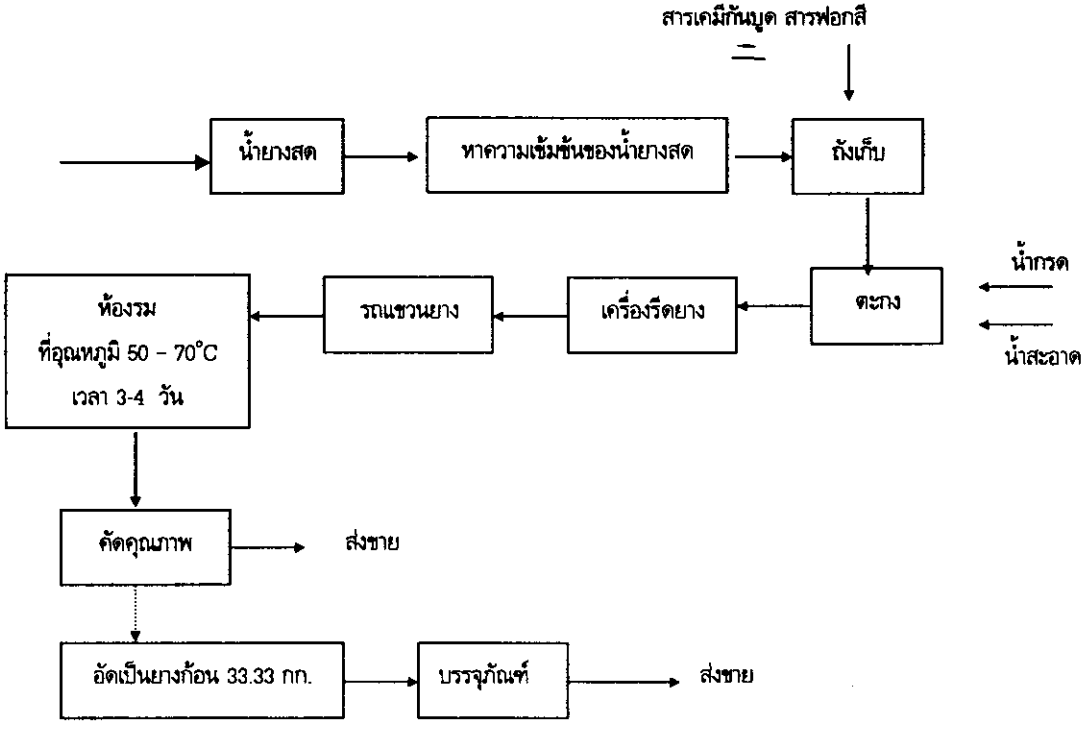
บทที่ 2
สำรวจเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

การผลิตยางแผ่นรมควันเริ่มจากน้ำยางสด ชาวสวนที่เป็นสมาชิกจะจัดส่งมาถึงโรงรมทุกเช้า ราคารับซื้อน้ำยางสดผันแปรตามราคาตลาดและความเข้มข้นของน้ำยางหรือเปอร์เซ็นต์ของเนื้อยาง (ปกติประมาณ 30%) ในการรับซื้อน้ำยางสดต้องมีการตรวจวัดค่าความเข้มข้นน้ำยางทุกครั้ง โดยใช้เมโทรแลคซึ่งวัดจากแรงลอยตัว หรือการอบแห้ง น้ำยางที่รับซื้อนำมารวมในถัง จากนั้นนำมาผสมกับน้ำและน้ำกรดในตะกง คนจนผสมเข้ากันดี กวาดฟองที่ผิวน้ำยางออก แล้วใส่แผ่นเสียบในร่องเพื่อแยกน้ำยางให้เป็นแผ่นหนา 1 นิ้ว ปล่อยให้ยางแข็งตัวประมาณ 2-4 ชั่วโมง หลังจากยางแข็งตัวดีแล้วลำเลียงเข้าเครื่องรีด เพื่อรีดเป็นแผ่นบางซึ่งหนาประมาณ 3 มม. ลูกรีด 2 ชุดสุดท้ายทำหน้าที่รีดขึ้นลายที่ผิวเพื่อเพิ่มพื้นที่การระเหยน้ำ



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์

ยางแผ่นดิบที่รีดแล้วถูกนำขึ้นแขวนบนรถแขวนยางและผึ่งให้สะเด็ดน้ำประมาณ 2-6 ชม.ก่อนนำเข้าห้องรม การรมควันให้ความร้อนและควันแก่ยางแผ่นที่อุณหภูมิ 50 - 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 3- 4 วันยางจึงจะแห้ง ยางแผ่นรมควันที่ได้ถูกนำมาคัดคุณภาพ ตัดเศษสกปรก ส่วนที่เป็นฟองอากาศ และส่วนที่ไม่สุก แล้วส่งไปขายที่ตลาดกลางยางพารา หรือส่งโรงงาน โรงรมบางแห่งอัดเป็นก้อนขนาด 33.33 กก. บรรจุในถุงพลาสติก ก่อนส่งขาย กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันแสดงในแผนภาพรูปที่ 2.1

2.2 การผลิตยางแผ่นคุณภาพดีและมาตรฐานยางแผ่นดิบ

การผลิตยางแผ่นคุณภาพดี ได้คุณภาพตามความต้องการของตลาดจะ ให้ขายได้ในราคาที่สูงขึ้น และสามารถนำเข้าไปขายในระบบตลาดกลางยาพาราได้ แก้ไขปัญหาการเสียเปรียบทางการตลาดให้กับเกษตรกรชาวสวนยางสร้างมูลค่าเพิ่มในการขายยางและในส่วนของผู้ประกอบการหรือพ่อค้ายางสามารถเลือกซื้อยางได้คุณภาพตรงตามความ ต้องการและซื้อได้ในปริมาณมากในคราวเดียวกัน สามารถลดต้นทุนในการผลิตยางแผ่นรมควัน

2.2.1 ลักษณะสำคัญของยางแผ่นคุณภาพดี

1) แผ่นยางสะอาดไม่มีรอยคราบน้ำกรดหรือรอยเหนียวเยิ้ม เมื่อยกแผ่นยางขึ้นส่องดูต้องไม่มีจุดฟองอากาศและสิ่งสกปรกหรือจุดด่างดำเจือปนในแผ่นยาง

2) แผ่นยางมีเนื้อยางแห้งตลอดแผ่น ยางแผ่นดิบมีความชื้นไม่เกิน 3% ยางแผ่นรมควันต้องแห้ง 100% มีสีสวยสม่ำเสมอเป็นสีเดียวกันตลอดแผ่น ไม่ด่างดำหรือสลับลายหรือคล้ำดำ

