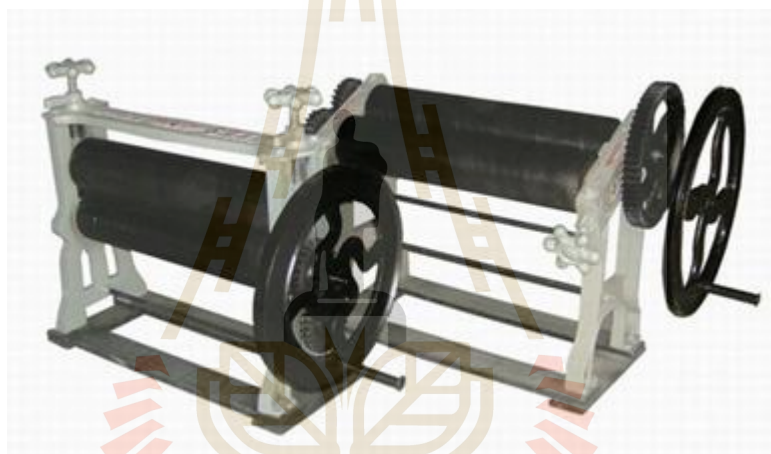
จังหวัด	ปี 2552	ปี 2553	ปี 2554
1. กระบี่	627,265	634,489	622,145
2. ชุมพร	465,664	557,057	490,923
3. ตรัง	1,332,412	1,365,210	1,383,414
4. นครศรีธรรมราช	1,469,569	1,504,017	1,484,084
5. นราธิวาส	1,005,846	1,007,850	1,007,849
6. ปัตตานี	302,344	309,246	325,199
7. พังงา	791,037	804,943	793,618
8. พัทลุง	548,407	587,371	602,594
9. ภูเก็ต	89,986	88,838	88,223
10. ยะลา	1,060,920	1,091,027	1,096,594
11. ระนอง	157,716	209,791	179,793
12. สงขลา	1,461,249	1,518,500	1,573,621
13. สตูล	300,014	320,258	337,127
14. สุราษฎร์ธานี	1,900,561	1,929,778	1,921,698
<b>รวมภาคใต้</b>	<b>11,512,990</b>	<b>11,928,375</b>	<b>11,906,882</b>
<b>รวมทั้งประเทศ</b>	<b>17,254,317</b>	<b>18,320,011</b>	<b>18,461,231</b>

นอกจากประเทศไทยจะเป็นประเทศที่มีการผลิตยางธรรมชาติมากที่สุดในโลกแล้ว ข้อมูลในปี 2554 ระบุไว้ว่า ประเทศไทยยังคงเป็นประเทศที่มีการใช้ยางธรรมชาติเป็นอันดับ 5 ของโลก โดยส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์ยางล้อรถยนต์ ซึ่งสามารถดูข้อมูลในภาพรวมของการใช้ยางธรรมชาติสำหรับประเทศไทยแสดงได้ดังรูปที่ 1.1 และจากการสำรวจเกษตรกรชาวสวนยางพารา พบว่าเกษตรกรที่ปลูกยางพารา ส่วนใหญ่เป็นชุมชนขนาดเล็กที่กระจายอยู่ตามพื้นที่ต่าง ๆ ในประเทศ โดยเฉพาะภาคใต้ ในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ประชาชนส่วนใหญ่มีอาชีพปลูกยางพารา ซึ่งเป็นชุมชนขนาดเล็กระดับครัวเรือน โดยชุมชนเหล่านี้ส่วนใหญ่จะใช้เครื่องรีดยางพาราแบบมือหมุน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.2

การใช้ยางธรรมชาติแยกตามผลิตภัณฑ์ พ.ศ. 2554



รูปที่ 1.1 การใช้ยางธรรมชาติแยกตามผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1.2 เครื่องรีดยางพาราแบบมือหมุน

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้มีการสร้างเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 1.3 โดยเครื่องรีดยางดังกล่าว ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ในปี พ.ศ. 2558 โดยใช้มอเตอร์ทางไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนลูกกลิ้งสำหรับรีดยางพาราแทนการใช้มือหมุน โดยแหล่งพลังงานทางไฟฟ้าจะมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เก็บพลังงานไว้ที่แบตเตอรี่ โดยเครื่องรีดยางดังกล่าว ส่งผลให้ชาวสวนยางลดภาระกำลังคนเพื่อใช้ในการรีดยางที่ใช้มือหมุน ผลผลิตของแผ่นยางที่ผ่านการรีดจะมีปริมาณที่มากขึ้น อีกทั้งยังสามารถใช้พลังงานจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้จากการสืบค้นข้อมูล พบว่า ชาวสวนยางบางชุมชนปลูกต้นยางที่ไกลจากสังคมเมือง ซึ่งพลังงานไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ซึ่งเครื่องรีดยางไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจะเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกให้กับชาวสวนยางกลุ่มนี้ หรือในบางชุมชนต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพื่อนำยางพาราจากสวนยางมาผ่านกระบวนการรีดยางในพื้นที่ที่

มีไฟฟ้า ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวอาจอยู่ห่างไกลกันมาก ซึ่งการขนย้ายจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมโดยที่ไม่จำเป็น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์จึงช่วยแบ่งเบาหรือลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้อย่างแน่นอน



รูปที่ 1.3 เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากการทดสอบเครื่องรีดยางที่สร้างขึ้น พบว่า ความเร็วของมอเตอร์มีผลโดยตรงต่อความหนาของแผ่นยาง โดยถ้าความเร็วมากจะทำให้แผ่นยางมีความหนาน้อยกว่าในกรณีที่ความเร็วมอเตอร์ต่ำ ด้วยเหตุนี้ในโครงการวิจัยนี้จึงมีความคิดริเริ่มที่จะควบคุมความเร็วมอเตอร์ของเครื่องรีดยางให้มีค่าคงที่ เพื่อให้ได้ความหนาของแผ่นยางคงที่ โดยความหนาของแผ่นยางพารามีความสำคัญมากเนื่องจากความหนาของแผ่นยางพาราส่งผลต่อราคาขายแผ่นยางพาราตามท้องตลาด แสดงได้ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ราคาขายแผ่นยางตามท้องตลาด

ชนิดแผ่นยาง	ความหนาแผ่นยางพารา ( $X$ )	ราคา (บาท/กิโลกรัม)
ยางแผ่นดิบชั้น 1	$X \leq 4 \text{ mm}$	45.72
ยางแผ่นดิบชั้น 2	$4 < X \leq 6 \text{ mm}$	44.00
ยางแผ่นดิบชั้น 3	$6 < X \leq 8 \text{ mm}$	41.00
ยางแผ่นดิบไม่มีคุณภาพ (ยางรวม)	$X > 8 \text{ mm}$	37.15

หมายเหตุ : ราคาขายพาราอ้างอิงตลาดกลางสุราษฎร์ธานี วันที่ 25 มีนาคม 2558

นอกจากนี้ถ้าพิจารณาเรื่องพลังงานที่ใช้สำหรับการรีดยาง จะพบว่า ถ้ามอเตอร์หมุนเร็วขึ้น จะส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนจะมีค่ามากยิ่งขึ้น ดังนั้นความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา ที่ทำให้แผ่นยางมีความหนาที่จะขายได้ราคาดีที่สุด โดยมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการพิจารณา ด้วยเหตุนี้ในโครงการวิจัยจะนำเสนอแนวทางเพื่อหาความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าเพื่อให้ได้กำไรในการขายแผ่นยางพารามากที่สุด โดยพลังงานที่ใช้ต้องคุ้มค่าที่สุดด้วยเช่นกัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างชุดควบคุมเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าที่สามารถรีดแผ่นยางพาราให้ความหนาของแผ่นยางคงที่ได้

1.2.2 เพื่อหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดของมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับรีดยางพาราเพื่อให้ได้กำไรในการขายแผ่นยางพารามากที่สุด โดยมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุด

1.2.3 เพื่อสร้างตัวควบคุมแบบปรับตัวของชุดควบคุมเครื่องรีดยางพาราให้สามารถปรับตัวได้ตามสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไป

1.2.4 เพื่อลดภาระด้านกำลังคนในการรีดยางพารา โดยจะใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าแทนการใช้มือหมุน อีกทั้งเป็นการเพิ่มผลผลิตการรีดแผ่นยางพาราที่ได้ในแต่ละวันให้เพิ่มมากขึ้น

1.2.5 เพื่อประหยัดค่าไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อน และค่าขนส่งยางพาราจากสวนยางพารายังจุดที่รีดยางพารา โดยจะใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติ และเป็นพลังงานสะอาด

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การพัฒนาชุดต้นแบบจะพัฒนาจากเครื่องรีดยางพาราแบบมือหมุนเท่านั้น

1.3.2 ในกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์มีค่าไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่แทน

1.3.3 สภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไปที่มีผลต่อตัวควบคุม คือ โหลด ระดับพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าความเร็วอ้างอิงที่ค่าต่าง ๆ

## 1.4 สมมติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

1.4.1 ความเร็วของมอเตอร์ที่ติดตั้งกับเครื่องรีดยางแบบมือหมุน มีผลโดยตรงกับความหนาของแผ่นยางพาราที่รีด

1.4.2 เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้ จะมีค่าความเร็วค่าหนึ่งซึ่งส่งผลให้ได้กำไรในการขายแผ่นยางพารามากที่สุด โดยพลังงานที่ใช้ต้องคุ้มค่าที่สุดด้วยเช่นกัน

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ชุดควบคุมเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าที่สามารถรีดยางให้ความหนาของแผ่นยางคงที่ได้

1.5.2 ได้องค์ความรู้ในการหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดของมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับรีดยางพาราเพื่อให้ได้กำไรในการขายแผ่นยางพารามากที่สุด โดยมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุด

1.5.3 ได้ตัวควบคุมแบบปรับตัวของชุดควบคุมเครื่องรีดยางพาราให้สามารถปรับตัวได้ตามสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไป

1.5.4 ช่วยลดภาระด้านกำลังคนในการรีดยางพาราของเกษตรกร โดยจะใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าแทนการใช้มือหมุน และเป็นการเพิ่มผลผลิตการรีดแผ่นยางพาราที่ได้ในแต่ละวันให้เพิ่มมากขึ้น

1.5.5 ช่วยให้เกษตรกรประหยัดค่าไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อน และค่าขนส่งยางพาราจากสวนยางมายังจุดที่รีดยางพารา โดยจะใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติ และเป็นพลังงานสะอาด

## 1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

ผู้วิจัยจะถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะให้กับชุมชนที่มีการปลูกยาง ซึ่งผู้วิจัยได้สำรวจชุมชนที่ใช้เครื่องรีดยางพาราแบบมือหมุนไว้แล้ว ดังนี้

- หมู่บ้านศรีควนทอง ต.ช้างซ้าย อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี ทำแผ่นยางพาราประมาณ 20 ครั้วเรือน
  - หมู่บ้านหัวหมากกลาง ต.ช้างขวา อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี ทำแผ่นยางพาราประมาณ 12 ครั้วเรือน
  - หมู่บ้านกงตาก ต.ช้างซ้าย อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี ทำแผ่นยางพาราประมาณ 25 ครั้วเรือน
  - หมู่บ้านคลองฮาย ต.ช้างซ้าย อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี ทำแผ่นยางพาราประมาณ 5 ครั้วเรือน
- หมายเหตุ ข้อมูลจาก นายวัชระ ปานแป้น

## 1.7 การจัดรูปเล่มรายงานวิจัย

รายงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 6 บท ซึ่งในแต่ละบทได้นำเสนอดังต่อไปนี้

**บทที่ 1** บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย สมมติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของโครงการวิจัยนี้

**บทที่ 2** กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของอุปกรณ์ที่ใช้สร้างเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาของแผ่นยางแบบอัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร วงจรแปลงผันตีสี่เป็นตีสี่ และแบตเตอรี่ รวมทั้งได้กล่าวถึงทฤษฎีของฟัซซี

**บทที่ 3** นำเสนอการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

**บทที่ 4** การหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา

บทที่ 5 การออกแบบแหล่งพลังงานและการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

บทที่ 6 บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ภาคผนวกมีอยู่ด้วยกัน 6 ส่วน คือ ภาคผนวก ก. โปรแกรมการสร้างตัวควบคุมพีซีลอจิก สำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ภาคผนวก ข. แสดงการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ ATS สำหรับหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา ภาคผนวก ค. แสดงการคำนวณหาค่าตัวประกอบต้นทุนแสงอาทิตย์ ภาคผนวก ง. แสดงแบบฟอร์มการให้ข้อมูลของเกษตรกร ภาคผนวก จ. คู่มือการใช้งานเครื่องรีดยางไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ และภาคผนวก ฉ. แสดงการเผยแพร่ผลงานวิจัย



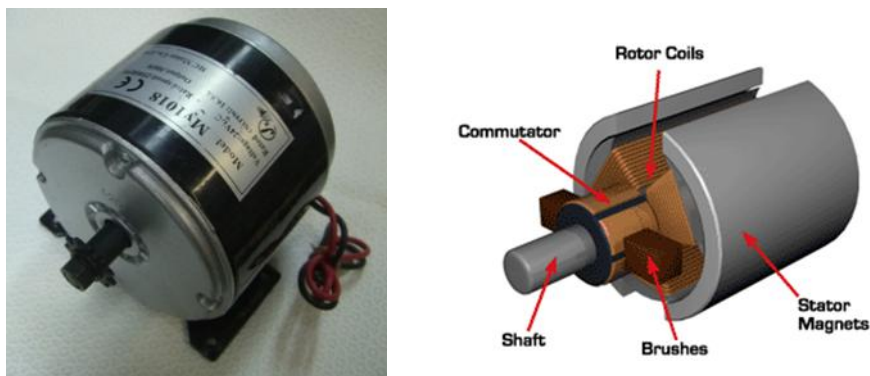
## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กล่าวนำ

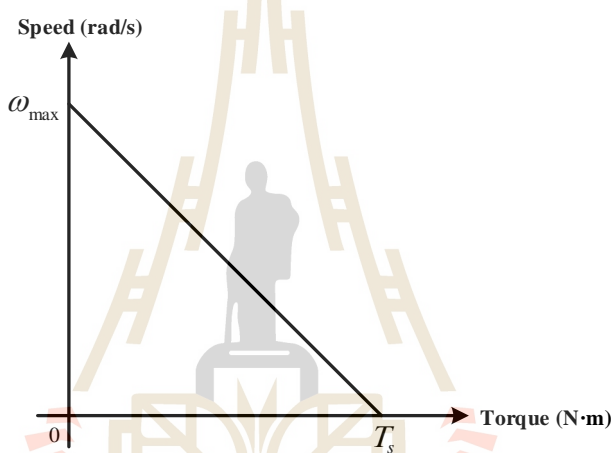
เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติที่สร้างขึ้น ประกอบไปด้วย แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้า ได้รับการอัดประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นอินพุตของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซีที่มีการควบคุมแรงดันเอาต์พุตด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิก โดยมีโพลดเป็นเครื่องรีดยางพาราที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ในการสร้างเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร วงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี แบตเตอรี่ และทฤษฎีของพีซีซี

### 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

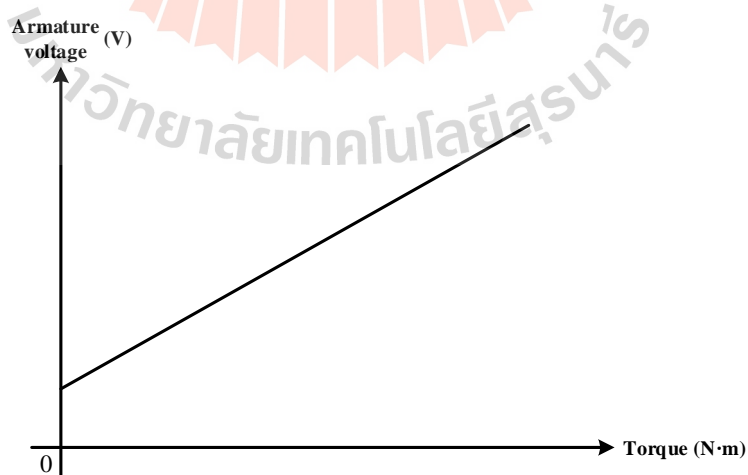
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร (permanent magnet dc motor) มีขั้วของสนามแม่เหล็กเป็นแม่เหล็กถาวรรูปครึ่งวงกลมติดตั้งอยู่ที่โครงของมอเตอร์จำนวน 1 คู่หรือมากกว่า 1 คู่ มอเตอร์ชนิดนี้มีแม่เหล็กถาวรเป็นส่วนสำคัญที่สร้างขึ้นจากเซรามิกอัลนิโก หรือแร่ธาตุพิเศษอื่น ๆ ตัวมอเตอร์ถูกสร้างให้อยู่ภายในโครงอันเดียวกัน ทำให้มีขนาดกะทัดรัดและมีน้ำหนักเบา ส่วนที่เคลื่อนที่จะเป็นขดลวดอาร์เมเจอร์ที่พันด้วยขดลวดทองแดง ต่อปลายสายมารวมกันที่คอมมิวเตเตอร์ (commutator) แสดงรูปร่างภายนอกและโครงสร้างภายในได้ดังรูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร มีหลักการทำงานจากผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรและเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่ตัวอาร์เมเจอร์ มอเตอร์ชนิดนี้ทำงานโดยไม่มีขดลวดสนาม ดังนั้น เมื่อไม่มีขดลวดที่ขั้วสนามแม่เหล็กจึงตัดปัญหากำลังสูญเสียในส่วนนี้ออกไป ในสภาวะการทำงานของมอเตอร์เมื่อโพลดไม่เกินพิกัด ความเป็นแม่เหล็กในช่องอากาศจะสามารถรักษาเส้นแรงแม่เหล็กให้คงตัว ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบมีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงได้ดังกราฟรูปที่ 2.2 โดยแรงบิดและความเร็วรอบที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะถูกควบคุมโดยการปรับแรงดันของอาร์เมเจอร์เพียงอย่างเดียว แรงดันอาร์เมเจอร์ที่ถูกควบคุมจะมีความสัมพันธ์กับแรงบิด แสดงได้ดังกราฟรูปที่ 2.3 และมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบ แสดงได้ดังกราฟรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.1 รูปร่างภายนอกและโครงสร้างภายในของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

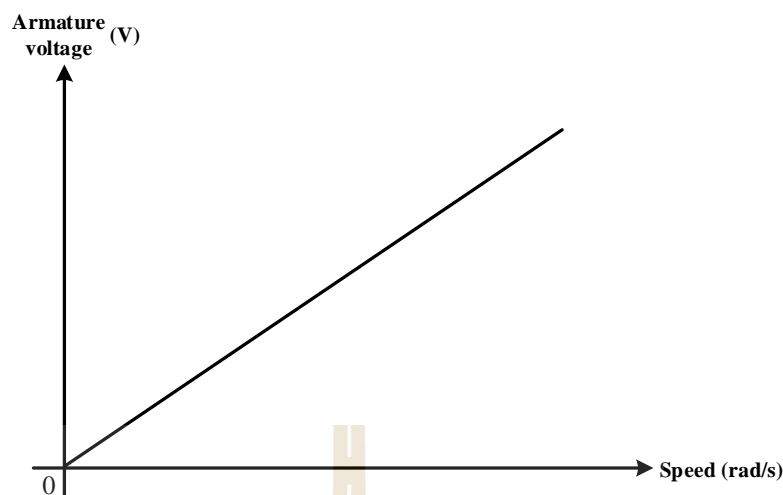


รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบ



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและแรงดันอาร์เมเจอร์



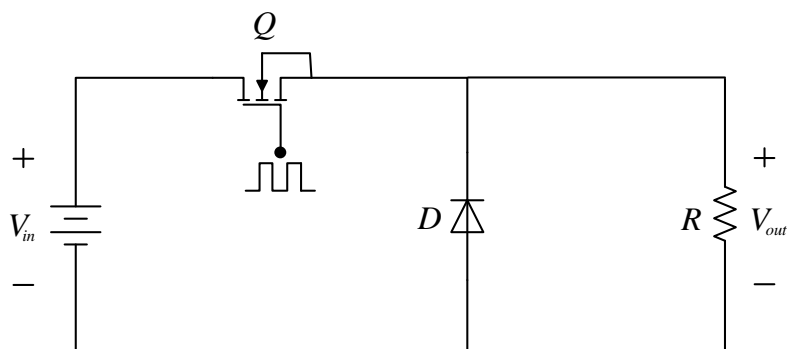


รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันอาร์เมเจอร์

จากกราฟสภาวะการทำงานของมอเตอร์เมื่อโหลดไม่เกินพิกัด เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับแรงดันอาร์เมเจอร์ ในรูปที่ 2.3 และความเร็วรอบกับแรงดันอาร์เมเจอร์ ในรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า แรงบิดและความเร็วรอบของมอเตอร์จะแปรผันตรงกับแรงดันอาร์เมเจอร์ในลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนั้น การควบคุมแรงบิด และความเร็วรอบของมอเตอร์ จะควบคุมที่แรงดันอาร์เมเจอร์เท่านั้น ทำให้การควบคุมมอเตอร์ชนิดนี้ค่อนข้างง่าย และสะดวก เพราะใช้ตัวควบคุมแค่ ชุดเดียวเท่านั้นในการควบคุมมอเตอร์ นอกจากข้อดีด้านการควบคุม มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร ยังมีโครงสร้างไม่ยุ่งยาก ขนาดเล็กกะทัดรัด ราคาถูก และหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ทำให้มอเตอร์ชนิดนี้ถูกนำมาใช้เป็นตัวกำลังของอุปกรณ์ต่าง ๆ แต่มีข้อเสีย คือ เมื่อไม่มีการควบคุมแรงดันขดลวดสนามแม่เหล็ก ทำให้ไม่สามารถใช้งานมอเตอร์ที่ความเร็วรอบและแรงบิดสูงกว่าพิกัดจากคุณลักษณะของมอเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นมีความเหมาะสมในการใช้ขับเคลื่อนลูกรีดของเครื่องรีดยางพารา เนื่องจากการขับเคลื่อนลูกรีดของเครื่องรีดยางพาราต้องการมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดเล็กที่สุดที่สามารถขับเคลื่อนลูกรีดได้ มีราคาถูก และหาซื้อง่ายในท้องตลาด อีกทั้งต้องการมอเตอร์ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ง่าย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวขับเคลื่อนลูกรีดสำหรับรีดแผ่นยางพารา

### 2.3 วงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี

วงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี (DC/DC Converter) ที่ใช้ในงานวิจัย จะมีอินพุตเป็นแบตเตอรี่ที่ได้รับการอัดประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับพิกัดแรงดันของมอเตอร์ที่ใช้งาน ดังนั้น จึงใช้วงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซีทำหน้าที่ลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตให้มีค่าต่ำกว่าหรือมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต โครงสร้างของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซีอย่างง่ายประกอบด้วย มอสเฟต และไดโอด โดยวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซีอย่างง่ายแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรแปลงผันตีสี่เป็นตีสี่อย่างง่าย

จากวงจรในรูปที่ 2.5 สามารถคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันตีสี่เป็นตีสี่ ( $V_{out}$ ) (Rashid M. H.) ได้จากสมการ (2-1)

$$V_{out} = dV_{in} \quad (2-1)$$

โดยที่  $V_{in}$  คือ แรงดันอินพุตของวงจรแปลงผันตีสี่เป็นตีสี่

$d$  คือ ค่าวัฏจักรหน้าที่ (duty cycle) ของวงจรแปลงผันตีสี่เป็นตีสี่

งานวิจัยนี้จะนำวงจรแปลงผันตีสี่เป็นตีสี่ไปใช้ในการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งกับเครื่องรีดยางพารา โดยอาศัยการควบคุมค่าวัฏจักรหน้าที่ เพื่อควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา

## 2.4 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ (battery) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานไฟฟ้า และจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลด มีลักษณะการทำงาน คือ แปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution) โดยแบตเตอรี่ 1 ก้อน อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์ หรือมากกว่า 1 เซลล์ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดจนหมด สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดได้จำนวนหลายครั้ง ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่ใช้งานกันทั่วไปจะไม่เต็ม 100% เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปของความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุและการจ่ายประจุ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่เสียหายได้ง่ายหากนำไปใช้งานผิดวิธี และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน

ความจุของแบตเตอรี่ในการประจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์ - ชั่วโมง (Ampere - Hour หรือ Ah) การใช้งานแบตเตอรี่สามารถดูได้จากพิกัดพลังงานของแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่พิกัด

12 V 9 Ah อธิบายได้ว่า แบตเตอรี่สามารถจ่ายโหลดที่แรงดัน 12 โวลต์ กระแส 1 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 9 ชั่วโมง หรือ แบตเตอรี่สามารถจ่ายโหลดที่แรงดัน 12 โวลต์ 3 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เป็นต้น จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ที่มีพิกัดเท่ากันมีระยะเวลาในการจ่ายกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันตามกระแสของโหลด ดังนั้น การเลือกพิกัดของแบตเตอรี่ต้องทราบความต้องการในการใช้โหลดต่อชั่วโมง อัตราการจ่ายกระแสให้กับโหลด การจัดเก็บพลังงาน และอัตราการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่สูงสุด เป็นสำคัญ

การออกแบบแบตเตอรี่สามารถคำนวณ แอมแปร์ - ชั่วโมง (Ah) ของแบตเตอรี่ได้จากสมการที่ (2-2)

$$Ah = \frac{Demand\ load}{V_{battery} \times DOD \times Battery\ loss} \quad (2-2)$$

โดยที่ *Demand load* คือ ความต้องการในการใช้โหลดต่อชั่วโมง (*Wh*)

*DOD* คือ deep of discharge หรือ ค่าความลึกของการคายประจุในการชาร์จใหม่แต่ละครั้ง มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน

*Battery loss* คือ ค่าสูญเสียในแบตเตอรี่ โดยปกติแล้วแบตเตอรี่จะทำงานด้วยค่าตัวประกอบความปลอดภัย (safety factor) เพื่อป้องกันการชาร์จมากเกินไป (over charge) และการคายประจุมากเกินไป (over discharge)

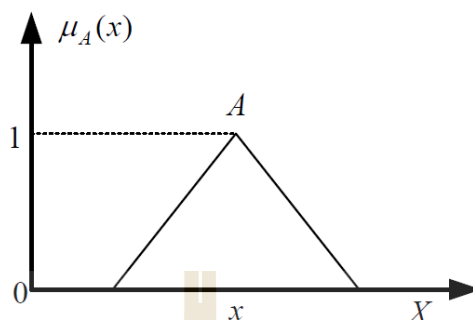
## 2.5 ทฤษฎีของฟัซซี

ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) นำมาใช้ในงานด้านระบบควบคุม ซึ่งการควบคุมแบบฟัซซี (fuzzy control) เป็นวิธีการควบคุมที่ชาญฉลาดให้ประสิทธิภาพสูง เนื่องจากอาศัยข้อมูล ความรู้ และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในระบบที่พิจารณาเป็นพื้นฐานในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ดังนั้น ตัวควบคุมฟัซซีจึงเหมาะสมอย่างยิ่งกับระบบที่มีความซับซ้อน คลุมเครือ และมีความไม่เป็นเชิงเส้น ในการวิเคราะห์และออกแบบเพื่อควบคุมระบบที่มีความซับซ้อนด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี จะใช้ตัวแปรทางภาษา (linguistic variables) แทนการใช้ตัวแปรเชิงเลข (numerical variables) และบ่งบอกลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ด้วยประโยคเงื่อนไขแบบฟัซซี (fuzzy conditional statements) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำเสนอทฤษฎีของฟัซซี ดังนี้

### 2.5.1 ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซต (fuzzy set) คือ เซตที่มีความคลุมเครือไม่มีการกำหนดขอบเขตที่ชัดเจน ค่าความเป็นสมาชิกสามารถมีมากกว่า 2 ค่า (ตรรกะหลายระดับ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของสมาชิกในเซตอย่างค่อยเป็นค่อยไปขึ้นอยู่กับรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพ เช่น ฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม ฟังก์ชันรูป

สี่เหลี่ยม และฟังก์ชันรูปประฆังคว่ำ เป็นต้น โดยจะใช้สัญลักษณ์  $\mu$  แทนค่าความเป็นสมาชิกของเซตใด ๆ ที่อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ ในช่วง 0 ถึง 1 ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันแสดงความความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต

จากรูปที่ 2.6 ค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต  $A$  ที่ตำแหน่งตัวแปรสมาชิก  $x$  ใด ๆ สามารถมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงได้ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังสมการที่ (2-3)

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (2-3)$$

โดยที่  $\mu_A(x) = 1$  เมื่อ  $x$  เป็นสมาชิกของ  $A$  อย่างสมบูรณ์  
 $\mu_A(x) = 0$  เมื่อ  $x$  ไม่เป็นสมาชิกของ  $A$   
 $0 < \mu_A(x) < 1$  เมื่อ  $x$  เป็นสมาชิกของ  $A$  เพียงบางส่วน

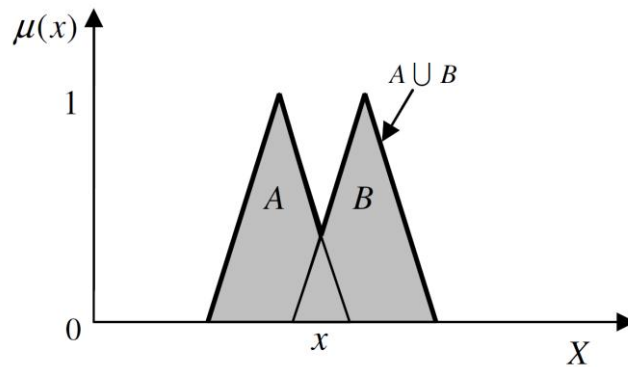
### 2.5.2 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการทางฟัซซีเซต (fuzzy set operations) จะให้ผลว่าตัวแปรสมาชิกอยู่ในเซตนั้น ๆ ด้วยระดับความเป็นสมาชิกเท่าใดระหว่าง 0 ถึง 1 โดยตัวดำเนินการในทฤษฎีเซต คือ ยูเนียน (union) อินเตอร์เซกชัน (intersection) และส่วนเติมเต็ม (complement) ซึ่งจะกำหนดให้ฟัซซีเซต  $A$  และฟัซซีเซต  $B$  อยู่บนเอกภพสัมพัทธ์  $X$  มีคุณสมบัติ ดังนี้

การยูเนียน ของฟัซซีเซต  $A$  กับฟัซซีเซต  $B$  ( $A \cup B$ ) แสดงได้ดังรูปที่ 2.7 จากรูปดังกล่าวผลการยูเนียนของฟัซซีเซต คือ ส่วนพื้นที่ที่แรเงาเป็นฟัซซีเซตทั้งหมด ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้พิจารณาจากค่ามากที่สุด (maximum: max) ของค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต  $A$  เปรียบเทียบกับฟัซซีเซต  $B$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-4)

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2-4)$$

โดยที่  $\vee$  หมายถึง OR ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบหาค่ามากที่สุด

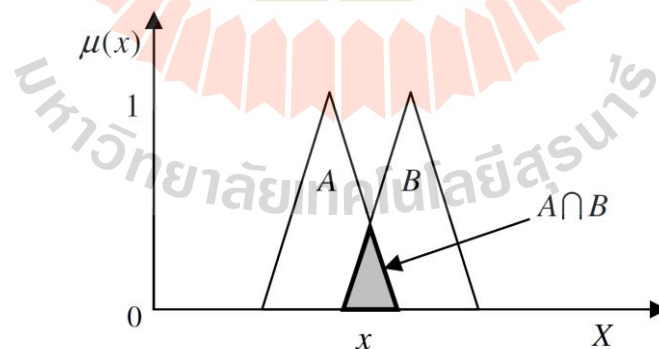


รูปที่ 2.7 การยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

การอินเตอร์เซกชัน ของฟัซซีเซต A กับฟัซซีเซต B ( $A \cap B$ ) แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 จากรูปดังกล่าวผลการอินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต คือ ส่วนพื้นที่ที่แรเงา ประกอบด้วยตัวแปรสมาชิก  $x$  ที่เหมือนกันของฟัซซีเซต A และ B ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้พิจารณาจากค่าน้อยที่สุด (minimum: min) ของค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต A เปรียบเทียบกับฟัซซีเซต B ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-5)

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2-5)$$

โดยที่  $\wedge$  หมายถึง AND ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบหาค่าน้อยที่สุด

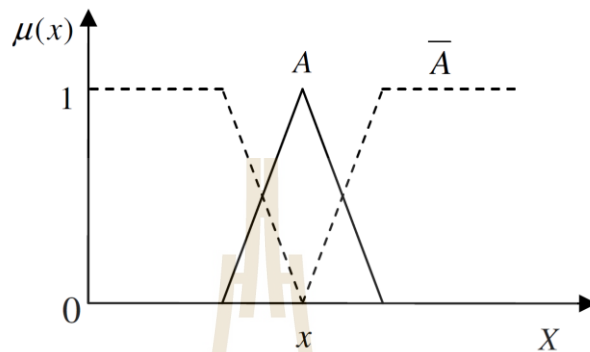


รูปที่ 2.8 การอินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B

ส่วนเติมเต็ม ค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟัซซีเซต A ( $\bar{A}$ ) คือ ฟัซซีเซตที่ประกอบด้วยตัวแปร  $x$  ที่แสดงเป็นเส้นประ ดังรูปที่ 2.9 จากรูปดังกล่าวพบว่า ค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพที่ได้จากส่วนเติมเต็มของระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟัซซีเซต A จะเท่ากับผลต่าง

ระหว่างค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 กับค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟัซซีเซต  $A$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-6)

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2-6)$$



รูปที่ 2.9 ส่วนเติมเต็มค่าระดับความเป็นสมาชิกภาพของฟัซซีเซต  $A$

นอกจากการดำเนินการต่าง ๆ ของฟัซซีเซตจะให้ความหมายเหมือนกับเซตทั่วไปแล้ว ฟัซซีเซตยังมีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่เหมือนกับเซตทั่วไปด้วย ดังนี้

คุณสมบัติการสลับที่

$$A \cup B = B \cup A$$

$$A \cap B = B \cap A$$

คุณสมบัติการจัดกลุ่ม

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C$$

คุณสมบัติการกระจาย

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

คุณสมบัติความเหมือน

$$A \cup A = A$$

$$A \cap A = A$$

คุณสมบัติเอกลักษณ์

$$A \cup \phi = A \quad \text{เมื่อ } \phi \text{ คือ ฟัซซีเซตว่าง}$$

$$A \cap U = A \quad \text{เมื่อ } U \text{ คือ เอกภพสัมพัทธ์}$$

คุณสมบัติการผกผัน

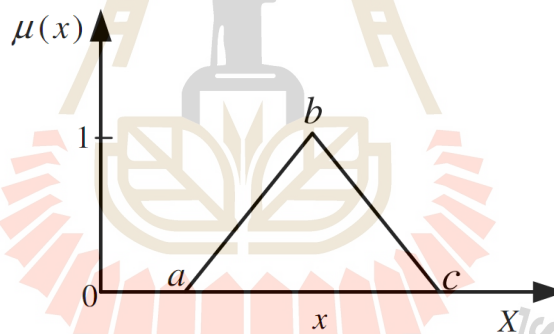
$$\overline{\overline{A}} = A$$

### 2.5.3 ฟังก์ชันสมาชิกภาพ

ฟังก์ชันสมาชิกภาพ (membership function) คือ ฟังก์ชันสำหรับใช้กำหนดค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรสมาชิก  $x$  ใด ๆ ซึ่งจะประกอบด้วยพีชซีเซตอย่างน้อย 1 เซต ฟังก์ชันสมาชิกภาพสามารถมีรูปร่างที่ต่างกันอย่างออกไป เพื่อให้มีความเหมาะสมกับระบบที่พิจารณา หรือจะถูกกำหนดจากผู้ออกแบบ รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพของตัวควบคุมพีชซีที่นิยมใช้กันมีอยู่ 4 รูปแบบ ดังนี้

ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปสามเหลี่ยม (triangular membership function : trimf ) ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ตำแหน่ง 3 ค่า คือ ค่าตำแหน่ง  $a$   $b$  และ  $c$  ดังรูปที่ 2.10 การคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิกของตำแหน่งตัวแปรสมาชิก  $x$  ใด ๆ หาได้จากสมการที่ (2-7)

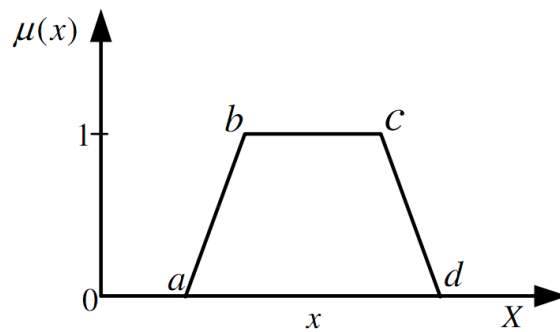
$$\mu(x) = \text{trimf}(x, [a \ b \ c]) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ (x-a)/(b-a) & ; a < x < b \\ 1 & ; x = b \\ (c-x)/(c-b) & ; b < x < c \\ 0 & ; x \geq c \end{cases} \quad (2-7)$$



รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปสามเหลี่ยม

ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function: trapmf) ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ตำแหน่ง 4 ค่า คือ ค่าตำแหน่ง  $a$   $b$   $c$  และ  $d$  ดังรูปที่ 2.11 การคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิกของตำแหน่งตัวแปรสมาชิก  $x$  ใด ๆ หาได้จากสมการที่ (2-8)

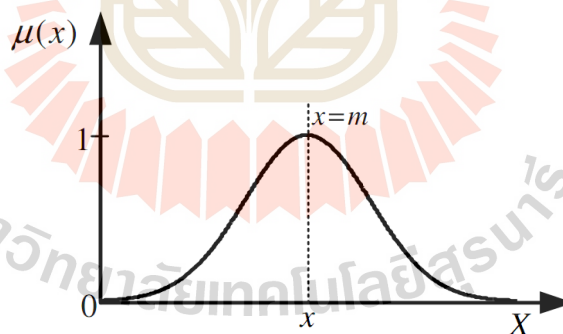
$$\mu(x) = \text{trapmf}(x, [a \ b \ c \ d]) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ (x-a)/(b-a) & ; a < x < b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c) & ; c < x < d \\ 0 & ; x \geq d \end{cases} \quad (2-8)$$



รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปเกาส์เซียน (gaussian membership function: gausmf) ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ตำแหน่ง 2 ค่า ดังรูปที่ 2.12 ในการกำหนดขนาดรูปร่างฟังก์ชันสมาชิก คือ ค่า  $\sigma$  และ  $m$  โดย  $\sigma$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งจะใช้สำหรับกำหนดความกว้างของรูปเกาส์เซียน ส่วน  $m$  คือ ค่าเฉลี่ยที่ใช้สำหรับกำหนดค่าตำแหน่งกึ่งกลางของรูปเกาส์เซียน การคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิกของตำแหน่งตัวแปรสมาชิก  $x$  ใด ๆ หาได้จากสมการที่ (2-9)

$$\mu(x) = \text{gausmf}(x, [\sigma \ m]) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2-9)$$

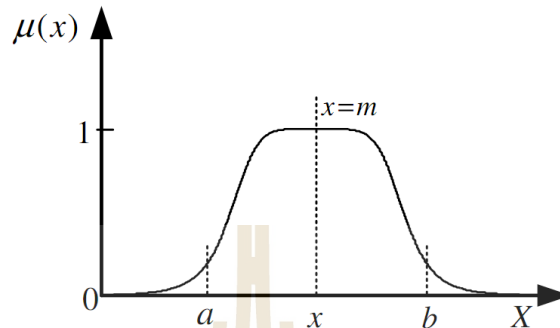


รูปที่ 2.12 ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปเกาส์เซียน

ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูประฆังคว่ำ (generalized bell membership function: gbellmf) ประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ตำแหน่ง 3 ค่า คือ ค่าตำแหน่ง  $a$   $b$  และ  $m$  ดังรูปที่ 2.13 โดยพารามิเตอร์  $a$  และ  $b$  จะใช้สำหรับกำหนดความกว้างของรูประฆังคว่ำ ในขณะที่  $m$  ใช้กำหนดค่าตำแหน่งกึ่งกลางของรูประฆังคว่ำ การคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิกของตำแหน่งตัวแปรสมาชิก  $x$  ใด ๆ หาได้จากสมการที่ (2-10)



$$\mu(x) = \text{gbellmf}(x, [a \ b \ m]) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-m}{a} \right|^{2b}} \quad (2-10)$$



รูปที่ 2.13 ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูประฆังคว่ำ

#### 2.5.4 ตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษา

ตัวแปรทางภาษา (linguistic variables) หมายถึง ตัวแปรที่มีการให้ค่าตัวเลขเป็นคำหรือประโยค เช่น อุณหภูมิ (การให้ค่าแก่อุณหภูมิอาจเป็น “เย็น” หรือ “ร้อน”) และอายุ (การให้ค่าแก่อายุอาจเป็น “เด็ก” หรือ “แก่”) เป็นต้น นอกจากนี้ ตัวแปรภาษาจะถูกกำหนดให้มีระดับค่าต่าง ๆ ในรูปแบบภาษาที่แตกต่างกัน เช่น “มาก” “ปานกลาง” หรือ “น้อย” เป็นต้น ซึ่งระดับค่าของตัวแปรภาษาเหล่านี้จะเรียกว่า ค่าเชิงภาษา (linguistic value)

#### 2.5.5 กฎของฟัซซี

กฎของฟัซซี คือ เงื่อนไขและข้อปฏิบัติในการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซี เป็นวิธีการนำเอาความรู้ของมนุษย์มาใส่ในระบบฟัซซีลอจิก ซึ่งประกอบด้วยส่วนของตัวแปรเงื่อนไข และส่วนของตัวแปรผลลัพธ์ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อสมรรถนะการควบคุม กฎของฟัซซีจะถูกออกแบบและกำหนดขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญในระบบที่พิจารณา โดยรูปแบบกฎของฟัซซีจะประกอบด้วยเงื่อนไขและข้อปฏิบัติ (IF-THEN) ดังนี้

IF            x is A  
THEN        y is B

โดยที่    x และ y คือ ตัวแปรภาษา  
          A และ B คือ ค่าเชิงภาษา

ในแต่ละส่วนของเงื่อนไขและข้อปฏิบัติ สามารถมีได้หลายเงื่อนไขและข้อปฏิบัติด้วยกัน ดังนั้น จึงเชื่อมโยงประโยคด้วยปฏิบัติการทางเซต AND หรือ OR เพื่อแก้ปัญหาสำหรับระบบควบคุมหลายอินพุตหลายเอาต์พุต ดังนี้

IF  $x \text{ is } A \text{ AND } y \text{ is } B \text{ OR } z \text{ is } C$   
THEN  $p \text{ is } D$

จากรูปแบบกฎของฟัซซี ทุกเงื่อนไขจะถูกตรวจสอบไปพร้อมกัน และจะรวมกันด้วยการดำเนินการทางฟัซซีเซต โดยถ้าเงื่อนไขทั้งหมดเป็นจริง ส่วนข้อปฏิบัติจะถูกนำไปประเมินตามหลักการอนุมานฟัซซี ดังนั้น จำนวนกฎของฟัซซีที่ใช้ควบคุมไม่ควรกำหนดให้มากเกินไป โดยควรเลือกใช้กฎเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เพื่อลดความซับซ้อนของตัวควบคุมฟัซซี ซึ่งอาจจะส่งผลต่อความเร็วในการประมวลผลได้

