

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษสาสำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหย
สมชาย มณีวรรณ

Investigation of Physical Properties of Mulberry Paper for
Evaporative Cooling System

Somchai Maneewan

หน่วยวิจัยพลังงานทางด้านความร้อนและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
จังหวัดพิษณุโลก 65000

Thermal Energy and Energy Conservation Promotion Research Unit, Physics Department, Faculty of Science, Naresuan University,
Phitsanulok 65000, Thailand.

Corresponding author. E-mail address: somchaim@nu.ac.th (S. Maneewan)

Received 15 November 2006; accepted 7 August 2007

บทคัดย่อ

ปัจจุบันแผ่นเซลล์ทำความเย็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาแพง จึงเกิดแนวความคิดในการนำกระดาษสา มาพัฒนาผลิตเป็นแผ่นเซลล์ทำความเย็นแทน งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษสาตามองค์การ ระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization; ISO) และจัดทำมาตรฐานกระดาษสา ของพื้นที่ภาคเหนือ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของผลิตภัณฑ์และเพื่อใช้ในการออกแบบแผ่นเซลล์ทำความเย็น สำหรับระบบทำความเย็น แบบระเหยต่อไป โดยทำการศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำ (ISO535:1991) ค่าความต้านแรงดึงขาด (ISO3781:1983) น้ำหนักมาตรฐาน (ISO536:1995) ค่าความหนาและค่าความหนาแน่นของกระดาษสา (ISO534:1988) โดยใช้กระดาษสาจาก 3 แหล่ง คือ บ้านนาเหลือง อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน บ้านสะเนียน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน และบ้านแยง อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก จากการศึกษาพบว่า ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงสุดเท่ากับ 3.500 กรัม หรือคิดเป็น 462 % ค่าความต้านแรงดึงขณะแห้งสูงสุด มีค่าเท่ากับ 16.811 kN/m ขณะเปียกสูงสุด 1.089 kN/m น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา และค่าความหนาแน่นสูงสุด เท่ากับ 127.590 g/m² 0.372 mm และ 383.821 kg/m³ ตามลำดับ ดังนั้น กระดาษสาจึงมีสมบัติที่เหมาะสม สามารถนำมาผลิต เป็นแผ่นเซลล์ทำความเย็นใช้แทนแผ่นเซลล์ทำความเย็นที่นำเข้าจากต่างประเทศในปัจจุบันได้

คำสำคัญ: กระดาษสา; แผ่นเซลล์; ระบบทำความเย็นแบบระเหย

Abstract

Thailand has to import expensive celpads from other countries. To solve this problem, the mulberry paper has been developed to replace the celpad. This project studied the physical properties of mulberry paper according to International Organization for Standardization (ISO) and attempted to standardize the mulberry paper obtained from the north of Thailand. The data derived from this project may be used to design the celpad for evaporative cooling. The paper properties were investigated in terms of the absorptiveness (ISO535:1991), the tensile strength (ISO3781:1983), the basis weight (ISO536:1995), the thickness and density (ISO534:1988). The mulberry paper from three sources were examined, including the mulberry papers from: Ban Naluang, Wiangsa, Nan; Ban Sanian, Muang, Nan; and Ban Yang, Nachornthai, Phitsanulok. It was found that the maximum tensile strength for the dry mulberry paper was 16.811 kN/m. After the immersion in water, the maximum tensile strength was 1.089 kN/m. The water absorptiveness was 3.500 g or 462%. The basis weight, thickness and density were 127.590 g/m², 0.372 mm, and 383.821 kg/m³, respectively. Thus, it is concluded that the physical properties of the mulberry paper are appropriate to replace the imported celpads.