3) แผ่นยางมีลายดอกนูนเด่นชัด มีความยืดหยุ่น เมื่อดึงแผ่นยางเนื้อยางจะต้องไม่ขาดง่าย หรือเป็นรูพรุน

4) แผ่นยางไม่หนาหรือบางมากจนเกินไป ความหนาของแผ่นยางเฉลี่ย 2.8-3.2 มิลลิเมตร น้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่น 800-1,200 กรัม

5) รูปทรงแผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ได้ขนาดมาตรฐานแผ่นยางไม่เล็กหรือใหญ่จนเกิดไปเฉลี่ยขนาดความกว้าง 38-46 เซนติเมตร ความยาว 80-90 เซนติเมตร

2.2.2 ลักษณะยางแผ่นดิบที่คุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานไม่รับเข้าตลาดกลาง

1) มีสิ่งสกปรกและฟองอากาศในแผ่นยางมาก

2) เสียความยืดหยุ่น เนื้อยางเปื่อย ขาดง่ายหรือเป็นรูพรุน

3) เนื้อยางแห้งไม่สม่ำเสมอ มีความชื้นในแผ่นยางมากเกิน 3%

4) แผ่นยางมีความหนาหรือบางมากจนเกินไป

5) แผ่นยางเหนียวเยิ้ม มีกลิ่นเหม็น มีสีด่างดำหรือสีสลับราย

6) มีราสนิมเหล็ก ราดำ หรือเชื้อรายางอื่น ปนเปื้อนในแผ่นยางมากหรือจับหนาแน่นเห็นได้ชัด

7) รูปแผ่นไม่ได้ขนาดมาตรฐาน แผ่นยางเล็กหรือใหญ่มากจนเกินไป หรือเป็นเศษเสี้ยวของแผ่นยาง

2.2.3 มาตรฐานยางแผ่นดิบและยางแผ่นรมควันคุณภาพต่าง ๆ

ยางแผ่นดิบแห้งสามารถจำแนกคุณภาพได้ตามตารางที่ 2.1 และเมื่อผ่านการรมควันสามารถจำแนกคุณภาพตามสมบัติทางกายภาพได้ตามตารางที่ 2.2 (ที่มา จากฐานความรู้ด้านพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

ตารางที่ 2.1 รายการสำหรับการจำแนกยางแผ่นดิบคุณภาพต่างๆ

รายการ	คุณภาพ			
	1	2	3	4
1. ความสะอาดแผ่น	100%	100%	100%	100%
สิ่งสกปรกในแผ่น	0%	เล็กน้อย	เล็กน้อย	มีบ้าง
ฟองอากาศในแผ่น	0%	เล็กน้อย	เล็กน้อย	มีบ้าง
2. ขนาดความหนาของแผ่น ไม่เกิน(มิลลิเมตร)	3	4	4	4
3. ความชื้นในแผ่นยางไม่เกิน(เปอร์เซ็นต์)	1.5	2	3	4.5
4. สีของเนื้อยาง	ใส	สม่ำเสมอ	ไม่ใสนัก	ไม่ใส
ความคล้ำ	0	อาจมีบ้าง	คล้ำ	คล้ำ
รอยด่างดำ	0	อาจมีบ้าง	ค่อนข้างทึบ	ทึบ
5. แผ่นยืดหยุ่น	ดี	ดี	ดี	ดี
ลายดอกแผ่นที่ปรากฏ	ชัด	ชัด	ชัด	ชัด
6. น้ำหนักแผ่น (กรัม)	800-1,200	100-1,200	ไม่เกิน 1,500	ไม่เกิน 1,500
7. รูปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า				
กว้าง (ซ.ม)	38-46	38-46	38-46	38-46
ยาว (ซ.ม)	80-90	80-90	80-90	80-90

ตารางที่ 2.2 ตารางคุณสมบัติของยางแผ่นรมควันชั้น 1-3

สมบัติ	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3
การขึ้นรา	ต้องไม่มีราหรือมีราแห้งเล็กน้อย เฉพาะผิวของแผ่นยางที่ใช้ห่อ	มีราสนิมได้เล็กน้อยหรือมีราแห้ง ที่แผ่นยางที่ใช้ห่อแต่ไม่เกิน 5% ของตัวอย่างที่ตรวจ	มีราสนิมได้เล็กน้อยหรือมีราแห้ง ที่แผ่นยางที่ใช้ห่อแต่ไม่เกิน 10% ของตัวอย่างที่ตรวจ
สมบัติของยางแผ่น	ยางทุกแผ่นจะต้องมีสมบัติดังนี้คือ - แห้ง - เนื้อแข็ง - ไม่มีจุดพอง - ไม่มีกรวดทราย - ไม่มีสิ่งปนเปื้อน - ไม่มีตำหนิใด ๆ - สะอาด - ไม่มีราสนิม	ยางทุกแผ่นจะต้องมีสมบัติดังนี้คือ - แห้ง - เนื้อแข็ง - ไม่มีจุดพอง - ไม่มีกรวดทราย - ไม่มีสิ่งปนเปื้อน - ไม่มีตำหนิใด ๆ - สะอาด	ยางทุกแผ่นจะต้องมีสมบัติ ดังนี้คือ - แห้ง - เนื้อแข็ง - ไม่มีจุดพอง - ไม่มีกรวดทราย - ไม่มีสิ่งปนเปื้อน
ตำหนิที่ยอมรับได้	- มีฟองอากาศขนาดหัวเข็มหมุด กระจายอยู่ทั่วแผ่น - มีจุดดำๆของเปลือกไม้เล็กน้อย	- มีฟองอากาศขนาดเล็ก - มีจุดดำๆของเปลือกไม้เล็กน้อย	- มีฟองอากาศขนาดเล็ก - มีจุดดำๆของเปลือกไม้ เล็กน้อย
ตำหนิที่ยอมรับไม่ได้	- ยางเหนียวเยิ้ม - ยางเนื้ออ่อน - ยางแก่ไฟ - ยางไหม้ - ยางอ่อนรมควัน - ยางแก่รมควัน - ยางทึบ	- ยางเหนียวเยิ้ม - ยางเนื้ออ่อน - ยางแก่ไฟ - ยางไหม้ - ยางอ่อนรมควัน - ยางแก่รมควัน - ยางทึบ	- ยางเหนียวเยิ้ม - ยางเนื้ออ่อน - ยางแก่ไฟ - ยางไหม้ - ยางอ่อนรมควัน - ยางแก่รมควัน - ยางทึบ

2.3 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการลดความชื้นยางแผ่นดิบ

การลดความชื้นของแผ่นยางสามารถทำได้หลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง 2 วิธีคือ