### 2.5.6 การอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno

การอนุมานฟัซซี (fuzzy inference) คือ กระบวนการส่งค่าอินพุตของระบบที่พิจารณาไปเป็นค่าเอาต์พุต โดยใช้ทฤษฎีทางฟัซซี วิธีการอนุมานฟัซซีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ การอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno เนื่องจากการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno แตกต่างจาก Mamdani ในส่วนของรูปแบบของฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต โดย Takagi-Sugeno ได้ใช้ฟังก์ชันเส้นตรงโทที่มีลักษณะเป็นค่าคงที่ แทนการใช้ฟังก์ชันสมาชิกภาพแบบฟัซซีเซต ทำให้การคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิกของตำแหน่งตัวแปรสมาชิกฟัซซีไม่ซับซ้อน ซึ่งการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno ในส่วนกฎของฟัซซีสามารถเขียนได้ดังนี้

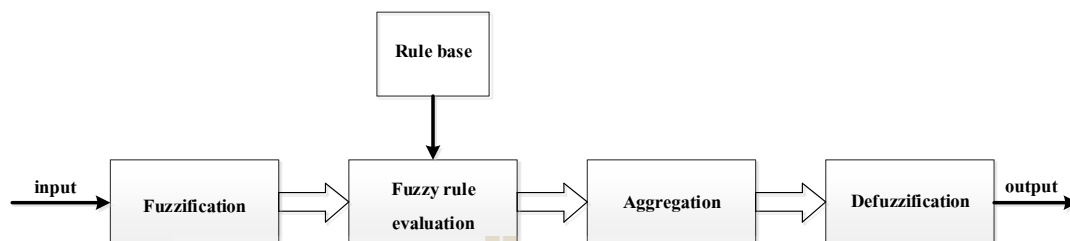
IF  $x \text{ is } A \text{ AND } y \text{ is } B$   
THEN  $z \text{ is } f(x,y)$

โดยที่  $x, y$  และ  $z$  คือ ตัวแปรภาษา  
 $A$  และ  $B$  คือ ค่าเชิงภาษา  
 $f(x, y)$  คือ ฟังก์ชันเส้นตรง

สำหรับฟังก์ชัน  $f(x,y)$  ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย คือ ฟังก์ชันแบบจำลองฟัซซีของ Takagi-Sugeno อันดับศูนย์ (zero order Takagi-Sugeno fuzzy model) ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวจะเป็นเพียงค่าคงที่เส้นตรงโท ( $k$ ) เท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่อนข้างสะดวกและง่ายในขั้นตอนการรวมกฎ รูปแบบกฎของฟัซซีที่ใช้แบบจำลองฟัซซีของ Takagi-Sugeno อันดับศูนย์ มีลักษณะดังนี้

IF  $x \text{ is } A \text{ AND } y \text{ is } B$   
THEN  $z \text{ is } k$

หลักการอนุมานฟัซซี จะประกอบด้วย 4 ส่วนที่สำคัญ คือ การทำฟัซซี การประเมินกฎของฟัซซี การรวมกฎ และการทำดีฟัซซี ดังแผนภาพรูปที่ 2.14 โดยในส่วนของ การประเมินกฎของฟัซซีต้องอาศัยฐานกฎ (rule base) ที่ออกแบบไว้ในการวิเคราะห์ร่วมด้วย



รูปที่ 2.14 หลักการอนุมานฟัซซี

*การทำฟัซซี (fuzzification)* คือ การระบุค่าเชิงภาษา และการคำนวณหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตของระบบที่ต้องการควบคุม โดยค่าระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตจะสามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันสมาชิกภาพที่ถูกเลือกใช้

*การประเมินกฎของฟัซซี (fuzzy rule evaluation)* คือ การตรวจสอบค่าเชิงภาษาของตัวแปรอินพุตทุกตัวภายในระบบควบคุมว่าอยู่ในกฎหรือเงื่อนไขในข้อใด และด้วยค่าความเป็นสมาชิกเท่าไร จากนั้นจะดำเนินการกำหนดค่าเอาต์พุตเชิงภาษาตามส่วนของข้อปฏิบัติในกฎนั้น ๆ

*การรวมกฎ (aggregation)* คือ การหาผลลัพธ์ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุตจากกฎที่ได้รับ การประเมินแล้ว (กฎที่เงื่อนไขเป็นจริง) โดยจะรวมฟัซซีเซตของค่าเชิงภาษาของเอาต์พุตทุกกฎที่เป็นจริงให้เป็นเซตเดียวกันเพียงหนึ่งเซต ทั้งนี้เนื่องจากค่าของตัวแปรอินพุตหนึ่งค่าสามารถอยู่ในเงื่อนไขของกฎได้หลายกฎพร้อมกัน

*การทำดีฟัซซี (defuzzification)* คือ ขั้นตอนการแปลงค่าผลลัพธ์ฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุตจากผลการรวมกฎให้อยู่ในรูปของค่าเอาต์พุตชัดเจน โดยการอนุมานฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno จะทำดีฟัซซีด้วยวิธีค่าน้ำหนักเฉลี่ย (Weighted Average : WA) ดังการคำนวณตามสมการที่ (2-11)

$$x_{WA} = \frac{\sum_{m=1}^m \mu(k_m) \times k_m}{\sum_{m=1}^m \mu(k_m)} \quad (2-11)$$

โดยที่  $\mu(k_m)$  คือ ค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต

$k_m$  คือ ค่าคงที่ของเอาต์พุตที่เป็นเส้นตรง

## 2.6 สรุป

บทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องรีดยางไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาของแผ่นยางแบบอัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีต่าง ๆ ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร วงจรแปลงผันตีสี่เป็นตีสี่ แบตเตอรี่ และทฤษฎีของฟิซซี การทำความเข้าใจในทฤษฎีดังกล่าวมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นพื้นฐานความรู้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ออกแบบและสร้างเครื่องรีดยางไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยรายละเอียดการสร้างเครื่องรีดยางไฟฟ้าดังกล่าวจะนำเสนอในบทต่อไป



## บทที่ 3

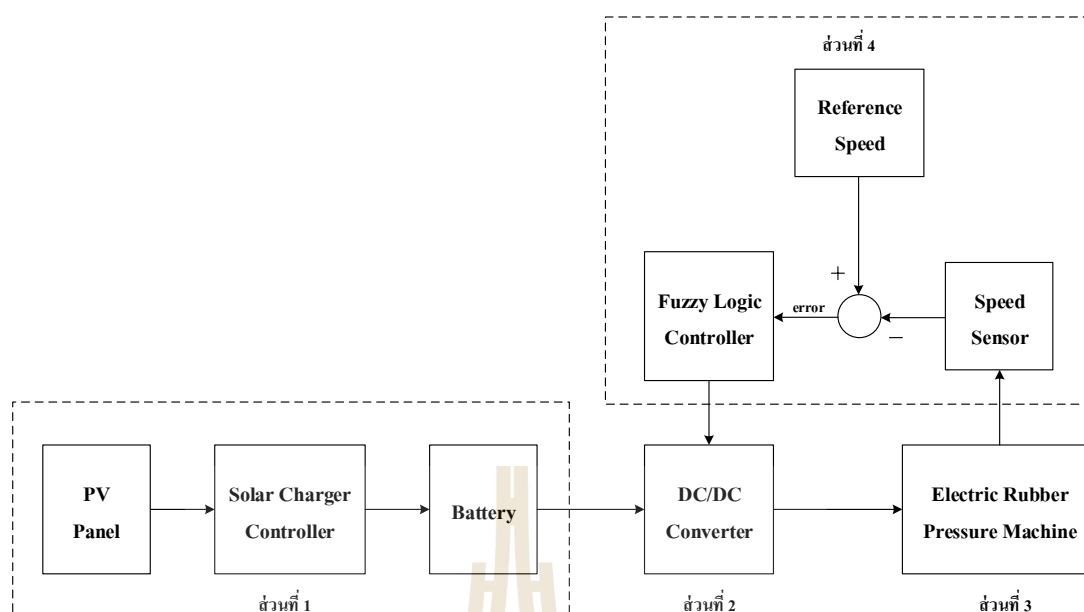
### การควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมพีชซีลอจิก

#### 3.1 กล่าวนำ

การควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราที่จะนำเสนอในงานวิจัยนี้ จะนำเสนอการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมพีชซีลอจิกในการควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี โดยแรงดันเอาต์พุตดังกล่าวจะใช้เป็นแรงดันอินพุตของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนลูกรีดของเครื่องรีดยางพารา ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราได้ตามต้องการ เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงการออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมพีชซีลอจิกอย่างละเอียด รวมไปถึงการติดตั้งชุดควบคุมและมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพารา นอกจากนี้ยังได้นำเสนอผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราโดยใช้ตัวควบคุมพีชซีลอจิกจากชุดทดสอบที่สร้างขึ้น

#### 3.2 ระบบที่พิจารณา

ระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาของแผ่นยางแบบอัตโนมัติ ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 แหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้า ส่วนที่ 2 วงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี ส่วนที่ 3 เครื่องรีดยางพาราที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า และส่วนที่ 4 วงจรควบคุมและสร้างค่าวัฏจักรหน้าที่ แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 หลักการทำงานของระบบดังกล่าว จะมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า จากนั้นจะส่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้ให้กับตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ เพื่ออัดประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ ซึ่งพลังงานจากแบตเตอรี่จะเป็นพลังงานอินพุตของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซีที่มีการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีชซีลอจิก เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี และแรงดันเอาต์พุตดังกล่าวจะใช้เป็นแรงดันอินพุตของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องรีดยางพารา



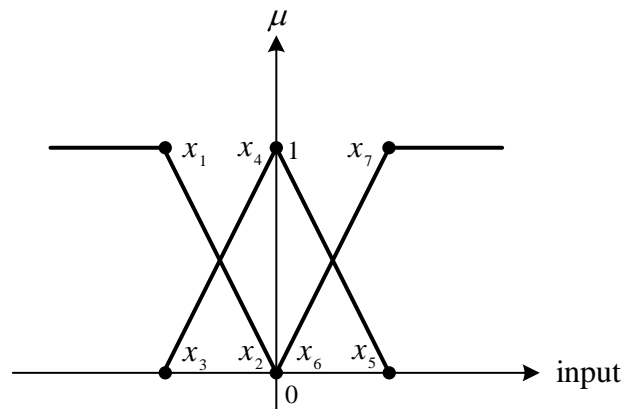
รูปที่ 3.1 ระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิก

### 3.3 การออกแบบและสร้างตัวควบคุมฟuzzyลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา

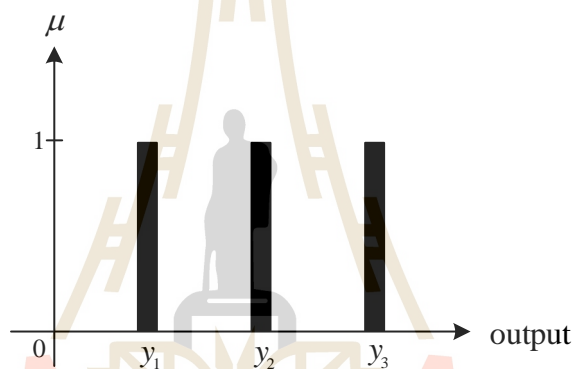
การนำตัวควบคุมฟuzzyลอจิกมาประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา ในเบื้องต้น ผู้วิจัยจะพิจารณาการออกแบบโครงสร้างของตัวควบคุมฟuzzyลอจิก ได้แก่ การเลือกใช้รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพ การออกแบบตัวแปรเชิงภาษาและค่าเชิงภาษา และการออกแบบกฎของฟuzzy ภายใต้วิธีการอนุมานฟuzzyแบบ Takagi-Sugeno จากนั้นจะสร้างตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่ออกแบบไว้บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยรายละเอียดต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 3.3.1 รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพ

การออกแบบตัวควบคุมฟuzzyลอจิกจะต้องมีการเลือกใช้รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพ อินพุตและเอาต์พุต การเลือกใช้รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระบบที่พิจารณา หรือจะถูกกำหนดจากผู้ออกแบบ โดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่มีฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุตรูปสามเหลี่ยม แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 เนื่องจากเป็นรูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพที่มีค่าพารามิเตอร์ตำแหน่ง 3 ค่า และมีการคำนวณค่าความเป็นสมาชิกที่ง่ายและสะดวกในการเขียนโปรแกรมลงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุตจะเลือกใช้รูปแท่งตรง โทนตามหลักการอนุมานฟuzzyแบบ Takagi-Sugeno เนื่องจากการอนุมานฟuzzyแบบ Takagi-Sugeno ใช้ฟังก์ชันเส้นตรงโทนที่มีลักษณะเป็นค่าคงที่ แทนการใช้ฟังก์ชันสมาชิกภาพแบบฟuzzyเซต ทำให้การคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิกของตำแหน่งตัวแปรสมาชิกฟuzzyไม่ซับซ้อน แสดงได้ดังรูปที่ 3.3



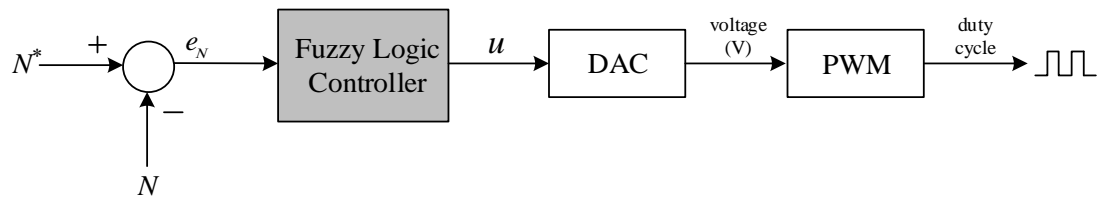
รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุตรูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 3.3 ฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุตรูปแท่งตรงโทน

### 3.3.2 การออกแบบตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษา

ระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิก มีการออกแบบตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกพิจารณาได้จากรูปที่ 3.4 จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า อินพุตของการควบคุม คือ ค่าความผิดพลาดของความเร็ว ( $e_N$ ) ซึ่งคำนวณได้จากผลต่างระหว่างค่าความเร็วอ้างอิงหรือความเร็วที่ต้องการ ( $N^*$ ) กับความเร็วจริง ( $N$ ) ดังสมการที่ (3-1) สำหรับเอาต์พุตของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกจะกำหนดให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต ( $u$ ) ค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบดิจิทัลจะถูกป้อนให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก สัญญาณแอนะล็อกที่ได้จะเข้าสู่วงจรสร้างสัญญาณ PWM เพื่อนำไปขับสวิตช์ของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี การออกแบบตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกจะมีผลต่อสมรรถนะ และความซับซ้อนของระบบควบคุม ดังนั้น การออกแบบตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษา ควรจะออกแบบตามความเหมาะสมของระบบที่พิจารณา และความพึงพอใจในสมรรถนะตัวควบคุมของผู้ออกแบบ



รูปที่ 3.4 ระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

$$e_N = N^* - N \quad (3-1)$$

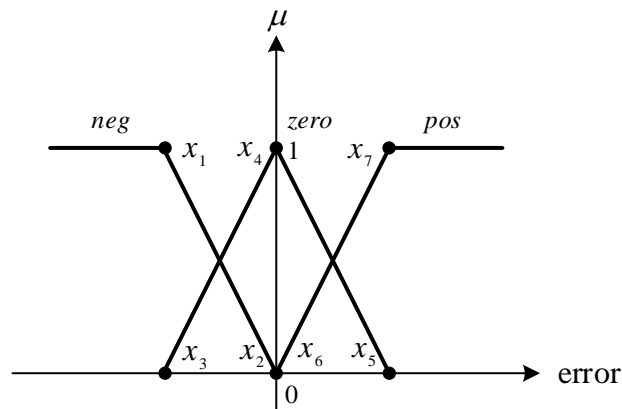
ในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษาเพื่อให้เหมาะสมกับระบบควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา โดยเริ่มต้นออกแบบให้มีค่าเชิงภาษาจำนวน 3 ค่าเชิงภาษา สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารากรณี 3 ค่าเชิงภาษา

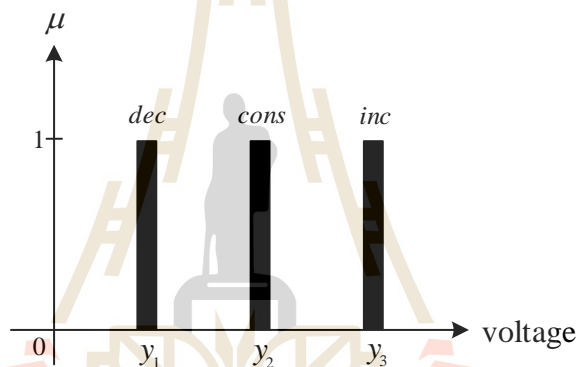
ค่าของระบบ	ตัวแปรภาษาและความหมาย		ค่าเชิงภาษาและความหมาย	
	ตัวแปรภาษา	ความหมาย	ค่าเชิงภาษา	ความหมาย
อินพุต	error ( $e_N$ )	ค่าความผิดพลาดของความเร็ว	<i>neg</i> (negative)	$N^* < N$ (น้อยกว่า)
			<i>zero</i>	$N^* = N$ (เท่ากับ)
			<i>pos</i> (positive)	$N^* > N$ (มากกว่า)
เอาต์พุต	voltage ( $u$ )	ค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต	<i>dec</i> (decrease)	ลดลง
			<i>cons</i> (constant)	คงที่
			<i>inc</i> (increase)	เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 3.1 อินพุต error เป็นตัวแปรทางภาษาของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก มีค่าเชิงภาษา 3 ค่า คือ “*neg*” “*zero*” และ “*pos*” ซึ่งแสดงเป็นฟังก์ชันสมาชิกภาพได้ดังรูปที่ 3.5 และเอาต์พุต voltage เป็นตัวแปรทางภาษาของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเช่นกัน มีค่าเชิงภาษา 3 ค่า คือ “*dec*” “*cons*” และ “*inc*” ซึ่งแสดงเป็นฟังก์ชันสมาชิกภาพได้ดังรูปที่ 3.6 โดยความหมายของค่าเชิงภาษาดังกล่าวสามารถดูได้จากตารางที่ 3.1





รูปที่ 3.5 ฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error กรณี 3 ค่าเชิงภาษา



รูปที่ 3.6 ฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage กรณี 3 ค่าเชิงภาษา

การกำหนดค่าเชิงภาษาจำนวน 3 ค่า ถือเป็นพื้นฐานของการออกแบบโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้า โดยผลการทดสอบสมรรถนะการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา กรณี 3 ค่าเชิงภาษา จะนำเสนอในหัวข้อที่ 3.6

### 3.3.3 การออกแบบกฎของฟัซซี

จำนวนกฎของฟัซซี ที่ใช้ในการควบคุมไม่ควรกำหนดให้มากเกินไป โดยควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับระบบนั้น ๆ เพื่อลดความซับซ้อนของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก และกฎของฟัซซีอาจมีผลต่อเวลาในการประมวลผลด้วย โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบกฎของฟัซซีตามจำนวนค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ดังนั้น กฎของฟัซซีที่ใช้จึงมีจำนวน 3 กฎ ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

กฎข้อที่ 1	IF error = <i>neg</i>	THEN voltage = <i>inc</i>
กฎข้อที่ 2	IF error = <i>zero</i>	THEN voltage = <i>cons</i>

กฎข้อที่ 3 IF error = pos THEN voltage = dec

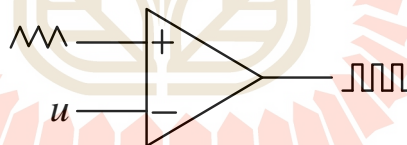
จากกฎของฟuzzyที่ได้ออกแบบสำหรับใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราทั้ง 3 กฎ อธิบายความหมายได้ดังนี้

ความหมายของกฎข้อที่ 1 ถ้าค่าอินพุต error มีค่าเท่ากับ neg แล้ว กำหนดให้ค่าเอาต์พุต voltage เท่ากับ inc ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วอ้างอิง ( $N^*$ ) น้อยกว่าค่าความเร็วจริง ( $N$ ) จะกำหนดให้ลดค่าแรงดันอินพุตของมอเตอร์ โดยการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต เพื่อลดค่าวัฏจักรหน้าที่

ความหมายของกฎข้อที่ 2 ถ้าค่าอินพุต error มีค่าเท่ากับ zero แล้ว กำหนดให้ค่าเอาต์พุต voltage เท่ากับ cons ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วอ้างอิง ( $N^*$ ) เท่ากับค่าความเร็วจริง ( $N$ ) จะกำหนดให้คงค่าแรงดันอินพุตของมอเตอร์ โดยการคงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต เพื่อคงค่าวัฏจักรหน้าที่

ความหมายของกฎข้อที่ 3 ถ้าค่าอินพุต error มีค่าเท่ากับ pos แล้ว กำหนดให้ค่าเอาต์พุต voltage เท่ากับ dec ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วอ้างอิง ( $N^*$ ) มากกว่าค่าความเร็วจริง ( $N$ ) จะกำหนดให้เพิ่มค่าแรงดันอินพุตของมอเตอร์ โดยการลดระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต เพื่อเพิ่มค่าวัฏจักรหน้าที่

การเปลี่ยนแปลงค่าวัฏจักรหน้าที่ของสัญญาณ PWM ตามการออกแบบกฎของฟuzzyในข้อที่ 1 – 3 เกิดจากการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณรูปสามเหลี่ยมและสัญญาณของแรงดันแอนะล็อกที่ได้จากวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต เป็นแอนะล็อก ( $u$ ) โดยการเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณ PWM แสดงได้ดังรูปที่ 3.7

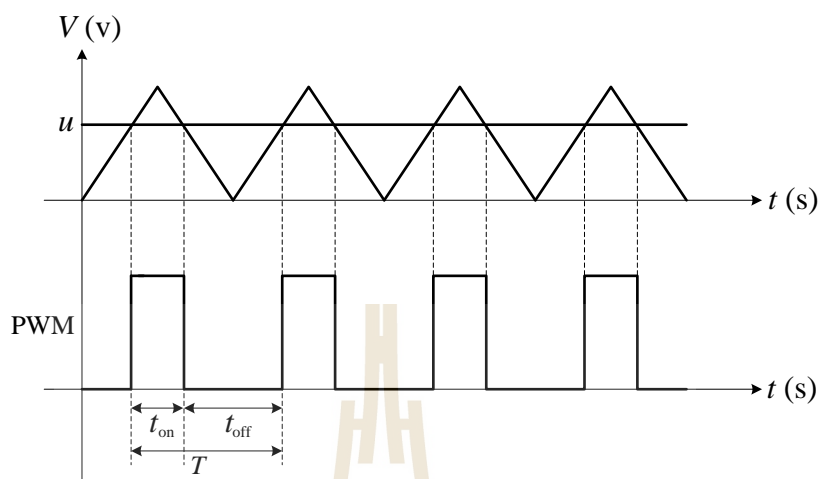


รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบสัญญาณ

จากการเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณ PWM ตามรูปที่ 3.7 พบว่า การเปรียบเทียบสัญญาณรูปสามเหลี่ยมกับสัญญาณของแรงดันไฟฟ้า  $u$  มีลักษณะ คือ เมื่อระดับของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมสูงกว่าระดับของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า  $u$  จะทำให้ได้ระดับของสัญญาณ PWM เป็น on แต่เมื่อระดับของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมต่ำกว่ากว่าระดับของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า  $u$  จะทำให้ได้ระดับของสัญญาณ PWM เป็น off ซึ่งลักษณะการเปรียบเทียบสัญญาณดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.8 สำหรับการคำนวณค่าวัฏจักรหน้าที่ ( $d$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-2)

$$d = \frac{t_{\text{on}}}{T} \times 100\% \quad (3-2)$$

โดยที่  $t_{on}$  คือ ช่วงเวลาที่ระดับของสัญญาณ PWM เป็น on  
 $T$  คือ คาบเวลา



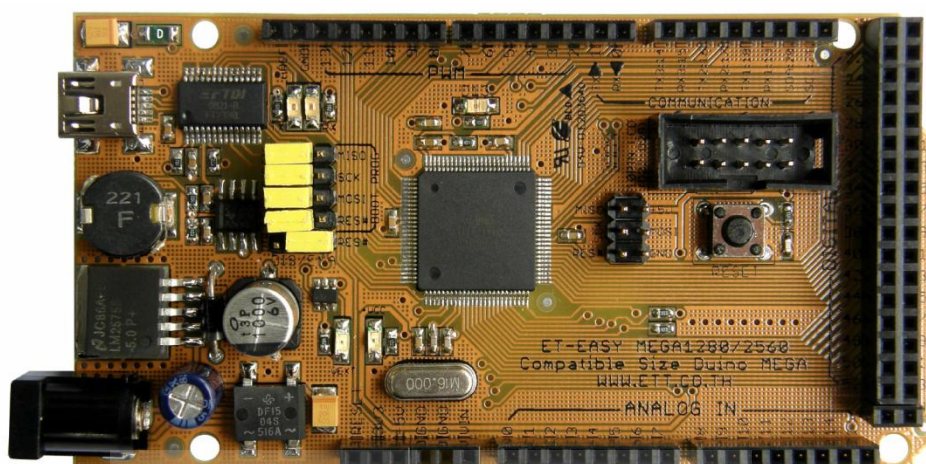
รูปที่ 3.8 ผลการเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณ PWM

การออกแบบตัวควบคุมพัลส์ลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราที่กล่าวมาข้างต้น จะนำไปสร้างตัวควบคุมพัลส์ลอจิกบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งการสร้างตัวควบคุมพัลส์ลอจิกดังกล่าวอธิบายได้ในหัวข้อถัดไป

### 3.3.4 การสร้างตัวควบคุมพัลส์ลอจิกบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

สัญญาณ PWM ที่ใช้ขับสวิตช์ของวงจรแปลงผันตีสี่เป็นตีสี่ เพื่อควบคุมแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันตีสี่เป็นตีสี่ โดยสัญญาณ PWM จะควบคุมค่าวัฏจักรหน้าที่ด้วยตัวควบคุมพัลส์ลอจิกที่สร้างขึ้นบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้น การสร้างตัวควบคุมพัลส์ลอจิกจะต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET-EASY MEGA 1280 เพื่อสร้างตัวควบคุมพัลส์ลอจิก

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET - EASY MEGA 1280 ผลิตขึ้นโดยบริษัท Atmel ที่ใช้ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA 1280 ตระกูล AVR ของบริษัท Atmel บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดนี้รองรับการเขียนโปรแกรมภาษาซีของ Arduino และสามารถรองรับการใช้งานได้หลากหลาย เนื่องจากการปรับปรุงโปรแกรมให้ใช้ชิพ AVR รุ่นใหญ่ขึ้น เพื่อให้มีจำนวนพอร์ตอินพุต พอร์ตเอาต์พุต พอร์ตดิจิตอล พอร์ตแอนะล็อก พอร์ตสร้างสัญญาณ PWM และพอร์ตสื่อสารอนุกรม มีจำนวนมากขึ้น ซึ่งบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET - EASY MEGA 1280 แสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET - EASY MEGA 1280

คุณสมบัติที่สำคัญของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET - EASY MEGA 1280 คือ เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ใช้พลังงานต่ำสุด ในตระกูล AVR มีความเร็วในการประมวลผลของซีพียู (MIPS) เท่ากับ 16 MHz มีตัวตั้งเวลา และ ตัวนับเวลาขนาด 8 บิต และ 16 บิต มีพอร์ตสร้างสัญญาณ PWM จำนวน 12 พอร์ต สามารถกำหนด ความละเอียดได้ 16 บิต มีพอร์ตสื่อสารอนุกรมที่สามารถกำหนดอัตราการรับ-ส่งข้อมูลได้จำนวน 4 พอร์ต และสามารถเชื่อมต่อสัญญาณแอนะล็อกได้โดยตรงด้วยการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็น ดิจิตอลขนาด 10 บิต จำนวน 16 พอร์ต นอกจากนี้ บอร์ดดังกล่าวยังสามารถเชื่อมต่อใช้งานพอร์ต อินพุตและเอาต์พุต (I/O expansion) ได้จำนวน 72 พอร์ต โดยงานวิจัยนี้จะสร้างตัวควบคุมพีซีซี ลอจิกบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET - EASY MEGA 1280 โดยประยุกต์ใช้งาน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่อ่านค่าความเร็วอ้างอิงและความเร็วจริง เพื่อใช้คำนวณค่าความ ผิดพลาดของความเร็วสำหรับเป็นอินพุตของตัวควบคุมพีซีซีลอจิกตามระบบควบคุมในรูปแบบที่ 3.4 โดย ตัวควบคุมพีซีซีลอจิกดังกล่าวจะเขียนด้วยโปรแกรมภาษาซี ทำหน้าที่คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าใน รูปแบบตัวเลขดิจิตอล 12 บิต จากนั้นจะส่งค่าแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็น แอนะล็อก เพื่อส่งต่อไปยังวงจรสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมสวิทช์ของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดี ซี โดยการส่งข้อมูลของวงจรต่าง ๆ ที่ผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องอาศัยพอร์ตเชื่อมต่อ สัญญาณแอนะล็อก และพอร์ตเชื่อมต่อสัญญาณดิจิตอล โดยมีรายละเอียดการใช้งานพอร์ตเชื่อมต่อ สัญญาณดังต่อไปนี้

การใช้งานพอร์ตสัญญาณแอนะล็อกในงานวิจัยนี้ จะใช้สำหรับรับค่าความเร็วอ้างอิง และความเร็วจริงจากชุดทดสอบ โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีพอร์ตแปลงสัญญาณแอนะล็อก เป็นดิจิตอลหรือ ADC (analog to digital converter) ความละเอียด 10 บิต ที่แรงดัน 5 โวลต์ ซึ่ง หมายความว่าเมื่อแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลจะได้ค่าตัวเลขอยู่ระหว่าง 0 – 1023 โดยมีพอร์ตแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลจำนวน 16 ช่องสัญญาณ คือ ADC0 – ADC15

สำหรับการใช้งานในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้ 2 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณ ADC3 สำหรับแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ได้จากวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า (ความเร็วจริง) และช่องสัญญาณ ADC4 สำหรับแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ได้จากวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (ความเร็วอ้างอิง) การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-3)

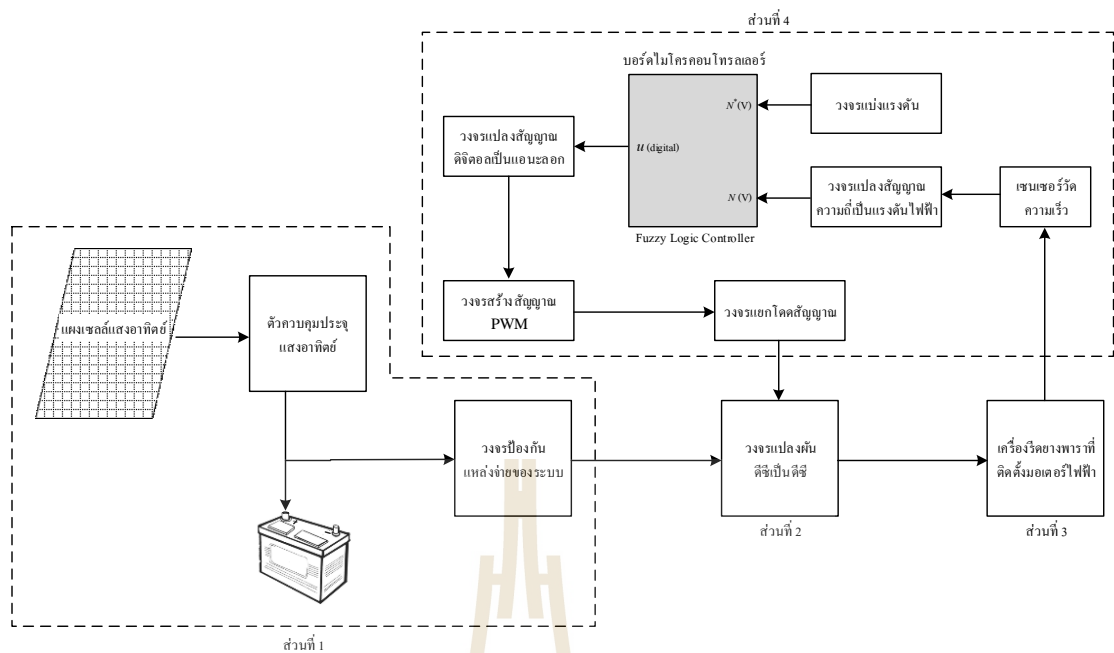
$$ADC = \frac{V_{IN} \times 1024}{V_{REF}} \quad (3-3)$$

เมื่อ  $V_{IN}$  คือ แรงดันทางด้านอินพุต  
 $V_{REF}$  คือ แรงดันอ้างอิงของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ กำหนดไว้ที่ 5 โวลต์

การใช้งานพอร์ตสัญญาณดิจิทัลในงานวิจัยนี้ จะใช้สำหรับการส่งค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิตที่ได้จากการคำนวณด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิก ไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก เพื่อส่งต่อไปยังวงจรสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมสวิตช์ของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีพอร์ตส่งข้อมูลดิจิทัลหรือ DAC (digital to analog converter) ความละเอียด 12 บิต ซึ่งหมายความว่าบอร์ดสามารถส่งสัญญาณดิจิทัลที่ค่าตัวเลขอยู่ระหว่าง 0 – 4095 โดยมีพอร์ตดิจิทัล จำนวน 54 ช่องสัญญาณ คือ DAC0 – DAC53 สำหรับการใช้งานในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้ 5 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณ DAC8 DAC10 DAC11 DAC12 และ DAC52 สำหรับส่งค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิตที่ได้จากการคำนวณไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

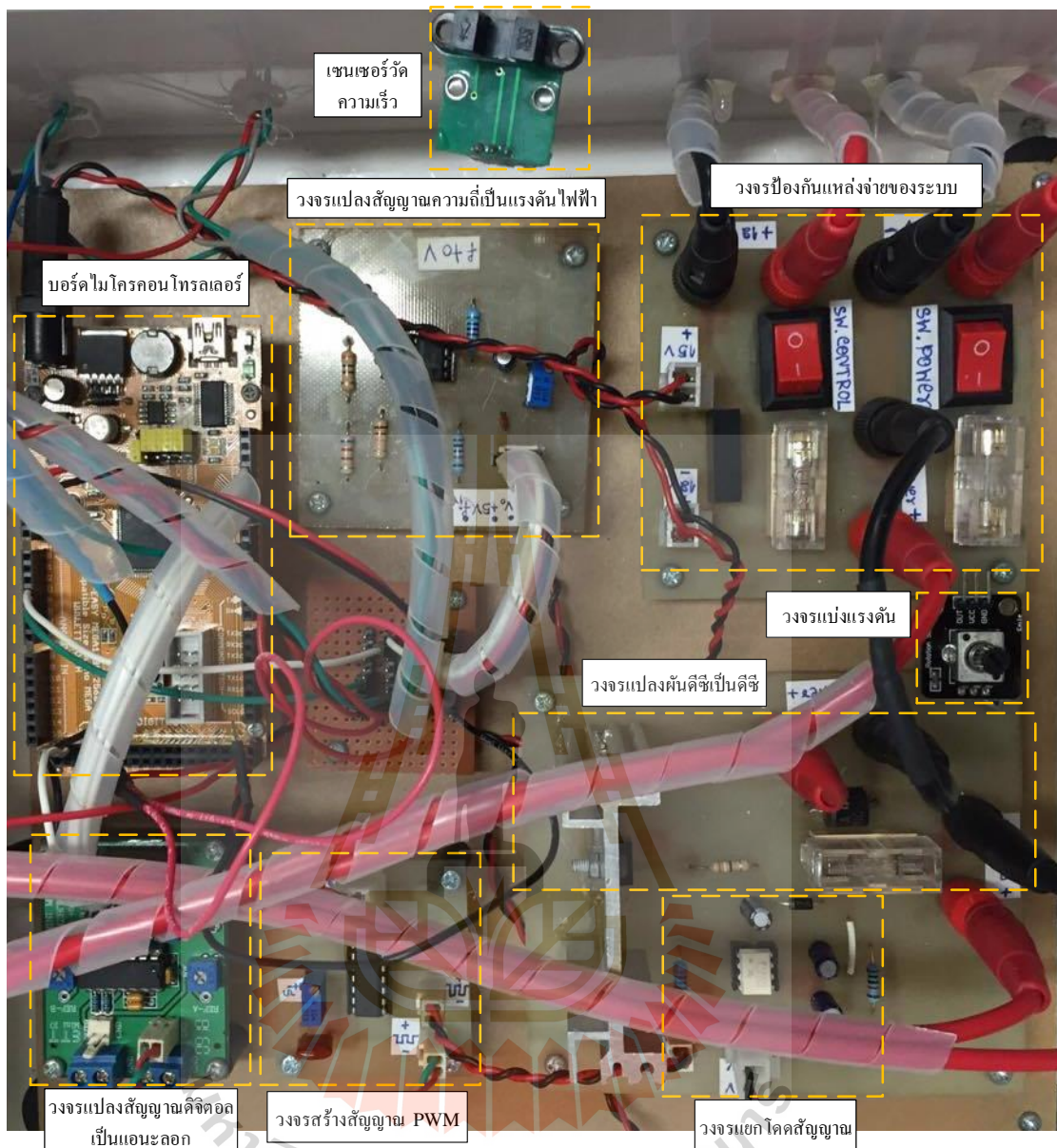
### 3.4 การสร้างชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิก

การสร้างชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางแบบอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิก จะทำการสร้างชุดควบคุมความเร็วที่มีโครงสร้างแสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ระบบชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรียดขงพาราด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิก

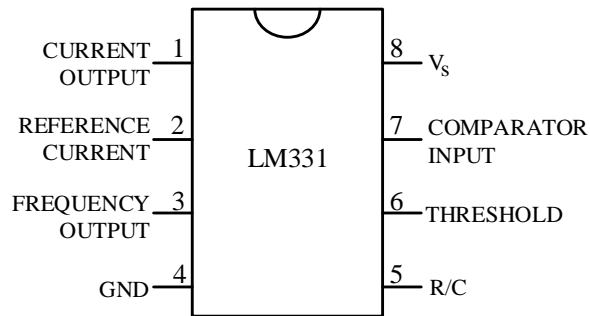
ระบบชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรียดขงพาราไฟฟ้าอัจฉริยะด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิกประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความเร็วทำหน้าที่วัดความเร็วของเครื่องรียดขงพารา ค่าที่วัดได้มีลักษณะเป็นสัญญาณความเร็ว จากนั้นจะส่งสัญญาณความเร็วที่วัดได้ให้กับวงจรแปลงสัญญาณความเร็วเป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วของเครื่องรียดขงพารา เรียกแรงดันนี้ว่า ความเร็วจริง ( $N$ ) และวงจรแบ่งแรงดันจะทำหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้าเพื่อเป็นค่าความเร็วอ้างอิง ( $N^*$ ) จากนั้นทำการป้อนค่าความเร็วจริงและความเร็วอ้างอิงในรูปแรงดันไฟฟ้าให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมพีซีลอจิก เพื่อคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้า ( $u$ ) ในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต ค่าแรงดันไฟฟ้างดังกล่าวจะถูกป้อนให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก สัญญาณแอนะล็อกที่ได้จะเข้าสู่วงจรสร้างสัญญาณ PWM ผ่านวงจรแยกโศดสัญญาณ เพื่อนำไปขับสวิตช์ของวงจรแปลงผันดิจีเป็นดิจีที่มีอินพุตเป็นแบตเตอรี่ที่ได้รับการประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันดิจีเป็นดิจีจะเป็นแรงดันอินพุตของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งกับเครื่องรียดขงพารา เพื่อควบคุมความเร็วของเครื่องรียดขงพาราได้ตามต้องการ โดยภาพรวมของชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรียดขงพาราด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิกที่ใช้งานจริงแสดงได้ดังรูปที่ 3.11 และจะอธิบายการทำงาน การออกแบบ รวมถึงผลการทดสอบไว้ในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3.11 ชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมพีซีซีลอจิก

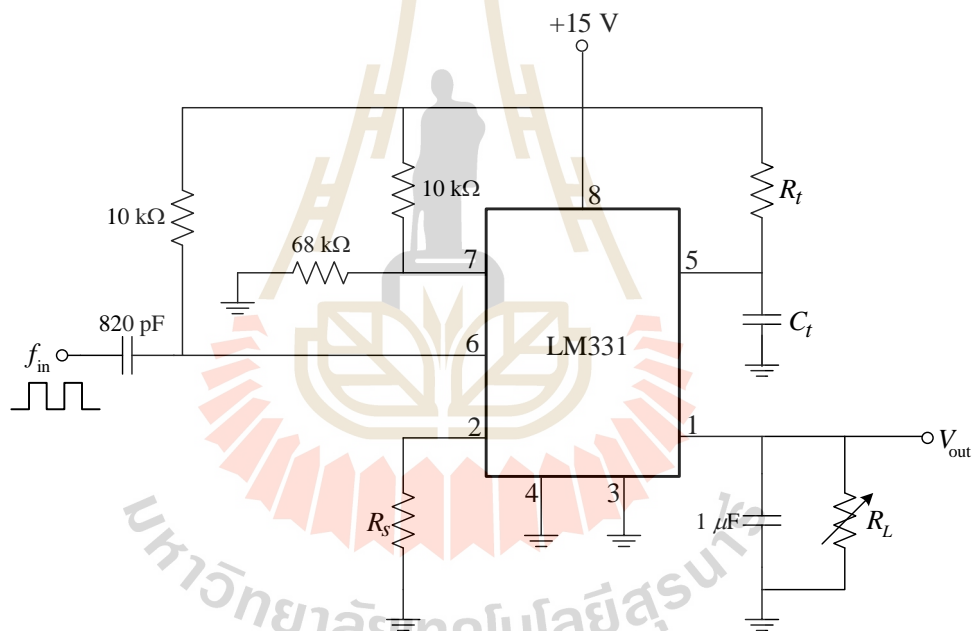
### 3.4.1 วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า

ชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมพีซีซีลอจิก มีเซนเซอร์วัดความเร็วทำหน้าที่วัดความเร็วของเครื่องรีดยางพารา ความเร็วจริงจะเป็นสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยม ทำให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถอ่านค่าความเร็วจริงได้โดยตรง จึงมีความจำเป็นต้องแปลงสัญญาณความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นแรงดันไฟฟ้า ดังนั้น ในงานวิจัยจะใช้ไอซีเบอร์ LM331 ในการสร้างวงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ไอซีเบอร์ LM331

การใช้ไอซีเบอร์ LM331 มาสร้างเป็นวงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าสามารถแสดงการต่อวงจรเพื่อใช้งานได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 4.13 วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า

การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าสามารถออกแบบได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{out} = 2.09 \times f_{in} \times \frac{R_L}{R_s} \times (R_t C_t) \quad (3-4)$$



