บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาการพัฒนาเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการเพื่อการอบแห้งยางแท่ง STR 20 ทำการศึกษาโดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ 1) ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ 2) การศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา 3) การศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 4) การวิเคราะห์ผลการศึกษาของค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง และ 5) การศึกษาคุณภาพของยางแท่งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ

1. การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการ

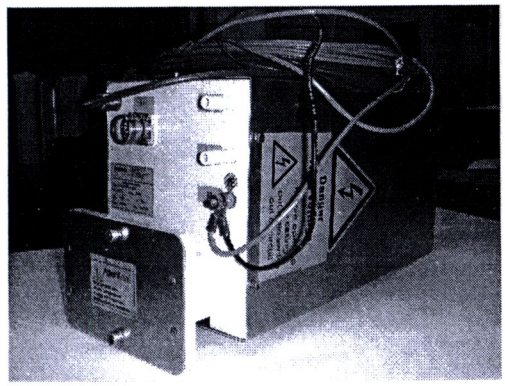
การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเตาไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการที่มีกำลังวัตต์สูง สามารถอบแห้งยางแท่งที่มีความหนาใกล้เคียงกับยางแท่งในระดับอุตสาหกรรม และนำไปใช้ในการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟต่อไป ขั้นตอนในการออกแบบเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการมีดังนี้

1. การเลือกใช้ส่วนกำเนิดคลื่นและการควบคุมกำลัง
2. การเลือกแบบท่อนำคลื่นและตำแหน่งป้อน
3. การออกแบบห้องอบ
4. การออกแบบประตู
5. การทดสอบด้านความปลอดภัย
6. การทดสอบการกระจายคลื่นในห้องอบ
7. การวัดกำลังของไมโครเวฟ

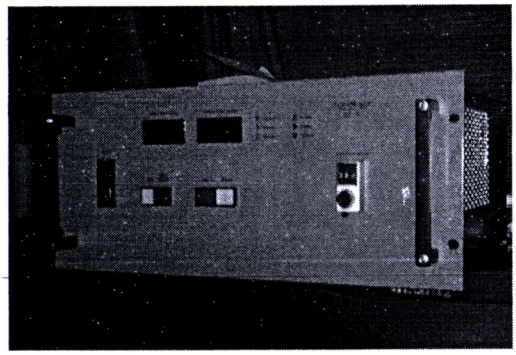
1.1 การเลือกใช้ส่วนกำเนิดคลื่นและการควบคุมกำลัง

แมกนีตรอน (Magnetron) เป็นส่วนที่กำเนิดคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นพลังงานหลักในการอบแห้ง โดยทั่วไปแมกนีตรอนจะกำเนิดคลื่นที่ 2 ความถี่ คือ 915 และ 2450 เมกะเฮิรตซ์ จึงจำเป็นต้องพิถีพิถันในการเลือกออกแบบทั้งความถี่การทำงานและกำลังสูงสุด จากการศึกษาของ คำนึง และ จาริณี (2550) ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นยางธรรมชาติ (จับตัวตามธรรมชาติ และรีดให้เป็นยางแผ่นบางก่อนตีย่อยเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตยางแท่ง) โดยวิธีโพรบแบบแกนร่วมปลายเปิด ชี้ให้เห็นว่าควรใช้แมกนีตรอนที่ทำงาน ณ ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ในการอบแห้งยางแท่ง เพราะยางจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานและเปลี่ยนเป็นความร้อนได้มากกว่าที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ แต่อย่างไรก็ตามแมกนีตรอนที่ทำงาน ณ ความถี่ 2450 เมกะเฮิรตซ์ ขนาด 800 วัตต์ ซึ่งนิยมใช้ในเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือน มีกำลังไม่เพียงพอที่จะให้ความร้อนเมื่อยางแท่งมีความหนาเพิ่มมากขึ้น จำเป็นต้องเลือกใช้แมกนีตรอนที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถทำงานได้ต่อเนื่องและแปรระดับกำลังได้สูงถึง 2,000 วัตต์ และในงานวิจัยนี้จะใช้แมกนีตรอนดังภาพที่ 3.1 ซึ่งมี

การระบายความร้อนด้วยการไหลเวียนของน้ำและชุดควบคุมกำลังไมโครเวฟ (Power Supply) ดังภาพที่ 3.2 ของบริษัท Cober Muegge ประเทศสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ 3.1 แมกนีตรอนขนาดกำลัง 2,000 วัตต์



ภาพที่ 3.2 ชุดควบคุมกำลังไมโครเวฟที่สามารถปรับค่าได้

1.2 การเลือกแบบท่อนำคลื่นและตำแหน่งป้อน

ส่วนใหญ่ท่อนำคลื่นและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมประเภทอาหารและยา จะเป็นสเตนเลส เพราะมีข้อดีคือทนความร้อนสูง และทนต่อการผุกร่อน(Corrosion) (Meredith, 1998) แต่ข้อเสียคือค่า attenuation มีค่าสูง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งค่า attenuation เป็นตัวบอกถึงการสูญเสียที่ผิวของโลหะ สามารถพิจารณาได้ตามสมการที่ 17 α_c คือค่า attenuation (d β /m) (Meredith, 1998)

$$\alpha_c = \frac{1}{\eta b}\left[\frac{\pi f \mu}{\sigma\left[1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2\right]}\right]^{1/2}\left[1+\frac{2b}{a}\left(\frac{f_c}{f}\right)^2\right] \qquad (17)$$

เมื่อ η คือ ค่า intrinsic impedance ของวัสดุไดอิเล็กตริก, a และ b คือค่าความกว้าง และความสูงของท่อนำคลื่น, σ คือค่าสภาพนำไฟฟ้า, f_c คือ ความถี่คัทออฟ (cut-off frequency)

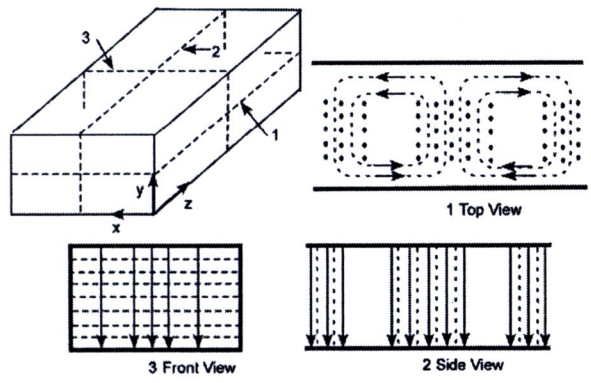
ตารางที่ 3.1 ค่า attenuation และ Power loss ของโลหะชนิดต่าง ๆ ที่ความถี่ 2.45 GHz

Parameter	WG size (mm)	Cu	Al	Stainless Steel
σ (mho/m)	n/a	$5.5x10^7$	$3.0x10^7$	$1.4x10^8$
α_c	86x43	2.28E-02	3.09E-02	1.43E-01
Power loss Watt/meter at 25 kW	86x43	132	178	837