Keywords: Mulberry paper; Celpad; Evaporative cooling

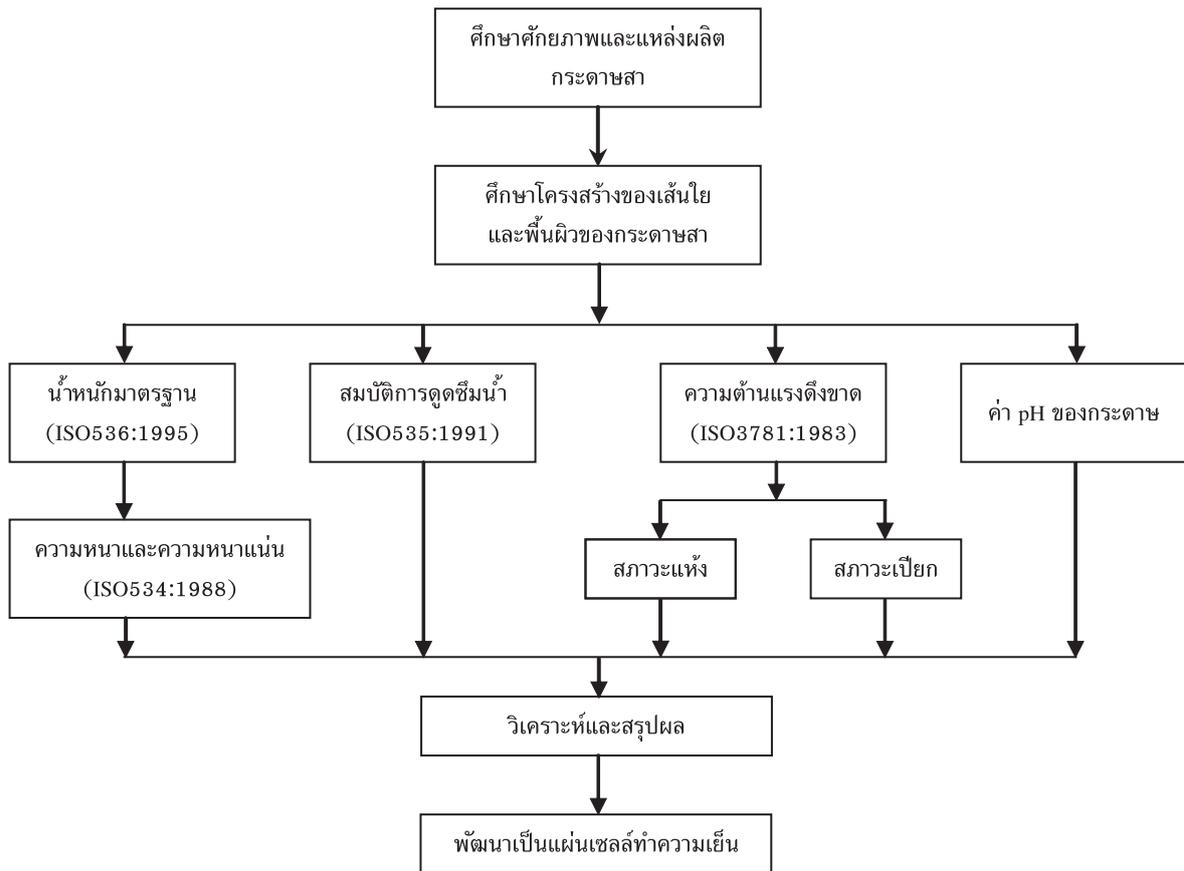
บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ซึ่งรายได้ของประเทศส่วนใหญ่ได้มาจากการส่งออกผลผลิตทางการเกษตร แต่เนื่องจากปัจจุบันนี้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยมีการคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2100 อุณหภูมิโลกจะเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 4.8 องศาเซลเซียส (สมฤดี, 2547) อีกทั้งประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตรจึงทำให้มีอากาศร้อนชื้นตลอดเกือบทั้งปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี 27°C และฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงถึง 43°C (Manewan & Zeghmami, 2004) ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรรม เช่น การเลี้ยงสัตว์ต่างๆ ทำให้ปริมาณ และคุณภาพลดลง โดยเฉพาะการเลี้ยงไก่ไข่ ซึ่งต้องการอุณหภูมิ ในช่วง $13-27^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50% (ปิยธิดา และสุชีรา, 2542) เนื่องจากเหตุผลนี้เองจึงได้นำระบบทำความเย็นแบบระเหย (evaporative cooling system) มาใช้ในโรงเรือนเลี้ยงไก่ โรงเรือนเลี้ยงกล้วยไม้ และทางด้านเกษตรกรรมเพื่อปรับสภาพอากาศภายในโรงเรือนให้ได้ตามเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น ซึ่งระบบดังกล่าวเริ่มจากใช้น้ำฉีดพ่นผ่านแผ่นเซลล์ทำความเย็น (cooling pad; celpad) จากนั้นให้อากาศวิ่งผ่านแผ่นเซลล์ทำความเย็นโดยน้ำจะดึงความร้อนจากอากาศมาใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้เป็นไอที่มีความดันต่ำทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และไม่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศ เนื่องจากใช้น้ำเป็นสารตัวกลาง และยังช่วยระบายอากาศเสียภายในโรงเรือนอีกด้วย แผ่นเซลล์ทำความเย็นที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่ นำเข้ามาจากต่างประเทศทำให้มีราคาค่อนข้างสูงส่งผลให้ต้นทุนในการสร้างระบบสูงตามไปด้วยจึงทำให้เกิดการวิจัยเพื่อนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ผลิตเป็นแผ่นทำความเย็น Al-Sulaiman (2001) ได้นำเอาเส้นใยจากธรรมชาติมาใช้สร้างแผ่นทำความเย็น พบว่าเส้นใยจากปอกระเจามีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุด แต่มีประสิทธิภาพทนต่อการกัดกร่อนและความต้านทานการเกิดเชื้อราต่ำ (Al-Sulaiman, 2001) วุฒินันท์ (2547) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของกระดาษสาผสมฟางข้าวที่ทำด้วยมือแบบไทย เพื่องานหัตถกรรมและบรรจุภัณฑ์ พบว่าเยื่อปอสาต่อเยื่อฟางข้าวในอัตราส่วน 70:30 มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดีคือ น้ำหนักมาตรฐาน 64.23 g/m^2 ความหนา 0.286 mm ความหนาแน่น 0.244 g/cm^3 ความต้านทานแรงดึง $27.76\text{ Nm}^2/\text{g}$ เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาลักษณะทางกายภาพของกระดาษสา เพื่อจัดทำมาตรฐานของกระดาษสาจากแหล่งการผลิตต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของกระดาษสาในแต่ละพื้นที่ และใช้สำหรับการออกแบบ celpad สำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหย เนื่องจากสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา มีความเหนียว คงทน รักษาสภาพเก็บไว้ได้นาน นอกจากนี้ในกลุ่มกระดาษสาชนิดนี้มีพื้นที่ปลูก และแปรรูปจากต้นสาจำนวนมาก รวมถึงกระดาษสาที่ผลิตได้ในแต่ละพื้นที่ยังไม่มี การจัดระบบเป็นมาตรฐานที่แน่นอน คาดว่าลักษณะทางกายภาพของกระดาษสาจะมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาแปรรูปเป็นแผ่นเซลล์ทำความเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการทำความเย็นแบบระเหยได้ ซึ่งสามารถใช้แทนแผ่นเซลล์ทำความเย็นที่มีราคาแพงได้โดยที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันและเพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของกระดาษสาเพื่อเพิ่มมูลค่าของกระดาษสาให้สูงขึ้นและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการ

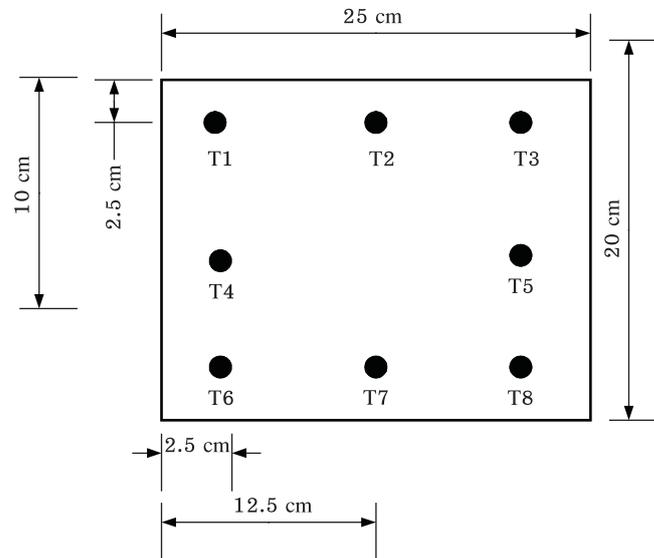
ทำการศึกษากำลังการผลิตกระดาษสาและสมบัติทางกายภาพจากพื้นที่การผลิต 3 แหล่ง คือ กลุ่มกระดาษสาและผลิตภัณฑ์จากกระดาษสาบ้านนาเหลือง (159 หมู่ 1 บ้านนาเหลืองใน ต.นาเหลือง อ.เวียงสา จ.น่าน) กลุ่มแม่บ้านบ้านสะเนียน (126 หมู่ 2 บ้านสะเนียน ต.สะเนียน อ.เมือง จ.น่าน) และ กลุ่มสหกรณ์กระดาษสา (689 หมู่ 4 บ้านเข็กใหญ่ ต.บ้านแยง อ.นครไทย จ.พิษณุโลก) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการศึกษาดังนี้ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

1. พิจารณาโครงสร้างของกระดาษด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM) เป็นการดูโครงสร้างของเส้นใยและพื้นผิวของกระดาษ
2. หาน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษสา (ตามมาตรฐาน ISO 536:1995) โดยตัดกระดาษสาขนาด 20 cm x 25 cm จำนวน 12 ชิ้น เตรียมและชั่งกระดาษในสภาวะความดันบรรยากาศ ชั่งขึ้นทดสอบแต่ละชิ้นจำนวน 5 ครั้ง บันทึกค่ามวลที่ได้ และหาค่าเฉลี่ยค่าน้ำหนักมาตรฐาน
3. หาคความหนาและความหนาแน่นของกระดาษสา (ตามมาตรฐาน ISO 534:1988) โดยใช้กระดาษชุดเดียวกับการทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน ตัดขึ้นทดสอบให้มีขนาด 20 cm x 25 cm จำนวน 12 ชิ้น วัดความหนาของกระดาษ 8 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2 หลังจากนั้นคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความหนาที่วัดได้ และค่าความหนาแน่นของกระดาษสา
4. หาค่าสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษสาโดยวิธีของคอบบ์ (ตามมาตรฐาน ISO 535:1991) โดยเตรียมขึ้นทดสอบให้มีขนาด 10 cm x 10 cm ชั่งขึ้นทดสอบขณะแห้ง บันทึกค่าหลังจากนั้นแช่ขึ้นทดสอบในน้ำกลั่นนาน 2 นาที แล้วผึ่งไว้ประมาณ 45 วินาที ชั่งขึ้นทดสอบขณะเปียกในเครื่องชั่งอีกครั้ง เปลี่ยนขึ้นทดสอบใหม่แล้วแช่ขึ้นทดสอบในน้ำกลั่นเป็นเวลา 4, 6, 8, 10 นาที ตามลำดับ หาค่าเฉลี่ยของมวลแห้ง และมวลเปียกของกระดาษ คำนวณค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษในหน่วย g/m^2
5. หาค่าความต้านแรงดึงขาดที่สภาวะแห้ง และสภาวะเปียกของกระดาษสา (ตามมาตรฐาน ISO 3781:1983) โดยตัดกระดาษสาขนาด 1.5 cm x 14 cm แช่ขึ้นทดสอบในน้ำ 5 นาที เนื่องจากขึ้นทดสอบมีค่าต้านแรงดึงน้อยมาก ดังนั้นจึงทดสอบโดยการประกบแผ่นทดสอบจำนวน 5 ชิ้น เพื่อที่จะสามารถหาค่าความต้านแรงดึงขาดได้แล้วนำไปติดตั้งกับเครื่องวัดค่าต้านทานแรงดึง (tensile tester; HOUNSFIELD รุ่น H50K-S) บันทึกค่าแรงดึงเฉลี่ยของกระดาษ รวมถึงค่าต้านทานแรงดึง