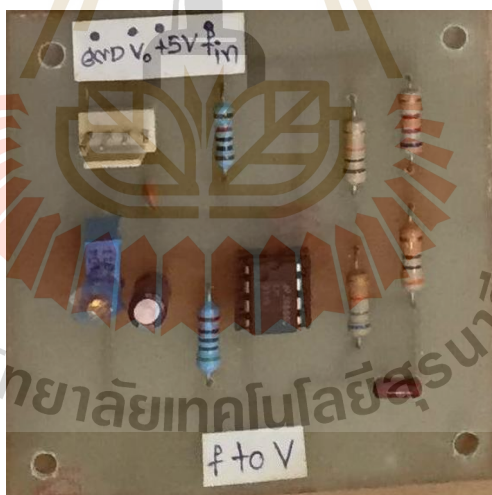
โดยที่  $V_{out}$  คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (โวลต์)  
 $f_{in}$  คือ สัญญาณความถี่อินพุต (เฮิรตซ์)

การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าในงานวิจัยกำหนดให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีค่า 5 โวลต์ ( $V_{out} = 5 \text{ V}$ ) เมื่อสัญญาณความถี่มีค่า 1000 เฮิรตซ์ ( $f_{in} = 1000 \text{ Hz}$ ) และการออกแบบจะกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุในวงจรมีค่าเท่ากับ 0.01 ไมโคร-ฟารัด ( $C_f = 0.01 \mu\text{F}$ ) ค่าตัวต้านทาน  $R_f = 6.5 \text{ k}\Omega$  และ  $R_s = 500 \Omega$  ดังนั้น การคำนวณหาค่าความต้านทานปรับค่าได้ ( $R_L$ ) จะพิจารณาจากสมการที่ (3-4) จะได้ค่าความต้านทานปรับค่าได้ในย่านที่ครอบคลุม 18.40 กิโลโอห์ม จากการออกแบบวงจรดังกล่าวผู้วิจัยได้เลือกค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างวงจรสำหรับใช้งานจริง ดังนี้

- ตัวเก็บประจุ  $C_f = 0.01 \mu\text{F}$
- ตัวต้านทาน  $R_f = 6.5 \text{ k}\Omega$  และ  $R_s = 500 \Omega$
- ตัวต้านทานปรับค่าได้  $R_L = 0 - 100 \text{ k}\Omega$

วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่นำมาใช้งานจริง แสดงได้ดัง

รูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 วงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานจริง

การทดสอบวงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 3.14 จะดำเนินการทดสอบโดยทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าที่สภาวะไม่มีโหลดของเครื่องรีดยางพารา (กรณีที่ไม่มีการรีดแผ่นยางพารา) เพื่อให้มอเตอร์มีความเร็วค่าต่าง ๆ ใช้เซนเซอร์วัดความเร็ววัดสัญญาณความถี่ที่ค่าความเร็วของมอเตอร์ สัญญาณความถี่เป็นสัญญาณอินพุตของวงจรแปลง

สัญญาณดังกล่าว จากนั้นวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต พร้อมทั้งวัดค่าความเร็วของมอเตอร์ที่ทำการทดสอบ ผลการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

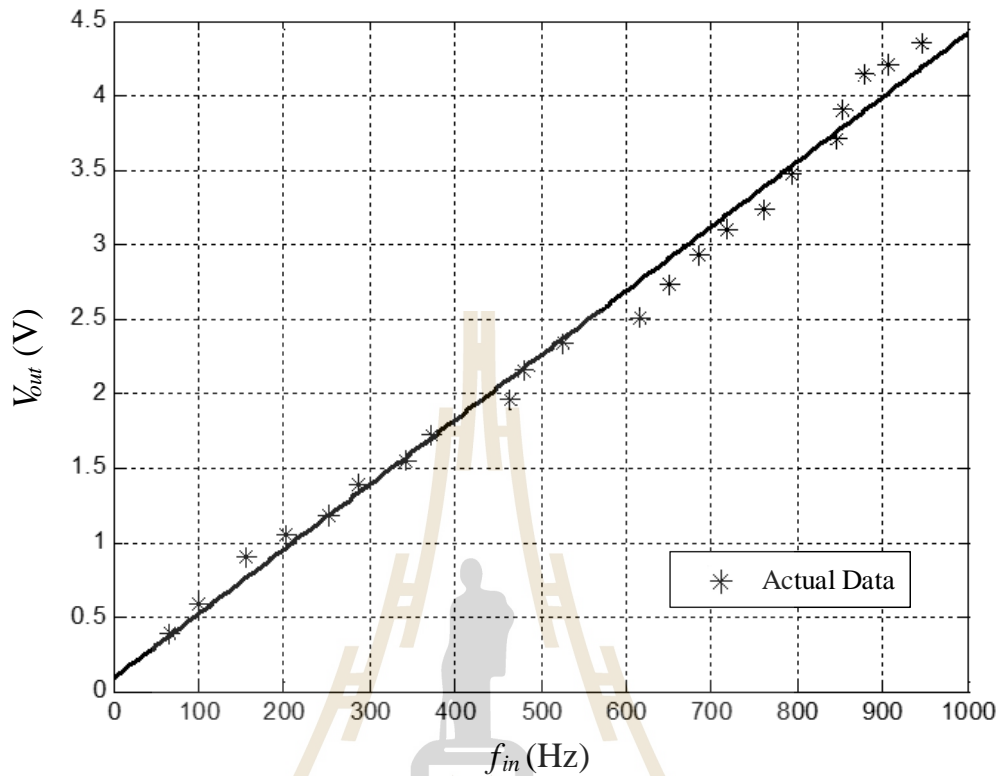
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าที่สถานะไม่มีโหลด

$V_{motor}$ (V)	$f_{in}$ (Hz)	$V_{out}$ (V)	$N$ (RPM)
3.00	64.55	0.393	279
4.00	101.20	0.587	436
5.00	154.80	0.899	608
6.00	202.30	1.041	756
7.00	252.86	1.176	855
8.00	286.40	1.393	1023
9.00	341.60	1.547	1119
10.00	372.60	1.711	1339
11.00	464.00	1.957	1437
12.00	480.30	2.155	1571
13.00	527.30	2.332	1703
14.00	616.10	2.503	1845
15.00	652.00	2.734	2019
16.00	684.40	2.925	2175
17.00	717.70	3.098	2286
18.00	761.30	3.227	2542
19.00	793.60	3.472	2613
20.00	847.10	3.700	2753
21.00	854.70	3.907	2912
22.00	879.80	4.14	3090
23.00	906.20	4.21	3154
24.00	946.50	4.35	3219

- เมื่อ  $V_{motor}$  คือ แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ (v)  
 $f_{in}$  คือ ความถี่อินพุตที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร็ว (Hz)  
 $V_{out}$  คือ แรงดันเอาต์พุตที่วัดได้จากวงจร (v)  
 $N$  คือ ความเร็วของมอเตอร์ (RPM)

จากตารางที่ 3.2 นำผลการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้ามาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่อินพุตที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร็ว และแรงดันไฟฟ้า

เอาต์พุตที่วัดได้จากวงจร แสดงได้ดังรูปที่ 3.15 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของมอเตอร์ และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดได้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.16

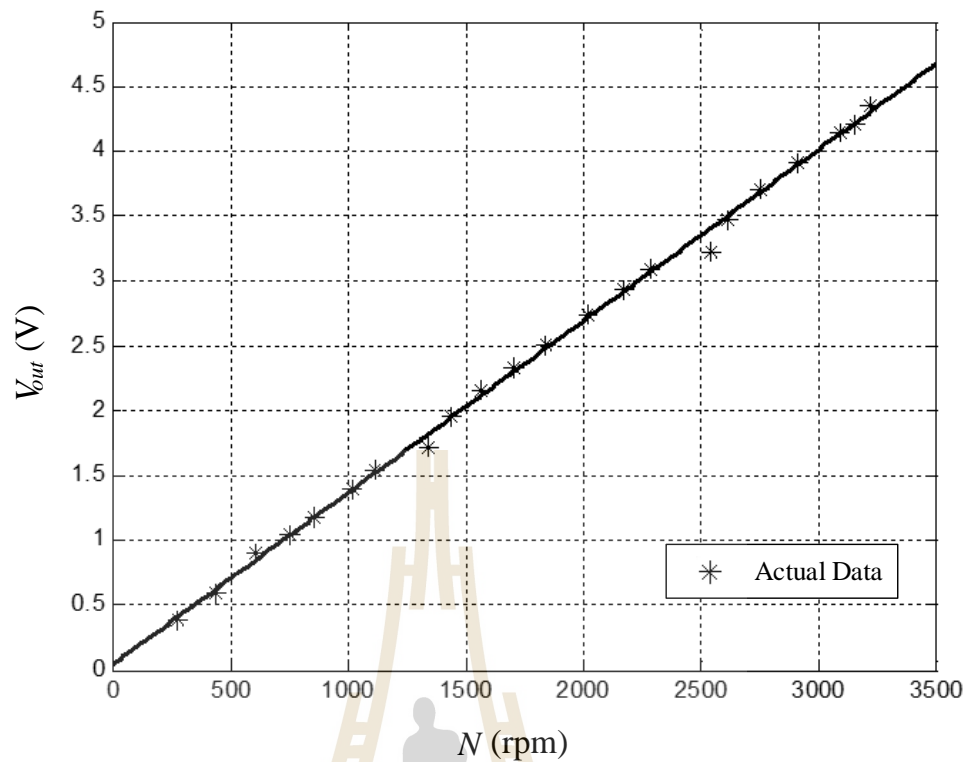


รูปที่ 3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่อินพุตที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร็ว และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดได้จากวงจร

จากกราฟรูปที่ 3.15 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่อินพุตที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร็ว และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดได้จากวงจร ได้ดังสมการที่ (3-5)

$$V_{out} = 0.00433f_{in} + 0.0864 \quad (3-5)$$

โดยที่  $V_{out}$  คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดได้จากวงจร (v)  
 $f_{in}$  คือ ความถี่อินพุตที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความเร็ว (Hz)



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของมอเตอร์ และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดได้

จากกราฟรูปที่ 3.16 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของมอเตอร์ และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดได้ ได้ดังสมการที่ (4-6)

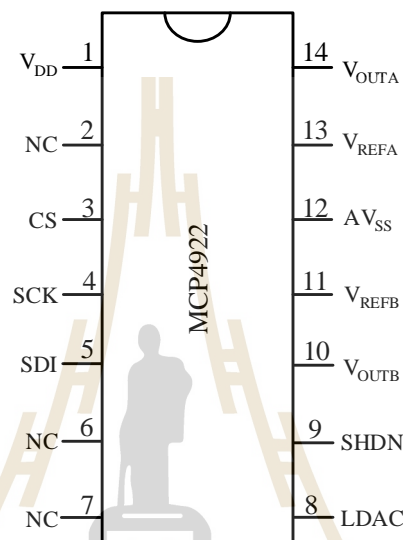
$$V_{out} = 0.001296N + 0.03786 \quad (3-6)$$

โดยที่  $V_{out}$  คือ แรงดันเอาต์พุตที่วัดได้จากวงจร (v)  
 $N$  คือ ความเร็วของมอเตอร์ (RPM)

ผลการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าสมการเส้นตรงระหว่างความเร็วของมอเตอร์ และแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดได้ เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของมอเตอร์ในหน่วยรอบต่อนาทีและความเร็วมอเตอร์ในหน่วยโวลต์ ดังนั้น ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่วัดได้จากวงจร คือ ค่าความเร็วจริง ( $n$ ) ในหน่วยโวลต์ตามระบบชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมพีซีซีลอจิกในรูปที่ 3.10 เพื่อป้อนให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.4.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก ทำหน้าที่แปลงข้อมูลดิจิทัลของค่าเอาต์พุต voltage จากการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิกที่คำนวณด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นค่าเอาต์พุตที่มีลักษณะสัญญาณแบบแอนะล็อก เพื่อส่งต่อไปยังวงจรสร้างสัญญาณ PWM ในการควบคุมสวิทช์ของวงจรแปลงผันดิซีเป็นดิซี โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก เบอร์ MCP4922 ซึ่งมีความแยกชัด 12 บิต โดยไอซีดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ไอซีเบอร์ MCP4922

ไอซีชนิดนี้ทางบริษัท ETT ได้นำมาสร้างเป็นโมดูลแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกที่สามารถนำมาต่อใช้งานกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างสะดวก โดยรูปร่างของโมดูลแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกดังกล่าว สามารถดูได้จากรูปที่ 3.18 ดังนี้



รูปที่ 3.18 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

การเชื่อมต่อวงจรโมดูลแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่น ET - EASY MEGA 1280 ในงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

ขา +VCC	ต่อกับไฟเลี้ยงของบอร์ดขนาด 5 โวลต์
ขา CS#	ต่อกับช่องสัญญาณดิจิทัลที่ 8 ของบอร์ด
ขา SCK	ต่อกับช่องสัญญาณดิจิทัลที่ 52 ของบอร์ด
ขา SDI	ต่อกับช่องสัญญาณดิจิทัลที่ 10 ของบอร์ด
ขา LDAC#	ต่อกับช่องสัญญาณดิจิทัลที่ 11 ของบอร์ด
ขา SHDN#	ต่อกับช่องสัญญาณดิจิทัลที่ 12 ของบอร์ด
ขา GND	ต่อกับกราวด์ของบอร์ด (กราวด์วงจรควบคุม)

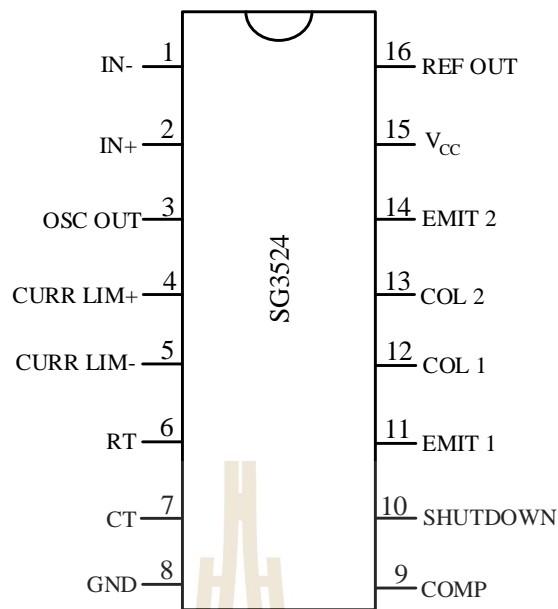
การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกของไอซี เบอร์ MCP4922 มีความแยกชัด 12 บิตที่แรงดันอ้างอิง การใช้งานไอซีดังกล่าวจะใช้แรงดันอ้างอิงขนาด 5 โวลต์ ทำให้ค่าสัญญาณดิจิทัลที่ค่าตัวเลขระหว่าง 0 – 4095 สามารถแปลงเป็นสัญญาณแอนะล็อกที่มีขนาดแรงดันระหว่าง 0 – 5 โวลต์ ผลการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก คำนวณได้จากสมการที่ (3-7) สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้สัญญาณแอนะล็อกจากช่องสัญญาณ OUTA เพื่อส่งต่อไปยังวงจรสร้างสัญญาณ PWM

$$V_{OUTA} = \frac{V_D \times V_{REF}}{4095} \quad (3-7)$$

โดยที่  $V_{OUTA}$  คือ แรงดันแอนะล็อกเพื่อส่งต่อไปยังวงจรสร้างสัญญาณ PWM  
 $V_D$  คือ ตัวเลขดิจิทัลของค่าเอาต์พุต voltage จากตัวควบคุมพีซีลอจิก  
 $V_{REF}$  คือ แรงดันอ้างอิง กำหนดไว้ที่ 5 โวลต์

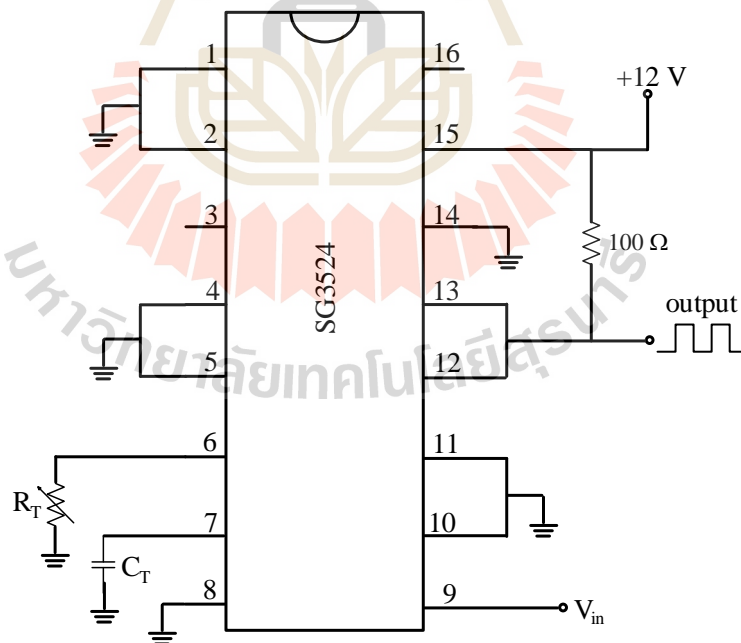
### 3.4.3 วงจรสร้างสัญญาณ PWM

วงจรสร้างสัญญาณ PWM สำหรับใช้ควบคุมสวิทช์ของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี ในงานวิจัยเลือกใช้ไอซีเบอร์ SG3524 ซึ่งไอซีชนิดดังกล่าวจะทำงาน 2 ส่วน คือ สร้างสัญญาณพาห์รูปสามเหลี่ยม (triangular carrier) และเปรียบเทียบสัญญาณ (comparator) ระหว่างสัญญาณพาห์รูปสามเหลี่ยมและสัญญาณของแรงดันแอนะล็อกที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกในหัวข้อที่ 3.4.2 เพื่อสร้างสัญญาณ PWM โดยไอซีเบอร์ SG3524 แสดงได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ไอซีเบอร์ SG3524

การใช้ไอซีเบอร์ SG3524 มาสร้างเป็นวงจรสร้างสัญญาณ PWM สามารถแสดงการต่อวงจรเพื่อใช้งานได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 วงจรสร้างสัญญาณ PWM

การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณ PWM สามารถออกแบบได้ ดังสมการที่ (3-8) ดังนี้

$$f_s = \frac{1}{2\pi R_T C_T} \quad (3-8)$$

โดยที่  $f_s$  คือ ความถี่การสวิตช์ (เฮิรตซ์)

การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณ PWM ในงานวิจัย กำหนดให้แหล่งจ่ายแรงดันไฟเลี้ยงของวงจรมีค่า 12 โวลต์ ( $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ) แรงดันไฟฟ้าอินพุตมีค่า 0 – 5 โวลต์ ( $V_{in} = 0 - 5 \text{ V}$ ) เพื่อเป็นสัญญาณเปรียบเทียบในการสร้างสัญญาณ PWM และการออกแบบจะกำหนดให้ความถี่ในการสวิตช์มีค่าต่ำสุดที่ 50 เฮิรตซ์ ( $f_{s,\min} = 50 \text{ Hz}$ ) ค่าตัวเก็บประจุในวงจรมีค่าเท่ากับ 0.047 ไมโครฟารัด ( $C_T = 0.047 \mu\text{F}$ ) ดังนั้น การคำนวณหาค่าความต้านทานปรับค่าได้ ( $R_T$ ) จะพิจารณาจากสมการที่ (3-8) จะได้ค่าความต้านทานปรับค่าได้ในย่านครอบคลุม 64.73 กิโลโอห์ม จากการออกแบบวงจรดังกล่าวผู้วิจัยได้เลือกค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างวงจรสำหรับใช้งานจริง ดังนี้

- ตัวเก็บประจุ  $C_T = 0.047 \mu\text{F}$
- ตัวต้านทานปรับค่าได้  $R_T = 0 - 100 \text{ k}\Omega$

วงจรสร้างสัญญาณ PWM ที่นำมาใช้งานจริง แสดงได้ดัง รูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 วงจรสร้างสัญญาณ PWM ที่ใช้งานจริง

การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณ PWM ในรูปที่ 3.21 จะดำเนินการทดสอบโดยกำหนดให้ความถี่การสวิตช์มีค่า 1 กิโลเฮิรตซ์ และทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าอินพุตที่มีค่า



0 – 5 โวลต์ ให้กับวงจร เพื่อให้วงจรสร้างสัญญาณ PWM ที่มีค่าวัฏจักรหน้าที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดแรงดันไฟฟ้าอินพุต ผลการทดสอบวงจรสร้างสัญญาณ PWM แสดงได้ดังตารางที่ 3.3

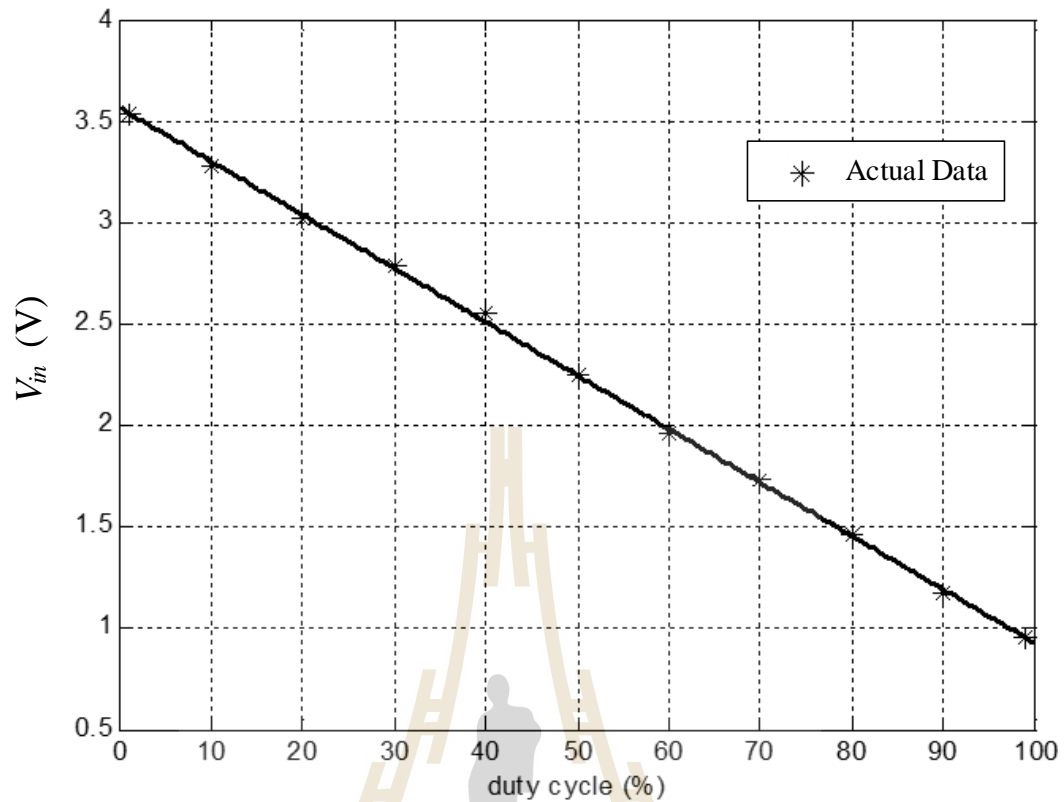
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบวงจรสร้างสัญญาณ PWM

$d$ (%)	$V_{in}$ (V)
1	3.537
10	3.282
20	3.016
30	2.787
40	2.552
50	2.268
60	2.201
70	1.730
80	1.456
90	1.175
99	0.950

เมื่อ  $d$  คือ ค่าวัฏจักรหน้าที่ (%)  
 $V_{in}$  คือ แรงดันไฟฟ้าอินพุต (v)

จากตารางที่ 3.3 นำผลการทดสอบวงจรมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรหน้าที่ และแรงดันอินพุต แสดงได้ดังรูปที่ 3.22

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรหน้าที่ และแรงดันอินพุต

จากกราฟรูปที่ 3.22 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัฏจักรหน้าที่ และแรงดันอินพุตของวงจรสร้างสัญญาณ PWM ได้ดังสมการที่ (3-9)

$$V_{in} = -0.02637d + 3.564 \quad (3-9)$$

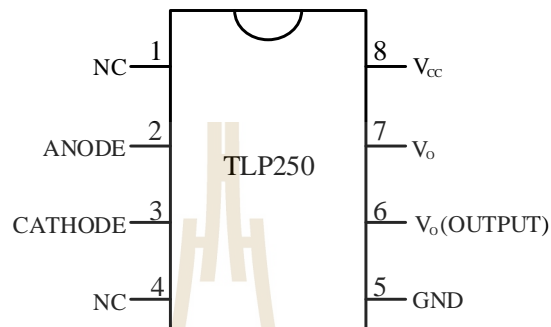
โดยที่  $V_{in}$  คือ แรงดันไฟฟ้าอินพุต (v)

$d$  คือ ค่าวัฏจักรหน้าที่ (%)

จากผลการทดสอบการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณ PWM พบว่า แรงดันไฟฟ้าอินพุตมีผลต่อค่าวัฏจักรหน้าที่ตามสมการที่ (3-9) สำหรับงานวิจัยนี้แรงดันไฟฟ้าอินพุตที่ป้อนให้กับวงจรสร้างสัญญาณ PWM จะใช้สัญญาณแอนะล็อกจากช่องสัญญาณ OUTA ( $V_{in} = V_{OUTA}$ ) เพื่อสร้างสัญญาณ PWM ซึ่งสัญญาณ PWM ดังกล่าวจะนำไปขับสวิทช์ของวงจรแปลงผันดิซีเป็นดิซี โดยก่อนนำไปขับสวิทช์จะต้องผ่านวงจรแยกโคตสัญญาณ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

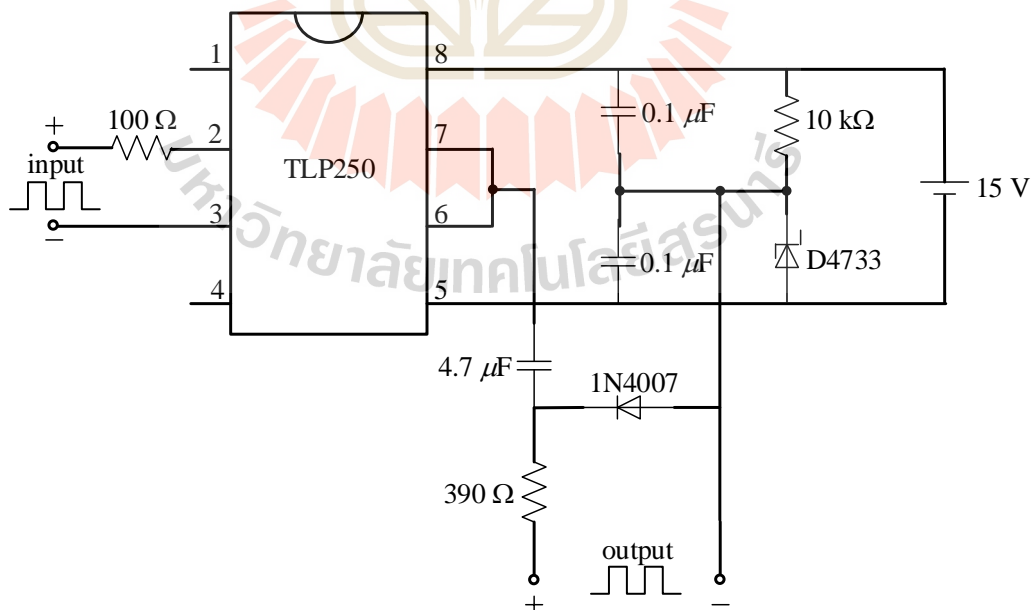
### 3.4.4 วงจรแยกโดดสัญญาณ

วงจรแยกโดดสัญญาณเป็นวงจรที่ใช้สำหรับแยกกราวด์ของสัญญาณใด ๆ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ ในงานวิจัยนี้จะใช้วงจรแยกโดดสัญญาณในการแยกกราวด์ระหว่างวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซีและวงจรสร้างสัญญาณ PWM โดยใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงหรือที่เรียกว่า ออปโตคัปปลิง (opto-coupling) ดังนั้น ในงานวิจัยจะใช้ไอซีเบอร์ TLP250 ในการสร้างวงจรแยกโดดสัญญาณ แสดงได้ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ไอซีเบอร์ TLP250

การใช้ไอซีเบอร์ TLP250 มาสร้างเป็นวงจรแยกโดดสัญญาณ สามารถแสดงการต่อวงจรเพื่อใช้งานได้ดังรูปที่ 3.24 และวงจรแยกโดดสัญญาณที่นำมาใช้งานจริง แสดงได้ดังรูปที่ 3.25

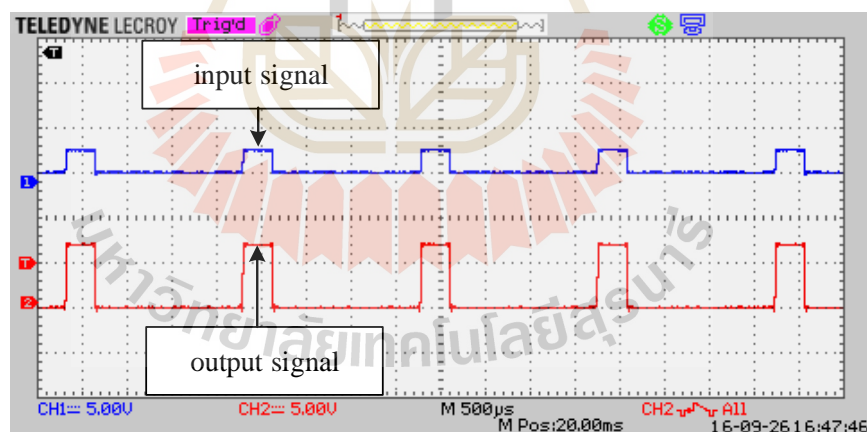


รูปที่ 3.24 วงจรแยกโดดสัญญาณ

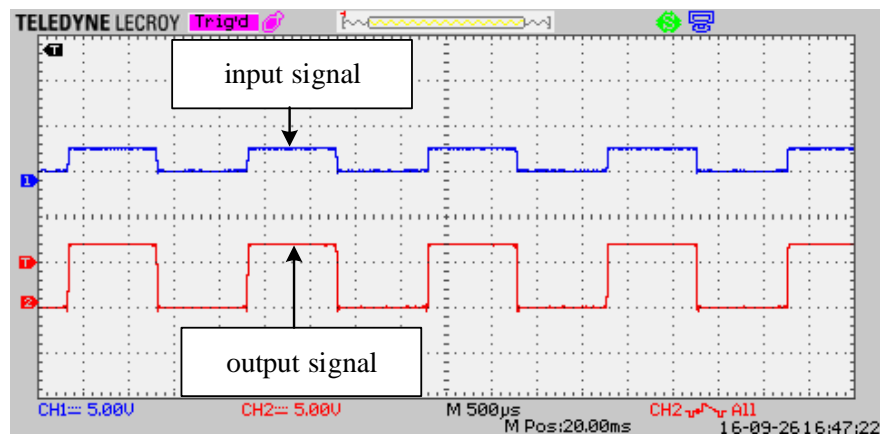


รูปที่ 3.25 วงจรแยกโศดสัญญาณที่ใช้งานจริง

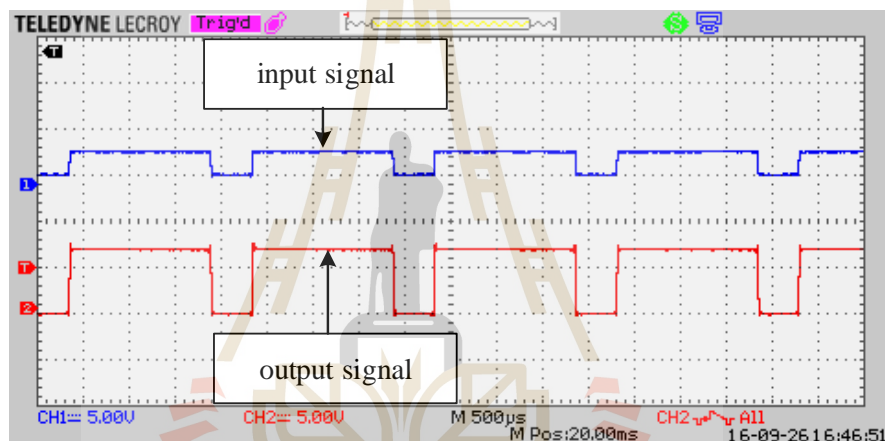
การทดสอบวงจรแยกโศดสัญญาณ จะดำเนินการทดสอบโดยการจ่ายไฟเลี้ยงของวงจรเท่ากับ 15 V และจ่ายสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณ PWM และวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร โดยจะทำการทดสอบ 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 สัญญาณอินพุต PWM ที่มีค่าวัฏจักรหน้าที่ 25% กรณีที่ 2 สัญญาณอินพุต PWM ที่มีค่าวัฏจักรหน้าที่ 50% และกรณีที่ 3 สัญญาณอินพุต PWM ที่มีค่าวัฏจักรหน้าที่ 75% ผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.26 - 3.28 ตามลำดับ



รูปที่ 3.26 ผลการทดสอบวงจรแยกโศดสัญญาณกรณีที่ 1 มีค่าวัฏจักรหน้าที่ 25%



รูปที่ 3.27 ผลการทดสอบวงจรแยกโหนดสัญญาณกรณีที่ 2 มีค่าวัฏจักรหน้าที่ 50%



รูปที่ 3.28 ผลการทดสอบวงจรแยกโหนดสัญญาณกรณีที่ 3 มีค่าวัฏจักรหน้าที่ 75%

จากรูปที่ 3.26 - 3.28 ช่องสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณอินพุตของวงจรแยกโหนดสัญญาณ ช่องสัญญาณที่ 2 คือ สัญญาณเอาต์พุตของวงจรแยกโหนดสัญญาณ จากผลการทดสอบวงจรแยกโหนดสัญญาณจะทำให้กราวด์ของวงจรแปลงผันตีสื่อเป็นตีสื่อแยกจากกราวด์ของวงจรสร้างสัญญาณ PWM นอกจากนี้ เฟสของสัญญาณอินพุต และเฟสของสัญญาณเอาต์พุต PWM ของวงจรแยกโหนดสัญญาณมีเฟสตรงกัน ทำให้สามารถนำสัญญาณ PWM ที่ผ่านการแยกโหนดสัญญาณไปขับสวิทช์ของวงจรแปลงผันตีสื่อเป็นตีสื่อต่อไป

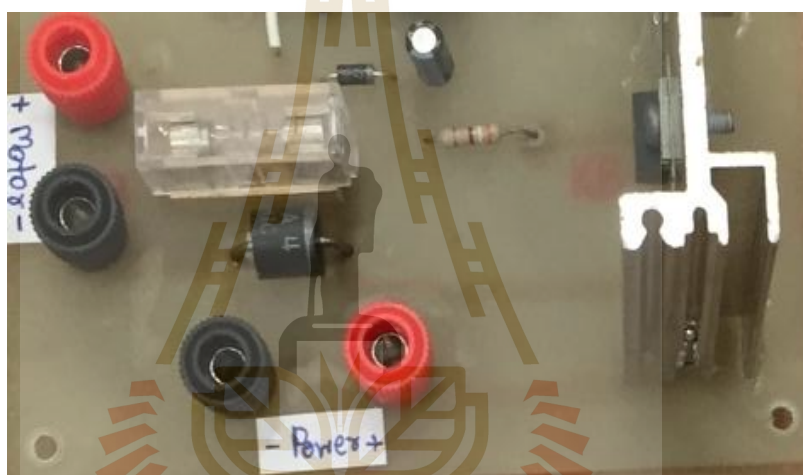
### 3.4.5 วงจรแปลงผันตีสื่อเป็นตีสื่อ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเลือกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาใช้ในวงจรแปลงผันตีสื่อเป็นตีสื่อ (ทฤษฎีของวงจรแปลงผันตีสื่อเป็นตีสื่ออธิบายไว้ในหัวข้อ 2.3) วงจรดังกล่าวจะประกอบด้วย มอสเฟต และไดโอด โดยการออกแบบอุปกรณ์แต่ละตัวในวงจรจะต้องคำนึงถึงพิกัดแรงดันและกระแส เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในวงจร ในงานวิจัยจะใช้วงจรแปลงผันตีสื่อเป็นตีสื่อ

ที่มีการควบคุมค่าแรงดันเอาต์พุต โดยแรงดันเอาต์พุตดังกล่าวจะเป็นแรงดันอินพุตของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องรีดยางพารา ด้วยเหตุนี้การเลือกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซีจึงคำนึงถึงค่าพิกัดแรงดันและกระแสของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในสถานะทำงานโหลดเต็มพิกัด ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้มีพิกัดแรงดัน 24 โวลต์ และพิกัดกระแส 19.2 แอมแปร์ที่สถานะทำงานโหลดเต็มพิกัด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อสร้างวงจรสำหรับใช้งานจริงดังนี้

- มอสเฟต ชนิด N-Channel เบอร์ FPQ50N06 มีพิกัดแรงดัน 60 โวลต์ และพิกัดกระแส 50 แอมแปร์
- ไดโอด เบอร์ D92-02 มีพิกัดแรงดัน 200 โวลต์ และพิกัดกระแส 20 แอมแปร์

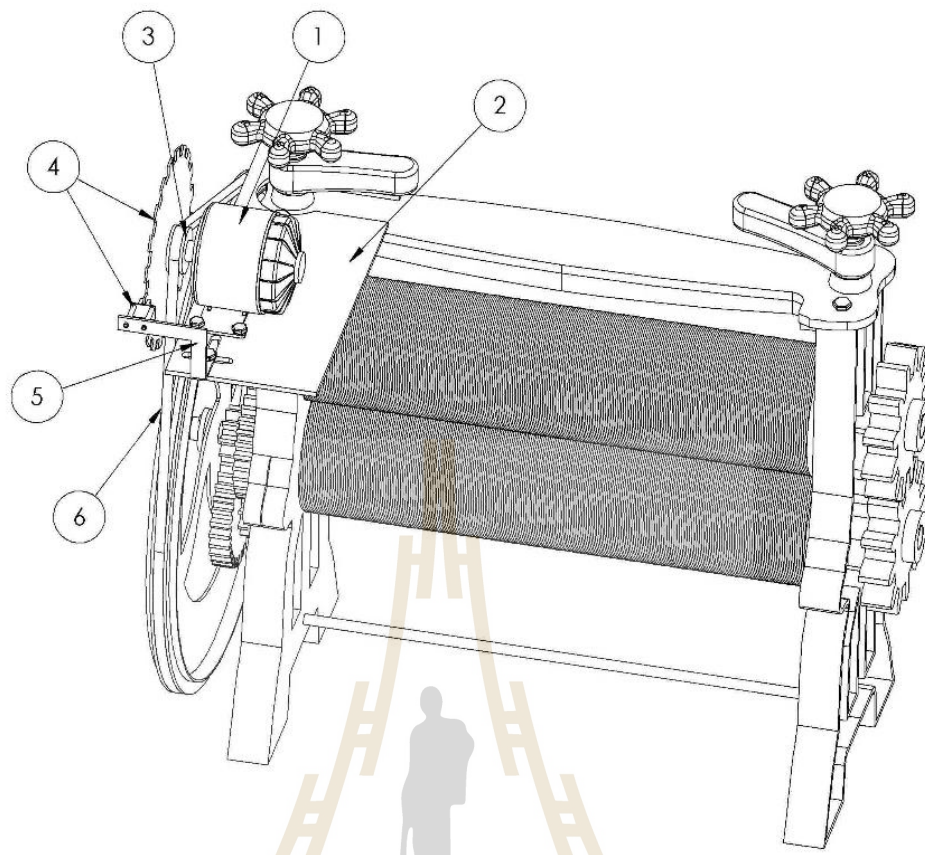
วงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซีที่นำมาใช้งานจริง แสดงได้ดัง รูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 วงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซีที่ใช้งานจริง

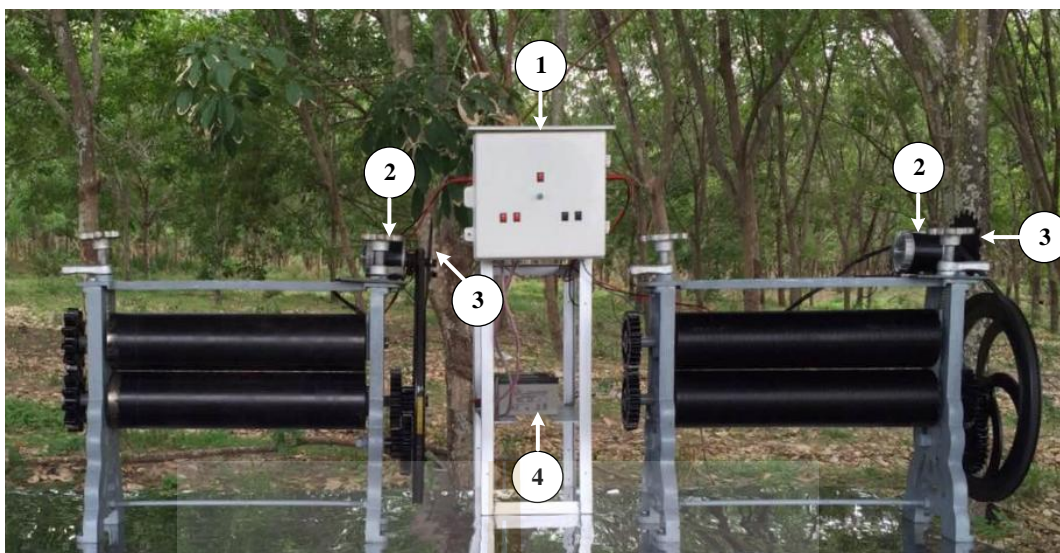
### 3.5 การติดตั้งชุดควบคุมและมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพารา

จากการสร้างชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราในหัวข้อที่ 3.4 สามารถนำชุดควบคุมที่สร้างขึ้นมามาติดตั้งเพื่อใช้งานกับเครื่องรีดยางพารา โดยการใช้งานชุดควบคุมดังกล่าวจะต้องออกแบบการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้สามารถขับเคลื่อนลูกรีดของเครื่องรีดยางพาราได้ การติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพารา มีองค์ประกอบที่สำคัญประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพิกัด 350 วัตต์ (หมายเลข 1) แผ่นรองมอเตอร์ (หมายเลข 2) เฟลมมอเตอร์ (หมายเลข 3) เซนเซอร์วัดความเร็ว (หมายเลข 4) ฐานติดเซนเซอร์ (หมายเลข 5) และสายพาน (หมายเลข 6) โดยการติดตั้งชุดอุปกรณ์ดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.30 ซึ่งรูปแบบการติดตั้งดังกล่าวจะต้องพิจารณาการใช้งานเป็นสำคัญ โดยการติดตั้งชุดควบคุมและมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพารา ได้ดำเนินการยื่นจดสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์ เลขที่คำขอ 1602003083 สามารถดูรายละเอียดการดำเนินการยื่นจดสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 3.30 การติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพารา

จากรูปที่ 3.30 เมื่อทำการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพาราเสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำการออกแบบโต๊ะสำหรับติดตั้งชุดควบคุมและวางเครื่องรีดยางพาราที่ติดตั้งมอเตอร์ เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อชุดควบคุมกับมอเตอร์ไฟฟ้าได้ง่าย และสะดวกในการใช้รีดแผ่นยางพาราของเกษตรกร ซึ่งการติดตั้งชุดควบคุมและมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพาราที่ใช้งานจริงแสดงได้ดังรูปที่ 3.31



1 กกล่องควบคุม 2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 3 เซ็นเซอร์วัดความเร็ว 4 แบตเตอรี่

รูปที่ 3.31 การติดตั้งชุดควบคุมและมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพารา

### 3.6 การทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา

การทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา จะทำการทดสอบสมรรถนะการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราโดยใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิก ซึ่งตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่ใช้ในการทดสอบ มีค่าเชิงภาษาจำนวน 3 ค่า แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 สำหรับโครงสร้างส่วนอื่น ๆ เช่น รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error และเอาต์พุต voltage แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 ตามลำดับ กฎของฟuzzyมีจำนวน 3 กฎ และวิธีการอนุมานฟuzzyจะใช้วิธีการอนุมานแบบ Takagi-Sugeno ที่มีการทำดีฟuzzyด้วยวิธีหาค่าน้ำหนักเฉลี่ย ซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.5.6 สำหรับตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพที่ใช้ในการทดสอบ แสดงได้ดังตารางที่ 3.4

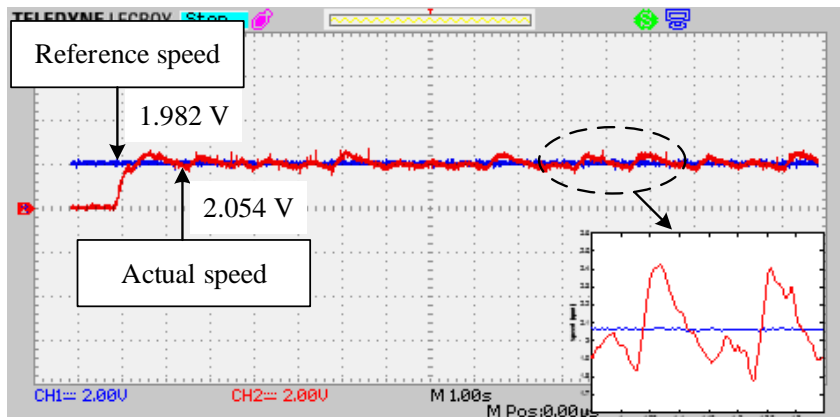


ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error และเอาต์พุต voltage ที่ใช้ในการทดสอบกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 3 ค่า

ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกอินพุต error						
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
-0.5	0	-0.5	0	0.5	0	0.5
ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต voltage						
$N^* = 2500 \text{ rpm}$	$y_1$	$y_2$	$y_3$			
	1475	1966	2457			
$N^* = 2000 \text{ rpm}$	$y_1$	$y_2$	$y_3$			
	1720	2130	2539			
$N^* = 1500 \text{ rpm}$	$y_1$	$y_2$	$y_3$			
	1966	2294	2621			

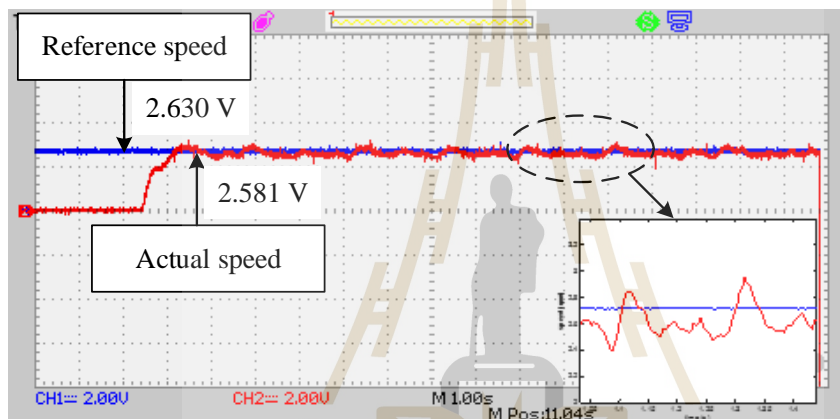
หมายเหตุ : ค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error และเอาต์พุต ได้มาจากวิธีลองผิดลองถูก

ผลการทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราของจักรลื่นและจักรดอก โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกกรณีกำหนดให้อินพุต error และเอาต์พุต voltage มีค่าเชิงภาษา 3 ค่า แสดงได้ดังรูปที่ 3.32 และรูปที่ 3.33 ตามลำดับ



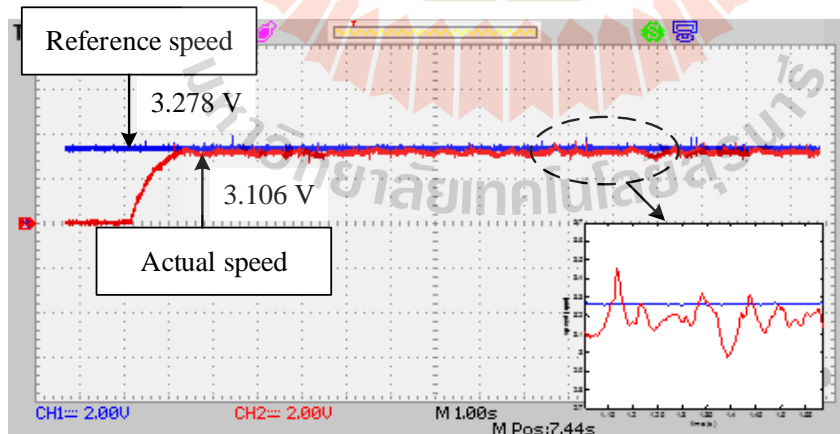
$N^* = 1500 \text{ rpm}$   
 $N = 1556 \text{ rpm}$   
 error = 3.73 %  
 $T_s = 0.8 \text{ s}$

(ก) ความเร็วอ้างอิง 1500 rpm



$N^* = 2000 \text{ rpm}$   
 $N = 1962 \text{ rpm}$   
 error = 1.90 %  
 $T_s = 0.8 \text{ s}$

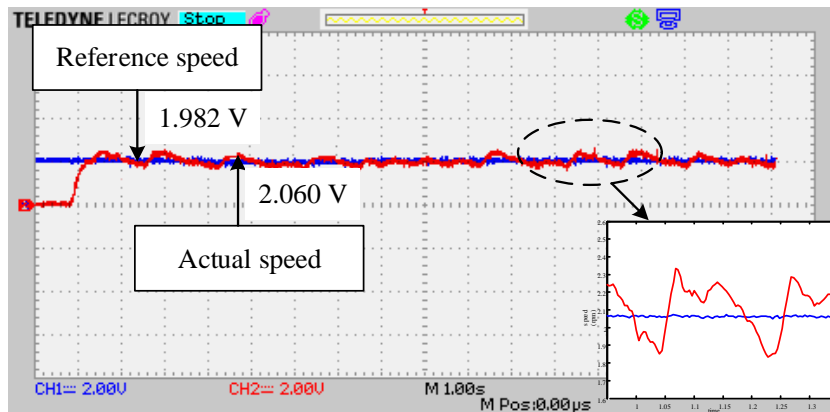
(ข) ความเร็วอ้างอิง 2000 rpm



$N^* = 2500 \text{ rpm}$   
 $N = 2368 \text{ rpm}$   
 error = 5.28 %  
 $T_s = 0.8 \text{ s}$

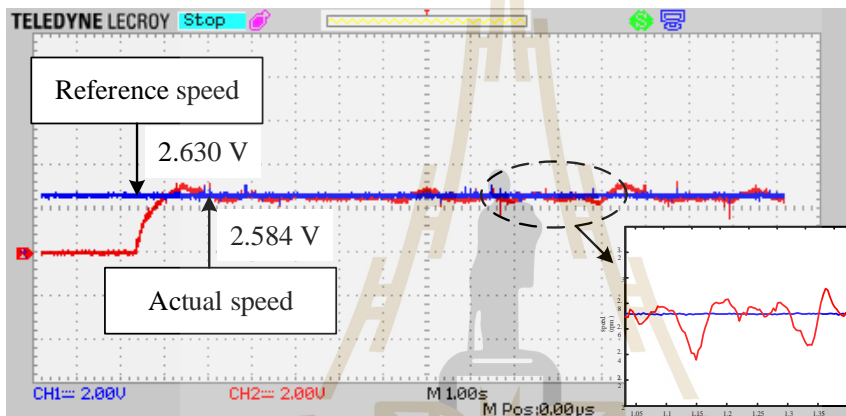
(ค) ความเร็วอ้างอิง 2500 rpm

รูปที่ 3.32 ผลการทดสอบตัวควบคุมพีชซีลจิกของจักรลั่นกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 3 ค่า



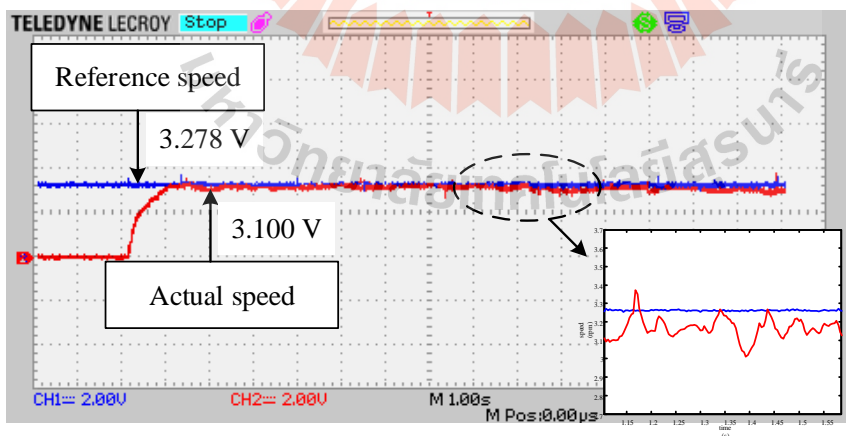
$N^* = 1500 \text{ rpm}$   
 $N = 1560 \text{ rpm}$   
 error = 4.00 %  
 $T_s = 0.8 \text{ s}$

(ก) ความเร็วอ้างอิง 1500 rpm



$N^* = 2000 \text{ rpm}$   
 $N = 1965 \text{ rpm}$   
 error = 1.75 %  
 $T_s = 0.8 \text{ s}$

(ข) ความเร็วอ้างอิง 2000 rpm



$N^* = 2500 \text{ rpm}$   
 $N = 2363 \text{ rpm}$   
 error = 5.48 %  
 $T_s = 0.8 \text{ s}$

(ค) ความเร็วอ้างอิง 2500 rpm

รูปที่ 3.33 ผลการทดสอบตัวควบคุมพีชซีลอจิกของจักรดอกกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 3 ค่า

จากรูปที่ 3.32 และรูปที่ 3.33 สังเกตได้ว่า กรณีตัวควบคุมพีชซีลอจิกที่กำหนดใช้จำนวนค่าเชิงภาษาของอินพุต error และเอาต์พุต voltage เท่ากับ 3 ค่า มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเร็วน้อยกว่า 3.64 % ในขณะที่ช่วงเวลาที่เข้าที่ (settling time) จะใช้เวลาเท่ากับ 0.8 วินาที และเมื่อพิจารณาเส้นกราฟความเร็วจริง จะเห็นได้ว่า มีการกวัดแกว่งของความเร็วจริงสูง ซึ่งจะส่งผลให้แผ่นยางพาราที่มีความบางไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น ตัวควบคุมพีชซีลอจิกที่มีจำนวนค่าเชิงภาษาของอินพุต error และเอาต์พุต voltage เท่ากับ 3 ค่า จึงไม่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา ผู้วิจัยจึงทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อให้ตัวควบคุมพีชซีลอจิกมีโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราให้ดีขึ้นกว่าเดิม

### 3.7 การแก้ไขปัญหของตัวควบคุมพีชซีลอจิกเพื่อให้มีโครงสร้างเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา

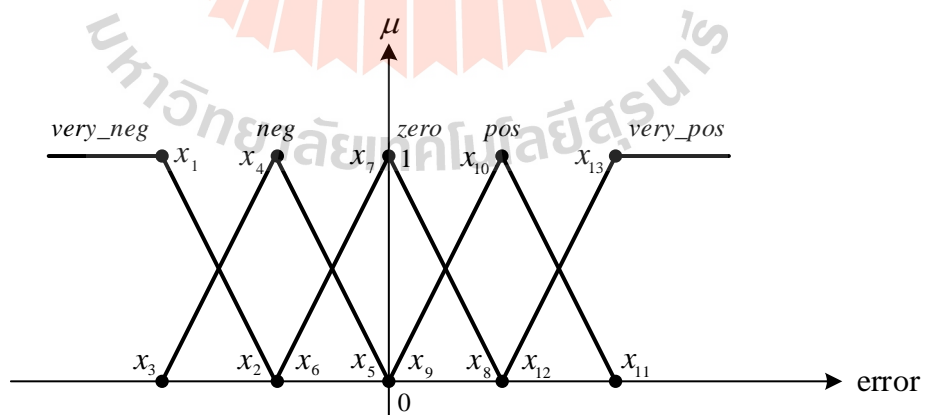
การแก้ไขปัญหของตัวควบคุมพีชซีลอจิก จะทำการแก้ไขโครงสร้างของตัวควบคุมพีชซีลอจิก 2 ส่วน คือ จำนวนค่าเชิงภาษา และกฎของพีชซี เพื่อให้ตัวควบคุมพีชซีลอจิกมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา โดยรายละเอียดต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 3.7.1 จำนวนค่าเชิงภาษา

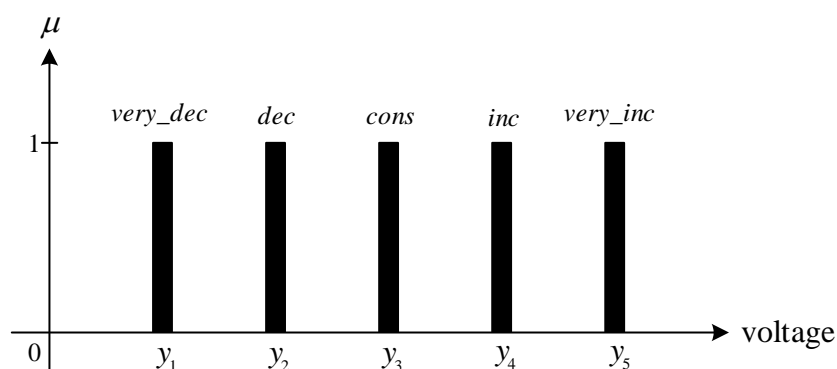
จากการทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราในหัวข้อที่ 3.6 โดยใช้ตัวควบคุมพีชซีลอจิกที่มีจำนวนค่าเชิงภาษาของอินพุต error และเอาต์พุต voltage เท่ากับ 3 ค่า ไม่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา เนื่องจากมีการกวัดแกว่งของความเร็วจริงสูง ซึ่งจะส่งผลให้แผ่นยางพาราที่มีความบางไม่สม่ำเสมอ เพื่อให้ตัวควบคุมพีชซีลอจิกมีจำนวนค่าเชิงภาษาที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา ผู้วิจัยจึงได้ทำการเพิ่มจำนวนค่าเชิงภาษาเป็น 5 ค่าเชิงภาษา ดังนั้น อินพุต error จะมีค่าเชิงภาษาจำนวน 5 ค่าเชิงภาษา ประกอบด้วย “very\_neg” “neg” “zero” “pos” และ “very\_pos” ซึ่งแสดงเป็นฟังก์ชันสมาชิกภาพได้ดังรูปที่ 3.34 จากการเพิ่มจำนวนค่าเชิงภาษาส่งผลให้จำนวนค่าเชิงภาษาของเอาต์พุต voltage เพิ่มขึ้นเป็น 5 ค่าเชิงภาษาเช่นเดียวกัน ประกอบด้วย “very\_dec” “dec” “cons” “inc” และ “very\_inc” ซึ่งแสดงเป็นฟังก์ชันสมาชิกภาพได้ดังรูปที่ 3.35 สำหรับความหมายของค่าเชิงภาษาของอินพุต error และเอาต์พุต voltage กรณี 5 ค่าเชิงภาษา แสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษาของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารากรณี 5 ค่าเชิงภาษา

ค่าของระบบ	ตัวแปรภาษาและความหมาย		ค่าเชิงภาษาและความหมาย	
	ตัวแปรภาษา	ความหมาย	ค่าเชิงภาษา	ความหมาย
อินพุต	error ( $e_N$ )	ค่าความผิดพลาดของความเร็ว	<i>very_neg</i> (very negative)	$N^* \ll N$ (น้อยกว่ามาก ๆ)
			<i>neg</i> (negative)	$N^* < N$ (น้อยกว่า)
			<i>zero</i>	$N^* = N$ (เท่ากับ)
			<i>pos</i> (positive)	$N^* > N$ (มากกว่า)
			<i>very_pos</i> (very positive)	$N^* \gg N$ (มากกว่ามาก ๆ)
เอาต์พุต	voltage ( $u$ )	ค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต	<i>very_dec</i> (very decrease)	ลดลงมาก ๆ
			<i>dec</i> (decrease)	ลดลง
			<i>cons</i> (constant)	คงที่
			<i>inc</i> (increase)	เพิ่มขึ้น
			<i>very_inc</i> (very increase)	เพิ่มขึ้นมาก ๆ



รูปที่ 3.34 ฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error กรณี 5 ค่าเชิงภาษา



รูปที่ 3.35 ฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage กรณี 5 ค่าเชิงภาษา

โดยผลการทดสอบสมรรถนะการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา กรณี 5 ค่าเชิงภาษา จะนำเสนอในหัวข้อที่ 3.7.3

### 3.7.2 กฎของฟuzzy

การออกแบบกฎของฟuzzyในงานวิจัยนี้จะออกแบบตามจำนวนค่าเชิงภาษา จากการแก้ไขปัญหาของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกเพื่อให้มีโครงสร้างเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา มีการเพิ่มจำนวนค่าเชิงภาษาเป็น 5 ค่าเชิงภาษา ดังนั้น กฎของฟuzzyที่ออกแบบขึ้นใหม่จึงมีจำนวน 5 กฎ ซึ่งแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

กฎข้อที่ 1	IF error = <i>very_neg</i>	THEN voltage = <i>very_inc</i>
กฎข้อที่ 2	IF error = <i>neg</i>	THEN voltage = <i>inc</i>
กฎข้อที่ 3	IF error = <i>zero</i>	THEN voltage = <i>cons</i>
กฎข้อที่ 4	IF error = <i>pos</i>	THEN voltage = <i>dec</i>
กฎข้อที่ 5	IF error = <i>very_pos</i>	THEN voltage = <i>very_dec</i>

จากกฎของฟuzzyที่ได้ออกแบบสำหรับใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราทั้ง 5 กฎ อธิบายความหมายได้ดังนี้

ความหมายของกฎข้อที่ 1 ถ้าค่าอินพุต error มีค่าเท่ากับ *very\_neg* แล้ว กำหนดให้ค่าเอาต์พุต voltage เท่ากับ *very\_inc* ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วอ้างอิง ( $N^*$ ) น้อยกว่าค่าความเร็วจริง ( $N$ ) มาก ๆ จะกำหนดให้ลดค่าแรงดันอินพุตของมอเตอร์มาก ๆ โดยการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล 12 บิต มาก ๆ เพื่อลดค่าวัฏจักรหน้าที่ให้มียาลดลงมาก ๆ

ความหมายของกฎข้อที่ 2 3 และ 4 มีความหมายเหมือนกับกรณีกฎของฟuzzyจำนวน 3 กฎ ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3

ความหมายของกฎข้อที่ 5 ถ้าค่าอินพุต error มีค่าเท่ากับ *very\_pos* แล้ว กำหนดให้ค่าเอาต์พุต voltage เท่ากับ *very\_dec* ซึ่งหมายความว่า ถ้าความเร็วอ้างอิง ( $N^*$ ) มากกว่าค่าความเร็วจริง ( $N$ ) มาก ๆ จะกำหนดให้เพิ่มค่าแรงดันอินพุตของมอเตอร์มาก ๆ โดยการลดระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบตัวเลขดิจิตอล 12 บิต มาก ๆ เพื่อเพิ่มค่าวัฏจักรหน้าที่ให้มีค่าเพิ่มขึ้น มาก ๆ

การแก้ไขปัญหาของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกเพื่อให้มีโครงสร้างเหมาะสมสำหรับ นำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา มีการแก้ไขโครงสร้างของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกในส่วน ค่าเชิงภาษาจากจำนวน 3 ค่า เป็น 5 ค่า และกฎของฟuzzyจากจำนวน 3 กฎ เป็น 5 กฎ ดังนั้น การ สร้างตัวควบคุมฟuzzyลอจิกจะต้องทำการแก้ไขโปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีค่าเชิง ภาษาจำนวน 5 ค่า และกฎของฟuzzyจำนวน 5 กฎ

### 3.7.3 การทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราหลังจากการแก้ไข

การทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา จะทำการทดสอบ สมรรถนะของการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิกสำหรับระบบที่ พิจารณาดังรูปที่ 3.1 โดยใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่กำหนดให้อินพุต error และเอาต์พุต voltage มี ค่าเชิงภาษา 5 ค่า แสดงได้ดังตารางที่ 3.5 สำหรับโครงสร้างส่วนอื่น ๆ ของตัวควบคุมฟuzzyลอจิก เช่น รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error และเอาต์พุต voltage กรณีใช้ค่าเชิงภาษา 5 ค่า แสดงได้ดัง รูปที่ 3.34 และรูปที่ 3.35 ตามลำดับ โดยใช้กฎของฟuzzyจำนวน 5 กฎ และวิธีการอนุมานฟuzzyจะใช้ วิธีการอนุมานแบบ Takagi-Sugeno ที่มีการทำดีฟuzzyด้วยวิธีหาค่าน้ำหนักเฉลี่ย ซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อ ที่ 2.5.6 สำหรับตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพที่ใช้ในการทดสอบ แสดงได้ดังตารางที่ 3.6

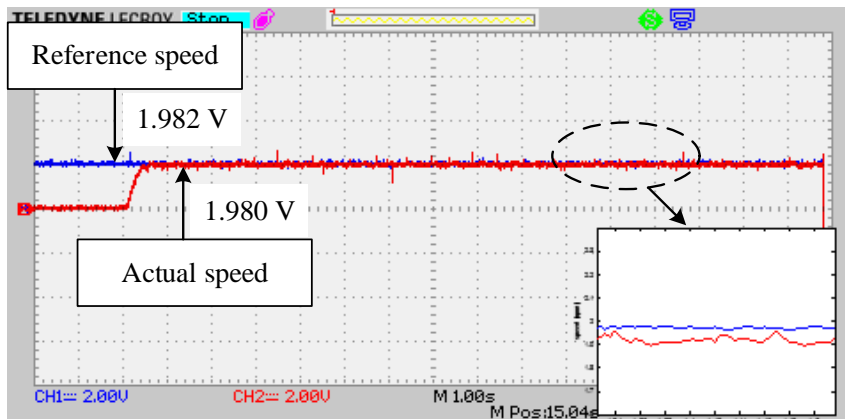
ตารางที่ 3.6 ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error และเอาต์พุต voltage ที่ใช้ในการทดสอบกรณี  
ใช้ค่าเชิงภาษา 5 ค่า

ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกอินพุต error												
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$
-1.0	-0.5	-1.0	-0.5	0	-0.5	0	0.5	0	0.5	1.0	0.5	1.0
ตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกเอาต์พุต voltage												
$N^* = 2500 \text{ rpm}$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$							
	983	1475	1966	2457	2949							
$N^* = 2000 \text{ rpm}$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$							
	1311	1720	2130	2539	2949							
$N^* = 1500 \text{ rpm}$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$							
	1638	1966	2294	2621	2949							

หมายเหตุ : ค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error และเอาต์พุต ได้มาจากวิธีลองผิดลองถูก

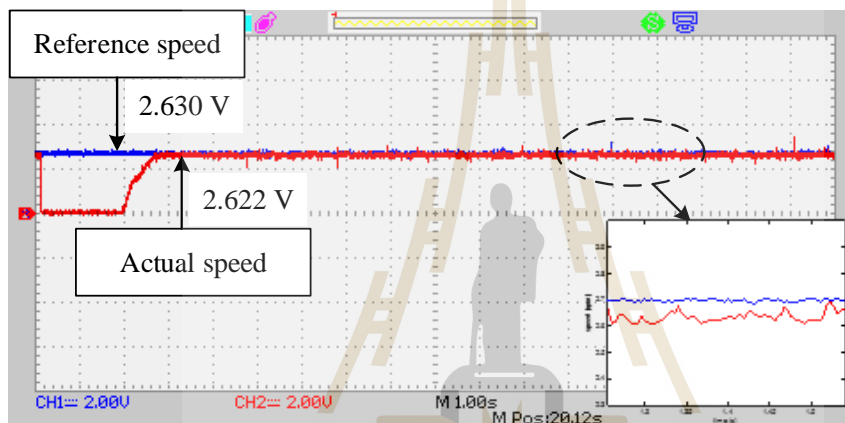
ผลการทดสอบการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราของจักรเส้นและจักรดอก โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกกรณีกำหนดให้อินพุต error และเอาต์พุต voltage มีค่าเชิงภาษา 5 ค่า แสดงได้ดังรูปที่ 3.36 และรูปที่ 3.37 ตามลำดับ





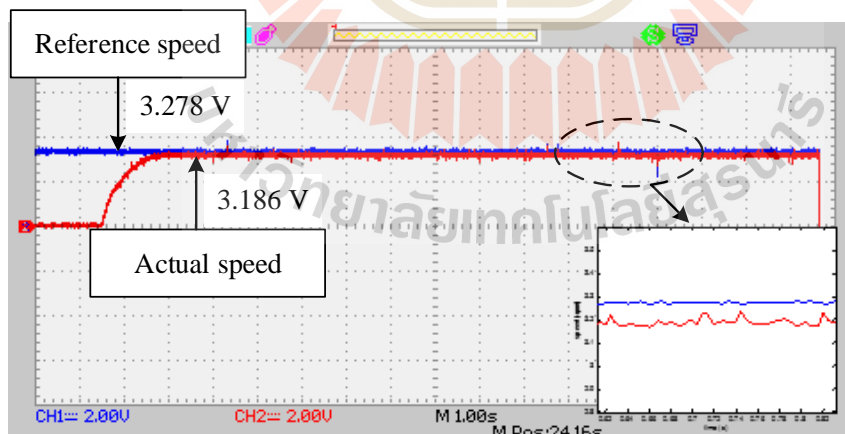
$N^* = 1500 \text{ rpm}$   
 $N = 1498 \text{ rpm}$   
 error = 0.13 %  
 $T_s = 0.9 \text{ s}$

(ก) ความเร็วอ้างอิง 1500 rpm



$N^* = 2000 \text{ rpm}$   
 $N = 1994 \text{ rpm}$   
 error = 0.30 %  
 $T_s = 0.9 \text{ s}$

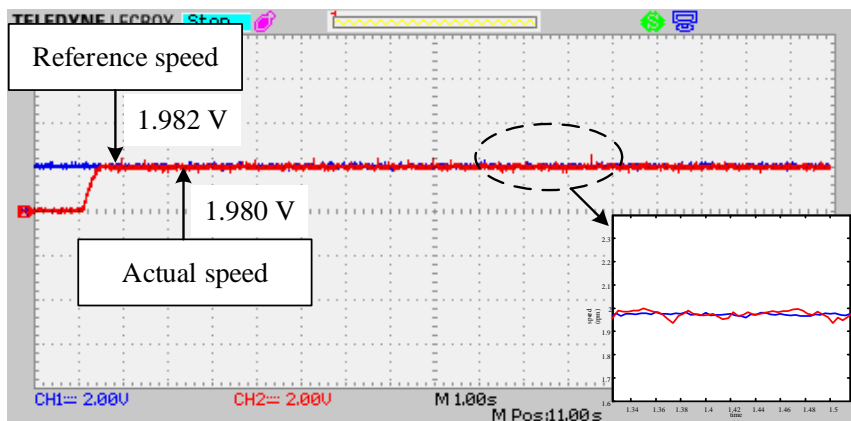
(ข) ความเร็วอ้างอิง 2000 rpm



$N^* = 2500 \text{ rpm}$   
 $N = 2429 \text{ rpm}$   
 error = 2.84 %  
 $T_s = 0.9 \text{ s}$

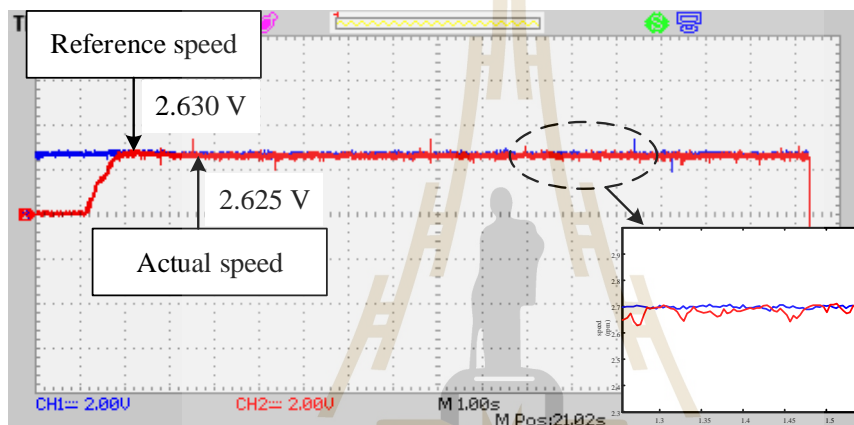
(ค) ความเร็วอ้างอิง 2500 rpm

รูปที่ 3.36 ผลการทดสอบตัวควบคุมพีซีแอลจิกของจักรลินกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 5 ค่า



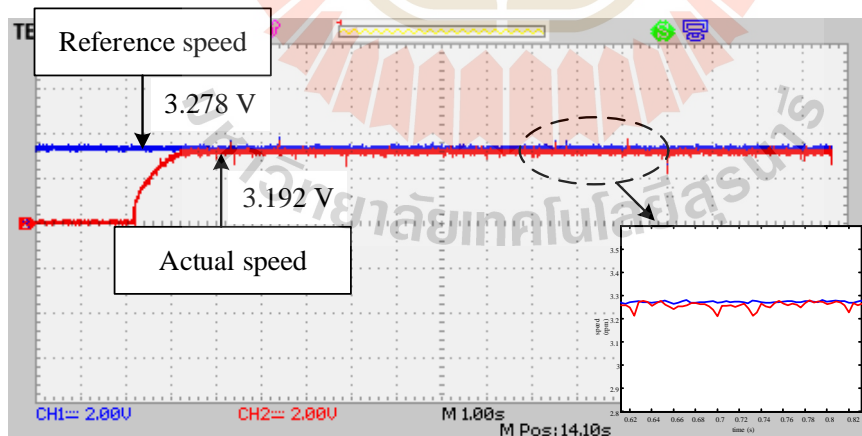
$N^* = 1500 \text{ rpm}$   
 $N = 1498 \text{ rpm}$   
 error = 0.13 %  
 $T_s = 0.9 \text{ s}$

(ก) ความเร็วอ้างอิง 1500 rpm



$N^* = 2000 \text{ rpm}$   
 $N = 1996 \text{ rpm}$   
 error = 0.20 %  
 $T_s = 0.9 \text{ s}$

(ข) ความเร็วอ้างอิง 2000 rpm



$N^* = 2500 \text{ rpm}$   
 $N = 2433 \text{ rpm}$   
 error = 2.68 %  
 $T_s = 0.9 \text{ s}$

(ค) ความเร็วอ้างอิง 2500 rpm

รูปที่ 3.37 ผลการทดสอบตัวควบคุมพีซีลอจิกของจักรดอกกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 5 ค่า

จากรูปที่ 3.36 และรูปที่ 3.37 สังเกตได้ว่า กรณีตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่กำหนดใช้จำนวนค่าเชิงภาษาของอินพุต error และเอาต์พุต voltage เท่ากับ 5 ค่า มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเร็วเท่ากับ 1.09 % และสำหรับช่วงเวลาเข้าที่จะใช้เวลาเท่ากับ 0.9 วินาที และเมื่อพิจารณาเส้นกราฟความเร็วจริง จะเห็นได้ว่า มีการกวัดแกว่งของความเร็วจริงน้อยมาก ซึ่งจะส่งผลให้แผ่นยางพาราที่มีความบางสม่ำเสมอ

### 3.7.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 3 ค่า กับกรณีที่ใช้ค่าเชิงภาษาจำนวน 5 ค่า

จากผลการทดสอบตัวควบคุมฟuzzyลอจิกกรณีที่กำหนดให้อินพุต error และเอาต์พุต voltage มีค่าเชิงภาษา 3 ค่า ในรูปที่ 3.32 และ 3.33 และกรณีที่กำหนดให้อินพุต error และเอาต์พุต voltage มีค่าเชิงภาษา 5 ค่า ในรูปที่ 3.36 และ 3.37 โดยตัวควบคุมฟuzzyลอจิกทั้ง 2 กรณี มีค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error และเอาต์พุต voltage ของค่าเชิงภาษา “neg” “zero” และ “pos” เหมือนกัน โดยผลการทดสอบดังกล่าวสามารถนำมาสรุปเป็นตารางการเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราโดยใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิก กรณีที่กำหนดให้อินพุต error และเอาต์พุต voltage มีค่าเชิงภาษา 3 ค่า กับกรณีที่ใช้ค่าเชิงภาษาจำนวน 5 ค่า ดังนี้

ตารางที่ 3.7 การเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราของตัว

ควบคุมฟuzzyลอจิกกรณีใช้ค่าเชิงภาษา 3 ค่า กับกรณีที่ใช้ค่าเชิงภาษาจำนวน 5 ค่า

จำนวนกฎของฟuzzy	จำนวนค่าเชิงภาษา	ค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็ว (%)				ช่วงเวลาเข้าที่ (วินาที)
		1500 rpm	2000 rpm	2500 rpm	เฉลี่ย	
3	3	3.73	1.90	5.28	3.64	0.8
5	5	0.13	0.30	2.84	1.09	0.9

จากตารางที่ 3.7 สังเกตได้ว่า กรณีตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่กำหนดใช้จำนวนค่าเชิงภาษาของอินพุต error และเอาต์พุต voltage กรณี 5 ค่าเชิงภาษา มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเร็วน้อยกว่าโดยเท่ากับ 1.09 % ในขณะที่กรณี 3 ค่าเชิงภาษา มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเร็วเท่ากับ 3.64 % สำหรับช่วงเวลาเข้าที่ พบว่า กรณี 5 ค่าเชิงภาษา ใช้เวลาเท่ากับ 0.9 วินาที ส่วนกรณี 3 ค่าเชิงภาษาใช้น้อยกว่าโดยเท่ากับ 0.8 วินาที และจากรูปที่ 3.30 สังเกตได้ว่า กรณี 3 ค่าเชิงภาษา จะมีการกวัดแกว่งของความเร็วจริงสูงกว่ากรณี 5 ค่าเชิงภาษา ซึ่งจะส่งผลให้แผ่นยางพาราที่มีความบางไม่สม่ำเสมอ แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ให้ความสำคัญที่ค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วและการกวัดแกว่งของความเร็วจริงเป็นหลัก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่มีจำนวนค่าเชิงภาษาของอินพุต error และเอาต์พุต voltage เท่ากับ 5 ค่า สำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราต่อไป

### 3.8 สรุป

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอการควบคุมความเร็วเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟuzzyลอจิก ซึ่งประกอบไปด้วยการออกแบบตัวควบคุมฟuzzyลอจิก ได้แก่ การเลือกใช้รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกภาพ การออกแบบตัวแปรทางภาษาและค่าเชิงภาษา และการออกแบบกฎของฟuzzy ภายใต้วิธีการอนุมานฟuzzy แบบ Takagi-Sugeno และสร้างชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างตัวควบคุมฟuzzyลอจิกทำงานร่วมกับอุปกรณ์แอนะล็อก โดยการนำเสนอได้อธิบายการออกแบบไปพร้อมกับการสร้างวงจรเพื่อทดสอบสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ การควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา จากนั้นจะนำชุดควบคุมที่สร้างขึ้นมาติดตั้งกับเครื่องรีดยางพารา ซึ่งรูปแบบการติดตั้งดังกล่าวได้มีการยื่นจดสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์ เลขที่คำขอ 1602003083 นอกจากนี้ ยังได้นำเสนอการทดสอบการควบคุมความเร็วของตัวควบคุมฟuzzyลอจิก เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการควบคุมความเร็ว ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า การใช้ฟังก์ชันสมาชิกภาพรูปสามเหลี่ยมที่มีค่าเชิงภาษาของอินพุต error จำนวน 5 ค่า และค่าเชิงภาษาของเอาต์พุต voltage จำนวน 5 ค่า โดยมีกฎฟuzzy 5 กฎ ภายใต้วิธีการอนุมานฟuzzyแบบ Takagi-Sugeno ที่มีการทำดีฟuzzyแบบการหาค่าน้ำหนักเฉลี่ย ให้ผลการทดสอบการควบคุมความเร็วที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่มีโครงสร้างตามที่ได้จากการทดสอบดังกล่าวสำหรับนำไปใช้ควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราต่อไป

## บทที่ 4

### การหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา

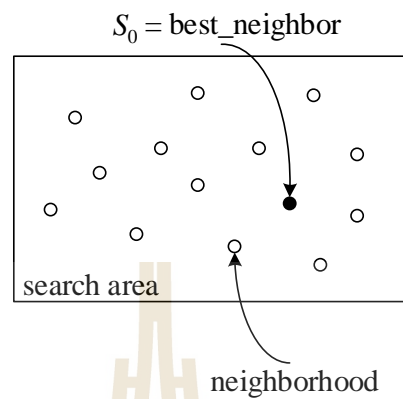
#### 4.1 กล่าวนำ

การรีดแผ่นยางพาราของเกษตรกรไม่สามารถควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราได้โดยตรง เนื่องจากเกษตรกรควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราโดยการปรับระยะระหว่างลูกรีดของเครื่องรีดยางพารา แต่ความหนาของแผ่นยางพารานั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับระยะระหว่างลูกรีดของเครื่องรีดยางพาราเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับความเร็วของลูกรีดด้วย เนื่องจากความเร็วในการหมุนของลูกรีด ทำให้เกิดการแกว่งของลูกรีดทำให้ระยะระหว่างลูกรีดแคบลง ส่งผลให้แผ่นยางพาราที่รีดบางลงด้วย ซึ่งความบางของแผ่นยางพาราสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะความบางของแผ่นยางพารามีผลต่อราคาซื้อขายแผ่นยางพาราตามท้องตลาด ดังนั้น ในบทนี้ได้นำเสนอการหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา โดยใช้วิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบูเชิงปรับตัว โดยมีวัตถุประสงค์การค้นหา คือ ความเร็วที่เหมาะสมในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของเครื่องรีดยางพารา เพื่อให้ได้กำไรในการขายแผ่นยางพารามากที่สุด โดยพลังงานที่ใช้ต้องคุ้มค่าที่สุด ซึ่งค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการค้นหาด้วยวิธีตาบูเชิงปรับตัว จะใช้เป็นความเร็วอ้างอิงของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้า ดังนั้น จึงเรียกเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้างดกล่าวว่า เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบูเชิงปรับตัวจะนำเสนอในหัวข้อที่ 4.2 การหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราโดยใช้วิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบูเชิงปรับตัวจะนำเสนอในหัวข้อที่ 4.3 สำหรับการทดสอบรีดแผ่นยางพาราโดยใช้ค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการค้นหาแบบตาบูเชิงปรับตัวจะนำเสนอในหัวข้อที่ 4.4

#### 4.2 วิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบูเชิงปรับตัว

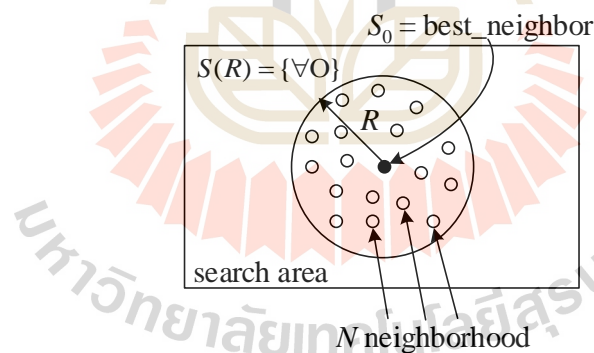
การค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบูเชิงปรับตัว (Adaptive Tabu Search : ATS) เป็นวิธีการค้นหาค่าพารามิเตอร์ทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent : AI) ที่พัฒนามาจากวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู (Tabu Search : TS) เพื่อเพิ่มสมรรถนะการค้นหาให้ดียิ่งขึ้น วิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบูเชิงปรับตัวได้นำเสนอและพัฒนาขึ้นในปี พ.ศ. 2545 โดย กองพัน อารีรักษ์ และสรารุณี สุจิตจร โดยทำการเพิ่มสองกลไกที่สำคัญเข้าไปในขั้นตอนการค้นหาที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู คือ การเดินย้อนรอย (back tracking) และการปรับรัศมีการค้นหา (adaptive search radius) กลไกการเดินย้อนรอยเป็นกลไกที่ทำให้การค้นหาสามารถย้อนกลับไปค้นหาบริเวณพื้นที่เดิมที่ถูกค้นหามาก่อน ซึ่งการค้นหาดังกล่าวอาจส่งผลให้ค้นพบคำตอบใหม่ที่ดีกว่าเดิมและหลุดออกจากคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่นได้ สำหรับกลไกการปรับรัศมีการค้นหา เป็นกลไกการปรับลดรัศมีในระหว่างการค้นหาจนกระทั่งการค้นหาเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด เพื่อให้พื้นที่การค้นหาแคบลงเมื่อเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง ซึ่งจะส่งผลให้การค้นหาสามารถค้นพบคำตอบได้เร็วขึ้น โดยรายละเอียดวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบูเชิงปรับตัวสามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดพื้นที่การค้นหา รัศมีการค้นหา และจำนวนรอบสูงสุดในการค้นหา  
 ขั้นตอนที่ 2 ทำการสุ่มคำตอบเริ่มต้น ( $S_0$ ) ภายในพื้นที่การค้นหา (search area) และกำหนดให้  $S_0$  เป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น (best\_neighbor) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



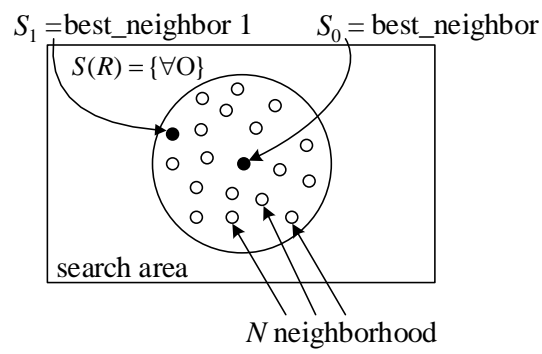
รูปที่ 4.1 การสุ่มคำตอบเริ่มต้นภายในพื้นที่การค้นหา

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการค้นหารอบ ๆ  $S_0$  ภายในพื้นที่รัศมีการค้นหา  $R$  จำนวน  $N$  คำตอบ ( $N$  neighborhood) และกำหนดให้  $S(R) = \{\forall O\}$  เป็นเซตของคำตอบรอบข้างจำนวน  $N$  คำตอบ แสดงได้ดังรูปที่ 4.2