ที่มา: ดัดแปลงจาก Meredith, 1998

จากเหตุผลดังข้างต้นประกอบกับในท้องตลาดมีท่อสเตนเลสขนาดหน้าตัด 8 X 4 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานจำหน่ายอยู่แล้ว จึงสามารถนำมาใช้เป็นท่อนำคลื่นได้ จากเหตุผลทั้งหมดดังที่กล่าวมาทำให้เลือกใช้สเตนเลสเป็นวัสดุหลักของ ท่อนำคลื่น และเตาอบ

เมื่อส่งคลื่นไมโครเวฟผ่านท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (Rectangular waveguide) โดยเลือกโหมดของการส่งให้เป็น TE_{10} จะได้คลื่นภายในท่อมีลักษณะดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การกระจายตัวเป็นคลื่นนิ่งของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นไมโครเวฟผ่านท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยมในโหมด TE_{10} (Meredith, 1998)

ซึ่งความถี่ต่ำสุดของคลื่นไมโครเวฟ (Cutoff frequency, f_c) ที่สามารถส่งผ่านไปตามท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยมได้นั้น สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 18

$$f_{c_{mn}} = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \tag{18}$$

เมื่อ c คือความเร็วแสง m และ n คือเลขจำนวนเต็ม a และ b คือขนาดของท่อนำคลื่น

เมื่อเลือกให้ a = 8 เซนติเมตร และ b = 4 เซนติเมตร เนื่องจาก m = 1 และ n = 0 สำหรับโหมด TE_{10} และไมโครเวฟที่ใช้มีความถี่ที่ใช้งานเป็น 2.45 GHz แทนค่าตามสมการที่ 2 พบว่า f_c = 1.87 GHz มีค่าน้อยกว่าความถี่ที่ใช้งาน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการเคลื่อนที่ของคลื่นไมโครเวฟผ่านท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยมนั่นคือค่าความถี่คัทออฟต้องมีค่าน้อยกว่าค่าความถี่ใช้งาน จึงจะสามารถแพร่ผ่านท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดหน้าตัด 8 X 4 เซนติเมตร ได้

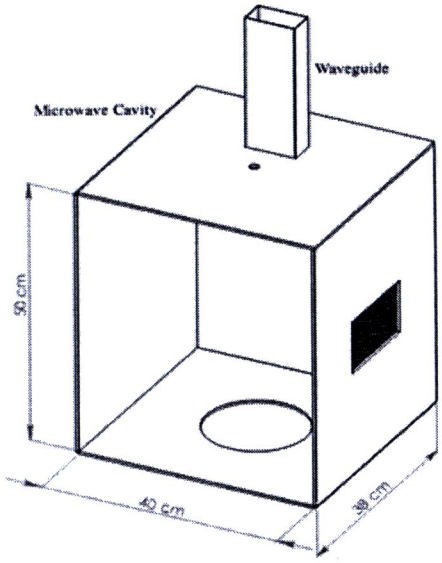
และกำหนดตำแหน่งป้อนคลื่นที่ด้านบนของห้องอบ (Overhead feeds) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระดับอุตสาหกรรม เพื่อให้มีการกระจายคลื่นที่ดีจึงออกแบบให้มีตัวกวนคลื่น (Stirrer) ณ ตำแหน่งปลายของท่อนำคลื่น

1.3 การออกแบบห้องอบ

เมื่อคลื่นไมโครเวฟถูกส่งออกจากแมกนีตรอนผ่านระบบท่อนำคลื่นแล้วจึงเดินทางไปยังห้องอบที่ได้ออกแบบไว้โดยมีขนาดดังภาพที่ 3.4 โดยด้านล่างของห้องอบได้เชื่อมต่อกับเครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน และใช้สเตนเลสความหนา 1 มิลลิเมตร เป็นผนังของห้องอบ เพื่อให้เกิดการสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟอยู่ภายในห้องอบและเกิดการรวมกัน ซึ่งปรากฏการนี้เรียกว่าการเกิดคลื่นนิ่ง และการเกิดคลื่นภายในห้องอบได้ถูกออกแบบให้เกิดคลื่นนิ่งได้หลายโหมด (multi mode) และเมื่อกำหนดให้ a = 38 cm, b = 50 cm, d = 40 cm แล้วคำนวณหาความถี่คัทออฟ (cut-off frequency, $f_{c_{mnp}}$)ตามสมการ (19)

$$f_{c_{mnp}} = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2} \tag{19}$$

โดยที่ m = 0,1,2,3,..., n = 0,1,2,3,..., p = 1,2,3,... และ $c \approx 3\text{x}10^8$ เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 3.4 ลักษณะของห้องอบและตำแหน่งเชื่อมต่อต่าง ๆ

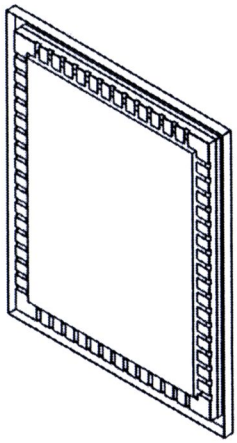
ผลคำนวณโดยใช้โปรแกรม Mathlab หาโหมดที่เกิดคลื่นนิ่งภายในห้องอบ เป็นดังแสดงในตาราง ที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 โหมดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในห้องอบ

m	n	p	f(GHz)
5	1	5	2.4334
0	5	4	2.479
1	2	6	2.4033
7	1	3	2.4148
3	1	6	2.4553
2	2	6	2.4588
4	5	2	2.4286
8	0	1	2.4291
5	4	3	2.4513
6	3	3	2.4306
7	3	1	2.4399
0	6	2	2.4843
6	4	1	2.4236
8	1	1	2.461
1	4	5	2.4696
5	3	4	2.4295

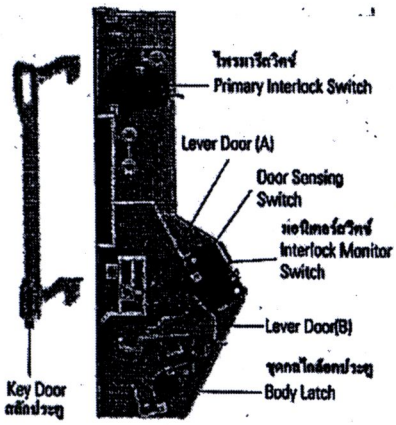
1.4 การออกแบบประตู

ระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟจะต้องมีระบบประตูเปิด-ปิดอยู่เสมอซึ่งในการออกแบบส่วนนี้ต้องให้ความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติการ โดยระบบประตูต้องออกแบบให้เป็นเหมือนกับดัก (Trap) โดยจะดักคลื่นไว้ไม่ให้คลื่นรั่วไหลออกไปนอกห้องอบ ดังภาพที่ 3.5 หลักการออกแบบคือออกแบบไว้เป็นโพรงด้านใน ซึ่งมีความสูงเป็น $\frac{1}{4}$ เท่าของความยาวคลื่น ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วที่ $\frac{1}{4}$ เท่าของความยาวคลื่นเป็นจุดที่คลื่นมีสนามไฟฟ้าสูงสุดและจะรับคลื่นเข้าไปข้างในได้ดีที่สุดด้วย



