ภาคผนวก ก

มาตรฐานยางแท่งไทย

ยางแท่งที่ผลิตในประเทศไทย ภายใต้การดูแลรับผิดชอบของสถาบันยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้กำหนดขีดจำกัดสมบัติต่าง ๆ ของยางแท่ง เอส ทีอาร์ ซึ่งระบุในเอกสารวิชาการยางแท่งเอสทีอาร์ 2/2538 "คู่มือมาตรฐานยางแท่ง เอส ที อาร์" ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานยางแท่งชั้นต่าง ๆ

Parameter / วัตถุดิบที่ผลิต	STR XL	STR 5L	STR 5	STR 5 CV	STR 10	STR 10 CV	STR 20	STR 20 CV
	น้ำยาง		น้ำยาง/ยางแผ่น		ยางก้อน /ยางแผ่น			
ปริมาณสิ่งสกปรก, % ไม่เกิน	0.02	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.16	0.16
ปริมาณเถ้า, % ไม่เกิน	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
ปริมาณไนโตรเจน , % ไม่เกิน	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ปริมาณสิ่งระเหย, % ไม่เกิน*	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (Po), ไม่ต่ำกว่า	35	35	30	-	30	-	30	-
ดัชนีความอ่อนตัวของยาง (PRI), ไม่ต่ำกว่า	60	60	60	60	50	50	40	40
สีเทียบด้วยโลวิบอนด์ ไม่เกิน	4.0	6.0	-	-	-	-	-	-
ความหนืด (Moony Viscosity)	-	-	-	**	-	**	-	**
รหัสชั้นใช้สี	ฟ้า	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	ตัวอักษรขาวบนพื้นเขียว	น้ำตาล	ตัวอักษรขาวบนพื้นน้ำตาล	แดง	ตัวอักษรขาวบนพื้นแดง

* เป็นขีดจำกัดสำหรับผู้ใช้ ถ้าผู้ผลิตต้องมีปริมาณสิ่งระเหย ไม่เกิน 0.05 %

* * ขีดจำกัดของผู้ผลิต คือ

STR 5 CV มีค่าความหนืด 70 (+7,-5), 60 (+7,-5) และ 50 (+7,-5)

STR 10 CV มีค่าความหนืด 60 (+7,-5)

STR 20 CV มีค่าความหนืด 65 (+7,-5)

มาตรฐานยางแท่ง STR 20 ตามที่ตลาดสิ้นค้าเกษตรล่วงหน้าแห่งประเทศไทย (AFET) กำหนด

ตารางที่ ก.2 มาตรฐานยางแท่ง STR 20 ตามที่ AFET กำหนด

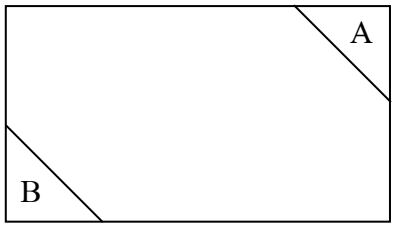
Properties	**Specification**
Dirt Content (%wt.)	0.16 max
Ash Content (%wt.)	0.80 max
Nitrogen (%wt.)	0.60 max
Volatile Matter (%wt.)	0.80 max
Initial Plasticity (PO)	33 ± 3
Plasticity Retention Index (PRI)	55 ± 5
Colour Lovibond Scale (Individual Value)	-
Mooney Viscosity ML (1'+4') 100C	80 ± 10
Colour Coding Marker	Red

ภาคผนวก ข

การทดสอบยางแท่ง

1. การเก็บตัวอย่างยาง

ยางแท่งชุดหนึ่ง ๆ ที่ผลิตมียางประมาณ 2 ตัน (60 แท่ง) หรือ 5 ตัน (150 แท่ง) หรือ 6 ตัน (180 แท่ง) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างยางเพื่อนำมาทดสอบคุณภาพ ประมาณ 10% โดยตัวอย่างยางที่เก็บมาต้องมีอย่างน้อย 6 ชิ้น และมากที่สุด 30 ชิ้น เก็บตัวอย่างยางทดสอบโดยใช้หลักอนุกรมเลขคณิต เช่น เก็บตัวอย่างยางแท่งชิ้นที่ 5, 15, 25, 35, 45 และ 55 โดยตัดชิ้นทดสอบยางจากมุมซึ่งอยู่ตรงกันข้ามกันของยางแท่ง มุมละ 1 ชิ้น นำทั้งสองชิ้นมาประกบกันมีน้ำหนักประมาณ 250 – 300 กรัม ดังภาพประกอบที่ 1



น้ำหนัก A+B = 250-300 กรัม

ภาพประกอบที่ ข.1 ตำแหน่งของการตัดชิ้นทดสอบจากยางแท่ง

ตัวอย่างชิ้นทดสอบยางให้เก็บใส่ถุงพลาสติก (ภาพประกอบที่ ข.1) พร้อมกับจดบันทึกรายละเอียดของชิ้นตัวอย่างไว้ด้านนอกถุง ดังนี้

- วัตถุดิบที่ใช้ผลิต
- วันที่ผลิต
- หมายเลขตัวอย่าง
- วันที่เก็บตัวอย่าง
- หมายเลขประจำยางแท่ง
- หมายเลขชุดที่ผลิต
- ชื่อบริษัทผู้ผลิต

เมื่อรวบรวมตัวอย่างยางแต่ละชุดเป็นห่อเดียวกันแล้ว นำไปทดสอบคุณภาพมาตรฐานของยางได้แก่ ปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า ความชื้น ความอ่อนตัวเริ่มต้น และดัชนีความอ่อนตัวของยาง เป็นต้น โดยเปรียบเทียบค่าสมบัติยางที่ทดสอบได้กับมาตรฐานชั้นยางแท่ง

2. การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัวอย่างยางดิบที่เก็บมาจากยางแท่งที่ผลิตแต่ละครั้ง ก่อนทำการทดสอบต้องผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenisation) โดยนำมาบดโดยเครื่องบดยาง 2 ลูกกลิ้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยาว 12 นิ้ว ลูกกลิ้งตัวหลังกลิ้งด้วยความเร็วเท่ากับ 31 รอบต่อนาที และ

อัตราส่วนความเร็วของลูกกลิ้งหลังต่อลูกกลิ้งตัวหน้าเท่ากับ 1.46 :1 อุณหภูมิของลูกกลิ้งเย็นเท่ากับอุณหภูมิห้อง (มีน้ำหล่อเลี้ยงอยู่ตลอดเวลา) ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง (nip) ต้องปรับให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่ทดสอบด้วย คือ

0.065 นิ้ว (1.65 มิลลิเมตร) สำหรับผสมยางให้เป็นเนื้อเดียวกัน

0.020 นิ้ว (0.51 มิลลิเมตร) สำหรับการเตรียมชิ้นทดสอบปริมาณสิ่งระเหย

0.013 นิ้ว (0.33 มิลลิเมตร) สำหรับการเตรียมชิ้นทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก

เครื่องบดยางก่อนใช้ต้องสะอาดอยู่เสมอ นำยางมาบดเป็นเนื้อเดียวกัน โดยนำยางมาผ่านลูกกลิ้ง 6 ครั้ง แต่ละครั้งที่ยางผ่านลูกกลิ้งออกมาให้ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกใส่ปลายข้างหนึ่งเข้าเครื่องเพื่อบดครั้งต่อไป สำหรับครั้งที่ 6 ให้รีดยางออกมาเป็นแผ่น (ไม่ต้องม้วน) ในระหว่างบดยางครั้งที่ 1-5 หากมีเศษยางตกลงบนภาชนะรองรับในลูกกลิ้ง ให้นำมารวมกับยางที่จะบดครั้งถัดไปให้หมด ตัดตัวอย่างยางที่บดเรียบร้อยแล้วเป็นส่วน ๆ เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ โดยมีน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ข.1 น้ำหนักชิ้นทดสอบสมบัติยางแท่ง

