



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ”

โดย ผศ.พิทยา อ่ำพนพนารัตน์ และคณะ

กรกฎาคม 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ”

คณะผู้วิจัย

- ผศ. พัทธยา อัมพพรัตน์
- รศ. นิพนธ์ ใจปลื้ม
- อ. เอกวิทย์ เพียรอนุรักษ์
- รศ. ดร. พิระพงศ์ ทิมสกุล
- ผศ. ดร. วัฒนพงศ์ เกิดทองมี

สังกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ชุดโครงการ “เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ”

บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)

ประเทศไทยผลิตยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีพื้นที่ปลูก 12.7 ล้านไร่ พื้นที่ร้อยละ 90 อยู่ใน 14 จังหวัดภาคใต้ แต่ยางแผ่นดิบของประเทศไทยไม่มีการรับรองคุณสมบัติ เนื่องจากการผลิตยางแผ่นดิบของเกษตรกรมีวิธีการผลิตที่หลากหลายมาก เกษตรกรแต่ละคนก็มีวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน การที่ยางแผ่นดิบจะมีการรับรองคุณสมบัติได้นั้น ต้องแก้ที่วิธีการผลิตให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งเป็นปัญหาที่แก้ไม่ได้ในปัจจุบัน แต่ถ้าใช้เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติที่มีวิธีการผลิตแบบเดียวที่เป็นมาตรฐาน ยางแผ่นดิบที่ได้ก็จะเป็นอย่างเดียวกัน สามารถให้ใบรับรองคุณสมบัติได้

เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัตินับเป็นทางออกอีกแบบหนึ่ง ที่จะทำให้เกิดการรับรองคุณสมบัติของยางแผ่นเนื่องจากการผลิตเป็นแบบเดียวกันที่เป็นมาตรฐาน ยางแผ่นดิบที่ผลิตได้ก็จะมีคุณสมบัติอย่างเดียวกัน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้คือ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผลิตยางแผ่นดิบชนิดอัตโนมัติต้นแบบ ที่สามารถลดแรงงาน เวลา ต้นทุนในการผลิต ประหยัดน้ำ รักษาสิ่งแวดล้อม และช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีฝีมือในการทำยางแผ่นชั้นดี

วิธีการวิจัยเริ่มจากนักวิจัยจาก 3 มหาวิทยาลัย คือมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ร่วมกันกำหนดหลักการในการพัฒนาปรับปรุงเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติ เครื่องเดิมที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช ได้ทดลองและพัฒนา เครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติ ให้เป็นระบบอัตโนมัติ โดยแยกส่วนวิจัยเป็น 3 ส่วน คือโครงสร้างและระบบลำเลียงตะก่ง ระบบผสมน้ำยางกับน้ำกรด และระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ร่วมกันออกแบบ และเขียนแบบรูปร่างของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติที่ได้รวมผลการวิจัยของทุกระบบเข้าด้วยกัน จัดทำเครื่องต้นแบบ ทดสอบเครื่องต้นแบบ ปรับปรุงและแก้ไขเครื่องต้นแบบ จนประสบผลสำเร็จสามารถผลิตยางแผ่นดิบด้วยระบบอัตโนมัติ กำลังการผลิตไม่น้อยกว่าชั่วโมงละ 200 แผ่น สามารถทำให้ส่วนผสมน้ำยางกับน้ำกรดแข็งตัวพร้อมที่จะรีดได้ไม่เกิน 12 นาที โดยคุณสมบัติของยางแผ่นดิบที่ได้ไม่แตกต่างจากยางแผ่นดิบที่ผลิตได้ด้วยวิธีธรรมดา (ทดสอบโดยสถาบันวิจัยยาง ส่วนแยกสงขลา) และได้้นำเทคโนโลยีนี้ไปสร้างเครื่องฯ อีกหนึ่งเครื่องเพื่อให้เกษตรกรทดลองใช้ที่สหกรณ์สวนยางอำเภอพัฒนาจำกัด ตำบลฉ่ำใหญ่ อำเภอกงหรา จังหวัดนครศรีธรรมราช ปรากฏว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจระดับหนึ่ง

วิธีการทำให้ยางแข็งตัวเร็วกว่าปกติโดยไม่ทำให้คุณสมบัติของยางแผ่นดิบเปลี่ยนไปของการวิจัยครั้งนี้คือ ใช้วิธีการกวนส่วนผสมน้ำยางกับกรดฟอร์มิกความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ด้วยใบพัดสแตนเลสซึ่งทำเป็นครีป 6 แฉก ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ใช้เวลากวน 20 วินาที ยางแข็งตัวพร้อมที่จะเข้าเครื่องรีดภายใน 12 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.5 หน่วย(unit) ต่อ 1 ชั่วโมง กำลังการผลิต 200 แผ่นต่อชั่วโมง

การควบคุมระบบอัตโนมัติใช้ PLC (Programmable Logic Controller) เป็นตัวควบคุมและสั่งการผ่านโปรแกรมและตัวเซนเซอร์ต่าง ๆ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.4 สิ่งที่คาดว่าจะได้	4
1.5 ทางเลือกการแก้ปัญหา	4
1.6 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์	5
บทที่ 2 การตรวจเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ	7
2.2 ระบบผสมน้ำยางและน้ำกรด	14
2.3 ระบบควบคุมอัตโนมัติ	20
2.4 ทฤษฎีการออกแบบเครื่อง	21
- ทฤษฎีโครงสร้าง	21
- ทฤษฎีส่งกำลัง	23
- ทฤษฎีลูกกลิ้ง	34
2.5 การทำยางแผ่นของเกษตรกร	37
2.6 การทำยางแผ่นระดับโรงงาน	41
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	44
3.1 แนวทางการดำเนินการวิจัย	44
3.2 หลักการในการพัฒนาเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติเป็นระบบอัตโนมัติ	44
3.3 รายละเอียดการปรับปรุงเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติเป็นระบบอัตโนมัติ	46
- ระบบลำเลียงตะก	46
- วิธีการผสมน้ำยางกับน้ำกรด	49
- เครื่องรีดยาง	53
- วิธีการควบคุมจากกึ่งอัตโนมัติเป็นระบบอัตโนมัติ	54
- โรงเรือนวิจัย	61

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	62
4.1 วัตถุประสงค์	62
4.2 ลักษณะของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัดโนมัตติ	62
4.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัดโนมัตติ	63
4.4 การทดลองส่วนผสมเบื้องต้น	65
4.5 การปรับปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) มาตรฐาน และปรับสูตรผสม	68
4.6 การทดลองหาความเข้มข้นและปริมาณกรดที่เหมาะสม สำหรับการผลิตยางแผ่นดิบอัดโนมัตติ	73
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	83
5.1 สรุปผล	83
5.2 นำเครื่องไปติดตั้งที่สหกรณ์กองทุนสวนยางถ้ำใหญ่พัฒนา จำกัด	85
5.3 สรุปปัญหาที่เกิดขึ้น	89
เอกสารอ้างอิง	90
ภาคผนวก	92
ภาคผนวก ก. เอกสารแนบหมายเลข 4 (สรุปรายงานวิจัย)	93
ภาคผนวก ข. แบบของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัดโนมัตติ	97
ภาคผนวก ค. แบบวงจรไฟฟ้า	116
ภาคผนวก ง. ส่วนแสดงโปรแกรมควบคุม PLC	125
ภาคผนวก จ. ประวัติและผลงานทางวิชาการของหัวหน้าโครงการและผู้วิจัยหลัก	163

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แบบของการไหลในภาชนะที่มีตัวกวนหมุนเพื่อให้เกิดการผสม	15
2.2 การเลือกชนิดของใบพัดตามความหนืดของของเหลว	16
2.3 การเกิดวอร์เทกซ์ในถังกวนที่ไม่มีแผ่นกั้น	17
2.4 ถังกวนที่มีแผ่นกั้นจำนวน 4 แผ่น	17
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังและค่าเรย์โนลด์สของใบพัดชนิดต่าง ๆ	18
2.6 ความสัมพันธ์ของ $f-E$	21
2.7 ลักษณะการจับด้วยสายพาน	25
2.8 ความตึงในสายพานและการตั้ง	26
2.9 การต่อด้วยกาว	29
2.10 การต่อด้วยลวดถัก	29
2.11 การต่อด้วยห่วงเหล็กกล้า	30
2.12 การต่อด้วยห่วงเหล็กกล้า	30
2.13 การต่อด้วยแผ่นเหล็ก	30
2.14 การต่อด้วยแผ่นเหล็ก	30
2.15 ล้อสายพาน	31
2.16 แสดงหน้าตัดสายพานลิ้มและล้อสายพาน	32
2.17 การวิเคราะห์ความเร็ว	34
2.18 แรงบิดและกำลังงาน	36
3.1 เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัด โนมัติ	44
3.2 ระบบลำเลียงตะก่งของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัด โนมัติ	46
3.3 ระบบลำเลียงตะก่งของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัด โนมัติ ที่วิทยาเขตนครศรีธรรมราช	47
3.4 ระบบลำเลียงตะก่งของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัด โนมัติ ที่สหกรณ์กองทุนสวนยางอำเภอพัฒนาจำกัด	47
3.5 แบบประกอบชุดตะก่ง	48
3.6 แบบประกอบชุดส่งกำลัง	48
3.7 ชุดลำเลียงตะก่งที่ทดลองใช้ที่วิทยาเขตนครศรีธรรมราช	48
3.8 ชุดลำเลียงตะก่งที่ทดลองใช้ที่สหกรณ์กองทุนสวนยางอำเภอพัฒนาจำกัด	48
3.9 ใบพัดที่ใช้ในการทดลอง	49
3.10 ชุดผสมน้ำยางกับน้ำกรด (จำลองย่อส่วน)	50
3.11 ชุดผสมน้ำยางกับน้ำกรด (ชุดใช้งานจริง)	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.12 เครื่องรีดแบบเดิม	53
3.13 เครื่องรีดแบบใหม่	53
3.14 กล่องระบบควบคุมอัตโนมัติ	59
3.15 แผงควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบควบคุม PLC	59
3.16 สถานที่ตั้งเครื่องผลิตยางแผ่นดิบเดิม	61
3.17 สถานที่ตั้งเครื่องผลิตยางแผ่นดิบใหม่	61
4.1 แผ่นยางที่ได้จากการผสมโดยใช้ใบพัดโค้ง กรดฟอร์มิก 1.5% ปริมาณ 125 cc	66
4.2 แผ่นยางที่ได้จากการผสมโดยใช้ใบพัดเอียง กรดฟอร์มิก 1.5% ปริมาณ 100 cc	66
4.3 ยางแผ่นดิบที่รีดแล้ว	67
4.4 ยางแผ่นรมควันแผ่นที่ 1	67
4.5 ยางแผ่นรมควันแสดงส่วนที่ไม่มีฟองอากาศ	67
4.6 ยางแผ่นดิบเมื่อผสมกรด 9% ปริมาณ 300 cc กับน้ำยาง 1,000 cc	69
4.7 ยางแผ่นดิบที่รีดแล้ว (กรด 9% ปริมาณ 300 cc กับน้ำยาง 1,000 cc)	70
4.8 ยางแผ่นรมควัน (กรด 9% ปริมาณ 300 cc กับน้ำยาง 1,000 cc)	70
4.9 ยางแผ่นที่ได้จากการอบในเตาอบควบคุมอุณหภูมิ	71
4.10 ยางแผ่นดิบเมื่อผสมกรด 9% ปริมาณ 400 cc กับน้ำยาง 1,000 cc	71
4.11 ยางแผ่นดิบที่รีดแล้ว (กรด 9% ปริมาณ 400 cc กับน้ำยาง 1,000 cc)	72
4.12 ยางแผ่นรมควัน (กรด 9% ปริมาณ 400 cc กับน้ำยาง 1,000 cc)	72
4.13 ปริมาณสิ่งสกปรก	78
4.14 ปริมาณเถ้า	78
4.15 ปริมาณสิ่งระเหย	79
4.16 ปริมาณไนโตรเจน	79
4.17 ความอ่อนตัวเริ่มต้น	80
4.18 ดัชนีความอ่อนตัว	80
4.19 สีของแผ่นยาง	81
4.20 ความหนืดมูนนี่	81
5.1 ระบบลำเลียงตะก่งของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ	83
5.2 ใบพัดครีบแบบ 6 แฉก	84
5.3 ชุดผสมน้ำยางกับน้ำกรด	84
5.4 กล่องระบบควบคุมอัตโนมัติ	84
5.5 แผ่นยางที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด	7
2.2 ไบพัตชนิดต่าง ๆ	17
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังและค่าเรย์โนลด์ของไบพัตชนิดต่าง ๆ	19
2.4 ประสิทธิภาพของรอยต่อสายพาน	31
4.1 เวลาที่ยางจับตัวเป็นแผ่นสำหรับปริมาณน้ำกรดต่าง ๆ กัน	65
4.2 ปริมาณน้ำกรด 300 ซีซี. คงที่ เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำกรด น้ำยาง DRC 30%	73
4.3 เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและปริมาณของน้ำกรด น้ำยาง DRC 30%	74
4.4 ความเข้มข้น 3% คงที่ เปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำกรด น้ำยาง DRC 30%	75
4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติยางตามมาตรฐานยางแท่ง	77

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมทำให้โครงการนี้สำเร็จได้ด้วยดีดังนี้

1. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการนี้ทั้งหมด
2. สหกรณ์กองทุนสวนยางถ้ำใหญ่พัฒนา ที่เอื้อเพื่อให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์การผลิตบางส่วน และให้ความร่วมมือ ตลอดจนอำนวยความสะดวกจนโครงการสำเร็จลุล่วง
3. ผศ. ไพโรจน์ คีรีรัตน์ ผู้ประสานงานชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา”
4. คุณพิชัย คุณชล ที่ให้ความช่วยเหลืองานจนโครงการสำเร็จเรียบร้อย
5. คุณสุรศักดิ์ เหลืองเพชรงาม
6. คุณวัชรินทร์ คงสวัสดิ์
7. คุณธีระ พรหมมาศ
8. ผศ.ประสาร รุจิรศักดิ์ ผู้อำนวยการวิทยาเขตนครศรีธรรมราช ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในทุกเรื่อง

คณะผู้วิจัย

กรกฎาคม พ.ศ. 2549

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มเกษตรกรจัดตั้งเป็นสหกรณ์สวนยางซึ่งมีทั้งสิ้นกว่า 700 โรงทั่วทั้งประเทศ สหกรณ์เหล่านี้จัดตั้งขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2537 – 2538 ตามโครงการจัดตั้ง สหกรณ์ในกลุ่มผู้ผลิตยางพาราและโครงการพัฒนาการผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง/รมควัน โดยกรมส่งเสริมสหกรณ์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ชุมชนสามารถผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง/รมควัน ที่มีคุณภาพ แทนที่การผลิตแบบต่างคนต่างผลิตโดยชาวสวนยาง การผลิตยางแผ่นชั้นดีของชุมชนจำเป็นต้องมีการผลิตที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดได้ การใช้เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติจะช่วยลดปัญหาความยุ่งยากในขั้นตอนการผลิต ลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีความชำนาญและประสบการณ์ และทำให้ชาวสวนยางมีเวลาว่างมากขึ้น เพื่อประกอบอาชีพเสริม รวมทั้งยังทำให้ชุมชนเกิดการรวมกลุ่มเพื่อผลประโยชน์ของส่วนรวม

ยางแผ่นดิบของประเทศไทยไม่มีการรับรองคุณสมบัติ เนื่องจากการผลิตยางแผ่นดิบของเกษตรกรมีวิธีการผลิตที่หลากหลายมาก เกษตรกรแต่ละคนก็มีวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน การที่ยางแผ่นดิบจะมีการรับรองคุณสมบัติได้นั้น ต้องแก้ที่วิธีการผลิตให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งเป็นปัญหาที่แก้ไม่ได้ในปัจจุบัน แต่ถ้าใช้เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติที่มีวิธีการผลิตแบบเดียวที่เป็นมาตรฐาน แผ่นยางดิบที่ได้ก็จะเป็นอย่างเดียวกัน สามารถให้ใบรับรองคุณสมบัติได้ วิธีที่จะให้เกษตรกรหันมาใช้เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ คือการตั้งกลุ่มรับจ้างผลิตยางแผ่นดิบให้แก่เกษตรกรหรือผู้ประกอบการรายย่อยที่ซื้อเครื่องนี้ไปผลิตยางของตัวเอง และรับจ้างผลิตยางแผ่นให้กับเกษตรกรรายอื่นด้วย และให้กลุ่มเกษตรกรสวนยางพารา กลุ่มสหกรณ์สวนยาง (สทกย.) ใช้เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ ก็จะทำให้ยางแผ่นดิบมีคุณลักษณะอย่างเดียวกันสามารถออกใบรับรองคุณลักษณะได้เช่นเดียวกับยางแท่ง

วิธีการทำให้ยางแข็งตัวเร็วกว่าปกติโดยไม่ทำให้คุณสมบัติของยางแผ่นดิบเปลี่ยนไปของการวิจัยครั้งนี้คือ ใช้วิธีการกวนส่วนผสมน้ำยางกับกรดฟอร์มิกความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ด้วยใบพัดสแตนเลส ซึ่งทำเป็นครีป 6 แฉก ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ใช้เวลากวน 20 วินาที ยางแข็งตัวพร้อมที่จะเข้าเครื่องรีดภายใน 12 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้า 0.5 หน่วย(unit) ต่อ 1 ชั่วโมง กำลังการผลิต 200 แผ่นต่อชั่วโมง

การควบคุมระบบอัตโนมัติใช้ PLC (Programmable Logic Controller) เป็นตัวควบคุมและสั่งการผ่านโปรแกรมและตัวเซนเซอร์ต่าง ๆ

Abstract

At present there are more than 700 rubber farmer cooperatives in Thailand. The cooperatives were mostly formed during 1994-1995 to serve Department of Cooperative Extensions scheme for farmer cooperation and for air dried/ smoked sheet production. The scheme aimed to help the farmers produce good quality air dried/smoked sheet rubber as a bulk production in stead of individual production which gave different grades. Good quality rubber sheet production needs to have efficient practices for marketing competition. The automatic rubber sheeting machine can solve the problems of complication process and lack of skill labors for production. In addition the farmers can use their spare time for other supplementary activities and formulate groups for their works which our good for their living hood in communities.

Sheet rubbers in Thailand are not certified for quality assurance due to diversity of processing of individual farmer. A quality of rubber sheet has to be standardized but it is difficult in present situation. Adoption of rubber sheeting processing to automatic sheeting machine which give a standard output will make dried rubber the same quality. This will lead to the certification of rubber sheets quality assurance. One way for individual farmer to adopt the machine for their production has to set a group of farmer to another way may a small enterprenewes owns the machine and service their customers. The farmer groups, rubber cooperatives who are big producers have to use the machines so that the rubber sheets are standardized. They can be certified quality assurance as Standard Thai Rubber (STR).

This study revealed or showed that by mixing and stirring a composition of latex and formic acid @ 3% with 6 flippers stainless paddle at a speed of 300 rpm for 20 seconds, the latex was hardened quickly without changing the properties, rubber sheets was properly formed and was ready to be pressed within 12 minutes. An electric power with 0.5 unit per hour was used and thereby produced the capacity of 200 sheets/hr.

An automatic controller was used Programmable Logic Controller(PLC) to command major component with computer programme and electric sensors to keep records and eventually there will be more production of good quality and standardized rubber sheets in the future.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ประเทศไทยผลิตยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีพื้นที่ปลูก 12.7 ล้านไร่ พื้นที่ร้อยละ 90 อยู่ใน 14 จังหวัดภาคใต้ ประมาณ 10.8 ล้านไร่ ส่วนที่เหลืออยู่ในภาคตะวันออก 5 จังหวัด 1.6 ล้านไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 15 จังหวัด 3 แสนไร่ และภาคตะวันตก 2 จังหวัด บางส่วน ในปี 2540 ประเทศไทยสามารถผลิตยางดิบได้ประมาณ 2.02 ล้านตัน หรือประมาณ 1 ใน 3 ของผลผลิตยางโลก และส่งออกทั้งสิ้น 1.86 ล้านตัน มูลค่าส่งออกประมาณ 60,000 ล้านบาท โดยส่งออกในรูปแบบแผ่นรมควันร้อยละ 64 ยางแท่งร้อยละ 18 น้ำยางข้นร้อยละ 12 และอื่น ๆ ร้อยละ 6 พื้นที่การทำสวนยางพาราไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะภาคใต้ แต่ได้ขยายสู่ภาคอื่นๆ ได้แก่ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ซึ่งความต้องการเครื่องผลิตยางแผ่นดิบ ที่ใช้งานง่าย สะดวก และไม่ต้องการความชำนาญมากใช้น้ำน้อย และรักษาสีแวดล้อมจึงมีมากขึ้นการทำยางแผ่นดิบชั้นดี ต้องใช้กระบวนการผลิตหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนต้องใช้ความรู้และ ความชำนาญ จึงจะได้ยางแผ่นดิบชั้นดีขายได้ราคาดี

ขั้นตอนดังกล่าวคือ

- (1) การกรีดยางเพื่อให้ได้น้ำยาง
- (2) การเก็บรวบรวมน้ำยาง
- (3) การกรองน้ำยาง
- (4) การตวงน้ำยางใส่ตะก
- (5) การเจือจางน้ำยาง
- (6) การผสมน้ำกรด
- (7) การขจัดฟองอากาศ
- (8) การนวดก้อนยางให้เป็นแผ่นเพื่อเตรียมรีด
- (9) การรีดแผ่นยางด้วยจักรกลั่นและจักรดอก
- (10) การล้างแผ่นยาง
- (11) การตากแผ่นยาง และ
- (12) การเก็บยางเพื่อรอจำหน่าย

ผลการทำงานที่มีขั้นตอนค่อนข้างมากและต้องใช้ความชำนาญ ทำให้ชาวสวนยางต้องใช้แรงงานและใช้เวลามาก เช่น ในการผลิตยางแผ่นดิบ 30 กิโลกรัม จะใช้แรงงานที่ชำนาญการอย่างน้อย 2 คน ใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมง โดยเป็นขั้นตอนการกรีดยาง 6 ชั่วโมง การเก็บรวบรวมน้ำยางจากต้นยาง แต่ละต้น 2 ชั่วโมง และขั้นตอนการทำยางแผ่นอีก 2 ชั่วโมง การทำงานที่ใช้เวลานาน ทำให้ชาวสวนยางไม่มีเวลาว่างพอที่จะไปประกอบอาชีพอื่นเพื่อสร้างรายได้เสริมให้กับครอบครัว และเจ้าของสวนยางต้องจ้างแรงงานในอัตราที่สูง นอกจากนี้การผลิตยางแผ่นชั้นดีโดยวิธีการแบบดั้งเดิมต้องใช้ทักษะและความชำนาญสูง จึงทำได้เฉพาะแรงงานบางคนที่ได้ผ่านการฝึกฝนมาก่อนเท่านั้น เจ้าของสวนยางต้องลงทุนสูง กล่าวคือเจ้าของสวนแต่ละสวนจะต้องลงทุนอุปกรณ์การผลิตเองทั้งหมดซึ่งเป็นการลงทุนนับหมื่นบาท สำหรับมีดกรีดยาง ถังเก็บน้ำยาง ตะกั่วกรีดยาง ราวตากยาง และโรงเรือนทำยางแผ่น กรรมวิธีและรายละเอียดในการผลิตยางแผ่นดิบของแต่ละสวนจะแตกต่างกันออกไป ทำให้ขนาดและน้ำหนักของแผ่นยางดิบที่ได้ไม่เหมือนกัน และมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อการคัดเกรดและราคายาง

ในปัจจุบันได้มีการรวมกลุ่มเกษตรกรจัดตั้งเป็นสหกรณ์สวนยางซึ่งมีทั้งสิ้นกว่า 700 โรงทั่วทั้งประเทศ สหกรณ์เหล่านี้จัดตั้งขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2537 – 2538 ตามโครงการจัดตั้ง สหกรณ์ในกลุ่มผู้ผลิตยางพาราและโครงการพัฒนาการผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง/รมควัน โดยกรมส่งเสริมสหกรณ์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ชุมชนสามารถผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง/รมควันที่มีคุณภาพ แทนที่การผลิตแบบต่างคนต่างผลิตโดยชาวสวนยาง การผลิตยางแผ่นชั้นดีของชุมชนจำเป็นต้องมีการผลิตที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดได้ การใช้เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ จะช่วยลดปัญหาความยุ่งยากในขั้นตอนการผลิต ลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีความชำนาญและประสบการณ์ และทำให้ชาวสวนยางมีเวลาว่างมากขึ้น เพื่อประกอบอาชีพเสริม รวมทั้งยังทำให้ชุมชนเกิดการรวมกลุ่มเพื่อผลประโยชน์ของส่วนรวม

ยางแผ่นดิบของประเทศไทยไม่มีการรับรองคุณสมบัติ เนื่องจากการผลิตยางแผ่นดิบของเกษตรกรมีวิธีการผลิตที่หลากหลายมาก เกษตรกรแต่ละคนก็มีวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน การที่ยางแผ่นดิบจะมีการรับรองคุณสมบัติได้นั้น ต้องแก้ที่วิธีการผลิตให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งเป็นปัญหาที่แก้ไม่ได้ในปัจจุบัน แต่ถ้าใช้เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติที่มีวิธีการผลิตแบบเดียวที่เป็นมาตรฐาน แผ่นยางดิบที่ได้ก็จะเป็นอย่างเดียวกัน สามารถให้ใบรับรองคุณสมบัติได้ วิธีที่จะให้เกษตรกรหันมาใช้เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ คือการตั้งกลุ่มรับจ้างผลิตยางแผ่นดิบให้แก่เกษตรกร หรือผู้ประกอบการรายย่อยที่ซื้อเครื่องนี้ไปผลิตยางของตัวเอง และรับจ้างผลิตยางแผ่นให้กับเกษตรกรรายอื่นด้วย และให้กลุ่มเกษตรกรสวนยางพารา กลุ่มสหกรณ์สวนยาง (สทย.) ใช้เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ ก็จะทำให้ยางแผ่นดิบมีคุณลักษณะอย่างเดียวกัน สามารถออกใบรับรองคุณลักษณะได้เช่นเดียวกับยางแท่ง

จากการที่คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยในโครงการ "เครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติ" ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ในปี 2542-2544 โดยเป็นการออกแบบ สร้างเครื่อง และนำเครื่องไปใช้ในสถานที่จริงกับเกษตรกรรายย่อย 10 ครอบครัว ระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องอาศัยคนยังไม่มีระบบควบคุมอัตโนมัติ การผสมระหว่างน้ำยางและน้ำกรดทำโดยใช้ระบบเกลียวหมุนซึ่งมีปัญหาการแข็งตัวของน้ำยาง นอกจากนี้พบว่ายังมีจุดที่จะต้องพัฒนาอีกพอสมควรเพื่อให้การผลิตเป็นแบบอัตโนมัติที่มีระบบควบคุมการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ทุกขั้นตอน มีระบบการผสมของน้ำยางและน้ำกรดที่ดี และไม่มีฟองอากาศของน้ำยางที่ผสมแล้วก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการแข็งตัวและการรีดเป็นแผ่นยาง ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น และให้บริการแก่เกษตรกรรายใหญ่ กลุ่มเกษตรกร หรือ โรงงานอุตสาหกรรมยาง ดังนั้นเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัตินี้สามารถใช้ในอุตสาหกรรมได้ สามารถผลิตเป็นสินค้าได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเกษตรกรภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ขาดแคลนแรงงานผู้ชำนาญการและขาดแคลนน้ำในการผลิตยางแผ่นดิบ เพราะระบบนี้ใช้น้ำน้อย และผู้ผลิตไม่ต้องใช้ความชำนาญในการผลิตยางแผ่นดิบมาก การใช้ใช้น้ำน้อยก็จะช่วยในเรื่องของสิ่งแวดล้อมด้วยคือจะช่วยลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากน้ำเสียและลดความจำเป็นในการบำบัดน้ำเสียได้ และลดต้นทุนการผลิตด้วย

แนวคิดในการผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัตินี้เป็นแนวคิดใหม่ หากมีการสนับสนุนให้บรรลุผล จนถึงขั้นนำไปใช้กับโรงงาน กลุ่มเกษตรกรและเกษตรกรรายใหญ่แล้ว ก็จะเป็นการเพิ่มโอกาสในการมีทางเลือกใหม่ในการผลิตยางแผ่นดิบที่ง่ายใช้ทรัพยากรน้อย สะดวก ประหยัด ราคาถูก และรักษาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งสามารถจดสิทธิบัตรได้เพราะเป็นนวัตกรรมใหม่

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผลิตยางแผ่นดิบขั้นดีอัตโนมัติต้นแบบ ที่สามารถลดแรงงาน เวลา ต้นทุนในการผลิต ประหยัดน้ำ รักษาสิ่งแวดล้อม และช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ที่มีฝีมือในการทำยางแผ่นชั้นดี

1.3 ระเบียบวิธีวิจัย

- ศึกษา วิเคราะห์จุดเสีย ข้อด้อย ของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติเครื่องเดิม
- กำหนดหลักการในการพัฒนา ปรับปรุงเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติเครื่องเดิม
- ทดลองและพัฒนา เครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติ ให้เป็นระบบอัตโนมัติ โดยแยกส่วนวิจัยเป็น 3 ส่วน คือ โครงสร้างและระบบลำเลียงตะกง ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ และ ระบบผสมน้ำยางกับน้ำกรด
- ออกแบบรูปร่างและเขียนแบบของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติที่ได้รวมผลการวิจัยของทุกระบบเข้าด้วยกัน
- จัดทำเครื่องต้นแบบ
- ทดสอบเครื่องต้นแบบ
- ปรับปรุง และแก้ไข เครื่องต้นแบบ
- สรุปผลการวิจัย พิมพ์ผลงานวิจัย
- ประสานความร่วมมือกับอุตสาหกรรมโดย ประชุมร่วมกับ สกว. และกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้เครื่องนี้