2.3.1การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้อม ซึ่งใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์

วิธีนี้ได้มีงานวิจัยหลายชิ้น (Breyamer, *et al.*, 1993; Pratoto, *et al.*, 1997; Pratoto, *et al.*, 1998) ในการพยายามที่จะคำนวณหาขนาดแผงรับรังสีที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรหลาย ๆ ค่า สำหรับโรงงานรมควันยางแผ่นของเกษตรกรในประเทศอินโดนีเซีย หลักการทำงานคือใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ในการเปลี่ยนแสงอาทิตย์ซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ให้เป็นพลังงานความร้อน จากนั้นควบคุมให้อากาศไหลผ่านด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสมเพื่อรับความร้อนจากแผงรับรังสี อากาศร้อนซึ่งมีอุณหภูมิ 45–60°C จะไหลเข้าสู่ห้องอบเพื่อถ่ายเทความร้อนให้แผ่นยางและทำให้แผ่นยางแห้ง Breyamer, *et al.* (1993) ได้เสนอให้รวมห้องอบและห้องรมควันเข้าด้วยกัน การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์เป็นเวลา 5 วันจะลดความชื้นในแผ่นยางเหลือเพียง 0.5% สำหรับแผ่นยางจำนวน 320 กิโลกรัม จากนั้นทำการรมควันต่อจะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนจาก 1,000 – 1,500 กิโลกรัมต่อตันยางสุก (จากการรมควันโดยวิธีปกติ) เหลือเพียง 300 กิโลกรัมต่อตันยางเท่านั้น นอกจากนี้ห้องอบสามารถใช้ผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง (ADS) โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 6-7 วัน

2.3.2 การตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

วิธีนี้จะใช้การตากแห้งในโรงตากซึ่งรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง โดยลักษณะของโรงตากมีหลังคาใสซึ่งปูด้วยกระเบื้องใสหรือแผ่นพลาสติกใสโพลีเอธิลีน (PE) ซึ่งทนรังสีอัลตราไวโอเลต แผ่นยางจะรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรงและความชื้นจะถูกพาออกจากแผ่นยางโดยอากาศที่ไหลผ่าน ในปัจจุบันบาง สหกรณ์ได้สร้างโรงตากแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ไม่ได้ใช้อย่างเต็มที่ ทั้งนี้เนื่องจากขาดความสะดวกในการใช้งาน ส่วนใหญ่โรงตากยางที่สร้างจะทำรางชนิดถาวรสำหรับวางราวแขวนยาง ไม่สามารถเข็นรถแขวนยางเข้าไปทั้งคันได้ นอกจากนี้โรงตากยางเหล่านี้ไม่ได้มีการควบคุมทิศทางการไหล หรือความเร็วของอากาศ ซึ่งมีผลต่อการแห้งตัวของแผ่นยางเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นหากมีการออกแบบโรงตากยางให้สามารถควบคุมทิศทางการไหลและความเร็วของอากาศแล้ว จะทำให้สามารถควบคุมการตากยางได้แน่นอนมากขึ้น นอกจากนี้แล้วจะต้องมีการศึกษาตัวแปรที่สำคัญเช่นระยะห่างระหว่างแผ่นยางที่เหมาะสม และระยะเวลาในการตากยาง โดยที่ผลลัพธ์ที่ต้องการคือแผ่นยางดิบมีความชื้นต่ำและไม่เกิดรา และสามารถประหยัดเชื้อเพลิงไม้ฟืนในการรมยาง

สำหรับการตากแห้งยางแผ่นกลางแจ้งให้รับแสงอาทิตย์โดยตรง ตามที่ชาวสวนยางได้ปฏิบัติกันมานั้น พบว่า แผ่นยางจะมีคุณสมบัติทางไดนามิกส์ที่ต่ำลง และยางแผ่นส่วนใหญ่ที่ตากก็แห้งไม่ดี (Pratoto, *et al.*, 1997) George, *et al.* (2002) ได้ศึกษาผลของการตากแห้งยางแผ่นด้วยแสงอาทิตย์โดยตรง พบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตในแสงอาทิตย์ส่งผลให้คุณสมบัติ plasticity, viscosity และ gel content สูงขึ้น แต่ค่า plastic retention index (PRI) จะลดลง รวมถึงคุณสมบัติ ageing จะลดลงเช่นกัน

หากเลือกแนวทางที่ 2.3.1 นั้นจะต้องทำการก่อสร้างใหม่ทั้งหมด มีต้นทุนในการก่อสร้างสูงและแผงรับรังสีมีขนาดใหญ่ตามความจุของห้อง อีกทั้งยังต้องบำรุงรักษาแผงรับรังสีให้สะอาดตลอดเวลา โครงการนี้จะเลือกแนวทางที่ 2.3.2 แต่จะออกแบบให้มีขนาดเล็กกว่าโรงตากยางเดิมของสหกรณ์โดยมีความจุเพียงพอสำหรับยางแผ่นปริมาณเท่ากับ 1 ห้องรมควัน และใช้ผนังภายในโรงตากยางเป็นพื้นที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นวิธีที่ประหยัด ง่ายต่อการใช้งานและบำรุงรักษา โดยในขั้นตอนแรกจะทำการศึกษาคุณลักษณะการแห้งตัวของยางแผ่นดิบ ในสภาวะต่าง ๆ ที่กำหนดในตู้อบโดยควบคุมสภาวะให้ใกล้เคียงกับโรงตากยาง โดยจะสังเกตการเกิดรา จากนั้นจะนำผลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงโรงตากยางของสหกรณ์สวนยาง เพื่อเป็นต้นแบบ ซึ่งในที่นี้ได้ทำการติดต่อไว้แล้วคือ สหกรณ์กองทุนสวนยางบ้านทุ่งโพธิ์ ต.ทุ่งขมิ้น อ.นาหม่อม จ.สงขลา ซึ่งสหกรณ์แห่งนี้เป็นสหกรณ์ที่อยู่ใกล้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์มากที่สุดที่มีโรงตากยางอยู่แล้ว

2.4 กลไกการแห้งทางทฤษฎี

การแห้ง (drying) เป็นที่เข้าใจโดยทั่วไปว่าเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเนื้อของวัตถุมาสู่บริเวณผิว และการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากผิวของวัตถุเพื่อให้ได้วัตถุแห้งที่มีความชื้นแน่นอนปริมาณหนึ่ง อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัตถุขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ กระบวนการพื้นฐานเกี่ยวกับการแห้ง ประกอบไปด้วย