6. หาค่า pH ของกระดาษสาที่อุณหภูมิระหว่าง 25-40 °C โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 10 cm x 15 cm แช่ชิ้นทดสอบในน้ำกลั่น ทำการวัดค่า pH ก่อนเข้าตู้อบ นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 25, 30, 35, 40 และ 45 °C เพื่อจำลองลักษณะของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมขณะใช้งาน (โดยมีการเปลี่ยนชิ้นทดสอบทุกครั้งเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการอบ) อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการวัดค่า pH ทันทีก



รูปที่ 2 ตำแหน่งการวัดความหนาตามมาตรฐาน ISO534:1988

ผลการศึกษา และวิจารณ์ผลการศึกษา

กำลังการผลิต

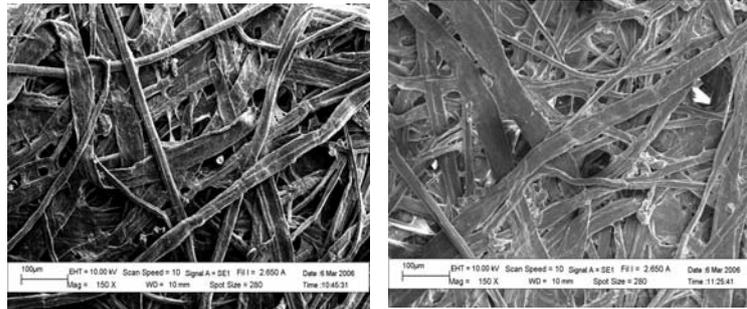
จากผลการศึกษา พบว่า แต่ละพื้นที่ที่กำลังการผลิตกระดาษสา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กำลังการผลิตกระดาษสาแต่ละพื้นที่

แหล่งผลิตกระดาษสา	กำลังการผลิตกระดาษสา
บ้านนาเกลือ (A)	20,000 แผ่น/เดือน โดยแบ่งตามขนาดเป็นเบอร์ ดังนี้ เบอร์ 1(A1), เบอร์ 2(A2), เบอร์ 3(A3)
บ้านสะเนียน (B)	40,000 แผ่น/เดือน โดยแบ่งตามขนาดเป็นเบอร์ ดังนี้ เบอร์ 0(B0), เบอร์ 1(B1), เบอร์ 2(B2)
บ้านแยง (C)	10,000 แผ่น/เดือน โดยแบ่งตามขนาดเป็นเบอร์ ดังนี้ เบอร์ 1(C1), เบอร์ 2(C2)

ลักษณะเส้นใยของกระดาษ

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา พบว่าลักษณะเส้นใยของแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ (กระดาษเซลลูโลส) และกระดาษสา เป็นเส้นใยแบบยาวทั้งคู่ ดังรูปที่ 3-4 โดยแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์มีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพไปบางส่วน จึงทำให้มีความหนาแน่นของเส้นใยมาก ส่วนกระดาษสาที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพจะเห็นว่าลักษณะการวางตัวของเส้นใยจะไม่ค่อยหนาแน่นมากนักเป็นผลทำให้กระดาษสาไม่มีการดูดซึมน้ำได้ดีกว่า อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าลักษณะของเส้นใยกระดาษสา และแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์มีความคล้ายกันมาก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่า กระดาษสาเมื่อนำไปปรับปรุงสมบัติทางกายภาพแล้วจะสามารถนำมาผลิตเป็นแผ่นเซลล์ทำความเย็นแทนแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ได้



(ก) กระดาษ B1

(ข) กระดาษ C2

รูปที่ 3 ลักษณะเส้นใยของตัวอย่างกระดาษสา



รูปที่ 4 ลักษณะเส้นใยของแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ ที่ยังไม่ได้ใช้งาน

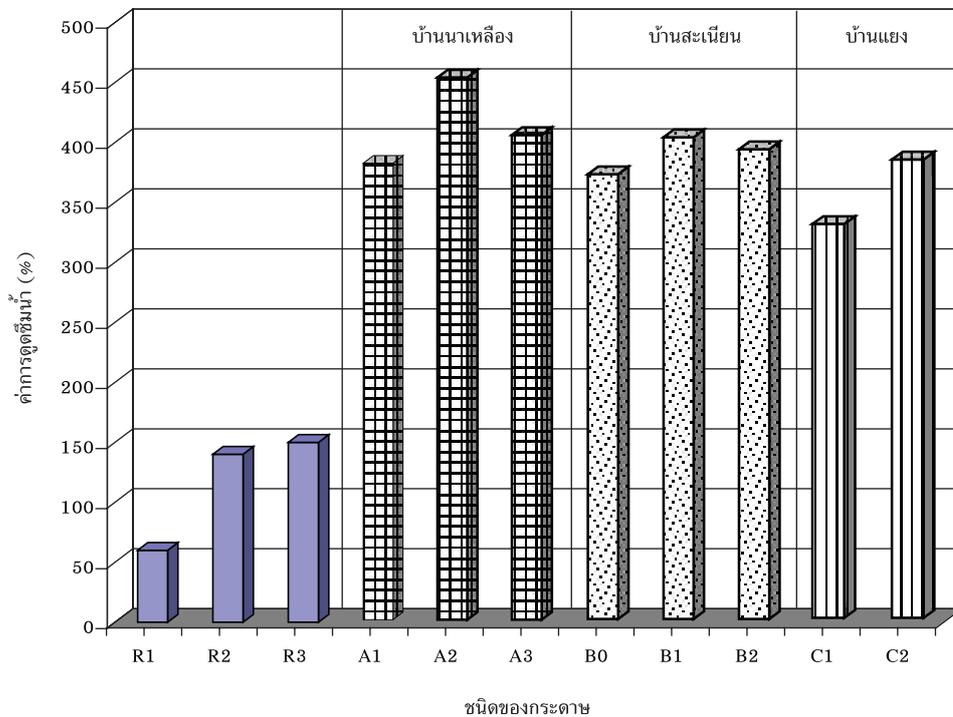
ค่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนา และความหนาแน่นของกระดาษสา