1.4 สิ่งที่ได้คาดว่าจะได้

- ได้ชุดผสมน้ำยางกับน้ำกรดซึ่งประกอบไปด้วยถังกวนและระบบแยกฟองอากาศ
- ได้ระบบควบคุมการทำงานของระบบโดยใช้คอมพิวเตอร์
- ได้พัฒนาเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติให้เป็นระบบอัตโนมัติ
- ได้เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติใหม่ต้นแบบที่รวมระบบผสมและระบบควบคุมเข้าด้วยกัน และสามารถนำไปใช้งานจริง
- ได้ข้อสรุปผลการวิจัย และรายงานวิจัย
- ได้ประสานความร่วมมือกับอุตสาหกรรม โดยประชุมร่วมกับ สกว. และกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้เครื่องนี้

1.5 ทางเลือกการแก้ปัญหา

เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูง หากต้องการวิธีการผลิตที่จะได้แผ่นยางที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ ลดต้นทุนการผลิต ลดปริมาณน้ำเสียจนเกือบเป็นศูนย์ซึ่งจะลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียอีกทั้งช่วยรักษาสีสิ่งแวดล้อม การผลิตโดยใช้วิธีปัจจุบันแม้ว่ายังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้แต่ไม่สามารถลดต้นทุนได้มาก อีกทั้งยังต้องการแรงงานจำนวนมากซึ่งอาจมีปัญหาด้านขาดแคลนแรงงานในอนาคตอันใกล้นี้ ปัจจุบันโรงรมของสหกรณ์สวนยางใช้แรงงาน

จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นส่วนใหญ่เพราะขาดแคลนแรงงานในท้องถิ่น นอกจากนี้ในการผลิตโดยวิธีปัจจุบันใช้น้ำเป็นจำนวนมากทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการหาน้ำและปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำมาใช้ในการผลิต และเป็นผลให้มีน้ำเสียจากการผลิตเป็นปริมาณมาก ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัด

เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัดโนมัตสามารถออกแบบได้หลายลักษณะ ในโครงการนี้จะเป็นระบบควบคุมการทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อให้การผลิตยางแผ่นได้มาตรฐานมากที่สุด เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัดโนมัตนี้เป็นนวัตกรรมใหม่ที่พัฒนาจากระบบกึ่งอัตโนมัติโดยคณะผู้วิจัยหลักชุดเดียวกัน ซึ่งได้ออกแบบ สร้าง ทดสอบ และนำเครื่องไปใช้กับเกษตรกรรายย่อย ได้รับคำแนะนำดีจากเกษตรกร 3 จังหวัด คือ พัทลุง ตรัง นครศรีธรรมราช อันเป็นประโยชน์ที่จะนำมาพัฒนาเครื่องเดิมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และส่งเสริมให้ผลิตในเชิงพาณิชย์ โดยมีเกษตรกรรายใหญ่สนใจที่จะซื้อจำนวน 2 เครื่อง หากเครื่องดังกล่าวได้รับการปรับปรุงแล้ว นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้ทำหนังสือถึงองค์การสวนยาง อ. นาบอน จ. นครศรีธรรมราช และสถาบันวิจัยยางภาคใต้ อ.หาดใหญ่ เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องจักรแบบนี้และวิธีการผลิตยางแผ่นดิบแบบนี้มีผู้คิดทำสำเร็จแล้วหรือยัง พบว่ายังไม่มีใครหรือหน่วยงานใดผลิตยางแผ่นดิบในลักษณะดังกล่าว นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้รับการอนุเคราะห์จาก สปว. ยางพารา ได้สืบค้นสิทธิบัตรเกี่ยวกับเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัดโนมัต พบว่ายังไม่มีสิ่งประดิษฐ์ที่มีลักษณะคล้ายกันหรือเหมือนกันกับเครื่องจักรผลิตยางแผ่นดิบอัดโนมัตที่เสนอในโครงการนี้

1.6 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

ในการผลิตขนาดใหญ่แบบเดิมจะใช้ตะกวดซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง ราคาตะกวดพร้อมแผ่นเสียบ ที่สามารถผลิตยางแผ่นได้ครั้งละ 50 แผ่น จะมีราคาชุดละ 10,200 บาท ปกติโรงงานของกลุ่มเกษตรกรจะต้องใช้ตะกวด จำนวน 90-100 ตะกวด รวมเป็นเงิน 918,000 – 1,020,000 บาท บ่อรวบรวมและล้างยางที่ได้จากตะกวดเพื่อใช้รีดรีด ประมาณบ่อละ 20,000 บาท เครื่องรีดยาง 2 เครื่อง ๆ ละ 180,000 บาท เป็นเงิน 360,000 บาทรวมราคาค่าอุปกรณ์ทั้งสิ้นเป็นเงิน 1,400,000 บาท โดยยังไม่ได้คิดค่าโรงเรือน คนงานประมาณ 20 คน ๆ ละ 130-200 บาท/วัน นั่นคือรายจ่ายวันละ 2,600-4,000 บาท/วัน ต่อการผลิตวันละ 4,500 แผ่น ใช้เวลาในการผลิต 24 ชม. คือนับจากการรวบรวมน้ำยาง กรองน้ำยาง นำน้ำยางเข้าสู่ตะกวด ผสมน้ำ น้ำกรด กวนน้ำยางและนำกรดให้เข้ากัน กวาดฟอง รอให้น้ำยางในตะกวดจับตัว แล้วรีดแผ่นยาง (วิธีการรีด กระทำได้โดยเอายางที่จับตัวแล้วจากตะกวด ใส่ในบ่อล้างยาง แล้วมีคนงานจับยางจากบ่อล้างยางเข้าเครื่องรีด รีดออกมาเป็นแผ่น) เมื่อตะกวดว่างก็จะถ่ายน้ำออก แล้วเอาน้ำใหม่เข้ามา และเอาน้ำยาง น้ำกรดใส่ต่อไป นับเป็น 1 รอบ วงจรใช้เวลา 24 ชั่วโมง ต่อการผลิต 4,500 แผ่น นั่นคือกำลังผลิต $4,500/24 = 188$ แผ่น/ชม. ในขณะที่

ที่เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติจะมีกำลังการผลิต 200 แผ่น/ชม. และใช้มอเตอร์เฟสเดียว แต่มอเตอร์เครื่องรีดของแบบตะกวดับ ใช้มอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งจะทำให้มีปัญหาถ้าโรงงานผลิตยางอยู่ไกลจะไม่มีไฟฟ้า 3 เฟส เครื่องรีดยางจะทำงานไม่ได้ ยกเว้นปรับจากมอเตอร์เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลัง แต่ถ้าหากเป็นเครื่องรีดยางที่ใช้ไฟฟ้าเฟสเดียวจะไม่มีปัญหาดังกล่าวนี้นี้ เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติจะมีต้นทุนเครื่องละ 300,000 – 400,000 บาท จะเห็นได้ว่าเครื่องผลิตยางแผ่นดิบมีต้นทุนที่ถูกลงกว่า ใช้พลังงานน้อยกว่า ใช้น้ำน้อยกว่า นั่นคือการลดต้นทุนในการผลิตแผ่นยางพาราสามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้

จะเห็นได้ว่าเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติจะให้กำลังผลิตที่สูงกว่าการผลิตโดยวิธีปัจจุบัน และมีต้นทุนเครื่องที่ต่ำ ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

เครื่องผลิตยางแผ่นดิบแบบใช้ตะกวดับ	เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ
1. ใช้น้ำมาก เกิดน้ำเสียมาก	1. ใช้น้ำน้อย
2. ใช้มอเตอร์ 3 เฟส	2. ใช้มอเตอร์เฟสเดียว
3. ราคาอุปกรณ์สูง (1,400,000 บาท)	3. ราคาต่ำ (300,000 - 400,000 บาท)
4. กำลังผลิต 188 แผ่น/ชม.	4. กำลังผลิต 200 แผ่น/ชม.
5. ขบวนการผลิตยุ่งยาก หลายขั้นตอน	5. ขบวนการผลิตง่าย เป็นระบบอัตโนมัติ
6. เป็นการผลิตแบบดั้งเดิม	6. เป็นนวัตกรรมใหม่ ผลิตเครื่องฯ ขายได้

บทที่ 2

การตรวจเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติที่ใช้ทำยางแผ่นได้จากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) มีชื่อเรียกทางเคมีว่า cis-1, 4 โพลีไอโซพรีน น้ำยางเมื่อออกมาจากต้นยาง มีลักษณะเป็นของเหลว สีขาวเหมือนน้ำมัน มีสภาพเป็นคอลลอยด์ (Colloid) ประกอบด้วยอนุภาคยางที่มีรูปร่างเป็นเม็ดเล็ก ๆ แขนงลอยอยู่ในของเหลวที่เรียกว่าเซรัม (Serum) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.2 ไมครอน น้ำยางมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.975 ถึง 0.980 gm/cc³. ดังนั้นเนื้อยางจึงเบากว่าน้ำ อนุภาคของเม็ดยางที่มีขนาดใหญ่พอ ก็จะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ เมื่อตั้งทิ้งไว้นาน ๆ มีความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 6.5 ถึง 7.0 ส่วนประกอบของอนุภาคยางและเซรัมแตกต่างกัน ขึ้นกับพันธุ์ อายุ ฤดูกาลกรีดยาง และวิธีการกรีดยาง ความหนืดของน้ำยางมีค่าประมาณ 12 - 15 centipoise

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ของแข็งทั้งหมด (Total solids content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC)	33
สารพวกโปรตีน และ สารพวกไขมัน (lipid)	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-2
ซีเถ้า	1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100 (25-27)

โปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนหนึ่งจะเกาะอยู่บนอนุภาคของเม็ดยาง ที่เหลือจะอยู่ในชั้นน้ำประมาณราว 25% ของโปรตีนทั้งหมดจะอยู่บนอนุภาคของเม็ดยาง

น้ำยางเป็นคอลลอยด์ ประกอบด้วยอนุภาคของเม็ดยางที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ขนาดของอนุภาคของเม็ดยางประมาณ ตั้งแต่ 200A° ไปจนถึง 20,000A° และ 85 % ของเม็ดยางโดยน้ำหนักจะมีขนาดเกิน 400A° โปรตีนที่มีอยู่ใน น้ำยางส่วนใหญ่เป็น α-Globulin และ hevein สำหรับ α-globulin เป็นโปรตีนที่มีสมบัติเป็น surface-active จะอยู่บนรอยต่อระหว่าง น้ำ-อากาศ และ น้ำมัน-น้ำ ไม่ละลายในน้ำกลั่น แต่ละลายในกรด ด่าง และ เกลือ มันมี isoelectric point ที่ pH = 4.8 น้ำยางสดจะจับตัวอย่างรวดเร็วภายใต้สภาวะที่ pH ของ α-globulin ละลายได้น้อย

ที่สุด คือ pH ประมาณ 4.6-4.9 ซึ่งเป็นสภาวะกรด นั่นคือการใช้กรดผสมในน้ำยาง เป็นวิธีที่จะทำให้ น้ำยางจับตัวกันง่ายที่สุด

โปรตีนชนิดหนึ่ง คือ Hevein จะห่อหุ้มผิวรอบนอกของอนุภาคยาง และละลายอยู่ในชั้นน้ำ มีค่า isoelectric point ที่ $pH = 4.5$ ส่วนประกอบของโมเลกุลของมันมีกำมะถันอยู่ราว 5% เป็นประเภท cystine disulphide linkage การที่โปรตีนของน้ำยางมีกำมะถันเช่นนี้ เวลาน้ำยางเกิดการบูดเน่า โปรตีนส่วนหนึ่ง จะสลายตัวให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสาร mercaptan ซึ่งทำให้มีกลิ่นเหม็น โลหิตที่อยู่กับอนุภาคของเม็ดยางเป็นพวกฟอสโฟไลปิด (ประมาณ 2.0%) Eicosylalcohol (ประมาณ 0.6%) และพวกสเตอรอลและเอสเทอร์ของสเตอรอล (ประมาณ 0.4%) ฟอสโฟไลปิดนี้เชื่อว่าอยู่ในระหว่างชั้นของโปรตีนกับเม็ดยาง โดยตัวมันทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะบนอนุภาคของเม็ดยางนั้น ฟอสโฟไลปิดที่สำคัญของน้ำยาง เป็นชนิด α -Lecithin กรณีที่น้ำยางในสภาวะการเป็นด่าง เช่น ในน้ำยางที่มีแอมโมเนียสูง (0.6% ในน้ำยางขึ้นไป) ฟอสโฟไลปิดจะถูกไฮโดรไลส์ให้กรดไขมันที่มีสายโซ่ยาว (long chain fatty acid) ออกมา ซึ่งรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นสบู่ไป จะทำให้น้ำยางมีความเสถียรขึ้น แต่ในกรณีที่การเก็บรักษาน้ำยางด้วยแอมโมเนียในปริมาณน้อย ๆ (0.2% ในน้ำยาง) การไฮโดรไลส์จะเกิดน้อย ดังนั้นความเสถียรของน้ำยางจะน้อย (ความเสถียรของน้ำยาง หมายถึง ความสามารถในการรักษาสภาพของเหลวของน้ำยางไว้ได้นาน)

น้ำตาล ไม่ค่อยจะมีอิทธิพลต่อสมบัติของน้ำยางเท่าใดนัก แต่ถ้า น้ำยางสดที่มีการเก็บรักษาไม่ดี น้ำตาลในน้ำยางนี้จะถูกแบคทีเรียออกซิไดส์ ให้สลายตัวไปเป็นกรดที่มีโมเลกุลขนาดเล็กๆ เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซีติกและกรดโพรไพโอนิก เป็นต้น กรดที่มีโมเลกุลเล็กนี้ ระเหยได้ง่าย จึงเรียกรวมกันว่า กรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid) เรียกย่อว่า VFA

ดังนั้นค่า VFA ในน้ำยางเป็นตัวบ่งถึงความสามารถในการรักษาสภาพของน้ำยาง น้ำยางที่ดีจะมีค่า VFA ต่ำ เช่น น้ำยางสดที่เก็บรักษาดี ๆ จะมีค่า VFA เพียง 0.01 ถึง 0.02 และ ในน้ำยางขึ้นที่ได้มาตรฐานสากล ค่า VFA จะต้อง ไม่เกิน 0.2 หน่วย เป็นต้น

การบูดเน่าของน้ำยางเกิดจากการที่แบคทีเรียจากสภาวะแวดล้อมเข้าไปในน้ำยาง ไปทำปฏิกิริยากับน้ำตาลและโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยาง ทำให้เกิดการบูดเน่าได้

ดังนั้น การป้องกันการบูดเน่านี้ จะต้องทำโดยการขจัดแบคทีเรียที่เข้าไปในน้ำยางไม่ให้่วงไว้ในการทำปฏิกิริยา การขจัดดังกล่าวทำได้โดยการใช้สารเคมีที่เรียกว่า สารรักษาสภาพ

สารรักษาสภาพ ที่สำคัญที่สุดที่ใช้เก็บรักษาน้ำยาง คือ แอมโมเนีย (ซึ่งพบว่ามีความสามารถในการเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพอยู่ได้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1853 โดย Johnson แล Norric)

จากงานของ Lowe ในค.ศ. 1960 พบว่า การเก็บรักษาน้ำยางสดที่เหมาะสมจะต้องมีแอมโมเนียในน้ำยางสด ไม่น้อยกว่า 0.35%

น้ำยางสดประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. ยาง เป็นส่วนที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนจำพวกโพลีเมอร์ ประกอบด้วยหน่วยย่อย ๆ ของไอโซพรีน ($\text{isoprene-C}_5\text{H}_8$) ที่เชื่อมโยงต่อกันประมาณ 2,000-5,000 หน่วยต่อ 1 โมเลกุล

2. ส่วนไม่ใช่ยาง ส่วนนี้ประกอบด้วยสารต่าง ๆ เช่น น้ำตาล โปรตีน ไขมัน เม็ดสี (คาโรทีนอยด์) กรดไขมัน เอนไซม์ และสารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะละลายอยู่ในเซรัมและบางส่วนถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคยางและบางส่วนแขวนลอยอยู่ โปรตีนและไขมันส่วนใหญ่จะดูดซับอยู่บนผิวอนุภาคยางทำหน้าที่ห่อหุ้มอนุภาคยางไว้ ช่วยรักษาสภาพความคงตัวของน้ำยาง

ปริมาณเนื้อหาของน้ำธรรมชาติจะแปรปรวนอยู่ระหว่าง 28-45% ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น พันธุ์ยาง ฤดูกาล อายุของต้นยาง และความถี่ในการกรีดยาง เป็นต้น

สถานะน้ำยาง

การที่น้ำยางคงสถานะเป็นน้ำยางอยู่ได้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง อนุภาคยางในเซรัมจะเคลื่อนที่ ไปมาได้อย่างอิสระเนื่องมาจาก

1. อนุภาคยางแต่ละตัวจะไม่ชนกัน เนื่องจากที่ผิวของแต่ละอนุภาคเป็นพวกไขมันและโปรตีน ซึ่งมี Carboxyl group (คาร์บอกซิล) ถูกดูดซับอยู่ ซึ่งสารนี้จะมีประจุลบ ดังนั้นในโอกาสที่แต่ละอนุภาคจะจับตัวกันนั้นไม่มี เพราะเป็นประจุชนิดเดียวกันจะผลักกัน

2. เนื่องจากแต่ละอนุภาคของยาง มีชั้นโปรตีนห่อหุ้มอยู่ ชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางรวมตัวกัน

3. อนุภาคยางแต่ละอนุภาคจะเคลื่อนตัวแบบ Brownian Movement คือ การเคลื่อนที่แบบไม่มีทิศทางแน่นอน การเคลื่อนที่แบบนี้เกิดเนื่องจากแรงที่โมเลกุลของยางที่แขวนลอยมากกว่าแรงดึงดูดของโลก ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนที่แบบลูกศรตามกัน โดยมีน้ำเป็นส่วนช่วยอนุภาคยางจึงมีโอกาสปะทะกันน้อย

4. เนื่องจากมีน้ำเป็นฉนวนห่อหุ้มทางฟิสิกส์ และในตัวเองก็มีประจุไฟฟ้าและตัวอนุภาคยางเองก็มีประจุไฟฟ้าลบ ดังนั้น เมื่อโมเลกุลของน้ำแตกตัวก็จะไปห่อหุ้มอนุภาคยางทำให้ชั้นห่อหุ้มหนาขึ้น โอกาสที่อนุภาคจะชนกันก็เกิดยากขึ้น

ปัจจัยทั้ง 4 ประการนี้ ทำให้อนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในเซรัมได้หากปัจจัยเหล่านี้ถูกทำให้ลดลง น้ำยางจะสูญเสียสถานะการเป็นคอลลอยด์น้ำยางจะจับตัวเป็นก้อน

การให้น้ำยางจับตัว

น้ำยางเกิดจับตัว (Coagulation) เนื่องจากน้ำยางสูญเสียความเป็นคอลลอยด์เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น

1. การเติมกรด กรดแตกตัวให้อนุมูลไฮโดรเจน(H^+) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลคาร์บอกซิลที่อยู่รอบอนุภาคยาง (มีประจุลบ) ทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน

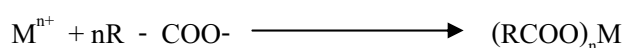
ปฏิกิริยาจากการเติมกรด



การเติมกรดในน้ำยางมีได้หลายวิธีการ เช่น

- เติมกรดโดยตรง เช่น กรดฟอร์มิก ในการทำยางแผ่น
- เติมสารที่สลายตัวให้กรด เช่น น้ำตาล ในการทำยางแท่ง TTR 5L
- เกิดกรดจากการบูดเน่าของน้ำยางตามธรรมชาติ กระบวนการนี้มีอิทธิพลต่อคุณภาพของยางแผ่น

2. การเติมอนุมูลโลหะ (Metal ions) อนุมูลโลหะหนักมีประจุไฟฟ้าบวก เข้าทำปฏิกิริยากับประจุลบ รอบอนุภาคยางทำให้น้ำยางเกิดการจับตัวได้ ปฏิกิริยาเกิดได้โดยอนุมูลโลหะเกิดปฏิกิริยากับคาร์บอกซิล ทำให้เกิดสบู่ของโลหะหนัก (Metallic soaps) ไม่แตกตัวจึงไม่ละลายน้ำ



ตัวอย่างอนุมูลโลหะที่ทำให้น้ำยางเกิดการจับตัวได้แก่ Na^+ , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+}

3. ใช้ความร้อน, กระแสไฟฟ้า, แรงกล พลังงานเหล่านี้สามารถทำลายพลังงานที่รักษาอนุภาคยางให้แขวนลอยอยู่ได้เมื่อมีกำลังสูงกว่า Brownian movement และสูงกว่าแรงผลักระหว่างอนุภาคของยางมีผลให้อนุภาคยางมาเกาะรวมกันจับตัวเป็นก้อน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ก็ใช้แรงกล คือ การหมุนของใบพัด หมุนจนให้น้ำยางจับตัวกันเร็วขึ้น

4. เติม เอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH) หรือ อะซิโตน สารเหล่านี้เป็นสารที่ชอบน้ำ (hydrophilic molecules) จึงทำลายสภาพของชั้น โมเลกุลน้ำที่ห่อหุ้มอนุภาคยางได้ทำให้น้ำยางเกิดจับตัว

การเก็บรักษาน้ำยาง

ทันทีที่น้ำยางสดไหลออกจากต้นยาง จะปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ บนรอยกรีดยาง เปลือกต้นยาง และในถ้วยรับน้ำยาง เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญในน้ำยางโดยอาศัยสารประกอบพวก น้ำตาลและคาร์โบไฮเดรตในน้ำยางเป็นอาหารและสร้างกรดขึ้น โดยเฉพาะกรดที่มีโมเลกุลสั้น สามารถระเหยได้ (Volatile fatty acid-VFA) สภาพความเป็นกรดจะทำลายโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาค ยางอยู่ น้ำยางเริ่มเปลี่ยนแปลงโดยมีความหนืดขึ้นและจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆที่ชาวบ้านเรียกเกิดเม็ดพริก

น้ำยางจะเกิดเป็นเม็ดพริกและนำไปสู่การจับตัวในเวลาไม่กี่ชั่วโมงหลังการกรีดยางการจับตัว ที่เกิดธรรมชาตินี้จะเกิดขึ้นหรือเร็วเพียงใดขึ้นกับสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ และคุณสมบัติความคงตัวของยางแต่ละพันธุ์ เป็นต้น ดังนั้น เพื่อป้องกันมิให้น้ำยางจับเป็นก้อนเวลาที่ต้องการหรือเพื่อให้ น้ำยางคงสภาพดีพร้อมที่ใช้ผลิตยางคุณภาพดี จึงจำเป็นต้องเดิมสารเคมีรักษาน้ำยางไว้

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสารเคมีที่ใช้เก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำยางแผ่นเท่านั้น ซึ่งมี จุดประสงค์จะเก็บรักษา น้ำยางสดไว้ในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมง (ไม่ถึงค้างคืน) สารเคมีที่จะเป็น ตัวรักษาให้น้ำยางคงสถานะเป็นของเหลวควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. ควรทำลายหรือกีดขวางปฏิกิริยาของบักเตรีได้
2. ควรส่งเสริมสถานะการเป็นสารคอลลอยด์ของน้ำยาง โดยการเพิ่มประจุและเพิ่มพลังงาน ระหว่างอนุภาคยางกับส่วนที่เป็นน้ำ (Rubber-water interface) และเนื่องจากในขณะที่น้ำยางออกจาก ต้นยาง ชั้นของสาร โปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางอยู่มีฤทธิ์เป็นด่าง (alkali) ฉะนั้นสารที่รักษาสภาพ น้ำยางจึงควรเพิ่ม pH ให้กับน้ำยาง นั่นคือสารรักษาน้ำยางควรเป็นด่าง
3. ควรเป็นสารที่ทำให้พวกอนุมูลของโลหะหนักไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจะโดย การกีดกันการเกิดปฏิกิริยา หรือโดยการทำให้เกิดการตกตะกอนเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำก็ได้ ความต้องการทำให้อนุมูลของโลหะ ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยานั้นมีเหตุผล 2 ประการ คือประการแรก อนุมูลของโลหะเป็นตัวการสำคัญในการเจริญอยู่ได้ของพวกจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้น้ำยางจับตัวเอง และประการที่สองอนุมูลดังกล่าวโดยเฉพาะอนุมูลของแมกนีเซียมก่อให้เกิดการเสียสภาพของน้ำยาง
4. นอกจากคุณสมบัติ 3 ประการดังกล่าวข้างต้นแล้ว สารรักษาสภาพของน้ำยาง ควรมี คุณสมบัติ ที่ไม่เป็นพิษต่อทั้งคนและทั้งเนื้อยาง ไม่ควรทำให้สีของน้ำยางหรือสีของยางที่แห้งแล้ว เปลี่ยนแปลง ไม่ควรมีกลิ่นรุนแรงและไม่ควรก่อให้เกิดปัญหาย่างยากต่อ ขบวนการนำน้ำยางไป แปรรูปเพื่อใช้งาน ประการสุดท้ายคือควรมีราคาถูกและ ขนย้ายได้สะดวกด้วย

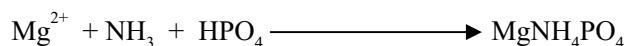
ชนิดของสารเคมีเก็บรักษาน้ำยาง

การถนอมน้ำยางเพื่อนำไปแปรรูปเป็นยางแผ่น ควรคำนึงถึงลักษณะการเกิดการจับตัวของยางว่าเกิดเร็ว หรือช้า ซึ่งขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม, ธรรมชาติของน้ำยางเอง และสารเคมีที่ใช้เก็บรักษาน้ำยาง สารเคมีที่ใช้เก็บรักษาน้ำยางมีหลายชนิดดังนี้

1. แอมโมเนีย (Ammonia)

แอมโมเนียเป็นสารที่นิยมใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางมาช้านาน เพราะสะดวกในการใช้และราคาถูก นำมาใช้ในน้ำยางโดยเตรียมเป็นสารละลายเข้มข้น 10-15% แอมโมเนียทำหน้าที่ต่าง ๆ ในน้ำยางสรุปได้ดังนี้

- 1) ทำหน้าที่เป็นตัวทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยแอมโมเนียจะมีประสิทธิภาพทำลายจุลินทรีย์ได้ดีมากหากเติมลงในน้ำยาง โดยเติมลงในน้ำยางในปริมาณมากกว่า 0.35% ต่อน้ำหนักน้ำยางทันทีที่น้ำยางถูกกรีดออกจากต้น
- 2) แอมโมเนียเพิ่มความเป็นด่าง เนื่องจากแอมโมเนียมีฤทธิ์เป็นด่างจึงช่วยส่งเสริมความเป็นด่างของเซรัม ซึ่งก่อให้เกิดผลการส่งเสริมสถานะเป็นน้ำยางอยู่ได้
- 3) ตกตะกอนอนุมูลของโลหะ แอมโมเนียสามารถหยุดปฏิกิริยาอนุมูลของโลหะบางชนิดได้ โดยการเข้าทำปฏิกิริยาเกิดเป็นแอมมิน (ammine) เกิดตะกอนของไฮโดรเพอรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble hydroperoxides) กับอนุมูลแมกเนเซียม และแอมโมเนียยังสามารถทำให้เกิดตะกอนแมกเนเซียมฟอสเฟต เมื่อมีอนุมูลฟอสเฟตอยู่ในน้ำยาง



ตะกอนที่เกิดขึ้นนี้จะตกอยู่ก้นถังน้ำยางในรูปของตะกอน (Sludge) ที่รวมเอาพวกดินทราย สิ่งสกปรกตกตะกอนลงไปด้วย

ปริมาณแอมโมเนีย 0.1% - 0.3% สามารถเก็บรักษาน้ำยางสดได้หลายชั่วโมง ทำให้ไม่เกิดปัญหาขณะขนส่งน้ำยางเป็นระยะทางไกล แต่ปริมาณแอมโมเนียสูงเช่นนี้ทำให้สิ้นเปลืองกรดเพื่อแปรรูปเป็นยางแผ่นและทำให้ยางแผ่นมีสีคล้ำดำ

ในการทำยางแผ่นควรใช้แอมโมเนียระดับ 0.02-0.05% โดยเติมสารละลายแอมโมเนียลงในถ้วยรับน้ำยาง 2 - 3 หยด และที่เหลือใส่ในถังเก็บน้ำยาง ทั้งนี้เพื่อให้การใช้แอมโมเนียมีประสิทธิภาพรักษาน้ำยางตั้งแต่แรกกรีด นอกจากนี้อาจใช้แอมโมเนียร่วมกับสารอื่น เช่น กรดบอริก โดยใช้ในสัดส่วนแอมโมเนีย 0.03% ร่วมกับกรดบอริก 0.2-0.5% ปริมาณกรดบอริกที่ใช้ขึ้นอยู่กับความจำเป็นที่จะเก็บน้ำยางไว้นานเท่าใดกรดบอริกทำหน้าที่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และแอมโมเนียทำหน้าที่ให้ความเป็นด่างแก่น้ำยาง

2. โซเดียมซัลไฟท์ (Sodium Sulphite)