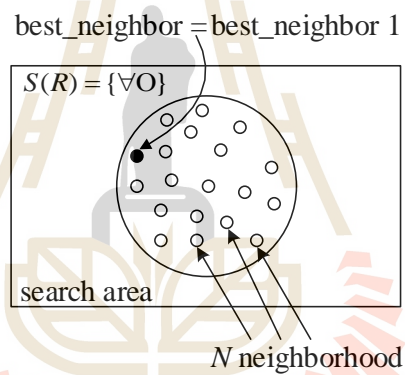


รูปที่ 4.2 คำตอบรอบข้างภายในพื้นที่รัศมีการค้นหา

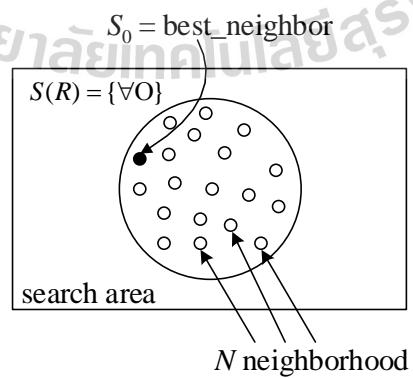
ขั้นตอนที่ 4 ทำการประเมินคำตอบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละสมาชิกใน  $S(R)$  โดยกำหนดให้  $S_1$  เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (best\_neighbor 1) ใน  $S(R)$  แสดงได้ดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 การประเมินคำตอบ  $S_1$ 

ขั้นตอนที่ 5 ถ้าค่าคำตอบ  $S_1$  มีค่าดีกว่าค่า  $S_0$  จะกำหนดให้ค่า  $S_0 = S_1$  และเก็บค่า  $S_0$  ในรายการตามชุดแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ (แต่ถ้าค่าคำตอบ  $S_1$  ไม่ดีกว่าค่า  $S_0$  จะกำหนดให้ใช้ค่า  $S_0$  ค่าเดิม)

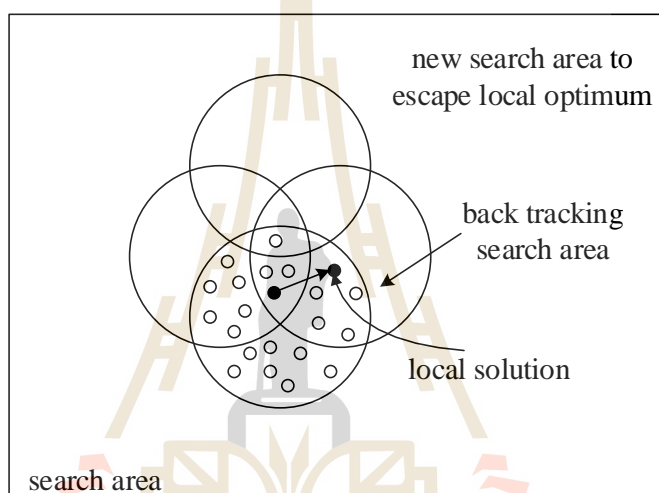


รูปที่ 4.4 การกำหนดค่าใกล้เคียงใหม่

รูปที่ 4.5 การกำหนดค่า  $S_0$  ใหม่

ขั้นตอนที่ 6 ถ้า  $count$  น้อยกว่า  $count_{max}$  ให้กลับไปเริ่มขั้นตอนที่ 3 ใหม่ และทำการค้นหาจนกระทั่งได้คำตอบที่พอใจ โดยที่ค่า  $S_0$  คือ คำตอบที่ดีที่สุด แต่ถ้า  $count$  มากกว่า  $count_{max}$  จะหยุดกระบวนการค้นหา และใช้คำตอบที่ดีที่สุด  $S_0$  ที่ได้จากการค้นหาจำนวน  $count_{max}$  รอบ เป็นคำตอบในการค้นหา

ขั้นตอนที่ 7 จะเข้าสู่กลไกการเดินย้อนรอย เมื่อจำนวนคำตอบในแต่ละรอบไม่หลุดออกจากคำตอบที่เป็นวงแคบเฉพาะถิ่น (local solution) เป็นจำนวนเท่ากับจำนวนคำตอบสูงสุดที่กำหนดไว้ กลไกดังกล่าวจะเลือกคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการค้นหาในพื้นที่การค้นหาเดิมของรายการตามลำดับสำหรับใช้เป็นคำตอบเริ่มต้นในการค้นหารอบถัดไป ซึ่งจะทำให้คำตอบที่ได้หลุดออกจากคำตอบที่เป็นวงแคบเฉพาะถิ่น แสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กลไกการเดินย้อนรอย

ขั้นตอนที่ 8 จะเข้าสู่กลไกการปรับค่ารัศมีการค้นหา โดยจะปรับลดรัศมีลงเรื่อยๆ เพื่อกระชับพื้นที่การค้นหาให้แคบลงเมื่อเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง ตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4-1)

$$radius_{new} = \frac{radius_{old}}{DF} \quad (4-1)$$

โดยที่  $DF$  คือ ตัวประกอบปรับลดค่ารัศมี (Decreasing Factor)



### 4.3 การหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราโดยใช้วิธีการค้นหา ค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู่เชิงปรับตัว

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู่เชิงปรับตัวในงานวิจัยนี้ จะทำการหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของเครื่องรีดยางพารา เพื่อให้ได้กำไรในการขายแผ่นยางพารามากที่สุด โดยพลังงานที่ใช้ต้องคุ้มค่าที่สุด โดยจะดำเนินการค้นหาความเร็วที่เหมาะสมที่สุด 2 ค่าด้วยกัน คือ ความเร็วของจักรกล (Machine A) ที่ใช้สำหรับรีดแผ่นยางพาราให้บางลง และความเร็วของจักรดอก (Machine B) ที่ใช้สำหรับรีดแผ่นยางพาราให้มีลวดลายเพื่อรีดน้ำออกจากแผ่นยาง การหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารามีขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 การทดสอบรีดแผ่นยางพาราสำหรับหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุด

การทดสอบรีดแผ่นยางพาราเพื่อเป็นข้อมูลในการค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดใน การรีดแผ่นยางพารา จะทำการทดสอบด้วยกัน 8 ชุดข้อมูล คือ 7 ชุดข้อมูลเป็นการทดสอบขณะรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วจักรดอกคงที่ 2000 rpm 1750 rpm 1500 rpm 1250 rpm 1000 rpm 750 rpm และ 500 rpm โดยให้ความเร็วของจักรกลมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 500 – 2500 rpm และอีก 1 ชุดข้อมูลเป็นการทดสอบขณะเดินเครื่องรีดยางตัวเปล่าของจักรกลและจักรดอกที่ความเร็ว 500 – 2500 rpm ซึ่งการทดสอบทั้ง 8 ชุดข้อมูล จะทำการบันทึกผลกำลังไฟฟ้าของจักรกล เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรกล กำลังไฟฟ้าของจักรดอก เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอก และ ความหนาของแผ่นยางพารา ที่ความเร็วจักรดอกคงที่และความเร็วจักรกลมีค่าเปลี่ยนแปลง สำหรับชุดทดสอบรีดแผ่นยางพาราแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



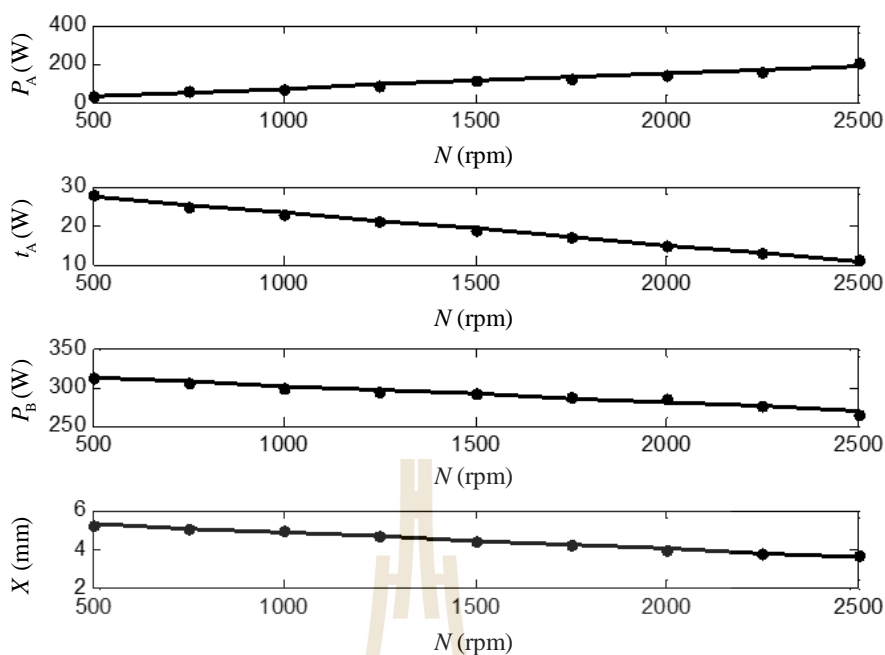
รูปที่ 4.7 ชุดทดสอบรีดแผ่นยางพารา

การทดสอบบริดแผ่นยางพาราทั้ง 8 ชุดข้อมูลดังกล่าว ได้ทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของจักรลื่น กำลังไฟฟ้าของจักรดอก เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่น เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอก และความหนาของแผ่นยางพารา ซึ่งผลการทดสอบบริดแผ่นยางพาราแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 – 4.7

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบบริดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 2000 รอบต่อนาที (rpm)

ความเร็วจักรลื่น (rpm)	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000	750	500
กำลังไฟฟ้าจักรลื่น (วัตต์)	201.82	160.33	144.83	127.21	111.58	90.67	69.31	55.45	35.77
เวลาในการรีดแผ่นยางจักรลื่น (วินาที)	11	13	15	17	19	21	23	25	28
กำลังไฟฟ้าจักรดอก (วัตต์)	265.10	276.21	285.12	288.41	291.38	294.94	299.45	305.98	313.24
เวลาในการรีดแผ่นยางจักรดอก (วินาที)	8	8	8	9	9	9	10	10	10
ความหนาแผ่นยาง (มิลลิเมตร)	3.64	3.76	3.97	4.21	4.42	4.67	4.92	5.08	5.26

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำผลการทดสอบบริดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 2000 รอบต่อนาที มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่น ( $N$ ) และกำลังไฟฟ้าของจักรลื่น ( $P_A$ ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและเวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่น ( $t_A$ ) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรดอก ( $P_B$ ) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและความหนาของแผ่นยาง ( $x$ ) แสดงได้ดังรูปที่ 7.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 2000 รอบต่อนาที

จากกราฟรูปที่ 4.8 สังเกตได้ว่า เมื่อความเร็วจักรล้นมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าของจักรล้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผ่นยางพาราก่อนรีดด้วยจักรล้นมีความหนาเท่ากัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของจักรล้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วของจักรล้น แต่กำลังไฟฟ้าของจักรดอกจะลดลงเมื่อความเร็วของจักรล้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วของจักรดอกมีค่าคงที่ และแผ่นยางพาราก่อนรีดด้วยจักรดอกมีความหนาไม่เท่ากัน โดยความหนาของแผ่นยางพาราก่อนเข้าจักรดอกมีค่าลดลงตามความเร็วของจักรล้นที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น กำลังไฟฟ้าของจักรดอกจึงมีค่าลดลงเมื่อความเร็วจักรล้นเพิ่มขึ้นเพราะแผ่นยางพาราหนาน้อยลง สำหรับเวลาที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรล้นจะลดลงตามความเร็วของจักรล้นที่เพิ่มขึ้น และความหนาของแผ่นยางพาราที่ได้จะมีค่าลดลงตามความเร็วของจักรล้น จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของจักรล้นและความเร็วของจักรล้น เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรล้นและความเร็วของจักรล้น กำลังไฟฟ้าของจักรดอกและความเร็วของจักรล้น เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอกและความเร็วของจักรล้น ความหนาของแผ่นยางพาราและความเร็วของจักรล้น แสดงได้ดังสมการที่ (4-1) - (4-5) ตามลำดับ

$$P_A = 0.077761N - 5.8676 \quad (4-1)$$

$$t_A = \frac{-0.0082667N + 31.511}{3600} \quad (4-2)$$

$$P_B = -0.021137N + 322.8 \quad (4-3)$$

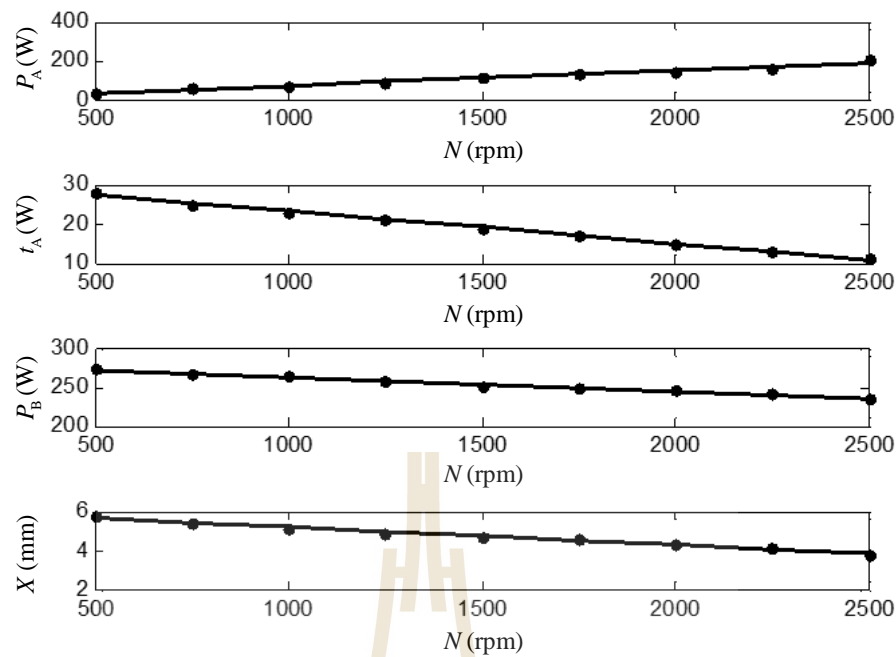
$$t_B = \begin{cases} 8/3600 & ; N \geq 2000 \\ 9/3600 & ; 1000 < N < 2000 \\ 10/3600 & ; N \leq 1000 \end{cases} \quad (4-4)$$

$$X = -0.0008533N + 5.7167 \quad (4-5)$$

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบปริดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1750 รอบต่อนาที

ความเร็วจักร ลื่น (rpm)	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000	750	500
กำลังไฟฟ้า จักรลื่น (วัตต์)	202.14	157.21	143.90	129.54	109.40	90.89	67.47	56.92	34.98
เวลาในการรีด แผ่นยางจักรลื่น (วินาที)	11	13	15	17	19	21	23	25	28
กำลังไฟฟ้า จักรดอก(วัตต์)	234.95	240.91	247.08	249.31	251.52	258.05	263.98	267.64	272.87
เวลาในการรีด แผ่นยางจักรลื่น (วินาที)	9	9	9	10	10	10	11	11	11
ความหนาแผ่น ยาง (มิลลิเมตร)	3.80	4.15	4.28	4.56	4.65	4.90	5.10	5.45	5.76

จากผลการทดสอบปริดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1750 รอบต่อนาที ในตารางที่ 4.2 สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและเวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรดอก และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและความหนาของแผ่นยาง แสดงได้ดังรูปที่ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1750 รอบต่อนาที

จากผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1750 รอบต่อนาที ในกราฟรูปที่ 4.9 สังเกตได้ว่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรกลั่นและกำลังไฟฟ้าของจักรกลั่น จะมีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปที่ 4.8 เนื่องจากการทดสอบที่ความเร็วของจักรกลั่น 500 – 2500 รอบต่อนาที และความหนาของแผ่นยางพาราก่อนรีดด้วยจักรกลั่นมีความหนาเท่ากัน โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรกลั่นและกำลังไฟฟ้าของจักรกลั่น แสดงได้ดังสมการที่ (4-6) ในส่วนของกำลังไฟฟ้าของจักรดอกจะลดลงเมื่อความเร็วของจักรกลั่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วของจักรดอกมีค่าคงที่ ทำให้กำลังไฟฟ้าของจักรดอกขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นยางพาราก่อนเข้าจักรดอก และความหนาของแผ่นยางพาราก่อนเข้าจักรดอกจะขึ้นอยู่กับความเร็วจักรกลั่น ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของจักรดอกจึงมีค่าลดลงเมื่อความเร็วจักรกลั่นเพิ่มขึ้นเพราะแผ่นยางพาราหนาน้อยลง แสดงได้ดังสมการที่ (4-7) สำหรับเวลาที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรกลั่นจะลดลงตามความเร็วของจักรกลั่นที่เพิ่มขึ้น แสดงได้ดังสมการ (4-8) เวลาที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอกจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วจักรกลั่นลดลง แสดงได้ดังสมการที่ (4-9) และความหนาของแผ่นยางพาราที่ได้จะมีค่าลดลงตามความเร็วของจักรกลั่น แสดงได้ดังสมการที่ (4-10)

$$P_A = 0.077401N - 5.8298 \quad (4-6)$$

$$t_A = \frac{-0.0082667N + 31.511}{3600} \quad (4-7)$$

$$P_B = -0.018294N + 281.48 \quad (4-8)$$

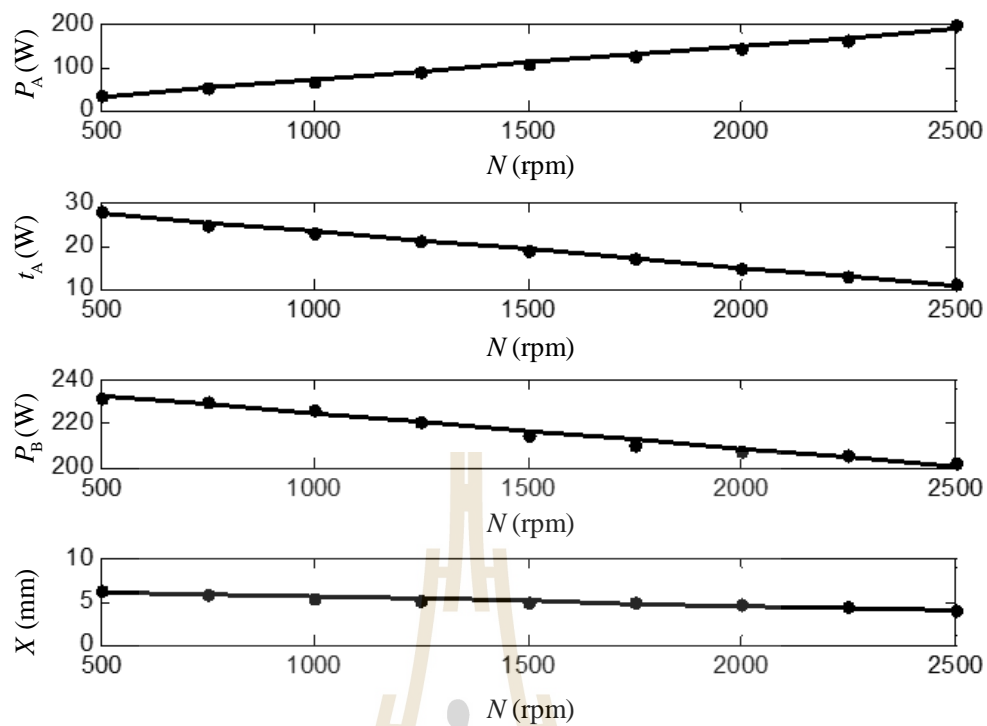
$$t_B = \begin{cases} 9/3600 & ; N \geq 2000 \\ 10/3600 & ; 1000 < N < 2000 \\ 11/3600 & ; N \leq 1000 \end{cases} \quad (4-9)$$

$$X = -0.00091467N + 6.1109 \quad (4-10)$$

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบปรืดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1500 รอบต่อนาที

ความเร็วจักร ลื่น (rpm)	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000	750	500
กำลังไฟฟ้า จักรลื่น (วัตต์)	199.67	162.18	142.74	125.72	108.94	87.97	66.77	53.85	34.90
เวลาในการรีด แผ่นยางจักรลื่น (วินาที)	11	13	15	17	19	21	23	25	28
กำลังไฟฟ้า จักรดอก (วัตต์)	202.29	205.46	207.84	210.65	215.07	221.09	225.99	229.94	231.47
เวลาในการรีด แผ่นยางจักร ดอก(วินาที)	10	10	10	11	11	11	12	12	12
ความหนาแผ่น ยาง (มิลลิเมตร)	3.94	4.32	4.64	4.82	4.98	5.15	5.25	5.75	6.21

ผลการทดสอบในตารางที่ 4.3 เป็นการทดสอบปรืดแผ่นยางพาราด้วยความเร็วจักรดอกคงที่ 1500 รอบต่อนาที สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการค้นหาความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา ซึ่งประกอบด้วย กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและเวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรดอก และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและความหนาของแผ่นยาง แสดงได้ดังรูปที่ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1500 รอบต่อนาที

จากกราฟรูปที่ 4.10 สังเกตได้ว่า กราฟกำลังไฟฟ้าของจักรลั่นและความเร็วของจักรลั่น และกราฟเวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลั่นและความเร็วของจักรลั่น มีลักษณะเดียวกันกับกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปที่ 4.8 และ 4.9 เนื่องจากการทดสอบที่ความหนาของแผ่นยางพาราก่อนรีดด้วยจักรลั่นมีค่าเท่ากัน และใช้ความเร็วของจักรลั่นเท่ากัน แสดงได้ตามสมการที่ (4-11) – (4-12) ตามลำดับ ในส่วนของกำลังไฟฟ้าของจักรดอก เวลาที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอก แสดงได้ตั้งสมการที่ (4-13) – (4-14) ตามลำดับ และความหนาของแผ่นยางพาราที่ได้จะมีค่าลดลงตามความเร็วของจักรลั่น แสดงได้ตั้งสมการที่ (4-15)

$$P_A = 0.078251N - 8.1827 \quad (4-11)$$

$$t_A = \frac{-0.0082667N + 31.511}{3600} \quad (4-12)$$

$$P_B = -0.015793N + 240.33 \quad (4-13)$$

$$t_B = \begin{cases} 10/3600 & ; N \geq 2000 \\ 11/3600 & ; 1000 < N < 2000 \\ 12/3600 & ; N \leq 1000 \end{cases} \quad (4-14)$$

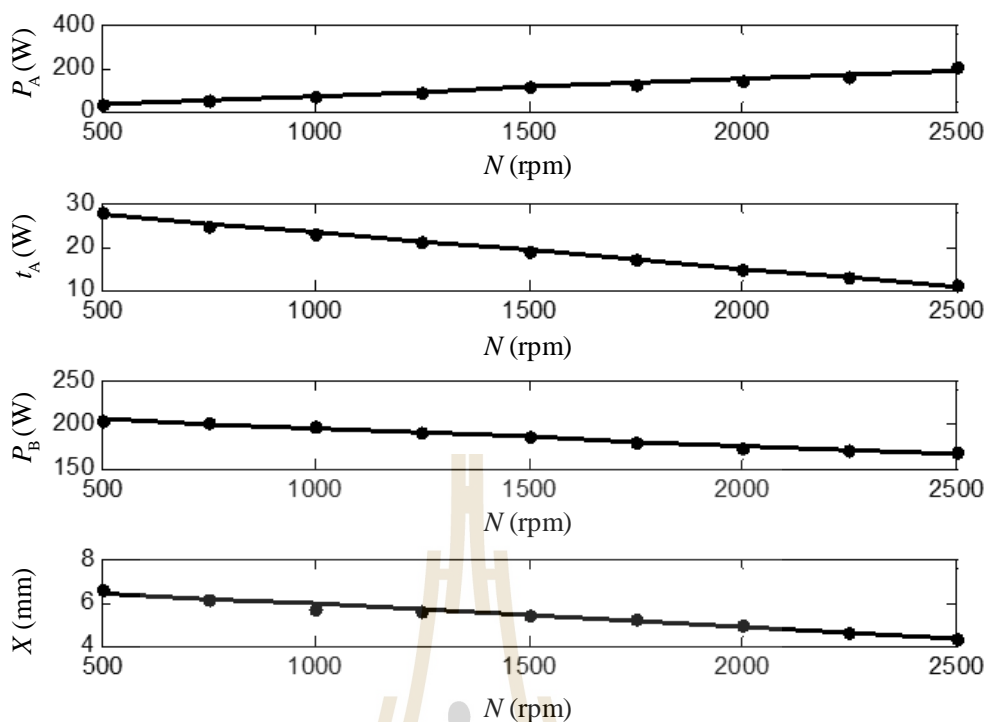
$$X = -0.00099467N + 6.4987 \quad (4-15)$$

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1250 รอบต่อนาที

ความเร็วจักร ลื่น (rpm)	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000	750	500
กำลังไฟฟ้า จักรลื่น (วัตต์)	202.11	163.31	144.45	123.44	110.22	88.40	65.35	52.15	33.21
เวลาในการรีด แผ่นยางจักรลื่น (วินาที)	11	13	15	17	19	21	23	25	28
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	168.58	170.43	172.95	180.01	185.56	190.96	197.20	201.75	205.52
เวลาในการรีด แผ่นยางจักร ดอก(วินาที)	12	12	12	13	13	13	14	14	14
ความหนาแผ่น ยาง (มิลลิเมตร)	4.28	4.58	4.92	5.20	5.39	5.56	5.72	6.15	6.60

จากตารางที่ 4.4 สามารถนำผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1250 รอบต่อนาที มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและเวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรดอก และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและความหนาของแผ่นยาง แสดงได้ดังรูปที่ 4.11 ตามลำดับ





รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1250 รอบต่อนาที

จากกราฟรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า กราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ ประกอบด้วย กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของจักรลั่นและความเร็วของจักรลั่น กราฟความสัมพันธ์เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลั่นและความเร็วของจักรลั่น กราฟความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าของจักรดอกและความเร็วของจักรลั่น กราฟความสัมพันธ์เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอกและความเร็วของจักรลั่น และกราฟความสัมพันธ์ความหนาของแผ่นยางพาราและความเร็วของจักรลั่น โดยลักษณะกราฟต่าง ๆ ดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์เช่นเดียวกับกราฟในรูปที่ 4.8-4.10 ดังนั้น สามารถหาความสัมพันธ์ของกราฟได้ดังสมการที่ (4-16) - (4-20)

$$P_A = 0.080155N - 11.05 \quad (4-16)$$

$$t_A = \frac{-0.0082667N + 31.511}{3600} \quad (4-17)$$

$$P_B = -0.020078N + 216 \quad (4-18)$$

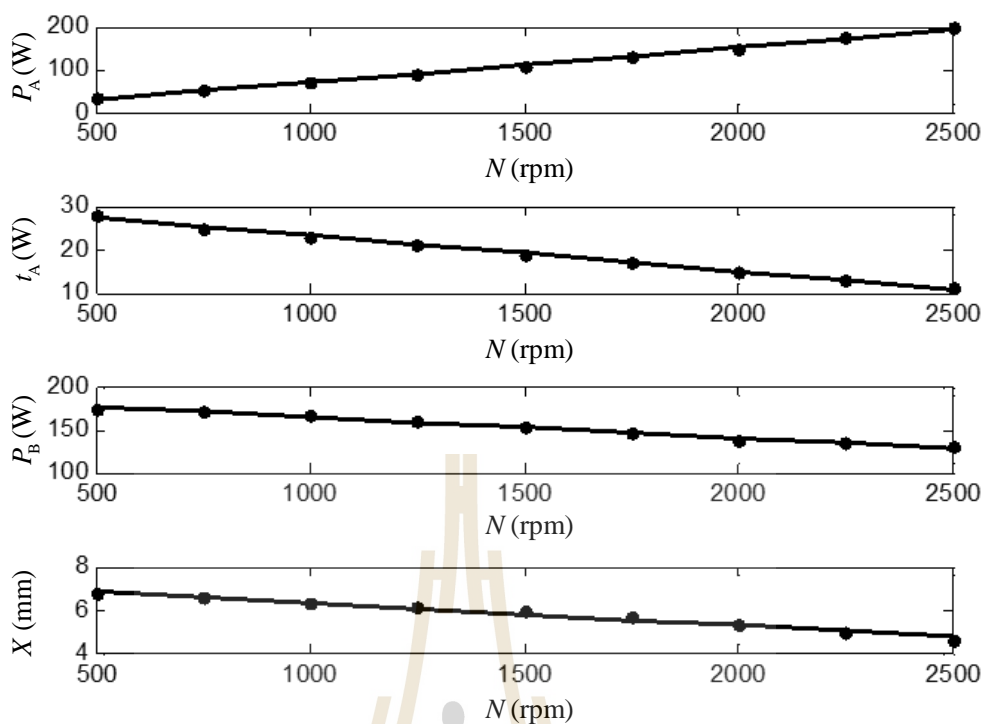
$$t_B = \begin{cases} 12/3600 & ; N \geq 2000 \\ 13/3600 & ; 1000 < N < 2000 \\ 14/3600 & ; N \leq 1000 \end{cases} \quad (4-19)$$

$$X = -0.0010633N + 6.9728 \quad (4-20)$$

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรตอกคงที่ 1000 รอบต่อนาที

ความเร็วจักร ลื่น (rpm)	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000	750	500
กำลังไฟฟ้า จักรลื่น(วัตต์)	197.52	174.05	148.99	128.17	106.52	87.86	70.76	52.39	34.12
เวลาในการรีด แผ่นยางจักรลื่น (วินาที)	11	13	15	17	19	21	23	25	28
กำลังไฟฟ้า จักรตอก (วัตต์)	130.37	134.25	137.75	146.03	153.62	160.44	168.06	170.81	173.45
เวลาในการรีด แผ่นยางจักร ตอก(วินาที)	14	14	14	15	15	15	16	16	16
ความหนาแผ่น ยาง (มิลลิเมตร)	4.62	4.97	5.28	5.66	5.95	6.15	6.31	6.57	6.78

จากผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรตอกคงที่ 1000 รอบต่อนาที ในตารางที่ 4.5 สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและเวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรตอก และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและความหนาของแผ่นยาง แสดงได้ดังรูปที่ 4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1000 รอบต่อนาที

จากกราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 1000 รอบต่อนาที ในรูปที่ 4.12 สังเกตได้ว่า ความสัมพันธ์ของกราฟมีลักษณะเช่นเดียวกับกราฟในรูป 4.8 – 4.11 ดังนั้น สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของจักรลั่นและความเร็วของจักรลั่นแสดงได้ดังสมการที่ (4-21) เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลั่นและความเร็วของจักรลั่นแสดงได้ดังสมการที่ (4-22) กำลังไฟฟ้าของจักรดอกและความเร็วของจักรลั่นแสดงได้ดังสมการที่ (4-23) เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอกและความเร็วของจักรลั่นแสดงได้ดังสมการที่ (4-24) และความหนาของแผ่นยางพาราและความเร็วของจักรลั่นแสดงได้ดังสมการที่ (4-25)

$$P_A = 0.081023N - 10.382 \quad (4-21)$$

$$t_A = \frac{-0.0082667N + 31.511}{3600} \quad (4-22)$$

$$P_B = -0.029802N + 188.46 \quad (4-23)$$

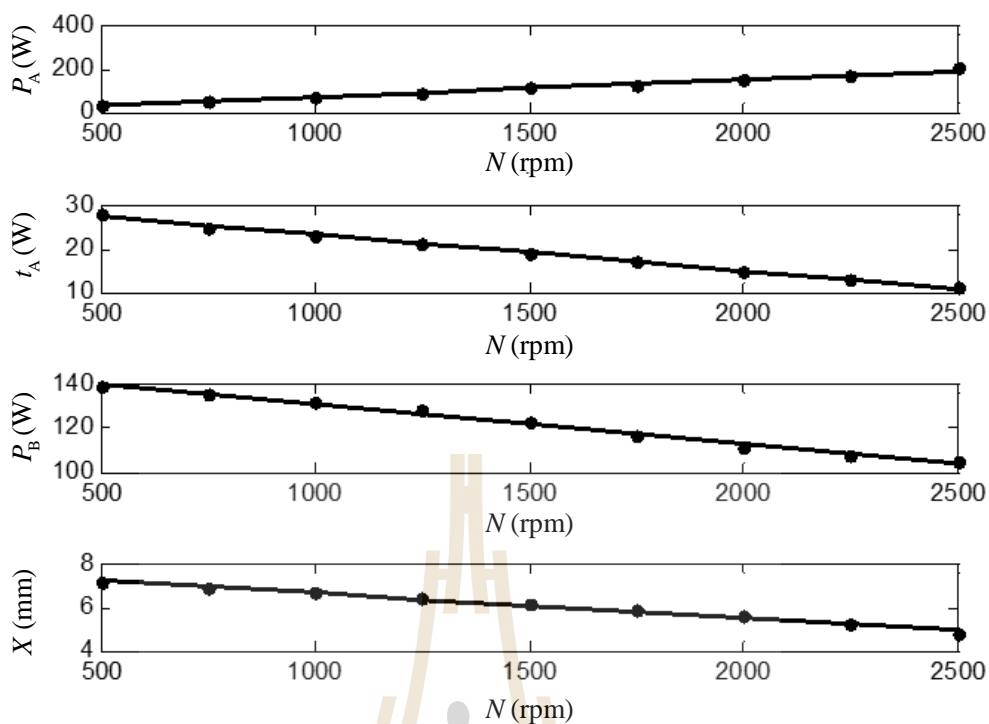
$$t_B = \begin{cases} 14/3600 & ; N \geq 2000 \\ 15/3600 & ; 1000 < N < 2000 \\ 16/3600 & ; N \leq 1000 \end{cases} \quad (4-24)$$

$$X = -0.001066N + 7.409 \quad (4-25)$$

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบบริดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 750 รอบต่อนาที

ความเร็วจักร ลื่น (rpm)	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000	750	500
กำลังไฟฟ้า จักรลื่น (วัตต์)	201.48	165.13	145.50	120.95	113.15	87.30	67.47	51.55	33.28
เวลาในการรีด แผ่นยางจักรลื่น (วินาที)	11	13	15	17	19	21	23	25	28
กำลังไฟฟ้า จักรดอก (วัตต์)	104.65	107.45	110.84	116.84	122.85	127.94	131.53	135.42	138.75
เวลาในการรีด แผ่นยางจักร ดอก(วินาที)	16	16	16	17	17	17	18	18	18
ความหนาแผ่น ยาง (มิลลิเมตร)	4.80	5.20	5.57	5.85	6.15	6.42	6.67	6.90	7.11

ผลการทดสอบในตารางที่ 4.6 เป็นการทดสอบบริดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 750 รอบต่อนาที สามารถนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและเวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรดอก และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและความหนาของแผ่นยาง แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 750 รอบต่อนาที

จากความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในกราฟรูปที่ 4.13 สามารถหาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าของจักรลั่นและความเร็วของจักรลั่น ความสัมพันธ์ของเวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลั่นและความเร็วของจักรลั่น กำลังไฟฟ้าของจักรดอกและความเร็วของจักรลั่น เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอกและความเร็วของจักรลั่น ความหนาของแผ่นยางพาราและความเร็วของจักรลั่น แสดงได้ดังสมการที่ (4-26) - (4-30) ตามลำดับ

$$P_A = 0.080217N - 10.791 \quad (4-26)$$

$$t_A = \frac{-0.0082667N + 31.511}{3600} \quad (4-27)$$

$$P_B = -0.018186N + 149.09 \quad (4-28)$$

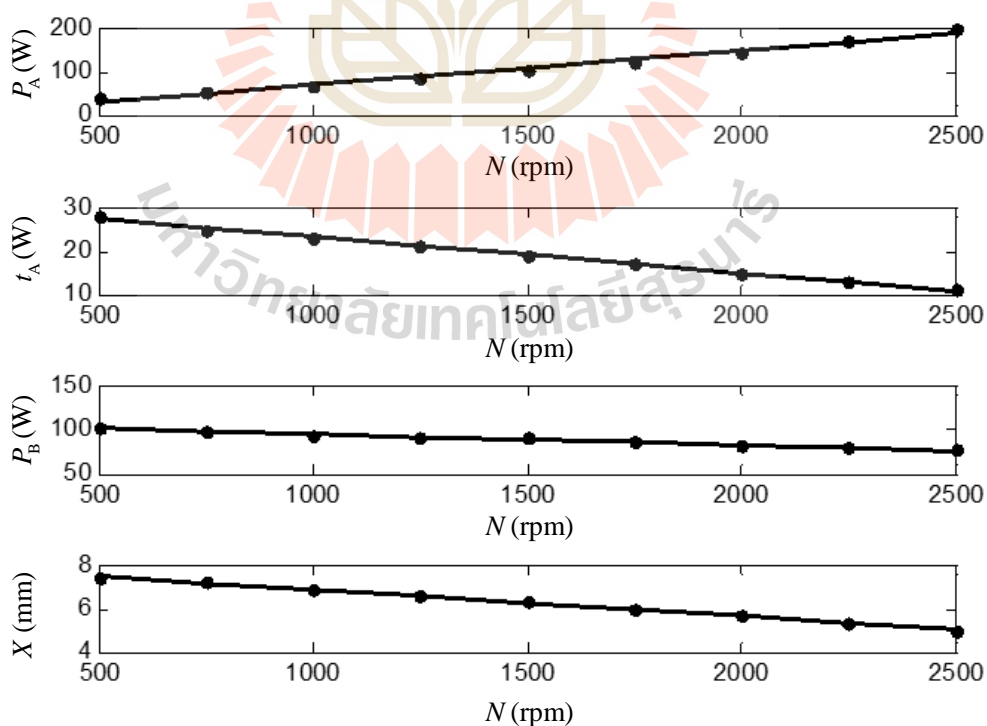
$$t_B = \begin{cases} 16/3600 & ; N \geq 2000 \\ 17/3600 & ; 1000 < N < 2000 \\ 18/3600 & ; N \leq 1000 \end{cases} \quad (4-29)$$

$$X = -0.0011407N + 7.7854 \quad (4-30)$$

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบบริดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 500 รอบต่อนาที

ความเร็วจักรกลื่น (rpm)	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000	750	500
กำลังไฟฟ้าจักรกลื่น (วัตต์)	197.63	170.95	140.96	121.91	102.85	84.09	65.33	51.75	37.02
เวลาในการรีดแผ่นยางจักรกลื่น (วินาที)	11	13	15	17	19	21	23	25	28
กำลังไฟฟ้าจักรดอก (วัตต์)	76.95	78.97	82.59	86.25	90.45	91.03	92.65	97.87	103.10
เวลาในการรีดแผ่นยางจักรดอก (วินาที)	19	19	19	20	20	20	21	21	21
ความหนาแผ่นยาง (มิลลิเมตร)	4.99	5.35	5.67	6.00	6.32	6.55	6.84	7.20	7.45

จากตารางที่ 4.7 สามารถนำผลการทดสอบบริดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 500 รอบต่อนาที มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรกลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรกลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรกลื่นและเวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรกลื่น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรกลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรดอก และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรกลื่นและความหนาของแผ่นยาง แสดงได้ดังรูปที่ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการทดสอบบริดแผ่นยางพารากรณีความเร็วจักรดอกคงที่ 500 รอบต่อนาที

จากกราฟรูปที่ 4.14 สังเกตได้ว่า ความสัมพันธ์ของกราฟมีลักษณะเช่นเดียวกันกับกราฟในรูป 4.8 – 4.14 คือ เมื่อความเร็วจักรลื่นมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าของจักรลื่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผ่นยางพาราก่อนรีดด้วยจักรลื่นมีความหนาเท่ากัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของจักรลื่นจะขึ้นอยู่กับความเร็วของจักรลื่น แต่กำลังไฟฟ้าของจักรดอกจะลดลงเมื่อความเร็วของจักรลื่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วของจักรดอกมีค่าคงที่ และแผ่นยางพาราก่อนรีดด้วยจักรดอกมีความหนาไม่เท่ากัน โดยความหนาของแผ่นยางพาราก่อนเข้าจักรดอกมีค่าลดลงตามความเร็วของจักรลื่นที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของจักรดอกจึงมีค่าลดลงเมื่อความเร็วจักรลื่นเพิ่มขึ้นเพราะแผ่นยางพาราหนาน้อยลง สำหรับเวลาที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่นจะลดลงตามความเร็วของจักรลื่นที่เพิ่มขึ้น และความหนาของแผ่นยางพาราที่ได้จะมีค่าลดลงตามความเร็วของจักรลื่น จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของจักรลื่นและความเร็วของจักรลื่น เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่นและความเร็วของจักรลื่น กำลังไฟฟ้าของจักรดอกและความเร็วของจักรลื่น เวลาในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอกและความเร็วของจักรลื่น ความหนาของแผ่นยางพาราและความเร็วของจักรลื่น แสดงได้ดังสมการที่ (4-31) - (4-35) ตามลำดับ

$$P_A = 0.079275N - 10.858 \quad (4-31)$$

$$t_A = \frac{-0.0082667N + 31.511}{3600} \quad (4-32)$$

$$P_B = -0.012413N + 107.49 \quad (4-33)$$

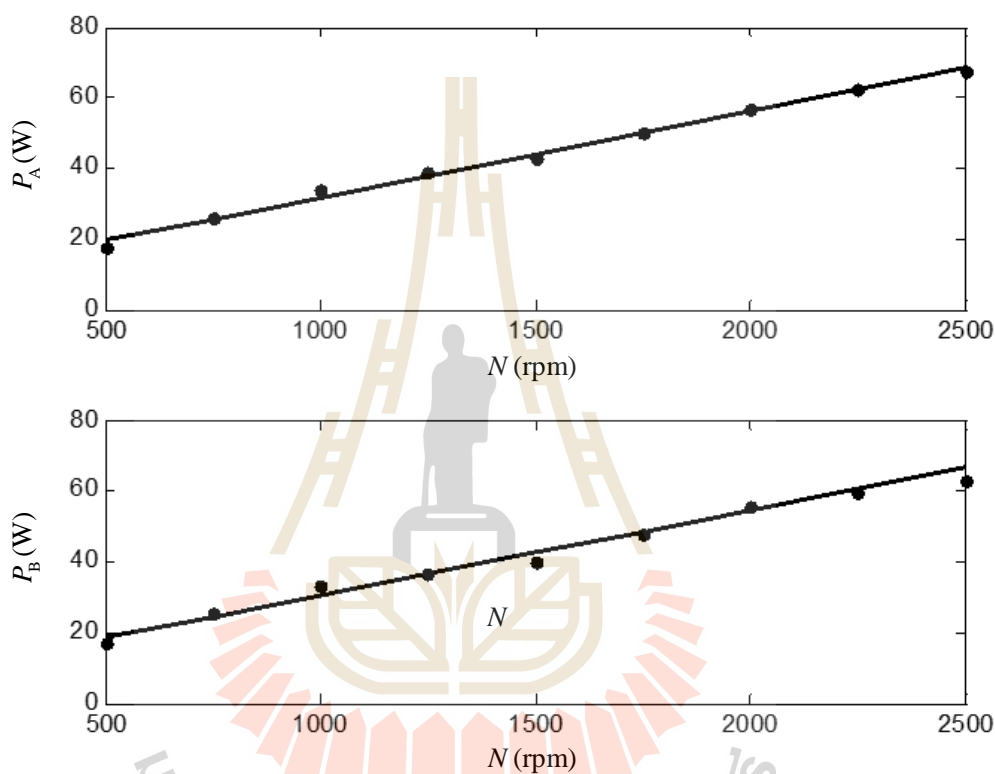
$$t_B = \begin{cases} 19/3600 & ; N \geq 2000 \\ 20/3600 & ; 1000 < N < 2000 \\ 21/3600 & ; N \leq 1000 \end{cases} \quad (4-34)$$

$$X = -0.0012187N + 8.0913 \quad (4-35)$$

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการเดินเครื่องรีดยางพาราตัวเปล่า