สมบัติที่ทดสอบ	**น้ำหนักชิ้นทดสอบ (กรัม)**
- ปริมาณสิ่งสกปรก	15
- ปริมาณเถ้า	10
- ปริมาณไนโตรเจน	10
- ปริมาณสิ่งระเหย	15
- ดัชนีความอ่อนตัวและสี	25
- ความหนืด	25

3. การทดสอบ

สิ่งสกปรก (Dirt content)

สิ่งสกปรก หมายถึง ปริมาณสารที่ได้จากการกรองด้วยตะอกรงขนาด 325 เมช หรือ 44 ไมครอน สารที่กรองได้ประกอบด้วยเศษดิน เปลือกไม้ และใบไม้ เป็นต้นโดยปริมาณและชนิดของสิ่งสกปรกที่มีในยาง มีความสำคัญต่อการแปรรูปและคุณภาพของยางเป็นอย่างมาก

เครื่องมือและสารเคมี

เครื่องมือ :

1. ขวดรูปชมพู่
2. เทอร์โมมิเตอร์ ขนาด 200 องศาเซลเซียส
3. ถ้วยกรองทำด้วยแสตนเลส รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร หนา 2-3 มิลลิเมตร สูง 13 มิลลิเมตร มีตะแกรงขนาดรู 325 เมช หรือ 44 ไมครอน น้ำหนักของถ้วยกรองรวมแผ่นตะแกรงประมาณ 15 กรัม
4. เตาไฟฟ้าขนาด 1500 วัตต์
5. เตาอบ
6. เครื่องชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม
7. เครื่องทำความสะอาดถ้วยกรอง (Ultrasomic cleaning kit)
8. กระดาษกรองเบอร์ 1 และกรวยพลาสติก

สารเคมี :

1. น้ำมันสน (Turpentine)
2. Peptising Agent : RPA 3 (Xylyl mercaptan)

วิธีทดสอบ

1. นำตัวอย่างยางที่บดผสมไว้แล้วประมาณ 15 กรัม มาผ่านลูกกลิ้งหนา 0.013 นิ้ว จำนวน 2 ครั้ง แบ่งยางมา 10 กรัม (ชั่งละเอียดถึงทศนิยม 3 ตำแหน่ง) ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร มีน้ำมันสน 250 มิลลิลิตร และสารเร่งการละลายอยู่ 1 มิลลิลิตร

2. ละลายยางในน้ำมันสนโดยใช้ความร้อนอุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส ให้ยกขวดละลายยางแกว่งบ่อย ๆ เพื่อให้สารละลายภายในหมุนเวียนและละลายเร็วขึ้น ใช้เวลาละลายยางประมาณ ½ - 2 ชั่วโมง

3. กรองสารละลายยางขณะร้อนโดยเทสารละลายผ่านที่กรองที่สะอาดทราบน้ำหนักแน่นอน ขณะเทให้ผงในขวดละลายยางหมด ให้ใช้น้ำมันสนที่ร้อน 30-50 มิลลิลิตร

ล้างขวดละลายยาง 2 ครั้ง แล้วตะแคงขวด ฉีดด้วยน้ำมันเย็นเพื่อล้างผงออกให้หมด แล้วจึงใช้น้ำมันร้อนล้างรอบ ๆ ของภายในอีกครั้ง

4. อบผงให้แห้งที่ 90-100 องศาเซลเซียส ทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ ประมาณ 30 นาที แล้วนำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียดความถูกต้อง 0.1 มิลลิกรัม

คำนวณ

$$\%\text{สิ่งสกปรก} = \frac{\text{น้ำหนักผงสกปรก}}{\text{น้ำหนักชิ้นทดสอบ}} \times 100$$

ปริมาณขี้เถ้า (Ash content)

ขี้เถ้าเป็นตัวบ่งชี้ประมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในยาง เป็นพวกสารอนินทรีย์ (Inorganic salt) พวกฟอสเฟสของโพแตสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียมและธาตุอื่น ๆ นอกจากนี้อาจเป็นสารพวกซิลิกา หรือซิลิเกตในยางรวมทั้งเป็นสารที่เกิดจากการปะปนจากภายนอก

เครื่องมือทดสอบ

1. ครูซิเบิล ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เตาอบความร้อนสูง
3. กระดาษกรองชนิดไม่มีเถ้า
4. เครื่องชั่งละเอียด
5. เดสซิเคเตอร์

วิธีทดสอบ

1. ตัดยางที่บดผสมกันเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว 5-10 กรัม (ละเอียด 0.1 มิลลิกรัม)
2. ห่อชิ้นยางด้วยกระดาษกรอง ใส่ในครูซิเบิล ที่รู้น้ำหนักแล้ว (ก่อนใช้ต้องเผาในเตาให้ร้อนแดง ทำให้เย็นลงในเดสซิเคเตอร์ แล้วชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม)
3. นำครูซิเบิลที่ใส่ยางไปเผาในเตาที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 530 ± 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ต่อจากนั้นนำถ้วยครูซิเบิลมาทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด 0.1 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\%\text{ASH} = \frac{(\text{A} - \text{B} - \text{C})}{\text{D}} \times 100$$

กำหนดให้ A = น้ำหนักเถ้า + ถ้วยครูซิเบิล
B = น้ำหนักถ้วยครูซิเบิล
C = น้ำหนักเถ้าของกระดาษกรอง
D = น้ำหนักยางก่อนทดสอบ

3.3 ไนโตรเจน (Nitrogen content)

ไนโตรเจนในยางดิบจะอยู่ในรูปของโปรตีน ดังนั้น ปริมาณไรโตรเจนจึงเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของโปรตีนในยาง ปริมาณของไนโตรเจนขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วย

สูตรที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณโปรตีนจากไนโตรเจน คือ

ปริมาณโปรตีน = 6.25 X ปริมาณของไนโตรเจน

ปริมาณของโปรตีนที่คำนวณได้นี้ไม่ได้เป็นตัวเลขที่เจาะจงแน่นอนถึงปริมาณของโปรตีนในยางตัวอย่าง เช่นในยางสกิมซึ่งได้จากการเซนติฟิวจ์แยกน้ำยางข้นออก จะพบว่าปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าในน้ำยางปกติ

หลักการหาปริมาณโปรตีนจากไนโตรเจน ด้วยวิธี Semi-micro Kjeldahl คือ นำยางดิบที่ทราบน้ำหนักมาออกซิไดซ์ในกรดกำมะถันและสารเร่งปฏิกิริยาโดยการใช้ความร้อน ไนโตรเจนในยางจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไฮโดรเจนซัลเฟต ปรับสารละลายให้เป็นด่าง นำไปกลั่นจะได้ก๊าซแอมโมเนีย จับก๊าซนี้ด้วยกรดบอริก แล้วนำไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานกรดกำมะถันเพื่อคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนต่อไป

วิธีนี้ไม่สามารถหาไนโตรเจนได้ทั้งหมด เพราะกรดกำมะถันและสารตัวเร่งไม่ย่อยสลาย สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในสภาพ N-O ,N-N ได้ สารเหล่านี้ได้แก่ สารพวก Nitro compound, Nitroso หรือ Hydryzine เป็นต้น

ยางที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง จะทำให้สารเคมีในยางเกิดปฏิกิริยาเร็ว