สารโซเดียมซัลไฟท์มีสูตรทางเคมี Na_2SO_3 เป็นสารที่ใช้ป้องกันไม่ให้น้ำยางแข็งตัวและสารละลายนี้มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน ๆ ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มประจุไฟฟ้าลบให้แก่ น้ำยาง ทำให้ น้ำยางไม่จับตัว มีลักษณะเป็นผงสีขาว ดังนั้นจะต้องเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้น 3% เสียก่อนจึงจะนำไปเติมลงในน้ำยางสด และจะเติมให้ได้ 0.03-0.05% น้ำยาง ประสิทธิภาพของสารโซเดียมซัลไฟท์เกิดเนื่องจากสารเคมีนี้จะสลายตัวให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งจะระงับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามสารเคมีตัวนี้จะไม่เสถียร ดังนั้นการเตรียมใช้จะต้องใช้เฉพาะต่อวันและจำเป็นต้องเก็บในที่เย็น ไม่ชื้น อากาศไม่ร้อน โดนแสงแดดไม่ได้ จะต้องปิดฝาปิดชิด เพราะความร้อนจะทำให้สารเคมีสลายตัว สารเคมีชนิดนี้เหมาะสำหรับถนอมน้ำยางสดที่เตรียมจะนำไปผลิตเป็นยางขาว เพราะจะทำให้ยางนี้มี สีขาวกว่าสารเคมีตัวอื่น อย่างไรก็ตามก็มีข้อจำกัดในการใช้ หากใช้มากเกินไป เช่น ใช้ Na_2SO_3 ถึงระดับ 0.08% - 0.1% อาจมีปัญหาต่อการใช้กรด ทำให้ยางจับตัว เพราะจะต้องใช้ปริมาณกรดจับตัวมากขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้ยางแห้งช้าและมีแผ่นเหนียว เนื่องจากซัลไฟท์ดูดความชื้นจากอากาศ

การเติมสารเคมี จะต้องเติมที่จุดรับน้ำยางสด หรือหากเป็นฤดูฝนน้ำยางจะเสียเร็วขึ้น ก็จำเป็นต้องเติมตั้งแต่อยู่น้ำยางก่อนจะกรีดยาง เพียงหยดลงในถ้วย 2-3 หยด เท่านั้น

พิชัย และคณะ ได้ทำการทดลอง การผลิตยางแผ่นโดยใช้ น้ำยางจาก 5 สายพันธุ์ผสมน้ำในอัตราส่วน 4 อัตราส่วน คืออัตราส่วน น้ำยาง : น้ำ 1 : 0, 1 : 1, 3 : 1, 3 : 2 เก็บข้อมูลเกี่ยวกับเวลาที่ใช้น้ำรูป ปรากฏว่าแต่ละอัตราส่วนให้ผลดังนี้ อัตราส่วน 1 : 0 (12.33 นาที), 3 : 1 (19.46 นาที), 3 : 2 (30.12 นาที), 1 : 1 (42.99 นาที) ตามลำดับ กล่าวคือ การทำยางแผ่นโดยไม่เติมน้ำจะใช้เวลาน้อยที่สุด

ในการผสมน้ำกรดกับน้ำยางของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้สกรูหมุนในกระบอกโลหะเป็น ตัวผสม ทำงานไม่ได้ผลดี เนื่องจากน้ำยางจับตัวทำให้สกรูหยุดหมุน ในการวิจัยครั้งนี้ได้เปลี่ยนวิธีการผสมเป็นใช้ใบพัดกวนในถังผสมและเทลงตะกอนภายใน 35 วินาที ซึ่งใช้ได้ผลดี

การรักษาสภาพน้ำยางสดก่อนเข้าสู่ขบวนการแปรรูปเป็นยางแผ่นจะพยายามไม่ใช้สารเคมี แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้ จะใช้แอมโมเนีย 0.1 - 0.3 % ในปริมาณที่น้อยที่สุด เพราะระบบต้องการเวลาในการจับตัวของแผ่นยางให้น้อยที่สุด

ในถังผสมจะมีการสะสมตัวของ Coagulum น้อย เนื่องจากน้ำยางจะใช้เวลาอยู่ในถังผสมไม่นานแต่เมื่อใช้ไปนาน ๆ อาจจะมีการสะสม ซึ่งอาจจะแก้ไขโดยการเคลือบถังผสมด้วยวัสดุที่น้ำยางไม่เกาะ หรือทำให้ผนังด้านในของถังผสมมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ เนื่องจากอนุภาคยางมีประจุไฟฟ้าเป็นลบประจุที่เหมือนกันจะผลักกันทำให้น้ำยางไม่เกาะผนังของถังผสม

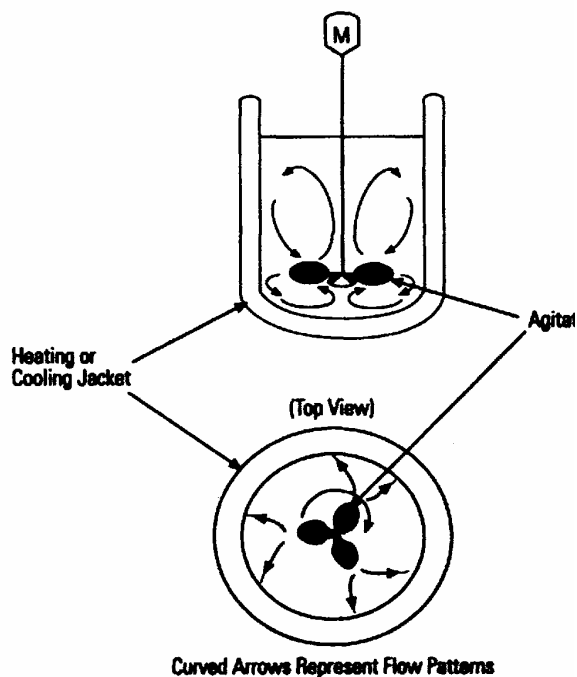
2.2 ระบบผสมน้ำยางและน้ำกรด

หัวใจของส่วนนี้คือการผสมกันของน้ำยางและน้ำกรดเพื่อให้เกิดการจับตัวของเนื้อยาง โดยต้องการให้การผสมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและทั่วถึง และไม่ต้องการให้มีฟองอากาศ เนื่องจากฟองอากาศ ทำให้ง่ายมีคุณภาพต่ำ ขายไม่ได้ราคา

การผสม (Mixing)

การผสม หมายถึง การที่วัตถุที่ต่างชนิดกันตั้งแต่ 2 ชนิดเป็นต้นไปเกิดการรวมตัวกันโดยมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอ เช่น การผสมกันของแก๊สในภาชนะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากการแพร่กระจายของโมเลกุลด้วยตัวเอง (self molecular diffusion) ส่วนในการผสมกันของของเหลวนั้นการแพร่กระจายของโมเลกุลด้วยตัวเองเป็นกระบวนการที่ช้า ดังนั้นเพื่อเป็นการช่วยให้การแพร่กระจายของโมเลกุลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจำเป็นต้องใช้ตัวกวนหมุน (rotating agitator) เพื่อเพิ่มพลังงานกลให้แก่ของเหลว หรือเรียกว่าเป็นการแพร่กระจายแบบบังคับ (forced diffusion)

การหมุนของตัวกวนในของเหลวทำให้เกิดกระแสนวน (eddy current) ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเร็วในของเหลว การผสมเกิดจากตัวกวนทำให้ของเหลวมีความเร็วสูงและถ่ายเทโมเมนตัมให้แก่ของเหลวส่วนที่อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ดังนั้นทำให้ของเหลวส่วนใหญ่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้นจึงเกิดการผสมกัน การผสมกันที่ดีนั้นต้องมีการถ่ายเทโมเมนตัมโดยทั่วถึง การเคลื่อนที่ของของเหลวในการผสมมีอยู่ 3 องค์ประกอบคือ การไหลในแนวรัศมี (radial flow) ออกจากตัวกวน การไหลในแนวแกน (axial flow) ขนานกับแกนของตัวกวน และการไหลเชิงมุม (angular flow) ซึ่งไหลขนานกับผนังของภาชนะ การไหล 2 ชนิดแรกเป็นการไหลแบบพึงประสงค์ทำให้มีการผสมกันที่ดี ส่วนการไหลเชิงมุมนั้นเป็นการไหลที่ไม่พึงประสงค์เนื่องจากของเหลวหมุนไปรอบ ๆ ของตัวกวนมีส่วนให้เกิดการผสมกันค่อนข้างน้อย ภาพแบบของการไหลทั้ง 3 ชนิดแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แบบของการไหลใน
ภาชนะที่มีตัวกวนหมุน
เพื่อให้เกิดการผสม

การไหลในการผสมโดยใช้ตัวกวนที่เป็นใบพัด (impeller) สามารถแบ่งได้เป็นการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) โดยพิจารณาจากค่าเรย์โนลด์สของใบพัด (Reynolds impeller number, Re) ซึ่งนิยามจาก

$$Re = \frac{\rho N_i D^2}{\mu} \quad (2-1)$$

โดยที่ ρ คือความหนาแน่นของของเหลวมีหน่วยเป็น kg/m^3 , N_i คือความเร็วรอบของใบพัดมีหน่วยเป็น rev/sec , D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดมีหน่วยเป็น m และ μ คือความหนืดของของเหลวมีหน่วยเป็น kg/m sec

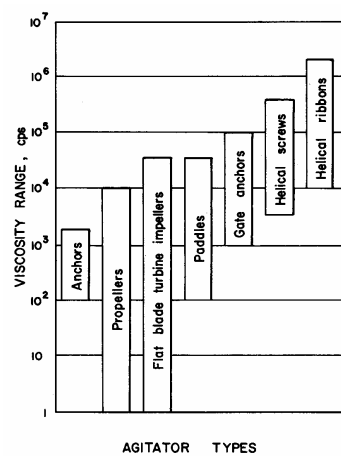
กรณี $Re \leq 10$ การไหลจะเป็นแบบราบเรียบซึ่งมีการไหลของโมเลกุลของเหลวเป็นชั้น ๆ อย่างมีระเบียบ

กรณี $Re > 10000$ การไหลจะเป็นแบบปั่นป่วนซึ่งเกิดการชนกันระหว่างกระเปาะของเหลวถี่มาก และเกิดกระเปาะของเหลวใหม่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัมตลอดเวลาและทั่วถึง จึงทำให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึง การไหลเป็นแบบไม่มีระเบียบแบบแผน อย่างไรก็ตามการไหลแบบนี้สามารถทำให้เกิดฟองอากาศภายในของเหลวได้

กรณี $10 < Re < 10000$ การไหลจะเป็นแบบทั้งราบเรียบและปั่นป่วนผสมกันอยู่

การออกแบบระบบของการผสม

ในการออกแบบถังหรือภาชนะ (vessel) จะมีช่องให้ใส่ของเหลวที่ต้องการผสมจากข้างบนของเหลวจะถูกผสมโดยการดึงจากส่วนล่างขึ้นมา โดยทั่วไปจะออกแบบให้ภาชนะมีก้นมนเพื่อหลีกเลี่ยงการไม่ผสมกันของของเหลวบริเวณมุม ส่วนตัวกวนนั้นจะเป็นใบพัดติดอยู่กับเพลาหมุนซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ลักษณะของใบพัดมีอยู่มากมายหลายชนิด ขึ้นอยู่กับความหนืดของของเหลว การเลือกชนิดของใบพัดตามความหนืดของของเหลวแสดงในภาพที่ 2.2 ส่วนชนิดของใบพัดต่างๆที่ใช้กันทั่วไปแสดงในตารางที่ 2.2



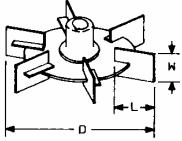
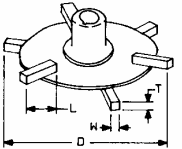
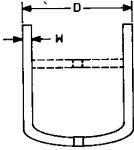
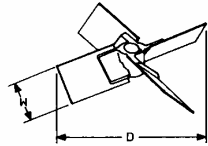
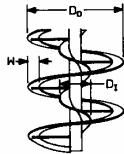
ภาพที่ 2.2 การเลือกชนิดของใบพัด
ตามความหนืดของ
ของเหลว

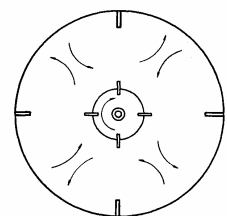
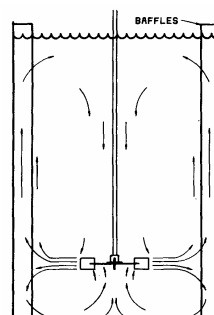
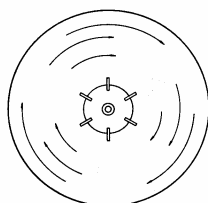
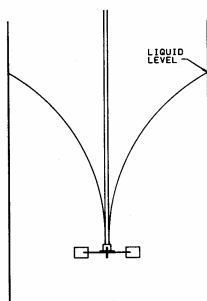
ในการออกแบบตัวกวนนั้นหากระดับของเหลวในภาชนะทรงกระบอกมีค่ามากกว่า 1.25 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางจะต้องเพิ่มจำนวนใบพัดโดยที่จำนวนใบพัดที่ต้องใช้สามารถคำนวณได้จาก

$$n = \frac{SG H_l}{D_T} \quad (2-2)$$

โดยที่ SG คือค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลว H_l คือระดับของเหลวในภาชนะ และ D_T คือเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะ ภาพที่ 2.3 แสดงการไหลของของไหลในภาชนะซึ่งตัวกวนซึ่งมีใบพัดหลายใบ ในกรณีนี้ระยะห่างระหว่างแต่ละใบพัดควรมีค่าประมาณ 1 ถึง 1.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด

ตารางที่ 2.2 ใบพัดชนิดต่าง ๆ

Number	Name	Description	
R-1	Flat blade	Vertical blades bolted to support disk	 $L=1/4D$ $W=1/50$ $DISC\ DIA.=2/3D$
R-2	Bar turbine	Six blades bolted/welded to top and bottom of support disk	 $L=1/4D$ $W=1/20D$ $T=1/20D$ $DISC\ DIA.=2/3D$
R-3	Anchor	Two blades with or without cross arm	 $W=1/10D$
A-1	Propeller three blades	Constant pitch, skewed-back blades	 1.5 PITCH RATIO
A-2	Axial flow four blades	Constant angle at 45°	 $W=1/50$ $\alpha=45^\circ$
A-3	Axial flow three blades	Variable blade angle, near constant pitch	 BLADE ANGLE AND WIDTH DECREASES HUB TO TIP
A-4	Double spiral	Two helical flights, pitch = $\frac{1}{2}D_0$	 $D_0 = (OUTER)$ $D_1 = 1/3D_0$ $W = 1/6D_0$



ภาพที่ 2.3 การเกิดวอร์เทกซ์ในถังกวนที่ไม่มีแผ่นกั้น

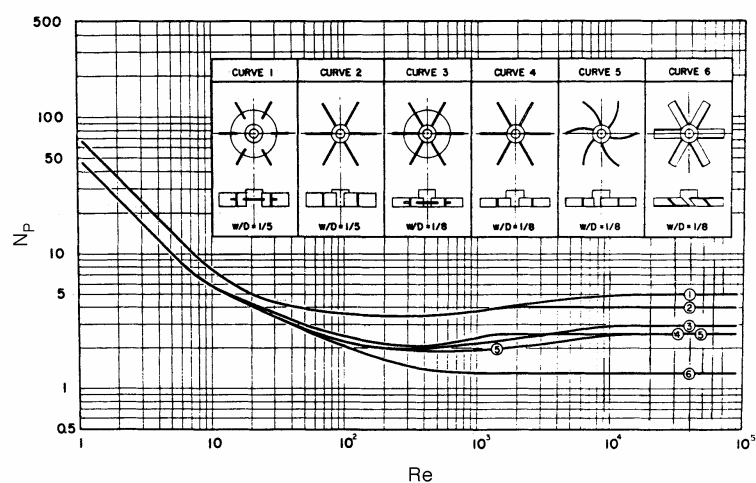
ภาพที่ 2.4 ถังกวนที่มีแผ่นกั้นจำนวน 4 แผ่น

สำหรับของเหลวที่มีความหนืดต่ำในการผสมจะเกิดวอร์เทกซ์ (vortex) ขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2.3 ซึ่งขนาดของวอร์เทกซ์นี้จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของการหมุน ทำให้ประสิทธิภาพของการผสมลดลง วิธีกำจัดวอร์เทกซ์ทำได้โดยการติดแผ่นกั้น (baffle) กับภาชนะดังแสดงในภาพที่ 2.4 โดยทั่วไปจะติดตั้งแผ่นกั้นจำนวน 4 แผ่น แต่ละแผ่นจะมีความกว้าง $1/12$ ถึง $1/10$ ของเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะ

ในการคำนวณหากำลังงานที่ต้องใช้ในการขับใบพัดเราสามารถพิจารณาจากสมการ

$$\phi = \frac{N_p}{Fr^b} = C Re^a \quad (2-3)$$

โดยที่ ϕ คือฟังก์ชันกำลัง (power function) $N_p = P/(\rho N_I^3 D^5)$ คือค่ากำลัง (power number) $Fr = DN_I^2/g$ คือค่าฟรูด (Froude number) และ Re คือค่าเรย์โนลด์นิยามจากสมการ (3-1) ในที่นี้ P คือกำลังงานที่ต้องใช้ในการขับใบพัด ในกรณีของถังที่มีแผ่นกั้นนั้น b มีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากไม่มีวอร์เทกซ์ แรงโน้มถ่วงจึงไม่มีความสำคัญ ดังนั้น $\phi = N_p$ ภาพที่ 2.5 และตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ทางเอมพิริคัลของค่ากำลังและค่าเรย์โนลด์ของใบพัดชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังและค่าเรย์โนลด์ของใบพัดชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังและค่าเรย์โนลด์ของใบพัดชนิดต่าง ๆ

Type	Source	$\frac{D^b}{w}$	n	$\frac{D}{T}$	$\frac{C}{D}$	Baffles (No.) T/w_b	ϕ at Reynolds No. of		
							5	300	10^5
Flat Blade (4)*	(B6)	8.0	6	0.33	1	(4) 12	10.0	2.1	2.6
Flat Blade (2)*	(B6)	5.0	6	0.33	1	(4) 12	14.0	3.4	4.0
Disk, $D/l = 4$ (1)*	(B6)	5.0	6	0.33	1	(4) 10	14.0	3.4	5.0
Disk, $D/l = 2$ (3)*	(B6)	8.0	6	0.33	1	(4) 12	10.0	2.0	3.0
Curved Blade (5)*	(B6)	8.0	6	0.33	1	(4) 12	10.0	1.9	2.6
Curved Blade Disk	(R6)	5.0	6	0.22–0.31	1	(4) 10	14.0	3.4	4.8
Pitched Blade, 45° (6)*	(B6)	8.0	6	0.33	1	(4) 12	10.0	1.5	1.3
Arrowhead	(R6)	5.0	6	0.31–0.47	1	(4) 10	14.2	3.4	3.9
Arrowhead	(O4)	—	6	0.44	—	(4) 8.7	—	—	2.4
Flat Blade	(M1)	4.1	2	0.23–0.37	0.35–2.5	(4) 8 & 10	—	—	1.83
Flat Blade	(M2)	3.6	2	0.31–0.52	0.55	(4) 11	—	—	2.32
Flat Blade	(O1)	5.0	2	0.36–0.63	0.5–1.2	(3) 21	9.7	—	1.94
Flat Blade	(O1)	5.0	6	0.36–0.63	0.5–1.2	(3) 21	17.4	—	4.1
Flat Blade	(O1)	8.0	6	0.36–0.63	0.5–1.2	(3) 21	14.5	—	2.5
Flat Blade	(N3)	1.5	2	0.3	—	(4) 15	18	7.0	8.8
Flat Blade	(N3)	1.5	2	0.5	—	(4) 15	10	4.2	6.0

* Refers to curves on Fig. 7.

^b For pitched turbines, based on horizontally projected w .

2.3 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติในสายงานการผลิต ทั้งในระบบการผลิตขนาดเล็ก ขนาดกลางและการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การใช้งานคอมพิวเตอร์ในระบบเหล่านี้ส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพสูงขึ้น ลดระยะเวลาของการผลิต ลดความสูญเสียของวัตถุดิบ ลดการใช้แรงงาน ตลอดจนลดความเสี่ยงในการทำงาน รูปแบบของคอมพิวเตอร์ที่มีใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัตินั้นอาจอยู่ในรูปของระบบควบคุมแบบฝังตัว (Embedded System หรือ Microcontroller Based System) หรือเป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่ถูกออกแบบมาเฉพาะงานนั้นๆ หรืออาจเป็นระบบคอมพิวเตอร์อเนกประสงค์ที่ถูกติดตั้งโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องจักร

การทำยางแผ่นจัดเป็นกระบวนการที่มีขั้นตอนการทำงานที่แน่นอนและตายตัวทั้งในด้านของการกำหนดส่วนผสมระหว่างวัตถุดิบ ระยะเวลาของการผสมระหว่างองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นการสร้างเครื่องผลิตยางแผ่นอัตโนมัติภายใต้การควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์จึงเป็นแนวทางที่เป็นไปได้

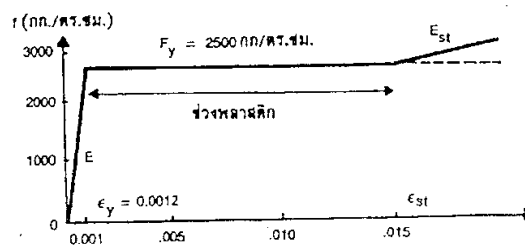
โครงการนี้เลือกใช้ระบบควบคุมแบบฝังตัวในกลุ่มของ PLC (Programmable Logic Controller) เป็นหลักในการควบคุมทำงานของแต่ละส่วนของเครื่อง ซึ่งระบบนี้มีจุดเด่นคือ เป็นระบบควบคุมในกลุ่มนี้มีมาตรฐานของ protocol ที่ใช้ในการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องจักรและ/หรือเครื่องกล โดยที่ protocol เหล่านี้สามารถใช้ในการเชื่อมต่อระหว่าง PLC ที่มาจากบริษัทผู้ผลิตต่าง ๆ กันได้ นอกจากนั้นการกำหนดรูปแบบการทำงานของ PLC ยังสามารถทำได้โดยง่ายใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ในระดับสูง (High level language) ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดเช่นเดียวกัน วิศวกร ผู้ออกแบบระบบสามารถทดสอบและปรับเปลี่ยนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบได้ตามความเหมาะสม หลังจากที่ได้โปรแกรมที่แน่นอนแล้วระบบโดยรวมก็สามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติโดยปราศจากการควบคุมของคอมพิวเตอร์ จุดเด่นอีกประการของ PLC คือ ระบบควบคุมมีขนาดเล็ก ต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำและราคาถูก ตลอดจนสามารถหาซื้อได้ง่าย

2.4 ทฤษฎีการออกแบบเครื่อง

ทฤษฎีโครงสร้าง

1. พฤติกรรมการรับแรง ในการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงค้ดของคานามีข้อสมมติฐานดังนี้

1. คานประกอบด้ว้วัสดุชนิดเดียวกันตลอด
2. ความเครียดมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแนวแกนสะเทิน กล่าวคือ ภายใต้แรงค้ด หน้าค้ดที่เป็นแนวราบยังค้งเป็นแนวราบหลังการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง
3. ภายใต้แรงค้ดและแรงอัด ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงกับความเครียด สามารถแทนได้ด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงสองเส้น



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของ f-E

ที่มา : ทักขิณ พฤติกรรมการออกแบบโครงสร้างเหล็ก (2536) น. 120

2. โมเมนต์ค้ดสูงสุด

ค่าโมเมนต์ค้ดสูงสุด (M) สามารถพิจารณาได้ BMD หรือ ทฤษฎีวิเคราะห์โครงสร้างในรูปสมการ

$$M = C_{dm} WL$$

หน่วยวัดแรงค้ด

$$f_b = \frac{MC}{I} \quad \text{หรือ} \quad f_b = \frac{M}{S}$$

โดยที่

$$S = \frac{I}{C} \quad \text{และ} \quad S = \frac{M}{f_b}$$

f_b = หน่วยแรงค้ด (bending stress) ที่เกิดขึ้นที่ผิวนอกสุด N/mm^2

M = โมเมนต์ค้ด (bending moment) $N\cdot mm$

I = โมเมนต์อินเนอร์เซีย (moment of inertia) รอบแกน N.A.(Neutral Axis) mm^4

C = ระยะตั้งฉากจาก N.A. ไปยังผิวนอกสุด mm

S = โมดูลัสหน้าค้ด (section modulus) mm^3

3. แรงเฉือน

แรงที่กระทำขนานกับหน้าตัดคาน เรียกว่า แรงเฉือน สูตรที่ใช้ในการคำนวณแรงเฉือน คือ

$$F_v = \frac{V}{At}$$

โดยที่ A = เนื้อที่หน้าตัด mm²
 t = ความหนา mm

สำหรับหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้กำหนดโดยมาตรฐาน ว.ส.ท. มีค่าดังนี้

$$F_v = 0.40 F_y$$

โดยที่ F_v = หน่วยแรงที่ยอมให้ N/mm²
 F_y = หน่วยแรงคราก N/mm²

ว.ส.ท. = วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

4. การโก่ง

สมการที่ เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าการโก่งของคาน ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\Delta = \alpha d \frac{WL^3}{EI}$$

โดยที่ Δ = ค่าการโก่ง mm
 α_d = ค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงกระทำภายนอกและสภาพการรองรับที่ปลาย
 W = แรงกระทำภายนอก N
 L = ความยาวคาน mm
 E = โมดูลัสยืดหยุ่น N/mm²
 I = โมเมนต์อินเนอร์เซีย mm⁴

ทฤษฎีส่งกำลัง

สายพาน

การส่งกำลังทางกลจากเพลานหนึ่งไปยังเพล่อีกอันหนึ่ง อาจทำได้สามวิธี คือ โดยใช้เฟือง ใช้สายพาน หรือใช้โซ่ การส่งกำลังโดยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ (flexible) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลาทที่อยู่ห่างกันมาก ๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่า เป็นต้น แต่ก็มีข้อเสียคือ อัตราทดไม่แน่นอนนักเนื่องมาจากการสลิป (slip) และการครีพ (creep) ของสายพาน และต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลารหรือปรับแรงตึงในสายพานระหว่างใช้งาน นอกจากนั้นยังไม่อาจใช้งานที่มีอัตราทดสูงมากได้ ซึ่งมักใช้กับอัตราทดไม่เกิน 5

ชนิดและวัสดุสายพาน

สายพานแบ่งออกเป็นสี่ชนิดตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือ สายพานแบน (flat belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ้ม (V-belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลม (ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และไทม์มิงเบลท์ (timing belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่จะทำเป็นร่องคล้ายฟันเพื่อลดความยาวของสายพาน สายพานแต่ละชนิดจะมีลักษณะในการใช้งานต่างกัน

วัสดุที่ใช้ทำสายพานจะต้องมีค่าความต้านแรงสูง (strength) สามารถบิดตัวได้ดี และจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสสูง

วัสดุที่ใช้ทำสายพานซึ่งใช้งานกันมากก็คือหนัง (oak-tanned leather) แต่ถ้าเป็นการใช้งานเป็นพิเศษ เช่นอยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้น มีไอของสารเคมี หรือมีน้ำมันอยู่ด้วย ก็มักใช้สายพานแบบ chrome leather เพื่อให้สายพานมีอายุการใช้งานได้นานพอสมควร จึงมักใช้ค่าความเค้นในการออกแบบสายพานต่ำกว่า ความต้านแรงดึงสูงสุดของสายพานมาก โดยทั่วไปจะใช้ค่าความปลอดภัยประมาณ 10 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานหนังจะมีค่าประมาณ 0.40 – 0.50 และความเร็วใช้งานของสายพานควรจะอยู่ในช่วง 1000 – 2000 m/min

สายพานอีกชนิดหนึ่งคือสายพานยาง (rubber belts) สายพานประเภทนี้จะมีฝ้ายหรือผ้าใบเป็นไส้ภายในและมียางหุ้มอยู่ภายนอก ยางที่ใช้หุ้มจะเป็นยางที่อบด้วยกำมะถันในอุณหภูมิสูง (vulcanised) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความต้านแรง สายพานยางเหมาะสำหรับใช้กับงานที่มีน้ำมันหรือแสงแดด เมื่อเปรียบเทียบกับสายพานหนังแล้ว สายพานยางจะมีราคาถูกกว่า แต่อายุใช้งานสั้นกว่า สายพานยางทนต่อสภาพบรรยากาศในการใช้งานได้ดีกว่าสายพานหนัง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสายพานยางจะมีค่าประมาณ 0.30 – 0.40 และสามารถรับแรงดึงได้ประมาณ 20 N ต่อชั้น ต่อความกว้างสายพาน 1 mm

สายพานบาลาตา (balata belts) เป็นยางคล้ายสายพานยาง แต่ไม่ต้องผ่านกรรมวิธีอบด้วยกำมะถัน ทนต่อการกรดและความชื้นได้ดี แต่อุณหภูมิใช้งานไม่ควรเกิน 40°C สายพานชนิดนี้มีความต้านแรงมากกว่าสายพานยางประมาณ 25%

สายพานผ้าถัก (textile belts) ทำจากฝ้ายหรือผ้าใบซ้อนกันเป็นชั้น ๆ แล้วยึดติดกันจากนั้นจึงเคลือบด้วยน้ำมันลินซีด (linseed) เพื่อให้สายพานกันน้ำได้ มักใช้กับงานประเภทขั้วคราว