ภาพที่ 3.5 โพรงกับดักคลื่นของบานประตู

ส่วนของสวิตช์กลอนประตูได้ทำการติดสวิตช์เพื่อความปลอดภัย(safety switch) จะทำให้ เมื่อเปิดประตูห้องอบ การสร้างคลื่นต้องหยุดและไม่มีไฟเข้าระบบ การทำงานทุกอย่างในเครื่องจะต้องหยุดทั้งหมด ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 กลไกสวิตช์เพื่อความปลอดภัย (safety switch) (สุรพล สุธีระเวชช์, 2541)

1.5 การทดสอบด้านความปลอดภัย (สุรพล สุธีระเวชช์, 2541)

เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟ ในงานวิจัยหลังจากสร้างเครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการแล้วเสร็จ จำเป็นต้องทดสอบการแพร่กระจายของคลื่นจากภายในสู่ภายนอกเตาให้เป็นไปตามมาตรฐาน โดยมีรายละเอียดและวิธีดำเนินการดังนี้

1.5.1 อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ทดสอบประกอบด้วย

1.5.1.1 เครื่องมือไมโครเวฟ เซอร์เวย์ มิเตอร์ (Microwave Oven Survey Meter) พร้อมหัววัด (Prob)

1.5.1.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -200 ถึง 1370 องศาเซลเซียส มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm$ 0.3 องศาเซลเซียส

1.5.1.3 นาฬิกาจับเวลา มีความละเอียด 0.01 วินาที

1.5.1.4 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 600 ซีซี จำนวน 1 ใบ

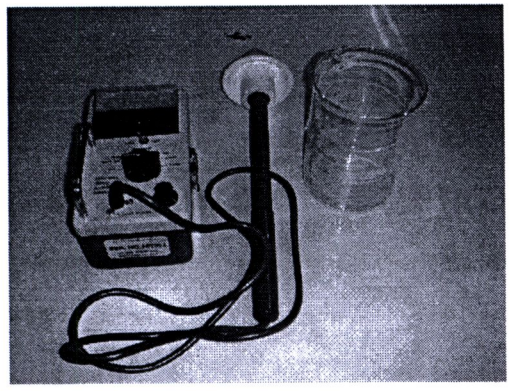
1.5.1.5 ชุดป้องกันคลื่นไมโครเวฟ (Protective suit)

1.5.2 วิธีดำเนินการทดสอบ

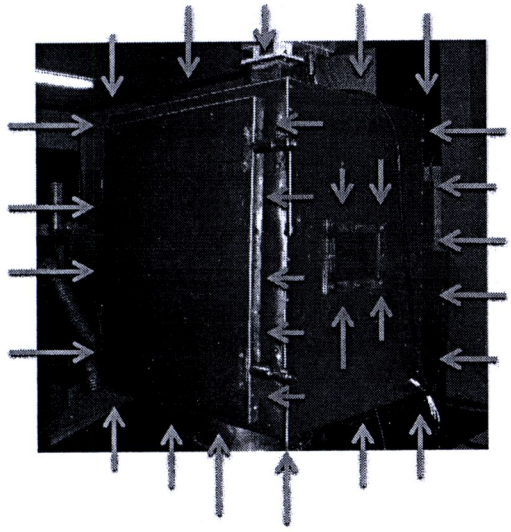
เริ่มต้นจากผู้ทดสอบสวมชุดป้องกันคลื่นไมโครเวฟ (Protective suit) จากนั้นนำบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำ 600 ซีซี ไปวางตรงกลางของเตาอบไมโครเวฟ เปิดไมโครเวฟตั้งระดับกำลังสูงสุด จากนั้นจึงใช้เครื่องมือ (Microwave Oven Survey Meter) ดังภาพที่ 3.7 วัดการแพร่กระจายของคลื่นไมโครเวฟ
ณ ตำแหน่งต่าง ๆ เช่น บริเวณขอบประตูเปิด-ปิดเตา จุดรอยต่อของท่อนำคลื่นดังภาพที่ 3.8 โดยให้หัววัดตั้งฉากและมีระยะห่างประมาณ 5 เซนติเมตร กับผิวที่ต้องการวัด

1.5.3 ค่าชี้ผลของการทดสอบ

ค่าที่วัดได้ต้องไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นค่ามาตรฐาน DHHS (Department of Health and Human Suervices) (Meredith, 1998) และหากคลื่นแพร่กระจายเกินค่ามาตรฐาน ต้องทำการปรับปรุงให้ได้ตามมาตรฐาน ก่อนที่จะทำการทดสอบการกระจายคลื่นภายในห้องอบ



ภาพที่ 3.7 เครื่องมือวัดการรั่วของคลื่นไมโครเวฟ



ภาพที่ 3.8 ตำแหน่งที่ทดสอบการรั่วของคลื่นไมโครเวฟ

1.6 การทดสอบการกระจายคลื่นในห้องอบ

การกระจายคลื่นภายในห้องอบที่สม่ำเสมอเป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะก่อให้เกิดความร้อนภายในวัสดุเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การทดสอบการกระจายคลื่นภายในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในถ้วยแก้ว โดยมีรายละเอียดและวิธีดำเนินการดังนี้

1.6.1 อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ทดสอบประกอบด้วย

1.6.1.1 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 100 ซีซี จำนวน 5 ใบ

1.6.1.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -200 ถึง 1370 องศาเซลเซียส มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm$ 0.3 องศาเซลเซียส

1.6.1.3 นาฬิกาจับเวลา มีความละเอียด 0.01 วินาที

1.6.2 วิธีดำเนินการทดสอบ

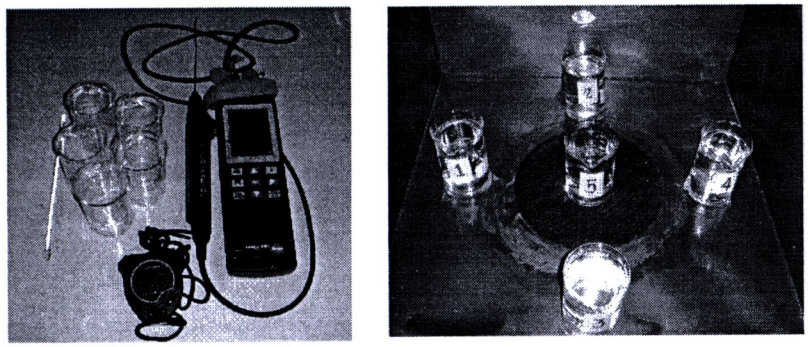
นำบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำ 100 ซีซี จำนวน 5 ใบ ไปทำการวัดอุณหภูมิทุกใบแล้วให้เป็นค่า T1 จากนั้นนำบีกเกอร์ไปวางในห้องอบให้มีระยะห่างเท่ากัน ดังภาพที่ 3.9 ให้ไมโครเวฟทำงานที่กำลังสูงสุดเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นวัดอุณหภูมิทุกใบให้เป็นค่า T2 จากนั้นนำค่าแทนค่าตามสมการที่ 20

$$Q = \frac{\Delta T_{\min}}{\Delta T_{\max}} \times 100\% \qquad (20)$$

เมื่อ Q คือค่าการกระจายความร้อน T_{min} คือค่าความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุด และ T_{max} คือค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุด

1.6.3 ค่าชี้ผลการทดสอบ

ค่าการกระจายความร้อน (Q) ตามสมการที่ 4 ควรมีค่ามากกว่า 65% จึงถือว่าปกติ



(ก) (ข)

ภาพที่ 3.9 อุปกรณ์ทดสอบการกระจายของคลื่นในห้องอบ (ก) และตำแหน่งการวางบีกเกอร์ (ข)

1.7 การวัดกำลังของไมโครเวฟ

ในมาตรฐานสากลได้มีการวัดกำลังออกของแมกนีตรอนตามมาตรฐาน ICE60705 (International Electro technical Commission) ซึ่งต้องกระทำภายในห้องทดลองที่สามารถควบคุมค่าตัวแปรต่างๆ ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยมีรายละเอียดและวิธีดำเนินการดังนี้

1.7.1 อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ทดสอบประกอบด้วย

1.7.1.1 โหลแก้วทนความร้อนขนาด 2 ลิตร จำนวน 1 ใบ

1.7.1.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -200 ถึง 1370 องศาเซลเซียส มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm$ 0.3 องศาเซลเซียส

1.7.1.3 นาฬิกาจับเวลา มีความละเอียด 0.01 วินาที

1.7.1.4 แท่งแก้วคนสาร

1.7.2 วิธีการทดสอบ

นำโหลแก้วทนความร้อนใส่น้ำ 1 ลิตร ใช้แท่งแก้วกวนน้ำในโหลประมาณ 1 นาที วัดอุณหภูมิของน้ำ กำหนดค่าอุณหภูมิให้เป็นค่า T1 นำโหลแก้วไปไว้ตรงกลางเตาไมโครเวฟ ตั้งระดับกำลังงานสูงสุด ตั้งเวลาให้เครื่องทำงาน 60 วินาที นำชามออกจากห้องอบ ใช้แท่งแก้วกวนน้ำในชามประมาณ 1 นาที วัดอุณหภูมิของน้ำ กำหนดค่าอุณหภูมิให้เป็นค่า T2 จากนั้นหาค่ากำลังของไมโครเวฟตามสมการที่ 21

$$P = \frac{4.718 \times V \times \Delta T}{t} \tag{21}$$

เมื่อ P = กำลังที่ออกมามีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) 4.187 = เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำ V = เป็นปริมาตรของน้ำ มีหน่วยเป็นลิตร (Liter) ΔT = ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C) และ t = เวลาที่ให้ความร้อน มีหน่วยเป็นนาที (minute)

1.7.3 ค่าชี้ผลการทดสอบ

ค่ากำลังไมโครเวฟที่วัดได้จากการทดสอบ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวัตต์แมกนีตรอนที่ใช้

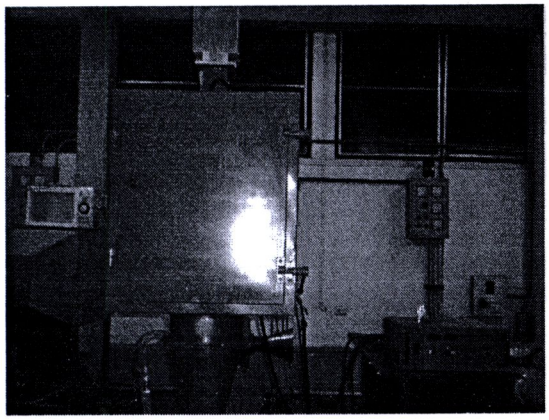
2. การศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา

จากการศึกษาของ คำนึงและเฉลิมขวัญ (2550) ได้ศึกษาเบื้องต้นอบแห้งยางแท่งที่ความสูงชั้นยาง2.5 เซนติเมตร ด้วยเตาไมโครเวฟแบบใช้ในครัวเรือน เมื่อให้กำลังไมโครเวฟที่ระดับ 800 วัตต์ โดยเปิด-ปิดเป็นระยะ พบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในของยางแท่งให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้ในช่วง 95-110 องศาเซลเซียส และจาริณี จงปลื้มปิติ (2551) ได้ศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟโดยการควบคุมอุณหภูมิภายในโดยเปิดให้กำลังไมโครเวฟเพื่อเพิ่มอุณหภูมิยางสลับกับการเป่าลมเพื่อลดอุณหภูมิยาง พบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิยางให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิเฉลี่ย 100 องศาเซลเซียส และผลของน้ำหนักที่มีต่อคุณลักษณะการอบแห้งคือ เมื่อน้ำหนักมากขึ้นส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานลดลง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงใช้วิธีการอบแห้งยางแท่งคล้ายกันนี้เป็นแนวทางในการศึกษา

วิธีดำเนินการศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยเตาไมโครเวฟระดับห้องปฏิบัติการร่วมกับลมธรรมดา (ออกแบบและสร้างขึ้นตามวิธีการศึกษาจากข้อที่ 1) เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของความสูงชั้นยางที่มีต่อ อุณหภูมิภายในของยาง ความชื้น เวลาและพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง มีวิธีการศึกษาดังนี้

2.1 ชุดเครื่องมือการศึกษา

การศึกษาใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นตามข้อ 1 มีขนาด ความจุ 76 ลิตร ควบคุมการจ่ายกำลังไมโครเวฟโดยชุดควบคุมกำลัง ซึ่งด้านล่างของห้องอบได้ดัดแปลงให้เชื่อมต่อกับเครื่องอบลมร้อน สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ ± 0.1 องศาเซลเซียส ซึ่งติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟและชุดควบคุมกำลัง

2.2 วัสดุและอุปกรณ์การศึกษา

วัสดุและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

2.2.1 ยางดิบที่บดย่อยแล้ว

2.2.2 นาฬิกาจับ มีความละเอียด 0.01 วินาที

2.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก สามารถชั่งน้ำหนักได้มากที่สุด 4,000 กรัม มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.1 กรัม

2.2.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -200 ถึง 1370 องศาเซลเซียส มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.3 องศาเซลเซียส

2.2.5 เครื่องวัดความเร็วลม มีความละเอียด 0.01 เมตรต่อวินาที

2.2.6 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ ความจุ 76 ลิตร ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น และติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2.2.7 ชุดควบคุมกำลังไมโครเวฟสามารถปรับกำลังได้ 0 – 100 เปอร์เซ็นต์

