17513

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ฉนวนความร้อนจากกากสับปะรด

Insulator from Pineapple Fiber

T096489

นางสาวธันยาภรณ์ จันทะเดช
นางสาวศริญญา ช่วงพิมาย

ปพ.
ธส ย8ฉ
2544
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....86489
วัน,เดือน,ปี.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ฉนวนความร้อนจากกากสับปะรด

Insulator from Pineapple Fiber

โดย

นางสาวธันยาภรณ์ จันทะเดช

นางสาวศริญญา ช่วงพิมาย

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 16/3/44 **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(ผ.ศ.ชนิสรา ชีรเมธีโยธิน)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

.....

( )

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธันยาภรณ์ จันทะเดช และศริญญา ช่วงพิมาย . 2544 . ฉนวนความร้อนจากกากสับปะรด (Insulator from Pineapple Fiber) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ

ในโรงงานผลิตสับปะรดบรรจุกระป๋องและน้ำสับปะรดที่บรรจุในภาชนะบรรจุแบบต่างๆ จะมีของเหลือจากกระบวนการผลิตคือ กากสับปะรดซึ่งได้มาจาก เศษเนื้อที่แล่ออกจากเปลือก ตาสับปะรด เนื้อจากการตัดแต่งและแกน ปัจจุบันจะนำกากสับปะรดไปทำการกำจัดหรือใช้ผลิตเป็นอาหารสัตว์

ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ จึงสนใจที่จะนำกากสับปะรดซึ่งจัดเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตสับปะรดบรรจุกระป๋องและน้ำสับปะรดมาทำการแปรรูปเป็นฉนวนความร้อน โดยที่กระบวนการผลิตนั้นสามารถทำได้อย่างง่ายๆ ซึ่งขั้นตอนการทำเริ่มจากการนำกากสับปะรดที่ผ่านการตากแห้งจนมีความชื้นต่ำกว่า 13% มาคลุกผสมกับกาวแป้งเปียก จากนั้นนำไปอัดลงในถาด แล้วนำไปตากให้แห้งโดยการตากแดดเป็นเวลาประมาณ 1 อาทิตย์ ฉนวนที่ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นแข็ง จากนั้นนำไปทำการทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับโฟม โดยออกแบบสร้างกล่องเครื่องมือที่ทำจาก สแตนเลส สตีล (Stainless steel) ซึ่งภายในแบ่งออกเป็น 5 ช่อง ช่องที่ 2และ 4 จะมีโฟมและฉนวนจากกากสับปะรดหนา 2.54 cm อยู่ภายในตามลำดับ การทดสอบประสิทธิภาพทำโดยใส่น้ำแข็งลงไปในช่องกลางของกล่อง ทำการวัดอุณหภูมิทุกๆ1ชั่วโมงแล้วจดบันทึกจนกระทั่งน้ำแข็งละลายหมด จากนั้นนำค่าอุณหภูมิสุดท้ายไปทำการคำนวณหาค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity; K)ของฉนวนจากกากสับปะรด นอกจากนี้ในการทดลองยังได้ศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น,สภาพทนความร้อน,ต้นทุนการผลิตของฉนวนจากกากสับปะรดเพื่อเปรียบเทียบกับโฟมอีกด้วย

จากการทดลองดังข้างต้นพบว่า ที่ความหนาเท่ากันโฟมนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าฉนวนจากกากสับปะรดเล็กน้อย ถ้าเราทำการเพิ่มความหนาของฉนวนจากกากสับปะรดขึ้นอีก0.0724mจะทำให้ประสิทธิภาพเทียบเท่ากับโฟม แต่ฉนวนจากกากสับปะรดนั้นมีข้อได้เปรียบที่เป็นการนำของเสียจากโรงงานมาแปรรูปให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังเป็นฉนวนที่ทำจากกากของเสีย อันเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

ธันยาภรณ์ จันทะเดช ศริญญา ช่วงพิมาย		16/3/44
ลายชื่อนักศึกษา	อาจารย์ที่ปรึกษา	วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ สนธิสุข ธีระชัยชยุติ เป็นอย่างยิ่งที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำต่างๆ จนปัญหาพิเศษนั้นสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับ คุณเต่าหนิงที่อุตสาห์สละเวลาการทำปัญหาพิเศษมาช่วยให้คำปรึกษาในการแก้สมการของการทดลอง และขอขอบคุณ จัน เจ๋ง และหวานที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือวัดค่า K

สุดท้ายนี้กราบขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่กรุณาให้ความสนใจติดตามการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ ทำให้คณะผู้จัดทำมีแรงผลักดันในการทำปัญหาพิเศษ จนทำให้รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ธันยาภรณ์ จันทะเดช

ศริญญา ช่วงพิมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	
2.1 กระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋อง	3
2.2 การถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน	4
2.3 ลักษณะการถ่ายเทความร้อน	6
3. การทดลอง	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	9
3.2 วิธีการทดลอง	10
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	18
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	22
5.2 ข้อเสนอแนะ	23
เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก	
ก. ตารางการหาความชื้นของกากสับปะรด	26
ข. ตารางแสดงคุณสมบัติของโพลีสไตรีนโฟม	31
ค. ปริมาณสำคัญ ในการถ่ายเทความร้อนพร้อมด้วยหน่วย	32
ง. Conversion factor สำหรับเปลี่ยนหน่วยระหว่างหน่วย SI และหน่วยอังกฤษ	33
ประวัติผู้เขียน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	แสดงปริมาณแป้งมันที่ใช้ในแต่ละสูตร	10
2.	แสดงลักษณะของฉนวนจากกากสับปะรดทั้ง 3 สูตร	18
3.	ผลการทดสอบอุณหภูมิใช้งานสูงสุด	19
4.	แสดงคุณสมบัติต่างๆของฉนวนจากกากสับปะรดเปรียบเทียบกับโฟม	23
5.	แสดงผลการหาความชื้นของกากสับปะรด	26
6.	ผลการวัดค่า K จากเครื่องวัดค่าการนำความร้อน	28
7.	แสดงคุณสมบัติของโพลีสไตรีนโฟม	31
8.	ปริมาณสำคัญ ในการถ่ายเทความร้อนพร้อมด้วยหน่วย	32
9.	Conversion factor สำหรับเปลี่ยนหน่วยระหว่างหน่วย SI และหน่วยอังกฤษ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.	แผนภาพแสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ	3
2.	แสดงการไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน	5
3.	แสดงผนังระนาบที่มีการถ่ายเทความร้อน	7
4.	ค่าความต้านทานความร้อน	8
5.	แสดงขั้นตอนการผลิตฉนวนจากกากสับปะรด	10
6.	กล่องเครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพ	11
7.	วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของฉนวนจากกากสับปะรดเปรียบเทียบกับโฟม	12
8.	แสดงพื้นที่การถ่ายเทความร้อนทั้ง 6 ด้าน	13
9.	แผนภูมิแสดงวิธีการหาอุณหภูมิใช้งานสูงสุด	16
10.	แผนภูมิแสดงวิธีการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น	17
11.	แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของฉนวนจากกากสับปะรดเทียบกับโฟม	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำสับปะรดโดยปรกติจะใช้วัตถุดิบที่เป็นส่วนของเนื้อสับปะรดที่เหลือใช้จากการนำเนื้อสับปะรดไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แบบต่างๆ โดยส่วนเนื้อที่เหลือจะถูกนำไปผ่านกระบวนการกดอัดด้วยเครื่องจักรเพื่อทำการคั้นน้ำสับปะรด ซึ่งส่วนของกากสับปะรดที่ผ่านการคั้นน้ำออกไปแล้วนี้ถือได้ว่าเป็นของเสีย(waste)ของโรงงาน ดังนั้นการนำของเสียนี้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นจะสามารถสร้างมูลค่า และประโยชน์ให้กับโรงงานและผู้บริโภคไปพร้อมๆกันกล่าวคือ ทางโรงงานสามารถที่จะกำจัดของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากสับปะรดอีกทั้งยังช่วยลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย นอกจากนั้นแล้วยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียที่ทางโรงงานไม่ต้องการ สำหรับผู้บริโภคนั้นจะมีทางเลือกในการเลือกใช้ฉนวนความร้อนจากกากสับปะรด ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการทำฉนวนความร้อนจากกากสับปะรด ประสิทธิภาพ และต้นทุนของการทำด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำกากสับปะรดมาแปรรูปเป็นฉนวนความร้อน
2. เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่กากสับปะรด ซึ่งเป็นของเสียจากโรงงานผลิตน้ำสับปะรด
3. ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียของโรงงาน รวมทั้งเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อม
4. ศึกษาประสิทธิภาพและต้นทุนการผลิตของฉนวนความร้อนจากกากสับปะรดเปรียบเทียบกับฉนวนโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