- การส่งผ่านความร้อนเพื่อไประเหยของเหลว
- การส่งผ่านของมวลในลักษณะของของเหลวและไอภายในวัตถุและในลักษณะของไอจากผิว สองกระบวนการนี้เกิดขึ้นพร้อมกัน และองค์ประกอบซึ่งควบคุมอัตราของแต่ละกระบวนการจะเป็นตัวกำหนดอัตราการแห้ง ระยะเวลาของการแห้งแบ่งเป็น 3 ช่วงดังนี้

ก. ระยะเริ่มต้น (initial period) ในระยะนี้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่ใช้ทำแห้ง (wet bulb temperature) น้ำที่ระเหยในระยะนี้จะเป็นน้ำอิสระ คือไม่จับกับโมเลกุลของสารอื่น อัตราการทำแห้งของระยะนี้จะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยปกติแล้วในระยะนี้จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างยากเนื่องจากเกิดขึ้นเร็วมาก

ข. ระยะอัตราการแห้งคงที่ (constant rate period) เป็นระยะที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงแบบเส้นตรง เทียบกับเวลา น้ำที่ระเหยในช่วงนี้เป็นน้ำอิสระเช่นเดียวกับในระยะเริ่มต้น ในระยะนี้น้ำจะเคลื่อนตัวจากภายในผลิตภัณฑ์สู่ผิวเพื่อทดแทนน้ำที่ระเหยจากผิวสู่อากาศภายนอกพอดี ตลอดเวลาผิวของผลิตภัณฑ์จึงชุ่มด้วยน้ำอยู่เสมอระยะนี้อัตราเร็วการแห้งจะมีค่าคงที่และสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ตัวแปรควบคุมอัตราการแห้งที่สำคัญ คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ทิศทางการไหลของอากาศ และอัตราการไหลของอากาศ อัตราการแห้งในช่วงนี้เขียนเป็นสมการ (Treybal, 1981) ได้ ดังนี้

$$N_C = \frac{h_t A(T_g - T_s)}{\lambda} = K_g A(p_s - p_g) \qquad (2.1)$$

ส่วนเวลาในการแห้งตัวอธิบายได้จาก

$$\theta = \frac{L_s(X_1 - X_C)}{AN_C} \qquad (2.2)$$

โดยที่ N_C คือ อัตราการแห้งสูงสุด, g/hr

h_t คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนทั้งหมด, J/(hr)(m^2)(°C)

A คือ พื้นที่ที่มีการส่งผ่านความร้อนและการระเหย, m^2

λ คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ T_s, J/g

K_g คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านมวล, g/(hr)(m^2)(atm)

T_g คือ อุณหภูมิกาซ(กระเปาะแห้ง), °C

T_s คือ อุณหภูมิของผิวที่มีการระเหย , °C

p_s คือ ความดันของน้ำที่อุณหภูมิผิว T_s, atm

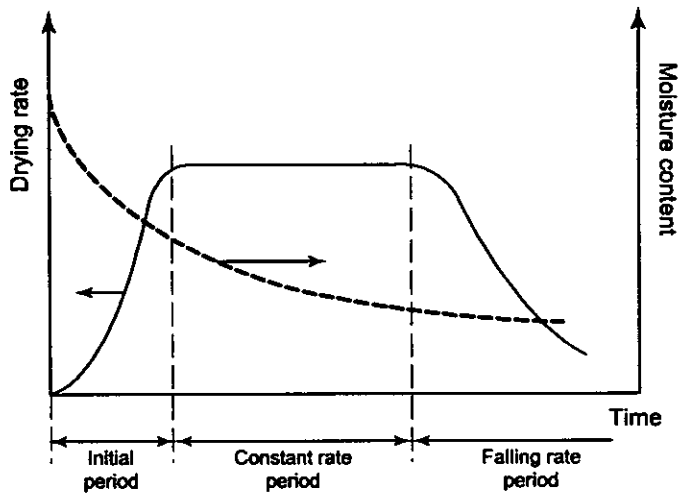
p_g คือ ความดันย่อยของไอน้ำในแก๊ส, atm

L_s คือ น้ำหนักวัตถุแห้ง, g

X คือ ความชื้นของวัตถุ ณ จุดต่าง ๆ

θ คือ เวลา, hr

ดังนั้นจากสมการของอัตราการแห้งข้างต้น จะเห็นว่าขนาดของอัตราการแห้งคงที่นี้ขึ้นกับองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนหรือมวล พื้นที่ที่สัมผัสกับตัวกลางที่ทำให้แห้ง และความต่างของอุณหภูมิ หรือความชื้นระหว่างแก๊สร้อนและผิวเปียกของของแห้ง



รูปที่ 2.2 เส้นโค้งการแห้งของผลิตภัณฑ์

ค. ระยะอัตราการแห้งลดลง (falling rate period) เมื่อค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ถึงจุดหนึ่งซึ่งเรียกว่า ค่าความชื้นวิกฤต (critical moisture content) การเคลื่อนตัวของน้ำจากภายในออกมาสู่ผิว เป็นไปได้ยากขึ้นจึงไม่สามารถทดแทนน้ำที่ระเหยจากผิวได้ ดังนั้นในระยะนี้อัตราเร็วของการทำแห้งจึงลดลงดังแสดงในรูปที่ 2-2 ตัวแปรที่ควบคุมอัตราเร็วในการทำแห้งไม่ใช่ลักษณะของอากาศภายนอกอีกต่อไป แต่จะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์เอง เช่น โครงสร้างภายใน หรือค่าความสามารถการกระจายภายในตัวผลิตภัณฑ์เป็นต้น ในผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารอินทรีย์โดยทั่วไปแล้วพบว่าการทำแห้งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในระยะนี้อัตราการแห้งในช่วงนี้เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$N = \frac{N_C(X - X^*)}{(X_C - X^*)} \tag{2.3}$$

$$\theta = \frac{L_s(X_C - X^*)}{AN_C} \ln \frac{X_C - X^*}{X_2 - X^*} \tag{2.4}$$

โดยที่ N คือ อัตราการแห้ง , g/hr

X_C คือ ความชื้นวิกฤต

X^* คือ ความชื้นสมดุลของวัตถุ

จากกลไกการแห้งทางทฤษฎีนั้นสรุปได้ว่า กระบวนการการแห้งไม่ใช่กระบวนการที่ราบเรียบติดต่อกันที่ปัจจัยเพียงอย่างเดียวสามารถควบคุมได้ และระยะเวลาของการแห้งสามารถแบ่งออกได้ 3 ระยะดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

การแห้งของวัตถุมักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นในของวัตถุ มี 2 แบบคือฐานเปียก (wet basis) และฐานแห้ง (dry basis)

