

# การศึกษาสมบัติฉนวนความร้อนของแผ่นวัสดุประกอบสำหรับใช้ในบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์

## A Study on Thermal Insulation Properties of Composite Layers Kraft Paper Packaging

### คณะทำงาน

นายเศรษฐยุทธ ผดุงกุล  
นายสุพจน์ กานทอง

### อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.ดร.สมเจตน์ พันธ์พันธ์

ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420, โทรสาร 0-2549-3422, E-mail: fengntk@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยและน้ำยางธรรมชาติมาใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษคราฟท์ เพื่อเป็นแนวทางในการทดแทนกล่องบรรจุภัณฑ์โฟม พอลิสไตรีน โดยเริ่มจากการขึ้นรูปฉนวนความร้อนจากเส้นใยพางข้าวและน้ำยางธรรมชาติและนำมาทดสอบค่าการนำความร้อนเปรียบเทียบกับกระดาษคราฟท์ และฉนวนความร้อนที่มีใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งได้แก่ ฉนวนเส้นใยแก้ว โฟมพอลิเอทิลีนและโฟมพอลิสไตรีน ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์พบว่า ฉนวนเส้นใยแก้วมีค่าการนำความร้อนสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฉนวนความร้อนประเภทอื่นที่มีค่าการนำความร้อนที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้จากผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกักเก็บความชื้นของกล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์เมื่อใช้ร่วมกับฉนวนความร้อนจากเส้นใยธรรมชาติ เปรียบเทียบกับกล่องบรรจุภัณฑ์โฟมพอลิสไตรีน พบว่ามีความสามารถในการกักเก็บความชื้นที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถนำมาใช้ทดแทนกล่องบรรจุภัณฑ์โฟมพอลิสไตรีนที่มีใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

**คำสำคัญ:** ฉนวนความร้อน, เส้นใยธรรมชาติ, วัสดุประกอบ, บรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์

### Abstract

In this work, the thermal insulation produced from natural fiber and natural rubber latex was incorporated with kraft paper box in order to replace a polystyrene foam box. The thermal conductivity of natural insulation was compared to those of commercial insulations such as fiber –glass, polyethylene foam, and polystyrene foam,

respectively. It was found that the fiber-glass insulation showed the highest thermal conductivity in comparison with corresponding insulations. Furthermore, from the results obtained in this work, it can be suggested that the kraft paper box lined with natural fibers was considerably comparable to commercial polystyrene foam box.

**Keywords:** Thermal insulation, Natural fibers, Composite materials, Paper packaging.

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการกักเก็บความชื้นเพื่อการส่งออกสินค้าอาหารแช่แข็ง คือ กล่องโฟมพอลิสไตรีน แต่เนื่องจากกล่องโฟมพอลิสไตรีนไม่สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติและก่อให้เกิดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อทดแทนกล่องโฟมพอลิสไตรีน โดยทำการทดลองเปรียบเทียบค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity, k) ของฉนวนความร้อนแบบต่างๆ ได้แก่ โฟมพอลิสไตรีน (Polystyrene Foam) โฟมพอลิเอทิลีน (Polyethylene Foam) ฉนวนใยแก้ว (Glass Fiber) และฉนวนเส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber Insulation) โดยคัดเลือกฉนวนความร้อนที่มีความเหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปประกอบกับกล่องกระดาษคราฟท์ (Kraft paper) ทำให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นำกลับมาใช้ใหม่ได้และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

### 2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของฉนวนความร้อนจากเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตขึ้นเปรียบเทียบกับกล่องโฟมพอลิสไตรีน

2. ศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษคราฟท์ร่วมกับฉนวนความร้อนจากเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตขึ้น ทดแทนการใช้กล่องโฟมพอลิสไตรีน