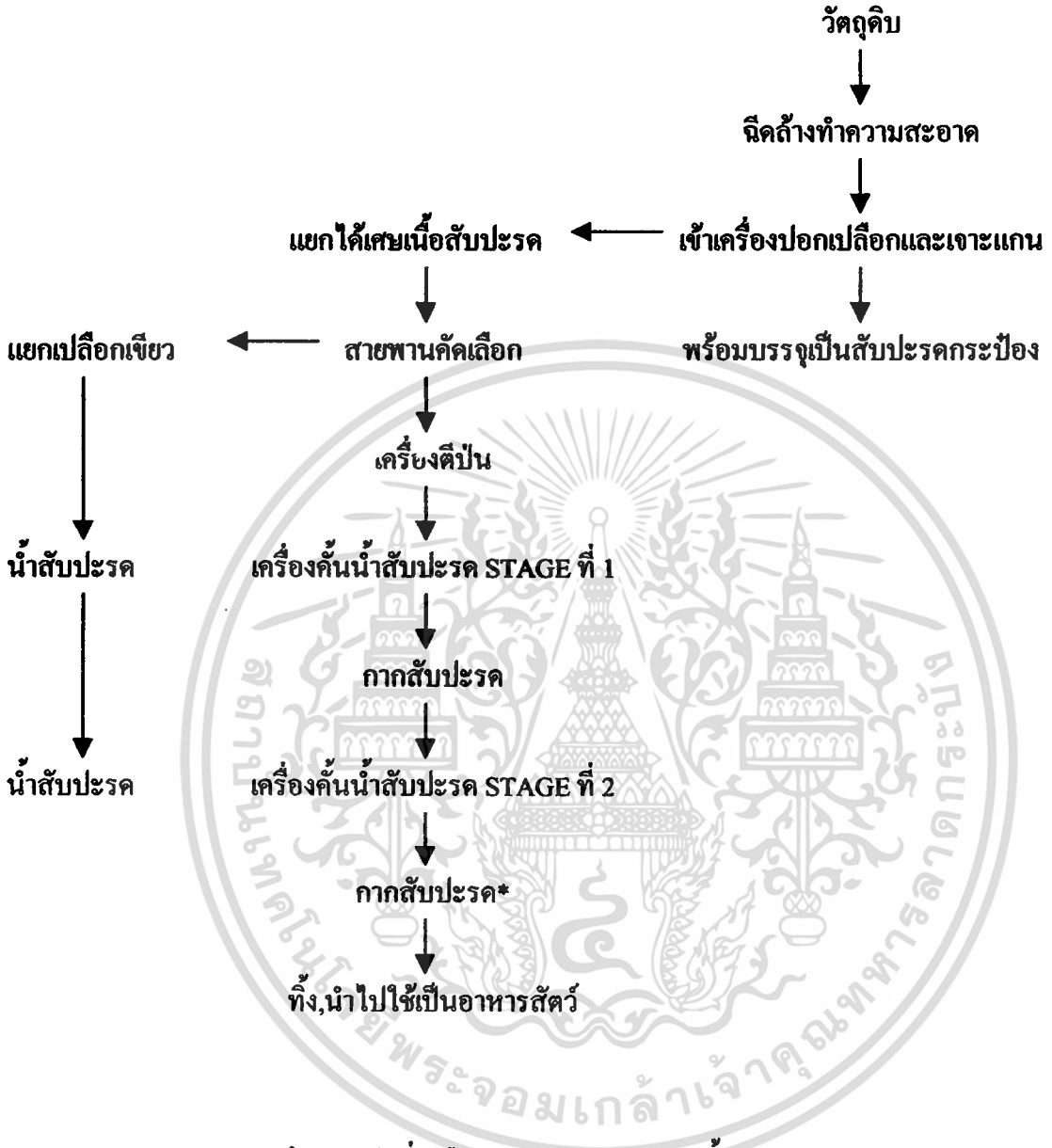
บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

สับปะรด (pineapple) จัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Annascommosus (L.) Merr. จัดอยู่ในตระกูล Bromeliaceae จำพวกไม้ดิน(Terrestrial) มีระบบรากอาหารอยู่ในดินและยังมีลักษณะของไม้อากาศบางอย่าง คือสามารถเก็บน้ำเอาไว้ตามซอกใบได้เล็กน้อย และมีเซลล์พิเศษสำหรับเก็บน้ำเอาไว้ในใบทำให้ทนทานต่อช่วงแห้งแล้งได้ดี ขนาดของต้นแตกต่างกันออกไป จาก 1 นิ้วจนถึง 35 ฟุตหรือมากกว่า การเติบโตอาจเป็นต้นเดี่ยว เป็นพุ่ม เป็นกอ หรือปกคลุมแผ่ครอบคลุมพื้นที่หลายๆไร่

ในโรงงานผลิตสับปะรดบรรจุกระป๋องจะเริ่มกระบวนการผลิตตั้งแต่ ผลสับปะรดที่เก็บจากแปลงจะถูกตัดเอาจุกและก้านผลออก นำมาคัดขนาดและส่งผ่านสายพานซึ่งจะพาสับปะรดขึ้นไปทำความสะอาดโดยการฉีดน้ำร้อนเพื่อชะล้างฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆออกจากผล การคัดจะแบ่งออกเป็น 4 ขนาดคือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 , 5.5 , 6.5 และใหญ่กว่า 6.5 นิ้ว จากนั้นสับปะรดจะถูกส่งเข้าเครื่องปอกเปลือกและกระทุ้งแกน (Ginaca) สับปะรดจะถูกปอกเปลือกนอกออก 2 ครั้งจนเหลือเนื้อที่มีลักษณะกลวง ซึ่งจะถูกส่งผ่านเข้าไปในเครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อนำไปแปรรูปเป็นสับปะรดบรรจุกระป๋องแบบต่างๆต่อไป ส่วนเนื้อเยื่อชั้นที่ติดเปลือกซึ่งจัดเป็นเนื้อเยื่อที่มีคุณภาพดีที่สุดของผลสับปะรด จะถูกนำไปทำผลิตภัณฑ์สับปะรดตีป่นบรรจุกระป๋องในรูปแบบต่างๆ ส่วนโคน หัว แกน และส่วนเนื้อติดเปลือกชั้นนอกของผลจะถูกนำไปบีบอัดเพื่อทำน้ำสับปะรดบรรจุในภาชนะต่างๆ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการจะมีของเสียที่เหลือจากการบีบอัดทำน้ำสับปะรด คือ กากสับปะรดที่มีเศษ เปลือก ตา ก้านผล และส่วนจุก ซึ่งของเสียบางชนิดสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ในปัจจุบันจะนำของเหลือเหล่านี้ไปทำการกำจัด ทิ้ง หรือนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ โดยกากสับปะรดที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำสับปะรดของโรงงาน จะมีปริมาณร้อยละ 14 ของของเหลือทิ้งทั้งหมด หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 7 ของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าโรงงานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋อง



หมายเหตุ : กากสับปะรด* หมายถึง ของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำสับปะรด

ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดในบรรจุภัณฑ์แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ สนใจที่จะนำของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำสับปะรด นั้นคือกากสับปะรดมาใช้ให้เป็นประโยชน์ โดยการนำกากสับปะรดมาทำการแปรรูปเป็นฉนวนความร้อน โดยนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ของเหลือทิ้ง ยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่ผู้ผลิต และลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โดยฉนวนความร้อนจากกากสับปะรดนี้จัดเป็นฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulosic Fiber) ชนิดหนึ่ง

ฉนวนใยเซลลูโลส (Celluosic Fiber)

ฉนวนใยเซลลูโลส ผลิตขึ้นมาจากการนำไม้หรือกระดาษ,วัสดุจากธรรมชาติ ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ หรือรีไซเคิล (Recycle) ด้วยการแผ่และดึงให้กระจายออกทำการย่อยละเอียดจนเป็นปุย จากนั้นทำการประสานกันด้วยกรดบอแรกซ์ หรือกาวอื่นๆ ฉนวนชนิดนี้นับเป็นฉนวนที่มีคุณสมบัติทางความร้อนดี ราคาถูก และผลิตด้วยกรรมวิธีง่าย จึงเป็นฉนวนที่ได้รับความนิยมชนิดหนึ่ง

ในปัญหาพิเศษครั้งนี้ เมื่อทำการผลิตฉนวนจากกากสับปะรดแล้ว จะนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับโฟมชนิดโพลีสไตรีน(Polystyrene Foam)

ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม (Polystyrene Foam)

ฉนวนโพลีสไตรีนผลิตขึ้นมาใน 2 รูปแบบคือ แบบโฟมอัดรีด (Extruede) และแบบโฟมหล่อ (Molded) โฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการการอัดรีด จะมีความหนาแน่นบรรจุมากกว่า และสามารถทนแรงกดและแรงดึงได้มากกว่าโฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการการหล่อ ความหนาแน่นของโฟมแบบอัดรีด โดยปกติอยู่ในช่วง 28.84 – 41.65 Kg/m^3 มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.017 W/m.k อย่างไรก็ตามถ้ามีอากาศแพร่กระจายในโฟมจะทำให้ค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 0.029 W/m.k แต่ปกติก็ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ในการใช้วัสดุนี้ ส่วนการดูดซึมน้ำจะอยู่ในช่วง 0.5 – 0.7 เปอร์เซ็นต์

สำหรับโพลีสไตรีนโฟมแบบโฟมหล่อมีความหนาแน่นในช่วง 16.0 – 24 Kg/m^3 และเนื่องจากผลของกระบวนการแบบหล่อ ความหนาแน่นที่ได้อาจมีการเบี่ยงเบนจากค่าความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าการนำความร้อนของวัสดุชนิดนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนาแน่น และโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 0.033 – 0.037 W/m.k

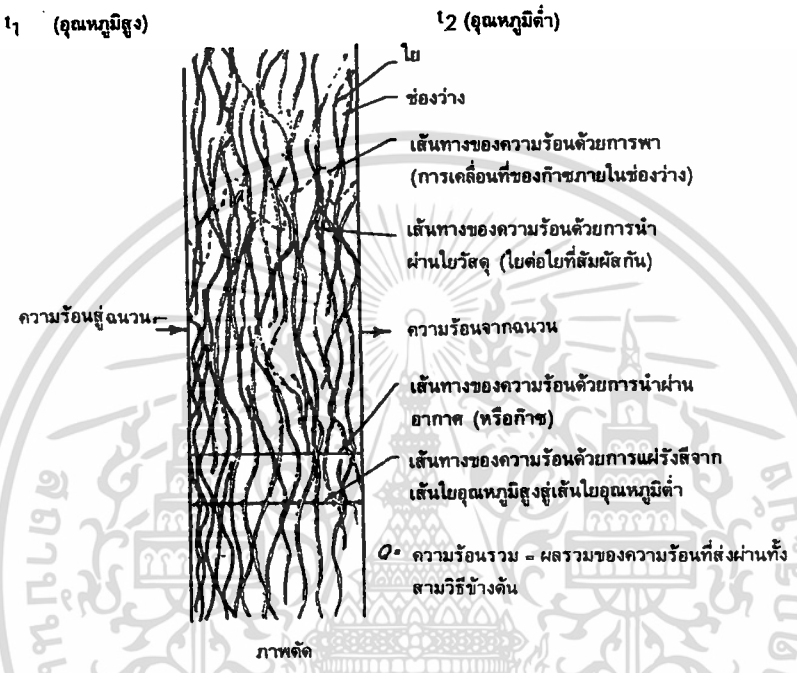
การถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน

จุดมุ่งหมายในการติดตั้งฉนวนกันความร้อน คือต้องการเก็บรักษาพลังงานไม่ให้มีการถ่ายเทออกไป หรือเข้ามาภายในบริเวณที่ต้องการ นั่นคือฉนวนความร้อนต้องยับยั้งหรือขัดขวางการถ่ายเทความร้อนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนสามารถเกิดขึ้นทั้งสามรูปแบบ ถึงแม้ว่าโดยปกติมักจะพิจารณาว่าฉนวนโดยส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างเป็นของแข็ง และคาดว่าฉนวนจะถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน และดังนั้นกำหนดคุณสมบัติของฉนวนด้วยสภาพนำความร้อน ซึ่งในความเป็นจริง กลไกการถ่ายเทความร้อนในฉนวนไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะการนำความร้อนเท่านั้น การพาความร้อนและการแผ่รังสีก็เกิดขึ้นด้วย ฉะนั้นจึงมักใช้คำว่า"สภาพนำความร้อนปรากฏ"(Apparent Thermal Conductivity) แทน

หากพิจารณาพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสภาพแวดล้อมอันหนึ่ง ถูกนำมาวางไว้กลางแจ้งการสูญเสียพลังงานจะเกิดขึ้นทั้งสามรูปแบบของการถ่ายเทความร้อน แต่ถ้านำแผ่นกั้นชนิดหนึ่งมาวางไว้ใกล้ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันกับพื้นที่ผิวร้อน แผ่นกั้นเหล่านี้จะทำให้เกิดเป็นช่องเล็กๆขึ้น ซึ่งจะทำให้ทั้งการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนถูกขัดขวาง ฉะนั้นหากจัดกระจายแผ่นกั้นอย่างเหมาะสม การสูญเสียความร้อนจากพื้นผิวร้อนจะลดลงถึงจุดซึ่งมีผลเกือบจะเท่ากับการนำความร้อนสุทธิผ่านช่องอากาศนิ่งอย่างสมบูรณ์ (อากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว หรือเป็นฉนวนที่ดี) ซึ่งทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยลงกว่าเดิมมาก และจากสภาพนิ่งจะทำให้การพาความร้อนไม่เกิดขึ้นด้วย



ภาพที่ 2 แสดงการไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน

ที่มา : ตระการ , 2537

พิจารณากลไกการถ่ายเทความร้อนภายในฉนวนตามภาพที่ 2 จากรูปผิวทางด้านซ้ายมือของฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวทางด้านขวามือ ฉะนั้นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีความร้อนไหลจากผิวทางด้านขวามือไปทางซ้ายมือ ซึ่งความร้อนที่ไหลผ่านฉนวนที่บรรจุเต็มไปด้วยช่องอากาศหรือก๊าซจากการฟอร์มตัวขึ้นตามสภาพเส้นใย หรือเซลล์ของวัสดุฉนวนจะมีอัตราการไหลที่ช้าลง โดยช่องอากาศหรือก๊าซเหล่านี้หากมีขนาดที่เล็กอย่างพอเหมาะจะทำให้การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาจากด้านหนึ่งของเซลล์สู่อีกด้านหนึ่งมีปริมาณน้อยลง และทำให้เส้นทางการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำผ่านส่วนที่เป็นของแข็งต้องเป็นเส้นทางที่ยาวและคดเคี้ยวเพื่อจำกัดการนำความร้อน และวัสดุส่วนที่เป็นของแข็งควรต้องเป็นวัสดุทึบอย่างเพียงพอด้วย (หรือมีผิวสะท้อนรังสี) เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการถ่ายเทความร้อน

- การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อนคือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกัน แต่มีอุณหภูมิต่างกัน ในการนำความร้อน ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสาร โดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในบริเวณที่เป็นของแข็งและเกิดขึ้นบ้างในของเหลวและก๊าซ การนำความร้อนมักจะไม่แยกออกจากการพาความร้อน

หลักการคำนวณเกี่ยวกับการนำความร้อนถูกตั้งขึ้นโดย โจเซฟ โฟริเออร์ (Joseph Fourier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส โฟริเออร์ได้เสนอสมการที่ใช้สำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำ ในปีค.ศ. 1822 โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองไว้ดังนี้

$$Q = -KA (dT / dx)$$

โดยที่ K คือค่าการนำความร้อน(Thermal Conductivity) ของสาร ที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน มีหน่วยเป็น W/m.k ในระบบ SI และ Btu/ft hr °F ในระบบอังกฤษ

A คือพื้นที่ที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน

dT / dx เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทาง

- การถ่ายเทความร้อนแบบพา (Convection)

การพาความร้อนคือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้น เกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของของไหล การพายังแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ การพาโดยการบังคับ (Forced Convection) และการพาตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free Convection)

การพาโดยการบังคับ คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งกับของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม หรือ เครื่องสูบน้ำ

การพาตามธรรมชาติ คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกใดๆที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่ใกล้กับผิวของของแข็งก็อาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก เมื่อพิจารณาแล้วมีหลายสิ่งหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบพานี้ เป็นต้นว่า คุณสมบัติต่างๆของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ฯลฯ ความเร็วของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของของแข็งและของไหล เป็นต้น นิวตัน (Newton) ได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้โดยเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = hA(T_h - T_c)$$

โดยที่ ค่า h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบพา (Heat Transfer Coefficient) ซึ่งได้รวมเอาความยุ่งยากทั้งหมดไว้ h มีหน่วยเป็น W/m^2k ในระบบ SI และ $Btu/ft^2\ hr\ ^\circ F$ในระบบอังกฤษ

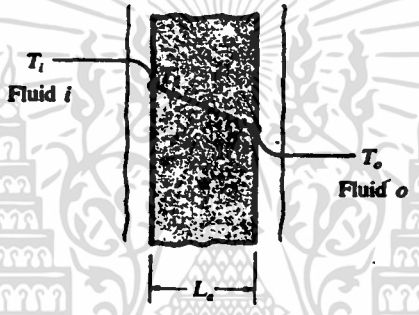
A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน

T_h = อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง)

T_c = อุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหล หรือพื้นผิวของของแข็ง)

<u>สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม</u> (Overall Heat-transfer Coefficient)

โดยทั่วไปการถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นทั้งในลักษณะการนำและการพาความร้อน ดังนั้นจึงแทนค่า h ในรูปสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U



ภาพที่ 3 แสดงผนังระนาบที่มีการถ่ายเทความร้อน

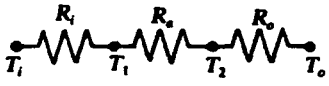
ที่มา : นักสิทธิ์ 2537

จากภาพที่ 3 เป็นผนังระนาบสม่ำเสมอ ทำด้วยวัสดุที่มีเนื้อเดียวกันa มีค่าการนำความร้อนคงที่ และสัมผัสกับของไหล I ที่อุณหภูมิ T_I ที่ด้านๆหนึ่ง และของไหล O ที่อุณหภูมิ T_o บนอีกด้านหนึ่ง จะสามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จากสมการ

$$Q = (T_I - T_1) / (1 / h_I A) = (T_2 - T_o) / (1 / h_o A)$$

เพื่อแสดงการยืนยันว่า ระบบมีความคล้ายคลึงกับวงจรไฟฟ้า ดังนั้นค่า1/h สามารถนำมาใช้แทนค่าความต้านทานความร้อนที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขขอบเขตของการพาความร้อนและการเปรียบเทียบทางไฟฟ้าที่ใช้กับปัญหานี้ คือ ค่าความต้านทานจำนวน 3 ค่า ที่ต่อเป็นอนุกรมกัน ดังภาพที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 ค่าความต้านทานความร้อน

ที่มา : นักสิทธิ์ 2537

ดังนั้นค่า $R_a = L_a / K_aA$ คือ ค่าความต้านทานของการนำ ขึ้นอยู่กับวัสดุ a ที่มีเนื้อเดียวกัน การไหลของความร้อนด้วยวิธีการนำภายในของแข็ง จะมีค่าที่แน่นอน เท่ากับค่าความร้อนที่ไหลโดยการพา ณ ที่บริเวณขอบเขต จะหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จาก

$$Q/A = \frac{T_i - T_o}{1/h_i + L_a/K_a + 1/h_o} = \frac{(\Delta T)_{overall}}{A\sum R_{th}}$$

และหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U โดย

$$U = 1/A\sum R_{th}$$

$$= \frac{1}{1/h_i + L_a/K_a + 1/h_o}$$

และสำหรับผนังหลายชั้น ประกอบด้วยชั้นต่างๆ คือ a,b ค่า U จะหาได้จาก

$$U = \frac{1}{1/h_i + L_a/K_a + L_b/K_b + \ldots\ldots + 1/h_o}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การทดลอง

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 เครื่อง Blender

3.1.2 Hot Air Oven

3.1.3 ถาดสแตนเลส

3.1.4 เครื่องแก้ว

3.1.5 หม้อสแตนเลส

3.1.6 ไม้พาย

3.1.7 กะทะไฟฟ้า

3.1.8 Aluminium can

3.1.9 Tong

3.2 วัตถุดิบและสารเคมี

3.2.1 กากสับปะรด

3.2.2 แป้งมันสำปะหลัง

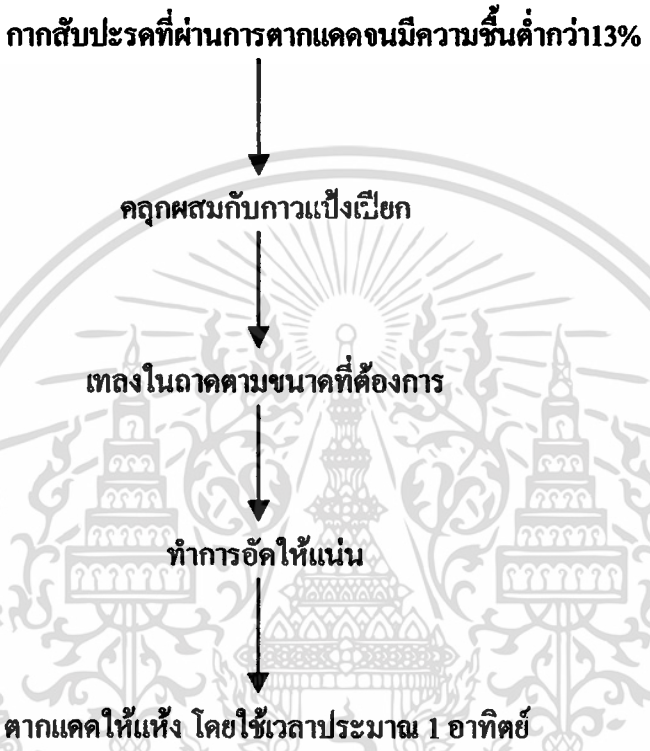
3.2.3 น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมกากสับปะรดเพื่อใช้ในการทำฉนวน โดยกากสับปะรดที่จะนำมาทำฉนวนควรมีความชื้นไม่เกิน13% ดังนั้นในการทดลองจึงนำกากสับปะรดไปตากแดดแล้วทำการวัดความชื้น (AOAC , 1995)ทุกวัน จนกว่ากากสับปะรดจะมีความชื้นต่ำกว่า13%