ค่าความชื้นฐานเปียกหาได้โดยเอาน้ำหนักน้ำที่มีอยู่ในวัตถุหารด้วยน้ำหนักทั้งหมดของวัตถุในขณะนั้น หรือ

$$\%MC_{wb} = \left(\frac{W_w}{W_w + W_d}\right)\times 100 \quad (\%) \tag{2.5}$$

โดยที่ W_w คือ น้ำหนักของน้ำ และ W_d คือ น้ำหนักของวัตถุแห้ง

ค่าความชื้นฐานแห้งหาได้โดยเอาน้ำหนักน้ำที่มีอยู่ในวัตถุ หารด้วยน้ำหนักแห้งของวัตถุหรือ

$$\%MC_{db} = \left(\frac{W_w}{W_d}\right)\times 100 \quad (\%) \tag{2.6}$$

ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง $\%MC_{wb}$ และ $\%MC_{db}$ คือ

$$\%MC_{db} = \left(\frac{\%MC_{wb}}{100 - \%MC_{wb}}\right)\times 100 \ (\%) \tag{2.7}$$

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ค่าความชื้นฐานแห้งในการคำนวณหาปริมาณความชื้นของยาง เพราะตัวหารของสมการมีค่าคงที่โดยไม่ขึ้นกับปริมาณความชื้นในของแข็ง ดังนั้นการบอกเปอร์เซนต์ความชื้นที่ใช้ของแห้งเป็นพื้นฐาน จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการคำนวณหาปริมาณความชื้นของยาง

2.5 สำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการตากแห้ง

เนื่องจากการตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นแนวทางที่จะใช้ในการตากแห้งแผ่นยางดิบ ดังนั้นในที่นี้จะทบทวนการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร รวมทั้งความพยายามในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งแผ่นยาง

ประโยชน์อย่างหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์ คือ การเปลี่ยนพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนโดยตรงเพื่อใช้ในการอบแห้งโดยเฉพาะผลิตผลทางการเกษตร วิธีปกติที่ใช้กันแพร่หลายมักใช้การตากในแสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งให้ผลช้าและยังไม่ถูกสุขลักษณะ เพราะผลิตผลที่ตากไม่ได้มีอะไรปิดไว้จึงเปื้อนด้วยฝุ่นละอองอีกทั้งยังถูกรบกวนด้วยแมลงสัตว์ต่าง ๆ ความเข้มแสงอาทิตย์ซึ่งอาจสูงถึงประมาณ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับแสงแดดในเวลาเที่ยงวัน น่าจะใช้ในการตากแห้งได้ดี ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นอุปกรณ์ในการเปลี่ยนรังสีแสงอาทิตย์ให้เป็นความร้อนสำหรับการอบแห้ง อุปกรณ์หรือเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการให้ความร้อนและวิธีการนำความร้อนไปใช้ (Ekechukwu and Norton, 1999) คือ

- ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแอคทีฟ (Active solar-energy drying systems) ซึ่งใช้ลักษณะการพาความร้อนแบบบังคับ โดยมีพัดลมดูดหรือผลักอากาศเข้าสู่เครื่องอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 อากาศที่ไหลเข้าเครื่องอบจะได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านชุดรับความร้อน ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นกระจกหรือพลาสติกใส ซึ่งอยู่ด้านบนและแผ่นซึ่งทาสีดำวางด้านล่าง และมีอากาศไหลผ่านแผ่นทั้ง 2 นี้ อากาศได้รับความร้อนจะถูกบังคับให้ไหลผ่านผลิตภัณฑ์ ซึ่งวางอยู่ในเครื่องอบ อากาศที่ไหลผ่านผลิตภัณฑ์แล้วจะถูกระบายออกจากห้องอบ ข้อดีของระบบนี้ คืออากาศจะมีอุณหภูมิสูงช่วยให้การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทความชื้นมีค่าสูง แต่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการหมุนพัดลม

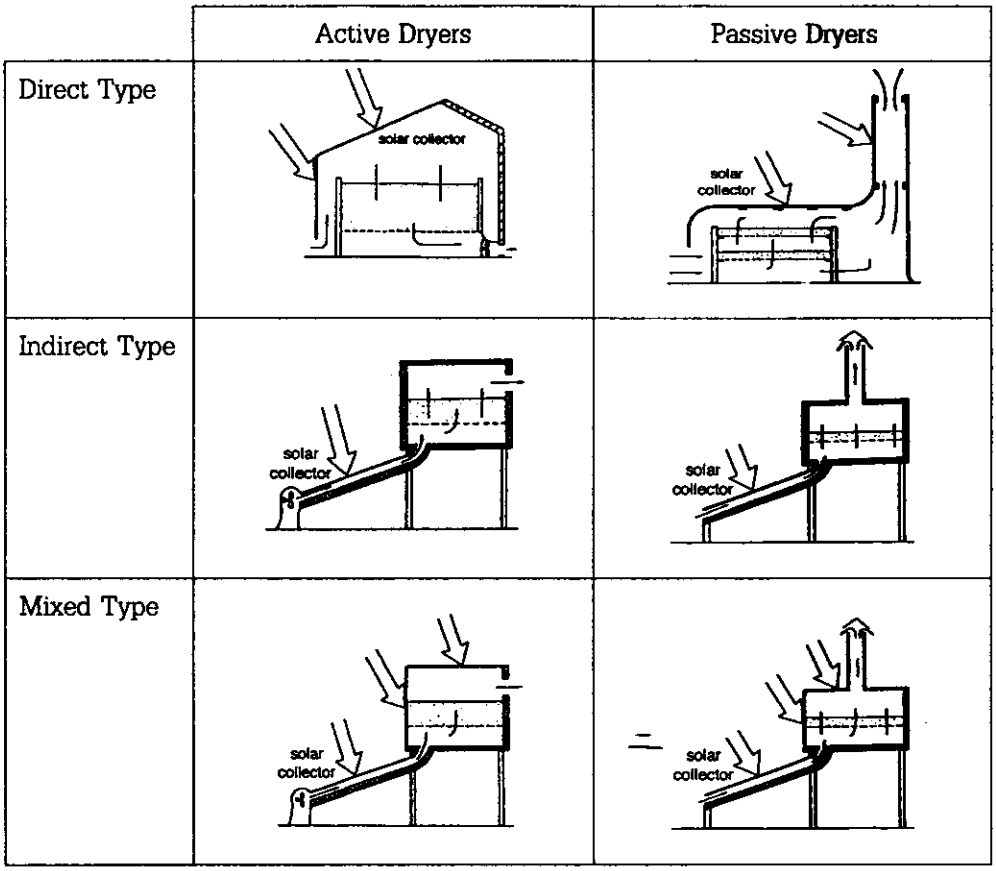
- ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาสซีฟ (Passive solar energy drying systems) ในกรณีนี้จะคล้ายกับแบบแรกเพียงแต่การพาความร้อนจะเป็นแบบอิสระโดยไม่มีพัดลมช่วย แต่จะมีปล่องระบายช่วยให้การพาความร้อนดียิ่งขึ้น (ดูรูปที่ 2.3) ข้อดีของระบบนี้ คือไม่สิ้นเปลืองค่าไฟฟ้า แต่การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทความชื้นจะต่ำกว่าชนิดแอคทีฟ