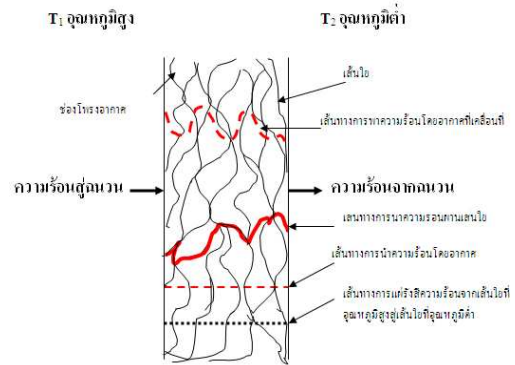
### 3. ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการขึ้นรูปฉนวนความร้อนที่ผลิตจากและนำยางธรรมชาติโดยวิธีการพันประสาน
2. เปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของฉนวนที่ผลิตขึ้นกับฉนวนความร้อนที่มีใช้ในเชิงพาณิชย์แต่ละชนิด ได้แก่ โฟมพอลิสไตรีน โฟมพอลิเอทิลีน และฉนวนใยแก้ว
3. นำฉนวนความร้อนจากเส้นใยธรรมชาติที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ร่วมกับกล่องกระดาษคราฟท์และทดสอบประสิทธิภาพการกักเก็บความเย็นเมื่อเทียบกับกล่องโฟมพอลิสไตรีน

### 4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ฉนวนความร้อนเป็นวัสดุที่ใช้เพื่อประหยัดพลังงานและควบคุมอุณหภูมิให้คงอยู่ในช่วงที่ต้องการเป็นเวลานาน อีกทั้งยังช่วยลดการถ่ายเทความร้อนผ่านโครงสร้างจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งเมื่ออุณหภูมิทั้งสองด้านแตกต่างกัน สมบัติของฉนวนความร้อนที่ดีคือมีค่าการนำความร้อนต่ำ มีค่าความจุความร้อนสูง มีความทนทานต่อแรงอัดและแรงดึงได้เป็นอย่างดี ไม่ติดไฟและสามารถใช้ได้ทั้งในอุณหภูมิห้องหรือสูง ฉนวนความร้อนใช้หลักการถ่ายเทความร้อนตามธรรมชาติ แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน (ตระการ, 2537)

กลไกการถ่ายเทความร้อนของฉนวนความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแบบเส้นใย จะมีกระบวนการการถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1 กระบวนการถ่ายเทความร้อนจะเกิดการถ่ายเทจากทางด้านซ้ายมือที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังด้านขวามือที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยความร้อนจะไหลผ่านช่องอากาศที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งช่องอากาศเหล่านี้สามารถช่วยให้ความร้อนที่ถ่ายเทมาจากทางด้านซ้ายมีปริมาณลดลงเมื่อไหลไปสู่ด้านขวา (ศุภนที และ รุ่งอรุณ, 2545)



รูปที่ 1 กระบวนการถ่ายเทความร้อนในฉนวนความร้อนแบบเส้นใย (ศุภนที และ รุ่งอรุณ, 2545)

ตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือ ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity) ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของฉนวนความร้อนแต่ละประเภท สามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$Q = - \frac{kAdT}{dx} \quad (1)$$

โดย Q คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อ 1 วินาที (วัตต์)  
 k คือ สภาพการนำความร้อน (วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน)  
 A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน (ตารางเมตร)  
 T คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวแต่ละด้าน (เคลวิน)  
 x คือ ความหนาของฉนวนความร้อน (เมตร)

หากเปรียบเทียบฉนวนความร้อน 2 ประเภทซึ่งมีค่าสภาพการนำความร้อนที่ต่างกัน เมื่อกำหนดให้ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านพื้นที่ที่หน้าตัดและความหนาของฉนวนความร้อนทั้ง 2 เท่ากัน พบว่าค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะแปรผกผันกับค่าการนำความร้อน โดยฉนวนความร้อนที่ดีควรมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ โดยฉนวนความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีอยู่ 5 ประเภท ได้แก่ โฟมพอลิสไตรีน ฉนวนใยแก้ว โฟมพอลิเอทิลีน และฉนวนเส้นใยธรรมชาติ