3.3.2 การทดลองผลิตฉนวนจากกากสับปะรด



ภาพที่ 5 แสดงขั้นตอนการผลิตฉนวนจากกากสับปะรด

3.3.3 การทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตฉนวนจากกากสับปะรด โดยจะทำการแบ่งสูตรการทดลองออกเป็น 3 สูตร เพื่อหาปริมาณแป้งมันที่น้อยที่สุดที่จะทำให้กากสับปะรดผสานกันเป็นฉนวน เหตุที่ต้องหาปริมาณแป้งมันเนื่องจากแป้งมันเป็นวัตถุดิบที่มีราคาสูงที่สุดในส่วนผสม

ส่วนผสม (g)	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
กากสับปะรด	800	800	800
แป้งมัน	150	220	300
น้ำ	1600	1600	1600

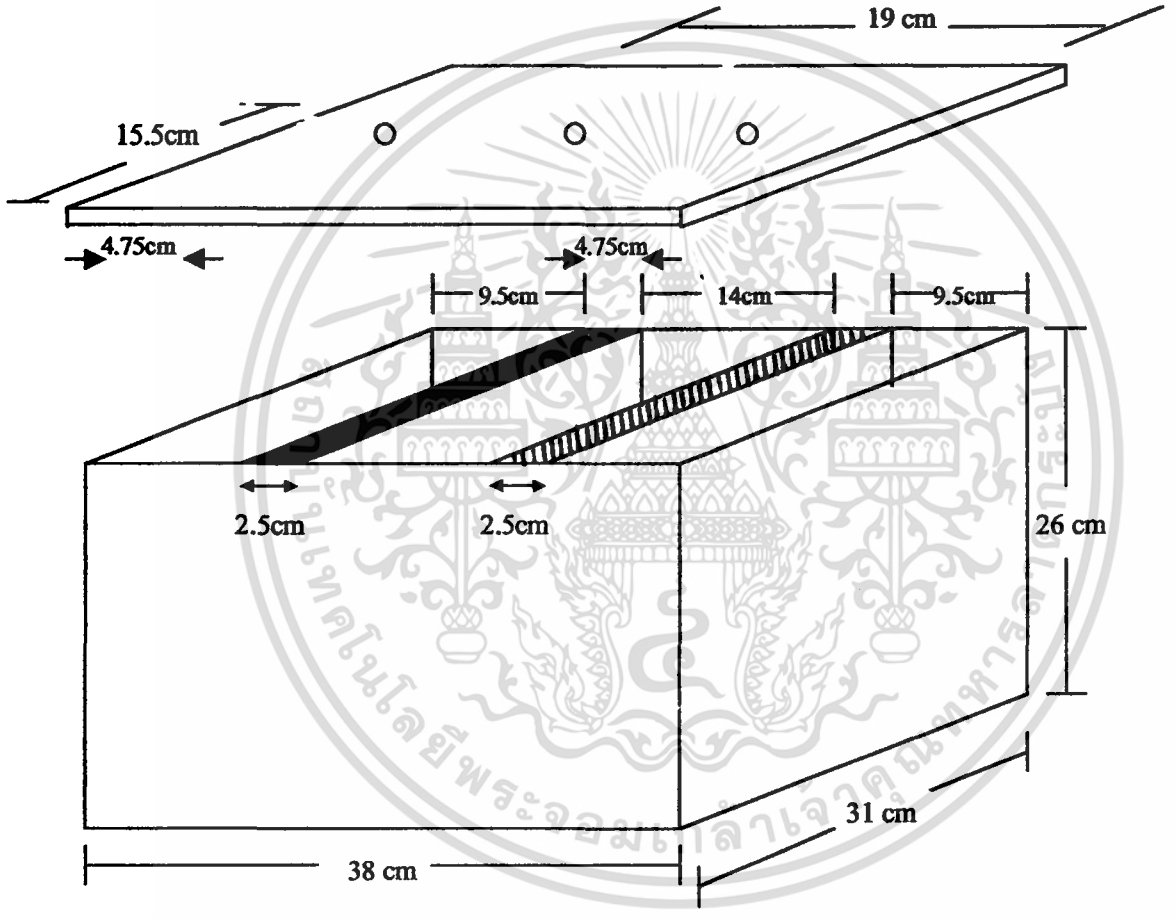
ตารางที่ 1 แสดงปริมาณแป้งมันที่ใช้ในแต่ละสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดลองทดสอบประสิทธิภาพของฉนวนจากกากสับปะรดเปรียบเทียบกับโฟม

3.3.4.1 แบบทดสอบ Model ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพ จะมี Model ที่ใช้ทดสอบซึ่งเป็นกล่องที่ทำจาก สแตนเลส สตีล (Stainless Steel) ขนาด 31x38x26 cm ภายในกล่องจะเครื่องมือนั้นจะแบ่งออกเป็น 5 ช่อง โดยช่องที่ 2 และ 4 จะมีโฟมและฉนวนจากกากสับปะรดที่มีความหนาเท่ากันอยู่ภายในตามลำดับ และบนฝาของกล่องทำการเจาะรู สำหรับเสียบเทอร์โมมิเตอร์ลงไปเพื่อวัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 6 กล่องเครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

หมายเหตุ ■ = ฉนวนความร้อนจากกากสับปะรด

▨ = โฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

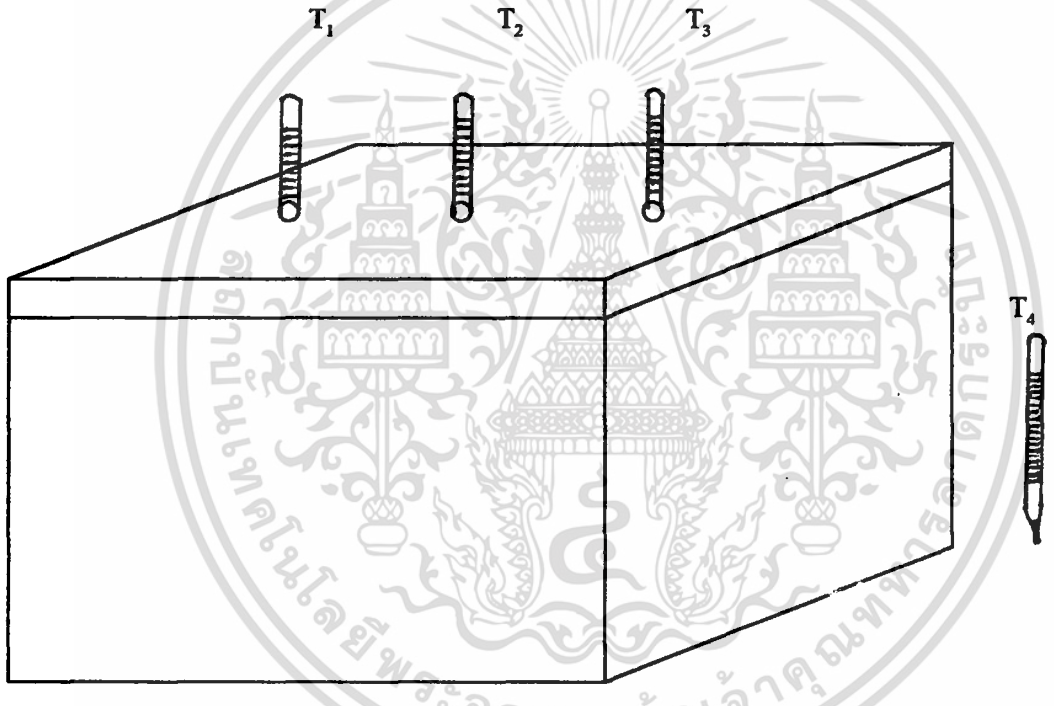
1. ชั่งน้ำหนักน้ำแข็งแล้วนำไปใส่ในช่องกลางของกล่องให้เต็ม (อัดแน่นให้เหลือช่องว่างน้อยที่สุด)

2. ทำการวัดอุณหภูมิในช่องทั้ง 3 ของกล่องและอุณหภูมิห้อง แล้วทำการจดบันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมง

3. ทำการวัดอุณหภูมิจนกระทั่งน้ำแข็งละลาย

4. นำค่าที่จดบันทึกไปเขียนกราฟ เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างฉนวนจากกากสับปะรดและโฟม

5. นำค่าอุณหภูมิสุดท้ายและน้ำหนักน้ำแข็งไปทำการคำนวณเพื่อหาค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity ; K) ของฉนวนจากกากสับปะรด



ภาพที่ 7 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของฉนวนจากกากสับปะรดเปรียบเทียบกับโฟม

หมายเหตุ T_1 = อุณหภูมิในช่องที่ความเย็นผ่านฉนวนจากกากสับปะรด (c°)

T_2 = อุณหภูมิในช่องที่ใส่น้ำแข็ง (c°)