3.1.1 เครื่องมือและสารเคมี

เครื่องมือที่ใช้ :

1. Micro- Kjeldahl digestion and distillation
2. บิวเรตและปิเปต
3. เครื่องชั่งชนิดละเอียด
4. เตาไฟฟ้าขนาด 1500 วัตต์

สารเคมี :

- กรดกำมะถันเข้มข้น
- สารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน เข้มข้น 0.01 นอร์มัล
- สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต เข้มข้น 0.1 นอร์มัล
- สารละลายกรดบอริก 2% น้ำหนักต่อปริมาตร
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 67% W/V
- สารเร่งปฏิกิริยา (ประอบด้วย $CuSO_4 5H_2O$ 2 ส่วน K_2SO_4 15 ส่วน Se 1 ส่วน)
- สารละลายเมทธิลเรด 0.15% น้ำหนักต่อปริมาตร (ประกอบด้วย Meythyl Red = 0.1 g +Methyl blue = 0.05 g +Ethanol = 100 ml)
- สารละลายเมทธิลออเรนจ์ 0.1% W/V

3.3.2 วิธีทดสอบ

1. ชั่งยางน้ำหนักแน่นอน 0.1 กรัม ใส่ใน micro Kjeldahl flash เติมส่วนผสมสารเร่งปฏิกิริยา 0.65 กรัม กรดกำมะถัน 2.5 มิลลิลิตร

2. ให้ความร้อนจนกระทั่งสารละลายใสสีเขียว (หรือไม่มีสี) ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และต้องไม่มีสีเหลืองอ่อน ๆ ปนหรือเหลืออยู่

3. ตั้งทิ้งให้เย็น แล้วทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

4. เทสารละลายใส่ในเครื่องกลั่นซึ่งเตรียมผ่านไอน้ำให้ร้อนไว้แล้ว 30 นาที ล้างภาชนะด้วยน้ำกลั่น 2-3 มิลลิลิตร ประมาณ 2-3 ครั้ง

5. นำขวดแก้วรูปชมพู่บรรจุบอริก 10 มิลลิลิตร และสารละลายเมทธิลเรด 2-3 หยด มารับสารที่กลั่นได้ (ให้ปลายหลอดแก้วจุ่มลงในสารละลาย)

6. เติมสารละลาย NaOH 67% 10 มิลลิลิตร ลงในเครื่องกลั่น แล้วล้างด้วยน้ำไม่เกิน 5 มิลลิลิตร

7. ปล่อยให้ไอน้ำเข้าเครื่องกลั่นสาร เป็นเวลา 5 นาที

8. เลื่อนขวดแก้วรูปชมพู่ที่รองรับสารกลั่น ให้ปลายหลอดอยู่เหนือสารละลายกลั่นต่อไป 1 นาที แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างปลายหลอดแก้ว

9. นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรตกับสารละลายกรดกำมะถันเข้มข้น 0.01 N จนได้จุดยุติ สารละลายเปลี่ยนจากสีเขียว-ม่วง

10. ทำ BLANK ตามวิธีทดสอบเดิมทุกอย่าง แต่ไม่ใส่ตัวอย่างยาง

การคำนวณ

$$\%N = \frac{(V_1 - V_2)N \times 0.0140}{W} \times 100$$

กำหนดให้

V_1 : ปริมาตรของกรดกำมะถัน ที่ใช้ในการไตเตรตสิ่งที่กลั่น (มิลลิลิตร)

V_2 : ปริมตรของกรดกำมะถัน ที่ใช้ในการไตเตรต BLANK (มิลลิลิตร)

N : ความเข้มข้นของกรดกำมะถัน (นอร์มัล)

W : น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

3.4 ปริมาณสิ่งระเหย (Volatile matter content : VM)

สิ่งระเหยในยาง หมายถึง ความชื้นที่มีอยู่ในยาง ถ้าปริมาณความชื้นในยางสูงยางจะขึ้นราได้ง่าย มีกลิ่นเหม็น และเกิดปัญหาระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ในกรรมวิธีการผลิตยางแท่ง มีการรีด ตัดและล้าง ทำความสะอาดยางหลายขั้นตอนยางจะถูกตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่ออบให้แห้ง แล้วบรรจุหีบห่อ ดังนั้น ปริมาณสิ่งระเหยในยางแท่งจะมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณสิ่งระเหยในยางดิบทั่วไป

3.4.1 เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่งชนิดละเอียด 0.001 กรัม
2. ถุงโพลิทีน (กว้าง 4 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว หนา 0.06 มิลลิเมตร)
3. ถาดอลูมิเนียม (กว้าง 6.5 นิ้ว ยาว 14 นิ้ว สูง 1.5 นิ้ว) บุด้วยตะแกรงขนาด 7 เมช
4. ที่หนีบถุง
5. เตาอบ
6. เดสซิเคเตอร์ (โถแก้วดูดความชื้น)

3.4.2 วิธีทดสอบ

1. ชั่งยางที่เตรียมไว้ น้ำหนักแน่นอน 10 กรัม $\pm$ 0.001 มิลลิกรัม
2. บดยางด้วยลูกกลิ้ง (ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง = 0.51 มิลลิเมตร)
3. วางตัวอย่างยางชิ้นทดสอบบนถาดอลูมิเนียม (วางถาดซ้อนกันได้ไม่เกิน 7 ถาด)
4. อบยางที่อุณหภูมิ 100 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส เวลา 4 ชั่วโมง
5. เอายางออกจากเตาทีละถาด พร้อมกับปิดประตูเตาอบทุกครั้งที่ยกถาดออก นำยางใส่ถุงโพลีทีน พับปากถุง 3 ครั้ง พับกลางอีกครั้งแล้วหนีบแขวนไว้บนราว (การใส่ยางในถุง ควรใช้เวลาทั้งหมด ไม่เกิน 1 ½ นาที ถาดหนึ่ง ๆ)
6. ปล่อยยางในถุงให้เย็น โดยวางในเดสซิเคเตอร์ประมาณ 30 นาที
7. นำยางไปชั่งละเอียด 0.001 กรัม

การคำนวณ

$$\%\text{ปริมาณสิ่งระเหย} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

กำหนดให้

A : น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B : น้ำหนักยางหลังอบ (กรัม)

3.5 ความอ่อนตัวเริ่มต้นและดัชนีความอ่อนตัวของยาง (Original Wallace Plasticity and Plasticity Retention Index : Po และ PRI)

ค่าความอ่อนตัวเริ่มต้นของยาง (Po) เป็นค่าที่ใช้ประมาณขนาดของโมเลกุลของยาง ยางที่มีค่า Po สูง แสดงว่ามีขนาดโมเลกุลของยางสูง (ยางที่ถูกออกซิไดซ์มากจะนิ่ม มีค่า Po ต่ำ) ส่วนค่าดัชนีความอ่อนตัวของยาง เป็นค่าที่แสดงว่ายางที่ทดสอบนั้นมีความต้านทานต่อการออกซิเดชั่นที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (กรณียางที่ทนต่อการออกซิเดชั่นสูง โมเลกุลของยางจะทนต่อการถูกออกซิไดซ์) หรือเป็นการแสดงความต้านทานของยางดิบ ต่อการแตกหักของโมเลกุลยางที่อุณหภูมิสูง

3.5.1 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดพลาสติกซิตี้ของยาง (Wallace rapid plastimeter)
2. เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Wallace steam generrater)
3. เครื่องตัดชิ้นส่วนทดสอบ (Wallace punch)
4. เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 140 $\pm$0.5 องศาเซลเซียส ตลอดเวลา เมื่อปิดฝาตู้แล้ว อุณหภูมิต้องกลับไปอยู่ที่ระดับเดิมภายใน 6 นาที