### 5. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้

1. กระดาษคราฟท์
2. โฟมพอลิสไตรีน
3. โฟมพอลิเอทิลีน
4. ฉนวนใยแก้ว
5. ฉนวนเส้นใยธรรมชาติ
6. ชุดจัดเก็บข้อมูลแบบความเร็วสูง
7. เทอร์โมคัปเปิ้ล ประเภทเค
8. เครื่องปั่นกวนฟางข้าว
9. หัวพ่นน้ำยางธรรมชาติ

10. โขเคียมไฮดรอกไซด์
11. น้ำยารรรษชาติ
12. น้ำแข็ง

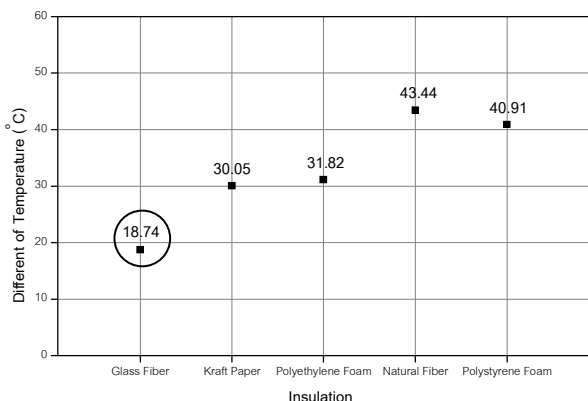
**6. ขั้นตอนการศึกษา**

1. เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของฉนวนความร้อนระหว่างด้านบนของฉนวนและด้านล่างของฉนวนโดยใช้แม่พิมพ์และสปอร์คไลท์
2. บุฉนวนความร้อนได้ฝากล่องกระดาษคราฟท์ขนาด 13x10.5x14.5 เซนติเมตร และทดสอบหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านบนของฝากล่องที่บุฉนวนและก้นกล่องโดยใช้สปอร์คไลท์
3. เปรียบเทียบประเภทของกระดาษคราฟท์ที่ใช้ขึ้นรูปเป็นกล่องบรรจุภัณฑ์
4. นำฉนวนความร้อนที่เหมาะสมที่สุดไปประกอบกับกล่องบรรจุภัณฑ์
5. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกล่องบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิค่า โดยใช้ น้ำแข็งและน้ำแข็งแห้ง และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของกล่องบรรจุภัณฑ์เมื่อห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ไว้ภายนอกกล่องและภายในกล่อง

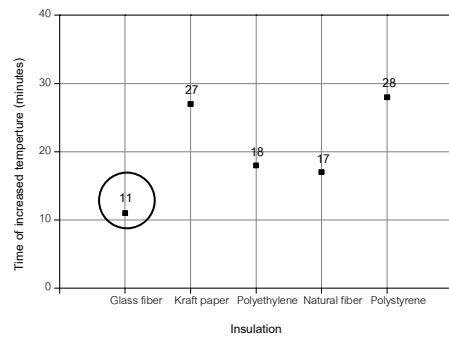
**7. ผลการศึกษา**

**1. ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของฉนวนความร้อน**

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของฉนวนความร้อนทั้ง 5 ประเภทดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าฉนวนใยแก้วมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฉนวนความร้อนประเภทอื่น ดังแสดงในรูปที่ 2 นอกจากนี้ฉนวนใยแก้วยังใช้เวลาในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเร็วที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3 จึงไม่นำฉนวนใยแก้วไปใช้ในการบุภายในกล่องกระดาษคราฟท์

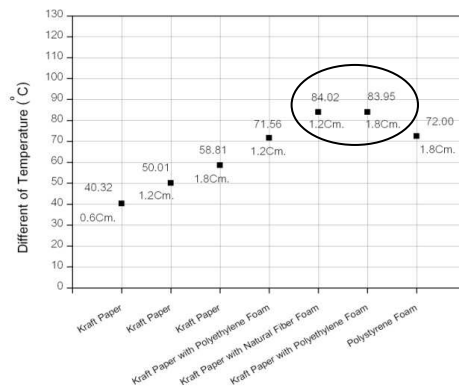


รูปที่ 2 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านบนฉนวนกับด้านล่างของฉนวนความร้อนฉนวน ( $\Delta T$ )