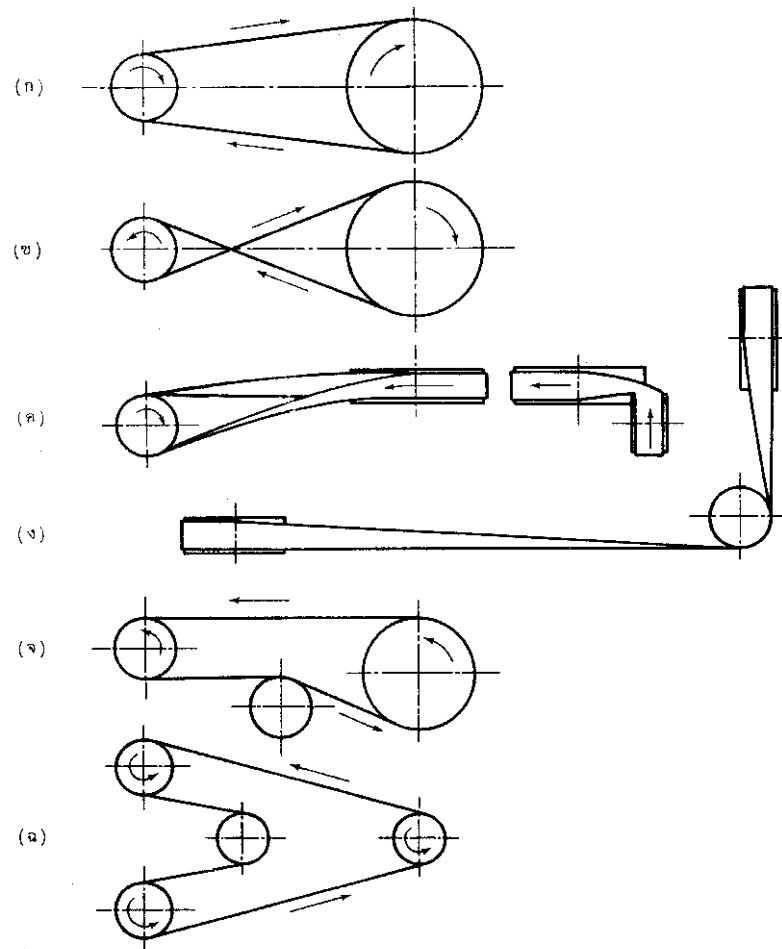
สายพานทุกชนิดที่กล่าวมานี้จะยึดตัวได้ดี ดังนั้นเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงจะยึดตัวทำให้เกิดการสลลป บนล้อสายพาน (pulley) ในทางปฏิบัติจึงมักจะยึดสายพานให้ตึงไว้ก่อนใช้งาน ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการสลลปของสายพาน

ลักษณะการขับด้วยสายพาน

เนื่องจากคุณสมบัติในการอ่อนตัวของสายพาน จึงอาจจัดลักษณะการขับของสายพานได้ต่างๆ กัน ลักษณะทั่วไปที่นิยมใช้ในการขับด้วยสายพานดูได้จากภาพที่ 2.7

เมื่อต้องการขับเพลลาที่อยู่ขนานกัน และต้องการให้เพลลาทั้งสองหมุนในทิศทางเดียวกัน ก็จะทำให้ได้ในลักษณะดังรูป 2.7 (ก) ซึ่งเรียกว่า Open drive และถ้าเพลลาอยู่ห่างกันมากควรจะให้สายพานด้านล่างตึง (tight) และด้านบนหย่อน (slack) แต่ถ้าต้องการให้เพลลาทั้งสองหมุนสวนทางกันก็ทำได้โดยใช้วิธีดังรูป 2.7 (ข) ซึ่งเรียกว่า Crossed drive แต่การขับในลักษณะนี้จุดที่สายพานไขว้กันจะทำให้สายพานตึงเกินไป ทำให้สายพานเกิดการสึกหรอมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันมิให้สายพานสึกหรอมากเกินไปจึงควรจะให้จุดศูนย์กลางของล้อสายพานอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่าสี่สิบเท่าของความกว้างสายพาน และทำงานที่ความเร็วสายพานไม่เกิน 15 m/s

การขับแบบ Quarter turn drive ดังรูป 2.7 (ค) ใช้เมื่อเพลลาทั้งสองตั้งฉากกัน และเพื่อป้องกันไม่ให้สายพานหลุดออกจากล้อสายพานในขณะใช้งาน จึงต้องใช้ล้อสายพานที่กว้างเพียงพอ โดยทั่วไปมักจะต้องการกว้างมากกว่าความกว้างสายพานไม่น้อยกว่า 1.4 เท่า และก่อนใช้งานจะต้องทดสอบก่อนเสมอ ส่วนการขับแบบ Mule drive ดังรูป 2.7 (ง) ใช้เมื่อเพลลาทั้งสองตั้งฉากกัน แต่ไม่อาจจัดในลักษณะ Quarter turn drive ได้ หรือเมื่อต้องการให้หมุนกลับทิศทางได้



ภาพที่ 2.7 ลักษณะการขับด้วยสายพาน (ก) แบบ Open drive (ข) แบบ Crossed drive
(ค) แบบ Quarter turn drive (ง) แบบ Mule drive (จ) แสดงการขับโดยใช้ล้อช่วย
(ฉ) แบบ Reverse drive

เมื่อไม่สามารถใช้ขับในลักษณะ Open drive ได้ เพราะส่วนโค้งสัมผัส (arc of contact) บนล้อสายพานเล็กมีค่าน้อยเกินไป (เพราะอัตราทดสูง และล้อสายพานอยู่ใกล้กันมาก) หรือเมื่อไม่อาจทำให้สายพานตึงโดยวิธีอื่น ก็อาจทำได้โดยใช้ล้อช่วย (idler) ดังรูป 2.7 (จ) เป็นการช่วยให้สายพานสัมผัสกับล้อมากขึ้นซึ่งเพิ่มกำลังที่ส่งได้ด้วย ส่วนการขับแบบ reverse drive ใช้เมื่อต้องการส่งกำลังไปยังเพลาหลาย ๆ อันพร้อมกัน

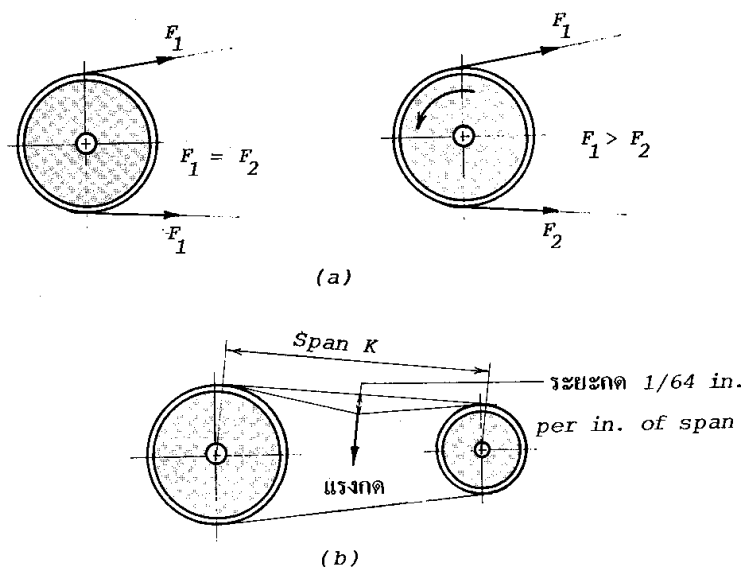
สายพานกำลัง

สายพานสามารถถ่ายทอดกำลังระหว่างเพลา 2 เพลาได้โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างสายพานกับมู่เล่ อัตราส่วนความเร็วรอบของมู่เล่หนึ่งที่ถ่ายทอดกำลังด้วยสายพานคือ

$$m_{\omega} = \frac{D_{p,2}}{D_{p,1}} = \frac{rpm_1}{rpm_2} \quad (2-4)$$

โดย $D_{p,1}$ และ $D_{p,2}$ คือ pitch diameters ของมู่เล่ pitch diameter ของมู่เล่คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ pitch cylinder จุดเซนทรอยด์ของพื้นที่หน้าตัดของส่วนเสริมความแข็งแรงของสายพาน เช่น ลวดเหล็กเหนียวหรือไฟเบอร์กลาสหรือจุดเซนทรอยด์ของพื้นที่หน้าตัดสายพาน (ในกรณีที่ไม่มีส่วนเสริมความแข็งแรง) จะอยู่บนผิวของ pitch cylinder

ในขณะที่อยู่หนึ่งความตึงของสายพานทั้งสองข้างของมู่เล่จะมีค่าเท่ากันคือ $F_1 = F_2$ และเมื่อมีการหมุนและถ่ายทอดกำลัง F_1 จะมีค่ามากกว่า F_2 ดังภาพที่ 2.8 (a) การตั้งความตึงของสายพานโดยทั่วไปจะตั้งไว้ที่ระยะกด $1/64$ นิ้วต่อนิ้วของช่วงเพลา (spam, K) ดังภาพที่ 2.8 (b)



ภาพที่ 2.8 ความตึงในสายพานและการตั้ง

สำหรับขนาดของมอเตอร์ที่กำหนด การใช้มู่เล่ที่เล็กลงจะทำให้แรงกด F_1 เพิ่มขึ้น เป็นผลให้โมเมนต์ดัดบนเพลามอเตอร์และภาระของรอกลื่นในมอเตอร์เพิ่มขึ้น

การคำนวณหาความยาวของสายพาน

ความยาวของสายพานเปิด สามารถคำนวณหาค่าประมาณที่ใกล้เคียงมากจากสมการ

$$L = 2C + 1.57 (D_2 - D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} \quad (2-5)$$

โดย L = pitch length ของสายพาน

C = ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของมู่เล่

D_1, D_2 = pitch diameter ของมู่เล่ตัวเล็กและตัวใหญ่ตามลำดับ

Dodge Manufacturing Company ได้แนะนำให้ใช้ระยะ C สำหรับสายพานวีด้วยค่าที่มาก ระหว่าง $(D_2 + 3D_1)/2$ และ D_2 สายพานวีโดยส่วนใหญ่จะทำขึ้นเป็นชั้นเดียว จึงมีขนาดให้เลือกได้จำกัด และเนื่องจากระยะ C มักเป็นค่าที่ถูกบังคับ ดังนั้น การเลือกใช้จึงต้องพิจารณาถึงขนาดสายพานที่มีจำหน่าย จำนวนสายพาน ขนาดมู่เล่มาตรฐาน และความยาวสายพานร่วมกันเพื่อให้เป็นไปตามที่ต้องการและเกิดความประหยัด

การครีฟและการสลิป

ความแตกต่างระหว่างการครีฟและการสลิปของสายพานจะเห็นได้อย่างชัดเจน โดยการพิจารณาการขับเคลื่อนด้วยสายพาน เมื่อสายพานส่วนหนึ่งเคลื่อนที่เข้าหาล้อขับ สายพานจะเคลื่อนที่ไปตามส่วนโค้งสัมผัสบนล้อสายพาน ด้วยความเร็วที่เท่ากับความเร็วขอบของล้อสายพาน (ถ้าแรงดึงในสายพานมากเพียงพอที่จะเอาชนะแรงภายนอกได้) เมื่อสายพานส่วนนี้ไถลออกจากล้อสายพาน แรงดึงในสายพานจะลดลงเท่ากับแรงดึงในด้านหย่อนเป็นผลให้สายพานหดสั้นลง ในทำนองเดียวกันสายพานที่เคลื่อนที่ตามออกไปก็จะหดสั้นลงด้วย ดังนั้นความเร็วจริงของสายพานที่เคลื่อนที่ออกจากล้อขับจะมีค่าน้อยกว่าความเร็วขณะเข้าสู่ล้อสายพาน ในทำนองเดียวกันความเร็วของสายพานจะเพิ่มขึ้นในช่วงส่วนโค้งสัมผัสของล้อตามเมื่อแรงดึงในสายพานเพิ่มขึ้นเท่ากับแรงดึงในด้านตึง และสายพานที่เคลื่อนที่ตามออกมา ก็จะยืดตัวจนมีความยาวเท่าเดิม ปรากฏการณ์ที่สายพานเปลี่ยนความเร็วเป็นความเร็วที่ช้าลงบนล้อขับ และเพิ่มความเร็วบนล้อตาม เรียกว่าการครีฟ (creep)

เมื่อแรงภายนอกเพิ่มขึ้นโดยไม่เพิ่มแรงดึงขั้นต้นในสายพาน สายพานทุกส่วนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดึงในตัวสายพานเมื่อเริ่มเข้าสู่โค้งสัมผัส ถ้าแรงภายนอกมากเพียงพอส่วนโค้งที่เกิดการครีฟอาจจะเท่ากับส่วนโค้งสัมผัส ดังนั้นจึงเกิดการสลิป (slip) ขึ้น การสลิปอาจเกิดขึ้นบนล้อสายพานเพียงล้อเดียว ส่วนการเกิดครีฟจำเป็นจะต้องเกิดขึ้นเท่ากันบนล้อสายพานทั้งสองล้อ

การออกแบบการจับด้วยสายพานที่ดี เมื่อทำงานในสภาวะปกติไม่ควรมีการสลิปแต่การครีฟจะเกิดขึ้นเสมอไม่ว่าจะเป็นสายพานชนิดใด การเกิดครีฟและสลิปทำให้สูญเสียกำลังงานและความเร็ว แต่การสูญเสียที่เกิดจากการครีฟมีค่าน้อยมาก การสลิปอาจทำให้เกิดความร้อนมากเพียงพอที่จะทำให้ผิวหน้าของสายพานเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรระมัดระวังไม่ให้เกิดการสลิปด้วยวิธีการดึงสายพานให้ตึงเพียงพอก่อนการใช้งานเพื่อจัดการการสลิป

เมื่อให้ d และ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อขับและล้อตาม n_1 และ n_2 เป็นความเร็วรอบของล้อขับและล้อตามแล้ว

ความเร็วรอบของล้อขับ v_1 มีค่าเท่ากับ

$$v_1 = \pi d n_1 \quad (2-6)$$

ความเร็วรอบของล้อตาม v_2 มีค่าเท่ากับ

$$v_2 = \pi D n_2 \quad (2-7)$$

เมื่อไม่มีการสลิปสายพานบางมากและไม่มีการยืดแล้ว $v_1 = v_2$ อัตราทด m_ω เท่ากับ

$$m_\omega = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D}{d} \quad (2-8)$$

แต่เมื่อมีการสลิป

$$v_2 = \pi D n_2 = v_1 \frac{100 - \phi}{100} \simeq 0.985 v_1 \quad (2-9)$$

$$\text{โดยที่การสลิป } \phi = 100 \frac{v_1 - v_2}{v_1} \simeq 1 \text{ ถึง } 2\% \quad (2-10)$$

$$\text{อัตราทดคือ } m_\omega = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D}{d} \frac{100}{100 - \phi} \simeq 1.015 \frac{D}{d} \quad (2-11)$$

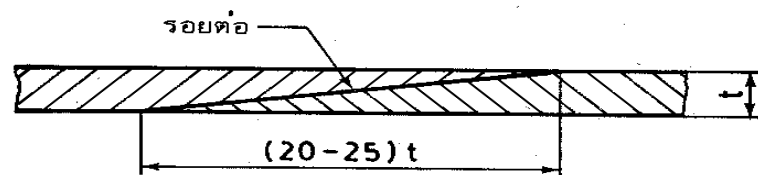
ซึ่งจะเห็นว่าผลจากการสลิป 1 ถึง 2% จะไม่ทำให้อัตราทดเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ในทางปฏิบัติจึงถือว่าใช้งานได้อย่างถูกต้องเพียงพอ แต่จะต้องระวังมิให้มีการสลิปมากกว่านี้

การต่อสายพาน

ในการใช้งานจำเป็นจะต้องต่อปลายสายพานเข้าด้วยกัน เมื่อสายพานมีรอยต่อจะทำให้ความต้านแรงของสายพานลดลง ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีที่ใช้ในการต่อสายพาน ดังต่อไปนี้

การต่อด้วยกาว (cementing) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในทางปฏิบัติ เป็นวิธีที่ประหยัดและปลอดภัยที่สุดในการต่อสายพาน ซึ่งมีข้อดี คือ

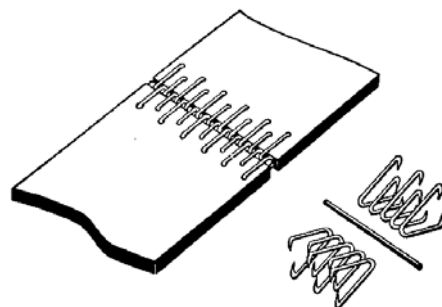
1. ปลอดภัยและไว้วางใจได้มาก ใช้งานได้นาน และไม่ต้องดูแลมากเหมือนกับการต่อด้วยการยึดทางกล (mechanical fasteners)
2. ไม่มีอันตรายจากการขาด
3. รอยต่อเรียบเหมือนกับสายพานปกติไม่มีเสียงดังเมื่อเคลื่อนที่ผ่านล้อสายพาน และล้อช่วย
4. รอยต่อแข็งแรง ซึ่งอาจทำให้ใช้จำนวนชั้นสายพานลดลง
5. ไม่มีความเค้นดัดในอุปกรณ์ต่อสายพาน เมื่อเคลื่อนที่ผ่านล้อสายพานเล็ก



ภาพที่ 2.9 การต่อด้วยกาว

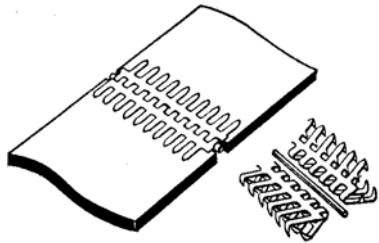
การต่อด้วยการยึดทางกลที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไป แบ่งออกเป็นสามชนิด ซึ่งจะกล่าวถึงแนวทางในการเลือกใช้วิธีการยึดต่อไป แต่ในการเลือกใช้ขนาดและวิธีการใช้งานของอุปกรณ์ต่อสายพาน ควรจะได้ปรึกษาบริษัทผู้ผลิตด้วย การต่อด้วยการยึดทางกลประกอบด้วย

1. การใช้ลวดถัก (wire lacing) โดยใช้ลวดกดลงไปบนปลายสายพานให้ลวดโผล่เป็นวงออกมาจากปลายสายพานทั้งสองด้าน จากนั้นจึงนำเอาปลายทั้งสองมาชนกันแล้วใส่สลักสอดผ่านวงลวดนี้ ในการกดลวดลงไปบนสายพานจะต้องใช้เครื่องมือช่วย การต่อด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะกับการต่อสายพานบาง ใช้สำหรับต่อสายพานส่งกำลังที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์และใช้ล้อสายพานขนาดเล็ก



ภาพที่ 2.10 การต่อด้วยลวดถัก

2. การใช้ห่วงเหล็กกล้า (steel hinge) มีชื่อเรียกว่า “Alligator lacing” โดยใช้ค้อนตอกห่วงเหล็กกล้าให้จมลงไปที่ปลายสายพานทั้งสองด้านแล้วจึงสอดสลักผ่านห่วงเหล็กกล้าใช้ต่อสายพานแคบได้ และเหมาะกับการต่อสายพานส่งกำลังที่ใช้งานหนักกว่าการต่อด้วยลวดดัก



ภาพที่ 2.11 การต่อด้วยห่วงเหล็กกล้า



ภาพที่ 2.12 การต่อด้วยห่วงเหล็กกล้า

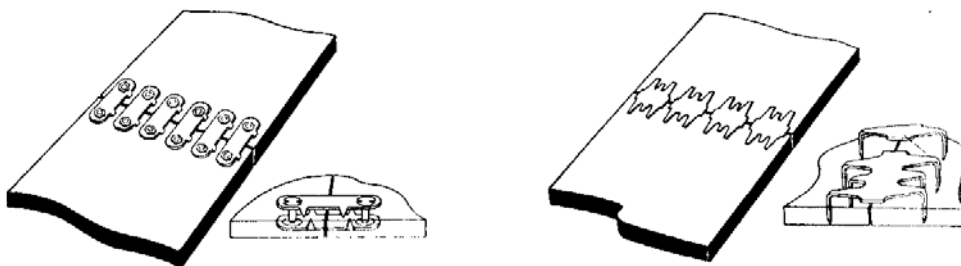
การต่อโดยใช้ห่วงเหล็กกล้าอีกแบบหนึ่งก็ใช้คลิป (clips) ที่เป็นแผ่นเหล็กรูปตัวยู คลิปแต่ละตัวยึดติดกับสายพานโดยใช้สลักเกลียว เหมาะกับการใช้ต่อสายพานลำเลียง (belt conveyors) ที่รับแรงปานกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องมีการตัดต่อสายพานบ่อยครั้ง และป้องกันมิให้วัสดุขนาดเล็กที่ลำเลียงโดยใช้สายพานลำเลียงรั่วไหลไปได้

3. การต่อด้วยแผ่นเหล็ก (plate type) ใช้แผ่นเหล็กเป็นรูปโค้งหนึ่งแผ่นหรือหลายแผ่นยัดติดกับสายพานด้วยหมุดย้ำ โดยจะติดอยู่ด้านบนของสายพาน รัศมีความโค้งของแผ่นเหล็กมักจะพอเหมาะกับรัศมีความโค้งของล้อสายพาน เหมาะกับการใช้ต่อสายพานส่งกำลังที่ไม่ได้ขับแบบรีเวอร์สได้

ส่วนการต่อสายพานด้วยแผ่นเหล็กดังภาพที่ 2.11 เหมาะกับการใช้ต่อสายพานลำเลียง



ภาพที่ 2.13 การต่อด้วยแผ่นเหล็ก



ภาพที่ 2.14 การต่อด้วยแผ่นเหล็ก

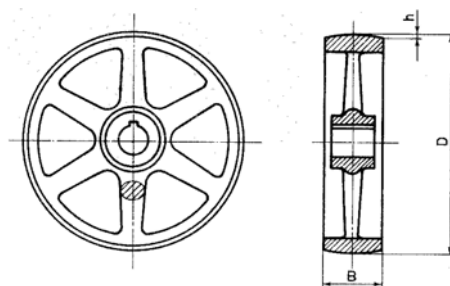
จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการต่อสายพานทำให้ความต้านแรงของสายพานลดลง ดังนั้นที่ใช้วัดค่านี้คือค่าประสิทธิภาพรอยต่อ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปตามวิธีการต่อ และมีค่าประมาณดังตาราง 2.4

ตารางที่ 2.4 ประสิทธิภาพของรอยต่อสายพาน

ชนิดของรอยต่อ	ประสิทธิภาพ η %
ต่อด้วยกาว (cementing) ดังภาพที่ 2.9	75 – 90
ต่อด้วยลวดถัก (wire lacing) ดังภาพที่ 2.10	60
ต่อด้วยห่วงเหล็กกล้า (alligator) ดังภาพที่ 2.11	40 – 70
ต่อด้วยแผ่นเหล็กย้ำหุ้ม ดังภาพที่ 2.13	50 – 60
ต่อด้วยแผ่นเหล็ก ดังภาพที่ 2.14	60 – 70

ล้อสายพาน

การส่งกำลังโดยสายพานแบนทำได้โดยใช้ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าล้อสายพานกับผิวหน้าของสายพาน ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทราบรายละเอียดเกี่ยวกับล้อสายพาน เพื่อที่จะนำไปใช้งานได้อย่าง ถูกต้องเหมาะสม ลักษณะของล้อสายพานที่ใช้งานทั่วไป ดูได้จากภาพที่ 2.15 ล้อสายพานจะยึดติดกับเพลาด้วยลิ้ม ดังนั้นที่ดุมล้อสายพานจึงต้องเจาะร่องลิ้มไว้เพื่อใช้ยึดกับเพล่า เพื่อให้ล้อสายพานมีน้ำหนักเบาจึง มักทำเป็นแขนยื่นออกจากดุมล้อไปยังผิวหน้าที่สัมผัสกับสายพาน แขนยื่นนี้มีขนาดเรียวยาวตลอดและมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงรี ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ล้อสายพาน

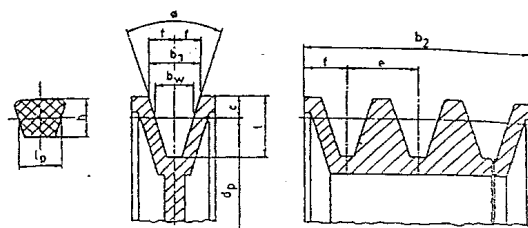
สายพานลิ่ม

สายพานลิ่ม ใช้กำลังส่งค่อนข้างมากโดยต้องการแรงดึงขั้นต้น ในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียว กับช่องรูปลิ่มของล้อสายพานทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี แม้ว่าจะมีส่วนโค้งสัมผัสน้อย และมีแรงดึงขั้นต้นค่อนข้างต่ำ และเหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย ในการส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุด เมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน และในกรณีที่มิเหตุฉุกเฉิน คือการใช้ผลจากการอัดแน่นทำหน้าที่เป็นเบรกได้ด้วย

การขับด้วยสายพานลิ่ม มีข้อดีคือเงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้นอกจากนั้นยังมีขนาดกระทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแบร้งของเพลไม่ต้องรับแรงมากเกินไป จึงมักใช้ขับทางด้านอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งใช้สายพานขับได้โดยมีอัตราทดสูงประมาณ 7 : 1 หรืออาจใช้ ได้สูงถึง 10 : 1

1.1 ขนาดของสายพานและล้อสายพานลิ่ม

สายพานลิ่ม มีหน้าตัดเป็นรูปลิ่ม ดังนั้นในการกำหนดขนาดจึงมักกำหนดโดยใช้ความกว้างพิตช์ (pitch width) และความหนาสายพานโดยใช้ตัวอักษรแทนซึ่งแบ่งออกเป็นสายพานลิ่มแบบแคบ (narrow v-belts) มีขนาด SPZ SPA SPB และ SPC และสายพานลิ่มแบบธรรมดา มีขนาด Y Z A B C D และ D ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะสายพานลิ่มแบบธรรมดาเท่านั้น รูปร่างหน้าตัดของสายพานและล้อสายพาน ดูได้จากภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.16 แสดงหน้าตัดสายพานลิ่มและล้อสายพาน

ที่มา : วรวิทย์ และชาญ (2541) น.282

ความยาวพิตช์โดยประมาณของสายพานลิ่มหาได้จากสมการ

$$L_p = 2c + 1.57 (D_p + d_p) + \left(\frac{D_p - d_p}{4C} \right) \quad (2-12)$$

หาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหาได้จากสมการ

$$C = P + (P^2 - g) \frac{1}{2} \quad (2-13)$$

1.2 การคำนวณหาค่าของสายพานลิ่ม

การคำนวณทางด้านการส่งกำลังโดยใช้สายพานลิ่มจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของล้อสายพาน d_p เป็นพื้นฐาน และในที่นี้จะแสดงวิธีการเลือกขนาดของสายพานลิ่มตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เช่นเดียวกับในกรณีของสายพานแบน

ในการเลือกขนาดของล้อสายพาน บริษัทผู้ผลิตได้แนะนำให้เลือกขนาดของล้อสายพานให้โตที่สุดเท่าที่จะทำได้ ขนาดของล้อสายพานไม่ควรจะเล็กกว่าค่าที่กำหนดในตารางแต่ข้อควรระวังก็คือ ขณะใช้งานปกติความเร็วของสายพานไม่ควรสูงกว่า 30 m/s

การเลือกขนาดของสายพานลิ่มจะแตกต่างไปจากสายพานแบบเล็กน้อย จะใช้วิธีการคำนวณหาจำนวนเส้นของสายพานลิ่มที่ต้องการใช้งาน จากกำลังงานที่ต้องการวิจัย และตัวประกอบที่ใช้แก้ปัญหาดังกล่าว จำนวนเส้นของสายพานลิ่มหาได้จากสมการ

$$Z = \frac{W_p \cdot N_s}{P_R \cdot N_a \cdot N_l} \quad (2-14)$$

โดยที่	Z	=	จำนวนเส้นของสายพานลิ่ม	
	W_p	=	กำลังงานที่ต้องการส่ง	kw
	N_s	=	ตัวประกอบใช้งาน	
	N_a	=	ตัวประกอบส่วนโค้งสัมผัส	
	N_l	=	ตัวประกอบแก้ไขความยาวสายพาน (belt length correction factor)	
	P_R	=	กำลังที่สายพานลิ่มหนึ่งเส้นส่งได้	kw

ทฤษฎีลูกกลิ้ง

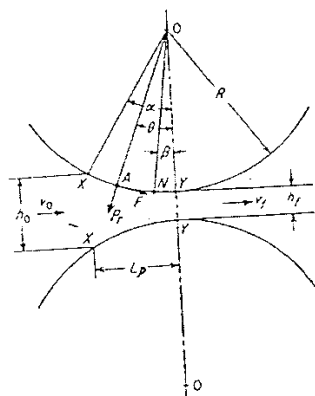
การวิเคราะห์ความเร็ว

การวิเคราะห์ความเร็วพิจารณารูปที่ 2.17 เป็นสภาวะการเปลี่ยนขนาดความหนาของแผ่นยาง ขณะทำการรีดด้วยลูกกลิ้งสั้น ทฤษฎีการรีดจะอาศัยสมมติฐานที่ว่าแผ่นยางจะมีการขยายตัวทางด้านกว้างน้อยมาก จึงไม่นำมาคิด ดังนั้นแรงกดของลูกกลิ้งรีดทั้งหมดที่กระทำต่อแผ่นยาง จะเปลี่ยนเป็นการยืดของแผ่นยางไปทางระนาบด้านยาวของแผ่นยางทั้งหมดอย่างสม่ำเสมอ เมื่อคิดปริมาตรของแผ่นยาง ตอนขาเข้าที่ระนาบ XX ต่อหน่วยเวลา กับปริมาตรของแผ่นยาง ตอนขาออกที่ระนาบ YY ต่อหน่วยเวลา ในภาพที่ 2.17 นี้จะได้ว่า ปริมาตรดังกล่าวมีค่าเท่ากัน จึงเขียนเป็นรูปสมการได้ว่า

$$bh_o V_o = bh_f V_f \quad (2-15)$$

โดยที่	b	= ความกว้างของแผ่นยาง	mm
	V_o	= ความเร็วของแผ่นยางก่อนเข้าสู่การรีด	m/s
	V_f	= ความเร็วของแผ่นยางเมื่อผ่านการรีด	m/s
	h_o	= ความหนาของแผ่นยางก่อนเข้าสู่ลูกกลิ้ง	mm
	h_f	= ความหนาของแผ่นยางเมื่อผ่านการรีด	mm