3.5.2 วิธีทดสอบ

ก. การเตรียมชิ้นทดสอบ

1. ตัดตัวอย่างยางที่บดเป็นเนื้อเดียวกันมา 20$\pm$5 กรัม
2. รีดยางผ่านเครื่องบด 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิห้อง โดยปรับช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 1.65 มิลลิเมตร
3. พับยางแผ่นเป็น 2 ทบ โดยกดเบา ๆ ให้ได้ความหนา 3.2 – 3.6 มิลลิเมตร
4. ตัดชิ้นทดสอบยาง 6 ชิ้น ด้วยเครื่องตัดโดยเฉพาะ

5. เก็บชิ้นทดสอบ 3 ชิ้น เพื่อทดสอบหาค่าพลาสติซิตี้ (Po) และ ชิ้นทดสอบที่เหลืออีก 3 ชิ้น เพื่อนำไปทดสอบค่า P30

ข. การอบ

1. นำยางชิ้นทดสอบมาอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (อุณหภูมิต้องคงที่ ก่อนใส่ยางในเตาอบ เป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาที และเริ่มจับเวลาหลังจากใส่ยางแล้ว 6 นาที เพื่อให้อุณหภูมิยางและเตาคงที่ด้วย)

2. เมื่อครบเวลา 30 นาทีแล้ว ทิ้งยางให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที จึงทำการทดสอบ

ค. การวัดค่า

1. นำชิ้นยางปิดด้วยกระดาษมวนบุหรี่ ใส่เครื่องทดสอบ

2. ยกแขนปิดเครื่อง

15 นาทีแรก : แท่งโลหะกลมบน – ล่าง จะกดยางให้หนา 1 มิลลิเมตร และอุ่นยางที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

15 นาทีหลัง : เครื่องจะกดยางด้วยแรง 10 ± 0.1 กิโลกรัม โดยอัตโนมัติ

ความหนาของชิ้นยางที่วัดได้ มีความถูกต้อง อ่านได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร เป็นค่าพลาสติซิตี้ ของยางที่ทำการทดสอบ

การคำนวณ

$$\text{PRI} = \frac{\text{Aged median plasticity value}}{\text{Unaged median plasticity value}} \times 100$$

$$= \frac{P_{30}}{Po} \times 100$$

เมื่อ Po เป็นค่ามัธยฐานความอ่อนตัวของยางชุดเริ่มแรก

P_{30} เป็นค่ามัธยฐานความอ่อนตัวของยางชุดที่หลังอบ

3.6 สียาง

ยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยางมีการจัดชั้นซึ่งระบุในการจัดมาตรฐานชั้นยาง โดยการเปรียบเทียบความเข้มของสียางด้วยสีของโลวิบอนด์ (Lovibond) มาตรฐาน เช่น ความเข้มของสียางต่ำกว่าสีของโลวิบอนด์ เบอร์ 6 แสดงว่าเป็นยางแท่งชั้น STR 5L หากความเข้มของสียางมีค่ามากกว่าสีมาตรฐานโลวิบอนด์ เบอร์ 6 แสดงว่ายางที่ผลิตได้จัดเป็นยางแท่งชั้น STR 5 เป็นต้น

ส่วนยางแท่งที่ผลิตจากยางก้อนจับตัวไม่จำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพของสียาง

3.6.1 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ

เครื่องมือทดสอบประกอบด้วย ตัวอย่างชิ้นทดสอบที่จะใช้เปรียบเทียบสีติดอยู่ในเบ้าพิมพ์ แถบสีมาตรฐานโลวิบอนด์ และแผ่นพลาสติกซึ่งทำเป็นกล่องสำหรับเบ้าพิมพ์และแผ่นเทียบสีมาตรฐาน

3.6.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ชิ้นทดสอบสำหรับเปรียบเทียบสีมาตรฐานโลวิบอนด์ เตรียมโดยนำยางแผ่นดิบความหนามาตรฐาน (ประมาณ 3.2 – 3.6 มิลลิเมตร) มาทำเครื่องและตัดยางด้วยกรรไกรให้ได้ขนาด แล้วนำมาอัดลงในเบ้าชิ้นทดสอบมาตรฐาน ความร้อนที่ใช้อัดเบ้าพิมพ์ประมาณ 70 องศาเซลเซียส ความดันประมาณ 0.5 -1 กิโลกรัมต่อตารางเมตรอัดยางเป็นเวลาประมาณ 2-3 นาที

3.6.3 วิธีทดสอบ

แกะแผ่นอัดชิ้นทดสอบมาตรฐานออกแล้วนำยางชิ้นทดสอบที่อัดติดอยู่ที่เบ้าสแตนเลสมาวางตรงตำแหน่งเครื่องสำหรับเปรียบเทียบสีกับสีมาตรฐานโลวิบอนด์ อ่านค่าเบอร์สีมาตรฐานโลวิบอนด์ที่เปรียบเทียบตรงตำแหน่งช่องเล็ก ๆ ทางขวามือของเครื่องที่กำหนดให้

3.7 ความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติทางกายภาพของยาง โดยความหนืดของยางจะสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลของยาง ยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีค่าความหนืดสูงด้วย

3.7.1 เครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบความหนืดของยางแห้ง มีชื่อเรียกว่า มูนี่ วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบตามมาตรฐานสากล ASTM D1646-94 และ ISO R 289-1963 สามารถเลือกใช้อุณหภูมิทดสอบ เช่น 70, 85, 100, 125, 150, 175, 200, 225 และ 250 องศาเซลเซียสขึ้นอยู่กับความต้องการวัดค่าความหนืดของยางดิบประเภทยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์

3.7.2 วิธีทดสอบ

1. ตั้งอุณหภูมิของเครื่องทดสอบให้คงที่เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส พร้อมกับอุ่นจานหมุนโลหะที่จะใช้สำหรับทดสอบ
2. เตรียมยางชิ้นทดสอบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร
3. ใส่ยางชิ้นทดสอบระหว่างจานหมุนโลหะ แล้ววางตรงตำแหน่งของห้องทดสอบ
4. ใช้ความดันลมอัดยางชิ้นทดสอบ อุ่นยางเป็นเวลา 1 นาที
5. อ่านค่าความหนืดของยาง ที่เวลาเดินเครื่อง 4 นาที

การบันทึกค่าความหนืดของยาง มีดังนี้

ความหนืด = 50 ML (1'+4')100 C

กำหนดให้ 50 M : ค่าความหนืดของยางที่อ่านได้

L : จานหมุนโลหะตัวใหญ่

1' : เวลาเป็นนาที ที่ใช้อุ่นยาง

4' : เวลาเป็นนาที ที่ใช้ทดสอบ และอ่านค่าความหนืด

100°C : อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ

หมายเหตุ

การวัดค่าความหนืดของยาง จำเป็นต้องมีการตรวจทานมาตรวัด (Calibration) ให้ถูกต้องก่อนเสมอ

ภาคผนวก ค

การคำนวณค่าความชื้น

การวัดค่าความชื้นโดยตรงโดยวิธี AOAC (The Association of Offical Analytical Chemists) โดยการชั่งน้ำหนักวัสดุ (เป็นน้ำหนักเปียก) แล้วนำไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ 130°C ประมาณ 3 ชั่วโมง นำไปวางไว้ในเดสซิเคเตอร์ (Desiccator) จนเย็น แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง โดยน้ำหนักของวัสดุที่ผ่านการอบที่อุณหภูมินี้มาแล้วถือว่าเป็นน้ำหนักแห้ง จากนั้นก็สามารถนำไปคำนวณหาความชื้นได้ตามสมการ

$$M_d = \frac{w-d}{d} \qquad (1)$$

หรือ

$$M_w = \frac{w-d}{w} \qquad (2)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นของวัสดุ, เศษส่วนมาตรแห้ง