รูปที่ 3 เวลาที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของฉนวนความร้อน

เมื่อพิจารณาที่ประเภทของกระดาษคราฟท์จากน้ำหนักน้อยไปมาก ได้แก่ A125 A150 KL205 และ A185 ตามลำดับ และความหนาของฉนวนความร้อน พบว่ากระดาษคราฟท์แต่ละประเภทมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตามความหนาของฉนวนความร้อนที่เพิ่มขึ้น



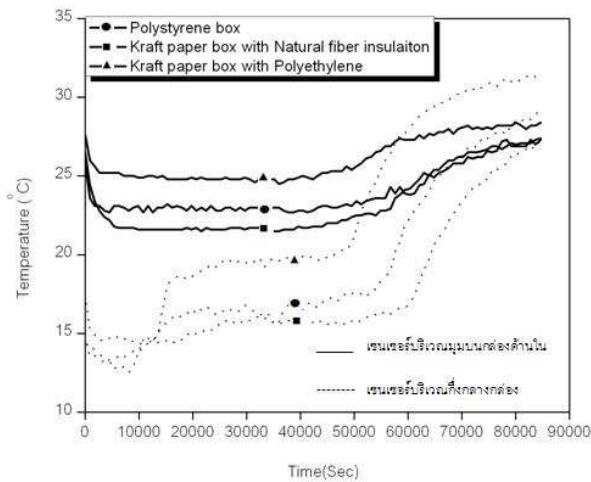
รูปที่ 4 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของกล่องกระดาษคราฟท์ที่บุฉนวนความร้อนประเภทต่างๆที่มีความหนาต่างกัน

จากรูปที่ 4 พบว่าฉนวนเส้นใยธรรมชาติที่มีความหนาน้อยกว่าโฟมพอลิเอทิลีนกลับมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่าการนำความร้อนของฉนวนเส้นใยธรรมชาติและโฟมพอลิเอทิลีนทั้งสองประเภทนี้จึงมีค่าต่ำ และยังมีค่าต่ำกว่าค่าการนำความร้อนของโฟมพอลิไตรน จึงเลือกใช้ฉนวนเส้นใยธรรมชาติและโฟมพอลิเอทิลีนเป็นฉนวนความร้อนภายในกล่องบรรจุภัณฑ์

**2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกล่องบรรจุภัณฑ์**

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของกล่องบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ กล่องบรรจุภัณฑ์โฟมพอลิไตรน กล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์บุฉนวนเส้นใยธรรมชาติ และกล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษคราฟท์บุโฟมพอลิเอทิลีน เมื่อทำการบรรจุน้ำแข็งภายในกล่องบรรจุภัณฑ์และได้ทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 24 ชม. โดยเส้น

ทึบแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์บริเวณมุมบนด้านในกล่อง และเส้นประแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์บริเวณกึ่งกลางกล่อง



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาของกล่องบรรจุภัณฑ์ 3 ประเภท

จากผลการตรวจวัดอุณหภูมิภายในกล่องพบว่าอุณหภูมิของกล่องบรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นเข้าสู่อุณหภูมิห้องอย่างช้าๆเมื่อน้ำแข็งละลายจนหมด โดยที่กล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติและกล่องบรรจุภัณฑ์โฟมโพลีสไตรีนมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษที่ทำจากนี้ภายในกล่องบรรจุภัณฑ์ทั้งสองยังสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้มากกว่า 12 ชั่วโมง จึงสามารถเลือกใช้ฉนวนเส้นใยธรรมชาติในบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษที่เป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้ทดแทนกล่องโฟมโพลีสไตรีนได้