ในการรีดโดยตรงในแผ่นยางยังคงสภาพอยู่ ต้องการขนาดความหนืดที่ทางออกเท่ากับ V_f ต่อความหนืดที่มากในทางเข้าคือ V_o ดังนั้น ความหนืดของแผ่นเหล็กจะต้องมากขึ้นที่ทางเข้าและทางออกที่จุดเดียว ระหว่างพื้นผิวที่หน้าสัมผัส ระหว่าง ลูกกลิ้ง และแผ่นยางที่จะทำการรีดเป็นความหนืดของพื้นผิวหน้าของลูกกลิ้ง เท่ากับความหนืดของแผ่นขึ้นงาน จุดนี้จะเรียกว่า Neutral point หรือ no-slip point มันจะชี้ให้เห็นในภาพ 2.17 ที่จุด N



ภาพที่ 2.17 การวิเคราะห์ความเร็ว

ที่มา : George E.Dieter. Mechanical Metallurgy., PP.594,1988

ที่จุดที่หน้าสัมผัส ที่จุด A ในภาพที่ 2.17 แรง 2 แรงมากระทำบนแผ่นยาง โดยมุมของแรงกระทำ P และจุดสัมผัสของวงกลมที่มีแรงเสียดทาน F ระหว่างทางเข้าและจุดศูนย์กลางแผ่นยางจะเคลื่อนที่ไปอย่างช้า ๆ ไปยังหน้าสัมผัสของลูกกลิ้ง และความสัมพันธ์กับแรงในทิศทาง ในภาพที่ 2.17 ดังนั้น จะวาดภาพได้โดยแผ่นยางเข้าไปในลูกกลิ้ง บนขนาดทางออกของจุดกึ่งกลางที่แผ่นยางเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว พื้นที่สัมผัสกับลูกกลิ้ง ในทิศทางของแรงและการสูญเสียเป็นการย้อนกลับ

ดังนั้น มันจะประกอบด้วยการเสียดทาน การส่งผ่านของแผ่นยางที่ลูกกลิ้ง องค์ประกอบโดยตรงของ P จะรู้ได้โดยภาระของลูกกลิ้ง P และภาระของโหลดลูกกลิ้ง โดยแรงผ่านไปที่ลูกกลิ้ง อีกครั้ง เพราะด้วยแรงที่มากกระทำมาก โดยแรงที่มากกระทำในการทดลองน้อยมากยังเรียกว่า การแตกแรง แรงดันจำเพาะของลูกกลิ้ง P คือ ภาระของโหลดของลูกกลิ้ง แบ่งโดยบริเวณหน้าสัมผัสบริเวณหน้าสัมผัสระหว่างยางและลูกกลิ้งเท่า ๆ กัน โดยการผลิตของแผ่นยาง b และทดลองระหว่างความโค้งของหน้าสัมผัส

$$L_p = \left[R \left(h_o - \frac{(h_o - h_f)^2}{4} \right) \right]^{1/2} \quad (2-16)$$

เมื่อ L_p = ความยาวของพื้นที่หน้าสัมผัส m
 R = รัศมีของลูกกลิ้ง m
 ความตึงในแนวนอนของชิ้นงานและรวมความเค้นเฉือนที่บวกเข้าไป

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} \overline{\sigma_o} - \sigma_h \quad (2-17)$$

ทฤษฎี-ภาระของลูกกลิ้ง

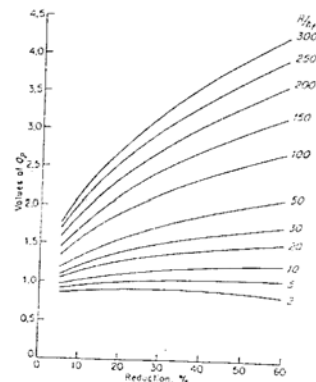
บ่อยครั้งในการแยกประเภทภาระของลูกกลิ้งจะกำหนดการลดขนาดของยางจากสมการทางเรขาคณิต และสมการนี้ได้ถูกพัฒนามาเหมือนกัน

$$P = \sigma_o b \left[R(h_o - h_f)^{1/2} \right] Q_p \quad (2-18)$$

เมื่อ P = ภาระของลูกกลิ้ง MN
 σ_o = ความเค้นของคุณสมบัติของยาง Mpa
 Q_p = ปริมาตรของภาระที่กระทำต่อแผ่นยาง m³

แรงบิดและกำลังงาน

พลังงานที่ประยุกต์มาใช้กับลูกกลิ้งจะประยุกต์มาจากแรงบิดที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์ และหลักการของการส่งกำลัง พลังงานหลักจะกระทำในสี่ทาง (1) พลังงานทำให้ได้อย่างแผ่นที่ต้องการ (2) พลังงานที่ต้องการสูญเสียเนื่องจากความต้านทาน (3) พลังงานสูญเสียไปในเฟืองและสายพาน (4) การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์



ภาพที่ 2.18 แรงบิดและกำลังงาน

ที่มา : George E.Dieter. Mechanical Metallurgy. PP.613,1988

อย่างไรก็ตามภาระของลูกกลิ้งทั้งหมดสามารถสันนิษฐานได้จากการกดระหว่างจุดสัมผัส ความโค้งของการสัมผัสที่ความห่างสำหรับเส้นทางจุดศูนย์กลางหมุนในการคำนวณหาแรงบิด ส่วนที่ให้คำนวณหาจากแกน โมเมนต์ มันจะปฏิบัติตามกฎของแรง โดยพิจารณาอัตราของ จำนวนแกนโมเมนต์ a โดยที่หาความยาวของความโค้งของการสัมผัส

$$\lambda = \frac{\alpha}{L_p} = \frac{\alpha}{[R(h_o - h_f)]^{1/2}} \quad (2-19)$$

λ = อัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ อาร์ม กับความยาวพื้นที่หน้าสัมผัส

a = โมเมนต์ อาร์ม m

แทนค่าของ λ เมื่อ 0.5 สำหรับลูกกลิ้ง และ 0.45 สำหรับการรีด แรงบิดจะเท่ากันโดยที่ ผลคูณภาระรวมของลูกกลิ้ง โดยแรงมากระทำแกนโมเมนต์ และเนื่องจากการหมุนทำงานสองรอบ แรงบิดที่ใช้

$$M_r = 2Pa \quad (2-20)$$

เนื่องจากกำลังงานใช้อัตราส่วนที่ชัดเจนของการทำงาน i.e = lw = 1J s⁻¹ กำลังงานเป็น (Watts) ต้องการปฏิบัติเป็นคู่ของการหมุนให้ครบรอบที่ N Hz(s⁻¹) ให้ใช้สมการ

$$W = 4\pi aPN \quad (2-21)$$

2.5 การทำยางแผ่นดิบของเกษตรกร

คุณภาพของยางแผ่นขึ้นอยู่กับการผลิต หากสามารถผลิตยางแผ่นชั้นดีออกจำหน่าย ก็จะได้ราคาสูงกว่ายางแผ่นคุณภาพต่ำ เนื่องจากราคายางในท้องตลาดแตกต่างกันไปตามคุณภาพ

การทำยางแผ่นชั้นดีมีหลักง่ายๆ คือ ทำยางให้สะอาด ใช้น้ำและน้ำกรดให้ถูกส่วน รีดแผ่นให้บาง มีขนาดและน้ำหนักได้มาตรฐาน ซึ่งมีวิธีการดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. การเก็บรวบรวมน้ำยาง

- ทำความสะอาดด้วยยางและถังเก็บน้ำยางก่อนใช้ทุกครั้ง
- อย่าใส่ขี้ยาง หรือใบไม้ลงในถังเก็บน้ำยาง จะทำให้ยางสกปรกจับตัวเป็นก้อนเร็ว กรองน้ำยางได้ยาก
- ถังเก็บน้ำยางควรมีฝาปิดเพื่อป้องกันมิให้น้ำยางกระฉอกระหว่างนำไปโรงทำยางแผ่น



2. การทำความสะอาดเครื่องมือ

ความสะอาดเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการทำยางแผ่นชั้นดี เครื่องมือในการทำยางแผ่นทุกชนิดควรทำความสะอาดทุกครั้งก่อนและหลังการใช้งาน

เครื่องมือที่จำเป็นในการทำยางแผ่น

1. เครื่องกรองลวดเบอร์ 40 และ 60
2. ตะก
3. ถังสำหรับใส่น้ำและน้ำยาง
4. โตะนวดยาง
5. เครื่องรีดชนิดลิ้นและชนิดดอก
6. โรงเรือน
7. กระป๋องตวงน้ำยาง
8. ภาชนะผสมน้ำกรด

3. การกรองน้ำยาง

กรองน้ำยางด้วยเครื่องกรองลวด เบอร์ 40 และ 60 เพื่อเอาสิ่งสกปรกออก โดยวางเครื่องกรองซ้อนกัน 2 ชั้น เบอร์ 40 ไว้ข้างบน



4. การกรองน้ำยางใส่ตะกวด

ตวงน้ำยางที่กรองแล้วใส่ในตะกวดที่สะอาด ตะกวดละ 3 ลิตร

5. การผสมน้ำกับน้ำยาง

เติมน้ำสะอาดลงในตะกวดที่ใส่น้ำยางไว้แล้ว ตะกวดละ 2 ลิตร จะได้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำยางกับน้ำใน อัตรา 3 : 2 (อาจเปลี่ยนแปลงได้หากน้ำยางเจือจางบ้างแล้ว)

6. การผสมน้ำกรด

เพื่อให้ยางแผ่นมีคุณภาพดีควรใช้กรดฟอร์มิก ชนิดเข้มข้นร้อยละ 90 และเพื่อให้ น้ำยางจับตัวภายในเวลา 30 – 45 นาที ควรผสมน้ำกรดในอัตราส่วนดังนี้

ใช้กรดฟอร์มิก 2 ช้อนแกง เติมลงในน้ำสะอาด 3 กระป๋องนม (ระวังอย่าเทน้ำลงในน้ำกรด) หรือใช้กรด ฟอร์มิก 1 ขวด เติมลงในน้ำสะอาด 40 ขวด

7. การใช้ น้ำกรดผสมน้ำยาง

ใช้ใบพายกวนน้ำยางในตะกวดสัก 1 – 2 เที้ยว แล้วตวงน้ำกรดที่ผสมแล้ว 1 กระป๋องนม เทลงในน้ำยาง ให้ทั่วตะกวด พร้อมกับใช้ใบพายกวนน้ำยางไปมา ประมาณ 6 เที้ยว

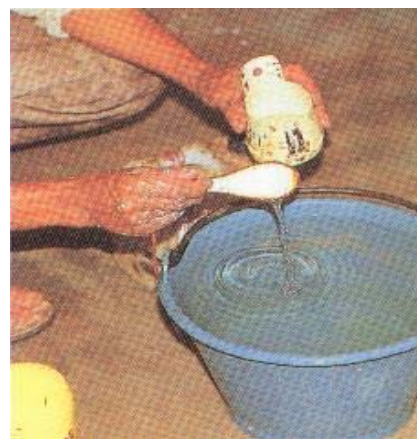
8. การกวาดฟองน้ำยาง

ฟองที่เกิดจากการกวนน้ำยาง ให้ใช้ใบพายกวาดออกจากตะกวดให้หมดเก็บรวบรวม ใส่ภาชนะไว้ขายเป็นเศษยางชั้นดี

หากไม่กวาดฟองน้ำยางออกไป เมื่อน้ำยางไปรมควันจะเห็นรอยจุดอากาศในแผ่นยาง ทำให้ได้ยางชั้นต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

9. การใช้วัสดุปิดตะกวด

ควรใช้แผ่นสังกะสีหรือวัสดุอื่น ปิดตะกวดป้องกันมิให้ฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรก ตกกลงไปในน้ำยางที่กำลังจับตัวทิ้งไว้ประมาณ 30 – 45 นาที



10. การนวดแผ่นยาง

ก่อนนำยางไปนวด ควรรินน้ำสะอาดหล่อไว้ทุกตะกวดเพื่อสะดวกต่อการเทก้อนยางออกจากตะกวด ควรนวดแผ่นยางบนโต๊ะที่สะอาด ซึ่งปูด้วยแผ่นอะลูมิเนียม หรือแผ่นสังกะสี นวดยางให้หนา ประมาณ 1 เซนติเมตร

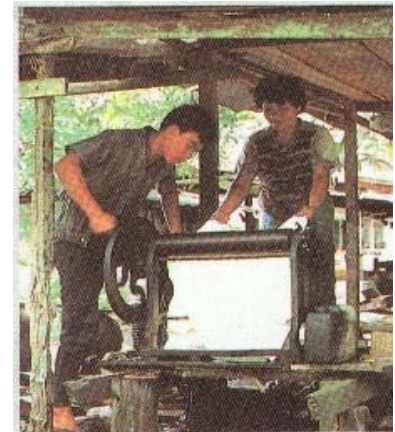


11. การรีดแผ่นยางด้วยเครื่องรีดลื่น

นำแผ่นยางที่นวดแล้ว เข้าเครื่องรีดลื่น 3 – 4 ครั้ง ให้หนาประมาณ 3 – 4 มิลลิเมตร

12. การรีดแผ่นยางด้วยเครื่องรีดดอก

หลังจากผ่านการรีดด้วยเครื่องรีดลื่นแล้ว นำแผ่นยางเข้าเครื่องรีดดอกอีก 1 ครั้ง การรีดดอกจะช่วยทำให้แผ่นยางแห้งเร็วขึ้นเมื่อนำไปรมควัน



13. การล้างแผ่นยาง

แผ่นยางที่รีดดอกแล้วควรล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อล้างน้ำกรดและสิ่งสกปรก ที่ติดอยู่ตามผิวแผ่นยางออกให้หมด

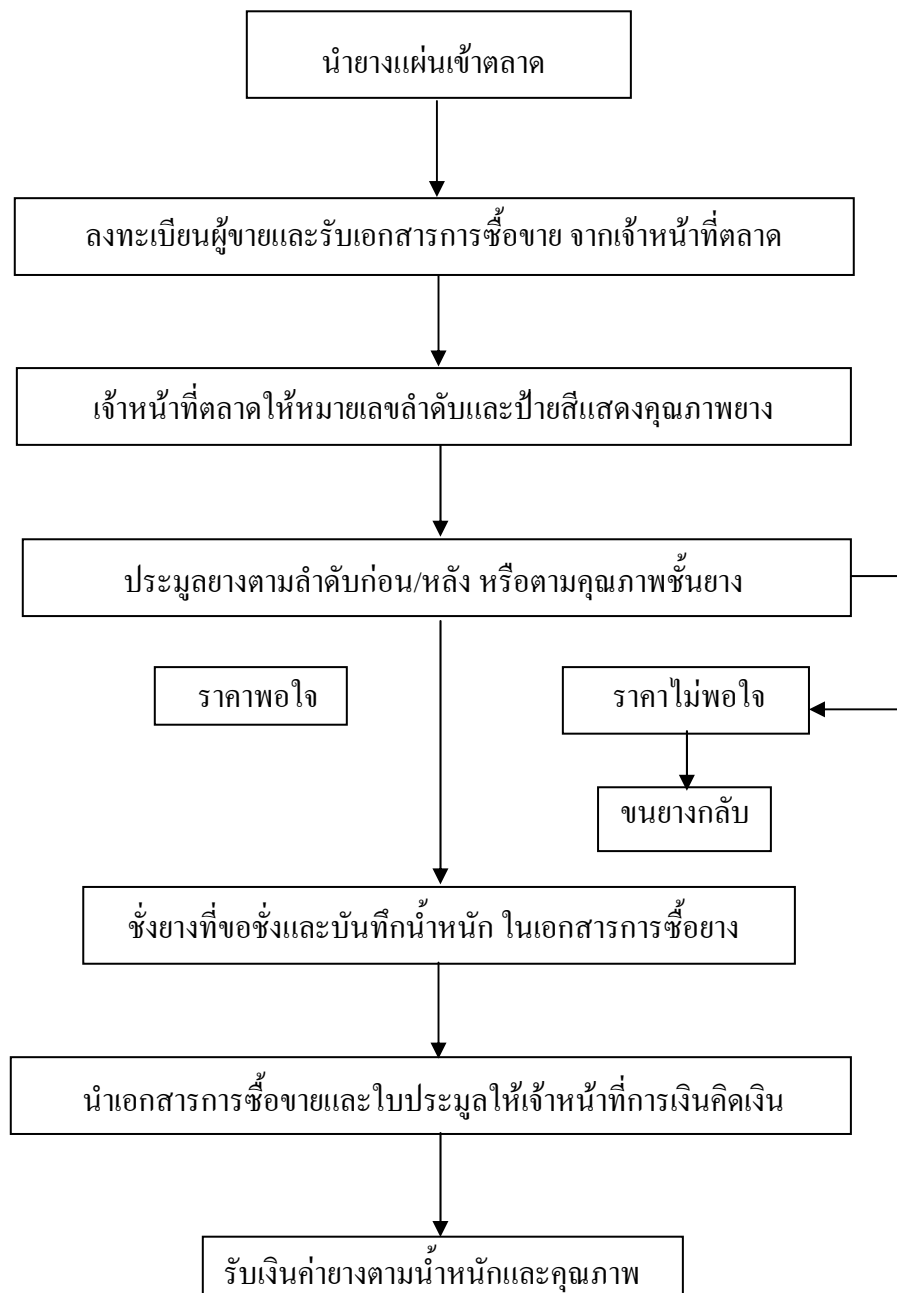
14. การผึ่งแผ่นยาง

แผ่นยางที่ล้างด้วยน้ำสะอาดแล้ว ควรผึ่งไว้ในที่ร่ม ไม่ควรผึ่งหรือตากไว้กลางแจ้งเพราะจะทำให้ยางแผ่นเสื่อมคุณภาพได้ง่าย อย่างวางแผ่นยางบนพื้นหรือพาดแผ่นยางในที่ที่มีฝุ่น

15. การเก็บยางแผ่นเพื่อรอจำหน่าย

หลังจากผึ่งยางแผ่นไว้ประมาณ 6 ชั่วโมงให้เก็บรวบรวมยางแผ่น นำมาพาดไว้บนราวในโรงเรือน เพื่อรอจำหน่าย (ถ้ามีโรงรมก็นำเข้ารมควันหรืออบยางในโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ จะช่วยให้ยางแผ่นแห้ง สามารถเก็บไว้ได้นาน)

ขั้นตอนการซื้อขายในตลาดประมุลยาง (สำหรับเกษตรกร)



ป้ายสีบอกคุณภาพของยางแผ่นดิบ

แบ่งออกเป็น 4 ชนิด

ป้ายสีแดง	=	ยางแผ่นดิบคุณภาพ	1
ป้ายสีเหลือง	=	ยางแผ่นดิบคุณภาพ	2
ป้ายสีน้ำเงิน	=	ยางแผ่นดิบคุณภาพ	3
ป้ายสีเขียว	=	ยางแผ่นดิบคุณภาพ	4

2.6 การทำยางแผ่นระดับโรงงาน

ลำดับขั้นตอนการทำยางแผ่นระดับโรงงาน

1. หาความเข้มข้นของน้ำยางในถังรวม สมมติว่าน้ำยางของวันนี้วัดได้เท่ากับ 30 %
2. ความเข้มข้น 30 % นั้น กำหนดให้ใช้น้ำยางสด 13.75 จีดตะกอน และใช้น้ำสะอาด 19.25 จีดตะกอน
3. ปล่อยน้ำยางจากถังรวม น้ำยางผ่านท่ออย่างลงในตะกอนให้ถึงจีดตะกอนที่ 13.75 (กะโดยประมาณด้วยสายตาก็ได้) เมื่อระดับน้ำยาง ถึงจีดตะกอนที่กำหนดแล้ว ก็เปลี่ยนไปใส่ตะกอนถัดไป ในลักษณะเดิมจนครบทุกตะกอนหรือจนหมดน้ำยาง หากเห็นว่าน้ำยางที่เหลือจะไม่เต็มตะกอนใหญ่ ให้ใช้ตะกอนเล็กขนาดแผ่นเลียบ 25 แผ่นแทน แต่น้ำยางที่เหลืออีกเล็กน้อยให้ใช้ ตะกอนธรรมดา ชนิด 1 ตะกอนต่อ 1 แผ่น



4. ปล่อยน้ำสะอาดจากถังพักน้ำผ่านท่ออย่างลงในตะกอนที่ใส่น้ำยางไว้แล้ว โดยให้ระดับน้ำครึ่งหลังนี้สูงถึงจีดตะกอน ที่ 33 (แสดงว่าได้ใส่น้ำสะอาดลงไปแล้ว 19.25 จีดตะกอน เช่นกัน) เมื่อระดับน้ำถึงจีดตะกอนที่ 33 แล้วย้ายไปเติมในตะกอนถัดไปจนครบทุกตะกอน
5. ใช้ไม้พายกวนให้น้ำยางและน้ำสะอาดผสมกันอย่างทั่วถึง
6. เมื่อกวนน้ำยางกับน้ำเข้ากันดีแล้ว ให้รีบเติมกรดฟอร์มิก 2 % ซึ่งเตรียมไว้ก่อนแล้ว 7 ลิตร ผสมสารฟอกสีโซเดียมเบตาไบซัลไฟด์ จำนวน 1 ช้อนแกง ลงไปในตะกอนแล้ว ใช้ไม้พายกวนให้เข้ากันดีอีกครั้ง
- * อย่าปล่อยให้น้ำยางกับน้ำผสมกันเฉยๆ โดยไม่ใส่กรดฟอร์มิกลงไป เพราะน้ำยาง จะเริ่มมีอาการบูดเน่าเป็นเม็ดพริกได้
- * การกวนน้ำยางให้เข้ากันดีนั้น จะกวนโดยกวาดไม้พายไปตามแนวยาวของตะกอน ตลอดแนว แล้ววนไม้พายกลับทางแนวยาวของตะกอนอีกทางหนึ่ง ทำเช่นนี้ 3 - 4 เทียวก็น่าใช้ได้



7. ฟองที่เกิดขึ้นในตะก่ง ให้ใช้แผ่นเสียบค่อย ๆ กวาดฟองไปทางด้านท้ายของตะก่งแล้ว ตักออก ใส่ภาชนะไปทำเป็นจี๋ยางขายได้ อย่าให้ฟองหลงเหลืออยู่ เพราะฟองนี้จะทำให้เกิดตำหนิในแผ่นยางอาจจะใช้พัดลมช่วยเป่าฟองแทนการกวาดก็ได้



8. ใส่แผ่นเสียบให้ตรงกับช่องเสียบแต่ละช่องและต้องแน่ใจว่าแผ่นเสียบได้เสียบลงถึงช่องเสียบที่พื้นตะก่งทุกช่องเช่นกันมิฉะนั้นขนาดของยางแผ่นที่จะได้จะมีขนาดไม่เท่ากัน



9. เมื่อยางแข็งตัว (สามารถทดสอบได้โดยลองเอานิ้วจิ้มดู) ให้ฉีดน้ำสะอาดลงไปบนตะก่ง ให้น้ำท่วมยาง ทุกส่วนเพื่อป้องกันผิวยางเป็นสีคล้ำอันเนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อรา หรือแบคทีเรียในอากาศ
10. ยางในตะก่งที่แข็งตัวแล้วนั้น สามารถรอกการรีดได้หลายชั่วโมง โดยไม่แข็งตัวไปกว่าเดิมอีก หากน้ำที่ฉีดหล่อผิวหน้ายางในตะก่งแห้งไปแล้ว ให้เติมน้ำลงไปใหม่ เพื่อความสะดวกในการดึงแผ่นเสียบออกจากตะก่ง หากพยายามดึงแผ่นเสียบขึ้นโดยที่ไม่มีน้ำหล่อเลี้ยงอยู่จะเกิดปัญหายางแห้งติดแผ่นเสียบทำให้ดึงขึ้นยาก
11. ใช้สองมือยกยางขึ้นจากตะก่งลงไปใส่รางล่าง Yang ที่กลางห้อง ซึ่งใส่น้ำไว้พร้อมแล้ว ระวังอย่าใช้มือข้างเดียวยกยางเพราะยางจะฉีกขาดได้
12. ยางที่ยกใส่รางล่าง จะได้รับการล้างให้สะอาด และสะดวกในการใช้มือบังคับให้ลอยไปทางปลายรางใกล้จักรรีดยาง

13. การป้อนยางเข้าแท่นจักรรีด ให้สอดด้านกว้างของยางแผ่นที่บริเวณส่วนกลางของแท่นรีดครั้งละแผ่น จะช่วยให้การรีดยางของลูกกลิ้งสะดวกไม่ติดขัด
14. ยางที่รีดออกมาเป็นแผ่นแล้ว คนงานจะล้างน้ำอีกครั้ง และนำไปวางพาดบนราวไม้ไผ่ ราวละ 5 แผ่น
15. ยางแผ่นที่วางบนราวและจัดเรียงในรถเข็นยางแล้วมักจะมีปัญหาการเหลื่อมทับกันของยางแผ่นบนราวเดียวกัน ยางที่เข็นชายห้อยติดกันหรือห้อยลงไปติดกับยางแผ่นที่ราวชั้นล่างลงมาซึ่งส่วนที่ยางติดกันนั้นยางจะไม่สุกก็ไขได้โดยใช้มือจัดแต่งการเรียงยางแผ่น หรือใช้ไม้รวกสอดระหว่างยางแผ่นที่ติดกันให้แยกออก จะทำให้ยางแห้งสนิททั่วทั้งแผ่น
16. ปลอ่ยให้ยางแผ่นดิบสะเด็ดน้ำสัก 1 – 2 ชั่วโมงก่อนนำเข้าห้องอบ / รมยาง เพื่อลดปัญหาความชื้น ไม่ให้เกิดในห้องมากเกินไปจนความจำเป็น
17. ราวไม้ไผ่ที่ใช้พาดยางแผ่นต้องสะอาด ปราศจากปมปมบนไม้
18. หลังการทำยางแผ่นเรียบร้อยแล้ว ต้องรีบล้างทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องใช้ทุกชิ้น รวมทั้งพื้นห้องและรางระบายน้ำให้สะอาด เพื่อไม่ให้เกิดการหมักหมมของเศษยางจนเกิดการเน่าเหม็นได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 แนวทางการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยต่อยอดจากการวิจัยเดิมที่เป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ ให้เป็นระบบอัตโนมัติ และมีกำลังผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิมชั่วโมงละ 60 แผ่นเป็นชั่วโมงละ 200 แผ่น โดยวิจัยร่วมกับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และสหกรณ์กองทุนสวนยาง โดยแยกวิจัยแต่ละระบบให้สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามความถนัดของแต่ละสถาบัน โดยมี ผศ. พิทยา อัมพนพารัตน์ หัวหน้าโครงการเป็นผู้ประสานงาน สรุปผลการทดลองวิจัยของแต่ละส่วนนำมารวมกันเป็นผลการทดลองทั้งหมด แล้วคณะผู้วิจัยทั้งหมดร่วมกันวิเคราะห์และสังเคราะห์ผลการทดลองให้ได้ข้อสรุปสุดท้าย เพื่อนำไปออกแบบและเขียนแบบของเครื่องต้นแบบต่อไป หลังจากออกแบบและเขียนแบบของเครื่องต้นแบบเสร็จแล้วจะจัดทำเครื่องต้นแบบ หลังจากนั้นก็จะมีการทดสอบ ทดลอง ปรับปรุง พัฒนาเครื่องต้นแบบให้สามารถใช้งานได้ตามที่ต้องการแล้วสรุปผลการวิจัย พิมพ์ผลการวิจัย จัดประชุมนำเสนองานวิจัยต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ผู้ประกอบการอุตสาหกรรม สหกรณ์กองทุนสวนยางฯ เกษตรกรรายใหญ่ กลุ่มเกษตรกร และผู้สนใจอื่นๆ