2.3 ปัจจัยการศึกษา

2.3.1 ปัจจัยที่ใช้ศึกษา

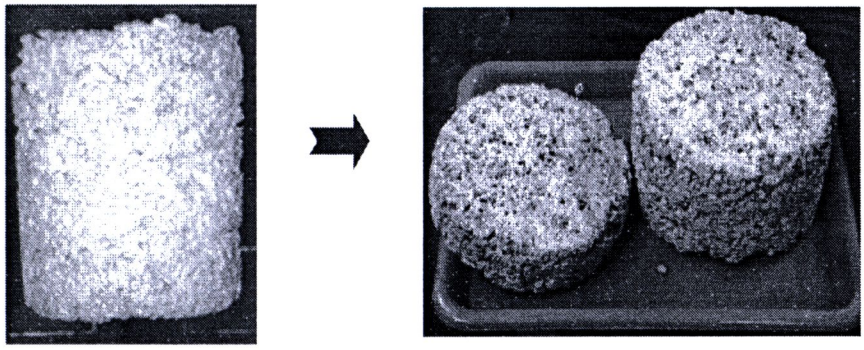
ความสูงชั้นยางของยางแท่ง มี 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20เซนติเมตร (มีขนาดน้ำหนัก 1,500 2,500 และ 3,300 กรัม)

2.3.2 ปัจจัยควบคุม

2.3.2.1 อุณหภูมิลม ใช้อุณหภูมิลมธรรมดา 32 องศาเซลเซียส และความเร็วลมที่ 0.5 เมตรต่อวินาที

2.3.2.2 ระดับกำลังไมโครเวฟภายในเตาอบ 1,700 วัตต์ (ผลจากการทดสอบกำลังไมโครเวฟจากข้อ 1)

2.3.2.3 เวลาเริ่มต้นการให้พลังงานไมโครเวฟ คือ 40 50.5 และ 34.5 ตามลำดับความสูงชั้นยาง (จากการทดสอบเบื้องต้น)



ภาพที่ 3.11 ยางแท่งที่ใช้ในการทดสอบตัดแต่งให้ได้ความสูงชั้นยางที่ต้องการ

2.4 วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ โดยอบยางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ความสูงชั้นยาง 10 15 และ 20 เซนติเมตร ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที และตั้งอุณหภูมิลมเป็นลมธรรมดา เปิด- ปิด ให้ไมโครเวฟ โดยใช้เตาอบไมโครเวฟที่สร้างขึ้นตามข้อ 1 มีวิธีดำเนินการดังนี้ (ซึ่งสามารถแสดงแผนผังการอบแห้งได้ดังภาพที่ 3.12)

2.4.1 นำยางดิบที่บดย่อยจากโรงงานซึ่งบรรจุในถังพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร มาตัดแบ่งให้ได้ความสูงชั้นยาง 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 เซนติเมตร (มีขนาดน้ำหนัก คือ 1,500 2,500 และ 3,300 กรัม)

2.4.2 ตั้งระดับกำลังที่ชุดควบคุมกำลังของเตาอบไมโครเวฟ 100 เปอร์เซ็นต์ และตั้งอุณหภูมิลมเป็น 32 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิลมธรรมดา)

2.4.3 ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยางก่อนอบ (ซึ่งในการวัดอุณหภูมิทุกครั้ง จะทำการวัด 3 ตำแหน่งคือ บริเวณที่ห่างจากขอบชิ้นยาง 3 เซนติเมตร ทำมุม 120 องศาในแนวราบกับจุดศูนย์กลางของชิ้นยาง วัดลึกลงไปครึ่งหนึ่งของความสูงชั้นยาง)

2.4.4 นำยางแท่งความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 1,500 กรัม ไปอบด้วยเตาไมโครเวฟ เปิดให้ไมโครเวฟเป็นเวลา 40 นาที โดยชั่งน้ำหนักและวัดอุณหภูมิยางทุกๆ 8 นาที จนกว่าอุณหภูมิยางใกล้ถึง 105 องศาเซลเซียส ระหว่างที่ให้กำลังไมโครเวฟเปิดให้ลมไหลผ่านตลอด

2.4.5 เมื่ออบยางครบนาทีที่ 40 หยุดให้ไมโครเวฟเป็นเวลา 4 นาที ให้ลมไหลผ่านเพื่อลดอุณหภูมิยางให้ใกล้เคียง 95 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง

2.4.6 เปิดให้กำลังไมโครเวฟอีก 2 นาที เพื่อให้อุณหภูมิยางสูงขึ้นใกล้เคียง 105 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง แล้วจึงหยุดให้ไมโครเวฟเป็นเวลา 4 นาที ให้ลมไหลผ่านเพื่อลดอุณหภูมิให้ใกล้เคียง 95 องศาเซลเซียสอีกเช่นเดิม ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง

2.4.7 ดำเนินการเช่นข้อ 6 ไปกว่าเสร็จสิ้นการทดลอง (ตั้งแต่นาทีที่ 50 เพิ่มเวลาการให้กำลังไมโครเวฟเพิ่มเป็น 4นาที) เมื่อยางมีความชื้นลดลงใกล้เคียง 0.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ทำการทดสอบเป็นจำนวน 3 ซ้ำต่อความสูงชั้นยาง

2.4.8 ยางแท่งที่ผ่านการทดลองแล้ว ถูกนำไปอบเพื่อหามวลแห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง

2.4.9 ทำการทดสอบยางแท่งที่ความสูงชั้นยาง 15 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 2,500 กรัม โดยนำไปอบด้วยเตาไมโครเวฟ เปิดให้ไมโครเวฟเป็นเวลา 50.5 นาที บันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยางทุกๆ 8 นาที (ยกเว้นช่วงสุดท้ายใช้เวลา 2.5 นาที) จนอุณหภูมิยางใกล้ถึง 105 องศาเซลเซียส ระหว่างที่ให้กำลังไมโครเวฟเปิดให้ลมไหลผ่านตลอด

2.4.10 เมื่ออบยางครบนาทีที่ 50.5 หยุดให้ไมโครเวฟเป็นเวลา 8 นาที ให้ลมไหลผ่าน เพื่อลดอุณหภูมิยางให้ใกล้เคียง 95 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง

2.4.11 เปิดให้กำลังไมโครเวฟอีก 2 นาที เพื่อให้อุณหภูมิยางสูงขึ้นใกล้เคียง 105 องศาเซลเซียส บันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง แล้วจึงพักเพื่อให้ลมไหลผ่านเป็นเวลา 4 นาที เพื่อลดอุณหภูมิให้ใกล้เคียง 95 องศาเซลเซียสอีกเช่นเดิม ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง

2.4.12 ดำเนินการเช่นข้อ 11 ไป จนถึงนาทีที่ 62.5 เพิ่มเวลาการให้กำลังไมโครเวฟเพิ่มเป็น 4 นาที และตั้งแต่นาทีที่ 74.5 จึงเพิ่มเวลาให้ลมไหลผ่านเป็นเวลา 8 นาที เมื่อยางมีความชื้นลดลงใกล้เคียง 0.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกจึงเสร็จสิ้นการทดลอง ทำการทดสอบเป็นจำนวน 3 ซ้ำต่อความสูงชั้นยาง