นอกจากนี้เมื่อทำการทดสอบโดยเพิ่มการห่อฉนวนใยพอลิเอทิลีนไว้ด้านนอกกล่องกระดาษที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ ยังพบว่าอุณหภูมิภายในกล่องมีค่าต่ำและสามารถรักษาอุณหภูมิภายในกล่องได้เป็นเวลานาน

## 8. สรุปผล

จากการศึกษาสภาพการนำความร้อนของฉนวนความร้อนเพื่อพัฒนากล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษที่ทำให้มีการกักเก็บความเย็นที่ดีและสามารถใช้ทดแทนกล่องโฟมโพลีสไตรีนเพื่อใช้ในการส่งออกบรรจุภัณฑ์สินค้าแช่แข็งได้ ผลที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ฉนวนใยแก้วมีความแตกต่างอุณหภูมิสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฉนวนชนิดอื่น ฉนวนใยแก้วจึงมีค่าการนำความร้อนที่ดี ในงานวิจัยนี้จึงไม่เหมาะแก่การนำไปทำเป็นฉนวนความร้อนในกล่องบรรจุภัณฑ์

2. เวลาที่ใช้ในการแพร่ความร้อนของฉนวนความร้อนแต่ละชนิดที่เกิดจากการทดลองมีแนวโน้มเป็นไปตามเวลาที่เกิดจากการคำนวณ ยกเว้นในกรณีของโฟมโพลีสไตรีนที่เวลาจากการทดลองมี

แนวโน้มน้อยกว่าเวลาจากการคำนวณ ซึ่งอาจเกิดความเสียหายที่บริเวณผิวของโฟมโพลีสไตรีนจากความร้อนที่ให้ออกมาตลอด

3. ในทางอุตสาหกรรมการส่งออกค่าน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์เป็นหลัก จึงเลือกใช้กล่องบรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปจากกระดาษkraft ประเภท A125 ที่มีความหนาแน่นและมีน้ำหนักน้อยที่สุด เพื่อประหยัดต้นทุนในการผลิตและการขนส่ง

4. กล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษkraftที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกล่องและสามารถรักษาอุณหภูมิภายในกล่องบรรจุภัณฑ์ได้เป็นเวลานานใกล้เคียงกับกล่องโฟมโพลีสไตรีน จึงสามารถเลือกใช้ฉนวนเส้นใยธรรมชาติในบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษkraftเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อใช้ทดแทนกล่องโฟมโพลีสไตรีนได้

5. กล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษkraftที่ทำห่อด้วยฉนวนใยพอลิเอทิลีนไว้ภายนอกมีอุณหภูมิภายนอกและภายในต่ำกว่ากล่องบรรจุภัณฑ์กระดาษkraftที่ทำห่อด้วยฉนวนใยพอลิเอทิลีนไว้ภายใน

## 9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์ และบริษัทเอกควา เอนเตอร์ไพรส์ สำหรับทุนการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมวัสดุทุกท่านที่ให้ความสะดวกในการปฏิบัติการทดลอง

### เอกสารอ้างอิง

ตระการ ก้าวสถิตกรม. 2537. คู่มือฉนวนความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 2. เอ็ม แอนด์อีร์. กรุงเทพฯ

ศกุนธิ สมบูรณ์วิทย์ และ รุ่งอรุณ ประเสริฐศักดิ์. 2545. การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยพวงข้าวและน้ำยางธรรมชาติ. ปรินญาณินพนธ์ปรินญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัลลภ หาญณรงค์ชัย และ อธิชัย ลาสุนนท์. 2546. การผลิตฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยพวงข้าวและน้ำยางธรรมชาติ. ปรินญาณินพนธ์ปรินญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมเจตน์ พัชรพันธ์ พัฒนะ รักความสุข ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ วรธรรม อุ่นจิตติชัย ชลาธร จันทร์ทัต ศกุนธิ สมบูรณ์วิทย์ และ รุ่งอรุณ ประเสริฐศักดิ์. 2545. การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยพวงข้าวและน้ำยางธรรมชาติ การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ครั้งที่ 41: กรุงเทพฯ.