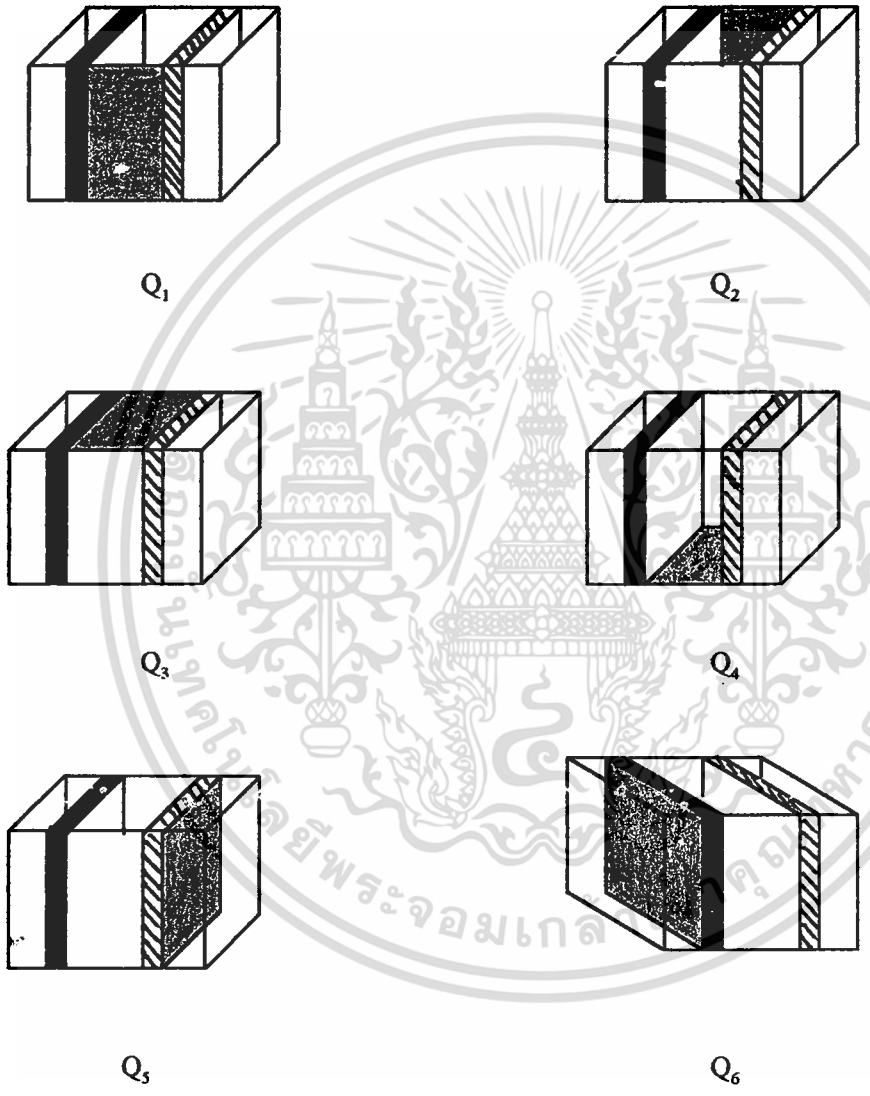
T_3 = อุณหภูมิในช่องที่ความเย็นผ่านโฟม (c°)

T_4 = อุณหภูมิห้อง (c°)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การคำนวณค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity; K) ของฉนวนจากกากสับปะรด
ขั้นตอนการคำนวณมีดังนี้

1. พิจารณาที่ช่องกลางสำหรับใส่น้ำแข็ง จะมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด 6 ด้าน โดยในการทดลอง จะอัดน้ำแข็งลงไปให้แน่นให้มีช่องว่างน้อยที่สุด แล้ว กำหนดให้อุณหภูมิผิวด้านในของสแตนเลส สตีล (Stainless steel) มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของน้ำแข็ง



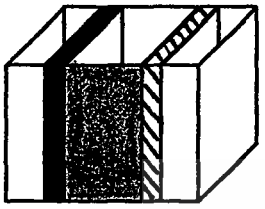
ภาพที่ 8 แสดงพื้นที่การถ่ายเทความร้อนทั้ง 6 ด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้ง 6 ด้านได้จากสมการ $Q_i = UA(\Delta T)$

โดย $1/U = (X_i/K_i) + 1/h$

2.1 ผนังด้านหน้า กำหนดให้เป็น Q_1



$Q_1 = UA(\Delta T)$

$1/U = (X_s/K_s) + (1/h)$

โดย A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน = $0.0364\ m^2$

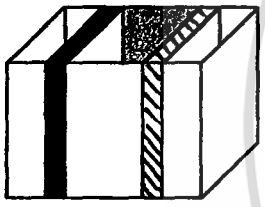
X_s = ความหนาของสแตนเลส สตีล = $3.1x10^{-5}$ m

K_s = ค่าการนำความร้อนสแตนเลส สตีล = 15.1 W/m.k

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศนิ่ง=9.37 $W/m^2.k$

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ = 30°c

2.2 ผนังด้านหลัง กำหนดให้เป็น Q_2



$Q_2 = UA(\Delta T)$

$1/U = (X_s/K_s) + (1/h)$

โดย A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน = $0.0364\ m^2$

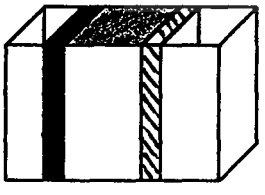
X_s = ความหนาของสแตนเลส สตีล = $3.1x10^{-5}$ m

K_s = ค่าการนำความร้อนสแตนเลส สตีล = 15.1 W/m.k

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศนิ่ง= 9.37 $W/m^2.k$

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ = 30°c

2.3 ผนังด้านบน กำหนดให้เป็น Q_3



$Q_3 = UA(\Delta T)$

$1/U = (X_s/K_s) + (1/h)$

โดย A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน = $0.434\ m^2$

X_s = ความหนาของสแตนเลส สตีล = $3.1x10^{-5}$ m

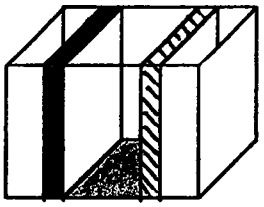
K_s = ค่าการนำความร้อนสแตนเลส สตีล = 15.1 W/m.k

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศนิ่ง = 9.37 $W/m^2.k$

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ = 30°c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผนังด้านล่าง กำหนดให้เป็น Q_4



$$Q_4 = UA(\Delta T)$$

$$1/U = (X_s/K_s) + (1/h)$$

โดย A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน = 0.434 m^2

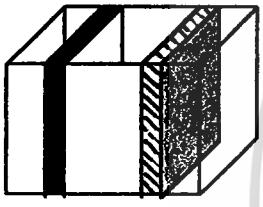
X_s = ความหนาของสแตนเลส สตีล = 3.1×10^{-5} m

K_s = ค่าการนำความร้อนสแตนเลส สตีล = 15.1 W/m.k

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศนิ่ง= 9.37 $W/m^2.k$

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ = 30°c

2.5 ผนังด้านที่ความเย็นแพร่ผ่านโฟม กำหนดให้เป็น Q_5



$$Q_5 = UA(\Delta T)$$

$$1/U = (X_s/K_s) + (X_f/K_f) + (X_s/K_s) + (1/h)$$

โดย A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน = 0.0806 m^2

X_s = ความหนาของสแตนเลส สตีล = 3.1×10^{-5} m

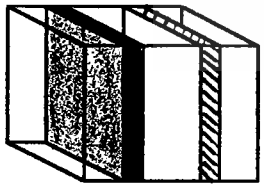
K_s = ค่าการนำความร้อนสแตนเลส สตีล = 15.1 W/m.k

X_f = ความหนาของโฟม = 0.0254 m

K_f = ค่าการนำความร้อนของโฟม = 0.029 W/m.k

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศนิ่ง = 9.37 $W/m^2.k$

2.6 ผนังด้านที่ความเย็นแพร่ผ่านฉนวนจากกากสับปะรด กำหนดให้เป็น Q_6



$$Q_5 = UA(\Delta T)$$

$$1/U = (X_s/K_s) + (X_n/K_n) + (X_s/K_s) + (1/h) _____ ①$$

โดย A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน = 0.0806 m^2

X_s = ความหนาของสแตนเลส สตีล = 3.1×10^{-5} m

K_s = ค่าการนำความร้อนสแตนเลส สตีล = 15.1 W/m.k

X_n = ความหนาของฉนวนจากกากสับปะรด = 0.0254 m

K_n = ค่าการนำความร้อนของฉนวนจากกากสับปะรด = ไม่ทราบค่า

จากสมการหา 1/U จะไม่สามารถแก้ได้ เนื่องจากไม่ทราบ K_n จึงติดไว้เป็นสมการที่ ①

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งละลาย กำหนดให้เป็น Q_I หาได้จากสมการ

$$Q_I = m\lambda$$

โดย m = น้ำหนักของน้ำแข็ง = 8 Kg

λ = ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง (Latent Heat of Fusion) = 336×10^3 J / Kg

4. นำ $\sum Q_i = Q_I$ นั่นคือ $Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5+Q_6 = Q_I$

โดย $Q_6 = UA(\Delta T)$

$$1/U = (X_s/K_s)+(X_n/K_n)+(X_s/K_s)+(1/h)$$

โดยจากสมการ 1/U นี้ ทราบตัวแปรทุกตัว ยกเว้น K_n ดังนั้นจึงสามารถแก้สมการหาค่า K_n ได้

3.3.6 นำค่า K ของฉนวนจากกากสับปะรดที่คำนวณได้ ไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนของอาหาร (Food Thermal Conductivity Device)

เป็นการวัดความถูกต้องของค่า K ของฉนวนจากกากสับปะรดที่ได้จากการคำนวณ

3.3.7 การทดลองหาคุณสมบัติต่างๆของฉนวนจากกากสับปะรด โดยนำคุณสมบัติที่เราทำการทดลองไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของโฟม

3.3.6.1 ความหนาแน่น

$$\text{ความหนาแน่นของฉนวนจากกากสับปะรด } (Kg/m^3) = \frac{\text{น้ำหนักของฉนวนจากกากสับปะรด}}{\text{ปริมาตรของฉนวนจากกากสับปะรด}}$$

3.3.6.2 อุณหภูมิการใช้งานสูงสุด การหาอุณหภูมิการใช้งานสูงสุดสามารถทำได้ดังนี้

นำแผ่นฉนวนวางลงบน hot plate ที่ 25,50,75 °c ตามลำดับ

↓

สังเกตลักษณะของฉนวนแล้วจดบันทึก

ภาพที่ 9 แผนภูมิแสดงวิธีการหาอุณหภูมิใช้งานสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6.3 ความชื้น