M_w คือ ความชื้นของวัสดุ, เศษส่วนมาตรฐานเปียก

d คือ มวลของของแข็ง, กรัม

w คือ มวลของของแข็งและน้ำ, กรัม

การคำนวณอัตราส่วนความชื้น

การคำนวณอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) สามารถหาได้จากสมการ

$$MR = \frac{\left(M_t - M_{eq}\right)}{\left(M_{in} - M_{eq}\right)} \qquad (3)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M_t คือ ความชื้นที่ขณะใด ๆ, %มาตรฐานแห้ง

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, %มาตรฐานแห้ง

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, %มาตรฐานแห้ง

ภาคผนวก ง

เงื่อนไขในการหาการสูญเสียในระบบทางเดินอากาศร้อน

ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งแสดงไว้ในบทที่ 2 จะใช้เครื่องอบแห้งดังภาพประกอบที่ ข-1 โดยมีห้องอบแห้งขนาด 0.70 x 0.35 x 1.45 m^3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้ง โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ลมร้อนเข้าจากด้านบนของห้องอบ และลมร้อนเข้าทางด้านล่างของห้องอบ แสดงดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ลมร้อนเข้าจากด้านบนของห้องอบ

1. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 1.5 เมตร จากพัดลมถึง heater ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
2. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 1.80 เมตร จาก heater ถึง ก่อนเข้าห้องอบแห้ง ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
3. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 1.75 เมตร จาก ห้องอบแห้ง ถึง ก่อนเข้าพัดลม ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
4. ท่องอ 90 องศา ก่อนเข้า heater ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
5. ท่องอ 90 องศา ก่อนเข้า ห้องอบแห้ง ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
6. ท่อขยายสี่เหลี่ยมก่อนเข้าห้องอบแห้ง ยาว 0.45 เมตร
7. ท่อลดสี่เหลี่ยมหลังออกจากห้องอบแห้ง ยาว 0.30 เมตร

ส่วนที่ 2 ลมร้อนเข้าจากด้านล่างของห้องอบ

1. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 1.5 เมตร จากพัดลมถึง heater ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
2. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 2.40 เมตร จาก heater ถึง ก่อนเข้าห้องอบแห้ง ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
3. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 3.75 เมตร จาก ห้องอบแห้ง ถึง ก่อนเข้าพัดลม ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
4. ท่องอ 90 องศา ก่อนเข้า ห้องอบแห้ง 2 จุด ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
5. ท่องอ 90 องศา ออกจากห้องอบแห้ง 4 จุด ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
6. ท่องอ 90 องศา ก่อนเข้า heater ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร

7. ท่องอ 90 องศา ก่อนเข้า ห้องอบแห้ง ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร
8. ท่อขยายสี่เหลี่ยมก่อนเข้าห้องอบแห้ง ยาว 0.45 เมตร
9. ท่อลดสี่เหลี่ยมหลังออกจากห้องอบแห้ง ยาว 0.30 เมตร

สำหรับการหาการสูญเสียในส่วนต่าง ๆ จะใช้มาตรฐานของ ASHRAE โดยสมมติความหนาแน่นของอากาศเป็น 1 kg/m^3 (การหาค่า f_D (friction factor) สำหรับการหาค่าการสูญเสียหลัก (mojor loss) จะสมมติเพิ่มเติมให้ความเร็วอากาศเป็น 2.5 เมตรต่อวินาที) การคำนวณแสดงดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ลมร้อนเข้าจากด้านบนของห้องอบ

1. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 1.5 เมตร จากพัดลมถึง heater ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร

เนื่องจากเครื่องอบแห้งมีการเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ซึ่งมีสัดส่วนการเวียนกลับเป็น RC ดังนั้นจะมีการนำอากาศเข้ามาใหม่ในสัดส่วน (1-RC) ดังนั้นสามารถหาความเร็วของอากาศ ได้ดังนี้

$$V = \frac{(1-RC)M_{mix}}{1 \text{ x } 0.20 \text{ x } 0.20} \quad \text{m/s}$$

$$V = \frac{(1-RC)M_{mix}}{0.04} \quad \text{m/s}$$

จาก สมการความต้านทานในท่อตรง

$$\Delta P = f_D\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันรวมที่สูญเสีย ,Pa

V คือ ความเร็วลม , m/s

L คือ ความยาวท่อ ,m

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ,m

f_D คือ แฟคเตอร์ความเสียดทาน ,ไร้หน่วย

$$= \frac{0.0785}{0.7 - 1.65\log \text{Re} + (\log \text{Re})^2}$$

Re คือ ตัวเลขเรย์โนลดส์

$$= \frac{\rho VD}{\mu}$$

μ คือ แฟคเตอร์ความขรุขระของผิวท่อ ,mm.

$= 1.5 \text{ x } 10^{-5}$ mm.

ดังนั้น จะได้ว่า $f_D = 5.73 \text{ x } 10^{-3}$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}\left[\frac{1.5}{0.2}\right]\left[\frac{(1-RC)M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{0.5375}{g}\left[(1-RC)^2 M_{mix}^2\right]$$

2. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 1.80 เมตร จาก heater ถึง ก่อนเข้าห้องอบแห้ง ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร

$$\Delta P = f_D\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}\left[\frac{1.8}{0.2}\right]\left[\frac{M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{16.1156}{g} M_{mix}^2$$

3. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 1.75 เมตร จาก ห้องอบแห้ง ถึง ก่อนเข้าพัดลม ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร

$$\Delta P = f_D\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{RC.M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{RC.M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}\left[\frac{1.75}{0.2}\right]\left[\frac{RC.M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{15.668}{g} RC^2 M_{mix}^2$$

4. ท่องอ 90 องศา ก่อนเข้า heater ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร

จากสมการ การสูญเสียในข้องอ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ = 0.20 เมตร

θ คือ มุมโค้งของข้องอ 90 องศา

r คือ รัศมีมุมโค้งของข้องอ 0.30 เมตร

$K = 0.09$

$$\Delta P = f_D K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{RC.M_{mix}}{1\text{ x }0.2\text{ x }0.2} = \frac{RC.M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73\text{ x }10^{-3}}{2g}(0.09)\left[\frac{RC.M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{0.1612}{g} RC^2 M_{mix}^2$$

5. ท่องอ 90 องศา ก่อนเข้า ห้องอบแห้ง ขนาด 0.20 x 0.20 เม

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ = 0.20 เมตร

θ คือ มุมโค้งของข้องอ 90 องศา

r คือ รัศมีมุมโค้งของข้องอ 0.30 เมตร

$$K = 0.09$$

$$\Delta P = f_D K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{M_{mix}}{1\text{ x }0.2\text{ x }0.2} = \frac{M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73\text{ x }10^{-3}}{2g}(0.09)\left[\frac{M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{0.1612}{g} M_{mix}^2$$

6. ท่อขยายสี่เหลี่ยมก่อนเข้าห้องอบแห้ง ยาว 0.45 เมตร

จากสมการ การสูญเสียเนื่องจากท่อขยายสี่เหลี่ยมเข้าห้องอบแห้ง

A_i คือ พื้นที่หน้าตัดทางด้านอากาศเข้า 0.04 ตารางเมตร

A_o คือ พื้นที่หน้าตัดทางด้านอากาศออก 0.245 ตารางเมตร

$$\frac{A_i}{A_o} = 0.163$$

จาก $K = 0.3776$

$$\Delta P = f_D K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{M_{mix}}{1\text{ x }0.2\text{ x }0.2} = \frac{M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73\text{ x }10^{-3}}{2g}(0.3776)\left[\frac{M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{0.6761}{g} M_{mix}^2$$