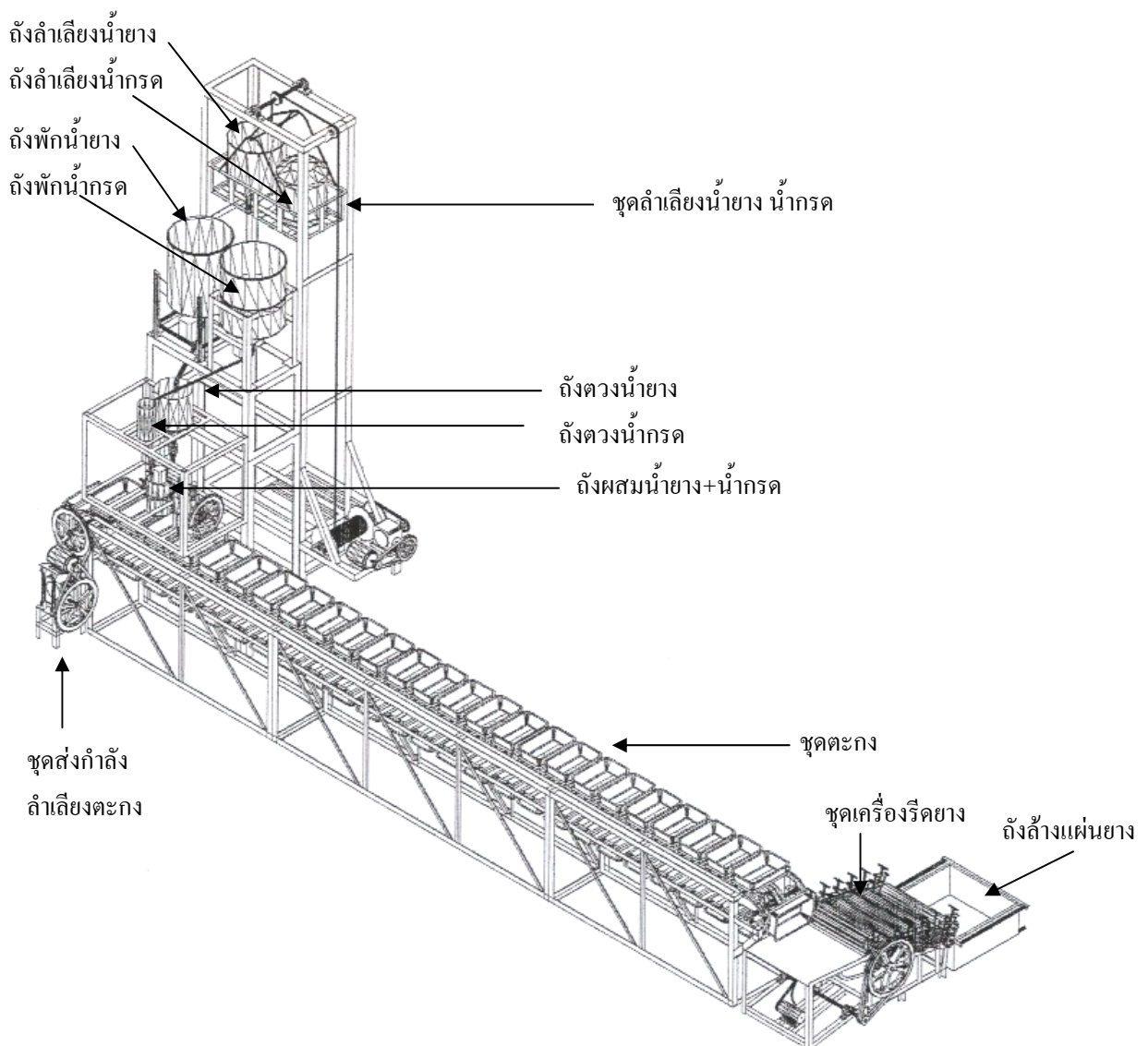
3.2 หลักการในการพัฒนาเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติเป็นระบบอัตโนมัติ

จากข้อเสนอแนะของเกษตรกรผู้มีประสบการณ์ในการทำยางแผ่นดิบ เจ้าหน้าที่ขององค์การสวนยาง (อสย.) เจ้าหน้าที่สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (สทย.) และจากการร่วมกันวิเคราะห์-สังเคราะห์ ระบบเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติเครื่องเดิม ทีมนักวิจัยทั้งหมดมีข้อสรุปดังนี้

1. เพิ่มกำลังการผลิต โดยเปลี่ยนระบบลำเลียงตะก่ง ขนาดตะก่ง วิธีการผสมน้ำยางกับน้ำกรด และวิธีการเทส่วนผสม
2. เปลี่ยนวิธีการผสมน้ำยางกับน้ำกรดโดยใช้วิธีการกวนด้วยใบพัด แทนการกวนโดยใช้สกรูแบบเดิม
3. ทำเครื่องรีดยางใหม่ให้เข้ากับกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น
4. ต้องมีระบบควบคุมที่เป็นระบบอัตโนมัติ เพื่อให้ได้เครื่องฯ ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้
5. เนื่องจากเป็นระบบอัตโนมัติ มีอุปกรณ์ที่มีค่ามาก ต้องป้องกันฝน แสงแดด และขโมย จึงจำเป็นต้องมีโรงเรือนปกคลุมมิดชิด ระบบเดิมติดตั้งในที่โล่งแจ้งจึงจำเป็นต้องต่อเติมโรงเรือนวิจัยขึ้นเพื่อเก็บอุปกรณ์และเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ ที่สร้างขึ้นมา

6. เนื่องจากเครื่องต้นแบบสร้างขึ้นที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นพื้นราบ ไม่เหมือนกับโรงผลิตยางของสหกรณ์กองทุนสวนยางที่ตั้งบนเนิน ทำให้สะดวกในการเทน้ำยางใส่ตะกุง จึงจำเป็นต้องมีชุดลำเลียงน้ำยาง-น้ำกรด เพิ่มขึ้น ซึ่งชุดลำเลียงนี้จะไม่ใช่เมื่อนำไปติดตั้งที่โรงผลิตยางของสหกรณ์กองทุนสวนยาง

จากข้อสรุปดังกล่าวที่มวิจัยจึงได้ออกแบบระบบเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติขึ้นดังภาพ



ภาพที่ 3.1 เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ

3.3 รายละเอียดการปรับปรุงเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติเป็นระบบอัตโนมัติ

1. ระบบลำเลียงตะก่ง

การปรับปรุงครั้งที่ 1

ระบบลำเลียงตะก่งของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติ จะเคลื่อนที่ตามแนวยาวของตะก่งทำให้ การเทแผ่นยางใช้เวลามาก และต้องออกแบบให้ชุดลำเลียงตะก่งสูงจากพื้นดินมาก สูง 120 ซม. เพื่อให้แผ่นตะก่งสามารถหมุนกลับแล้วเทยางแผ่นที่ผลิตได้ ลงสู่เครื่องรีด ตัวตะก่งทำด้วยเหล็กสแตนเลส กว้าง 46 ซม. ยาว 95 ซม. ลึก 5 ซม. ตะก่งยึดติดกับสายพานแบนทำให้ตะก่งเคลื่อนที่ เมื่อสายพานเคลื่อนที่ จุดต่อของสายพานกับตะก่งอยู่ห่างจากขอบปลายตะก่งด้านหน้า 45 ซม. ไม่ใช่จุดกึ่งกลางทั้งนี้ เพื่อต้องการให้ปลายตะก่งด้านหน้าเงยขึ้น ขณะหมุนกลับ



ภาพที่ 3.2 ระบบลำเลียงตะก่งของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบกึ่งอัตโนมัติ

การปรับปรุงครั้งที่ 2

เนื่องจากตะก่งแบบเดิมยาวและเคลื่อนที่ตามความยาวของตะก่ง ทำให้ได้กำลังการผลิตน้อย (ตะก่งเคลื่อนที่ช้า และเทแผ่นยางช้า) จึงออกแบบระบบตะก่งใหม่ โดยใช้ตะก่งแบบที่เกษตรกรใช้ทำยางแผ่นดิบทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาด ซึ่งมีขนาด กว้าง 23 ซม. ยาว 40 ซม. ลึก 8 ซม. หนัก 400 กรัม กรอบหนัก 1800 กรัม รางของระบบลำเลียงยาว 7 ม.สูง 1 เมตร ได้ปรับเปลี่ยนการติดตั้งตะก่งกับสายพานแบนซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนตะก่ง โดยให้ตะก่งเคลื่อนที่ตามขวางของตะก่งก็จะสามารถเพิ่มจำนวนตะก่งได้มาก และใช้เวลาในการเทน้อยทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น จาก 60 แผ่นต่อชั่วโมง เป็น 200 แผ่นต่อชั่วโมง



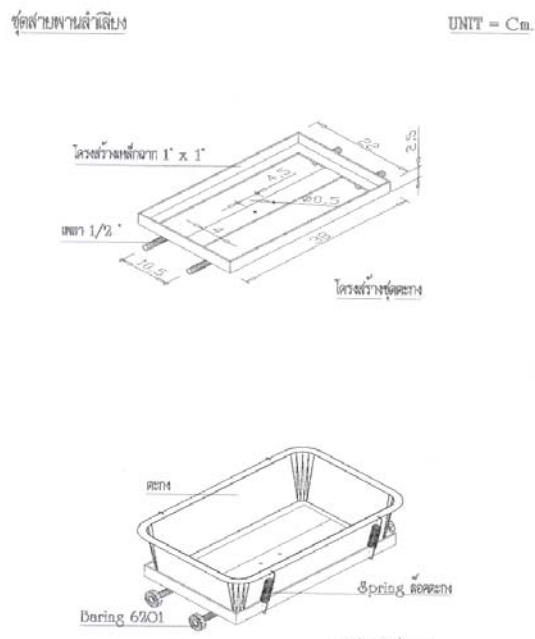
ภาพที่ 3.3 ระบบลำเลียงตะกของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัดโนมัต ที่วิทยาเขตนครศรีธรรมราช

การปรับปรุงครั้งที่ 3

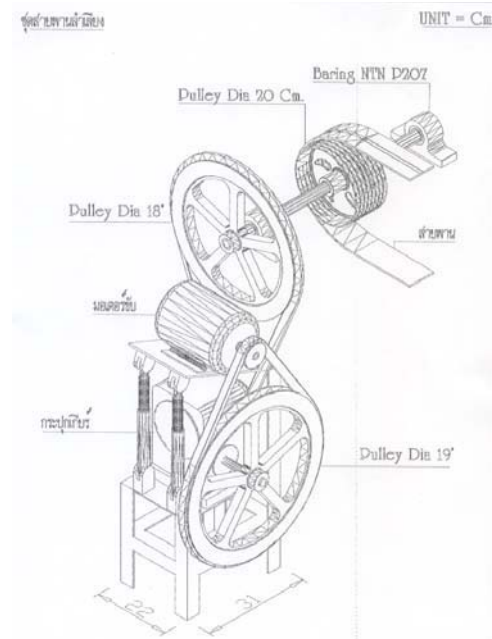
เนื่องจากในสัญญาต้องนำเครื่องผลิตยางแผ่นดิบไปทดลองใช้จริงที่ สหกรณ์กองทุนสวนยาง อำเภอพัฒนาจำกัด ซึ่งมีเครื่องรีดยางอีกแบบหนึ่ง จึงไม่เหมาะกับตะกที่ได้ปรับปรุงครั้งที่ 2 เพราะเครื่องรีดไม่สามารถรีดได้ เนื่องจากก้อนยางที่ได้มีขนาดหนามาก จึงออกแบบตะกใหม่ให้มีขนาดพอดีที่จะทำยางแผ่นก่อนรีดมีขนาดเท่ากับยางแผ่นก่อนรีดของโรงรม ตะกใหม่ที่ได้จึงมีขนาดกว้าง 42 ซม. ยาว 58.5 ซม. ลึก 6 ซม. หนัก 1,000 กรัม กรอบหนัก 1,900 กรัม ส่วนการลำเลียงตะกยังใช้ระบบเดิม คือเคลื่อนที่ตามขวาง และได้ขยายรางของตะกให้ยาวขึ้นเป็น 12 ม. เพื่อให้แผ่นยางมีเวลาเสกตัวทำให้แข็งขึ้นกว่าเดิมทำให้รีดง่ายขึ้น แผ่นยางไม่ฉีกขาดง่าย และสามารถเติมน้ำในน้ำยางสดได้มากขึ้น กำลังผลิตยังคงเป็น 200 แผ่นต่อ ชม.



ภาพที่ 3.4 ระบบลำเลียงตะกของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัดโนมัต
ที่สหกรณ์กองทุนสวนยางอำเภอพัฒนาจำกัด



ภาพที่ 3.5 แบบประกอบชุดตะก



ภาพที่ 3.6 แบบประกอบชุดส่งกำลัง



ภาพที่ 3.7 ชุดลำเลียงตะกที่ทดลองใช้ที่
วิทยาเขตนครศรีธรรมราช



ภาพที่ 3.8 ชุดลำเลียงตะกที่ทดลองใช้ที่
สหกรณ์กองทุนสวนยางลำใหญ่พัฒนาจำกัด

2. วิธีการผสมน้ำยางกับน้ำกรด

ปรับเปลี่ยนวิธีการผสมน้ำยางกับน้ำกรดจากเดิมที่ใช้บาร์เรลและสกรูเป็นตัวผสม เปลี่ยนเป็นผสมโดยใช้ใบพัด กวนส่วนผสมในถังผสม โดยดำเนินการดังนี้

ออกแบบและสร้างชุดผสมจำลองย่อส่วนมีขนาด 1 ใน 4 ของขนาดเต็ม เพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนของน้ำยางและน้ำกรดที่เหมาะสม รวมทั้งชนิดของใบพัด และความเร็วรอบที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมายคือจะต้องให้ยางแผ่นดิบที่ได้จากการผสมน้ำยางกับน้ำกรดแข็งตัว สามารถนำไปรีดได้ในเวลา 6 นาที

ส่วนประกอบของระบบจำลองย่อส่วนที่ใช้ทดลอง มีดังนี้

ก. ถังผสมขึ้นรูปจากแผ่นสแตนเลส เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากกรดที่ใช้ ความหนา 2 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 17 เซนติเมตร มีปริมาตรทั้งสิ้น 1900 ซี.ซี

ข. มอเตอร์ ไซมอเตอร์ 3 เฟส เพื่อให้สามารถใช้กับ Inverter มี ขนาด 1 แรงม้า มีความเร็วรอบ 1,370 รอบ/นาที

ค. Inverter ใช้ในการปรับความเร็วรอบมอเตอร์ โดยปรับความถี่ตั้งแต่ 0-50 Hz

ง. วาล์วลอยน้ำยาง เป็นบอลวาล์วทองเหลืองขนาด 1½ นิ้ว

จ. ใบพัด ที่ใช้ ทำจากสแตนเลส มี 3 แบบ คือ

1. ใบพัดแบน(Flat blade) มีลักษณะเป็นครีบบาน 6 แฉก ดังแสดงในรูปที่ 3.10(ก)
2. ใบพัดโค้ง(Curve blade) มีลักษณะเป็นครีบบาน โค้ง 4 แฉก ดังแสดงในรูปที่ 3.10(ข)
3. ใบพัดเอียงไหลตามแกน (Axial-flow blade) มีลักษณะเป็นครีบบาน 4 แฉก เอียงทำมุม 45 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.10 (ค)



(ก)ชนิดแบน



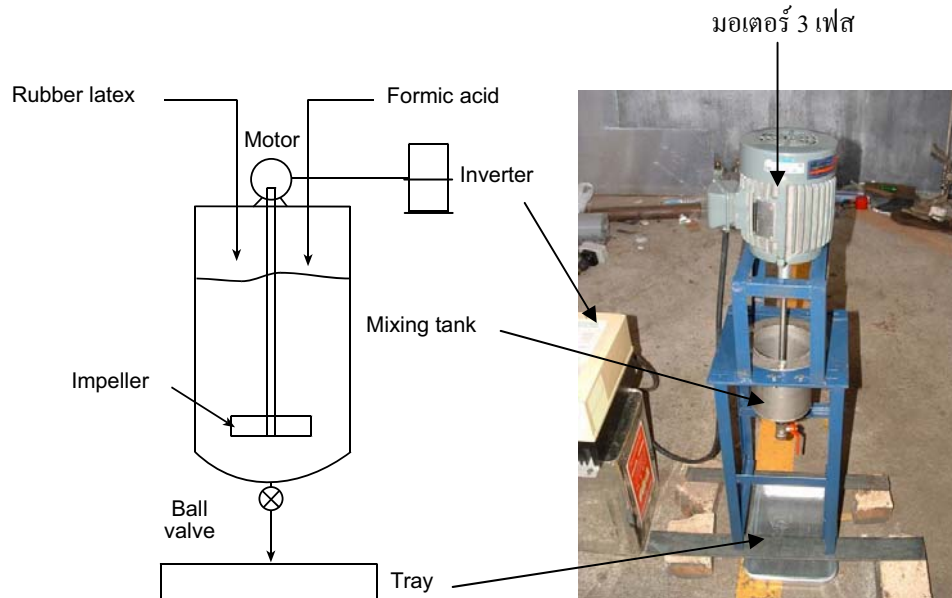
(ข)ชนิดโค้ง



(ค)ชนิดเอียงไหลตามแกน

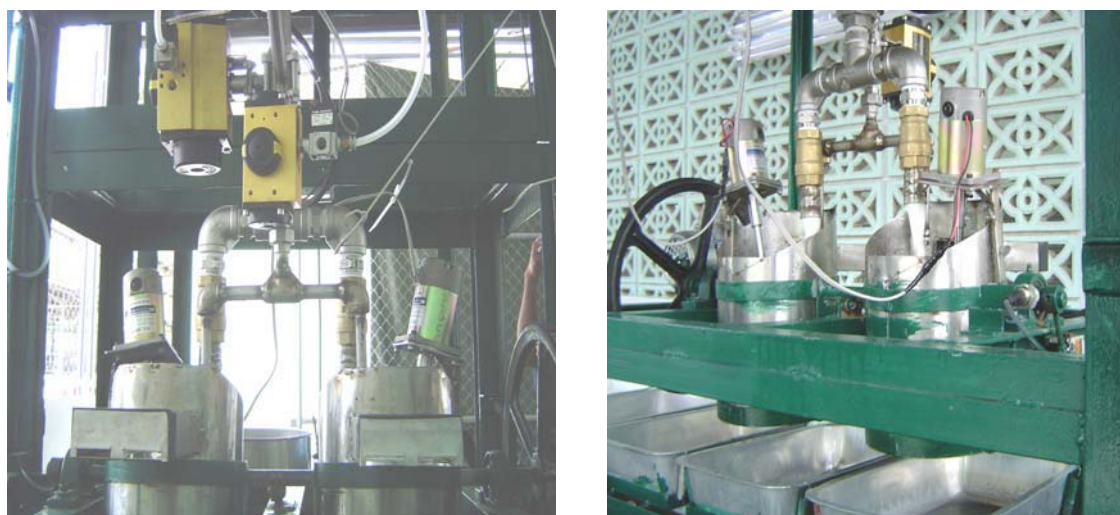
ภาพที่ 3.9 ใบพัดที่ใช้ในการทดลอง

ชุดผสมแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.11 โดยที่ในเบื้องต้นไม่ได้ติดระบบดูดฟองอากาศ โดยทำการศึกษาว่ามีปริมาณฟองเกิดจากการกวนมากน้อยเพียงใด มีความจำเป็นต้องติดตั้งระบบดูดฟองอากาศหรือไม่



ภาพที่ 3.10 ชุดผสมน้ำยางกับน้ำกรด (จำลองย่อส่วน)

ที่ทำการทดลองที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ภาพที่ 3.11 ชุดผสมน้ำยางกับน้ำกรด (ชุดใช้งานจริง) ที่วิทยาเขตนครศรีธรรมราช

ประกอบด้วย ถังสแตนเลส 2 ใบ, มอเตอร์กระแสตรง ที่สามารถปรับความเร็วได้ ติดใบพัดชนิดแบน 6 แฉก เพื่อใช้กวนส่วนผสมน้ำยางกับน้ำกรด

การศึกษาความเร็วรอบและชนิดของใบพัดกวนที่เหมาะสม

ทำการศึกษาดัวแปร 2 ตัว คือความเร็วรอบของมอเตอร์และชนิดของใบพัดที่ใช้ในการผสม เพื่อเลือกชนิดของใบพัดและความเร็วรอบที่เหมาะสม ในการทดลองนี้ใช้น้ำแทนน้ำยางสด โดยใช้น้ำปริมาตร 1,150 ซีซี (จำลองจากระบบจริง คือ น้ำยาง 1000 ซีซี และกรดฟอร์มิค 125 ซีซี) แล้วบันทึกภาพออร์เทกซ์ที่เกิดขึ้น ที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 100-400 รอบต่อนาที โดยเพิ่มความเร็วรอบครั้งละ 50 รอบต่อนาที โดยใช้ใบพัดทั้ง 3 ชนิด

จากผลการทดลองพบว่าออร์เทกซ์ที่เกิดขึ้นแปรผันตรงกับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยที่ความเร็วรอบสูงสุดที่ทำให้ไม่กระเด็นออกจากถังผสมคือ 400 รอบต่อนาที จึงเลือกความเร็วรอบที่ต่ำกว่าในการผสมน้ำยางกับกรดเนื่องจากต้องหลีกเลี่ยงฟองอากาศ ในที่นี้เลือกใช้ความเร็วรอบที่ 300 รอบต่อนาที ใบพัดทั้ง 3 ชนิดให้ลักษณะของออร์เทกซ์ที่ไม่แตกต่างกันมากนักที่ความเร็วรอบไม่เกิน 200 รอบต่อนาที แต่ที่ความเร็วรอบเกิน 200 รอบต่อนาที จะสังเกตเห็นว่าใบพัดแบบโค้ง (curve blade) จะมีออร์เทกซ์สูงกว่าทั้งแบบแบน (flat blade) และแบบเอียง (axial flow four blade)

การศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสม

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตัวแปร 2 ตัว คือชนิดของใบพัด และปริมาณของกรดฟอร์มิคที่ใช้ โดยสังเกตปริมาณของฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการผสม

ระบบที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

ปริมาณน้ำยางสด	1000 ซีซี.
เปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (Dry rubber content, %DRC)	27 % (วัดโดยเมโทรแลค)
ความเข้มข้นของกรดฟอร์มิค	1.5 %
ปริมาณกรดฟอร์มิคที่ใช้	125 ซีซี, 100 ซีซี และ 70 ซีซี
ความเร็วรอบของมอเตอร์	300 รอบต่อนาที
ใบพัดที่ใช้	ทั้ง 3 ชนิด

การทดลองนี้ใช้ความเข้มข้นของกรดฟอร์มิค 1.5 % ตามที่เสนอในข้อเสนอโครงการ จากผลการทดลองพบว่าการใช้ใบพัดทั้ง 3 ชนิดให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน โดยที่น้ำยางจะจับตัวเร็วมากในขณะที่กวน เวลาที่กวนโดยน้ำยางไม่จับตัวเป็นก้อนในถังกวนคือ 3 วินาที เท่านั้น ซึ่งสั้นมาก อาจเกิดปัญหาการผสมไม่ทั่วถึง ส่วนเวลาในการจับตัวเป็นแผ่นจนสามารถนำไปรีดได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดที่ใช้

การปรับปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) มาตรฐาน และปรับสูตรผสม

เนื่องจากน้ำยางที่รับซื้อในแต่ละครั้งมีปริมาณเนื้อยางแห้งไม่คงที่ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะปรับปริมาณเนื้อยางแห้งให้เป็นมาตรฐานค่าเดียวทุกครั้งเพื่อให้ได้สูตรผสมคงที่ ไม่ต้องเปลี่ยนตามปริมาณเนื้อยางแห้งทุกครั้ง เบื้องต้นกำหนดไว้ที่ 25% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางสดโดยทั่วไปที่อยู่ระหว่าง 30-35% การปรับปริมาณเนื้อยางแห้งจะใช้วิธีวัดค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้อุปกรณ์เมโทรแลค (metrolac) แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเจือจาง

นอกจากนี้จากผลการทดลองที่ผ่านมาเมื่อใช้กรด 1.5% นั้นเวลาที่ใช้ในการกวนสั้นมากคือ 3 วินาที ทำให้การผสมอาจจะไม่ทั่วถึง เกิดฟองอากาศหลังการรม จึงต้องทำการศึกษาถึงความเข้มข้น และปริมาณกรดที่ใช้ในการผสมที่มีเหมาะสมมากกว่านี้

ข้อจำกัดที่สำคัญคือ ยางจะต้องจับตัวภายใน 5-6 นาที เพื่อให้ไม่ให้น้ำยางไหลจนเกินไป ดังนั้นในการปรับสูตรผสม จะคำนึงถึงตัวแปร 2 ตัวคือ เวลาที่ใช้ในการกวนผสม ซึ่งจะกำหนดไว้ที่ 15 วินาที เพื่อให้มั่นใจว่าเกิดการผสมกันอย่างทั่วถึง และเวลาที่ใช้ในการจับตัวของแผ่นยางคือ สูงสุด 6 นาที

ระบบที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

ปริมาณน้ำยางสด	1000 ซีซี.
เปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (Dry rubber content, %DRC)	25 % (มาตรฐาน)
ความเข้มข้นของกรดฟอร์มิค	1.5, 3, 6 และ 9 %
ปริมาณกรดฟอร์มิคที่ใช้	หลายค่า
ความเร็วรอบของมอเตอร์	300 รอบต่อนาที
ใบพัดที่ใช้	ใบพัดเอียง

จากการทดลองเพิ่มความเข้มข้นจาก 1.5% - 9% โดยเพิ่มปริมาณกรดขึ้นครั้งละ 100 ซีซี.

ระบบผสมเต็มขนาด

ชุดผสมเต็มขนาดสามารถบรรจุน้ำยางและกรดรวมประมาณ 5,000 ซีซี. โดยจะใช้ใบพัดชนิดครีบบน 6 แฉกเท่านั้น เนื่องจากไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการผสมโดยใช้ใบพัดแต่ละชนิด และใบพัดแบบนี้สามารถทำได้ง่าย ราคาถูก

3. เครื่องรีดยาง

เครื่องรีดยางทำด้วยเหล็กกลม ทรงกระบอกตัน เหมือนลูกกลิ้ง ทำหน้าที่รีดลดขนาดของแผ่นยางจากลูกกลิ้งเรียบไปจนถึงลูกกลิ้งลาย ในการรีดยาง จะต้องปรับระยะลูกกลิ้งให้ได้ระยะที่ถูกต้อง เพื่อให้จะได้แผ่นยางตามมาตรฐานของโรงงาน

ส่วนประกอบของลูกกลิ้ง

1. ลูกกลิ้งคู่ที่ 1 เป็นลูกกลิ้งสำหรับลดขนาดของก้อนยางลงครึ่งหนึ่ง
2. ลูกกลิ้งคู่ที่ 2, 3 และ 4 เป็นลูกกลิ้งผิวเรียบจะลดความหนาของก้อนยางอีก 1 ใน 3
3. ลูกกลิ้งคู่ที่ 5 เป็นลูกกลิ้งลายจะทำให้ก้อนยางมีดอกและบางตามที่ต้องการ
4. เกลียวปรับระยะลูกกลิ้งและตัวล็อกเกลียว



ภาพที่ 3.12 เครื่องรีดแบบเดิม



ภาพที่ 3.13 เครื่องรีดแบบใหม่

4. วิธีการควบคุมจากกึ่งอัตโนมัติเป็นระบบอัตโนมัติ

ในส่วนของระบบควบคุมจะใช้วิธีการสร้างโมเดลการทำงานของเครื่องผลิตยางแผ่นอัตโนมัติโดยแบ่งเป็น 2 โมเดลหลัก คือ

1. โมเดลที่สร้างขึ้นโดยใช้คอมพิวเตอร์ (Computer Modeling) เพื่อใช้ศึกษาตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่ทราบแน่ชัด และตัวแปรอื่นๆที่อาจไม่คาดคิดมาก่อน โดยค่าของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องนั้นได้มาจากการทดลองจากกลุ่มวิจัยอื่นๆ โมเดลในกลุ่มนี้จะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ส่งผลให้ผู้ออกแบบระบบ/นักวิจัยสามารถจำลองการทำงานของระบบโดยรวมได้ การสร้างโมเดลในรูปแบบนี้ส่งผลให้นักวิจัยสามารถเข้าใจการทำงานของระบบได้โดยไม่จำเป็นต้องสร้างเครื่องต้นแบบ (Prototype) ตลอดจนสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ทั้งตัวแปรด้านเวลาและวัตถุดิบของระบบ เพิ่มหรือลดจำนวนของชุดควบคุมการทำงานของระบบ โดยที่ยังคงทำให้ผลผลิตของระบบไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก ผู้วิจัยคาดว่าจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในกลุ่มของ MathLab/Simulink หรือ LabView เพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างโมเดลและจำลองการทำงานของระบบ
2. โมเดลของระบบแบบย่อส่วน จุดด้อยของโมเดลในกลุ่มที่ 1 ที่ได้กล่าวไปข้างต้นคือขาดความเหมือนจริงในการใช้งานและมักจะอ้างอิงการใช้งานกับเครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์อัตโนมัติที่เป็นมาตรฐานอยู่แล้ว เนื่องจากจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือเพื่อสร้างเครื่องมือใหม่ ดังนั้นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง หากปราศจากการจำลองการทำงานของระบบโดยใช้ระบบแบบย่อส่วน โมเดลของระบบในกลุ่มนี้มีหน้าที่การทำงานที่ใกล้เคียงกับระบบจริงแต่มีขนาดที่เล็กกว่า ความสำคัญของโมเดลในกลุ่มนี้ก็เพื่อใช้เป็นตัวทดสอบการทำงานของระบบโดยรวมภายใต้การควบคุมการทำงานของกลุ่มของ PLC ก่อนที่จะนำไปติดตั้งกับระบบจริง นอกจากนั้นหากเกิดปัญหาของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบผู้วิจัยก็ยังสามารถแก้ไขและปรับเปลี่ยนโปรแกรมได้ก่อนที่จะนำไปใช้กับระบบจริง

ดังนั้นโดยภาพรวมแล้วแนวทางการดำเนินงานวิจัยของการออกแบบระบบคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติจะประกอบด้วยทั้งส่วนของการสร้าง ทดสอบ จำลองการทำงาน ปรับปรุงการทำงาน ตลอดจนแก้ไขข้อผิดพลาดโดยใช้ทั้งโมเดลชนิดที่สร้างโดยใช้คอมพิวเตอร์และโมเดลของระบบแบบย่อส่วน