การหาความชื้นของฉนวนจากกากสับปะรด โดยทำตามวิธี AOAC ดังนี้

นำฉนวนจากกากสับปะรดมาบดอย่างหยาบ

↓

อบ Aluminum can และฝา

↓

ชั่งน้ำหนัก

↓

ใส่ฉนวน 2-5 กรัม ปิดฝาและนำไปชั่งน้ำหนัก

↓

นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

↓

ใส่ใน desicator ประมาณ 30 นาที

↓

ชั่งน้ำหนัก

↓

คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ภาพที่ 10 แผนภูมิแสดงวิธีการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

การคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$$

3.3.6.4 ต้นทุนการผลิต โดยฉนวนจากกากสับปะรดมีต้นทุนการผลิตดังนี้

- แป้งมัน ที่ใช้ทำกาวแป้งเปียก
- ค่าไฟฟ้า ที่ใช้ในการกวนกาวแป้งเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96489

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตฉนวนจากกากสับปะรด

สูตร	ลักษณะ
1	กากสับปะรดไม่เกาะตัว เมื่อนำไปตากแดดฉนวนจะเกิดรอยร้าว
2	กากสับปะรดเกาะตัวกันดี ฉนวนไม่เกิดรอยร้าวหลังจากการตาก
3	กากสับปะรดเกาะตัวกันดี ฉนวนไม่เกิดรอยร้าวหลังจากการตาก

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะของฉนวนจากกากสับปะรดทั้ง 3 สูตร

4.2 ผลการทดลองทดสอบประสิทธิภาพของฉนวนจากกากสับปะรดเปรียบเทียบกับโฟม

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 11 ในหน้าที่ 21

4.3 ผลการคำนวณค่าการนำความร้อนของฉนวนจากกากสับปะรด

4.3.1 ผนังด้านหน้า Q_1 มีค่าเท่ากับ 10.20 W

4.3.2 ผนังด้านหลัง Q_2 มีค่าเท่ากับ 10.20 W

4.3.3 ผนังด้านบน Q_3 มีค่าเท่ากับ 12.17 W

4.3.4 ผนังด้านล่าง Q_4 มีค่าเท่ากับ 12.17 W

4.3.5 ผนังด้านที่ความเย็นแพร่ผ่านโฟม Q_5 มีค่าเท่ากับ 1.97 W

4.3.6 ความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งละลาย $Q_L = m\lambda$ มีค่าเท่ากับ 53.33 W

4.3.7 แก้สมการหาผนังด้านที่ความเย็นแพร่ผ่านฉนวนจากกากสับปะรด Q_6 มีค่าเท่ากับ 6.62 W

4.3.8 แก้สมการหาค่าการนำความร้อนของฉนวนจากกากสับปะรด (K) มีค่าเท่ากับ0.14 W/m.k

* โดยวิธีการคำนวณค่าต่างๆอยู่ในภาคผนวก ก.

4.4 ผลการนำค่า K ของฉนวนจากกากสับปะรดที่คำนวณได้ ไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนของอาหาร (Food Thermal Conductivity Device)

ค่า K ของฉนวนจากกากสับปะรดจากการคำนวณ = 0.14 W /m.k

ค่า K ของฉนวนจากกากสับปะรดที่วัดจากเครื่องมือ = 0.052 W /m.k

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าค่า K ที่วัดได้นั้นมีค่าต่างกันมาก จึงสรุปได้ว่าค่า K ที่ได้จากการคำนวณนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น โดยความผิดพลาดนั้นอาจเกิดจากสมการที่ใช้ในการคำนวณ เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้เราไม่สามารถวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านในสแตนเลส สตีล จึงต้องทำการกำหนดให้ไม่มีการพาความร้อนในช่องน้ำแข็ง ทั้งที่ในความเป็นจริงนั้น มีการพาความร้อนเกิดขึ้นในช่องน้ำแข็งด้วย

4.5 ผลการแสดงคุณสมบัติต่างๆของฉนวนจากกากสับปะรด

4.4.1 ความหนาแน่น = 566.41 kg/m^3

โดยการคำนวณนี้คำนวณมาจากฉนวนจากกากสับปะรดขนาด 0.305m x 0.0254m x 0.26m

4.4.2 ความชื้น = 4.32 %

4.4.3 อุณหภูมิใช้งานสูงสุด การวัดอุณหภูมิสูงสุดสามารถแสดงผลได้ดังตารางนี้

อุณหภูมิ Hot plate (°c)	ลักษณะของฉนวนจากกากสับปะรด
25	ยังคงลักษณะเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง
50	ยังคงลักษณะเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง
75	ฉนวนจากกากสับปะรดเริ่มเปลี่ยนเป็นเหลืองคล้ำ และมีกลิ่นไหม้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบอุณหภูมิใช้งานสูงสุด

จากตารางจะเห็นว่า อุณหภูมิใช้งานสูงสุดของฉนวนจากกากสับปะรดมีค่าเท่ากับ 75 °c

4.4.4 ต้นทุนการผลิต

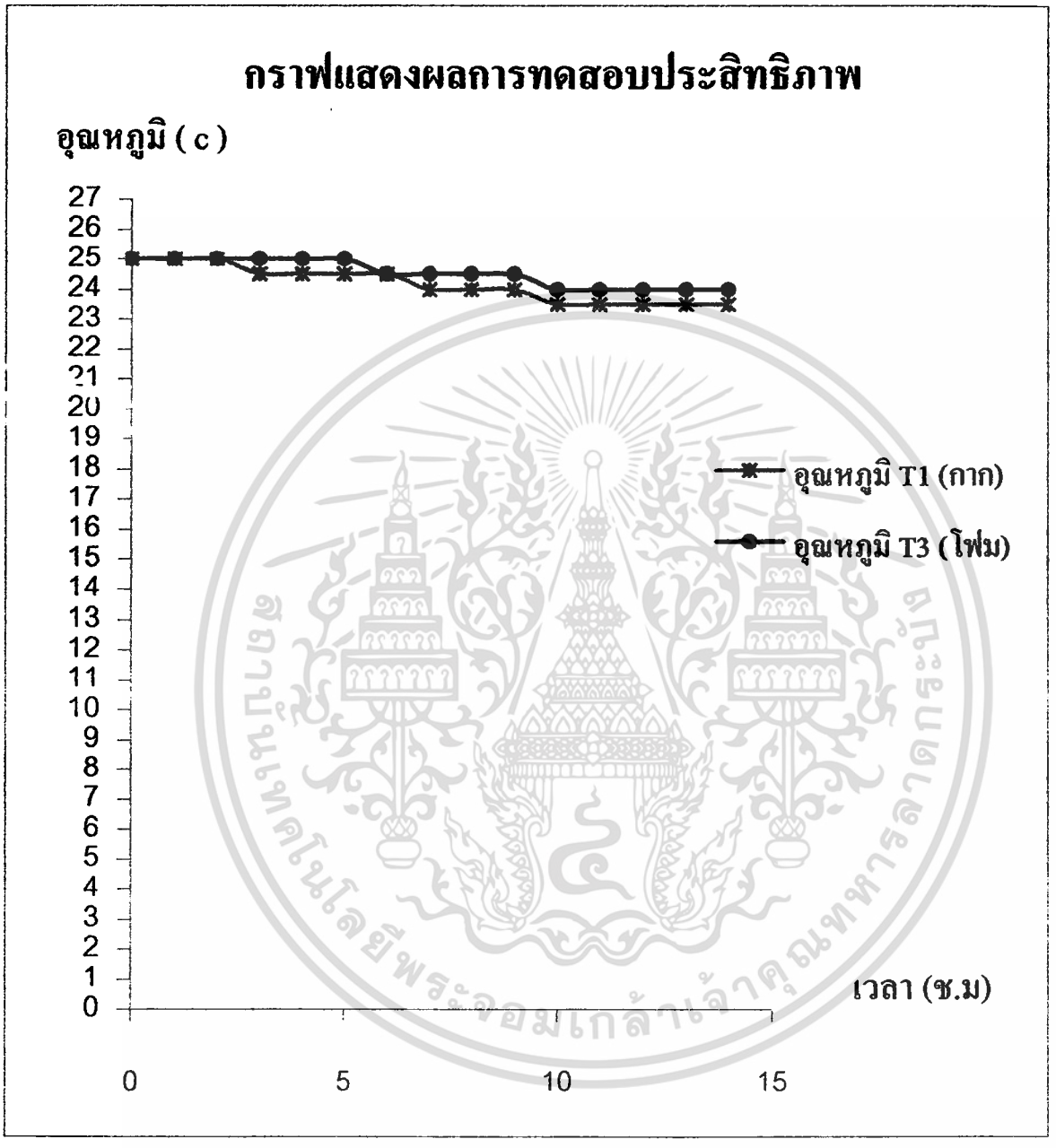
ต้นทุนการผลิตของฉนวนจากกากสับปะรด เท่ากับ 5.9 บาท ซึ่งแบ่งออกเป็น

- ค่าแป้งมันที่ใช้ทำกาวแป้งเปียก เท่ากับ 5.9 บาท
- เนื่องจากใช้เวลาในการกวนเพียง 1นาที ซึ่งเป็นเวลาที่สั้นมาก และเป็นมูลค่าที่น้อยมาก ในที่นี้จึงไม่นำมาคิดเป็นต้นทุนการผลิต

* ต้นทุนนี้ คิดจากฉนวนขนาด 0.305m x 0.0254m x 0.26m = 1.96×10^{-3} m^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17513



ภาพที่ 11 กราฟแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของฉนวนจากกากสับปะรดเทียบกับโฟม

จากกราฟ อุณหภูมิของช่องที่ความเย็นแพร่ผ่านฉนวนจากกากสับปะรด = 23.5 °c

อุณหภูมิของช่องที่ความเย็นแพร่ผ่านโฟม = 24 °c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การเตรียมกากสับปะรดเพื่อใช้ในการทำฉนวน

ในการนำกากสับปะรดไปตากแดดให้มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ พบว่าต้องนำไปตากแดดเป็นเวลาประมาณ 18 ชั่วโมง จะทำให้กากสับปะรดมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเหลือ 7.19%