จากการศึกษาค่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนา และความหนาแน่นของกระดาษสาแต่ละชนิด โดยการวิเคราะห์ด้วย one-way-ANOVA เพื่อทดสอบความแตกต่างของสมบัติกระดาษสาตามแหล่งผลิต พบว่า ค่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนาและค่าความหนาแน่นของกระดาษสามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยกระดาษสาบ้านสะเนียน (B0-B2) มีน้ำหนักมาตรฐานและความหนามากกว่ากระดาษสาบ้านนาเกลือ (A1-A3) และบ้านแยง (C1-C2) แต่กระดาษสาบ้านแยงมีความหนาแน่นมากกว่าแหล่งผลิตอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม ในการเลือกใช้ประโยชน์จากกระดาษสาจำเป็นต้องทำการศึกษาสมบัติอย่างอื่นประกอบด้วย ในเชิงพาณิชย์ค่าน้ำหนักกระดาษและค่าความหนา มีความสำคัญต่อการซื้อขายกระดาษ คือ ในกรณีม้วนกระดาษ มีความหนา และค่าน้ำหนักมากขึ้น ความยาวในม้วนจะลดลง (บริษัทไทยเคน, 2002)

สมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษสา

จากการศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษสาพบว่า กระดาษสาที่มีความหนาแน่นน้อยจะสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่ากระดาษสาที่มีความหนาแน่นมาก จากรูปที่ 5 พบว่า กระดาษสาที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากกว่าแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์และกระดาษหนังสือพิมพ์ทั้งสองแบบ โดยที่กระดาษ A2 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากที่สุด ประมาณ 462% รองลงมาคือ A3 และ B1 มีค่าประมาณ 413% และ 405% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากกระดาษสาที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์ และกระดาษหนังสือพิมพ์ ทำให้น้ำสามารถแทรกตัวเข้าสู่สร้างพันธะกับอะตอมของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใยได้มากขึ้น นอกจากนี้ อาจเป็นไปได้ว่าแผ่นทำความเย็นเชิงพาณิชย์เป็นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติไปบางส่วน จึงทำให้สูญเสีย

สมบัติการดูดซึมน้ำ เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย one-way-ANOVA เพื่อทดสอบความแตกต่างของสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษสาตามแหล่งผลิตพบว่า สมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษสาที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยกระดาษสาบ้านสะเนียนมีค่าการดูดซึมน้ำดีกว่าแหล่งผลิตอื่นๆ



รูปที่ 5 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษชนิดต่างๆ

หมายเหตุ.