สำหรับระบบอบแห้งแต่ละชนิดยังสามารถแยกย่อยได้อีก 3 แบบตามลักษณะการออกแบบของระบบดังนี้

- แบบรับความร้อนโดยตรง (Direct type) ความร้อนจากแสงอาทิตย์จะตกกระทบโดยตรงบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งวางอยู่ในเครื่องอบ

- แบบรับความร้อนโดยอ้อม (Indirect type) ความร้อนจะไม่ตกกระทบลงบนผลิตภัณฑ์ แต่จะตกกระทบลงบนชุดรับความร้อนจากนั้นอากาศร้อนจะไหลผ่านผลิตภัณฑ์ในตู้อบ

- แบบผสม (Mixed type) เป็นการผสมกันของแบบความร้อนโดยตรงและโดยอ้อม



รูปที่ 2.3 ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่าง ๆ

ชิต ทัศนกุล (2545) ได้สร้างโรงอบยางพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรูปทรงสามเหลี่ยมหน้าจั่วขนาด 3x3 เมตร เพื่อผลิตยางอบแห้งของสถาบันวิจัยยางจังหวัดภูเก็ต โดยได้สร้างโรงอบยางพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดการพาความร้อนอิสระ (direct passive dryer) อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดภายในโรงอบในการทำยางแผ่นผึ่งแห้ง แต่ละวันทั้งปีเฉลี่ยอยู่ที่ 23.9°C และ 40.4°C ตามลำดับ น้ำหนักเฉลี่ยของแผ่นยางที่อบแห้งแล้วอยู่ที่ 0.4-0.7 กก. ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของการทำยางแผ่นดิบในแต่ละแบบและเวลาที่ใช้อบเฉลี่ยอยู่ที่ 6.2 วัน

จารุวรรณ พรหมวิเศษ (2537) ได้ศึกษาอิทธิพลของความเร็วลมและอุณหภูมิต่อการแห้งของยางแผ่น พบว่าความเร็วลมและอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการแห้งของยางแผ่นเฉพาะช่วงระยะเวลา 0-6 ชั่วโมงแรกของการอบยางแผ่น และเมื่อผ่านช่วงนี้ไปแล้วความเร็วลมและอุณหภูมิจะมีอิทธิผลต่อการแห้งของยางแผ่นน้อยลง

Breymayer, *et al.* (1993) ได้ดัดแปลงห้องรมยางให้สามารถนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้ โดยนำเอาแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มาต่อกับห้องรมยาง ให้สามารถนำเอาอากาศร้อนเข้ามาช่วยเสริมให้ห้องร้อนขึ้นตามหลักการของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดการอบแห้งโดยอ้อม แบบการพาความร้อนอิสระโดยการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์เป็นเวลา 5 วัน จะลดความชื้นในแผ่นยางเหลือเพียง 0.5% สำหรับแผ่นยางจำนวน 320 กิโลกรัม จากนั้นทำการรมควันต่อ จะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนจาก 1,000 – 1,500 กิโลกรัมต่อตันยางสุก (จากการรมควันโดยวิธีปรกติ) เหลือเพียง 300 กก เท่านั้น นอกจากนี้ห้องอบสามารถใช้ผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง (ADS) โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 6-7 วัน

Pratoto, *et al.* (1997) ใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ ศึกษาความสัมพันธ์ของค่า solar fraction กับ design parameter เพื่อประมาณขนาดของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (solar collector area) ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดการอบแห้งโดยอ้อมแบบควบคุมการพาความร้อน (indirect active dryer) เพื่อใช้ในการอบแห้งยางแผ่น โดยกำหนดอุณหภูมิในการอบ ระยะเวลาในการอบและอัตราการไหลของอากาศในการอบเท่ากับค่าที่ใช้ในการอบแห้งยางโดยทั่วไปมาเป็นตัวกำหนด

Jayasuriya, *et al.* (2000) ได้ทำการทดลองตากยางโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ในสภาวะและเวลาของการตากแบบต่าง ๆ เป็นเวลา 2 วัน แล้วนำมารมควันต่ออีก 2 วัน ผลการทดลองพบว่ายางที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่แตกต่างกับยางที่รมควันอย่างเดียว นอกจากนี้พบว่ายางที่ตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวภายในระยะเวลา 2-4 วันโดยไม่ได้รมควัน ไม่ได้ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของยางด้อยลงเช่นเดียวกัน

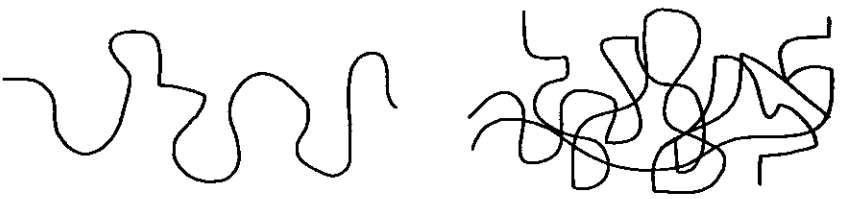
ในส่วนของปัจจัยที่มีผลต่อการแห้งตัวของแผ่นยางนั้น Prasertsan and Kirirat (1993) ได้ศึกษาถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลในการรมแผ่นยางรมควัน โดยสร้างชุดทดลองที่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้า อัตราการไหลของอากาศไหลเข้า รวมถึงปริมาณยางที่ทำการรมซึ่งทดลองรมยางที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส แล้วเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไหลเข้า 4 ค่า คือ 20, 40, 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ควบคุมอัตราการไหลอากาศไหลเข้าให้คงที่อยู่ที่ 0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่าเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไหลเข้าสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการรมยางจะนานขึ้น โดยเวลาที่ใช้คือ 2040, 2520, 3240 และ 4230 นาที ตามลำดับ จากนั้นได้ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศไหลเข้า 5 ค่า คือ 0.18, 0.30, 0.60, 1.20 และ 2.01 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศไหลเข้าสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการรมยางจะลดลง แต่มีผลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไหลเข้า สุดท้ายศึกษาถึงปริมาณการใช้ไม้ฟืนในการรมยางที่มี