7. ท่อลดสี่เหลี่ยมหลังออกจากห้องอบแห้ง ยาว 0.30 เมตร

จากสมการ การสูญเสียเนื่องจากท่อขยายสี่เหลี่ยมออกจากห้องอบแห้ง

A_i คือ พื้นที่หน้าตัดทางด้านอากาศเข้า 0.24 ตารางเมตร

A_o คือ พื้นที่หน้าตัดทางด้านอากาศออก 0.04 ตารางเมตร

$$\frac{A_i}{A_o} = 6$$

จาก $K = 0.02$

$$\Delta P = f_D K \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

$$V = \frac{M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g} (0.02) \left[\frac{M_{mix}}{0.04} \right]^2$$

$$= \frac{0.0358}{g} M_{mix}^2$$

ส่วนที่ 2 ลมร้อนเข้าจากด้านล่างของห้องอบ

1. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 1.5 เมตร จากพัดลมถึง heater ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร

เนื่องจากเครื่องอบแห้งมีการเวียนอากาศกลับมาใช้ใหม่ซึ่งมีสัดส่วนการเวียนกลับเป็น RC ดังนั้นจะมีการนำอากาศเข้ามาใหม่ในสัดส่วน (1-RC) ดังนั้นสามารถหาความเร็วของอากาศ ได้ดังนี้

$$V = \frac{(1 - RC) M_{mix}}{1 \text{ x } 0.20 \text{ x } 0.20} \quad \text{m/s}$$

$$V = \frac{(1 - RC) M_{mix}}{0.04} \quad \text{m/s}$$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g} \left[\frac{1.5}{0.2} \right] \left[\frac{(1 - RC) M_{mix}}{0.04} \right]^2$$

$$= \frac{0.5375}{g} \left[(1 - RC)^2 M_{mix}^2 \right]$$

2. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 2.40 เมตร จาก heater ถึง ก่อนเข้าห้องอบแห้ง ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร

$$\Delta P = f_D\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}\left[\frac{2.4}{0.2}\right]\left[\frac{M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{21.4875}{g} M_{mix}^2$$

3. ท่อสี่เหลี่ยมตรงยาว 3.75 เมตร จาก ห้องอบแห้ง ถึง ก่อนเข้าพัดลม ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร

$$\Delta P = f_D\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{RC.M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{RC.M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}\left[\frac{3.75}{0.2}\right]\left[\frac{RC.M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{33.5742}{g} RC^2 M_{mix}^2$$

4. ท่องอ 90 องศา ก่อนเข้า ห้องอบแห้ง 2 จุด ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร จากสมการ การสูญเสียในข้องอ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ = 0.20 เมตร

θ คือ มุมโค้งของข้องอ 90 องศา

r คือ รัศมีมุมโค้งของข้องอ 0.30 เมตร

$$K = 0.09$$

$$\Delta P = f_D K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = (2)\frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}(0.09)\left[\frac{M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{0.3224}{g} M_{mix}^2$$

5. ท่องอ 90 องศา ออกจากห้องอบแห้ง 4 จุด ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร จากสมการ การสูญเสียในข้องอ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ = 0.20 เมตร

θ คือ มุมโค้งของข้องอ 90 องศา

r คือ รัศมีมุมโค้งของข้องอ 0.30 เมตร

$$K = 0.09$$

$$\Delta P = f_D K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{RC.M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{RC.M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = (4)\frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}(0.09)\left[\frac{RC.M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{0.6448}{g} RC^2 M_{mix}^2$$

6. ท่องอ 90 องศา ก่อนเข้า heater ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร จากสมการ การสูญเสียในข้องอ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ = 0.20 เมตร

θ คือ มุมโค้งของข้องอ 90 องศา

r คือ รัศมีมุมโค้งของข้องอ 0.30 เมตร

$$K = 0.09$$

$$\Delta P = f_D K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{RC.M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{RC.M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}(0.09)\left[\frac{RC.M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{0.1612}{g} RC^2 M_{mix}^2$$

7. ท่องอ 90 องศา ก่อนเข้า ห้องอบแห้ง ขนาด 0.20 x 0.20 เม

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ = 0.20 เมตร

θ คือ มุมโค้งของข้องอ 90 องศา

r คือ รัศมีมุมโค้งของข้องอ 0.30 เมตร

$$K = 0.09$$

$$\Delta P = f_D K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}(0.09)\left[\frac{M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{0.1612}{g} M_{mix}^2$$

8. ท่อขยายสี่เหลี่ยมก่อนเข้าห้องอบแห้ง ยาว 0.45 เมตร

จากสมการ การสูญเสียเนื่องจากท่อขยายสี่เหลี่ยมเข้าห้องอบแห้ง

A_i คือ พื้นที่หน้าตัดทางด้านอากาศเข้า 0.04 ตารางเมตร

A_o คือ พื้นที่หน้าตัดทางด้านอากาศออก 0.245 ตารางเมตร

$$\frac{A_i}{A_o} = 0.163$$

จาก $K = 0.3776$

$$\Delta P = f_D K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}(0.3776)\left[\frac{M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{0.6761}{g} M_{mix}^2$$

9. ท่อลดสี่เหลี่ยมหลังออกจากห้องอบแห้ง ยาว 0.30 เมตร

จากสมการ การสูญเสียเนื่องจากท่อขยายสี่เหลี่ยมออกจากห้องอบแห้ง

A_i คือ พื้นที่หน้าตัดทางด้านอากาศเข้า 0.24 ตารางเมตร

A_o คือ พื้นที่หน้าตัดทางด้านอากาศออก 0.04 ตารางเมตร

$$\frac{A_i}{A_o} = 6$$

จาก $K = 0.02$

$$\Delta P = f_D K\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

$$V = \frac{M_{mix}}{1 \text{ x } 0.2 \text{ x } 0.2} = \frac{M_{mix}}{0.04}$$

$$\Delta P = \frac{5.73 \text{ x } 10^{-3}}{2g}(0.02)\left[\frac{M_{mix}}{0.04}\right]^2$$

$$= \frac{0.0358}{g} M_{mix}^2$$

การสูญเสียรวมทั้งหมดในระบบ

ส่วนที่ 1ลมร้อนเข้าจากด้านบนของห้องอบ

$$P1 = \begin{bmatrix} (16.1156 + 0.1612 + 0.6761 + 0.0358) \\ + \left((15.668 + 0.1612)RC^2\right) + \left((0.5375)(1 - RC)^2\right) \end{bmatrix} \frac{\rho g M_{mix}}{g}$$

$$= \left[20.1999 - 1.075RC + 15.8292RC^2\right] \frac{\rho g M_{mix}}{g}$$

ส่วนที่ 2 ลมร้อนเข้าจากด้านล่างของห้องอบ

$$P2 = \begin{bmatrix} (21.4875 + 0.3224 + 0.1612 + 0.6761 + 0.0358) \\ + \left((0.1612 + 33.572 + 0.6448)RC^2\right) \\ + \left((0.5375)(1 - RC)^2\right) \end{bmatrix} \frac{\rho g M_{mix}}{g}$$