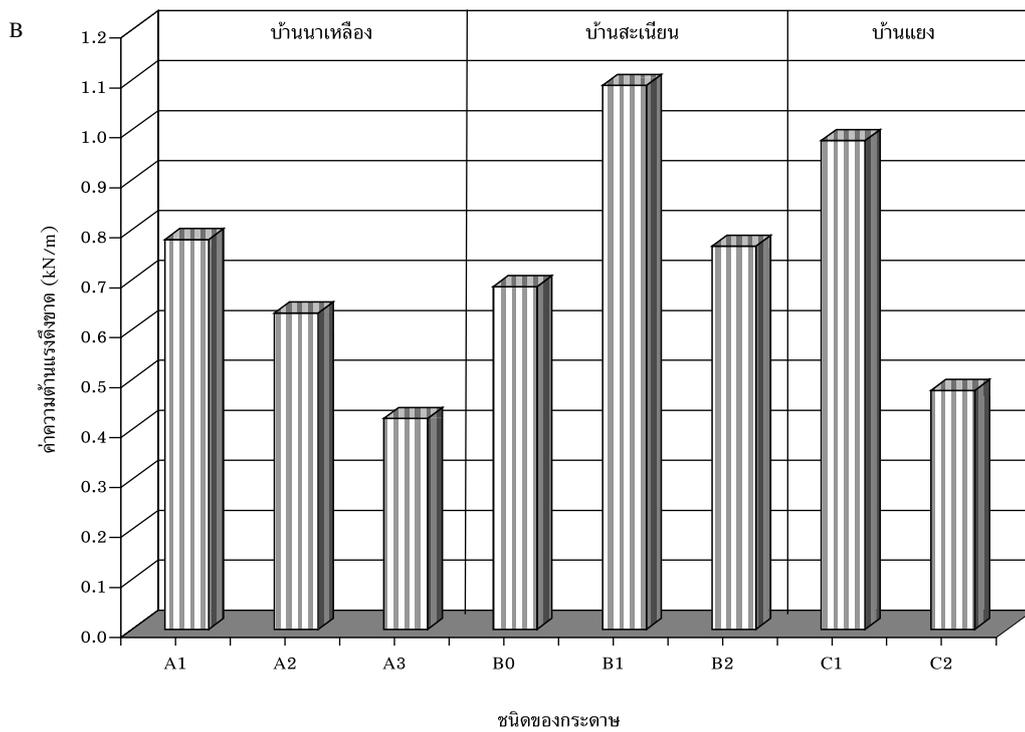
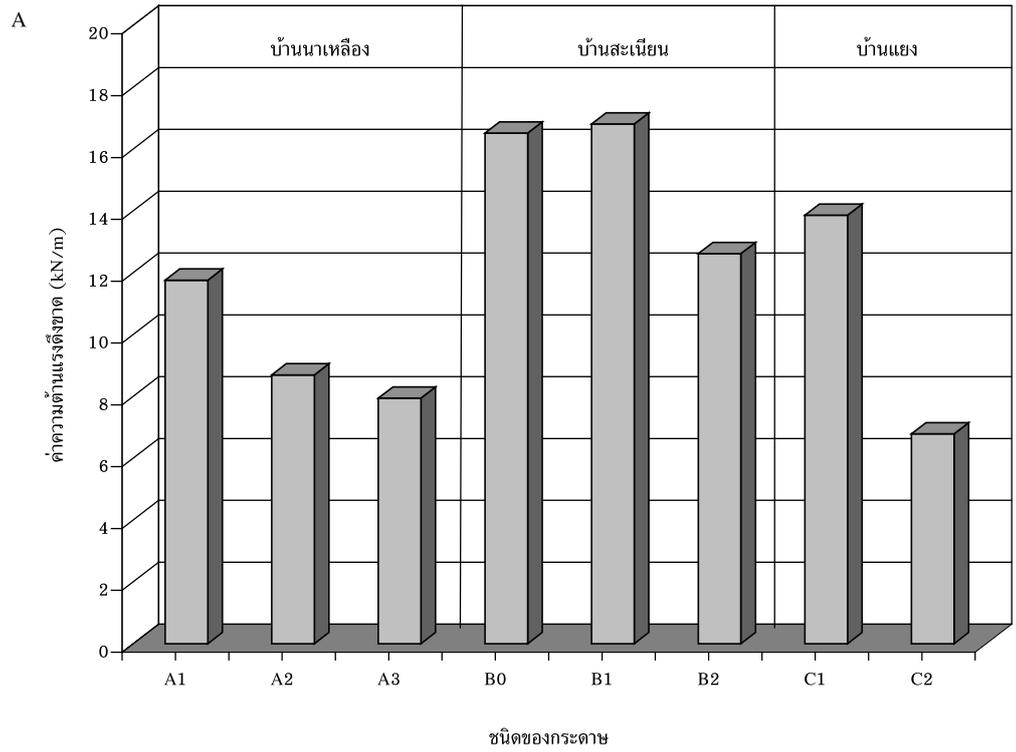
R1 คือ corrugated rigid cellulose (ปัทมรัตน์ และคณะ, 2548)

R2 คือ กระดาษหนังสือพิมพ์ (พิมพ์สี่เต็ม 2 ด้าน)

R3 คือ กระดาษหนังสือพิมพ์ (หมึกพิมพ์ปกติ)

ค่าความต้านแรงดึงขาดของกระดาษสา

ผลการทดสอบค่าความต้านแรงดึงขาดของกระดาษสาชนิดต่างๆ ในสภาวะแห้งและสภาวะเปียก พบว่ากระดาษสา B1 มีค่าความต้านแรงดึงขาดสูงที่สุดทั้งสภาวะแห้งและสภาวะเปียก โดยมีค่าประมาณ 16.811 kN/m และ 1.089 kN/m ตามลำดับ กระดาษสา C2 มีค่าความต้านแรงดึงขาดต่ำสุดที่สภาวะแห้ง และกระดาษสา A3 มีค่าความต้านแรงดึงขาดต่ำสุดในสภาวะเปียก โดยมีค่าประมาณ 6.789 kN/m และ 0.422 kN/m ตามลำดับ และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย one-way-ANOVA เพื่อทดสอบความแตกต่างของสมบัติค่าความต้านแรงดึงขาดของกระดาษสาตามแหล่งผลิตพบว่า ค่าความต้านแรงดึงขาดของกระดาษสาที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยกระดาษสาบ้านสะเนียนมีค่าความต้านแรงดึงขาดดีกว่าแหล่งผลิตอื่นๆ ดังรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ากระดาษสาที่สภาวะแห้งจะมีค่าความต้านแรงดึงขาดมากกว่าในสภาวะเปียก ทั้งนี้เนื่องจากการยึดติดกันระหว่างเส้นใย (interfiber bonding) ด้วยพันธะไฮดรอกเจนของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใย หมู่ไฮดรอกซิลจะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นได้ดี ดังนั้นเมื่อกระดาษสาเปียกน้ำจะเข้ามาแทรกระหว่างพันธะของเส้นใยทำให้เกิดการบวมตัว (swelling) และเมื่อมีการบวมตัวมากพอที่จะชนะพันธะไฮดรอกเจน เส้นใยจึงแยกออกได้ง่ายเมื่อมีแรงกระทำ จึงทำให้ความสามารถต้านแรงดึงขาดของกระดาษสาที่เปียกน้ำลดลง (Bristow & Kolseth, 1986)