ความเร็วจักรลื่น (rpm)	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000	750	500
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	67.30	62.25	56.93	50.05	43.02	39.13	34.08	25.80	17.42
ความเร็วจักรดอก (rpm)	2500	2250	2000	1750	1500	1250	1000	750	500
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	62.85	59.63	55.89	47.85	39.97	36.74	33.30	25.25	17.11

การเดินเครื่องตัวเปล่าของเครื่องรีดยางพารา จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาหยุดของการรีดแผ่นยางพาราแต่ละแผ่นของจักรลื่นและจักรดอก โดยช่วงเวลาดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 5 วินาที ช่วงเวลาเดินเครื่องตัวเปล่าของเครื่องรีดยางพาราจะมีผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องรีดยางพารา ดังนั้น จึงได้ทำการทดสอบการเดินเครื่องรีดยางพาราตัวเปล่า ซึ่งแสดงผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 4.8 จากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรลื่น และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรดอกและกำลังไฟฟ้าของจักรดอก แสดงได้ดังรูปที่ 4.15 ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการทดสอบทดสอบการเดินเครื่องรีดยางพาราตัวเปล่า

จากกราฟรูปที่ 4.15 สังเกตได้ว่า เมื่อความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทั้งจักรลื่นและจักรดอก เนื่องจากการทดสอบขณะเดินเครื่องรีดยางพาราตัวเปล่า ไม่มีการรีดแผ่นยางพารา ดังนั้น กำลังไฟฟ้าของจักรลื่นและจักรดอกจะขึ้นอยู่กับความเร็วเพียงอย่างเดียว จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรลื่นและกำลังไฟฟ้าของจักรลื่น และความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจักรดอกและกำลังไฟฟ้าของจักรดอก แสดงได้ดังสมการที่ (4-36) และ (4-37) ตามลำดับ

$$P_A = 0.024366N + 7.4488 \quad (4-36)$$



$$P_B = 0.02403N + 6.5496 \quad (4-37)$$

การทดสอบบริดแผ่นยางพาราทั้ง 8 ชุดข้อมูล จะเห็นได้ว่า ความเร็วจักรลื่นและจักรดอกมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องรีดยางพารา เมื่อความเร็วของจักรลื่นและจักรดอกเพิ่มขึ้นจะทำให้พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องรีดยางพาราสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ความเร็วของจักรลื่นและจักรดอกยังมีผลต่อความหนาของแผ่นยางพารา เมื่อความเร็วของจักรลื่นและจักรดอกเพิ่มขึ้นจะทำให้ผ่านยางพารามีความหนาน้อยลง ดังนั้น การทดสอบทั้ง 8 ชุดข้อมูลดังกล่าว จะใช้เป็นข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในการค้นหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว โดยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบดังกล่าวจะนำไปใช้งานร่วมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา ซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

#### 4.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา

การหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราโดยใช้วิธีการค้นหาค่าเหมาะที่สุดแบบตาบู่เชิงปรับตัว มีวัตถุประสงค์การค้นหา คือ ความเร็วเหมาะที่สุดในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของเครื่องรีดยางพารา เพื่อให้ได้กำไรในการขายแผ่นยางพารามากที่สุด โดยพลังงานที่ใช้ต้องคุ้มค่าที่สุด โดยจะดำเนินการค้นหาความเร็วเหมาะที่สุด 2 ค่าด้วยกัน คือ ความเร็วของจักรลื่น (Machine A) และความเร็วของจักรดอก (Machine B) ดังนั้น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการค้นหาความเร็วเหมาะที่สุดแสดงได้ดังสมการที่ (4-38)

$$\text{กำไร} = \text{ราคาขาย} - \text{ต้นทุนการผลิต} \quad (4-38)$$

การพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้สำหรับการค้นหาด้วยวิธีตาบู่เชิงปรับตัว จะทำการค้นหาโดยอ้างอิงแผ่นยางพาราจำนวน 100 แผ่น (1 แผ่น มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม) เมื่อพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในสมการที่ (4-38) จะได้ว่า ราคาแผ่นยางพารามีค่าขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นยางพารา แสดงได้ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งความหนาของแผ่นยางพารามีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วของจักรลื่นและความเร็วของจักรดอก จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะได้ว่า ราคาขายแผ่นยางพารามีความสัมพันธ์กับความเร็วของจักรลื่นและความเร็วของจักรดอก โดยราคาขายแผ่นยางพาราแสดงได้ดังสมการที่ (4-39) สำหรับต้นทุนการผลิตจะมีค่าขึ้นอยู่กับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการรีดยางแผ่นยางพาราของจักรลื่นและจักรดอก และค่าตัวประกอบต้นทุนแสงอาทิตย์ (k) มีค่าเท่ากับ 0.246 บาท/Wh (การคำนวณหาค่าตัวประกอบต้นทุนแสงอาทิตย์แสดงไว้ในภาคผนวก ง.) โดยต้นทุนการผลิตแสดงได้ดังสมการที่ (4-40)

$$\text{ราคาขาย} = \text{จำนวนแผ่นยางพารา} \times \text{ราคา} \quad (4-39)$$

$$\text{ต้นทุนการผลิต} = \text{จำนวนแผ่นยางพารา} \times \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} \times k \quad (4-40)$$

ตารางที่ 4.9 ราคาขายแผ่นยางตามท้องตลาด

ชนิดแผ่นยาง	ความหนาแผ่นยางพารา ( $X$ )	ราคา (บาท/กิโลกรัม)
ยางแผ่นดิบชั้น 1	$X \leq 4 \text{ mm}$	45.72
ยางแผ่นดิบชั้น 2	$4 < X \leq 6 \text{ mm}$	44.00
ยางแผ่นดิบชั้น 3	$6 < X \leq 8 \text{ mm}$	41.00
ยางแผ่นดิบไม่มีคุณภาพ (ยางรวม)	$X > 8 \text{ mm}$	37.15

หมายเหตุ : ราคาขายพาราอ้างอิงตลาดกลางสุราษฎร์ธานี วันที่ 25 มีนาคม 2558

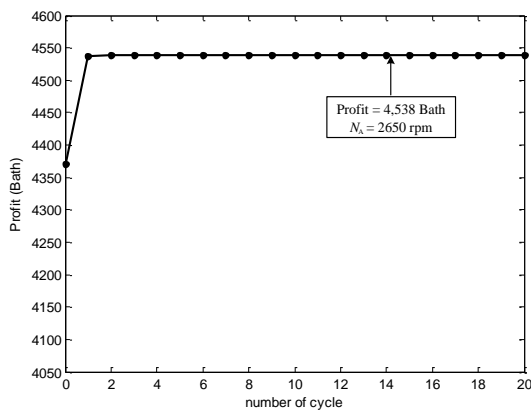
#### 4.3.3 การค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา

การค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราโดยใช้วิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู่เชิงปรับตัว มีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญด้วยกัน 4 ค่า ได้แก่ จำนวนคำตอบเริ่มต้น จำนวนคำตอบรอบข้าง รัศมีเริ่มต้น และตัวประกอบปรับลดรัศมี โดยในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีค่าตามตารางที่ 4.10 (ได้จากการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ ATS สำหรับหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ.) สำหรับขอบเขตการค้นหาหาค่าความเร็วของจักรกล 500 – 2650 รอบต่อนาที เนื่องจากความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นความเร็วต่ำสุดที่สามารถรีดแผ่นยางพาราด้วยจักรกล และความเร็ว 2650 รอบต่อนาที เป็นความเร็วสูงสุดที่สามารถรีดแผ่นยางพาราด้วยจักรกล ส่วนความเร็วจักรดอกมีค่า 500 – 2000 รอบต่อนาที เนื่องจากเป็นความเร็วต่ำสุดและความเร็วสูงสุดที่สามารถรีดแผ่นยางพาราได้ด้วยจักรดอก และจำนวนรอบในการค้นหาสูงสุดเท่ากับ 20 รอบ แสดงได้ดังตารางที่ 4.10

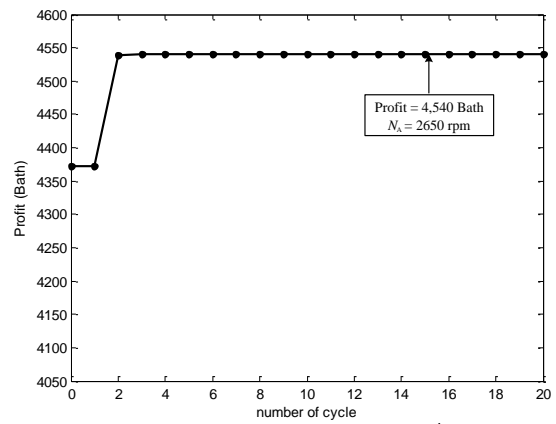
ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์ของ ATS ที่ใช้สำหรับหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา

ชนิดพารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ของ ATS ที่ใช้ในการค้นหา
จำนวนคำตอบเริ่มต้น	3
จำนวนคำตอบรอบข้าง	10
รัศมีเริ่มต้น	5
ตัวประกอบปรับลดรัศมี	1.2
ขอบเขตการค้นหาของจักรลื่น	500 – 2650 rpm
ขอบเขตการค้นหาของจักรดอก	500 – 2000 rpm
จำนวนรอบในการค้นหา	20

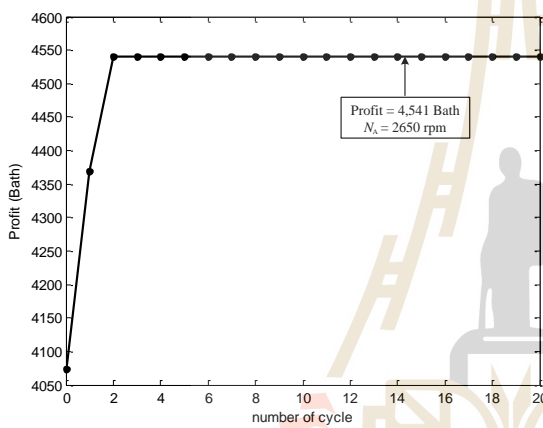
เมื่อทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ ATS ให้เหมาะสมกับการค้นหาเรียบร้อยแล้ว ลำดับต่อไปจะเข้าสู่กระบวนการค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยกระบวนการค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบอดเชิงปรับตัว จะดำเนินการโดยใช้โปรแกรม M-file ของซอฟต์แวร์ MATLAB กระบวนการค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราเริ่มจากการป้อนข้อมูลที่ได้จากการทดสอบรีดแผ่นยางพารา ซึ่งข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย กำลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่น ( $P_A$ ) กำลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอก ( $P_B$ ) เวลาที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่น ( $t_A$ ) เวลาที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรดอก ( $t_B$ ) และความหนาของแผ่นยางพารา ( $X$ ) จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการค้นหาด้วย ATS ตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยการค้นหาด้วย ATS จะให้ผลลัพธ์เป็นค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดของจักรลื่น ( $N_A$ ) ที่ทำให้ได้กำไรสูงสุด ( $Profit_{max}$ ) ซึ่ง ATS จะทำการค้นหาตามจำนวนรอบในการค้นหาที่กำหนดไว้ เมื่อทำการค้นหาครบตามจำนวนรอบในการค้นหา ATS จะส่งค่าความเร็วของจักรลื่นที่ทำให้กำไรมีค่าสูงสุด เป็นค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา ผลการค้นหาสามารถแสดงผลการดูเข้าของค่ากำไร ( $Profit$ ) สูงสุดได้ดังรูปที่ 4.16



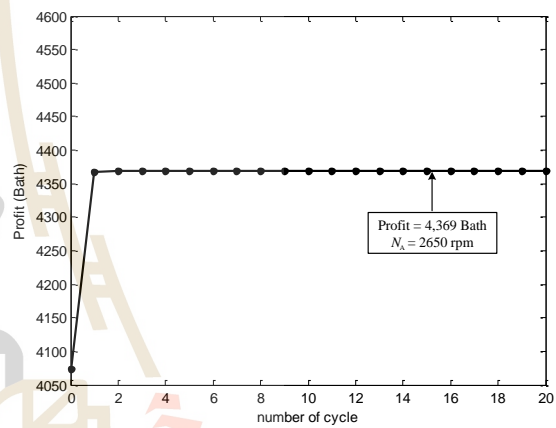
(ก) ความเร็วจักรดอกคองที่ 2000 rpm



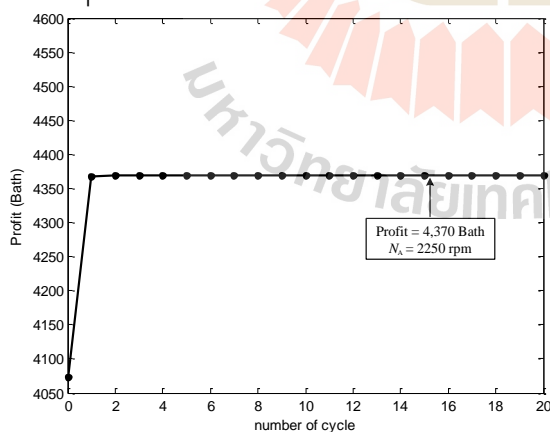
(ข) ความเร็วจักรดอกคองที่ 1750 rpm



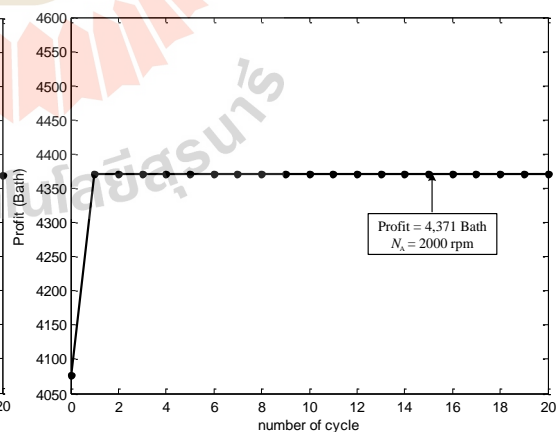
(ค) ความเร็วจักรดอกคองที่ 1500 rpm



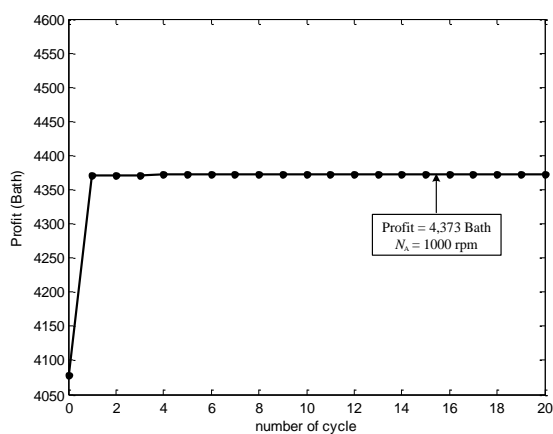
(ง) ความเร็วจักรดอกคองที่ 1250 rpm



(จ) ความเร็วจักรดอกคองที่ 1000 rpm



(ฉ) ความเร็วจักรดอกคองที่ 750 rpm



(ข) ความเร็วจักรดอกคองที่ 500 rpm

รูปที่ 4.16 การลู่เข้าของค่ากำไรสูงสุด สำหรับการค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา

ผลการค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราด้วยวิธีการค้นหาแบบตามูเชิงปรับตัวในรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นถึงการลู่เข้าของค่ากำไรสูงสุดในแต่ละรอบของการค้นหา โดยการลู่เข้าของค่ากำไรสูงสุดดังกล่าว สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 การรีดแผ่นยางพาราด้วยความเร็วจักรดอกคองที่ 2000 rpm ดังรูป (ก) พบว่า กำไรสูงสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 4,538 บาท โดยมีค่าความเร็วของจักรลื่นที่ได้จากการค้นหาเท่ากับ 2650 rpm

กรณีที่ 2 แผ่นยางพาราที่รีดด้วยความเร็วจักรดอกคองที่ 1750 rpm ดังรูป (ข) มีค่ากำไรสูงสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 4,540 บาท โดยมีค่าความเร็วของจักรลื่นที่ได้จากการค้นหาเท่ากับ 2650 rpm

กรณีที่ 3 การรีดแผ่นยางพาราด้วยความเร็วจักรดอกคองที่ 1500 rpm ดังรูป (ค) พบว่า กำไรสูงสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 4,541 บาท โดยมีค่าความเร็วของจักรลื่นที่ได้จากการค้นหาเท่ากับ 2650 rpm

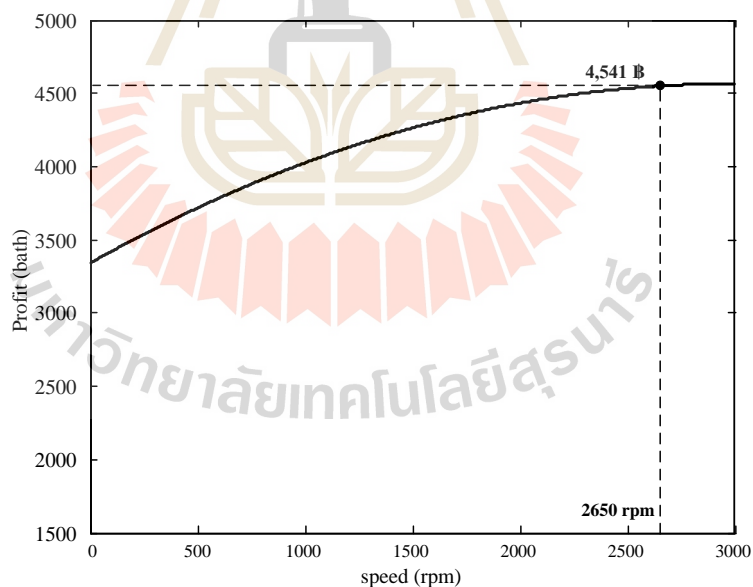
กรณีที่ 4 แผ่นยางพาราที่รีดด้วยความเร็วจักรดอกคองที่ 1250 rpm ดังรูป (ง) มีค่ากำไรสูงสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 4,369 บาท โดยมีค่าความเร็วของจักรลื่นที่ได้จากการค้นหาเท่ากับ 2650 rpm

กรณีที่ 5 การรีดแผ่นยางพาราด้วยความเร็วจักรดอกคองที่ 1000 rpm ดังรูป (จ) พบว่า กำไรสูงสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 4,370 บาท โดยมีค่าความเร็วของจักรลื่นที่ได้จากการค้นหาเท่ากับ 2250 rpm

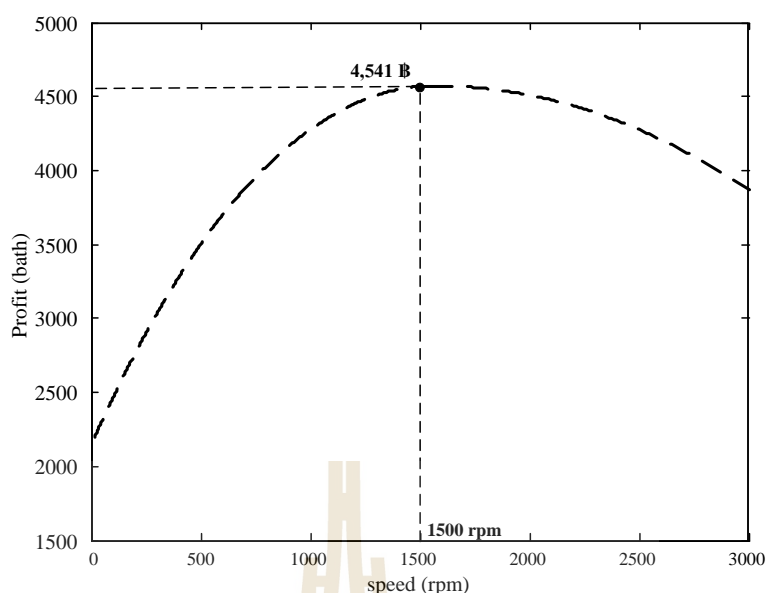
กรณีที่ 6 การรีดแผ่นยางพาราด้วยความเร็วจักรดอกคองที่ 750 rpm ดังรูป (ฉ) พบว่า กำไรสูงสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 4,371 บาท โดยมีค่าความเร็วของจักรลื่นที่ได้จากการค้นหาเท่ากับ 2000 rpm

กรณีที่ 7 แผ่นยางพาราที่รีดด้วยความเร็วจักรดอกคงที่ 500 rpm ดังรูป (ข) มีค่ากำไรสูงสุดที่ได้มีค่าเท่ากับ 4,373 บาท โดยมีค่าความเร็วของจักรลื่นที่ได้จากการค้นหาเท่ากับ 1000 rpm

จากผลการค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดแบบตาข่ายเชิงปรับตัว เพื่อให้ได้กำไรในการขายแผ่นยางพาราสูงสุด พบว่า ค่ากำไรสูงสุดเกิดขึ้นในกรณีที่ 3 มีค่าเท่ากับ 4,541 บาท ที่รอบการค้นหาเท่ากับ 7 รอบ โดยค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในรีดแผ่นยางพาราที่ได้จากการค้นหาแบบตาข่ายเชิงปรับตัว คือ ความเร็วของจักรลื่น (Machine A) มีค่า 2650 รอบต่อนาที (ความเร็วสูงสุดในการรีดยางพาราของจักรลื่น) และความเร็วของจักรดอก (Machine B) มีค่า 1500 รอบต่อนาที ผลการค้นหาที่ค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.17 จากรูปดังกล่าวสังเกตได้ว่า ในรูปที่ 4.17 (ก) เป็นการรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วจักรดอกคงที่ 1500 รอบต่อนาที พบว่า การรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วจักรลื่นเท่ากับ 2650 รอบต่อนาที จะทำให้ได้ค่ากำไรสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,541 บาท และในรูปที่ 4.17 (ข) เป็นการรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วจักรลื่นคงที่ 2650 รอบต่อนาที พบว่า การรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วจักรดอกเท่ากับ 1500 รอบต่อนาที จะทำให้ได้ค่ากำไรสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,541 บาท ดังนั้น การรีดแผ่นยางพาราด้วยความเร็วของจักรลื่นเท่ากับ 2650 รอบต่อนาที และความเร็วจักรดอกเท่ากับ 1500 รอบต่อนาที จะทำให้ขายแผ่นยางพาราได้กำไรสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,541 บาท



(ก) การรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วจักรดอกคงที่ 1500 รอบต่อนาที



(ข) การรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วจักรลั่นคงที่ 2650 รอบต่อนาที

รูปที่ 4.17 ผลการค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลั่น และจักรดอก

#### 4.4 การทดสอบรีดแผ่นยางพาราโดยใช้ค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว

การค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราโดยใช้วิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู่เชิงปรับตัว มีผลการค้นหา คือ การใช้ความเร็วของจักรลั่นเท่ากับ 2650 รอบต่อนาที และความเร็วของจักรดอกเท่ากับ 1500 รอบต่อนาที จะทำให้ขายแผ่นยางพาราได้กำไรสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 4,541 บาท ดังนั้น การทดสอบรีดแผ่นยางพาราในหัวข้อนี้จะนำเสนอ การทดสอบรีดแผ่นยางพาราโดยใช้ความเร็วของจักรลั่นและจักรดอกที่มีค่าต่างกัน 3 ค่า ประกอบด้วย กรณีที่ 1 ทดสอบรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วที่เหมาะสมที่สุดจากการค้นหาด้วยวิธี ATS ซึ่งมีค่าความเร็วจักรลั่น 2650 รอบต่อนาที และความเร็วจักรดอก 1500 รอบต่อนาที ในส่วนกรณีที่ 2 ทดสอบรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วสูงสุด มีค่าความเร็วจักรลั่น 2650 รอบต่อนาที และความเร็วจักรดอก 2000 รอบต่อนาที และกรณีที่ 3 ทดสอบรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วใช้งานของเกษตรกร มีค่าความเร็วจักรลั่น 1000 รอบต่อนาที และความเร็วจักรดอก 1000 รอบต่อนาที โดยทำการทดสอบรีดแผ่นยางพาราจำนวน 100 แผ่น ซึ่งยางพารา 1 แผ่น มีส่วนผสมของน้ำยางดิบ 3 ลิตร น้ำ 1 ลิตร และน้ำกรด 1/8 ลิตร ทำให้แผ่นยางพาราดิบ 1 แผ่น มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม การทดสอบดังกล่าวจะใช้เครื่องมือในการวัดความหนาของแผ่นยางพาราแสดงได้ดังรูปที่ 4.18 สำหรับพลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราได้จากการวัดพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องรีดยางพาราจักรลั่น และจักรดอก โดยการทดสอบทั้ง 3 กรณี สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.18 การวัดความหนาของแผ่นยางพารา

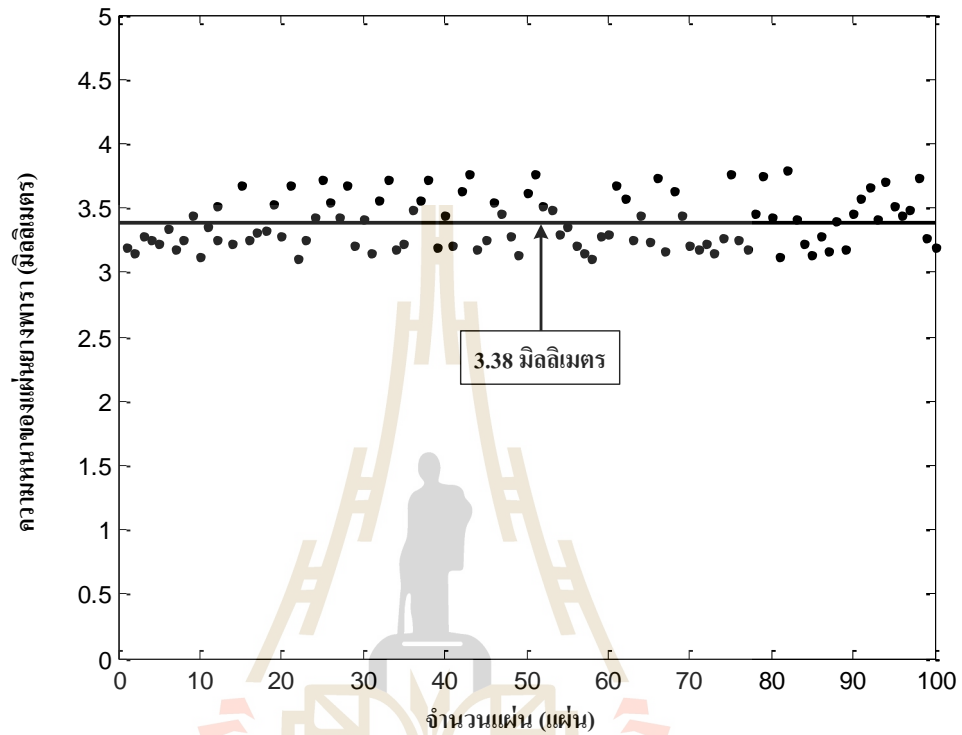
กรณีที่ 1 ทดสอบรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วที่เหมาะสมที่สุดจากการค้นหาด้วยวิธี ATS ซึ่งมีค่าความเร็วจักรกล 2650 รอบต่อนาที และความเร็วจักรดอก 1500 รอบต่อนาที เมื่อทำการรีดแผ่นยางพาราด้วยความเร็วดังกล่าว พบว่า แผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 3.38 มิลลิเมตร แสดงได้ดังรูปที่ 4.19 ซึ่งความหนาของแผ่นยางพาราดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ทำให้เป็นแผ่นยางพาราชนิดยางแผ่นดิบชั้น 1 ขายได้ราคา 45.72 บาท/กิโลกรัม ซึ่งเป็นราคาสูงสุดในการขายแผ่นยางพารา และพลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรกลและจักรดอก มีค่าเท่ากับ 134.19 วัตต์-ชั่วโมง โดยใช้เวลาในการรีดแผ่นยางพารา 100 นาที เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตของพลังงานที่ใช้จากสมการที่ (4-40) จะมีค่าเท่ากับ 33.01 บาท ดังนั้น กำไรที่ได้จากการขายแผ่นยางพารามีค่าเท่ากับ 4,539.99 บาท

กรณีที่ 2 ทำการทดสอบรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วจักรกลมีค่าสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2600 รอบต่อนาที และความเร็วจักรดอกมีค่าสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2000 รอบต่อนาที เมื่อทำการรีดแผ่นยางพาราด้วยความเร็วดังกล่าว พบว่า แผ่นยางพาราที่ได้มีค่าความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 3.23 มิลลิเมตร แสดงผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.20 ความหนาของแผ่นยางพาราในกรณีดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 4 มิลลิเมตร จึงจัดเป็นยางแผ่นดิบชั้น 1 ขายได้ราคาสูงสุดซึ่งเท่ากับ 45.72 บาท/กิโลกรัม และพลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรกลและจักรดอก มีค่าเท่ากับ 154.3 วัตต์-ชั่วโมง โดยใช้เวลาในการรีดแผ่นยางพารา 80 นาที ในส่วนของต้นทุนการผลิตตามสมการที่ (4-40) จะมีค่าเท่ากับ 37.96 บาท ดังนั้น กำไรที่ได้จากการขายแผ่นยางพารามีค่าเท่ากับ 4,534.04 บาท

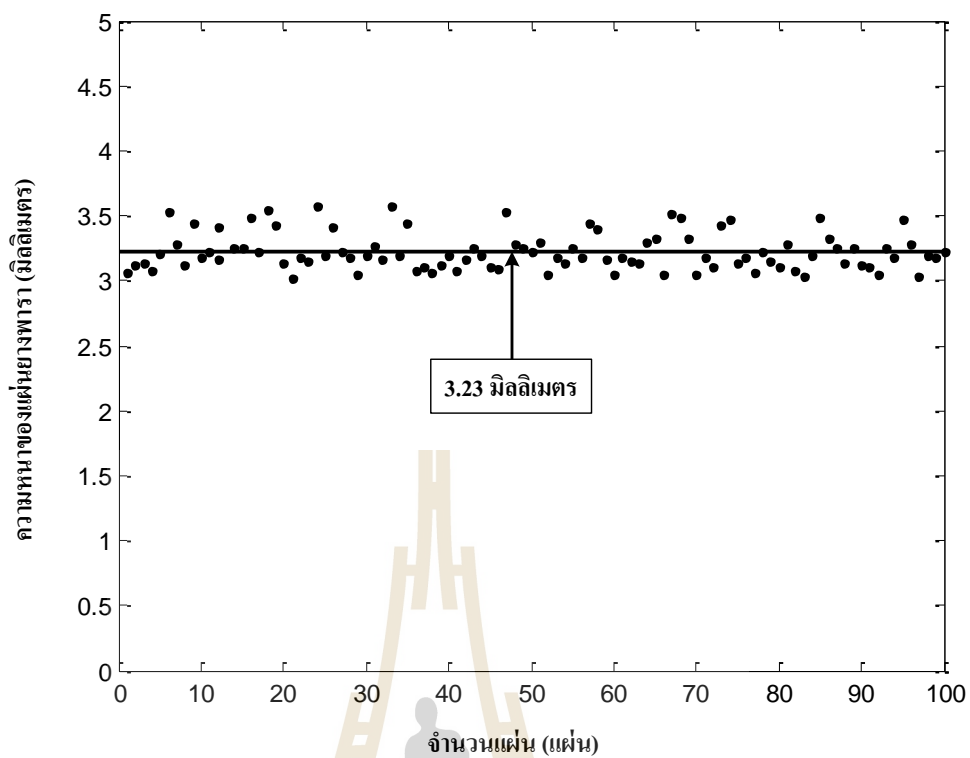
กรณีที่ 3 ทดสอบรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วใช้งานของเกษตรกร มีค่าความเร็วจักรกลเท่ากับ 1000 รอบต่อนาที และความเร็วจักรดอก 1000 รอบต่อนาที โดยผลการทดสอบรีดแผ่นยางพารา พบว่า แผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 6.38 มิลลิเมตร แสดงได้ดังรูปที่ 4.21 ทำให้แผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดเป็นแผ่นยางพาราชนิดยางแผ่นดิบชั้น 3 ขายได้ราคา 41.00



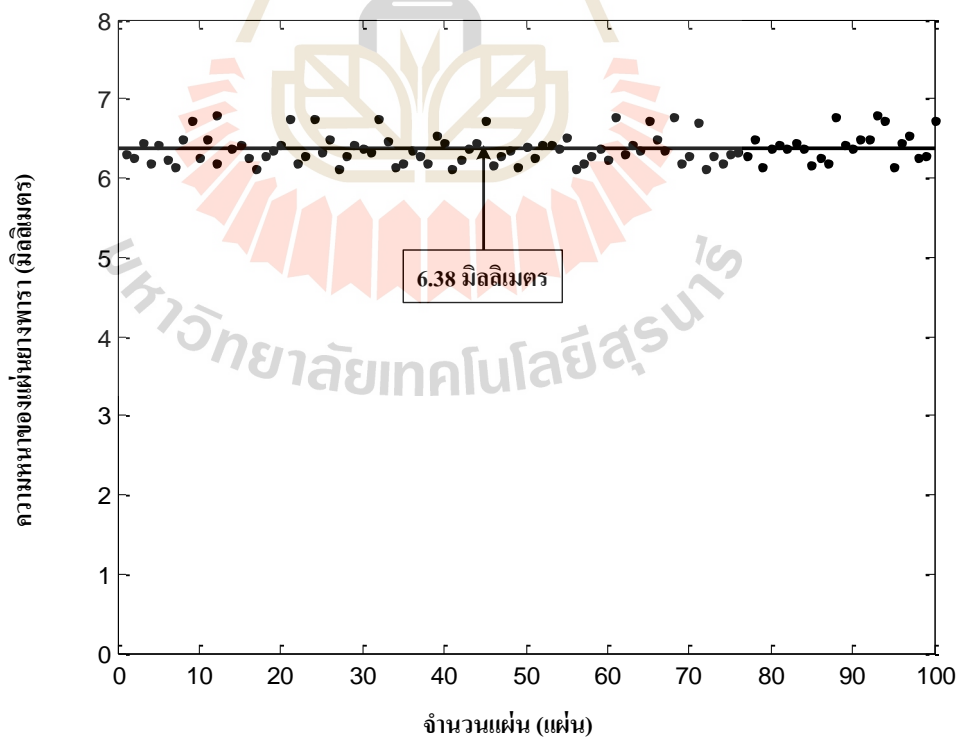
บาท/กิโลกรัม สำหรับพลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรลื่นและจักรดอก มีค่า 129.26 วัตต์-ชั่วโมง และใช้เวลาในการรีดแผ่นยางพารา 135 นาที เมื่อพิจารณาต้นทุนการผลิตของพลังงานที่ใช้ตามสมการที่ (4-40) มีค่าเท่ากับ 31.80 บาท ดังนั้น กำไรที่ได้จากการขายแผ่นยางพารามีค่าเท่ากับ 4,068.20 บาท



รูปที่ 4.19 ความหนาของแผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดด้วยความเร็วในกรณีที่ 1



รูปที่ 4.20 ความหนาของแผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดด้วยความเร็วในกรณีที่ 2



รูปที่ 4.21 ความหนาของแผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดด้วยความเร็วในกรณีที่ 3

การทดสอบรีดแผ่นยางพาราโดยใช้ความเร็วของจักรรีดและจักรดอกทั้ง 3 กรณี สามารถนำมาสรุปเป็นตารางการเปรียบเทียบผลการทดสอบรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วเหมาะสมที่สุดจากการค้นหาด้วยวิธี ATS การทดสอบรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วสูงสุด และการทดสอบรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วใช้งานของเกษตรกร ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลการทดสอบรีดแผ่นยางพาราทั้ง 3 กรณี

กรณีการทดสอบ	ความหนาของแผ่นยางพารา (mm)	กำไรที่ได้จากการขายแผ่นยางพารา (บาท)	พลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพารา (Wh)
กรณีที่ 1	3.38	4,539.99	134.19
กรณีที่ 2	3.23	4,534.04	154.30
กรณีที่ 3	6.38	4,068.20	129.29

จากตารางที่ 4.11 เมื่อพิจารณาความหนาของแผ่นยางพารา สังเกตได้ว่า การรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วเหมาะสมที่สุดจากการค้นหาด้วยวิธี ATS (กรณีที่ 1) มีค่าความหนาของแผ่นยางพาราน้อยกว่า 4 มิลลิเมตร ซึ่งความหนาของแผ่นยางพาราดังกล่าวอยู่ในช่วงเดียวกันกับความหนาของแผ่นยางพาราที่ได้จากการรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วสูงสุด (กรณีที่ 2) ทำให้แผ่นยางพาราที่รีดด้วยความเร็วทั้ง 2 กรณี เป็นยางแผ่นดิบชั้น 1 มีราคาในการขายแผ่นยางพาราสูงสุด ในส่วนของการรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วใช้งานของเกษตรกร (กรณีที่ 3) จะมีความหนามากที่สุด ส่งผลให้เป็นยางแผ่นดิบชั้น 3 มีราคาขายแผ่นยางพาราน้อยกว่าในกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 และเมื่อพิจารณากำไรที่ได้จากการขายแผ่นยางพารา พบว่า การรีดแผ่นยางพาราในกรณีที่ 1 มีกำไรสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,539.99 บาท เนื่องจากการรีดแผ่นยางพาราในกรณีที่ 1 จะขายแผ่นยางพาราได้ราคาเท่ากับกรรณรีดแผ่นยางพาราด้วยกรณีที่ 2 แต่ต้นทุนการผลิตของกรณีที่ 1 มีค่า 33.01 บาท ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ 2 ที่มีค่า 37.96 บาท ส่งผลให้การรีดแผ่นยางพาราด้วยกรณีที่ 1 มีกำไรสูงสุด สำหรับกรณีที่ 3 มีกำไรในการขายแผ่นยางพาราน้อยที่สุด เพราะว่ามีราคาขายแผ่นยางพาราน้อยกว่าในกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 และสุดท้ายเมื่อพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพารา พบว่า การรีดแผ่นยางพาราในกรณีที่ 3 มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 129.29 วัตต์-ชั่วโมง แต่การรีดแผ่นยางพาราด้วยกรณีที่ 3 มีราคาขายแผ่นยางพาราน้อยที่สุด ดังนั้น ความคุ้มค่าของพลังงานที่ทำให้ได้ราคาขายแผ่นยางพาราสูงสุดจะไม่พิจารณากรณีที่ 3 แต่จะพิจารณากรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ที่มีราคาขายแผ่นยางพาราเท่ากัน ซึ่งสังเกตได้ว่าการรีดแผ่นยางพาราในกรณีที่ 1 มีการใช้พลังงาน 134.19 วัตต์-ชั่วโมง มีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ 2 ที่มีค่า 154.30 วัตต์-ชั่วโมง ส่งผลให้การรีดแผ่นยางพาราในกรณีที่ 1 มีการใช้พลังงานที่คุ้มค่าที่สุด นอกจากนี้ ถ้าพิจารณากำไรที่ได้จากการขายแผ่นยางพาราจากตารางที่ 4.11 ในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 สังเกตได้ว่า กำไรที่ได้จากการขายแผ่นยางพารามีค่าต่างกันไม่มากนัก เนื่องจากการพิจารณาในบทนี้พิจารณาการรีดแผ่นยางพาราจำนวน 100 แผ่น ซึ่งยังไม่พิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งการพิจารณาด้านการคุ้มทุนจากกรณีดังกล่าว จะนำเสนออย่างละเอียดในบทที่ 8 จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบรีดแผ่นยางพาราทั้ง 3 กรณี สามารถยืนยันได้ว่า การรีดแผ่นยางพาราด้วยตัวควบคุมพีซี

ลोजิกแบบปรับตัวโดยใช้ความเร็วอ้างอิงจากการค้นหาด้วยวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู่เชิงปรับตัว ทำให้แผ่นยางพาราที่ได้ขายได้กำไรสูงสุด โดยพลังงานที่ใช้ค้ำค่าที่ต่ำสุดด้วยเช่นกัน

#### 4.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอ การหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพาราโดยใช้วิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู่เชิงปรับตัว (ATS) โดยมีวัตถุประสงค์การค้นหา คือ ความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการขับเคลื่อนมอเตอร์ของเครื่องรีดยางพารา เพื่อให้ได้กำไรในการขายแผ่นยางพารามากที่สุด โดยพลังงานที่ใช้ต้องค้ำค่าที่ต่ำสุด ซึ่งดำเนินการค้นหาความเร็วที่เหมาะสมที่สุดของจักรกลที่มีความเร็วต่าง ๆ ของจักรดอก ผลการค้นหาด้วยวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู่เชิงปรับตัว พบว่า ความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา มีค่าความเร็วของจักรกลเท่ากับ 2650 รอบต่อนาที ที่ความเร็วจักรดอกคงที่ 1500 รอบต่อนาที โดยความเร็วดังกล่าวจะทำให้ขายแผ่นยางพาราได้กำไรสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 4,541 บาท นอกจากนี้ ได้ทำการทดสอบรีดแผ่นยางพาราโดยใช้เครื่องรีดยางไฟฟ้าอัจฉริยะที่สร้างขึ้น และกำหนดให้ความเร็วอ้างอิงของจักรกลมีค่าเท่ากับ 2650 รอบต่อนาที และความเร็วของจักรดอกมีค่าเท่ากับ 1500 รอบต่อนาที พบว่า ความหนาของแผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดมีค่าเฉลี่ย 3.38 มิลลิเมตร ความหนาของแผ่นยางพาราในกรณีดังกล่าวจัดเป็นยางแผ่นดิบชั้น 1 ที่ขายได้ราคาสูงสุดซึ่งเท่ากับ 45.72 บาท/กิโลกรัม พลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรกลและจักรดอก มีค่าเท่ากับ 134.19 วัตต์-ชั่วโมง ซึ่งเป็นพลังงานที่ค้ำค่าที่ต่ำสุดในการรีดแผ่นยางพารา และกำไรที่ได้จากการขายแผ่นยางพารามีค่าเท่ากับ 4,539.99 บาท เป็นค่ากำไรสูงสุด ดังนั้น เครื่องรีดยางไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติจะใช้ความเร็วของจักรกลมีค่าเท่ากับ 2650 รอบต่อนาที และความเร็วของจักรดอกมีค่าเท่ากับ 1500 รอบต่อนาที ในการรีดแผ่นยางพารา เพื่อให้เกษตรกรได้กำไรสูงสุดในการขายแผ่นยางพารา และพลังงานที่ใช้จะค้ำค่าที่ต่ำสุด