ค่าความชื้นที่แตกต่างกัน 2 ค่า คือ 42 และ 19 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณไม้ฟืนที่ใช้ใกล้เคียงกันเมื่อเทียบเป็นไม้ฟืนแห้ง

ซึ่งจากการสำรวจเอกสารการวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่า มีความพยายามที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาช่วยในการแห้งตัวของยางแผ่น เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนในการรมควันโดยการตากแห้งไม่ได้ทำให้คุณภาพของยางด้อยลง โดยส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาการอบยางให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 60°C แต่ยังไม่มีการศึกษาคุณลักษณะการแห้งตัวของแผ่นยางดิบที่อุณหภูมิ ประมาณ 30-45°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สามารถทำได้ในโรงตากยางพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีอยู่หลายแห่งในสหกรณ์สวนยางโดยเฉพาะภาคใต้ รวมทั้งยังไม่มีการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการแห้งตัวของแผ่นยางเพื่อให้สามารถใช้โรงตากยางให้มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าที่สุด

2.6 โครงสร้างของยางและผลต่อการแห้ง

ยางธรรมชาติเป็นโพลีเมอร์ชนิดโพลีไอโซพรีน (*cis*-1,4-polyisoprene) มีลักษณะเป็นโซ่ยาวดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) เมื่อโมเลกุลของยางอยู่รวมกันจะเกิดการพันกันของโซ่ทำให้เกิดความซับซ้อนดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ข) ยางธรรมชาติมีคุณสมบัติเป็นทั้งของเหลวหนืด (viscous liquid) และของแข็งยืดหยุ่น (elastomer) โดยสมบัติเช่นนี้เรียกว่าวิสโคอีลาสติก (viscoelastic) (สมบัติ พุทธจักร, 2545)



(ก) (ข)

รูปที่ 2.4 โซ่โพลีเมอร์ของยางธรรมชาติ (ก) โซ่เดี่ยว (ข) การพันกันของโซ่หลายโซ่

การไล่ความชื้นในเนื้อยางออกมายังผิวนั้น เป็นผลจากการการขยายตัวของโมเลกุลโซ่ยางเหล่านี้ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้จะมีผลชัดเจนเมื่อยางแผ่นดิบอยู่ในช่วงระหว่างการเปลี่ยนคุณสมบัติของเนื้อยางจากยางดิบไปเป็นยางกึ่งดิบกึ่งสุกที่อุณหภูมิประมาณ 60°C แต่ในการตากแห้งยางด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิในห้องตากยางจะอยู่ระหว่าง 30-45°C การไล่ความชื้นออกจากยางในช่วงความชื้นเนื้อยางสูงซึ่งเป็นช่วงที่ยางแผ่นดิบมีความชื้นสูงกว่าจุดหมาดให้ออกมาที่ผิวหน้ายาง จะอาศัยแรงคาปิลลารี (capillary force) ของน้ำที่แทรกอยู่ภายในช่องว่างของเนื้อยาง และความแตกต่างของความดันไอของอากาศ (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) รอบ ๆ แผ่นยางกับความดันไอภายในช่องว่างของเนื้อยาง กลไกดังกล่าวนี้ในโรง

ตากยางจะถูกพิจารณาในช่วงที่สูงกว่าจุดหมาดของยางแผ่นดิบเท่านั้น ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงไม่นำผลของสมบัติ วิสโคอีลาสติก ของเนื้อยางมาพิจารณา

2.7 การใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology)

วิธี Response Surface เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้หาเงื่อนไขหรือจุดเหมาะสมในการผลิต การทดสอบการวิเคราะห์ กระบวนการต่างๆทางอุตสาหกรรม และวิศวกรรม Response Surface เป็นวิธีการทางสถิติโดยใช้ข้อมูลที่อยู่ในรูปของปริมาณจากการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา และหาจุดเหมาะสมของผลลัพธ์ที่ต้องการจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวแปร Madamba (2002) ได้ใช้วิธี RSM โดยออกแบบการทดลองในลักษณะ fraction factorial แล้วใช้สมการโพลีโนเมียลลำดับสอง หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งกระเทียมและแครอท จากการสร้างกราฟ contour ของ response surface โมเดลที่ได้ Guerrero และคณะฯ (1996) ใช้วิธีเดียวกันในการหาค่าที่เหมาะสมในการเก็บรักษากล้วยให้มีสภาพสีที่เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดจากเงื่อนไขตัวแปรที่เกียวข้อง 3 ตัวแปร RSM ยังถูกใช้ในการหาจุดเหมาะสมหรือจุดปลอดภัยในการชนหรือปะทะของรถยนต์ (Redhe และคณะฯ, 2002) ของโครงสร้างอากาศยาน (Wang และคณะฯ, 2000) และระบบขนส่งมวลชนความเร็วสูง (Golovidov, 1997) ในการทดลองส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายปัจจัยที่จะนำไปสู่การทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับผลตอบสนอง (response) ของกระบวนการที่สนใจในทดลอง ในการทดลองมักมีจุดประสงค์เพื่อหากระบวนการ การควบคุมที่เหมาะสม วิธี Response Surface มักจะถูกใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรในกระบวนการทางเคมีเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ตัวแปรอิสระหลายตัวแปรมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ หรือต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Myer and Montgomery, 2002)

2.7.1 แบบจำลอง Response Surface และนัยสำคัญของ Regression

โดยทั่วไปทั้งสมการเชิงเส้นและสมการโพลีโนเมียลลำดับสองก็เพียงพอสำหรับการหาแบบจำลองการตอบสนองของตัวแปรตามที่สนใจโดยวิธี Response Surface ในบางกรณีจุดเปลี่ยนโค้งมากกว่าหนึ่งจุดใน response surface โมเดลก็มีความจำเป็นสำหรับใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของตัวแปรตอบสนอง และจำเป็นต้องมีเทอมลำดับที่สามในสมการโพลีโนเมียล

ถ้ามีตัวแปรในกระบวนการ k ตัวแปร Response Surface ก็คือ จำนวน k พื้นผิว ในมิติ k+1 โดยทั่วไปสมการโพลีโนเมียลลำดับสองจะรวมเอา 2 ตัวแปรที่มี interaction กันไว้ด้วยดังในสมการที่ (2.8)