2.4.13 ยางแท่งที่ผ่านการทดลองแล้ว ถูกนำไปอบเพื่อหามวลแห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง

2.4.14 ทำการทดสอบยางแท่งที่ความสูงชั้นยาง 20 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 3,300 กรัม โดยนำไปอบด้วยเตาไมโครเวฟ เปิดให้ไมโครเวฟเป็นเวลา 34.5 นาที บันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยางทุกๆ 8 นาที (ยกเว้นช่วงสุดท้ายใช้เวลา 2.5 นาที) จนอุณหภูมิยางใกล้ถึง 105 องศาเซลเซียส ระหว่างที่ให้กำลังไมโครเวฟเปิดให้ลม

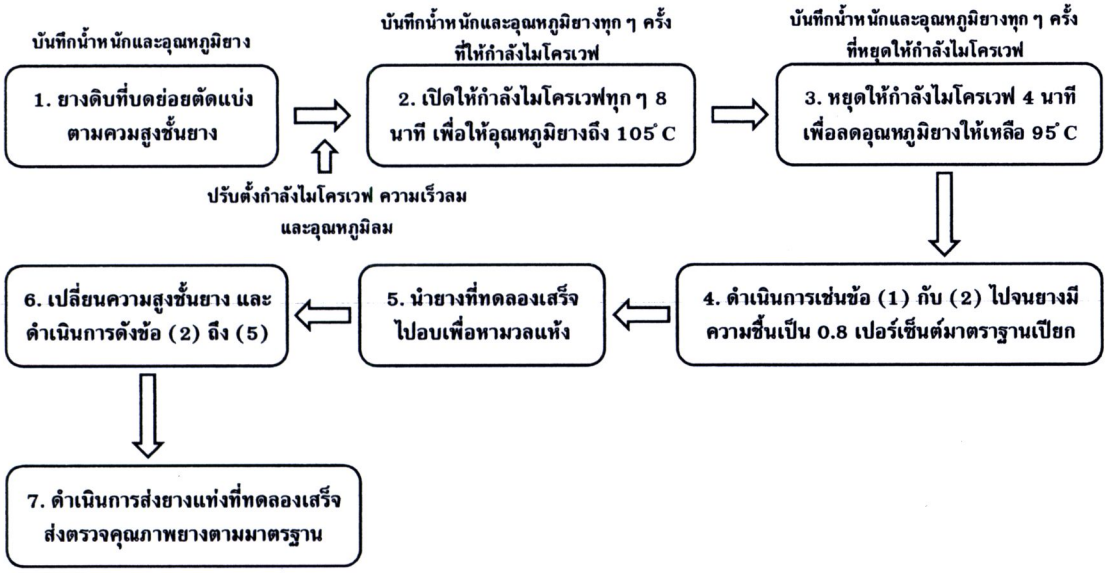
ไหลผ่านตลอด เมื่ออบยางครบนาทีที่ 34.5 หยุดให้ไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที ให้ลมไหลผ่าน เพื่อลดอุณหภูมิยางให้ใกล้เคียง 95 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง

2.4.15 เปิดให้กำลังไมโครเวฟ 2 นาที ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง แล้วจึงพักเพื่อให้ลมไหลผ่าน 2 นาที ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง

2.4.16 ดำเนินการเช่นข้อ 15 จนถึงนาทีที่ 37 จึงเพิ่มเวลาการให้กำลังไมโครเวฟเป็นอีก 2.5 นาที และตั้งแต่นาทีที่ 42 พักเพื่อให้ลมไหลผ่านเป็นเวลา 4 นาที

2.4.17 นาทีที่ 71 ให้เวลาการให้กำลังไมโครเวฟเพิ่มเป็น 4 นาที เพื่อให้อุณหภูมิยางสูงขึ้นใกล้เคียง 105 องศาเซลเซียส แล้วจึงพักเพื่อให้ลมไหลผ่านเป็นเวลา 8 นาที เพื่อลดอุณหภูมิให้ใกล้เคียง 95 องศาเซลเซียส ดำเนินการเช่นนี้จนกว่ายางมีความชื้นลดลงใกล้เคียง 0.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก จึงเสร็จสิ้นการทดลอง ทำการทดสอบเป็นจำนวน 3 ซ้ำต่อความสูงชั้นยาง

2.4.18 ยางแท่งที่ผ่านการทดลองแล้ว ถูกนำไปอบเพื่อหามวลแห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.12 แผนผังการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา

2.5 ค่าชี้ผลของการศึกษา

สำหรับการศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมธรรมดา กำหนดให้ค่าชี้ผลการศึกษาคือ

2.5.1 อุณหภูมิภายในของยาง

2.5.2 ความชื้นที่เปลี่ยนไปของยางแท่ง

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง สำหรับความชื้นที่ใช้ในการบอกค่ามาตรฐานของยางแท่งคือ ความชื้นมาตรฐานเปียกซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (22)

$$M_w = \left(\frac{w - d}{w} \right) \tag{22}$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis), %

เมื่อ w คือ มวลของวัสดุ, g

เมื่อ d คือ มวลวัสดุแห้ง, g

2.5.3 เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

2.5.4 พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ณ ตำแหน่งเวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (23)

$$E_m = \frac{3.6 \ (P_m) \ t}{m_{evap}} \tag{23}$$

เมื่อ E_m คือ พลังงานจำเพาะของไมโครเวฟที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ/kg_{H_2O})

เมื่อ P_m คือ กำลังไมโครเวฟ (kW)

เมื่อ t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

m_{evap} คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg water evaporated)

3. การศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

จากการทดลองการอบแห้งยางแท่งตามข้อที่ 2 พบว่า เมื่ออบยางจนถึงความชื้น 0.8 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียก พบว่า ยางที่ความสูงชั้นยาง 15 และ 20 เซนติเมตร ไม่สุก (เกิดจุดขาว) โดยเฉพาะที่ความสูงชั้นยาง 20 เซนติเมตร เนื่องจากพลังงานไมโครเวฟส่วนใหญ่ใช้ในการเร่งการแพร่กระจายของความชื้นจึงมีพลังงานไมโครเวฟส่วนน้อยที่ใช้ในการทำให้ยางสุก ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหา จึงนำลมร้อนเข้ามาช่วยในการอบแห้งยางแท่งเป็นตัวเร่งการสุกของยาง

วิธีดำเนินการศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของความสูงชั้นยาง อุณหภูมิลมร้อนและเวลาการให้ไมโครเวฟที่มีต่อ อุณหภูมิภายในของยาง ความชื้น เวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง มีวิธีการศึกษาดังนี้