## บทที่ 5

### การออกแบบแหล่งพลังงานและการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

#### 5.1 กล่าวนำ

เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติมีแหล่งพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า จากนั้นจะส่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้ให้กับตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ เพื่ออัดประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ ซึ่งพลังงานจากแบตเตอรี่จะเป็นพลังงานสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ติดตั้งกับเครื่องรีดยางพาราในการรีดแผ่นยางพารา เพื่อให้การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะมีพลังงานเพียงพอต่อการรีดแผ่นยางพาราของเกษตรกรในแต่ละวัน จึงได้นำเสนอการออกแบบแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะไว้ในหัวข้อที่ 5.2 นอกจากนี้ในบทนี้ ได้อธิบายถึงแนวทางการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะเพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุดในการใช้งานของเกษตรกรจะนำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 5.3 และในหัวข้อที่ 5.4 ได้ทำการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่สร้างขึ้นเพื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการใช้งาน

#### 5.2 การออกแบบแหล่งพลังงาน

แหล่งพลังงานสำหรับเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ ทำหน้าที่อัดประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ และแบตเตอรี่ ทำหน้าที่จัดเก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้ในการรีดแผ่นยางพารา โดยการออกแบบแหล่งพลังงานจะสอดคล้องกับการใช้งานเครื่องรีดยางพาราของเกษตรกรในภาคครัวเรือน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะออกแบบแหล่งพลังงานให้สามารถรีดแผ่นยางพาราได้จำนวน 100 แผ่นต่อวัน รายละเอียดต่าง ๆ ในการออกแบบและทดสอบแหล่งพลังงานสำหรับเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ สามารถอธิบายได้ดังนี้

##### 5.2.1 การออกแบบแบตเตอรี่

การออกแบบแบตเตอรี่ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ เนื่องจากพลังงานจากแบตเตอรี่เป็นพลังงานอินพุตของวงจรแปลงผันดีซีเป็นดีซี จึงเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าเท่ากับพิกัดแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องรีดยางพารา และทำการจ่ายโหลดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งกับเครื่องรีดยางพารา 134.19 วัตต์-ชั่วโมง (พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการรีดแผ่นยางพาราด้วยจักรกลที่ความเร็ว 2650 รอบต่อนาที และจักรดอกที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที) ค่าความลึกของการคายประจุในการชาร์จใหม่แต่ละครั้งเท่ากับ 50% และค่าสูญเสียในแบตเตอรี่เท่ากับ 70% (สภาวิศวกร, 2012) จากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ สามารถออกแบบแบตเตอรี่ได้ตามสมการที่ (5-1) ดังนี้

$$Ah = \frac{134.19}{24 \times 0.5 \times 0.7} = 15.975 \text{ Ah} \quad (5-1)$$

การเลือกใช้แบตเตอรี่เพื่อให้มีขนาดเพียงพอต่อการรีดแผ่นยางพาราในภาคครัวเรือน ควรเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 15.975 แอมแปร์-ชั่วโมง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 18 แอมแปร์-ชั่วโมง จำนวน 2 ก้อน ต่อกันเพื่อเป็นแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ แสดงได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 18 แอมแปร์-ชั่วโมง

### 5.2.2 การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ เพื่อเก็บสะสมพลังงานไว้ใช้ หรือนำพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรง เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการใช้พลังงานทดแทนจากคุณสมบัติของพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ที่จะได้รับอย่างคุ้มค่าจากการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ เพราะพื้นที่สวนยางพาราส่วนใหญ่เป็นพื้นที่โล่ง และมีแสงแดดเข้าถึง จึงมีความเหมาะสมที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งาน แต่การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้งานร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงทำการออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (5-2)

$$P_{solar} = \frac{Demandload}{PSH \times \eta_{solar}} \quad (5-2)$$

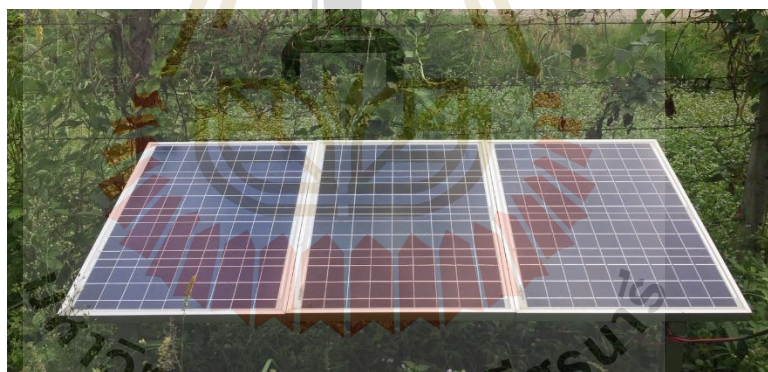
โดยที่  $PSH$  คือ ปริมาณแสงอาทิตย์สูงสุดโดยไม่มีเมฆบังในหนึ่งวัน (h-day)

$\eta_{solar}$  คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในงานวิจัยจะเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมโพลี (poly crystalline) ที่มีประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 70% ปริมาณแสงอาทิตย์สูงสุดโดยไม่มีเมฆบังในหนึ่งวันโดยเฉลี่ยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่า 4.5 ชั่วโมง-วัน (ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, 2010) และต้องการพลังงาน 432 วัตต์-ชั่วโมง (พลังงานสูงสุดของแบตเตอรี่) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาเก็บสะสมไว้ที่แบตเตอรี่ ดังนั้น สามารถคำนวณหาขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังสมการที่ (5-3)

$$P_{solar} = \frac{432}{4.5 \times 0.7} = 137.14 \text{ W} \quad (5-3)$$

การเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้มีขนาดเพียงพอต่อการรีดแผ่นยางพาราในภาคครัวเรือน ควรเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 137.14 วัตต์ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมโพลีขนาด 50 วัตต์ จำนวน 3 แผง ต่ออนุกรมกัน ทำให้ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 150 วัตต์ เป็นแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ แสดงได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมโพลีขนาด 50 วัตต์ ต่ออนุกรมกัน

### 5.2.3 การออกแบบตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์

ตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ (Solar Charge Controller) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ ในการเลือกใช้ตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ จะพิจารณาจากกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ใช้เก็บพลังงาน โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้มีขนาด 150 วัตต์ มีศักย์กระแสสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ คือ 6.25 แอมแปร์ และแบตเตอรี่ที่ใช้เก็บพลังงานมีแรงดันไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ขนาด 24 โวลต์ 10 แอมแปร์ โดยเลือกใช้ตัวควบคุมประจุไฟฟ้าชนิด

MPPT P&O จากงานวิจัยวิทยานิพนธ์ ระบบควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธีรบกวนและสังเกต (ปทุมพร, 2015) เนื่องจากตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ชนิดนี้ ประสิทธิภาพในการประจุแสงอาทิตย์ให้แบตเตอรี่ดีกว่าชนิดที่มีขายตามท้องตลาด โดยตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ชนิด MPPT P&O แสดงได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ชนิด MPPT P&O

#### 5.2.4 การทดสอบแหล่งพลังงาน

การทดสอบแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะเพื่อแสดงให้เห็นว่าแหล่งพลังงานที่ออกแบบไว้เพียงพอต่อการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะของเกษตรกร โดยดำเนินการทดสอบพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ในระยะเวลา 1 วัน ในช่วงเวลา 06.00 นาฬิกา จนถึงเวลา 19.00 นาฬิกา สถานที่ที่ทำการทดสอบ คือ สวนยางพารา ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลการทดสอบแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

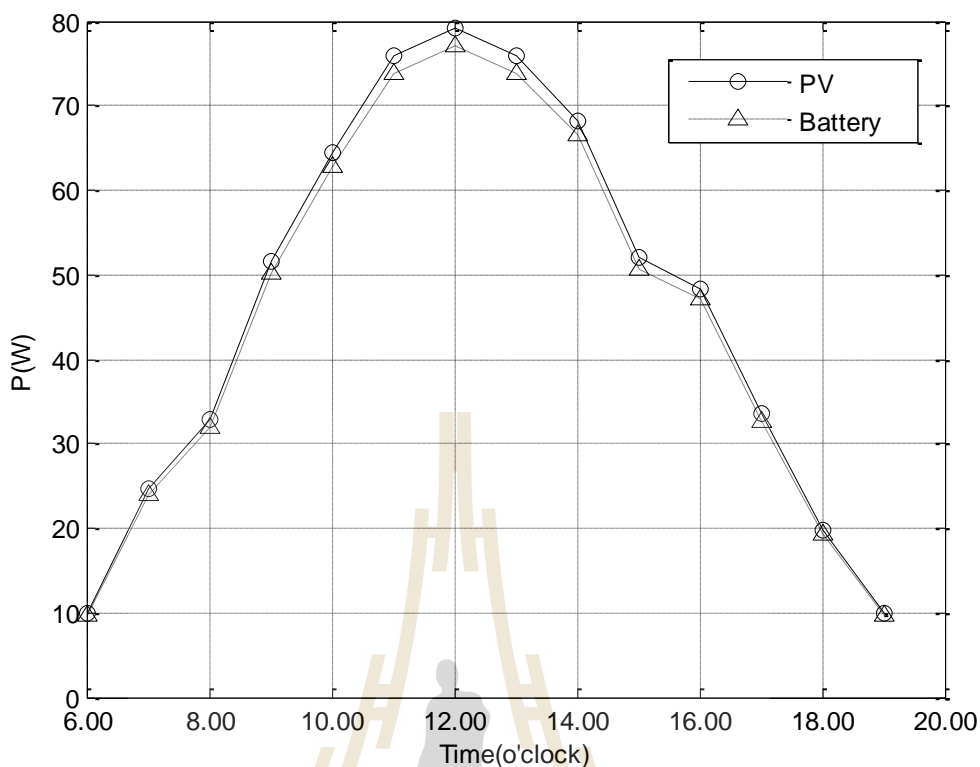


ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ

เวลา	ความเข้มแสง		กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ (วัตต์)	กำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ (วัตต์)
	lux	W/m <sup>2</sup>		
06.00 น.	250	2.5	10.00	9.74
07.00 น.	4826	48.26	24.70	24.05
08.00 น.	16920	169.20	32.79	31.93
09.00 น.	42680	426.80	51.64	50.28
10.00 น.	67000	670.00	64.40	62.71
11.00 น.	79000	790.00	75.82	73.83
12.00 น.	86500	865.00	79.10	77.02
13.00 น.	78600	786.00	75.82	73.83
14.00 น.	66100	661.00	68.30	66.51
15.00 น.	46320	463.20	52.00	50.63
16.00 น.	30440	304.40	48.36	47.09
17.00 น.	22000	220.00	33.61	32.72
18.00 น.	5430	54.30	19.80	19.28
19.00 น.	1070	10.70	10.00	9.74

หมายเหตุ : ผลการทดสอบวันที่ 11 สิงหาคม 2559

จากผลการทดสอบในตารางที่ 5.1 สามารถนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  
เวลากับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลา 1 วัน และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา  
กับกำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ในเวลา 1 วัน แสดงได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลา 1 วัน

จากการทดสอบแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ สามารถวิเคราะห์พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 150 วัตต์ ด้วยวิธีการคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟในรูปที่ 5.4 พบว่า พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลา 1 วัน มีค่าเท่ากับ 636.34 วัตต์-ชั่วโมง (คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟของกราฟเส้นทึบในรูปที่ 5.4) และพลังงานที่ประจุลงแบตเตอรี่ในเวลา 1 วัน มีค่าเท่ากับ 619.62 วัตต์-ชั่วโมง (คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟของกราฟเส้นประในรูปที่ 5.4) ซึ่งสังเกตได้ว่า พลังงานที่ประจุลงแบตเตอรี่มีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 16.72 วัตต์-ชั่วโมง ความแตกต่างของพลังงานที่เกิดขึ้นเนื่องจากการประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงแบตเตอรี่จะต้องผ่านตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ ทำให้มีพลังงานสูญเสียที่ตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ ส่งผลให้พลังงานที่ประจุลงแบตเตอรี่มีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพลังงานที่ประจุลงแบตเตอรี่คิดเป็น 97.37% ของพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ประจุลงแบตเตอรี่ในเวลา 1 วัน สามารถยืนยันได้ว่า แหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติที่ออกแบบขึ้นเพียงพอต่อการรีดแผ่นยางพาราของเกษตรกรในภาคครัวเรือน เนื่องจากพลังงานที่ได้จากการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการประจุลงแบตเตอรี่มีค่ามากกว่าพลังงานที่ต้องการประจุลงแบตเตอรี่ โดยมีค่าเท่ากับ 619.62 วัตต์-ชั่วโมง ส่วนพลังงานที่ต้องการประจุลงแบตเตอรี่เพื่อใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของเกษตรกรมีค่าเท่ากับ 432 วัตต์-ชั่วโมง ดังนั้น แหล่งพลังงานของเครื่องรีด

ยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติมีค่าเท่ากับ 143.43 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ต้องการใช้

### 5.3 แนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ

การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะใน 1 ชั่วโมง จะใช้พลังงาน 80.4 วัตต์-ชั่วโมง(จากการทดสอบรีดแผ่นยางพาราในบทที่ 4) สามารถรีดแผ่นยางพาราได้จำนวน 60 แผ่น และในแต่ละช่วงเวลาจะมีการประจุไฟฟ้าเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องรีดยางพาราแตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อให้การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะเกิดประโยชน์สูงสุดต่อเกษตรกร ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติด้วยกัน 3 แนวทาง คือ การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและไม่มีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่ การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและมีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่ และการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานไม่เพียงพอในการรีดแผ่นยางพารา โดยแนวทางการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าทั้ง 3 กรณี แสดงได้ดังตารางที่ 5.2 - 5.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 แนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและไม่มีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่

ช่วงเวลา (น.)	แผนภาพ	จำนวนแผ่นยางพาราที่รีด
06.00 ถึง 07.00		60
07.00 ถึง 08.00		60

ตารางที่ 5.2 แนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและไม่มี การประจุพลังงานลงแบตเตอรี่ (ต่อ)

ช่วงเวลา (น.)	แผนภาพ	จำนวนแผ่นยางพาราที่รีด
08.00 ถึง 09.00		41
09.00 ถึง 10.00		0
จำนวนแผ่นยางพาราทั้งหมดที่รีดได้มีค่าเท่ากับ 161 แผ่น/วัน		

จากตารางที่ 5.2 สังเกตได้ว่า การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและไม่มี การประจุพลังงานลงแบตเตอรี่ จะสามารถรีดแผ่นยางพาราได้จำนวน 161 แผ่น/วัน เมื่อแบตเตอรี่หมดพลังงานจะต้องนำแบตเตอรี่ไปประจุไฟฟ้าใหม่จนเต็มก่อนนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะในการรีดแผ่นยางพาราครั้งต่อไป ซึ่งแนวทางการใช้งานดังกล่าว สามารถใช้งานกับเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะได้โดยไม่ต้องติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่จะต้องนำแบตเตอรี่ไปประจุไฟฟ้ากับไฟฟ้าบ้านก่อนนำมาใช้งานกับเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ

ตารางที่ 5.3 แนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและมีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่

ช่วงเวลา (น.)	แผนภาพ	จำนวนแผ่นยางพาราที่รีด
06.00 ถึง 07.00		60

ตารางที่ 5.3 แนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและมีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่ (ต่อ)

ช่วงเวลา (น.)	แผนภาพ	จำนวนแผ่น ยางพาราที่รีด
07.00 ถึง 08.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60
08.00 ถึง 09.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60
09.00 ถึง 10.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60
10.00 ถึง 11.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60
11.00 ถึง 12.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	0

ตารางที่ 5.3 แนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและมีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่ (ต่อ)

ช่วงเวลา (น.)	แผนภาพ	จำนวนแผ่น ยางพาราที่รีด
12.00 ถึง 13.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	0
13.00 ถึง 14.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60
14.00 ถึง 15.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60
15.00 ถึง 16.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	0
16.00 ถึง 17.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	0

ตารางที่ 5.3 แนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและมีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่ (ต่อ)

ช่วงเวลา (น.)	แผนภาพ	จำนวนแผ่นยางพาราที่รีด
17.00 ถึง 18.00	<p>PV Panel → 26.71 Wh → Solar Charger Controller → 26.00 Wh → Battery → 216 Wh → Electric Rubber Pressure Machine (0 Wh)</p>	0
18.00 ถึง 19.00	<p>PV Panel → 14.90 Wh → Solar Charger Controller → 14.51 Wh → Battery → 216 Wh → Electric Rubber Pressure Machine (0 Wh)</p>	0
จำนวนแผ่นยางพาราทั้งหมดที่รีดมีค่าเท่ากับ 420 แผ่น/วัน		

จากแนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและมีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่ในตารางที่ 5.3 สังเกตได้ว่า การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะตามแนวทางดังกล่าว จะสามารถรีดแผ่นยางพาราได้จำนวน 420 แผ่น/วัน โดยมีลักษณะการใช้งานคือ ในช่วงเวลา 06.00 -11.00 น. จะทำการรีดแผ่นยางพาราต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งสามารถรีดแผ่นยางพาราได้จำนวน 300 แผ่น จากนั้นในช่วงเวลา 11.00 – 13.00 น. จะหยุดรีดแผ่นยางพาราเพื่อรอให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประจุลงแบตเตอรี่จนเต็ม หลังจากนั้นในช่วง 13.00 – 15.00 น. จะทำการรีดแผ่นยางพาราอีก 2 ชั่วโมง ทำให้รีดแผ่นยางพาราได้เพิ่มขึ้นอีกจำนวน 120 แผ่น และในช่วงเวลาที่เหลือของวันจะไม่มีการรีดแผ่นยางพารา เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่จนเต็ม สำหรับใช้งานกับเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะในวันต่อไป

ตารางที่ 5.4 แนวทางการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานไม่เพียงพอในการรีดแผ่นยางพารา

ช่วงเวลา (น.)	แผนภาพ	จำนวนแผ่นยางพาราที่รีด
06.00 ถึง 07.00	<p>PV Panel → 17.35 Wh → Solar Charger Controller → 16.90 Wh → Battery → 16.9 Wh → Electric Rubber Pressure Machine (0 Wh)</p>	0
07.00 ถึง 08.00	<p>PV Panel → 28.75 Wh → Solar Charger Controller → 27.99 Wh → Battery → 44.9 Wh → Electric Rubber Pressure Machine (0 Wh)</p>	0
08.00 ถึง 09.00	<p>PV Panel → 42.22 Wh → Solar Charger Controller → 41.11 Wh → Battery → 86.0 Wh → Electric Rubber Pressure Machine (0 Wh)</p>	0
09.00 ถึง 10.00	<p>PV Panel → 58.02 Wh → Solar Charger Controller → 56.45 Wh → Battery → 142.5 Wh → Electric Rubber Pressure Machine (0 Wh)</p>	0
10.00 ถึง 11.00	<p>PV Panel → 70.11 Wh → Solar Charger Controller → 68.27 Wh → Battery → 210.8 Wh → Electric Rubber Pressure Machine (0 Wh)</p>	0



ตารางที่ 5.4 แนวทางการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานไม่เพียงพอในการรีดแผ่นยางพารา (ต่อ)

ช่วงเวลา (น.)	แผนภาพ	จำนวนแผ่นยางพาราที่รีด
11.00 ถึง 12.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60
12.00 ถึง 13.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60
13.00 ถึง 14.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60
14.00 ถึง 15.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60
15.00 ถึง 16.00	<p>PV Panel      Solar Charger Controller      Battery      Electric Rubber Pressure Machine</p>	60

ตารางที่ 5.4 แนวทางการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานไม่เพียงพอในการรีดแผ่นยางพารา (ต่อ)

ช่วงเวลา (น.)	แผนภาพ	จำนวนแผ่นยางพาราที่รีด
16.00 ถึง 17.00	<p>PV Panel → 40.99 Wh → Solar Charger Controller → 39.91 Wh → Battery → 106.9 Wh → Electric Rubber Pressure Machine (-80.4 Wh)</p>	60
17.00 ถึง 18.00	<p>PV Panel → 26.71 Wh → Solar Charger Controller → 26.00 Wh → Battery → 52.5 Wh → Electric Rubber Pressure Machine (-52.5 Wh)</p>	39
18.00 ถึง 19.00	<p>PV Panel → 14.90 Wh → Solar Charger Controller → 14.51 Wh → Battery → 14.51 Wh → Electric Rubber Pressure Machine (0 Wh)</p>	0
จำนวนแผ่นยางพาราทั้งหมดที่รีดมีค่าเท่ากับ 399 แผ่น/วัน		

จากตารางที่ 5.4 สังเกตได้ว่า แนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานไม่เพียงพอในการรีดแผ่นยางพารา สามารถรีดแผ่นยางพาราได้จำนวน 399 แผ่น/วัน โดยมีลักษณะการใช้งาน คือ ในช่วงเวลา 06.00 -11.00 น. จะไม่มีการรีดแผ่นยางพารา เนื่องจากจะต้องรอให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่จนเต็ม เมื่อแบตเตอรี่มีพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอในการรีดแผ่นยางพาราแล้วในช่วงเวลา 11.00 – 17.00 น. จะทำการรีดแผ่นยางพาราต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้รีดได้แผ่นยางพาราได้จำนวน 360 แผ่น และในช่วงเวลา 17.00 – 18.00 น. สามารถรีดแผ่นยางพาราได้อีกจำนวน 39 แผ่น จากนั้นแบตเตอรี่จะไม่สามารถรีดแผ่นยางพาราด้วยความเร็วที่เหมาะสมที่สุดได้ ดังนั้น แนวทางดังกล่าว สามารถรีดแผ่นยางพาราได้จำนวน 399 แผ่น/วัน จากการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะทั้ง 3 แนวทาง มีลักษณะที่แตกต่างกันไป โดยพบว่า การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและไม่มีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่ เหมาะสมกับการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะเมื่อไม่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ต้องนำแบตเตอรี่ไปประจุไฟฟ้ากับไฟบ้านทุกครั้งหลังรีดแผ่นยางพารา ซึ่งสามารถรีดแผ่นยางพาราได้จำนวน 161 แผ่น/วัน ในส่วนแนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้า

อัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและมีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่ เป็นแนวทางที่ผู้วิจัยแนะนำให้เกษตรกรใช้งาน เนื่องจากเป็นแนวทางการใช้งานที่สามารถรีดแผ่นยางพาราได้จำนวนสูงสุด ซึ่งรีดแผ่นยางพาราได้จำนวน 420 แผ่น/วัน และแบตเตอรี่มีพลังงานเต็มหลังใช้งาน สามารถนำไปใช้งานได้ในวันต่อไป และการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานไม่เพียงพอในการรีดแผ่นยางพารา สามารถรีดแผ่นยางพาราได้จำนวน 399 แผ่น/วัน แต่การใช้งานกรณีดังกล่าวต้องรอให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประจุไฟฟ้าจนมีพลังงานเพียงพอจึงสามารถรีดแผ่นยางพาราได้ การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะทั้ง 3 แนวทาง มีลักษณะที่แตกต่างกันไป ดังนั้นเกษตรกรควรเลือกใช้งานเครื่องรีดยางพาราตามแนวทางการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะตามความเหมาะสมในการรีดแผ่นยางพาราของตนเอง เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อเกษตรกรชาวสวนยางพารา

#### 5.4 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินความคุ้มค่าของการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินราคา และประเมินจุดคุ้มทุนของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่สร้างขึ้น โดยรายละเอียดต่าง ๆ ในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ แสดงได้ดังต่อไปนี้

##### 5.4.1 การประเมินราคาของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ

การประเมินราคาของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ จะพิจารณาราคาของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาติดตั้งกับเครื่องรีดยางพารา โดยจะไม่พิจารณาราคาของเครื่องรีดยางพารา เนื่องจากเกษตรกรชาวสวนยางในภาคครัวเรือนส่วนใหญ่จะมีเครื่องรีดยางพาราในการรีดแผ่นยางพาราอยู่แล้วจำนวน 1 ชุด คือ จักรกลั่น และจักรดอก ดังนั้น การประเมินราคาของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะนั้นจะพิจารณาเฉพาะราคาอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเติมจากส่วนที่มีอยู่แล้ว โดยราคาของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ 1 ชุด มีค่าเท่ากับ 23,450 บาท สำหรับรายละเอียดการประเมินของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ แสดงได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 รายละเอียดการประเมินของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ

ลำดับ	รายการ	ราคา (บาท)
1	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 2 ตัว	3,400
2	แผ่นเหล็กติดตั้งมอเตอร์จำนวน 2 แผ่น	1,500
3	มูเลย์ติดมอเตอร์	400
4	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 50 วัตต์ จำนวน 3 แผง	4,500
5	ตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์	4,500
6	แบตเตอรี่ขนาด 12 V 18 Ah จำนวน 2 ก้อน	3,000
7	สายพานจำนวน 2 เส้น	400
8	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	4,000
9	กล่องใส่วงจรควบคุม	350
10	แผ่นอะคริลิก	400
11	ฐานวางชุดควบคุม	1,000
ราคารวม		23,450

#### 5.4.2 การประเมินจุดคุ้มทุน

การประเมินจุดคุ้มทุน จะพิจารณากรณีตัวอย่าง 2 กรณี คือ กรณีพิจารณาค่าขนส่งน้ำยางดิบจากสวนยางพารามาผลิตแผ่นยางพาราที่บ้านของของเกษตรกรสวนยางพารา และกรณีพิจารณากำไรที่เพิ่มขึ้นของเกษตรกรเมื่อใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ การพิจารณาจุดคุ้มทุนทั้ง 2 กรณี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 พิจารณาค่าขนส่งน้ำยางดิบจากสวนยางพารามาผลิตแผ่นยางพาราที่บ้านของเกษตรกรสวนยางพารา โดยจะพิจารณาจากกรณีตัวอย่างของคุณสิทธิพร มณีจินดา อาศัยอยู่บ้านเลขที่ 115 หมู่ที่ 8 ตำบลช้างซ้าย อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี (แบบฟอร์มการให้ข้อมูลของเกษตรกรแสดงไว้ในภาคผนวก จ.) ซึ่งมีสวนยางพาราที่อยู่ห่างจากบ้าน เป็นระยะทาง 12 กิโลเมตร โดยเกษตรกรจะนำน้ำยางดิบมาผลิตแผ่นยางพาราที่บ้าน ซึ่งใช้รถกระบะในการขนส่งทำให้ในหนึ่งวันจะต้องเสียค่าน้ำมันรถ 100 บาท และใน 1 ปี เกษตรกรสามารถรีดยางพาราได้ 9 เดือน เนื่องจากจะต้องหยุดรีดยางพาราในช่วงฤดูฝนประมาณ 2 เดือน และช่วงต้นยางพาราผลัดใบประมาณ 1 เดือน และใน 1 เดือนจะสามารถรีดยางพาราได้ 20 วัน ดังนั้น 1 ปี จะรีดยางได้ 180 วัน ทำให้ใน 1 ปี มีต้นทุนค่าขนส่ง 18,000 บาท เพราะฉะนั้นระยะเวลาคืนทุนของกรณีค่าขนส่งมีค่าเท่ากับ 1 ปี 3 เดือน 19 วัน แสดงได้ดังสมการที่ (5-2) และเมื่อผ่านระยะเวลาคืนทุนจะทำให้ชาวสวนยางพารามีรายได้เพิ่มขึ้นปีละ 18,000 บาท

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \frac{\text{ต้นทุนของ เครื่องรีด ยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ}}{\text{ต้นทุนค่าขนส่งใน 1 ปี}} & (5-2) \\
 &= \frac{23,450}{18,000} \\
 &= 1.3028 \text{ ปี (1 ปี 3 เดือน 19 วัน)}
 \end{aligned}$$

กรณีที่ 2 พิจารณากำไรที่เพิ่มขึ้นของเกษตรกรเมื่อใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยพิจารณาราคาขายแผ่นยางพาราของเกษตรกรจำนวน 100 แผ่น/วัน จากการสอบถามคุณสิทธิพร มุณีจินดา เกษตรกรชาวยางพาราที่ขายแผ่นยางพาราในพื้นที่ตำบลช้างซ้าย อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า แผ่นยางพาราของเกษตรกรที่ใช้เครื่องรีดยางพาราทั่วไปในการรีดแผ่นยางพาราจะเป็นยางแผ่นดิบชั้น 2 ซึ่งมีราคา 44 บาท (ราคาขายแผ่นยางดิบในท้องตลาดแสดงไว้ในตารางที่ 4.9) ทำให้เกษตรกรมีรายได้ 4,400 บาท/วัน หากเกษตรกรใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะในการรีดแผ่นยางพารา จะทำให้แผ่นยางพาราที่ได้เป็นยางแผ่นดิบชั้น 1 ส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้ 4,539.99 บาท/วัน ดังนั้น การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะทำให้เกษตรกรมีกำไรเพิ่มขึ้น 139.99 บาท/วัน และใน 1 ปี เกษตรกรสามารถรีดยางพาราได้ 180 วัน ทำให้ใน 1 ปี มีกำไรเพิ่มขึ้น 25,198.2 บาท เพราะฉะนั้นระยะเวลาคืนทุนของกรณีพิจารณากำไรที่เพิ่มขึ้นของเกษตรกรเมื่อใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะมีค่าเท่ากับ 11 เดือน 5 วัน แสดงได้ดังสมการที่ (5-3) และเมื่อผ่านระยะเวลาคืนทุนดังกล่าวจะส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น 25,198.2 บาทต่อปี

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \frac{\text{ต้นทุนของ เครื่องรีด ยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ}}{\text{กำไรที่เพิ่มขึ้นใน 1 ปี}} & (5-3) \\
 &= \frac{23,450}{25,198.2} \\
 &= 0.9306 \text{ ปี (11 เดือน 5 วัน)}
 \end{aligned}$$

จากการประเมินจุดคุ้มทุน สังเกตได้ว่า ในกรณีพิจารณาค่าขนส่งน้ำยางดิบจากสวนยางพารามาผลิตแผ่นยางพาราที่บ้านของเกษตรกรสวนยางพาราจะมีระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้น เมื่อระยะทางในการขนส่งน้ำยางดิบมาผลิตแผ่นยางพาราไกลขึ้น ดังนั้น ถ้านำเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะไปใช้กับเกษตรกรที่สวนยางพารามีระยะทางไกลจากบ้านเรือนมาก ๆ จะยิ่งทำให้มีความคุ้มทุนที่เร็วขึ้น และในกรณีพิจารณากำไรที่เพิ่มขึ้นของเกษตรกรเมื่อใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะจะมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วขึ้น เมื่อเกษตรกรสามารถรีดแผ่นยางพาราใน 1 วัน ได้จำนวนมากกว่า 100 แผ่น ซึ่งการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะตามแนวทางการใช้งานสามารถรีดแผ่นยางพาราได้สูงสุดถึง 420 แผ่น/วัน ดังนั้น ถ้าเกษตรกรสามารถผลิตแผ่นยางพาราได้จำนวนมากขึ้น จะยิ่งทำให้มีความคุ้มทุนที่เร็วขึ้น เพราะฉะนั้น เมื่อเกษตรกรชาวสวนยางพาราหันมาใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้า

อัจฉริยะจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตในด้านการขนส่งปีละ 18,000 บาท และมีกำไรในการขายแผ่นยางพาราเพิ่มขึ้นปีละ 25,198.2 บาท หลังจากผ่านระยะเวลาคืนทุน ส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

## 5.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการออกแบบแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานของเกษตรกรในภาคครัวเรือน ซึ่งพบว่า พลังงานที่ใช้สำหรับเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะประกอบด้วย แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 18 แอมแปร์-ชั่วโมง จำนวน 2 ก้อนต่ออนุกรมกัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมโพลีขนาด 50 วัตต์ จำนวน 3 แผง ต่ออนุกรมกัน และตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ชนิด MPPT P&O ซึ่งผลการทดสอบแหล่งพลังงานดังกล่าวยืนยันได้ว่า แหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ออกแบบมีค่าเท่ากับ 143.43 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ต้องการใช้ ทำให้แหล่งพลังงานที่ออกแบบมีค่าเพียงพอต่อการใช้งาน นอกจากนี้ในบทนี้ยังได้นำเสนอแนวทางการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ ซึ่งพบว่า แนวทางการใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะขณะที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มและมีการประจุพลังงานลงแบตเตอรี่จะสามารถรีดแผ่นยางพาราได้สูงถึง 420 แผ่น/วัน แต่การใช้งานในแต่ละแนวทางมีลักษณะที่แตกต่างกัน เกษตรกรควรเลือกแนวทางในการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะตามความเหมาะสมในการรีดแผ่นยางพารา เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อเกษตรกรชาวสวนยางพารา อีกทั้งในบทนี้ได้ทำการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งสังเกตได้ว่า เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่สร้างขึ้นจะมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วขึ้น เมื่อระยะทางการขนส่งน้ำยางดิบจากสวนยางมาผลิตแผ่นยางพาราที่บ้านของเกษตรกรมีระยะทางไกลขึ้น หรือเกษตรกรสามารถผลิตแผ่นยางพาราได้จำนวนมากขึ้น ดังนั้น เมื่อเกษตรกรชาวสวนยางพาราหันมาใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตในด้านการขนส่ง มีกำไรในการขายแผ่นยางพาราเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ เพื่อให้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะสามารถควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราให้ขายได้กำไรสูงสุด และพลังงานที่ใช้คุ่มค่าที่สุด โดยงานวิจัยนี้ได้เริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ ซึ่งประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร สำหรับใช้ติดตั้งกับเครื่องรีดยางพารา เพื่อขับเคลื่อนลูกรีดของเครื่องรีดยางพารา วงจรแปลงผันตีสีเป็นตีสี่ ที่ใช้ควบคุมแรงดันไฟฟ้าอินพุตของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งกับเครื่องรีดยางพารา และแบตเตอรี่ ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้า อีกทั้งยังได้ทำการศึกษาทฤษฎีของฟิชซี ซึ่งการทำความเข้าใจในทฤษฎีของฟิชซีมีความสำคัญมากสำหรับการออกแบบ และสร้างตัวควบคุมฟิชซีลอจิกเพื่อให้สามารถควบคุมความเร็วเครื่องรีดยางพารา ซึ่งรายละเอียดการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2

การควบคุมด้วยตัวควบคุมฟิชซีลอจิกเป็นวิธีการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับระบบควบคุมที่มีความซับซ้อน คลุมเครือ ไม่เป็นเชิงเส้น และเป็นการควบคุมที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แม่นยำของระบบในการออกแบบตัวควบคุม ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา โดยการควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราด้วยตัวควบคุมฟิชซีลอจิกในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบและสร้างชุดควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราที่ควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ พร้อมทั้งทำการติดตั้งชุดควบคุมและมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพารา ซึ่งในส่วนนี้ได้ทำการยื่นจดสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์ ชื่อผลงาน “ชุดติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพาราแบบมือหมุน” ซึ่งได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบรีดแผ่นยางพาราโดยใช้ชุดทดสอบที่สร้างขึ้น ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ตัวควบคุมฟิชซีลอจิกที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพาราได้ตามต้องการ

ความเร็วที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราของจักรกลันและจักรดอก มีผลอย่างมากต่อความหนาของแผ่นยางพารา ซึ่งความหนาของแผ่นยางพารามีผลต่อราคาขายแผ่นยางพาราในท้องตลาด อีกทั้งความเร็วในการรีดแผ่นยางพารายังมีผลต่อกำลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพารา ดังนั้น ในงานวิจัยจึงได้นำเสนอการหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบตาบู่เชิงปรับตัว เพื่อให้ได้ความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา ซึ่งความเร็วดังกล่าวจะทำให้ขายแผ่นยางพาราได้กำไรสูงสุด โดยพลังงานที่ใช้คุ่มค่าที่สุด โดยผลการค้นหาพบว่า แผ่นยางพาราที่ผ่านการรีดด้วยความเร็วจักรกลันมีค่าเท่ากับ 2600 รอบต่อนาที และความเร็วจักรดอกมีค่าเท่ากับ 1500 รอบต่อนาที จะมีกำไรสูงสุด และพลังงานที่ใช้ในการรีดแผ่นยางพาราที่ความเร็วดังกล่าวเป็นพลังงานที่คุ่มค่าที่สุด สำหรับรายละเอียดการค้นหาค่าความเร็วที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู่เชิงปรับตัว รวมทั้งการทดสอบรีดแผ่นยางพาราด้วยความเร็วดังกล่าว ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 4

งานวิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานสะอาด ไม่มีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเหมาะสมกับพื้นที่สวนยางพาราที่เป็นที่โล่งแจ้งสามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดี มาใช้เป็นแหล่งพลังงานของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ โดยการออกแบบแหล่งพลังงานดังกล่าว ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 5 นอกจากนี้ได้ทำการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อพิจารณาต้นทุนในการสร้างและประเมินจุดคุ้มทุนของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ พร้อมทั้งได้นำเสนอแนวทางการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ เพื่อให้การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะของเกษตรกรเกิดประโยชน์สูงสุด เมื่อเกษตรกรชาวสวนยางพาราหันมาใช้เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรสวนยางพาราในด้านต่าง ๆ เช่น ลดจำนวนคนในการผลิต เพิ่มอัตราการผลิต ทำให้เกษตรกรมีความสะดวกสบายมากขึ้น ช่วยลดต้นทุนการผลิต มีกำไรในการขายแผ่นยางพาราเพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงและพัฒนา อุปกรณ์ป้องกันอันตรายที่อาจเกิดจากการส่งแผ่นยางพาราด้วยมือเข้าสู่เครื่องรีดยางพารา และลดขนาดของชุดเซนเซอร์วัดความเร็วที่มีขนาดใหญ่
2. การพัฒนาเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะด้วยตัวควบคุมพีซีซีลอจิกเพื่อนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ควรออกแบบให้แหล่งพลังงานที่ใช้ ซึ่งประกอบด้วย แบตเตอรี่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์มีขนาดพิกัดมากขึ้น และเหมาะสมกับการใช้งาน



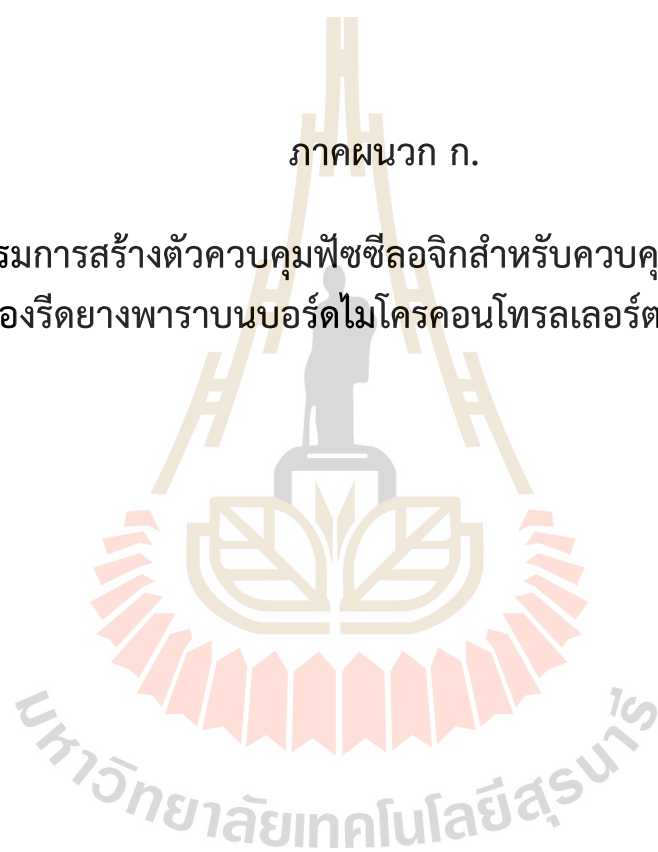
## รายการอ้างอิง

- ทศพร ณรงค์ฤทธิ์. (2557). การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีแบบปรับตัวสำหรับวงจรรอกกำลัง แยกทีฟแบบขนานในระบบสามเฟสสมดุล. *วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.*
- ปทุมพร วงศ์ใหญ่. (2558). ระบบควบคุมพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการตามรอยจุดกำลังสูงสุดด้วยวิธี รมกวานและสังเกด. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.*
- ปราจรี ประสมศักดิ์. (2553). การประยุกต์ฟัซซีลอจิกสำหรับการควบคุมวงจรรอกกำลังควบคุมแยก ทีฟแบบขนาน. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.*
- วิไลพร เงินบาท. (2551). การชดเชยการเสียดทานและสภาพไม่เป็นเชิงเส้นในฮาร์ดดิस्कไดรฟ์ขนาดจิ๋ว ด้วยฟัซซีลอจิก. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.*
- สถาบันวิจัยยางพารา การยางพาราแห่งประเทศไทย. (2557). ยางพาราในประเทศไทย [ออนไลน์]. ได้ จาก: <http://www.rubberthai.com/index.php>
- อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2552). ปัญญาเชิงคำนวณ. *สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.*
- Ahmed, H., Singh, G., Bhardwaj, V., Saurav, S., and Agarwal, S. (2013). Controlling of D.C. Motor using Fuzzy Logic Controller. *Conference on Advances in Communication and Control Systems*. 8: 666-670.
- Aydemir, S., Sezen, S., and Ertunc, H. M. (2004). FUZZY LOGIC SPEED CONTROL OF A DC MOTOR. *Power Electronics and Motion Control Conference*. 2: 766-771.
- Bolognani, S., and Zigliotto, M. (1996). Fuzzy Logic Control of a Switched Reluctance Motor Drive. *IEEE Transactions on Industry Application*. 32(5): 1063-1068.
- Gilber, C. D. Sousa, and Bimal, K. Bose. (1994). A Fuzzy Set Theory Based Control of a Phase – Controlled Converter DC Machine Drive. *IEEE Transactions on Industry Application*. 30(1): 34-44.
- Guillemin, P. (1996). Fuzzy Logic Applied to Motor Control. *IEEE Transactions on Industry Application*. 32(1): 51-56.
- Hasan, A. Yousef, and Hanan, M. Khalil. (1995). A FUZZY LOGIC-BASED CONTROL OF SERIES DC MOTOR DRIVES. *IEEE Transactions on Industry Electronics*. 517-522.

- Hoang, Le-Huy, and Maher, H., (1993). Control of a Direct-Drive DC Motor by Fuzzy Logic. **IEEE Transactions on Industry Electronics**. 732-738.
- Narongrit, T., Areerak, K-L., and Areerak, K-N. (2016). Adaptive Fuzzy Control for Shunt Active Power Filters. **Electric Power Components and Systems**. 44(6): 646-657.
- Narongrit, T., Areerak, K-L., and Areerak, K-N. (2016). A New Design Approach of Fuzzy Controller for Shunt Active Power Filter. **Electric Power Components and Systems**. 48(6): 685-694.
- Nasar, S. A. (1995). **Electric Machines and Power Systems**. Mc Graw-Hill.
- Peter, F. Ryff, (1994). **Electric Machinery**. Prentice Hall.
- So, W. C., Tse, C. K., and Lee, Y. S. (1994). A Fuzzy Controller for DC – DC Converters. **Power Electronics Specialists Conference, PESC '94 Record., 25th Annual IEEE**. 1: 315-320.
- Sung-hoe, H., and Gwi-Tae, P. (1999). An Adaptive Fuzzy Controller for Power Converters. **IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings**. 1: 434-439.
- Thepsatom, P., Numsomran, A., Tipsuwanporn, V., and Teanthong, T. (2006). DC Motor Speed Control using Fuzzy Logic based on LabVIEW. **SICE-ICASE International Joint Conference**. 3617-3620.
- Tipsuwan, Y., and Chow, M-Y. (1999). FUZZY LOGIC MICROCONTROLLER IMPLEMENTATION FOR DC MOTOR SPEED CONTROL. **Industrial Electronics Society, 1999. IECON '99 Proceedings. The 25th Annual Conference of the IEEE**. 3: 1271-1276.
- Yu-Long Cui, Hai-Long Lu, and Jian-Bo Fan. (2006). DESIGN AND SIMULATION OF CASCADE FUZZY SELF - ADAPTIVE PID SPEED CONTROL OF A THYRISTOR-DRIVEN DC MOTOR. **International Conference on Machine Learning and Cybernetics**. 1: 655-660.