รูปที่ 6 ค่าความต้านแรงดึงขาดของกระดาศชนิดต่างๆ (A) ในสภาวะแห้ง และ (B) ในสภาวะเปียก

ค่า pH เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 25-45 °C

จากการศึกษาหาค่า pH ของกระดาษสาในช่วงอุณหภูมิ 25-45 °C พบว่า ค่า pH ของกระดาษสาแต่ละชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักในสภาวะอุณหภูมิเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่ที่สภาวะที่อุณหภูมิต่างกันพบว่า ที่อุณหภูมิ 45 °C (หลังอบ) ให้ค่า pH สูงกว่าสภาวะอุณหภูมิต่ำกว่า คือ ค่า pH อยู่ในช่วง 8.42-8.83 และที่อุณหภูมิ 30 °C ให้ค่า pH ต่ำกว่าสภาวะอื่นๆ คือ ค่า pH อยู่ในช่วง 8.01-8.31

ตารางที่ 2 ค่า pH ของกระดาษสาก่อนและหลังการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

กระดาษสา	ค่า pH ของกระดาษสาก่อนและหลังการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ									
	ค่า pH ของกระดาษสาก่อนและหลังการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ									
	25 °C		30 °C		35 °C		40 °C		45 °C	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
	อบ	อบ	อบ	อบ	อบ	อบ	อบ	อบ	อบ	อบ
A1	8.28	8.44	7.91	8.15	8.27	8.46	7.91	8.51	7.94	8.83
A2	8.30	8.47	7.93	8.10	8.27	8.41	7.92	8.56	7.93	8.63
A3	8.30	8.45	7.94	8.23	8.27	8.58	7.94	8.53	7.95	8.65
B0	8.29	8.42	7.90	7.91	8.28	8.46	7.91	8.35	7.91	8.72
B1	8.27	8.42	7.93	8.04	8.27	8.41	7.93	8.57	7.95	8.66
B2	8.28	8.44	7.93	8.03	8.28	8.35	7.92	8.41	7.94	8.42
C1	8.18	8.33	7.83	8.01	8.09	8.38	7.85	8.53	7.86	8.60
C2	8.19	8.35	7.84	8.30	8.13	8.50	7.83	8.52	7.89	8.63
น้ำเปล่า	8.22	8.44	7.91	8.31	8.18	8.46	7.93	8.51	7.90	8.59

มาตรฐานกระดาษสาตามแหล่งการผลิต

จากผลการทดสอบกระดาษสาที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปในพื้นที่ภาคเหนือ โดยงานวิจัยดังกล่าวได้ทำการจัดทำมาตรฐานในระยะที่ 1 โดยทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ของกระดาษสาจาก 3 แหล่งการผลิต ประกอบด้วยกระดาษสาบ้านนาเหลือง อำเภอเวียงสา จังหวัดน่าน (เบอร์ 1-3, A1-A3) กระดาษสาบ้านสะเนียน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน (เบอร์ 0-2, B0-B2) และกระดาษสาบ้านแยง อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก (เบอร์ 1-2, C1-C2) พบว่า สมบัติพื้นฐานของกระดาษสากลับ 3 แหล่งผลิต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยกระดาษสาบ้านสะเนียนมีค่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนา ค่าการดูดซึมน้ำ ค่าความต้านแรงดึงขาดของกระดาษมากกว่ากระดาษสาจากแหล่งผลิตอื่นๆ แต่กระดาษสาบ้านแยงจะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าแหล่งผลิตอื่นๆ ค่ามาตรฐานต่างๆ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระดาษสาตามแหล่งผลิตสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปมาตรฐานของกระดาษสาจากแหล่งต่าง ๆ

กระดาษสา	L (mm) (SD)	W (g/m ²) (SD)	ρ (kg/m ³) (SD)	A (g,(%)) (SD)	S ₁ (kN/m) (SD)	S ₂ (kN/m) (SD)	ราคา (บาท/แผ่น)
A1	0.358 (0.022)	117.475 (7.978)	328.142 (19.72)	4.56,(389%) (0.39)	11.758 (1.679)	0.780 (0.146)	8.00
A2	0.263 (0.023)	84.373 (8.777)	320.810 (33.42)	3.50,(462%) (0.16)	8.693 (1.734)	0.633 (0.118)	7.00
A3	0.150 (0.017)	51.152 (5.001)	341.013 (56.06)	3.04,(413%) (0.11)	7.944 (2.417)	0.422 (0.102)	6.00
B0	0.361 (0.034)	127.590 (14.579)	353.435 (18.21)	5.31,(374%) (0.18)	16.516 (2.352)	0.686 (0.105)	9.00
B1	0.360 (0.021)	123.548 (6.228)	343.189 (12.41)	6.00,(405%) (0.40)	16.811 (2.760)	1.089 (0.126)	8.50
B2	0.372 (0.056)	124.712 (25.710)	335.247 (27.05)	4.89,(395%) (0.35)	12.616 (1.938)	0.767 (0.143)	7.00
C1	0.346 (0.048)	132.802 (19.060)	383.821 (39.31)	4.72,(330%) (0.12)	13.860 (1.728)	0.978 (0.137)	9.00
C2	0.196 (0.020)	75.913 (10.339)	387.311 (50.43)	3.05,(384%) (0.12)	6.789 (1.001)	0.470 (0.091)	8.00

หมายเหตุ.