3.1 ชุดเครื่องมือศึกษา

การศึกษาใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นตามข้อ 1 มีขนาด ความจุ 76 ลิตร ควบคุมการจ่ายกำลังไมโครเวฟโดยชุดควบคุมกำลัง ซึ่งด้านล่างของห้องอบได้ดัดแปลงให้เชื่อมต่อกับเครื่องอบลมร้อน สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ ± 0.1 องศาเซลเซียส ซึ่งติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ดังภาพที่ 3.10

3.2 วัสดุและอุปกรณ์การศึกษา

วัสดุและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

3.2.1 ยางดิบที่บดย่อยแล้ว

3.2.2 นาฬิกาจับเวลา มีความละเอียด 0.01 วินาที

3.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก สามารถชั่งน้ำหนักได้มากที่สุด 4,000 กรัม มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.1 กรัม

3.2.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -200 ถึง 1370 องศาเซลเซียส มีค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.3 องศาเซลเซียส

3.2.5 เครื่องวัดความเร็วลม มีความละเอียด 0.01 เมตรต่อวินาที

3.2.6 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)

3.2.7 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ ความจุ 76 ลิตร ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น และติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3.2.8 ชุดควบคุมกำลังไมโครเวฟสามารถปรับกำลังได้ 0 – 100 เปอร์เซ็นต์

3.3 ปัจจัยการศึกษา

3.3.1 ปัจจัยที่ใช้ศึกษา

ความสูงชั้นยางของยางแท่ง มี 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20เซนติเมตร (มีขนาดน้ำหนัก 1,500 2,500 และ 3,300 กรัม)

3.3.2 ปัจจัยควบคุม

3.3.2.1 ความสูงชั้นยาง มี 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 เซนติเมตร

3.3.2.2 อุณหภูมิลมร้อน มี 2 ระดับ คือ 100 และ 110 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อ วินาที

3.3.2.3 ระดับกำลังไมโครเวฟภายในเตาอบ 1,700 วัตต์ (ผลจากการทดสอบกำลังไมโครเวฟจากข้อ 1) เวลาการให้ไมโครเวฟ มี 2 ระดับ คือ 1 และ 2 นาที

3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

การศึกษาอิทธิพลของความสูงชั้นยาง อุณหภูมิลมร้อน และเวลาการให้ไมโครเวฟ ที่มีผลต่อการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน มีวิธีการศึกษาดังนี้ (ซึ่งสามารถแสดงแผนผังได้ดังภาพที่ 3.13)

3.4.1 นำยางดิบที่บดย่อยจากโรงงานซึ่งบรรจุในถังพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร มาตัดแบ่งให้ได้ความสูงชั้นยาง 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 เซนติเมตร (มีขนาดน้ำหนัก คือ 1,500 2,500 และ 3,300 กรัม)

3.4.2 ตั้งระดับกำลังที่ชุดควบคุมกำลังของเตาอบไมโครเวฟ 100 เปอร์เซ็นต์ (1,700 วัตต์) ตั้งอุณหภูมิลมเป็น 100 องศาเซลเซียส ตั้งความเร็วลมเป็น 0.5 เมตรต่อวินาที และวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม

3.4.3 ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยางก่อนอบ (ซึ่งในการวัดอุณหภูมิทุกครั้ง จะทำการวัด 3 ตำแหน่งคือ บริเวณที่ห่างจากขอบชิ้นยาง 3 เซนติเมตร ทำมุม 120 องศาในแนวราบกับจุดศูนย์กลางของชิ้นยาง วัดลึกลงไปครึ่งหนึ่งของความสูงชั้นยาง)

3.4.4 นำยางแท่งความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 1,500 กรัม ไปอบโดยมีวิธีการคือ ให้ลมร้อนเป็นเวลา 2 นาที พอครบ 2 นาที เปิดให้ไมโครเวฟ 1 นาที จากนั้นให้ลมร้อนอีก 2 นาที พอครบ 2 นาที เปิดให้ไมโครเวฟอีก 1 นาที ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง

3.4.5 ดำเนินการ เช่นข้อ 4 ไปจนเสร็จสิ้นการทดลอง เมื่อยางมีความชื้นลดลงใกล้เคียง 0.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ทำการทดสอบเป็นจำนวน 3 ซ้ำต่อความสูงชั้นยาง

3.4.6 ทำการทดสอบยางแท่งที่ความสูงชั้นยาง 15 และ 20 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 2,500 และ 3,300 กรัม ดำเนินการเช่นข้อ 4 ไปจนเสร็จสิ้นการทดลอง เมื่อยางมีความชื้นลดลงใกล้เคียง 0.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ทำการทดสอบเป็นจำนวน 3 ซ้ำต่อความสูงชั้นยาง

3.4.7 ยางแท่งที่ผ่านการทดลองแล้ว ถูกนำไปอบเพื่อหามวลแห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง

3.4.8 นำยางแท่งความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 1,500 กรัม ไปดำเนินการ เช่นข้อ 3 จากนั้นนำยางไปอบ โดยมีวิธีการคือ ให้ลมร้อนเป็นเวลา 2 นาที พอครบ 2 นาที เปิดให้ไมโครเวฟ 2 นาที จากนั้นให้ลมร้อนอีก 2 นาที พอครบ 2 นาที เปิดให้ไมโครเวฟอีก 2 นาที ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง

3.4.9 ทำการทดสอบยางแท่งที่ความสูงชั้นยาง 15 และ 20 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 2,500 และ 3,300 กรัม ดำเนินการเช่นข้อ 8 ไปจนเสร็จสิ้นการทดลอง เมื่อยางมีความชื้นลดลงใกล้เคียง 0.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ทำการทดสอบเป็นจำนวน 3 ซ้ำต่อความสูงชั้นยาง จากนั้นดำเนินการเช่นข้อ 7

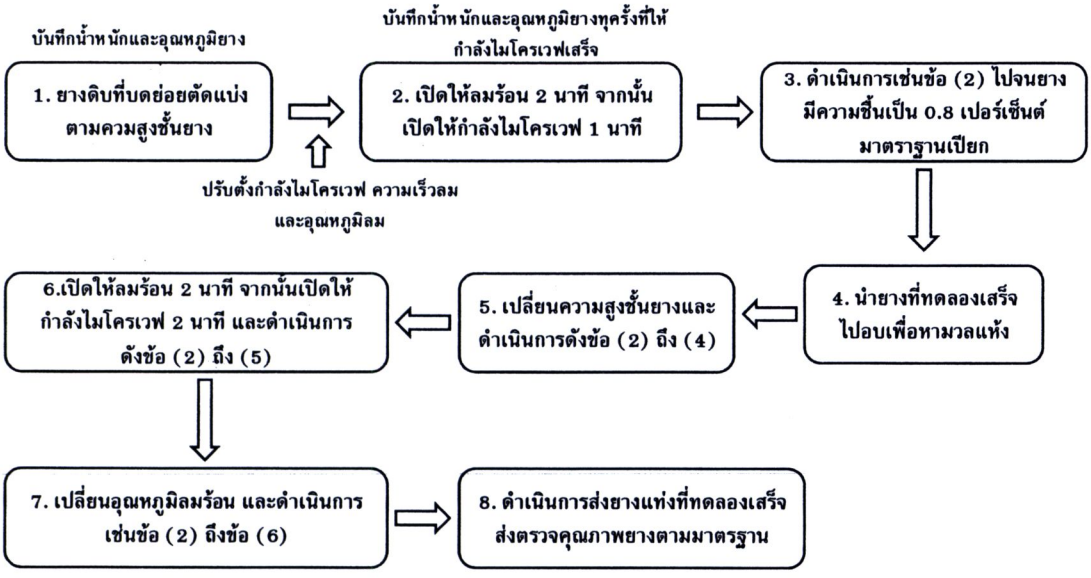
3.4.10 ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิลมร้อนเป็น 110 องศาเซลเซียส ตั้งความเร็วลมเป็น 0.5 เมตรต่อวินาที และวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