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมการสร้างตัวควบคุมพีซีลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของ  
เครื่องรีดยางพาราบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR



\*\*\*\*\*

โปรแกรมการสร้างตัวควบคุมพีชซีลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา  
บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

\*\*\*\*\*

```

1. int analogSenser = 3;
2. int analogRef = 4;
3. float volr = 0.0;
4. float vols = 0.0;
5. float x1=-1.025,x2=-0.5125;
6. float x3=-1.025,x4=-0.5125,x5=0.0;
7. float x6=-0.5125,x7=0.0,x8=0.5125;
8. float x9=0.0,x10=0.5125,x11=1.025;
9. float x12=0.5125,x13=1.025;
10. float y1=2949.0,y2=2406.0,y3=1863.0,y4=1321.0,y5=778.0;
11. float mfe1=0.0,mfe2=0.0,mfe3=0.0,mfe4=0.0,mfe5=0.0;
12. float k1=0.0,k2=0.0,k3=0.0,k4=0.0,k5=0.0;
13. float v1=0.0,v2=0.0,v3=0.0,v4=0.0,v5=0.0;
14. float volout1 = 0.0;
15. float volout = 0.0;
16. int voltageA = 0;
17. float den = 0.0;
18. float num = 0.0;
19. int CS = 8;
20. int SDI = 10;
21. int LDAC = 11;
22. int SHDN = 12;
23. void Write_MCP4922(unsigned char DAC_Channel,unsigned int DAC_Data)
24. { digitalWrite(CS, LOW);
25. switch (DAC_Channel)
26. { case 0x00: DAC_Data |= 0x3000;
27. break;
28. case 0x01: DAC_Data |= 0xB000;
29. break; }
30. shiftOut(SDI, SCK, MSBFIRST,(DAC_Data >> 8)& 0xFF);

```

\*\*\*\*\*

โปรแกรมการสร้างตัวควบคุมพีซีซีลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา  
บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (ต่อ)

\*\*\*\*\*

```

31. shiftOut(SDI, SCK, MSBFIRST,DAC_Data & 0xFF);
32. digitalWrite(CS, HIGH);
33. digitalWrite(LDAC, LOW);
34. digitalWrite(LDAC, HIGH); }
35. void setup() {
36. pinMode(CS, OUTPUT);
37. pinMode(SCK, OUTPUT);
38. pinMode(SDI, OUTPUT);
39. pinMode(LDAC, OUTPUT);
40. pinMode(SHDN, OUTPUT);
41. digitalWrite(CS, HIGH);
42. digitalWrite(SCK, LOW);
43. digitalWrite(SDI, LOW);
44. digitalWrite(LDAC, HIGH);
45. digitalWrite(SHDN, HIGH); }
46. void loop() {
47. volr = analogRead(analogRef);
48. vols = analogRead(analogSensor);
49. float volstar = (volr*5)/1024;
50. float volsenser = (vols*5)/1024;
51. float error = volstar - volsenser;
52. if(volstar>=0 && volstar<=0.01){
53. volout=2950; }
54. else{
55. if (error<=x2){
56. if (error<=x1){
57. mfe1=1.0; }
58. else if (error>x1 && error<=x2){
59. mfe1=(x2-error)/(x2-x1); }}
60. else{
61. mfe1=0.0; }

```

\*\*\*\*\*

โปรแกรมการสร้างตัวควบคุมพีชชีลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา  
บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (ต่อ)

\*\*\*\*\*

```

62. if (error<=x5 && error>x3){
63. if (error==x4){
64. mfe2=1.0; }
65. else if (error>=x3 && error<x4){
66. mfe2=(error-x3)/(x4-x3); }
67. else if (error>x4 && error<=x5){
68. mfe2=(x5-error)/(x5-x4); }}
69. else{
70. mfe2=0.0; }
71. if (error<=x8 && error>x6){
72. if (error==x7){
73. mfe3=1.0; }
74. else if (error>=x6 && error<x7){
75. mfe3=(error-x6)/(x7-x6); }
76. else if (error>x7 && error<=x8){
77. mfe3=(x8-error)/(x8-x7); }}
78. else{
79. mfe3=0.0; }
80. if (error<=x11 && error>=x9){
81. if (error==x10){
82. mfe4=1.0; }
83. else if (error>=x9 && error<x10){
84. mfe4=(error-x9)/(x10-x9); }
85. else if (error>x10 && error<=x11){
86. mfe4=(x11-error)/(x11-x10); }}
87. else{
88. mfe4=0.0; }
89. if (error >=x12){
90. if (error>=x13){
91. mfe5=1.0; }
92. else if (error>=x12 && error<x13){

```

\*\*\*\*\*

โปรแกรมการสร้างตัวควบคุมพีชชีลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา  
บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (ต่อ)

\*\*\*\*\*

```
93. mfe5=(error-x12)/(x13-x12); }
```

```
94. else{
```

```
95. mfe5=0.0; }
```

```
96. if (mfe1>0){
```

```
97. v1=mfe1;
```

```
98. k1=y1*v1; }
```

```
99. else{
```

```
100. v1=0.0;
```

```
101. k1=0.0; }
```

```
102. if (mfe2>0){
```

```
103. v2=mfe2;
```

```
104. k2=y2*v2; }
```

```
105. else{
```

```
106. v2=0.0;
```

```
107. k2=0.0; }
```

```
108. if (mfe3>0){
```

```
109. v3=mfe3;
```

```
110. k3=y3*v3; }
```

```
111. else{
```

```
112. v3=0.0;
```

```
113. k3=0.0; }
```

```
114. if (mfe4>0){
```

```
115. v4=mfe4;
```

```
116. k4=y4*v4; }
```

```
117. else{
```

```
118. v4=0.0;
```

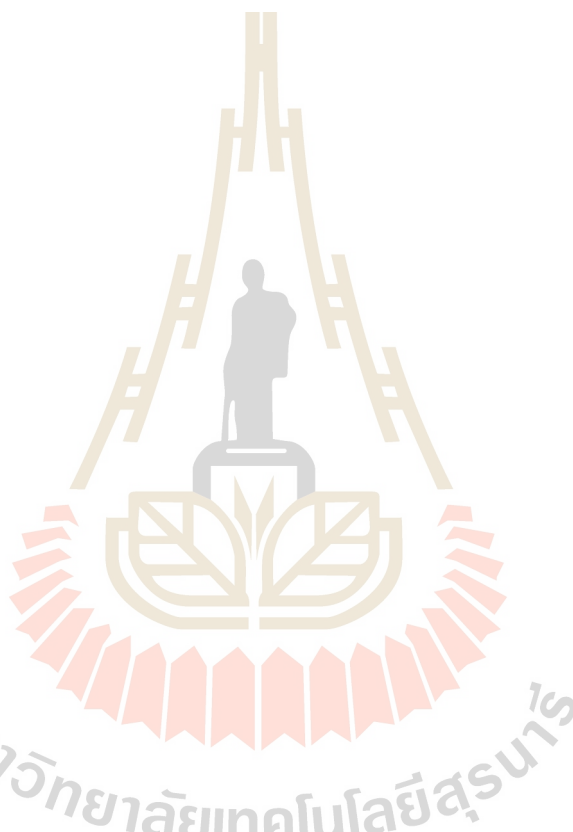
```
119. k4=0.0; }
```

```
120. if (mfe5>0){
```

```
121. v5=mfe5;
```

```
122. k5=y5*v5; }
```

```
123. else{
```

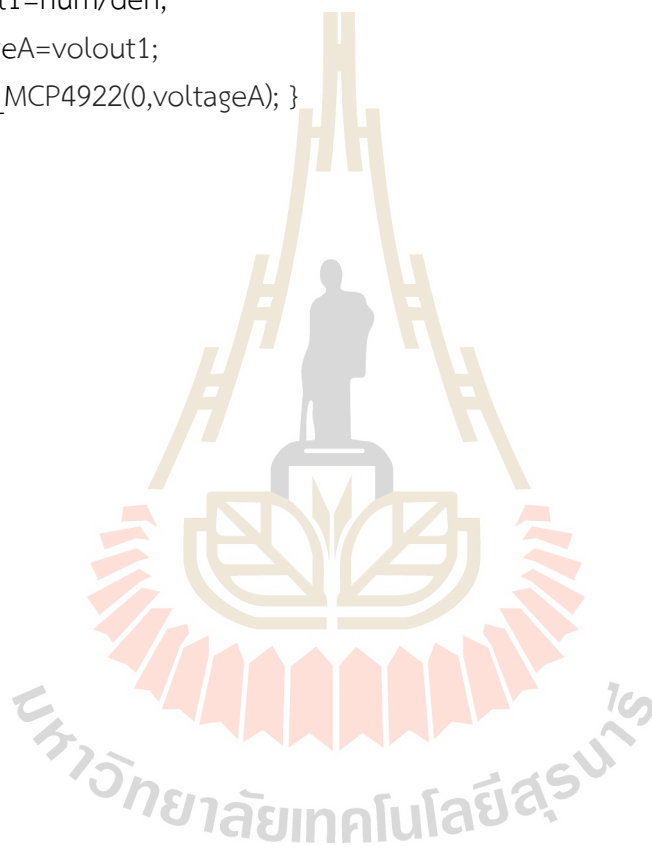


\*\*\*\*\*

โปรแกรมการสร้างตัวควบคุมพีซีลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของเครื่องรีดยางพารา  
บนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (ต่อ)

\*\*\*\*\*

```
124. v5=0.0;
125. k5=0.0; }
126. num=k1+k2+k3+k4+k5;
127. den=v1+v2+v3+v4+v5;
128. volout1=num/den;
129. voltageA=volout1;
130. Write_MCP4922(0,voltageA); }
```





\*\*\*\*\*

คำอธิบายโปรแกรมการสร้างตัวควบคุมพีซีลอจิกสำหรับควบคุมความเร็วของ  
เครื่องรีดยางพาราบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

\*\*\*\*\*

บรรทัดที่ 1 ถึง 4 คือ กำหนดค่าเริ่มต้นในการใช้งานช่องสื่อสาร ADC

บรรทัดที่ 5 ถึง 9 คือ กำหนดค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพอินพุต error

บรรทัดที่ 10 คือ กำหนดค่าตำแหน่งฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage

บรรทัดที่ 11 ถึง 22 คือ กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นในการคำนวณ

บรรทัดที่ 23 ถึง 45 คือ การตั้งค่า CPU ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR

รุ่น ET-EASY MEGA 1280 เพื่อใช้งานช่องสื่อสาร DAC

บรรทัดที่ 46 ถึง 48 คือ รับค่าสัญญาณแอนาลอกของเซนเซอร์

บรรทัดที่ 49 ถึง 51 คือ คำนวณค่าอินพุต error

บรรทัดที่ 52 ถึง 95 คือ การตรวจสอบสถานะ และคำนวณหาค่าฟังก์ชันสมาชิกภาพ

อินพุต error ของตัวควบคุมพีซีลอจิก

บรรทัดที่ 96 ถึง 125 คือ การตรวจสอบสถานะค่าฟังก์ชันสมาชิกภาพเอาต์พุต voltage

ของตัวควบคุมพีซีลอจิก และทำดีพีซี

บรรทัดที่ 126 ถึง 128 คือ การอนุมานพีซีด้วยวิธีค่าน้ำหนักเฉลี่ย

บรรทัดที่ 129 ถึง 130 คือ ส่งค่าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณไปยังวงจร DAC

ภาคผนวก ข

การทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ ATS สำหรับหาค่าความเร็วเหมาะสมที่สุด  
ในการรีดแผ่นยางพารา



### การทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ ATS สำหรับหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา

การหาค่าพารามิเตอร์ของ ATS สำหรับหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายในขั้นตอนการค้นหาของวิธี ATS ซึ่งประกอบด้วย 4 พารามิเตอร์ คือ จำนวนคำตอบเริ่มต้น จำนวนคำตอบรอบข้าง ค่ารัศมีเริ่มต้น และค่าตัวประกอบปรับลดรัศมี ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการกำหนดใช้ค่าต่าง ๆ โดยกำหนดใช้ค่ากำไร (Profit) สูงที่สุด คือ ตรรกะนี้ชี้วัดการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ และหากพบว่ามีกรณีที่ค่ากำไรสูงสุดเท่ากัน ผู้วิจัยจะใช้จำนวนรอบการค้นหา (count) ที่ค้นพบคำตอบน้อยที่สุดดังกล่าว ในการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ ATS ทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังกล่าว สามารถอธิบายได้ดังนี้

#### การทดสอบจำนวนคำตอบเริ่มต้น

การทดสอบจำนวนคำตอบเริ่มต้นของ ATS สำหรับหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา จะทดสอบใช้จำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 1 2 3 4 และ 5 คำตอบ ซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ ข.1 จากตารางดังกล่าว สังเกตได้ว่า จำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 3 4 และ 5 คำตอบ ให้ผลกำไรสูงสุดเท่ากัน ซึ่งเท่ากับ 4,541 บาท แต่เมื่อพิจารณาค่า count เฉลี่ยที่ค้นพบคำตอบพบว่ามีกรณีจำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 3 คำตอบ มีค่า count เฉลี่ยน้อยกว่า ซึ่งเท่ากับ 7 รอบ ในขณะที่กรณีจำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 4 คำตอบ มีค่าเท่ากับ 12 รอบ และกรณีจำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 5 คำตอบ มีค่าเท่ากับ 10 รอบ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้จำนวนคำตอบเท่ากับ 3 คำตอบ

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบจำนวนคำตอบเริ่มต้น

ค่าที่ทดสอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
จำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 1 คำตอบ				
กำไร (บาท)	4,038	3,670	4,062	3,923.33
count	20	17	20	19
จำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 2 คำตอบ				
กำไร (บาท)	4,541	4,360	4,084	4,328
count	20	15	16	17
จำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 3 คำตอบ				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	3	10	8	7
จำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 4 คำตอบ				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	10	14	12	12
ค่าที่ทดสอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
จำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 5 คำตอบ				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	20	3	7	10

หมายเหตุ: กำหนดให้จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 10 ค่ารัศมีเริ่มต้นเท่ากับ 2 และค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีเท่ากับ 1.2

#### การทดสอบจำนวนคำตอบรอบข้าง

การทดสอบจำนวนคำตอบรอบข้างของ ATS สำหรับหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา จะทดสอบใช้จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 10 20 30 40 และ 50 คำตอบ ซึ่งผลการทดสอบแสดง ได้ดังตารางที่ ข.2 จากตารางดังกล่าว สังเกตได้ว่า จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 10 และ 20 ให้ผลกำไรสูงสุดเท่ากัน ซึ่งเท่ากับ 4,541 บาท แต่เมื่อพิจารณาค่า count เฉลี่ยที่ค้นพบคำตอบพบว่า กรณีจำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 10 คำตอบ มีค่า count เฉลี่ยน้อยกว่าเท่ากับ 12 รอบ ในขณะที่กรณีจำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 20 คำตอบ มีค่าเท่ากับ 15 รอบ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 10 คำตอบ

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบจำนวนคำตอบรอบข้าง

ค่าที่ทดสอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 10 คำตอบ				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	2	18	16	12
จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 20 คำตอบ				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	18	15	12	15
จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 30 คำตอบ				
กำไร (บาท)	4,031	4,541	4,541	4,371
count	9	19	12	13.33
จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 40 คำตอบ				
กำไร (บาท)	4,541	3,601	4,360	4,167.33
count	15	10	20	15
จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 50 คำตอบ				
กำไร (บาท)	4,163	4,541	4,381	4,361.67
count	20	18	20	19.33

หมายเหตุ: กำหนดให้จำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 3 ค่ารัศมีเริ่มต้นเท่ากับ 2 และค่าตัวประกอบปรับลดเท่ากับ 1.2

### การทดสอบค่าเริ่มต้น

การทดสอบค่าเริ่มต้นของ ATS สำหรับหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา โดยทดสอบใช้ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1 2 3 4 และ 5 คำตอบ ซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ ข.3 จากตารางดังกล่าว สังเกตได้ว่า ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 5 ให้ผลกำไรสูงสุดเพียงแค่ว่าเดียวเท่านั้น ซึ่งเท่ากับ 4,541 บาท ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 5

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบค่าเริ่มต้น

ค่าที่ทดสอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1				
กำไร (บาท)	3,651	3,659	4,011	3,773.67
count	12	9	7	9.33
ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 2				
กำไร (บาท)	4,061	4,011	4,101	4,057.67
count	10	3	4	5.67
ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 3				
กำไร (บาท)	4,538	4,541	4,362	4,480.33
count	16	20	9	15
ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 4				
กำไร (บาท)	4,381	4,541	4,362	4,428
count	5	3	12	6.67
ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 5				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	2	7	9	6

หมายเหตุ: กำหนดให้จำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 3 จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 10 และค่าตัวประกอบปรับลดเริ่มต้นเท่ากับ 1.2

### การทดสอบค่าตัวประกอบปรับลดรัศมี

การทดสอบค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีของ ATS สำหรับหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา โดยทดสอบใช้ค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีเท่ากับ 1.1 1.15 1.2 1.25 และ 1.3 ซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ ๔.4 จากตารางดังกล่าว สังเกตได้ว่า ค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีทุกค่าให้ผลกำไรสูงสุด ซึ่งเท่ากับ 4,541 บาท แต่ค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีเท่ากับ 1.2 มีค่า count เฉลี่ยน้อยที่สุดซึ่งเท่ากับ 8 รอบ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีเท่ากับ 1.2

ตารางที่ ๔.4 ผลการทดสอบค่าตัวประกอบปรับลดรัศมี

ค่าที่ทดสอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีเท่ากับ 1.1				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	18	20	17	18.33
ค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีเท่ากับ 1.15				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	13	9	16	12.67
ค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีเท่ากับ 1.2				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	4	11	9	8
ค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีเท่ากับ 1.25				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	6	4	15	8.33
ค่าตัวประกอบปรับลดรัศมีเท่ากับ 1.3				
กำไร (บาท)	4,541	4,541	4,541	4,541
count	2	18	12	10.67

หมายเหตุ: กำหนดให้จำนวนคำตอบเริ่มต้นเท่ากับ 3 จำนวนคำตอบรอบข้างเท่ากับ 10 และค่ารัศมีเริ่มต้นเท่ากับ 5

จากผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ ATS ข้างต้น ผู้วิจัยจึงกำหนดใช้ค่าพารามิเตอร์ของ ATS ที่ใช้สำหรับหาค่าความเร็วเหมาะที่สุดในการรีดแผ่นยางพารา แสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ภาคผนวก ค

การคำนวณหาค่าตัวประกอบต้นทุนแสงอาทิตย์



การคำนวณหาค่าตัวประกอบต้นทุนแสงอาทิตย์ (k) แสดงได้ดังสมการที่ (ค-1) ซึ่งค่าตัวประกอบต้นทุนแสงอาทิตย์มีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ค่ากำไรสูงสุด และต้นทุนการผลิตของการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ ดังนั้น ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการคำนวณหาค่าตัวประกอบต้นทุนแสงอาทิตย์ให้สอดคล้องกับการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานจริง จึงได้ทำการพิจารณาต้นทุนของแหล่งพลังงานสำหรับเครื่องรีดยางไฟฟ้าในระยะเวลา 15 ปี ตามอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยต้นทุนของแหล่งพลังงานดังกล่าว แสดงได้ดังตารางที่ ค.1 นอกจากนี้การคำนวณหาค่าตัวประกอบต้นทุนแสงอาทิตย์จะต้องทราบพลังงานที่ได้รับทั้งหมดจากการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถคำนวณได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ในระยะเวลา 15 ปี แสดงได้ดังตารางที่ ค.2

$$k = \frac{\text{ต้นทุนของแหล่งพลังงาน}}{\text{พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้}} \quad (\text{ค-1})$$

ตารางที่ ค.1 ต้นทุนของแหล่งพลังงานสำหรับเครื่องรีดยางไฟฟ้าอัจฉริยะด้วยตัวควบคุมพีซีลอจิก

รายการ	ราคา (บาท)
1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 50 วัตต์ จำนวน 3 แผง	4,500
2. ฐานวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์	5,000
3. แบตเตอรี่ขนาด 12 V 18 Ah จำนวน 16 ก้อน (การใช้งานจะใช้จำนวน 2 ก้อน แต่แบตเตอรี่จะต้องเปลี่ยนทุก ๆ 2 ปี ตามอายุการใช้งาน จึงมีจำนวน 16 ก้อน)	24,000
4. ชุดควบคุมประจุแสงอาทิตย์ จำนวน 3 ชุด (การใช้งานจะใช้จำนวน 1 ชุด แต่ชุดควบคุมประจุแสงอาทิตย์จะต้องเปลี่ยนทุก ๆ 5 ปีตามอายุการใช้งาน จึงมีจำนวน 3 ชุด)	13,500
5. อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น สายไฟ ขั้วแบตเตอรี่ และท่อร้อยสายไฟ เป็นต้น	6,800
ต้นทุนของแหล่งพลังงานมีค่าเท่ากับ 53,800 บาท / 15 ปี	

ตารางที่ ค.2 พลังงานที่ได้รับทั้งหมดจากการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ระยะเวลา	$P_{solar} \times \eta_{solar} \times PSH \times day$	พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ (Wh)
ปีที่ 1 - 5	$150 \times 0.7 \times 4.5 \times 1800$	85050
ปีที่ 6 - 10	$150 \times 0.6 \times 4.5 \times 1800$	72900
ปีที่ 11 - 15	$150 \times 0.5 \times 4.5 \times 1800$	60750
พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 218700 Wh / 15 ปี		

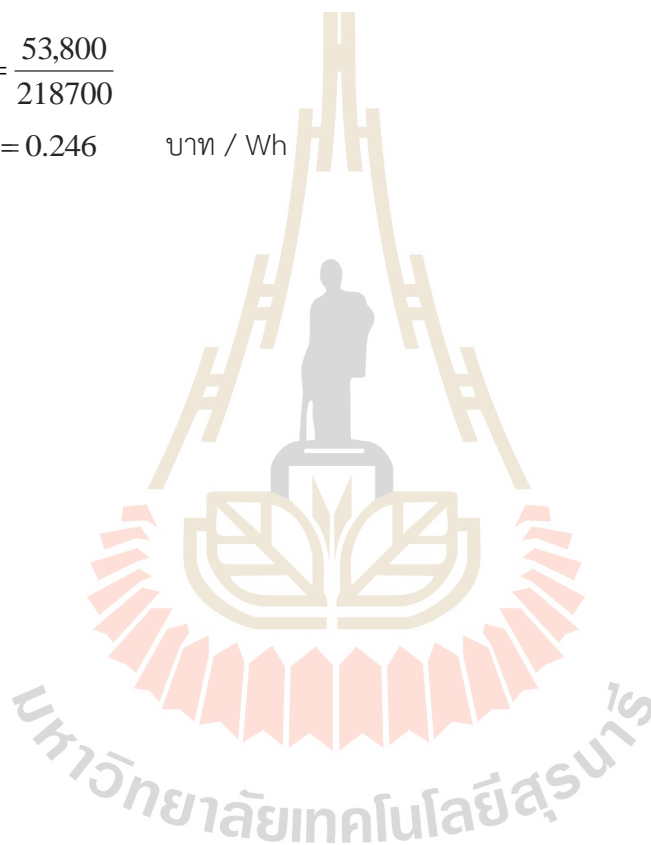


หมายเหตุ :  $\eta_{solar}$  คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะลดลงตามอายุการใช้งาน  
 $PSH$  คือ ปริมาณแสงอาทิตย์สูงสุดโดยไม่มีเมฆบังในหนึ่งวันโดยเฉลี่ยของภาค  
 ตะวันออกเฉียงเหนือมีค่า 4.5 ชั่วโมง-วัน  
 $day$  คือ จำนวนวันที่พิจารณา โดย 5 ปี จะมีทั้งสิ้น 1800 วัน

จากตารางที่ ค.1 สังเกตได้ว่า ต้นทุนของแหล่งพลังงานสำหรับเครื่องรีดยางไฟฟ้า  
 อัจฉริยะด้วยตัวควบคุมพีซีล่อจิกมีค่าเท่ากับ 53,800 บาท / 15 ปี และจากตารางที่ ค.2 พบว่า  
 พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มีค่าเท่ากับ 218700 Wh / 15 ปี ดังนั้น ค่าตัวประกอบต้นทุน  
 แสงอาทิตย์ (k) มีค่าเท่ากับ 0.246 บาท / Wh แสดงได้ดังนี้

$$k = \frac{53,800}{218700}$$

$$= 0.246 \quad \text{บาท / Wh}$$



ภาคผนวก ง

แบบฟอร์มการให้ข้อมูลของเกษตรกร



แบบฟอร์มการให้ข้อมูลของเกษตรกร  
สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการทำวิจัยวิทยานิพนธ์

ข้าพเจ้า นายสิทธิพร สุทธิไธสง  
อาศัยอยู่บ้านเลขที่ 115 อ. 8 ต. ช้างซ้าย อ.เกษตรวิสัย จ. สุรินทร์  
โดยข้าพเจ้าประกอบอาชีพทำสวนยางพาราในพื้นที่ตำบลช้างซ้าย อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัด  
สุรินทร์ธานี ได้ให้ข้อมูลแก่ นายชาคริต ปานแป้น เพื่อใช้ในการทำงานวิจัยวิทยานิพนธ์ ดังต่อไปนี้

1. ระยะทางระหว่างบ้านของข้าพเจ้าและสวนยางพารา มีระยะทางเท่าใด

จากบ้านถึงสวนยาง ระยะ: ๗ 12 กิโลเมตร (สวนยางอยู่ใกล้หมู่บ้าน)

2. ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้ำยางดิบมาผลิตแผ่นยางพาราที่บ้าน

ใช้รถกระบะในกรณีน้ำยาง ระยะทางใกล้ 100 เมตรต่อวัน

3. แผ่นยางพาราที่ขายได้เป็นยางแผ่นดิบประเภทใด

เส้นใหญ่ท่อ 10 12

4. ใน 1 ปี สามารถกรีดยางพาราได้กี่วัน

กรีดยางต้นแรกเมื่อ 1 เดือน ในต้นยางผลัดใบ กล้วย 1 เดือน  
ในต้นยางผลัดใบ 2 เดือน สัตว์ต่างชนิด 1 เดือน กล้วย 1 เดือน โดยตัด 3 วัน  
แรก 1 ครั้ง สัตว์ต่างชนิดตัดได้ 2 ครั้ง 20 วัน

ข้าพเจ้าได้ให้ข้อมูลดังกล่าว ณ วันที่ 7 สิงหาคม 2559

ลงชื่อ สิทธิพร สุทธิไธสง  
( นายสิทธิพร สุทธิไธสง )

วันที่ 7/8.ค.2559

ภาคผนวก จ

คู่มือการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่น  
ยางพาราแบบอัตโนมัติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## คู่มือการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ



รูปที่ จ.1 เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ

เครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ ประกอบด้วย

1. เครื่องรีดยางพาราแบบมือหมุนที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า
2. กล่องควบคุมเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะตัวควบคุมฟีดแบ็ค
3. แบตเตอรี่
4. ตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์
5. แผงเซลล์แสงอาทิตย์

คุณสมบัติของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติมีดังต่อไปนี้

1. สามารถควบคุมความหนาของแผ่นยางพาราได้ตามต้องการ
2. สามารถใช้ความเร็วแบบอัตโนมัติเพื่อให้ความหนาของแผ่นยางพาราขายได้กำไรสูงสุดและพลังงานที่ใช้คุ้มค่าที่สุด
3. สามารถปรับความเร็วใช้งานในการรีดแผ่นยางพาราได้ตามความต้องการของเกษตรกร
4. มีระบบป้องกัน over-load และมีสวิตช์ฉุกเฉินสำหรับหยุดการทำงานทันทีทันใดเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

ประโยชน์ของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติมีดังต่อไปนี้

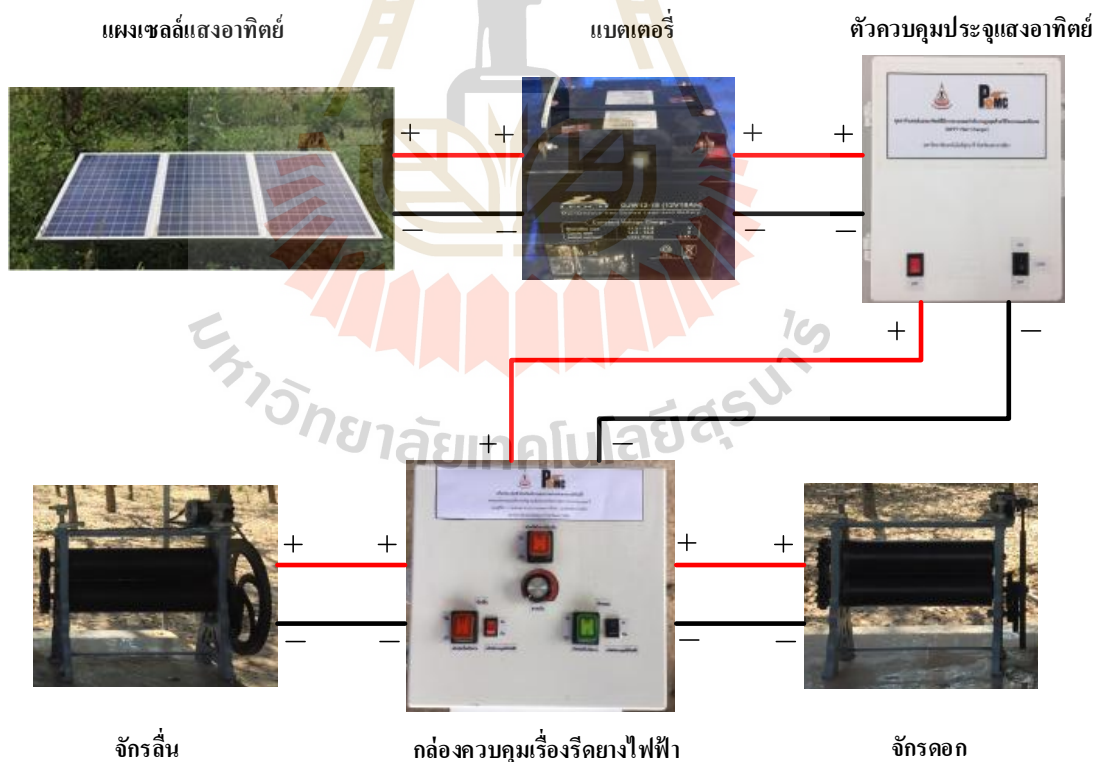
1. เกษตรกรมีกำไรในการขายยางพาราเพิ่มขึ้น
2. ลดต้นทุนค่าขนส่งของเกษตรกร

3. ใช้งานได้ในสวนยางพาราที่ห่างไกลไฟฟ้า เช่น บนเนินเขา เป็นต้น
4. ใช้ระยะเวลาในการรีดแผ่นยางพาราน้อยลง เป็นการเพิ่มอัตราการผลิต
5. ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ มีดังนี้

1. ต่อสายไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ ระวังเรื่องขั้วบวก (สีแดง) กับขั้วลบ (สีดำ) ต้องต่อให้ถูกขั้ว
2. ต่อสายไฟจากตัวควบคุมประจุแสงอาทิตย์ไปยังแบตเตอรี่ ระวังเรื่องขั้วบวกและขั้วลบ ต้องต่อให้ถูกขั้ว
3. ต่อสายไฟจากแบตเตอรี่ไปยังกล่องควบคุมเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะตัวควบคุมฟิชซีลอจิก จากนั้นทำการต่อสายไฟของมอเตอร์ไฟฟ้าจักรกลั่นเข้าด้านซ้าย และต่อสายไฟของมอเตอร์ไฟฟ้าจักรดอกเข้าด้านขวาของกล่องควบคุม โดยก่อนต่อสายไฟสวิตช์ทุกตัวบนกล่องควบคุมต้องมีสถานะปิด

หมายเหตุ : แผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ แสดงได้ดังรูปที่ จ.2











รูปที่ จ.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ

## การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ





การใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติสามารถใช้งานได้ 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติ และโหมด Manual โดยจะมีสวิตช์ควบคุมการทำงานอยู่บนกล่องควบคุม แสดงได้ดังรูปที่ จ.3 ซึ่งการใช้งานเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าสามารถอธิบายการใช้งานได้ดังนี้


### 1. การใช้งานในโหมดอัตโนมัติ






การใช้งานในโหมดอัตโนมัติของจักรกล เริ่มจากเปิดสวิตช์ตัดไฟฉุกเฉิน (สวิตช์สีแดงด้านบนสุด)  จากนั้นทำการเปิดสวิตช์เครื่องรีดยางจักรกล (สวิตช์สีแดงด้านล่างซ้าย)  และสุดท้ายทำการเปิดสวิตช์ควบคุมอัตโนมัติ (สวิตช์ขนาดเล็กสีแดงด้านล่างขวา)  หมายเหตุ : ขณะใช้งานจักรกลสวิตช์ของจักรดอก (สวิตช์สีเขียวและสีดำด้านล่างขวา) ต้องอยู่ในสถานะปิด 

การใช้งานในโหมดอัตโนมัติของจักรดอก เริ่มจากเปิดสวิตช์ตัดไฟฉุกเฉิน (สวิตช์สีแดงด้านบนสุด)  จากนั้นทำการเปิดสวิตช์เครื่องรีดยางจักรดอก (สวิตช์สีเขียวด้านล่างขวา)  และสุดท้ายทำการเปิดสวิตช์ควบคุมอัตโนมัติ (สวิตช์ขนาดเล็กสีดำด้านล่างขวา)  หมายเหตุ : ขณะใช้งานจักรดอกสวิตช์ของจักรกล (สวิตช์สีแดงด้านล่างซ้ายทั้ง 2 ตัว) ต้องอยู่ในสถานะปิด 

### 2. การใช้งานในโหมด Manual

การใช้งานในโหมด Manual ของจักรกล เริ่มจากเปิดสวิตช์ตัดไฟฉุกเฉิน (สวิตช์สีแดงด้านบนสุด)  จากนั้นทำการเปิดสวิตช์เครื่องรีดยางจักรกล (สวิตช์สีแดงด้านล่างซ้าย)  และสุดท้ายทำการปรับความเร็วโดยหมุนปุ่มปรับความเร็วให้ได้ความเร็วที่ความต้องการใช้งาน (ปุ่มวงกลมตรงกลาง)  ซึ่งสวิตช์ควบคุมอัตโนมัติ (สวิตช์ขนาดเล็กสีแดงด้านล่างขวา)  ต้องอยู่ในสถานะปิด

หมายเหตุ : ขณะใช้งานจักรกลสวิตช์ของจักรดอก (สวิตช์สีเขียวและสีดำด้านล่างขวา) ต้องอยู่ในสถานะปิด 

การใช้งานในโหมด Manual ของจักรดอก เริ่มจากเปิดสวิตช์ตัดไฟฉุกเฉิน (สวิตช์สีแดงด้านบนสุด)  จากนั้นทำการเปิดสวิตช์เครื่องรีดยางจักรดอก (สวิตช์สีเขียวด้านล่างขวา)  และสุดท้ายทำการปรับความเร็วโดยหมุนปุ่มปรับความเร็วให้ได้ความเร็วที่ความต้องการใช้งาน (ปุ่มวงกลมตรงกลาง)  ซึ่งสวิตช์ควบคุมอัตโนมัติ (สวิตช์ขนาดเล็กสีดำด้านล่างขวา)  ต้องอยู่ในสถานะปิด 

หมายเหตุ : ขณะใช้งานจ้กรตอกสวิตช์ของจักรลั่น (สวิตช์สีแดงล่างซ้ายทั้ง 2 ตัว) ต้องอยู่ในสถานะปิด

### 3. การเกิดเหตุฉุกเฉิน

หากเกิดเหตุฉุกเฉินในขณะที่ใช้งานให้ทำการปิดสวิตช์ตัดไฟฉุกเฉิน (สวิตช์สีแดงด้านบนสุด) ทันที



รูปที่ จ.3 กล่องควบคุมเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติ





ภาคผนวก ฉ.

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

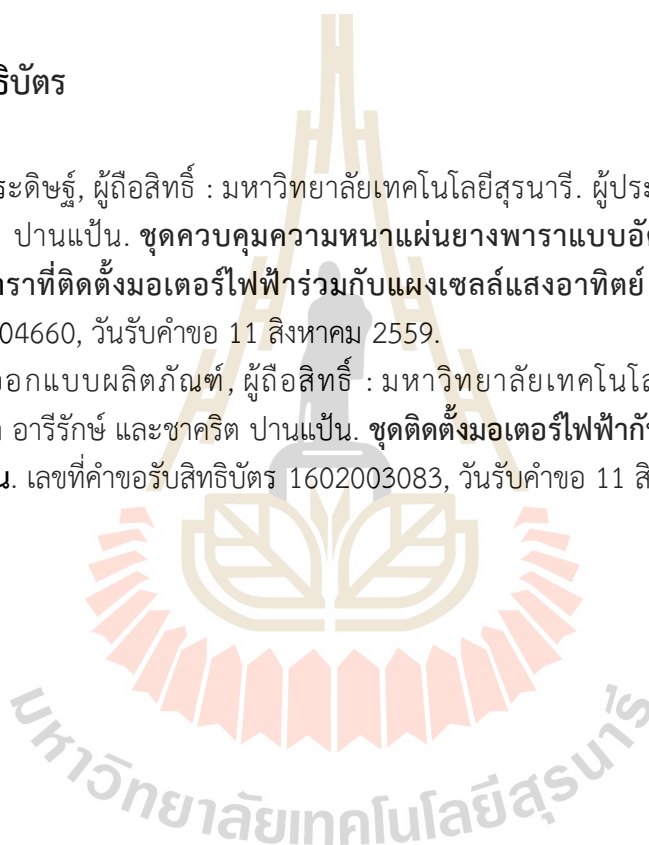


## บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- ชาคริต ปานแป้น กองพล อารีรักษ์ และกองพัน อารีรักษ์. การออกแบบตัวควบคุมสำหรับเครื่องรีด  
 ยางพาราอัตโนมัติด้วยพีซีลอจิกวิธีใหม่. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรี  
 นครินทรวิโรฒ ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, มกราคม – มิถุนายน 2560, หน้า 61 – 71.
- ชาคริต ปานแป้น กองพล อารีรักษ์ และกองพัน อารีรักษ์. การควบคุมเครื่องรีดยางพาราด้วยตัว  
 ควบคุมพีซีลอจิก. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39, เพชรบุรี, 2 - 4  
 พฤศจิกายน 2559, vol 2, หน้า 501 – 504.

## การยื่นจดสิทธิบัตร

- สิทธิบัตรการประดิษฐ์, ผู้ถือสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ผู้ประดิษฐ์ : กองพล อารีรักษ์  
 ชาคริต ปานแป้น. ชุดควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติสำหรับเครื่องรีด  
 ยางพาราที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์. เลขที่คำขอรับสิทธิบัตร  
 1601004660, วันรับคำขอ 11 สิงหาคม 2559.
- สิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์, ผู้ถือสิทธิ์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ผู้ประดิษฐ์ :  
 กองพล อารีรักษ์ และชาคริต ปานแป้น. ชุดติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องรีดยางพาราแบบ  
 มือหมุน. เลขที่คำขอรับสิทธิบัตร 1602003083, วันรับคำขอ 11 สิงหาคม 2559.



## การจัดแสดงผลงานวิจัย

จัดแสดงนิทรรศการผลงานวิจัยในงานเปิดอาคารสิรินธรวิศวะพัฒน์ F11 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี แสดงได้ดังนี้



จัดแสดงนิทรรศการผลงานวิจัยในงานเกษตรสุรนารี อาคารสุรพัฒน์ 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี แสดงได้ดังนี้



## การเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

ผู้วิจัยได้นำเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติที่สร้างขึ้นไปใช้กับชุมชนบ้านศรีควนทอง ต.ช้างซ้าย อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี ซึ่งชาวบ้านในชุมชนดังกล่าวส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทำสวนยางพารา โดยรูปการติดตั้งเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะ แสดงได้ดังนี้



ผู้วิจัยได้นำเครื่องรีดยางพาราไฟฟ้าอัจฉริยะที่ควบคุมความหนาแผ่นยางพาราแบบอัตโนมัติที่สร้างขึ้นไปใช้กับสวนยางพารา ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี แสดงได้ดังนี้



## ประวัติผู้วิจัย

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 0 4422 4363 โทรสาร 0 4422 4601



kongpol@sut.ac.th

รองศาสตราจารย์ ดร.กมล อารีรักษ์

### ประวัติการศึกษา

B.Eng. (Electrical Engineering), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2543

M.Eng. (Electrical Engineering), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2546

Ph.D. (Electrical Engineering), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2550

### ประวัติการทำงาน

ธันวาคม 2549–ปัจจุบัน : อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กันยายน 2551–ปัจจุบัน : หัวหน้าหน่วยวิจัยคุณภาพกำลังไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สิงหาคม 2552–กรกฎาคม 2558 : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สิงหาคม 2558–ปัจจุบัน : รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### รางวัลที่เคยได้รับ

1. รางวัลที่ 3 การประกวดสิ่งประดิษฐ์ ครั้งที่ 4 ประจำปี 2552 ประเภท Hardware (รุ่นทั่วไป) จากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ ในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

2. พนักงานดีเด่นสายวิชาการ ด้านการวิจัยสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปี 2554
3. พนักงานดีเด่นสายวิชาการ ด้านการสอน ประจำปี 2554
4. รางวัลที่ 3 การประกวดสิ่งประดิษฐ์ ครั้งที่ 7 ประจำปี 2555 ประเภท Hardware (รุ่นทั่วไป) จากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ ในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
5. บทความดีเด่น สาขาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37 (EECON-37) วันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ.2557

### งานวิจัย

- บทความวิจัยระดับชาติและนานาชาติ จำนวนกว่า 90 บทความ
- จดสิทธิบัตรโปรแกรม จำนวน 7 ผลงาน
- ยื่นจดสิทธิบัตร จำนวน 6 ผลงาน
- ได้รับการจดสิทธิบัตร จำนวน 3 ผลงาน
- โครงการวิจัยที่แล้วเสร็จ จำนวน 13 โครงการ
- นักศึกษาในที่ปรึกษาที่สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาเอก จำนวน 2 คน
- ปริญญาโท จำนวน 11 คน

### งานสอน

- Electric Circuits
- Electrical Engineering Mathematics
- Circuit Analysis and Filters
- Power Electronics
- Power Semiconductor Drives
- Harmonics and Power Filter Design
- Active Power Filters and Controls
- Electrical System Design
- Electrical Engineering Project