L ความหนา (mm); W น้ำหนักมาตรฐาน (g/m²); ρ ความหนาแน่น (kg/m³); A ความสามารถดูดซึมน้ำ (g,%)S₁ ความต้านแรงดึงขาดที่สภาวะแห้ง (kN/m); S₂ ความต้านแรงดึงขาดที่สภาวะเปียก (kN/m)

สรุปผลการศึกษา

ปัจจุบันระบบทำความเย็นแบบระเหยได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง ทั้งในงานทางด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยแผ่นเซลล์ทำความเย็นที่ใช้ในระบบทำความเย็นแบบระเหยเป็นแผ่นเซลล์ทำความเย็นเชิงพาณิชย์ที่ทำมาจากกระดาษเหนียวมีสมบัติดูดซึมน้ำได้ดี ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาแพง ความสามารถในการลดอุณหภูมิขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซึมน้ำของแผ่นเซลล์ทำความเย็น ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ ดังนั้นการนำกระดาษที่เป็นสินค้าเกษตรที่หาง่ายและราคาถูกมาทำเป็นแผ่นเซลล์ทำความเย็นจึงเป็นอีกแนวทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยการเลือกชนิดของกระดาษและสมบัติของกระดาษให้มีความเหมาะสมจะช่วยลดต้นทุนในการผลิตลง ฉะนั้นการศึกษาสมบัติของกระดาษก่อนนำมาแปรรูปเป็นแผ่นทำความเย็นสำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหยจึงจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะความสามารถดูดซึมน้ำและความต้านทานแรงดึงขาดที่เป็นตัวแปรสำคัญของแผ่นทำความเย็น

จากการศึกษาพบว่า กระดาษสามีความสามารถดูดซึมน้ำสูงกว่าแผ่นเซลล์ทำความเย็นเชิงพาณิชย์และแผ่นทำความเย็นที่ทำจากกระดาษหนังสือพิมพ์ประมาณ 402% และ 312% ตามลำดับ มีค่าความต้านทานแรงดึงขณะแห้งและเปียกสูงสุด ประมาณ 16.811 kN/m และ 1.089 kN/m ตามลำดับ อีกทั้งยังค่า pH ไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิ 25-45 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิแวดล้อมใช้งานของแผ่นทำความเย็น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำกระดาษสามาใช้ผลิตเป็นแผ่นทำความเย็นแบบระเหย เนื่องจากกระดาษสาเป็นวัตถุดิบที่มีมากในพื้นที่ภาคเหนือ รวมถึงมีราคาค่อนข้างต่ำ ประมาณ 8 บาท/แผ่น (ขนาด 55 cm x 80 cm)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และเครือข่ายภาคเหนือตอนล่าง สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ที่ให้ทุนสนับสนุนวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ นายรินทร์ เชื้อหอม และนายสุกิจ แซ่ย่าง ที่ช่วยเก็บข้อมูล และนายวาทธี ภมร อาจารย์ปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และนางสาวประกายทิพย์ โคตรอาษา เจ้าหน้าที่ศูนย์ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือในการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- บริษัทไทยเคน. (2002). *คุณสมบัติกระดาษกราฟท์*. ไทยเคน จำกัด. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 2 ตุลาคม 2549, จาก <http://www.thaicane.com/tips01.htm>
- ปิยธิดา วิไลจิตต์ และ สุชีรา ขยาย. (2542). *การศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่โดยใช้ระบบทำความเย็นจากการระเหยน้ำ*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ปัทมรัตน์ ศาสตร์สาร, จีรวรรณ เตียรธสุวรรณ, วารุณี เตีย, นันทน์ ถาวรังกูร และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2548, สิงหาคม). *การพัฒนาแผ่นทำความเย็นแบบระเหยจากกระดาษหนังสือพิมพ์*. การประชุมวิชาการ การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 3: เชียงใหม่.
- วุฒินันท์ คงทัด. (2547). *คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของกระดาษสามสมฟางข้าวที่ทำด้วยมือแบบไทยเพื่องานหัตถกรรม และบรรจุภัณฑ์*. สืบค้นข้อมูลเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2548, จาก http://pindex.ku.ac.th/fileresearch/rice_straw%20.pdf
- สมฤดี คุวานนท์. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่ เผยแพร่). *หลากคำถามกับ OZONE และ CFC*. สืบค้นข้อมูล เมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2547, จาก <http://www.ftpi.or.th/dwnld/prdsrv/14000/nana/ozone.pdf>
- Al-Sulaiman, F. (2001). Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling. *Energy Conversion and Management*, 43, 2267-2273.
- Bristow, J., & Kolseth, P. (1986). *Paper structure and properties*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Maneewan, S., & Zeghamati, B. (2004, July). *A hybrid photovoltaic-thermoelectric roof solar collector*. Paper presented at the 23rd International Conference on Thermoelectrics, Adelaide Convention Centre, Australia.