$$= \left[22.9719 - 1.075RC + 34.378RC^2\right] \frac{\rho g M_{mix}}{g}$$

ภาคผนวก จ

โปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งยางแท่ง

```
Private Sub Command1_Click()
Dim Teq As Double
Dim Teq1(1500, 300) As Double
Dim H As Double
Dim HH As Integer
Dim a, c, s, Mm As Double
Dim Ga As Double
Dim Ca As Double
Dim Pa As Double
Dim Cv As Double
Dim Cp As Double
Dim Wa As Double
Dim Tmix As Double
Dim T1 As Double
Dim T2 As Double
Dim Td As Double
Dim Wi As Double
Dim Wwb As Double
Dim Wmix As Double
Dim PV1 As Double
Dim PV2 As Double
Dim Pvs3 As Double
Dim Twb As Double
Dim Pvs1 As Double
Dim Pvs2 As Double
Dim RH As Double
```

```
Dim TZ1 As Double
Dim TZ2 As Double
Dim WZ As Double
Dim MZ As Double
Dim Mi As Double
Dim RH2 As Double
Dim R As Double
Dim N As Double
Dim Dx As Double
Dim X As Double
Dim Y As Double
Dim XX As Double
Dim YY As Double
Dim RH1 As Double
Dim Meq, Mmix As Double
Dim i As Integer, j As Integer, times As Integer
Dim Tf(1000) As Double
Dim WF(1000) As Double
Dim Mf(1000) As Double
Dim DM(1000) As Double
Dim TFF(1000, 300) As Double
Dim WFF(1000, 300) As Double
Dim MFF(1000, 300) As Double
Dim TF1, TFP, Tfan, TB As Double
Dim TF2 As Double
Dim Wf1 As Double, WF2 As Double, WF3 As Double
Dim Q1 As Double, Q2 As Double, Q5 As Double, QH As Double
Dim Qf As Double, QT As Double, Qt1 As Double, QHA As Double
Dim P1, P2, Pt As Double
Dim Water As Double
```

```
Dim En As Double
Dim Q1C As Double, Q1R As Double
Dim Q2CAs  As Double, Q2R As Double
Dim Q5C As Double, Q5R As Double
Dim QF1 As Double, Qf2 As Double
Dim QTC As Double, QTR As Double, EC As Double
Dim Qh1 As Double
Dim Qtl  As Double
Dim Mfinal As Double
Dim Tfinal As Double
Dim Tmix2 As Double
Dim RR As Integer, SS As Integer, TT As Integer

Command1.Enabled = False

      If rsCus001.RecordCount > 0 Then
         rsCus001.MoveFirst
         Call DeleteDataAllDataTB
   Else
   End If
If rsCus002.RecordCount > 0 Then
            rsCus002.MoveFirst
            Call DeleteDataAllAVGTB
      Else
      End If
V = txtV.Text
T1 = txtTmix.Text
T2 = txtTmix2.Text
Td = txtTd.Text
Twb = txtTwb.Text
```

```
Min = txtMin.Text
Mi = txtMin.Text
RC = txtRC.Text
time1 = txtTime1.Text

ÚÚMfinal = txtMfinal.Text
If txtMfinal.Text = "" Then
    If txtTfinal.Text = "" Then
        times = 220
    Else
        times = txtTfinal.Text
    End If
Else
    times = 1000
End If

Ca = 1.008
Pa = 1
Cv = 1.88
Cp = 1.06
Dx = 0.01
H = txtH.Text
Pp = 350
Tp = txtTp.Text
HP = (H / Dx) * (0.35 * 0.7 * Dx) * Pp
Ga = V * Pa
Tc = 5
Mmix = Ga * (0.7 * 0.35)
HH = H / Dx
  Pvs1 = FnPVS(Twb)
```

```
   Wa = (0.62189 * Pvs1) / (101.325 - Pvs1)
   Wi = ((2501 - 2.411 * Twb) * Wa - 1.006 * (Td - Twb)) / (2501 + (1.775 * Td) - (4.186 *
Twb))

For K = 0 To times Step Tc
    Tmix = txtTmix.Text
        If K > txtTime1.Text Then
            Tmix = T2
        End If
Dim sumMZ As Double
         sumMZ = 0
If Opt1Way.Value = True Then
         RR = 1
         SS = HH
         TT = 1
ElseIf Opt1Way.Value = False Then
   If K < txtTime1.Text Or K = txtTime1.Text Then
               RR = 1
               SS = HH
               TT = 1
      Else

               RR = HH
               SS = 1
               TT = -1
      End If
 End If
         If K = 0 Then WF3 = Wi
         Wmix = ((1 - RC) * Wi) + (RC * WF3)
```

```
    For j = RR To SS Step TT
        MFF(0, j) = txtMin.Text

            If K < txtTime1.Text Then
                If K = 0 Then Tp = txtTp.Text Else Tp = Teq1(K - Tc, j)
            End If
            If K > txtTime1.Text Then Tp = Teq1(K - Tc, j)

        If K = 0 Then Min = MFF(0, j) Else: Min = MFF(K - Tc, j)

      DM(0) = 1

   i = 1
      Wf1 = 0.02
      Mf(0) = Min
      sumTF = 0
      SumWF = 0
      sumMF = 0


Do
   If Abs(Wf1 - WF2) > 0.00001 Then
          If WF2 = 0 Then Else Wf1 = WF2
   End If

PV1 = FnPV(Wmix)
Pvs2 = FnPVS(Tmix)
RH = PV1 / Pvs2
If RH > 1 Then RH = 0.9999
```

```
d = HP / (1 + (Min / 100))
R = d / (Mmix * Tc * 60)

Teq = (((Ca + (Cv * Wmix)) * Tmix) + ((Cp * R * Tp))) / (Ca + (Cv * Wmix) + (Cp * R))

Meq = ((Log(1 - RH)) / (-0.00686577 * (Teq + 273.15))) ^ (1 / 1.02474)
X = (-0.000012*Teq^2)+(0.002507*Teq)+0.973109
Y = (0.00049674*Teq^2)-(0.1016144*Teq)+5.291145

DM(i) = (Min - Meq) * ((-X * Y) * (Exp(-Y * (Tc * i)))) + (((1 - X) * (X * Y)) * (Exp(-Y *
X * (Tc * i))))

Mf(i) = DM(i) + Mf(i - 1)

WF(i) = R * (Mf(i - 1) - Mf(i)) + Wmix

Tf(i) = ((Ca * Tmix) + (Wmix * (2502 + (Cv * Tmix))) + (R * Cp * Tp) - (WF(i) * 2502)) /
(Ca + (WF(i) * Cv) + (R * Cp))
sumTF = sumTF + Tf(i)
SumWF = SumWF + WF(i)
sumMF = sumMF + Mf(i)

WF2 = SumWF / i
TZ2 = sumTF / i
MZ = sumMF / i

If Not (Abs(Wf1 - WF2)) < 0.00001 Then i = i + 1
Loop Until Abs(Wf1 - WF2) < 0.00001

Pv3 = FnPV(WF2)
```

```
        Pvs3 = FnPVS(TZ)
        RH3 = Pv3 / Pvs3
            If RH3 > 1 Then
                WF3 = (0.62189 * Pvs3) / (101.35 - Pvs3)
                TZZ = ((Ca * TZ) + (WF2 * (2502 + (Cv * TZ)) + (R * Cp * TZ)) - (WF3 *
2502)) / (R * Cp + Ca + (WF3 * Cv))
                MZZ = MFF(K, j) - (WF3 - WF2) / R
                WF2 = WF3
                TFF(K, j) = TZZ
                MFF(K, j) = MZZ
            End If

         TFF(K, j) = TZ
        Tmix = TFF(K, j)
        Wmix = WF2
        Teq1(K, j) = Teq
        sumMZ = (MFF(K, j) * Dx) + sumMZ

Next j
        TFF(K, j) = TZ
        MF = MFF(K, j)

If txtMfinal.Text = "" Then
ElseIf txtMfinal.Text > sumMZ Then GoTo FromMf
End If

If txtTfinal.Text = "" Then
ElseIf times < txtTfinal.Text Then GoTo FromMf
End If
   If K > 1 Then
```

```
    rsCus002.AddNew
    rsCus002("times") = K
    rsCus002("MC(Ave)") = sumMZ
    rsCus002("MC1") = MFF(K, (HH * (1 / 5)))
    rsCus002("MC2") = MFF(K, (HH * (2 / 5)))
    rsCus002("MC3") = MFF(K, (HH * (3 / 5)))
    rsCus002("MC4") = MFF(K, (HH * (4 / 5)))
    rsCus002("MC5") = MFF(K, HH)
    rsCus002("T1") = Teq1(K, (HH * (1 / 5)))
    rsCus002("T2") = Teq1(K, (HH * (2 / 5)))
    rsCus002("T3") = Teq1(K, (HH * (3 / 5)))
    rsCus002("T4") = Teq1(K, (HH * (4 / 5)))
    rsCus002("T5") = Teq1(K, HH)
    rsCus002.Update
  Else
    End If
       WF3 = WF2

Next K
FromMf:
       Q2C = (5 / 100) * (0.2 * 0.2) * 6 * (TZ2 - Td)
       Q2R = (5.67 * 10 ^ -8) * (0.2 * 0.2) * ((TZ2 ^ 4) - ((Td) ^ 4))
       Q2 = (Q2C + Q2R)

TF2 = (Q2 / (RC * Mmix)) + (Ca * TZ2 + WF3 * Cv * TZ2) / (Ca + WF3 * Cv)

Tx = (-2502 * Mmix * Wmix + (1 - RC) * Mmix * (1.006 * Td + Wi * (2502 + 1.88 * Td)) + RC
* Mmix * (1.006 * TF2 + WF2 * (2502 + 1.88 * TF2))) / ((1.006 + 1.88 * Wmix) * Mmix)

P1 = (20.9719-(1.075*RC)+(15.8292*RC^2))*Pa*Mmix
```

```
P2 = (22.9719-(1.075*RC)+(34.378*RC^2))*Pa*Mmix

If Opt1Way.Value = True Then
        Pt = (P1 + PB) * (1.1 / 1000)
ElseIf Opt1Way.Value = False Then
        Pt = ((P1 + P2) + PB) * (1.1 / 1000)
End If
Tfan = Pt / (0.7 * 0.7 * (Ca + Cv * WF2))
TB = Tx + Tfan

        Q5C = (0.5 * 0.4) * 6 * (TB - Td)
        Q5R = (0.5 * 0.4) * 5.67 * 10 ^ -8 * (((TB) ^ 4) - ((Td) ^ 4))
        Q5A = Q5C + Q5R

        QH = (2.6*(((1.006 + (1.88 * Wmix)) * Mmix * (TB - TZ2)) + Q5A) * (time1 / 60))

QF1 = ( 2.6*((P1 * (Mmix / 1)) / (0.7 * 0.7)) * (time1 / 60) + ((P2 * (Mmix / 1.009)) / (0.7 * 0.7))
* ((K - time1) / 60))

   Water = ((Mi - sumMZ) / 100) * (HP / (1 + (Mi / 100)))

'************************ Total heat loss ***************************
   QTC = ( Q2C + Q5C)
   QTR = (Q2R + Q5R)
   Qh1 = QH * 3.6
   Qf2 = QF1 * 3.6
   QT = (Qf2 + Qh1) / Water

txtTF1.Text = TZ2
txtTB.Text = TB
```

```
txtQH.Text = QH
txtQF2.Text = Qf2
txtQT.Text = QT
txtwat.Text = Water

txtWmix.Text = Wmix
txtMeq.Text = Meq
txtWaf.Text = Wf1
txtHP.Text = HP
txtMfinal.Text = sumMZ
Command1.Enabled = True
cmdResult.Enabled = True
End Sub

Private Sub Command2_Click()
End
End Sub
```