3.4.11 นำยางแท่งความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 1,500 กรัม ไปดำเนินการเช่นข้อ 3 จากนั้นนำยางไปอบ โดยมีวิธีการคือ ให้ลมร้อนเป็นเวลา 2 นาที พอครบ 2 นาที เปิดให้ไมโครเวฟ 1 นาที จากนั้นให้ลมร้อนอีก 2 นาที พอครบ 2 นาที เปิดให้ไมโครเวฟอีก 1 นาที ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง

3.4.12 ทำการทดสอบยางแท่งที่ความสูงชั้นยาง 15 และ 20 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 2,500 แล 3,300 กรัม ดำเนินการเช่นข้อ 11 ไปจนเสร็จสิ้นการทดลอง เมื่อยางมีความชื้นลดลงใกล้เคียง 0.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ทำการทดสอบเป็นจำนวน 3 ซ้ำต่อความสูงชั้นยาง จากนั้นดำเนินการเช่นข้อ 7

3.4.13 นำยางแท่งความสูงชั้นยาง 10 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 1,500 กรัม ไปดำเนินการเช่นข้อ 3 อบ จากนั้นนำยางไปอบ โดยมีวิธีการคือ ให้ลมร้อนเป็นเวลา 2 นาที พอครบ 2 นาที เปิดให้ไมโครเวฟ 2 นาที จากนั้นให้ลมร้อนอีก 2 นาที พอครบ 2 นาที เปิดให้ไมโครเวฟอีก 2 นาที ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิยาง

3.4.14 ทำการทดสอบยางแท่งที่ความสูงชั้นยาง 15 และ 20 เซนติเมตร ขนาดน้ำหนัก 2,500 และ 3,300 กรัม ดำเนินการเช่นข้อ 13 ไปจนเสร็จสิ้นการทดลอง เมื่อยางมีความชื้นลดลงใกล้เคียง 0.8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ทำการทดสอบเป็นจำนวน 3 ซ้ำต่อความสูงชั้นยาง จากนั้นดำเนินการ เช่นข้อ 7



ภาพที่ 3.13 แผนผังการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3.5 ค่าชี้ผลของการศึกษา

สำหรับการศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน กำหนดให้ค่าชี้ผลการศึกษา คือ

3.5.1 อุณหภูมิภายในของยาง

3.5.2 ความชื้นที่เปลี่ยนไปของยางแท่ง

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง สำหรับความชื้นที่ใช้ในการบอกค่ามาตรฐานของยางแท่งคือ ความชื้นมาตรฐานเปียกซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (24)

$$M_w = \left(\frac{w - d}{w} \right) \qquad (24)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis), %

เมื่อ w คือ มวลของวัสดุ, g

เมื่อ d คือ มวลวัสดุแห้ง, g

3.5.3 เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

3.5.4 พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ณ ตำแหน่งเวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (25)

$$E = E_m + E_h \quad (25)$$

เมื่อ E คือ พลังงานจำเพาะของไมโครเวฟที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ/kg_{H_2O})

เมื่อ E_m คือ พลังงานจำเพาะของไมโครเวฟที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ/kg_{H_2O}) ดังรายละเอียดของสมการที่ (23)

เมื่อ E_h คือ พลังงานจำเพาะของความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิลม (MJ/kg_{H_2O})

$$E_h = \frac{\dot{m}(h_2 - h_1)t}{1000 m_{evap}} \quad (26)$$

h_1 คือ เอนทัลปีของอากาศก่อนเข้าห้องอุ่นอากาศ (kJ/kg dry air)

h_2 คือ เอนทัลปีของอากาศหลังผ่านห้องอุ่นอากาศ (kJ/kg dry air)

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg dry air/hr)

m_{evap} คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg water evaporated)

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

4. การวิเคราะห์ผลการศึกษาของค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

การวิเคราะห์ผลการศึกษาของการอบแห้งยางแท่ง STR 20 ในส่วนของค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ใช้หลักการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าชี้ผลการศึกษากับปัจจัยที่ศึกษา โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน ใช้ตามแผนการทดสอบคือ factorial experiment in CRD ที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์

5. ประเมินผลคุณภาพยางตามมาตรฐานยางแท่ง STR 20

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ ต้องการตรวจสอบคุณภาพของยางที่ได้จากการศึกษาที่ 2 และ 3 ในหน้าที่ 53 และ 57 ว่ามีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่

5.1 วิธีดำเนินการทดสอบ

การประเมินผลคุณภาพตามมาตรฐานยางแท่ง STR 20 ไม่สามารถที่จะทำการประเมินเองได้ เนื่องจากว่าไม่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคุณภาพยางแท่ง ดังนั้นจึงต้องดำเนินการส่งให้สถาบันวิจัยยาง ส่วนอุตสาหกรรมยาง ซึ่งเป็นหน่วยงานวิจัยและให้บริการสำหรับบุคคลหรือหน่วยงานภายนอกที่ต้องการทดสอบคุณภาพยางแท่ง โดยนำชิ้นยางแท่งจากการศึกษาที่ 2 และ 3 ดังกล่าว รวมจำนวน 45 ตัวอย่างให้ทำการทดสอบคุณภาพมาตรฐานยางแท่ง STR 20 ต่อไป

5.2 ค่าชี้ผลของการศึกษา

การประเมินผลคุณภาพของยางแท่งที่ได้จากการทดสอบ ตามมาตรฐานยางแท่ง STR 20 ซึ่งมีค่ากำหนดที่ชัดเจนไว้แล้ว ดังนั้นค่าชี้ผลของการศึกษานี้ จึงยึดตามค่ากำหนดของมาตรฐานยางแท่ง STR 20 ดังต่อไปนี้ (รายละเอียดและวิธีการทดสอบอยู่ในบทที่ 2 หน้า15)

(1) ปริมาณสิ่งสกปรก
(2) ปริมาณสิ่งระเหย
(3) ปริมาณเถ้า
(4) ปริมาณไนโตรเจน
(5) ความอ่อนตัวเริ่มแรก
(6) ดัชนีความอ่อนตัว
(7) ความหนืด