จากการวิเคราะห์การทำงานเชิงกลของระบบและความต้องการระบบคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบสามารถเขียนเป็นไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบเชิงกลและระบบคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมโดยใช้ PLC (Programmable Logic Controller) โดยมีรายละเอียดของการทำงานดังต่อไปนี้

- PLC จะอ่านค่าจาก Flow Switch ตรวจจับระดับจุดต่ำสุดของน้ำยางและน้ำกรดในถังน้ำยางและถังน้ำกรด เพื่อแจ้งเตือนให้กับผู้ควบคุมระบบทราบหรือเพื่อสั่งงานอุปกรณ์เติมวัตถุดิบทั้งสองที่อาจติดตั้งเพิ่มเติมให้กับระบบเชิงกลในภายหลัง
- หากปริมาณของน้ำยางและน้ำกรดในถังน้ำยางและถังน้ำกรดมีเพียงพอ วัตถุดิบทั้งสองชนิดจะไหลลงไปยังถังผสมน้ำยางกับน้ำกรด PLC จะตรวจจับปริมาณจาก FLOW#1 และ FLOW#2 ที่ควบคุมปริมาณของน้ำยางและน้ำกรดจากถังน้ำยางและถังน้ำกรด เพื่อให้มีความเหมาะสมในการผสม โดยเมื่อปริมาณของวัตถุดิบทั้งสองมีความเหมาะสมแล้ว PLC ก็จะปิด SOLENOID VALVE#1 และ SOLENOID VALVE#2 สำหรับน้ำกรดและน้ำยาง ตามลำดับ
- หลังจากวัตถุดิบทั้งสองลงสู่ถังผสมน้ำยางกับน้ำกรดด้วยปริมาณที่เหมาะสมแล้ว PLC ก็จะสั่งงานมอเตอร์ควบคุมใบพัดกวนให้ทำการหมุนกวนให้ส่วนผสมน้ำยางและน้ำกรด ผสมเข้าด้วยกัน เพื่อให้การผสมระหว่างวัตถุดิบทั้งสองเกิดขึ้นภายใต้สภาวะที่เหมาะสม
- เมื่อการผสมระหว่างวัตถุดิบทั้งสองเสร็จสิ้นแล้ว PLC ก็จะสั่งให้มอเตอร์เท ทำงาน หมุนเทส่วนผสมในถังผสม ลงในถาดรองรับส่วนผสม(ตะก) เมื่อเทหมดแล้ว มอเตอร์จะหมุนกลับ เพื่อให้ ถังผสมพร้อมที่จะรับส่วนผสมใหม่ได้อีก ส่วนตะกที่รับส่วนผสมก็จะเลื่อนออกไป เพื่อให้ตะกอันใหม่เข้ามาแทนที่ เพื่อจะรับส่วนผสมใหม่ต่อไป
- กระบวนการทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นภายใต้การควบคุมการทำงานของ PLC ที่สามารถสั่งงานระยะไกลได้โดยใช้คอมพิวเตอร์ผ่านทางระบบสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS-232

หมายเหตุ บางส่วนของระบบควบคุมได้แสดงไว้เพื่อสนับสนุนความต้องการของระบบเชิงกลในอนาคต อันประกอบด้วย

- การควบคุมการสั่งงานมอเตอร์ขับเคลื่อน/หยุดทำงาน
- การรับสถานะของโฟโตสวิตช์ตรวจจับตำแหน่ง/ควบคุมตำแหน่ง
- การควบคุมการสั่งงานมอเตอร์ และกำหนดเวลาของการผสมน้ำยางกับน้ำกรด
- การควบคุมระบบโดยคอมพิวเตอร์ผ่านทางระบบสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS-232

ระบบควบคุมเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ

เครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัตินี้จะถูกควบคุมการทำงานขององค์ประกอบทุกส่วนโดยใช้คอมพิวเตอร์ในรูปแบบของระบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้ PLC (Programmable Logic Controller) เป็นตัวสั่งการ ซึ่งเป็นระบบควบคุมที่มีใช้ในเชิงพาณิชย์และงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป โดยระบบควบคุมดังกล่าวนี้ มีโครงสร้างภายในประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ที่ทำงานตามโปรแกรมที่คณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยการเขียนโปรแกรมจะกระทำโดยผ่านทางคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อกำหนดลำดับตลอดจนช่วงเวลาของการทำงานของวาล์วและมอเตอร์แต่ละตัวที่ใช้ในเครื่องฯ ให้เป็นไปตามความต้องการ

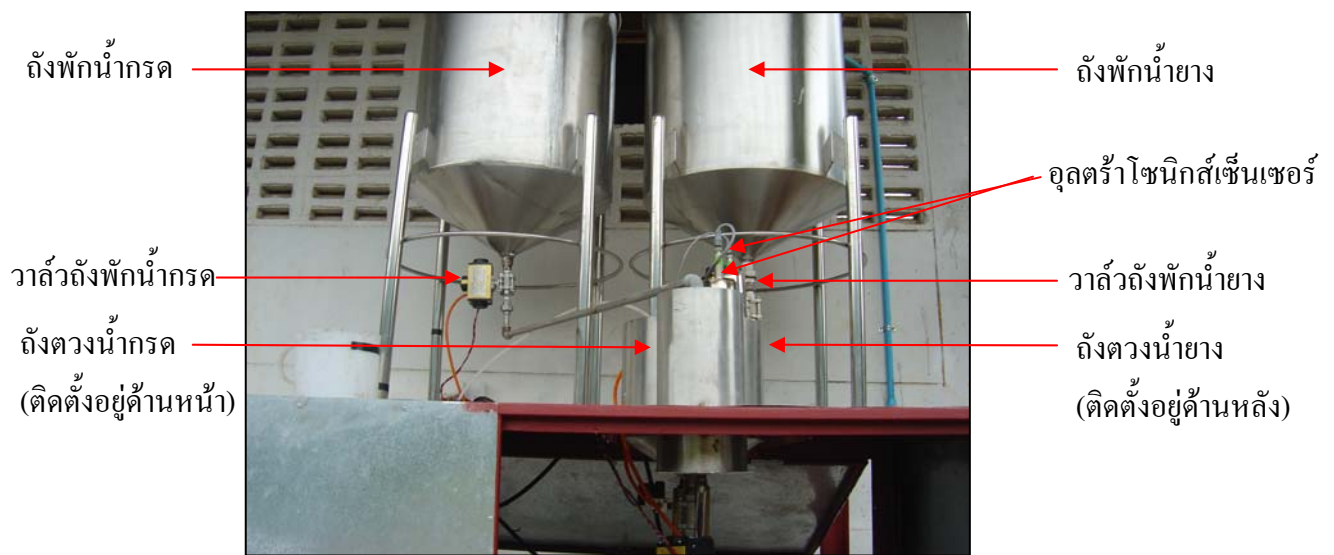
ขั้นตอนการทำงานของระบบอัตโนมัติโดยใช้ PLC เป็นไปตามลำดับต่อไปนี้

1. เมื่อเติมน้ำยางและน้ำกรดลงในถังพักน้ำยางและถังพักน้ำกรดเรียบร้อยแล้ว สั่งให้เครื่องทำงานทางตู้ควบคุม โดยหมุนปุ่มเลือกวิธีควบคุมระบบ ไปยังตำแหน่งอัตโนมัติ และกดปุ่มเริ่มการทำงาน เครื่องจะทำการปล่อยน้ำยางและน้ำกรดสู่ถังตวงทั้งสอง

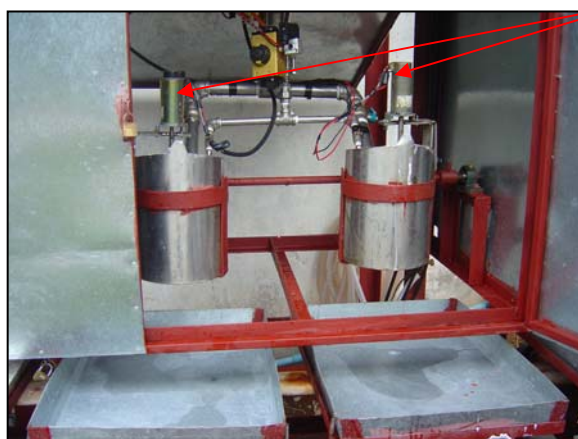


เติมน้ำกรดลงถังพักน้ำกรด

เทน้ำยางลงถังพักน้ำยาง



- อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติที่เรียกว่า อุลตราโซนิคส์เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนถังตวงน้ำยางและถังตวงน้ำกรด ก็จะตรวจระดับน้ำยางและน้ำกรดในถังตวงน้ำยางและถังตวงน้ำกรดว่ามีพอหรือไม่ ถ้ามีไม่พอจะส่งสัญญาณไปให้ PLC สั่งการให้วาล์วของถังพักน้ำยางและน้ำกรดเปิดเพื่อให้น้ำยางและน้ำกรดไหลลงสู่ถังตวงทั้งสองจนได้ระดับที่ตั้งไว้ PLC ก็จะสั่งปิดวาล์วทั้งสอง น้ำยางและน้ำกรดในถังพักก็จะหยุดไหล
- เมื่อน้ำยางและน้ำกรดในถังตวงได้ระดับที่ตั้งไว้ PLC จะสั่งการให้วาล์วทั้งสองของถังตวงเปิด ทำให้น้ำยางและน้ำกรดจากถังตวงน้ำยางและน้ำกรดไหลลงสู่ผสม อุลตราโซนิคส์เซ็นเซอร์จะตรวจระดับน้ำยางและน้ำกรดว่าน้ำยางและน้ำกรดไหลลงสู่ถังตวงเพียงพอหรือไม่ ถ้าไม่เพียงพอจะส่งสัญญาณให้ PLC สั่งการให้วาล์วทั้งสองของถังตวงปิด และสั่งให้วาล์วของถังพักเปิดเพื่อให้น้ำยางและน้ำกรดไหลลงสู่ถังตวงเพื่อเติมให้ได้ระดับที่ตั้งไว้ต่อไป
- เมื่อน้ำยางและน้ำกรดจากถังตวงน้ำยางและน้ำกรดหยุดไหล PLC จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานหมุนใบพัดกวนส่วนผสม เมื่อหมุนได้ตามเวลาที่ตั้งไว้ PLC ก็จะสั่งให้มอเตอร์ใบพัดกวนหยุดหมุน

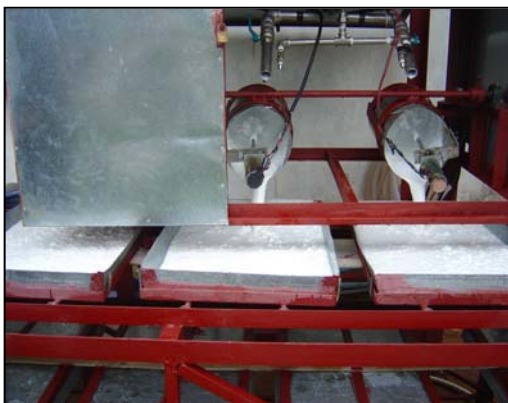


มอเตอร์กระแสตรง

5. เมื่อมอเตอร์ใบพัดกววนหยุดหมุน PLC จะสั่งให้มอเตอร์เทส่วนผสมลงไปในตะกกรองรับ



6. เมื่อเทส่วนผสมหมด มอเตอร์เทจะหมุนกลับทางทำให้ถังผสมกลับมายังตำแหน่งเดิมพร้อมที่จะรับน้ำยางและน้ำกรดจากถังตวงต่อไป
7. เมื่อตะกกรได้รับส่วนผสมเสร็จแล้ว PLC จะสั่งการให้มอเตอร์ของชุดตะกกรทำงานหมุนเลื่อนเอาตะกกรที่ได้รับส่วนผสมออกไป ตะกกรใหม่ก็เข้ามาแทนที่เพื่อที่จะรับส่วนผสมต่อไป ขณะที่ตะกกรอันใหม่เคลื่อนที่เข้ามา วาล์วของถังพักน้ำยางก็จะเปิดให้น้ำยางไหลลงสู่ถังตวงเป็นการเริ่มต้นวงจรใหม่ ระบบก็ทำงานอย่างนี้ไปเรื่อย



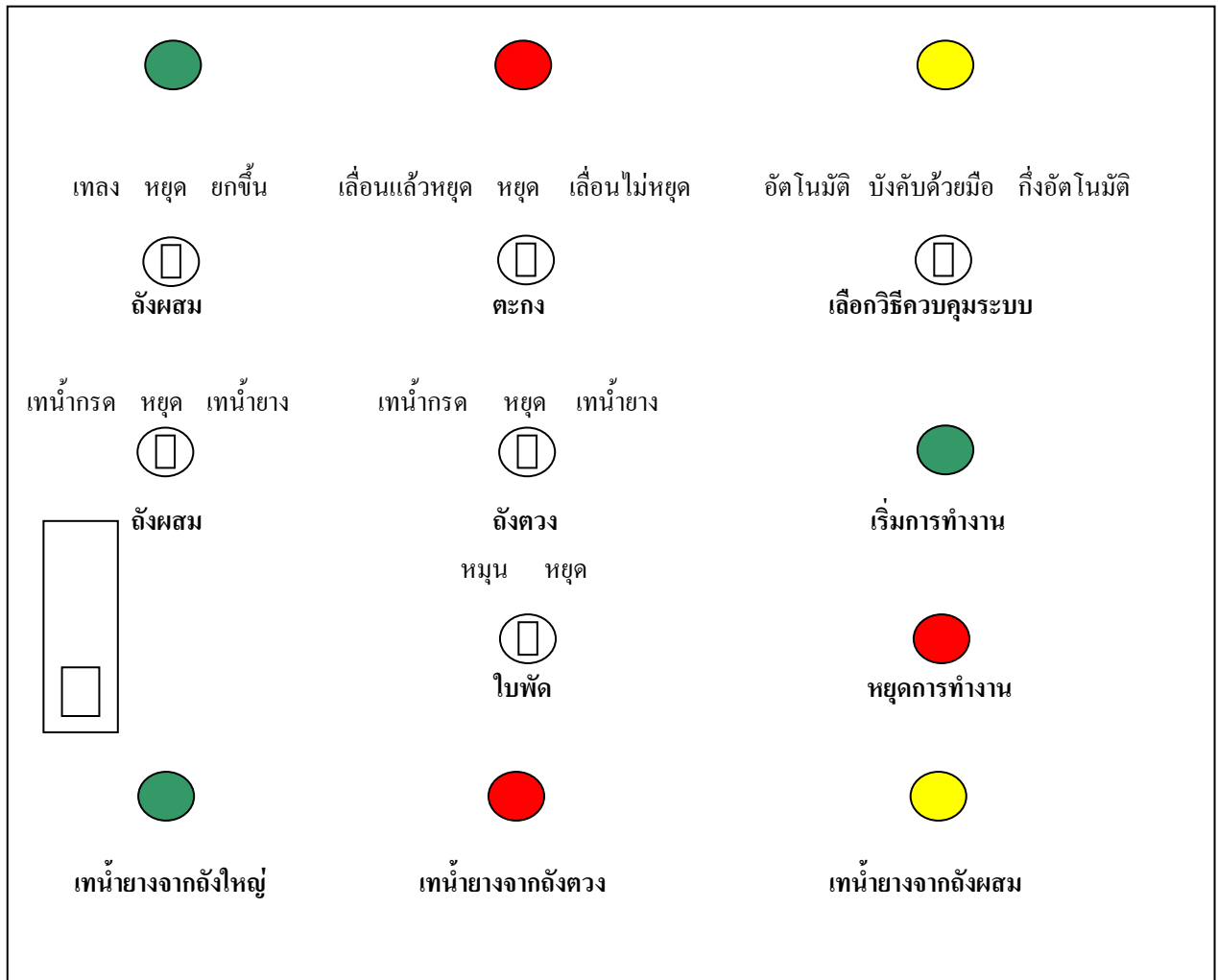
8. ตะกกรที่บรรจุส่วนผสมก็จะเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ ไปยังปลายสุดของราง เมื่อถึงปลายสุดส่วนผสมก็แข็งตัวพร้อมที่จะรีดเป็นแผ่น (ตะกกรเคลื่อนที่ จากจุดเริ่มต้น จนถึงปลายรางใช้เวลา 12 นาที) เมื่อถึงปลายราง ตะกกรก็จะพลิกตัว คว่ำลง ทำให้ก้อนยางในตะกกรพลัดตกลงไปในถังพักแผ่นยาง แล้วนำยางแผ่นที่ได้ไปรีดที่เครื่องรีด



9. ระบบควบคุมจะควบคุมการทำงานแบบนี้เป็นวัฏจักรตลอดไป จนกว่าจะกดปุ่มหยุดการทำงานหรือกดปุ่มฉุกเฉิน



ภาพที่ 3.14 กล่องระบบควบคุมอัตโนมัติ



ภาพที่ 3.15 แผงควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบควบคุม PLC

แผงระบบควบคุม แสดงปุ่มควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบ สามารถควบคุมระบบแบบอัตโนมัติ, กิ่งอัตโนมัติ และ แบบควบคุมด้วยมือ

สรุปผล

จากเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติที่ได้นี้ เมื่อผ่านการวิเคราะห์จากคณะผู้วิจัยแล้ว ได้นำไปสู่การปรับเปลี่ยนระบบดังต่อไปนี้

1. วาล์วที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการปล่อยน้ำยางและน้ำยางที่ผ่านการผสมกรดแล้ว จะต้องเป็นวาล์วชนิดนิวแมติก (Pneumatic Valve) เนื่องจากมีความรวดเร็วในการเปิดปิดมากกว่าวาล์วชนิดโซลินอยด์ (Solenoid Valve) นอกจากนี้วาล์วชนิดนิวแมติกยังมีแรงบิดของกลไกภายในในขณะที่ปล่อยของเหลวสูงกว่าวาล์วชนิดโซลินอยด์ซึ่งคาดว่าน่าจะสามารถป้องกันการอุดตันตัวของน้ำยางที่แข็งตัวในกระบวนการผลิตได้

2. เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อข้อกำหนดเบื้องต้นของเครื่องคือ ได้จำนวนของยางแผ่นดิบ 200 แผ่น/ชั่วโมง จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนของตะกงที่รับน้ำยางดิบหลังผสมกับกรดแล้วจากเดิมเพียง 1 ตะกงต่อครั้งเป็น 4 ตะกงต่อครั้ง นั่นคือจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนของสายพานลำเลียงตะกงเป็น 2 ชุดที่ทำงานพร้อมๆกัน โดยที่แต่ละชุดจะรับน้ำยางที่ผ่านการผสมกับกรดเรียบร้อยแล้วจำนวน 2 ตะกงพร้อมๆกัน
3. จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนกลไกการปล่อยน้ำยางดิบหลังผสมกับกรดแล้วจากภาชนะบรรจุเป็นแบบเทลงตะกงโดยตรงแทนที่จะปล่อยผ่านวาล์วเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาอันเกิดจากการอุดตันของน้ำยางดิบหลังผสมกับกรดเมื่อมีการไหลผ่านวาล์วอย่างต่อเนื่อง
4. เพื่อลดผลของฟองอากาศในน้ำยางผสมกรดอันอาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการเทลงตะกง น่าจะมีการชิงโครไนซ์ระหว่างการดำเนินงานของมอเตอร์ที่ควบคุมการเทน้ำยางดิบหลังผสมกับกรดแล้วจากภาชนะบรรจุกับจังหวะการเลื่อนของสายพานลำเลียงตะกงโดยอาจเพิ่มตัวตรวจจับตำแหน่งของตะกงในระหว่างที่เคลื่อนที่ผ่านภาชนะบรรจุน้ำยางดิบหลังผสมกับกรด

5. โรงเรือนวิจัย

เนื่องจากเครื่องผลิตยางแผ่นดิบ มีอุปกรณ์ที่มีค่ามาก เพื่อป้องกันการสูญหายหรือเกิดความเสียหาย การลักขโมย และป้องกันฝน แสงแดดจึงต้องมีโรงเรือน

โรงเรือนมีความกว้าง 5 เมตร ยาว 12 เมตร, สูง 6 เมตร พื้นเทคอนกรีตเสริมเหล็ก, หลังคามุงกระเบื้องลอนคู่, ฝ้ากึ่งคอนกรีตกึ่งลวดเหล็ก



ภาพที่ 3.16 สถานที่ตั้งเครื่องผลิตยางแผ่นดิบเดิม



ภาพที่ 3.17 สถานที่ตั้งเครื่องผลิตยางแผ่นดิบใหม่

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผลิตยางแผ่นดิบชั้นดีอัตโนมัติต้นแบบ ที่สามารถลดแรงงาน เวลา ต้นทุนในการผลิต ประหยัดน้ำ รักษาสิ่งแวดล้อม และช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ที่มีฝีมือในการทำยางแผ่นชั้นดี

4.2 ลักษณะของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ

ลักษณะเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ เป็นเครื่องทุ่นแรงที่สามารถผลิตยางแผ่นดิบได้โดยอัตโนมัติ โดยผู้ใช้เพียงแต่ใส่น้ำยาง ใส่น้ำกรด ในภาชนะที่เตรียมไว้แล้วเปิดสวิตช์เครื่อง เครื่องก็จะทำงานผลิตยางแผ่นดิบออกมา พร้อมทั้งจะนำไปตากแดดให้แห้ง หรือเข้าห้องรมควันให้แห้งพร้อมที่จะจำหน่ายต่อไปได้ เป็นระบบที่ง่าย ลดขั้นตอนการผลิต ประหยัดเวลา ลดแรงงาน รักษาสิ่งแวดล้อม และผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญ เหมือนกับการผลิตยางแผ่นดิบแบบเดิม

ส่วนประกอบของเครื่อง

- (1) ถังลำเลียงน้ำยาง (เครื่องที่ติดตั้งที่สหกรณ์สวนยางถ้ำใหญ่พัฒนา ไม่จำเป็นต้องมีถังนี้)
- (2) ถังลำเลียงน้ำกรด (เครื่องที่ติดตั้งที่สหกรณ์สวนยางถ้ำใหญ่พัฒนา ไม่จำเป็นต้องมีถังนี้)
- (3) กระเช้าบรรจุถังลำเลียงน้ำยาง, ถังลำเลียงน้ำกรด (เครื่องที่ติดตั้งที่สหกรณ์สวนยางถ้ำใหญ่พัฒนา ไม่จำเป็นต้องมีกระเช้านี้)
- (4) รอกสำหรับยกกระเช้า
- (5) มอเตอร์สำหรับหมุนยกกระเช้า
- (6) ถังพักน้ำยาง
- (7) ถังพักน้ำกรด
- (8) ถังตวงน้ำยาง
- (9) ถังตวงน้ำกรด
- (10) ถังผสมน้ำยางกับน้ำกรด
- (11) มอเตอร์พร้อมใบพัดกวนส่วนผสมน้ำยางกับน้ำกรด
- (12) มอเตอร์ที่ใช้ในการเทส่วนผสมน้ำยางกับน้ำกรด
- (13) ชุดตะกอลำเลียงส่วนผสมน้ำยางกับน้ำกรด
- (14) สายพานลำเลียงชุดตะกอน

- (15) โครงเหล็กของชุดตะกง
- (16) มอเตอร์ต้นกำลังของชุดตะกง
- (17) ถาดรองรับก้อนยาง
- (18) ชุดเครื่องรีดยางแผ่น
- (19) มอเตอร์ขับเคลื่อนชุดเครื่องรีดยางแผ่น
- (20) กระบะรับแผ่นยางและล้างแผ่นยาง

หมายเหตุ

รายการที่ 1-5 มีเฉพาะเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติที่ติดตั้งที่วิทยาเขตนครศรีธรรมราช เท่านั้น ถ้าเครื่องนี้ไปติดตั้งที่สหกรณ์กองทุนสวนยางอำเภอใหญ่พัฒนา ไม่จำเป็นต้องมี เพราะว่าที่สหกรณ์กองทุนสวนยางต่าง ๆ โรงผลิตยางแผ่นจะตั้งบนเนิน จึงสามารถเทน้ำยาง น้ำกรด สู้อัดพัก น้ำยางกับน้ำกรดได้

4.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ

1. นำน้ำยางใส่ลงในถังป้อนน้ำยาง แล้วกว้านขึ้นไปใส่ในถังพักน้ำยาง ซึ่งในขั้นตอนนี้ในสภาพจริงอาจไม่ต้องใช้ก็ได้ เนื่องจากระดับของถังพักน้ำยางจะตั้งพอดีกับการป้อนน้ำยางสู่ถังพักน้ำยาง (รถบรรทุกน้ำยางเข้ามาจอดเทียบแล้วป้อนน้ำยางเข้าถังพักน้ำยางได้เลย)
2. นำน้ำกรดที่ได้เจือจางจนได้ความเข้มข้นที่ดี ใส่ลงในถังน้ำกรด แล้วกว้านขึ้นไปใส่ในถังพักน้ำกรด
3. เปิดกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ
4. เลือกวิธีควบคุมระบบเป็นแบบอัตโนมัติ(โดยการหมุนบิดสวิทช์ควบคุมไปทางซ้าย)
5. กดปุ่มเริ่มการทำงาน ระบบจะทำงานโดยอัตโนมัติ คือ
 - วาล์วที่ถังพักน้ำยาง และ น้ำกรด จะเปิดน้ำยางจากถังพักก็จะไหลลงสู่ถังตวงน้ำยาง น้ำกรด จากถังพักก็จะไหลลงสู่ถังตวงน้ำกรด จนได้จำนวนที่ตั้งโปรแกรมไว้ วาล์วทั้งสองก็จะปิด
 - เมื่อถังตวงน้ำยางได้รับน้ำยางจากถังพักจนถึงระดับที่ตั้งไว้ และวาล์วของถังพักปิดสนิท วาล์วที่ถังตวงน้ำยางจะเปิด น้ำยางจากถังตวงก็จะไหลลงสู่ถังผสมน้ำยาง จนได้จำนวนที่ตั้งโปรแกรมไว้ วาล์วของถังตวงน้ำยางก็จะปิด

- เมื่อถึงดวงน้ำกรดได้รับน้ำกรดจากถังพักน้ำกรดจนถึงระดับที่ตั้งไว้ และวาล์วของถังพักน้ำกรดปิดสนิท และเครื่องจะรอจนกว่าวาล์วจากถังดวงน้ำยางจะปิด วาล์วที่ถังดวงน้ำกรดก็จะเปิดน้ำกรดจากถังดวงก็จะไหลลงสู่ถังผสม จนได้จำนวนที่ตั้งโปรแกรมไว้ วาล์วของถังดวงน้ำกรดก็จะปิด ขณะเดียวกัน มอเตอร์ของใบพัดก็จะหมุนกวส่วนผสมให้เข้ากัน ใช้เวลา 20 วินาที การผสม จะผสมครั้งละ 2 ตะก
- เมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้ ถังผสมจะเทส่วนผสมลงในตะก
- เมื่อถึงผสมส่วนผสมลงในตะกจนหมดแล้ว ตะกก็จะเคลื่อนที่ไปตะกอันใหม่ ก็จะเคลื่อนที่เข้ามารองรับส่วนผสมต่อไปโดยอัตโนมัติ
- ขณะที่ตะกอันใหม่เคลื่อนที่เข้ามา วาล์วของถังพักน้ำยางก็จะเปิดให้น้ำยางไหลลงสู่ถังดวงเป็นการเริ่มต้นวงจรใหม่ ระบบก็ทำงานอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ ไม่มีที่สิ้นสุด จนกว่าน้ำยางจากถังพักจะหมด ระบบก็จะหยุดรอจนกว่าจะเติมน้ำยางลงในถังพักจนได้ที่
- ตะกที่บรรจุส่วนผสมก็จะเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ ไปยังปลายสุดของราง เมื่อถึงปลายสุดส่วนผสมก็แข็งตัวพร้อมที่จะรีดเป็นแผ่น(ตะกเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นจนถึงปลายรางใช้เวลา 9 นาที) เมื่อถึงปลายรางตะกก็จะพลิกตัวคว่ำลง ทำให้ก้อนยางในตะกพลิกตกลงไปบนเครื่องรีด ๆ ก็จะรีดก้อนยางให้เป็นแผ่นยางที่ต้องการ แผ่นยางที่รีดเสร็จแล้วจะตกลงในอ่างล้างยาง แล้วนำยางที่ล้างเสร็จแล้วไปตากเพื่อเตรียมจำหน่าย

จะเห็นว่าเครื่องผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติจะทำงานได้จะต้องมีระบบควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วต่าง ๆ ให้ทำงานสอดคล้องกับปริมาณที่ต้องการ ซึ่งการควบคุมวาล์วต่างๆ จะควบคุมโดยคอมพิวเตอร์

4.4 การทดลองส่วนผสมที่เหมาะสมเบื้องต้น

ในการทดลองนี้จะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตัวแปร 2 ตัว คือชนิดของใบพัด และปริมาณของกรดฟอร์มิคที่ใช้ โดยสังเกตปริมาณของฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการผสม

ระบบที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

ปริมาณน้ำยางสด	1000 cc
เปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (Dry rubber content, %DRC)	27% (วัดโดยเมโทรแลค)
ความเข้มข้นของกรดฟอร์มิค	1.5%
ปริมาณกรดฟอร์มิคที่ใช้	125 cc, 100 cc และ 70 cc
ความเร็วรอบของมอเตอร์	300 rpm
ใบพัดที่ใช้	ทั้ง 3 ชนิด