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลการทดลอง

drying condition	EXP.No.1	EXP.No.2	EXP.No.3	EXP.No.4	EXP.No.5	EXP.No.6	EXP.No.7	EXP.No.8
Drying Temperature (^{0}C)	108	110	120	130	130 / 110	130/110	130/110	130/110
Air flow direction	↓	↓	↓	↓	↓↓	↓↓	↓↓	↓↓
Drying time (min)	220	220	220	220	40 / 180	40 / 180	50 / 170	50 / 170
Rubber thickness (m.)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Initial weight (kg)	21.3	20.1	21.8	23.4	21.1	21.2	23.3	21.0
Initial Moisture content (% db)	47.7	45.1	45.7	47.7	50.8	40.7	42.2	54.9
Air speed (m/s)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Electrical Energy (MJ/kg-water evaporated)	20.1	22.8	-	-	-	-	-	-
Thermal Energy (MJ/kg-water evaporated)	3.4	3.8	-	-	-	-	-	-
Total Energy (MJ/kg-water evaporated)	23.5	25.6	26.3	26.4	21.4	23.4	21.4	20.4

drying condition	EXP.No.10	EXP.No.11	EXP.No.12	EXP.No.13	EXP.No.14	EXP.No.15	EXP.No.16	E
Drying Temperature (^{0}C)	130 /110	130 / 110	130 / 105	130 / 110	130 / 110	130 / 110	130 / 110	
Air flow direction	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	
Drying time (min)	50 / 170	40 / 180	40 / 180	40 / 150	40 / 170	40 / 180	40 / 180	
Rubber thickness (m.)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
Initial weight (kg)	19.8	19.8	20.3	22.6	20.5	18.5	19.5	
Initial Moisture content (% db)	51.8	46.5	40.9	45.7	47.3	47.1	43.4	
Air speed (m/s)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.8	2.0	
Electrical Energy (MJ/kg-water evaporated)	2.5	3.0	4.4	2.6	3.3	2.4	3.7	
Thermal Energy (MJ/kg-water evaporated)	19.1	20.3	20.3	22.0	25.4	28.1	28.9	
Total Energy (MJ/kg-water evaporated)	38.1	33.7	32.9	24.6	28.7	30.5	32.6	

drying condition	EXP.No.18	EXP.No.19	EXP.No.20	EXP.No.21	EXP.No.22	EXP.No.23	EXP.No.24	EXP.No.25
Drying Temperature (^{0}C)	130 / 110	130 / 110	130 / 110	130 / 110	130 / 110	130 / 110	130 / 110	130 / 110
Air flow direction	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑
Drying time (min)	40 / 180	40 / 180	40 / 180	40 / 180	40 / 180	40 / 120	40 / 120	40 / 120
Rubber thickness (m.)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Initial weight (kg)	19.9	19.3	20.4	19.5	21.2	18.1	20.4	19.5
Initial Moisture content (% db)	42.0	39.7	41.0	43.7	39.6	44.0	41.4	45
Air speed (m/s)	1.8	2.0	2.2	2.5	2.5	1.8	1.8	1.8
Electrical Energy (MJ/kg-water evaporated)	3.1	3.2	3.4	4.9	4.1	2.6	2.3	3.0
Thermal Energy (MJ/kg-water evaporated)	29.6	30.5	30.4	29.3	30.7	23.5	24.6	23.3
Total Energy (MJ/kg-water evaporated)	32.7	33.7	33.8	34.2	34.8	26.1	26.9	26.4