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + e \qquad (2\text{-}8)$$

สมการโพลีโนเมียลลำดับสองสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นสมการเชิงเส้นได้ และโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยสุด หรือ least-squares สามารถเขียนสมการอยู่ในรูปของเมทริกซ์ ได้ดังนี้

$$y = X\beta + e \qquad (2.9)$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1i} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & x_{3i} \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{ni} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{bmatrix} \qquad (2.10)$$

ผลเฉลยของปัญหา least-squares ได้จากการแปลงเมทริกซ์ โดยเงื่อนไขของ least-squares คือค่า SSE (sum square of error) = 0 ทำให้ได้

$$X^T X\beta = X^T y \qquad (2.11)$$

ดังนั้น เวคเตอร์ของสัมประสิทธิ์ β จะคำนวณได้จาก

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T y, \qquad (2.12)$$

โดยที่ X^T คือ transpose ของเมทริกซ์ X และ X^{-1} คือ inverse เมทริกซ์ของ X โดยการใช้สัญลักษณ์เมทริกซ์ เวคเตอร์ของผลตอบสนองกระบวนการ (responses), $\hat{y}$, สามารถคำนวณได้จาก

$$\hat{y} = X(X^T X)^{-1} X^T y \qquad (2.13)$$

เมทริกซ์ $X(X^T X)^{-1} X^T$ มีมิติ n x n และเรียกว่า hat matrix ซึ่งเป็นเมทริกซ์ที่มีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์ Regression โดยเฉพาะสำหรับการพิจารณาความถูกต้องของโมเดลที่สามารถนำไปใช้งานได้ เพื่อทดสอบนัยสำคัญของโมเดล นักสถิติได้ตั้งสมมุติฐานดังต่อไปนี้

ฝ่ายหอสมุด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$H_0 : \beta_j = 0 \qquad (2.14)$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0 \qquad (2.15)$$

สมการ (2.14) เป็น null hypothesis ในขณะที่ H_1 ในสมการ (2-15) เป็นการปฏิเสธ null hypothesis และถ้า H_0 ถูกปฏิเสธ สัมประสิทธิ์ (β) จะมีนัยสำคัญกับโมเดล ถ้า H_0 ไม่ถูกปฏิเสธ ตัวแปรอิสระ (X_j) สามารถกำจัดออกจากโมเดลสมการได้ การทดสอบ null hypothesis สำหรับโมเดล regression (สมการ 2.14) ทำได้โดยการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก regression โมเดลกับ error ทั้งหมด การเปรียบเทียบนี้เรียกว่า *Total Sum of Squares* (S_{yy}), *Regression Sum of Squares* (SSR) และ *Sum of Squared Errors* หรือ *Error Sum of Squares* (SSE).

2.7.2 การใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ในการหาเงื่อนไขการตากยางแผ่นที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ

สำหรับในกระบวนการอบแห้ง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ขนาดของวัตถุที่ต้องการอบ ความชื้นเริ่มต้นในวัตถุ และความเร็วลม เป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและพลังงานที่ต้องใช้ในการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับสี่ตัวแปรหลักได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมและปริมาณความชื้นเริ่มต้นในผลิตภัณฑ์ สามตัวแปรแรกเป็นตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมการอบแห้ง ในการศึกษาการตากแห้งยางแผ่นดิบในโรงตากนี้จะประยุกต์ใช้วิธี Response Surface ในการหากระบวนการหรือเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์จากผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบในตู้อบปฏิบัติการ

ในการทดลองทำแห้งยางแผ่นในห้องทดสอบ เป็นการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขการแห้งตัวที่ทำให้ได้ยางแผ่นที่มีความชื้นสุดท้าย (MC_f) ก่อนนำไปเข้าห้องรมยางลดลงมากที่สุด โดยมีสัดส่วนปริมาณยางที่เกิดราน้อยที่สุดและหาเงื่อนไขที่ทำให้อัตราการแห้งของยางแผ่น (N_C) สูงสุด เมื่อพิจารณาตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อผลตอบสนองข้างต้น ได้นำตัวแปรอิสระที่เป็นความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านยางแผ่น (u) และอุณหภูมิ (T) มาพิจารณาส่วนตัวแปรที่เป็นระยะห่างระหว่างแผ่นยางที่ตาก (d) ระยะเวลาในการตาก (θ) และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (RH) จะกำหนดเป็นตัวแปรเบื้องต้น ไม่นำมาใช้เป็นตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อผลตอบสนอง โดยจะใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับสภาวะการตากยางจริง ซึ่งค่าเหล่านี้ได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาและจากการวัดจริง ส่วนระยะห่างระหว่างแผ่นยาง ถูกกำหนดไว้ 2 กรณี คือ เว้นระยะ 1 ราวตาก กับไม่เว้นระยะ ดังนั้นความสัมพันธ์ของผลตอบสนอง (ค่าทำนาย) กับตัวแปรอิสระ สามารถเขียนได้ดังสมการข้างล่าง

$$\hat{y} = f(u, T) \quad \text{for fixed } d \text{ and } RH \qquad (2.8)$$

โดยที่ $\hat{y}$ เป็นค่าทำนายผลตอบสนอง MC_f

วิธีการทดลองและจำนวนการทดลองตากยางแผ่นได้จากการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธี Central-Composite Design (Madamba, 2002) เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำการทดลองจำนวนน้อยครั้ง และสามารถแปรค่าตัวแปรอิสระได้ครอบคลุมช่วงของตัวแปรที่สนใจศึกษาได้ ในขณะที่ให้ผลใกล้เคียงกันกับวิธีออกแบบการทดลองด้วย Full Factorial Design ผลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปสร้างสมการพื้นผิวตอบสนอง (response surface model) ซึ่งอยู่ในรูปของสมการ Quadratic ด้วยวิธี Multiple Regression ได้ สมการนี้จะใช้สำหรับทำนายผลตอบสนองที่เงื่อนไขการตากแห้งต่าง ๆ ในช่วงขอบเขตของตัวแปรอิสระที่มิได้มีการทดลอง ทั้งนี้สมการดังกล่าวจะต้องมีการตรวจสอบความมีนัยสำคัญของตัวแปรและเป็นที่ยอมรับตามหลักทางสถิติ

สำหรับการนำสมการที่ได้ไปใช้ในการหาเงื่อนไขการตากยางแผ่นที่เหมาะสม ทำได้โดยวิธีการพลอตกราฟที่เงื่อนไขของตัวแปรอิสระตัวแปรหนึ่งคงที่ แล้วพิจารณาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากตัวแปรอิสระที่เหลือในลักษณะสามมิติเพื่อให้เห็นพื้นผิวผลตอบสนองที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระทั้งสองตัวแปรได้อย่างชัดเจน