การทดลองนี้ใช้ความเข้มข้นของกรดฟอร์มิค 1.5% ตามที่เสนอในข้อเสนอโครงการ จากผลการทดลองพบว่าการใช้ใบพัดทั้ง 3 ชนิดให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน โดยที่น้ำยางจะจับตัวเร็วมาก ในขณะที่กวน เวลาที่กวนโดยน้ำยางไม่จับตัวเป็นก้อนในถังกวนคือ 3 วินาที เท่านั้น ซึ่งสันนิษฐาน อาจเกิดปัญหาการผสมไม่ทั่วถึง ส่วนเวลาในการจับตัวเป็นแผ่นจนสามารถนำไปรีดได้ ขึ้นอยู่กับ ปริมาณกรดที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

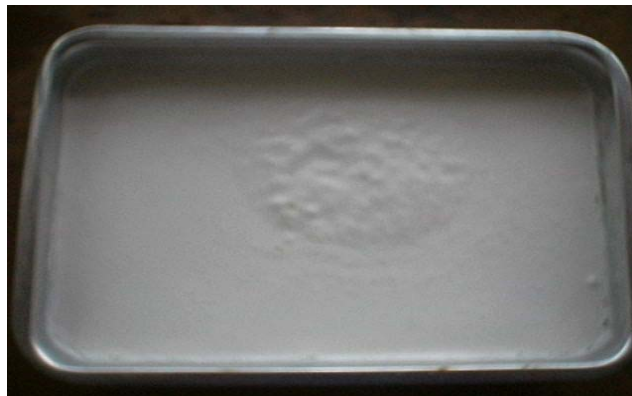
ตารางที่ 4.1 เวลาที่ยางจับตัวเป็นแผ่นสำหรับปริมาณน้ำกรดต่าง ๆ กัน

ปริมาณน้ำยางสด (cc)	ความเข้มข้นของกรด (%)	ปริมาณกรด (cc)	เวลาในการกวน (วินาที)	เวลาที่ยางแข็งตัว (นาท)
1000	1.5	125	3	4
1000	1.5	100	3	6
1000	1.5	70	3	12

ลักษณะของแผ่นยางที่จับตัวแล้วแสดงในภาพที่ 4.1 สำหรับปริมาณกรด 125 cc ใช้ใบพัดโค้งจะ สังเกตเห็นปริมาณฟองที่แตกบริเวณผิว ซึ่งเกิดจากการที่น้ำยางตกกระทบแรงจนเกินไป สามารถ แก้ไขโดยการปรับลักษณะการไหลของน้ำยางออกจากถังผสม ให้ผ่านท่อโค้งเพื่อลดแรงกระทบนี้ ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 แผ่นยางที่ได้จากการผสมโดยใช้ใบพัดโค้ง กรดฟอร์มิก 1.5% ปริมาณ 125 cc



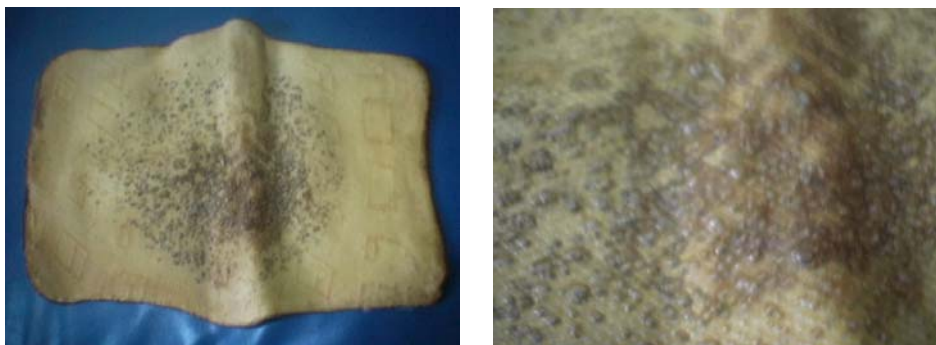
ภาพที่ 4.2 แผ่นยางที่ได้จากการผสมโดยใช้ใบพัดเอียง กรดฟอร์มิก 1.5% ปริมาณ 100 cc

หลังจากนำแผ่นยางที่ได้จากการผสมโดยใช้ กรดฟอร์มิก 1.5% ปริมาณ 100 cc ไปรีดด้วยจักรรีดยางแล้วยางแผ่นดิบที่ได้แทบจะไม่มีฟองอากาศอยู่เลย ฟองอากาศที่อยู่บนผิวยางเมื่อรีดแล้วได้หายไป ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ยางแผ่นดิบที่รีดแล้ว

จากการรมยางซึ่งใช้เวลา 5 วัน 4 คืนในห้องรมยางของ สหกรณ์ทำข้ามพัฒนาการยาง จก. ต.ท่าข้าม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ยางแผ่นรมควันที่ได้มีฟองอากาศเกิดขึ้นบริเวณกลางแผ่น ส่วนอื่นไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้น แต่ยางมีสภาพยืดหยุ่นดี ยางแผ่นรมควันที่ได้ดังแสดงในภาพที่ 4.4 ส่วนที่ไม่ปรากฏฟองแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 ยางแผ่นรมควันแผ่นที่ 1



ภาพที่ 4.5 ยางแผ่นรมควันแสดงส่วนที่ไม่มีฟองอากาศ

ฟองอากาศแตกที่เกิดขึ้นบนผิวเนื้อยางเมื่อนำไปรีดเป็นยางแผ่นดิบนั้น ยางแผ่นดิบที่ได้มีลักษณะปกติ กล่าวคือมีลักษณะขาว เทบจะไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่เลย ส่วนยางแผ่นรมควันนั้นมีความยืดหยุ่นดี แต่ฟองอากาศมากบริเวณตรงกลางแผ่นอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุดังต่อไปนี้

ยี่ห้อที่ทำการทดลองจะมีขนาดเล็กกว่ายางปกติ และเมื่อรีดแล้วจะบางกว่าทำให้สภาวะการรมไม่เหมาะสมกับยางตัวอย่างอีกทั้งยี่ห้อที่ทำการทดลองมาไม่ผสมน้ำ ทำให้ยางแผ่นมีความชื้นต่ำ ทำให้ในการรมที่ใช้เวลาในการรมปกติ ยี่ห้อที่ทดลองเกิดฟองอากาศขึ้น นอกจากนี้ยังเกิดจากการผสมระหว่างน้ำยางกับกรดไม่ทั่วถึงเนื่องจากใช้เวลาสั้นคือ 3 วินาที

4.5 การปรับปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) มาตรฐาน และปรับสูตรผสม

เนื่องจากน้ำยางที่รับซื้อในแต่ละครั้งมีปริมาณเนื้อยางแห้งไม่คงที่ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะปรับปริมาณเนื้อยางแห้งให้เป็นมาตรฐานค่าเดียวทุกครั้งเพื่อให้ได้สูตรผสมคงที่ไม่ต้องเปลี่ยนตามปริมาณเนื้อยางแห้งทุกครั้ง เบื้องต้นกำหนดไว้ที่ 25% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางสดโดยทั่วไปที่อยู่ระหว่าง 30-35% การปรับปริมาณเนื้อยางแห้งจะใช้วิธีวัดค่าปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางโดยใช้อุปกรณ์เมโทรแลค (Metrolac) แล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเจือจาง

นอกจากนี้จากผลการทดลองที่ผ่านมาเมื่อใช้กรด 1.5% นั้นเวลาที่ใช้ในการกวนสั้นมากคือ 3 วินาที ทำให้การผสมอาจจะไม่ทั่วถึง จึงเกิดฟองอากาศหลังการรม จึงต้องทำการศึกษาถึงความเข้มข้น และปริมาณกรดที่ใช้ในการผสมที่มีเหมาะสมมากกว่านี้

ข้อจำกัดที่สำคัญคือ ยางจะต้องจับตัวภายใน 5-6 นาที เพื่อให้ไม่ให้นายพานการผลิตยาวจนเกินไป ดังนั้นในการปรับสูตรผสม จะคำนึงถึงตัวแปร 2 ตัวคือ เวลาที่ใช้ในการกวนผสม ซึ่งจะกำหนดไว้ที่ 15 วินาที เพื่อให้มั่นใจว่าเกิดการผสมกันอย่างทั่วถึง และเวลาที่ใช้ในการจับตัวของแผ่นยางคือ สูงสุด 6 นาที

ระบบที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

ปริมาณน้ำยางสด	1000 cc
เปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (Dry rubber content, %DRC)	25% (มาตรฐาน)
ความเข้มข้นของกรดฟอร์มิค	1.5, 3, 6 และ 9%
ปริมาณกรดฟอร์มิคที่ใช้	หลายค่า
ความเร็วรอบของมอเตอร์	300 rpm
ใบพัดที่ใช้	ใบพัดเอียง

จากการทดลองเพิ่มความเข้มข้นจาก 1.5% - 9% โดยเพิ่มปริมาณกรดขึ้นครั้งละ 100 cc ผลปรากฏว่าความเข้มข้นของกรด 9% ปริมาณ 300 cc สามารถทำให้น้ำยางที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง 25% ใช้เวลาในการแข็งตัว 5 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นและปริมาณของกรดที่ใช้เพิ่มขึ้นมาก โดยที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากเดิม 6 เท่าและปริมาณเพิ่มขึ้น 3 เท่า ซึ่งเป็นเพราะในการปรับน้ำยางให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (%DRC) เท่ากับ 25% ต้องเติมน้ำพอสสมควร น้ำยางมีเปอร์เซ็นต์ที่น้อยทำให้ในการเร่งให้ยางจับตัวแข็งตัวต้องใช้กรดที่เข้มข้นและปริมาณมากกว่าเดิม จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นและปริมาณกรด เวลาที่น้ำยางใช้ในการจับตัวขณะกวนจะเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถกวนผสมได้ถึง 15 วินาทีโดยที่น้ำยางยังไม่จับตัว แต่ใช้ในการจับตัวในตะกอนไม่มากนัก คือ 5 นาที

เมื่อใช้ความเข้มข้นของกรด 9% ปริมาณ 300 cc ผสมกับน้ำยาง 1,000 cc ลักษณะของแผ่นยางก่อนที่จะนำไปรีดนั้นมีฟองอากาศขนาดเล็กอยู่บนผิวยางดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ยางแผ่นดิบเมื่อผสมกรด 9% ปริมาณ 300 cc กับน้ำยาง 1,000 cc

หลังจากนำไปรีดด้วยจักรรีดยางแล้วยางแผ่นดิบที่ได้แทบจะไม่มีฟองอากาศอยู่เลย ฟองอากาศที่อยู่บนผิวยางเมื่อรีดแล้วได้หายไป ดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ยางแผ่นดิบที่รีดแล้ว (กรด 9% ปริมาณ 300 cc ผสมกับน้ำยาง 1,000 cc)

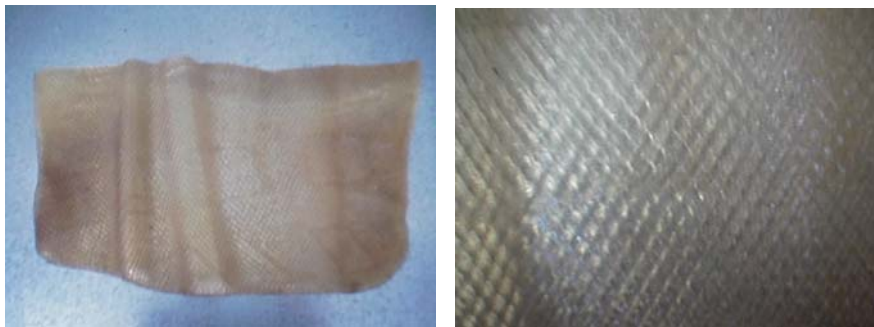
จากการรมยางซึ่งใช้เวลา 5 วัน 4 คืน ในห้องรมยาง พบว่ายางแผ่นรมควันที่ได้มีลักษณะ ไหม้ดำ มีฟองอากาศเกิดขึ้นทั่วทั้งแผ่น ยางมีสภาพเยิ้ม ผิวยางมัน ไม่มีความยืดหยุ่น ดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ยางแผ่นรมควัน (กรด 9% ปริมาณ 300 cc ผสมกับน้ำยาง 1,000 cc)

จะเห็นได้ว่ายางแผ่นดิบที่ได้มีลักษณะปกติกล่าวคือ มีลักษณะขาว เทบจะไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่ ส่วนยางแผ่นรมควันนั้นมีลักษณะไหม้ดำ มีฟองอากาศเกิดขึ้นทั่วทั้งแผ่น ยางมีสภาพเยิ้ม ผิวยางมัน ไม่มีความยืดหยุ่นเลย ซึ่งอาจเกิดจากส่วนผสมที่ใช้กรรมมาก นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำยางที่ชื้อจากชาวสวนยางไม่บริสุทธิ์ มีการผสมสารเคมีจำพวกแอมโมเนีย หรือโซดาไฟเพื่อไม่ให้ น้ำยางจับตัว ซึ่งเมื่อนำมาทำยางแผ่นรมควันจะทำให้ยางเกิดเป็นฟองอากาศ อีกสาเหตุหนึ่งคือ ยางที่ทำการทดลองจะบางกว่ายางที่รมปกติ ทำให้ในการรมที่ใช้เวลาในการรมปกติ ยางที่ทดลองเกิดฟองอากาศขึ้น

แต่เมื่อนำยางแผ่นดิบไปตากแดดเพื่อระเหยความชื้นส่วนหนึ่งภายในแผ่นยางออกก่อน จากนั้นจึงค่อยนำมาอบในเตาอบไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิ โดยที่ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิขึ้น ไม่ให้เกิน 50 องศาเซลเซียส ผลที่ได้ปรากฏว่ายางมีลักษณะใส ฟองอากาศในเนื้อยางลดลงมากจนแทบไม่เห็น ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ยางแผ่นที่ได้จากการอบในเตาอบควบคุมอุณหภูมิ

ในการทดลองข้างต้นได้ใช้น้ำยางที่รับชื้อจากชาวสวนยาง ซึ่งบางครั้งได้น้ำยางที่ผสมสารเคมี เพื่อรักษาสภาพ ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาทำยางแผ่น จึงได้รับชื้อน้ำยางจากสถาบันวิจัยยาง สงขลา ซึ่งมีความบริสุทธิ์ ปราศจากสารเคมีเจือปน เมื่อใช้ความเข้มข้นของกรด 9% ปริมาณ 400 cc ผสมกับน้ำยาง 1,000 cc ซึ่งรับชื้อจากสถาบันวิจัยยางสงขลา ลักษณะของแผ่นยางก่อนที่จะนำไปรีด นั้นแสดงในภาพที่ 4.10



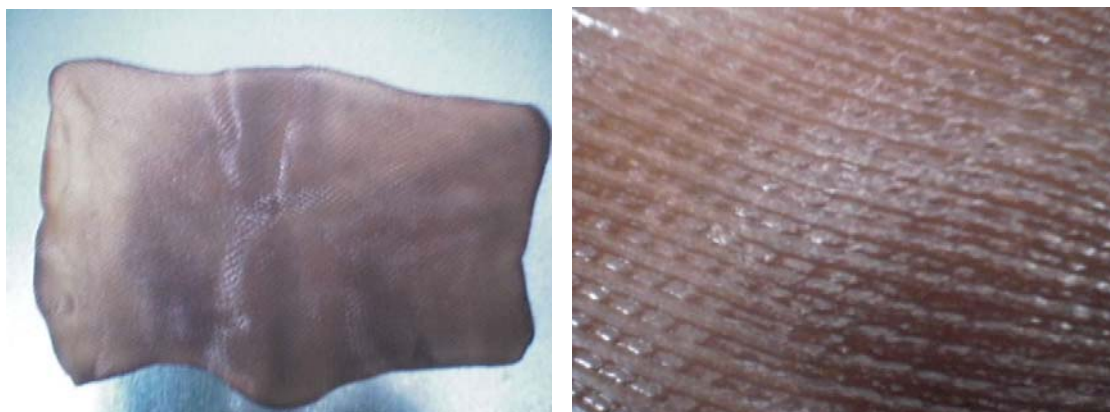
ภาพที่ 4.10 ยางแผ่นดิบเมื่อผสมกรด 9% ปริมาณ 400 cc กับน้ำยาง 1,000 cc

หลังจากนำไปรีดด้วยจักรรีดยางแล้วยางแผ่นดิบที่ได้แทบจะไม่มีฟองอากาศอยู่เลย ฟองอากาศที่อยู่บนผิวยางเมื่อรีดแล้วได้หายไป ดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ยางแผ่นดิบที่รีดแล้ว (กรด 9% ปริมาณ 400 cc ผสมกับน้ำยาง 1,000 cc)

จากการรมยางซึ่งใช้เวลา 5 วัน 4 คืนในห้องรมยางของสถาบันวิจัยยางสงขลา ยางแผ่นรมควันที่ได้มีลักษณะดำ มีฟองอากาศเกิดขึ้นบ้าง ยางมีผิวยางมัน ยังมีความยืดหยุ่นน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ยางแผ่นรมควัน (กรด 9% ปริมาณ 400 cc ผสมกับน้ำยาง 1,000 cc)

4.6 การทดลองหาความเข้มข้นและปริมาณกรดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตยางแผ่นดิบอัตโนมัติ

ใช้ชุดผสมเต็มขนาดที่สามารถบรรจุน้ำยางและกรดรวมประมาณ 5,000 ซีซี. โดยจะใช้ใบพัดชนิดกริบบน 6 แฉกเท่านั้น เนื่องจากไม่มีความแตกต่างมากนักของการผสมโดยใช้ใบพัดแต่ละชนิด

การทดลองครั้งที่ 1

วัตถุประสงค์ หาคความเข้มข้นของน้ำกรดที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำกรด 300 ซีซี. คงที่ เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำกรด น้ำยาง DRC 30%

แผ่นยาง	ปริมาณ น้ำยาง (ซีซี.)	ความ เข้มข้น ของกรด (%)	ปริมาณ น้ำกรด (ซีซี.)	เวลาใน การกวน (วินาที)	เวลา จับตัว (นาท)	ลักษณะแผ่นยาง
01A	4000	3	300	15	13	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ เล็กน้อย
01B	4000	4	300	15	20	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ เล็กน้อย
01C	4000	5	300	15	30	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ เล็กน้อย
01D	4000	6	300	15	38	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ เล็กน้อย

สรุปผล

จากการทดลองนี้พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดที่ใช้ ทำให้เวลาที่ใช้ในการจับตัวของแผ่นยางยาวนานขึ้น โดยเวลาที่สั้นที่สุดคือประมาณ 13 นาที สำหรับน้ำกรด 3% จำนวน 300 ซีซี. คุณภาพของแผ่นยางที่รมควันแล้วจะใกล้เคียงกันจากการสังเกตด้วยตาเปล่า โดยในแผ่นยางจะมีฟองเม็ดเล็กจำนวนเล็กน้อย

ตัวอย่างแผ่นยาง

01A



01D



การทดลองครั้งที่ 2

วัตถุประสงค์ หาคความเข้มข้นและปริมาณของน้ำกรดที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.3 เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและปริมาณของน้ำกรด น้ำยาง DRC 30%

แผ่นยาง	ปริมาณ น้ำยาง (ซีซี.)	ความ เข้มข้น ของกรด (%)	ปริมาณ น้ำกรด (ซีซี.)	เวลาใน การกวน (วินาที)	เวลายาง จับตัว (นาท)	ลักษณะแผ่นยาง
02A	4000	1.5	200	15	32	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ ปานกลาง
02B	4000	2	200	15	29	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ ปานกลาง
02C	4000	3	100	15	24	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ มาก
02D	4000	3	150	15	12	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ ปานกลาง
02E	4000	3	200	15	8	ปกติ

สรุปผล

ในการทดลองนี้ต้องการหาช่วงที่เหมาะสมของปริมาณและความเข้มข้นของกรดที่ใช้ จากผลการทดลองนี้เมื่อลดปริมาณกรดลงจาก 300 ซีซี. เป็น 200, 150 และ 100 ซีซี. โดยให้ความเข้มข้นคงที่ 3% พบว่าเวลาที่ใช้ในการจับตัวจะลดลง แล้วเพิ่มขึ้นอีก โดยเวลาดำสุดที่ใช้คือ ประมาณ 8 นาที สำหรับกรด 3% จำนวน 200 ซีซี. เมื่อให้ปริมาณกรด 200 ซีซี. คงที่แล้วลดความเข้มข้น ทำให้เวลาที่ใช้ในการจับตัวกลับเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ส่วนคุณภาพของแผ่นยางที่รมควันแล้วจะใกล้เคียงกันจากการสังเกตด้วยตาเปล่า โดยในแผ่นยางบางแผ่นจะมีฟองเม็ดเล็กเกิดขึ้น ยางที่ดีที่สุดที่ได้เกิดจากการใช้กรดเข้มข้น 3% จำนวน 200 ซีซี. ผสมกับน้ำยาง 4000 ซีซี. โดยใช้เวลาในการจับตัวประมาณ 8 นาที ยางที่ได้มีคุณภาพดีจากการสังเกตด้วยตาเปล่า

ตัวอย่างแผ่นยาง

02A



02E



การทดลองครั้งที่ 3

วัตถุประสงค์ หาปริมาณของน้ำกรดที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้น 3% คงที่ เปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำกรด น้ำยาง DRC 30%

แผ่นยาง	ปริมาณ น้ำยาง (ซีซี.)	ความ เข้มข้น ของกรด (%)	ปริมาณ น้ำกรด (ซีซี.)	เวลาใน การกวน (วินาที)	เวลายาง จับตัว (นาที)	ลักษณะแผ่นยาง
03A	4000	3	160	15	12	ปกติ
03B	4000	3	160	15	12	ปกติ
03C	4000	3	180	15	9	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ เล็กน้อย
03D	4000	3	180	15	9	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ เล็กน้อย
03E	4000	3	200	15	10	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ มาก
03F	4000	3	200	15	10	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ มาก
03G	4000	3	220	15	12	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ ปานกลาง
03H	4000	3	220	15	12	มีฟองเม็ดเล็ก ๆ ปานกลาง

สรุปผล

ในการทดลองนี้ต้องการหาปริมาณที่เหมาะสมของกรดที่ใช้ให้ละเอียดขึ้น โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดครั้งละ 20 ซีซี. จาก 160 ถึง 220 ซีซี. เนื่องจากผลการทดลองที่ 2 ชี้ให้เห็นว่าปริมาณกรด (3%) ที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 200 ซีซี. จากผลการทดลองพบว่าปริมาณกรดที่ทำให้ยางจับตัวเร็วที่สุดมีค่าประมาณ 180 ซีซี. โดยคุณภาพของแผ่นยางที่รมควันแล้วจะใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในการจับตัวของแผ่นยางจะสูงกว่าการทดลองครั้งที่ 2 เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากใช้ความรู้สึกของผู้ทดลองในการวินิจฉัยว่ายางจับตัวเมื่อใด ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนบ้าง

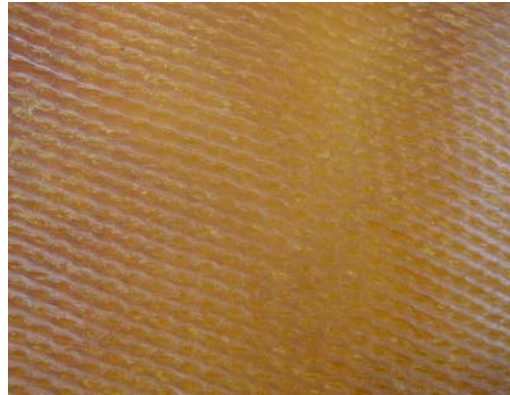
สรุปจากการทดลองทั้ง 3 ครั้งพบว่ายางที่ดีที่สุดที่ได้เกิดจากการใช้กรดเข้มข้น 3% จำนวน 180-200 ซีซี. ผสมกับน้ำยาง 4000 ซีซี. โดยใช้เวลาในการจับตัวประมาณ 8-10 นาที

ตัวอย่างแผ่นยาง

03A



03C



03E



03G



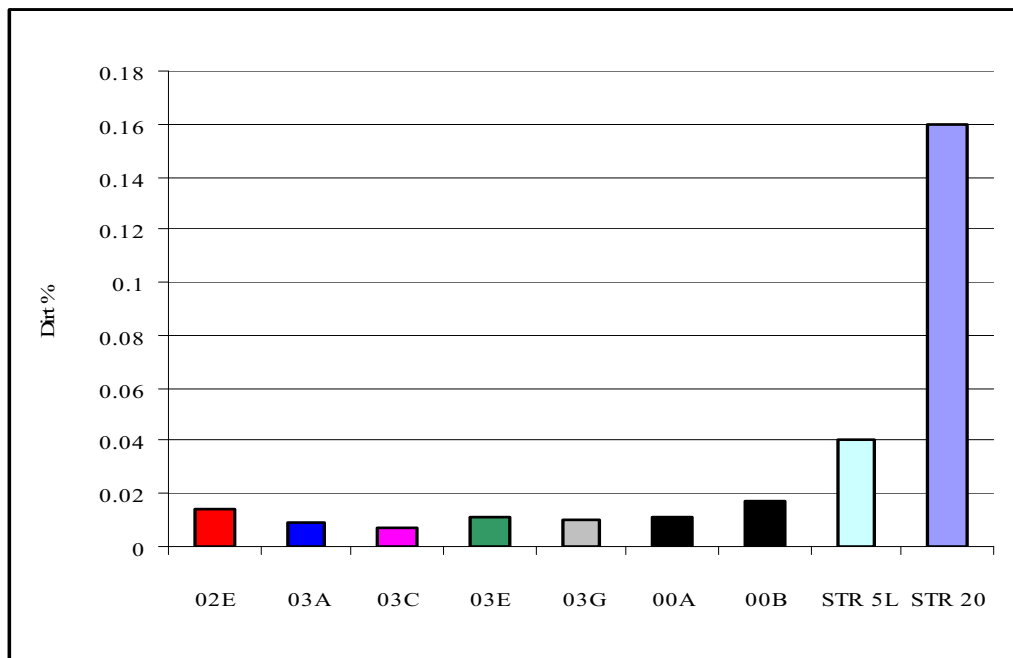
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติยางตามมาตรฐานยางแท่ง

ทดสอบโดย สถาบันวิจัยยางส่วนแยก สงขลา

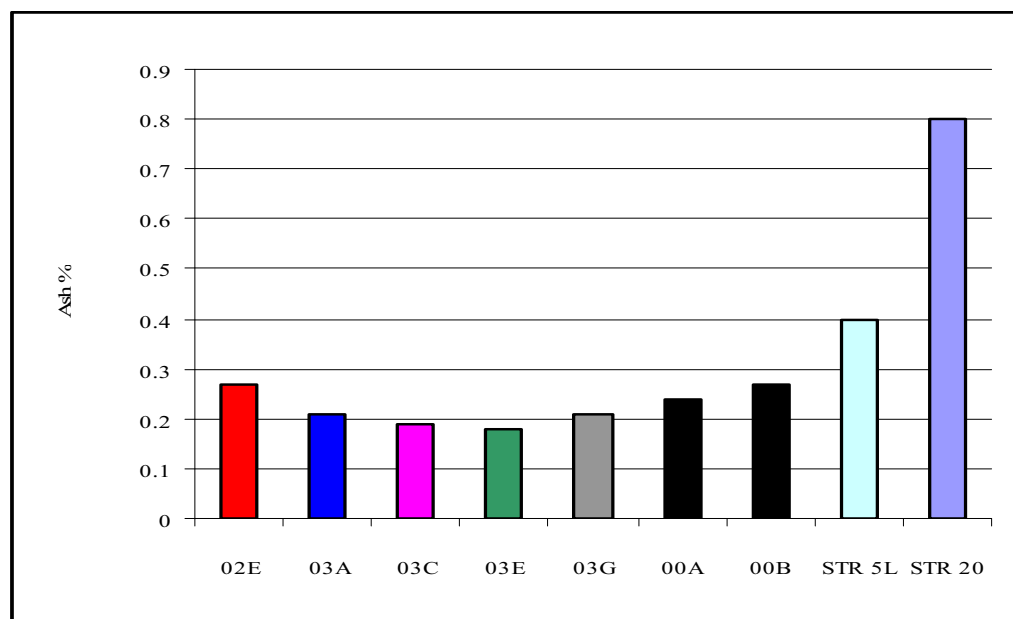
แผ่นยาง	Dirt %	Ash %	VM %	N %	PO	PRI	Col	Mooney Viscosity ML 1'+4' (100°C)
02E	0.014	0.27	0.83	0.33	47	93.6	16.0	79.4
03A	0.009	0.21	0.53	0.36	47	89.4	10.0	77.7
03C	0.007	0.19	0.57	0.32	47	91.5	10.0	76.7
03E	0.011	0.18	0.53	0.26	46	91.3	10.0	76.8
03G	0.010	0.21	0.61	0.32	46	93.5	10.0	76.9
00A	0.011	0.24	0.42	0.26	43	97.7	7.0	70.6
00B	0.017	0.27	0.47	0.33	45	95.6	7.0	73.7
STR 5L	0.04	0.40	0.80	0.60	35	60.0	6.0	NA
STR 20	0.16	0.80	0.80	0.60	30	40	NA	NA

หมายเหตุ

- Dirt : Dirt content ปริมาณสิ่งสกปรก
- Ash : Ash content ปริมาณเถ้า
- VM : Volatile matter content ปริมาณสิ่งระเหย
- N : Nitrogen content ปริมาณไนโตรเจน
- Po : Initial plasticity ความอ่อนตัวเริ่มต้น
- PRI : Plasticity retention index ดัชนีความอ่อนตัว
- Col : Color สี
- STR 5L : ยางแท่งที่ทำมาจากน้ำยาง
- STR 20 : ยางแท่งที่ทำมาจาก ยางแผ่น, เศษยาง, จี๊ยาง
- แผ่นยางที่ใช้เป็น Control คือ 00A และ 00B



ภาพที่ 4.13 ปริมาณสิ่งสกปรก



ภาพที่ 4.14 ปริมาณเถ้า