5.1.2 การทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตฉนวนจากกากสับปะรด

จากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำฉนวนจากกากสับปะรดได้แก่ อัตราส่วนในสูตรที่ 2 เนื่องจากเป็นสูตรที่ใช้ปริมาณแป้งมันที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้กากสับปะรดเกาะกันเป็นฉนวน

5.1.3 ผลการทดลองทดสอบประสิทธิภาพของฉนวนจากกากสับปะรดเปรียบเทียบกับโฟม

จากภาพที่ 11 สามารถสรุปได้ว่าโฟมนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าฉนวนจากกากสับปะรด เนื่องจากช่องที่ความเย็นแพร่ผ่านฉนวนจากกากสับปะรดนั้นมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าช่องโฟม แสดงว่าความเย็นสามารถแพร่ผ่านออกไปสู่ด้านที่ผ่านฉนวนจากกากสับปะรดได้มากกว่าช่องที่ผ่านโฟม

5.1.4 ผลการคำนวณค่าการนำความร้อนของฉนวนจากกากสับปะรด

5.1.4.1 ค่า K ของฉนวนจากกากสับปะรดที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0.14 W/m.k ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าค่า K ของโฟมซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.029 W/m.k แสดงว่าฉนวนจากกากสับปะรดนั้นสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าโฟม และเป็นฉนวนที่ดีน้อยกว่าโฟม แต่ถ้าต้องการให้ฉนวนจากกากสับปะรดมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับโฟม สามารถทำได้โดยเพิ่มความหนาของฉนวนจากกากสับปะรดให้เป็น 0.0978 m

5.1.4.2 ค่า K ที่ได้จากการวัดโดยเครื่องวัดค่าการนำความร้อนมีค่าเท่ากับ 0.052 W/m.k การจะทำให้ฉนวนจากกากสับปะรดมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับโฟม จะต้องใช้ความหนาเท่ากับ 0.045 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5 ผลการแสดงคุณสมบัติต่างๆของฉนวนจากกากสับปะรดเปรียบเทียบกับโฟม

คุณสมบัติ	โฟม	ฉนวนจากกากสับปะรด
ความหนาแน่น (Kg/m^3)	35	558.71
ความชื้น (%)	-	7.32
อุณหภูมิใช้งานสูงสุด ($^{\circ}c$)	80	75
ค่าการนำความร้อน (W/m.k)	0.029	0.14
ต้นทุนการผลิต (bath / ft^3)	53	45.38

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติต่างๆของฉนวนจากกากสับปะรดเปรียบเทียบกับโฟม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากกากสับปะรดเป็นวัสดุจากธรรมชาติ จึงอาจถูกทำลายโดยแมลงและสัตว์ได้ จึงควรทำการศึกษาเกี่ยวกับการป้องกันสัตว์เหล่านี้ต่อไป

2. การจะนำฉนวนจากกากสับปะรดไปใช้งานจริง ควรทำการศึกษาถึงอายุการใช้งานและคุณสมบัติอื่นๆ ของฉนวนก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

3. ฉนวนจากกากสับปะรดมีราคาต้นทุนสูงกว่าโฟม เนื่องจากต้องใช้จำนวนแป้งมันมาก ดังนั้นควรหาวัตถุดิบอื่นๆ ซึ่งมีราคาถูกกว่าแป้งมันมาทดแทน

4. ในการทดลองประสิทธิภาพ ควรจับเวลาและอ่านค่าอุณหภูมิอย่างละเอียดรอบคอบ

5. จากคุณสมบัติต่างๆ สามารถสรุปเป็นข้อดี ข้อเสีย ได้ดังต่อไปนี้

- <u>ข้อดีของฉนวนจากกากสับปะรด</u>เมื่อเทียบกับโฟม

1. เป็นการนำของเสียจากโรงงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่กากสับปะรด
2. มีกรรมวิธีการผลิตที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก
3. เป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ จึงไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมเมื่อเลิกใช้แล้ว
4. ที่ขนาดเท่ากัน ฉนวนจากกากสับปะรดจะมีราคาต่ำกว่า

- <u>ข้อเสียของฉนวนจากกากสับปะรด</u>เมื่อเทียบกับโฟม

1. น้ำหนักมากและไม่ยืดหยุ่น
2. มีราคาต้นทุนสูงกว่า
3. เป็นวัสดุจากธรรมชาติ จึงถูกทำลายได้โดยแมลงและสัตว์
4. ที่ขนาดเท่ากัน โฟมจะมีประสิทธิภาพดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

รองศาสตราจารย์สุนันท์ ศรัณยนิตย์.2538.การถ่ายเทความร้อน.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร.

พงษ์เจตน์ พรหมวงศ์.2534.การถ่ายเทความร้อน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.

นาวาอากาศตรีตระการ ก้าวกสิกรรม.2537.คู่มือฉนวนกันความร้อน.เอ็มแอนด์อี:กรุงเทพมหานคร.312หน้า

นักสิทธิ์ คูวัฒนาชัย . การถ่ายเทความร้อน . สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ . ก.ท.ม.

ม.ล.จารุพันธ์ ทองแถม.2526.สับปะรดและอุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย.คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณรงค์ ภูผา และ สามารถ จ่างวิทยา. 2540. การนำกากสับปะรดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์. ปัญหาพิเศษปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประมวล ศรีกาหลง. 2543. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการแปรรูปอาหารด้วยความเย็น. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.วราวุฒิ ครูส่ง และ ดร.ยุพร พืชกมุทร. 2542. เอกสารประกอบการปฏิบัติเคมีอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Christopher.A Long . 1999 . Essential Heat Transfer . Peason Education Limited . England.

J.P.Holman . 1997 . Heat Transfer . Mc.Graw-Hill,Inc . U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S.M Henderson , K.L.Perry . 1976 . Agricultural Process Engineering(3re.ed.) Westport , Connecticut . AVI Publishing company.

Vedat S. Arpaci , Shu-Hsin Kao , Ahmet Selamet . 1999 . Introduction to Heat Transfer . Prentice-Hall . U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

1. ตารางการหาความชื้นของกากสับปะรด

ชั่วโมง	Aluminium can		น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ		น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ		Moisture content	
	1	2	1	2	1	2	1	2
0	10.981	12.7201	2.2858	2.279	11.4598	13.253	79.05%	75.62%
6	13.9501	15.383	2.2027	2.3045	14.9755	16.4865	53.45%	52.12%
12	15.3848	10.9841	2.3804	2.0869	17.4565	12.8035	12.97%	12.82%
18	13.9514	12.7224	2.0145	2.5041	15.8294	15.0465	6.78%	7.19%

ตารางที่ 5 แสดงผลการหาความชื้นของกากสับปะรด

2. ผลการคำนวณค่าการนำความร้อนของฉนวนจากกากสับปะรด

2.1 ผนังด้านหน้า Q_1 มีค่าเท่ากับผนังด้านหลัง Q_2 เมื่อแทนค่าต่างๆลงไปในสมการจะได้

$1/U = (3.1\times10^{-5}/15.1) + (1/9.37) = 0.107$

$U = 9.346\ W/m^2.k$

ดังนั้น $Q_1 = Q_2 = 9.346 \times 0.0364 \times 30$

$= 10.20\ W$

2.2 ผนังด้านบน Q_3 มีค่าเท่ากับผนังด้านล่าง Q_4 เมื่อแทนค่าต่างๆลงไปในสมการจะได้

$1/U = (3.1\times10^{-5}/15.1) + (1/9.37) = 0.107$

$U = 9.346\ W/m^2.k$

ดังนั้น $Q_3 = Q_4 = 9.346 \times 0.0434 \times 30$

$= 12.17\ W$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ผนังด้านที่ความเย็นแพร่ผ่านโฟม Q_5 เมื่อแทนค่าต่างๆลงไปในสมการจะได้

$1/U = (3.1x10^{-5}/15.1) + (0.0254 / 0.029) + (3.1x10^{-5}/15.1) + (1/9.37) = 0.98$

$U = 1.02\ W/m^2.k$

ดังนั้น $Q_5 = 1.02 \times 0.0806 \times 24$

$= 1.97\ W$

2.4 ความร้อนที่ทำให้น้ำแข็งละลาย $Q_I = m\lambda$ เมื่อแทนค่าลงไปในสมการจะได้

$Q_I = 8 \times 336 \times 10^3$

$= 2,688,000\ J$

ในการทดลองเราใช้เวลาทั้งหมด 14 ชั่วโมง หรือเท่ากับ 50,400 วินาที ดังนั้น

$Q_I = 2,688,000 / 50,400\ J/S$

$= 53.33\ W$

2.5 การแก้สมการหาค่า K มีขั้นตอนดังนี้

2.5.1 แก้สมการหาค่า Q_6

$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = Q_I$

$10.20+10.20+12\ 17+12.17+1.97+ Q_6 = 53.33$

ดังนั้น $Q_6 = 6.62\ W$

2.5.2 แก้สมการหาค่า 1/U เพื่อนำไปแทนในสมการที่ ①

$Q_6 = 6.62\ W$

$U = Q_6 / A(\Delta T) = 6.62 / 0.0806x23.5 = 3.49$

ดังนั้น $1/U = 0.29$

2.5.3 แก้สมการหาค่า K ในสมการที่ ①

$1/U = (X_s / K_s) + (X_n / K_n) + (X_s / K_s) + (1 / h)$ _____ ①

แทนค่า

$0.29 = (0.031x10^{-5}/15.1) + (0.0254 / K_n) + (0.031x10^{-5}/15.1) + (1/9.37)$

$= (2.05x10^{-6}) + (0.0254 / K_n) + (2.05x10^{-6}) + (0.107)$

ดังนั้น $K_n = 0.14\ W/m.k$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการวัดค่า K จากเครื่องมือวัดค่าการนำความร้อน (Food Thermal Conductivity Device)

เวลา	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
0	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00
24	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00
39	0.01	0.00	0.01
42	0.01	0.00	0.01
45	0.01	0.00	0.01
48	0.01	0.00	0.01
51	0.01	0.00	0.01
54	0.01	0.01	0.01
57	0.01	0.01	0.01
60	0.01	0.01	0.01
63	0.01	0.01	0.01
66	0.01	0.02	0.02
69	0.01	0.02	0.02
72	0.01	0.02	0.02
75	0.01	0.03	0.02
78	0.02	0.03	0.03
81	0.02	0.04	0.03
84	0.02	0.05	0.04
87	0.02	0.05	0.04
90	0.02	0.06	0.05

เวลา	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
93	0.04	0.07	0.06
96	0.04	0.08	0.06
99	0.04	0.09	0.07
102	0.06	0.10	0.08
105	0.06	0.12	0.09
108	0.07	0.13	0.10
111	0.07	0.15	0.11
114	0.08	0.16	0.12
117	0.11	0.18	0.15
120	0.11	0.20	0.16
123	0.12	0.22	0.17
126	0.13	0.24	0.19
129	0.15	0.26	0.21
132	0.16	0.27	0.22
135	0.17	0.30	0.24
138	0.19	0.33	0.26
141	0.20	0.34	0.27
144	0.22	0.37	0.30
147	0.23	0.40	0.32
150	0.25	0.43	0.34
153	0.27	0.44	0.36
156	0.29	0.47	0.38
159	0.31	0.50	0.41
162	0.33	0.52	0.43
165	0.35	0.55	0.45
168	0.38	0.57	0.48
171	0.40	0.60	0.50
174	0.41	0.62	0.52
177	0.44	0.65	0.55
180	0.46	0.68	0.57
183	0.48	0.71	0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
186	0.50	0.73	0.62
189	0.53	0.77	0.65
192	0.56	0.80	0.68
195	0.58	0.83	0.71
198	0.61	0.85	0.73
201	0.63	0.88	0.76
204	0.65	0.90	0.78
207	0.67	0.94	0.81
210	0.70	0.96	0.83
213	0.72	0.99	0.83

เวลา	แรงเคลื่อนไฟฟ้า(mV)		แรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
216	0.75	1.02	0.89
219	0.77	1.05	0.91
222	0.80	1.07	0.94
225	0.82	1.10	0.96
228	0.85	1.12	0.99
231	0.89	1.15	1.02
234	0.91	1.17	1.04
237	0.95	1.20	1.08
240	0.99	1.23	1.11

ตารางที่ 6 ผลการวัดค่า K จากเครื่องวัดค่าการนำความร้อน

คำนวณค่า K จาก $K = \dfrac{3.96 \times 10^{-2}}{\Delta E \text{ (ที่เวลา 202 วินาที)}} = 0.052 \text{ W /m.k}$

4. วิธีการคำนวณความหนาของฉนวนจากกากสับปะรดที่ทำให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับโฟม

4.1 ค่า K ของฉนวนจากกากสับปะรด ที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 0.14 W/m.k ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าค่า K ของโฟมซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.029 ดังนั้นหาค่าความหนาใหม่ได้จากสมการหาค่า U ของโฟม

$$1/1.02 = (3.1\times10^{-5}/15.1) + (0.0254 / 0.029) + (3.1\times10^{-5}/15.1) + (1/9.37)$$

และสมการหาค่า U ของกากสับปะรด โดยกำหนดให้มีค่า1/U เท่ากับโฟม

$$1/1.02 = (3.1\times10^{-5}/15.1) + (X_n / 0.14) + (3.1\times10^{-5}/15.1) + (1/9.37)$$

จากนั้นนำสมการทั้ง 2 มาลบกันแล้วทำการแก้สมการ จะได้ค่าความหนาที่ทำให้ฉนวนจากกากสับปะรดมีประสิทธิภาพเทียบเท่าโฟมเท่ากับ 0.0978 m

4.2 ค่า K ที่วัดจากเครื่องมือวัดค่าการนำความร้อน มีค่าเท่ากับ 0.052 W/m.k และสามารถหาค่าความหนาที่ทำให้ฉนวนจากกากสับปะรดมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับโฟมเหมือนวิธี 4.1 จะได้ค่าความหนาเท่ากับ 0.045 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วิธีการคำนวณคุณสมบัติต่างๆ ของฉนวนจากกากสับปะรด

5.1 ความหนาแน่น = มวล / ปริมาตร

$= 1.123 / 2.01 \times 10^{-3}$

$= 558.71 \ kg / m^3$

5.2 เปอร์เซ็นต์ความชื้น $= \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100$

$= \frac{2.0476 - 1.8976}{2.0476} \times 100$

$= 7.32\ \%$

5.3 ต้นทุนการผลิต

ฉนวนจากกากสับปะรดขนาด $0.305m \times 0.0254m \times 0.26m = 1.96 \times 10^{-3} \ m^3$ หรือเท่ากับ $0.13 \ ft^3$ มีราคาต้นทุนการผลิตเท่ากับ 5.9 ดังนั้นฉนวนจากกากสับปะรดขนาด $1 \ ft^3$ มีราคาต้นทุนเท่ากับ

$= (5.9 / 0.13) \times 1$

= 45.38 บาท / ตารางฟุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ 7 แสดงคุณสมบัติของโพลีสไตรีนโฟม

คุณสมบัติ	แบบโฟมอัดรีด	แบบโฟมหล่อ,แผ่นอัด
สภาพนำความร้อนปรากฏ(K), W/m.k	0.029	0.036
สภาพต้านทานความร้อนปรากฏ(R), m.k/W	34.48	27.78
ความหนาแน่นของวัสดุ ρ, (kg/m^3)	28.84-41.65	24.03
ความร้อนจำเพาะ (C_p), KJ/Kg °c	1.13	1.13
สภาพแพร่กระจายความร้อน α, m^2/s	$8.77x10^{-7}$	$1.34x10^{-8}$
อุณหภูมิใช้งานสูงสุด,°c	80	80
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน,m/m °c	$63x10^{-6}$	$63x10^{-6}$
ความอุของเซลล์ที่ชิดกัน (เปอร์เซ็นต์)	85	85
ค่าแทรกซึม ความชื้น, perm-cm	1.08-1.62	2.16-5.4
ค่าดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	0.5-0.7	3.8-4.0
การกัดกร่อนวัสดุที่ถูกฉนวนหุ้ม	ไม่มี	ไม่มี
สภาพการติดไฟ		
ระดับการกระจายของเปลวไฟ	5-25	5-25
ระดับการมีส่วนเป็นเชื้อเพลิง	5-80	5-28
ระดับการเกิดควัน	10-400	10-400
การเสื่อมสภาพลงจากผลของ :		
อุณหภูมิที่เป็นวัฏจักร	ไม่มี	ไม่มี
สัตว์จำพวกหนู หมัด นก ไส้เดือน ฯลฯ	ไม่มี	ไม่มี
ความชื้น	ไม่มี	เล็กน้อย
ฟังไจ / แบคทีเรีย	ไม่มี	ไม่มี
สภาพอากาศ	อุลตราไวโอเลตทำให้เสื่อม	อุลตราไวโอเลตทำให้เสื่อม
ลม	สภาพ	สภาพ
ปัจจัยที่กระทบต่อคน	ไม่มี	ไม่มี
การเป็นพิษ		
กลิ่น	ไม่มี	ไม่มี
การดูดซับเสียง	ไม่มี	ไม่มี
สภาพการติดไฟ	ปานกลาง	ปานกลาง
เสถียรภาพของขนาด	สามารถลุกไหม้	สามารถลุกไหม้
	ไม่มี	ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตารางที่ 8 ปริมาณสำคัญ ในการถ่ายเทความร้อนพร้อมด้วยหน่วย

ปริมาณ	สัญลักษณ์	หน่วย	
		SI	อังกฤษ
ความร้อน	H	J	Btu
อัตราการถ่ายเทความร้อน	Q	W	Btu/h
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	H	$W/m^2.k$	$Btu/hft^2\ ^\circ F$
ค่าการนำความร้อน	K	W/m.k	$Btu/hft\ ^\circ F$
ความหนาแน่น	ρ	Kg/m^3	Lb_m/ft^3
ความหนืด	μ	Kg/ms	$Lb_m/ft\ hr$
ความร้อนจำเพาะ	C_p	J/kg.k	$Btu/lb_m\ ^\circ F$
ความแตกต่างของอุณหภูมิ	T	K	$^\circ F$
ขนาดของวัตถุที่มีหน่วยเป็นความยาว	L	M	ft
สัมประสิทธิ์ของการขยายตัว	β	k^{-1}	$^\circ F^{-1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ตารางที่ 9 Conversion factor สำหรับเปลี่ยนหน่วยระหว่างหน่วย SI และหน่วยอังกฤษ

ปริมาณ	สัญลักษณ์	หน่วย		Conversion factor	Reciprocal Conversion factor
		SI	อังกฤษ		
มวล	M	Kg	lb	0.4536	2.245
ความยาว	L	M	ft	0.3048	3.3808
แรง	F	N	lbf	0.4482	0.2248
เวลา	t	S	h	1/3600	3600
ความร้อน	H	J	Btu	1055.06	9.4781×10^{-4}
อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อน	Q	W	Btu/h	0.2931	3.4118
สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	h,U	$W/m^2.k$	$Btu/hft^2\,^\circ F$	5.678	0.1761
ค่าการนำความร้อน	K	W/m.k	$Btu/hft\,^\circ F$	1.731	0.5777
ความร้อนจำเพาะ	C_p	J/kg.k	$Btu/lb\,^\circ F$	4186.8	2.388×10^{-4}
ความหนาแน่น	ρ	Kg/m^3	Lb/ft^3	16.0185	0.06243
ความหนืด	μ	Kg/ms	Lb/ft hr	4.134×10^{-4}	2.4189×10^{3}

หมายเหตุ - คูณค่าในหน่วยอังกฤษด้วย Conversion factor เพื่อจะให้ได้ค่าในหน่วย SI

- คูณค่าในหน่วย SI ด้วย Reciprocal Conversion factor เพื่อจะให้ได้ค่าในหน่วยอังกฤษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวธันยาภรณ์ จันทะเดช เกิดเมื่อวันที่ 16 มกราคม 2522 ที่อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ในปีพ.ศ. 2540 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) คณะทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ. 2543

นางสาวศริญญา ช่วงพิมาย เกิดเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2522 ที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสุรนารีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา ในปีพ.ศ. 2540 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมแปรรูปอาหาร) คณะทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้