วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 2560 : 35 (1) : 102 -108

สมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากต้นปุด (*Etlingera littoralis* Gieseke)

Thermal Properties for Thermal Insulation from Earth Ginger (*Etlingera littoralis* Gieseke)

อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์[1] และฉันทนา เล็กใจซื่อ[1]
Usavadee Tuntiwaranuruk[1] and Chantana Lekjaisue[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากต้นปุด โดยใช้น้ำยางพาราที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวลเป็นตัวเชื่อมประสานผ่านกระบวนการอัดร้อน โดยแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบชั้นเดียวขนาด 360.0 x 360.0 x 14.9 มม. จากผลการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนด้วยวิธี Standard Test Method for Steady–State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus (ASTM C 177) พบว่าเมื่อความหนาแน่นของแผ่นฉนวนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนเพิ่มขึ้นด้วย โดยแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยของต้นปุดที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 286.7-416.5 กิโลกรัม/ตารางเมตร มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.0737-0.0757 วัตต์/เมตร-เคลวิน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากวัตถุดิบต่างชนิดกัน เช่น เส้นใยกกช้าง เปลือกทุเรียนและใยมะพร้าวโดยพิจารณาที่ค่าความหนาแน่นเดียวกัน พบว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยของต้นปุดมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าแผ่นฉนวนความร้อนจากเส้นใยกกช้างและมีค่าใกล้เคียงกับแผ่นฉนวนความร้อนจากคอนกรีตมวลเบา แสดงให้เห็นว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยของต้นปุดมีสมบัติเหมาะที่จะนำไปประยุกต์เป็นส่วนประกอบในอาคารเพื่อกันความร้อน ฉนวนกันความร้อนจากวัสดุธรรมชาตินอกจากช่วยลดการใช้พลังงานแล้วยังช่วยลดสภาวะโลกร้อนได้ด้วย

คำสำคัญ : ต้นปุด ฉนวนกันความร้อน การนำความร้อน

Abstract

The objective of this research was to study the thermal properties of insulation boards prepared from earth ginger fibers, using rubber latex 50% by mass as a binder. Hot pressing was employed to produce single layered plain thermal insulation boards with the size 360.0 x 360.0 x 14.90 mm. The tested results according to the Standard Test Method for Steady–State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus (ASTM C 177) revealed that an insulation board with the density of 286.70- 416.50 kg/m^3 had the thermal conductivity values ranging of 0.0737-0.0757 W/m.K, which more than insulation broad made from narrow-leaved cattail fibers and approximately equal to auto caved aerated concrete with the same density range. According to the tested results, it can be concluded that an insulation board made from earth ginger fibers were excellent insulation. Insulation made from natural materials not only save energy but also reduce global warming effect.

Keywords: earth ginger, thermal insulation, thermal conductivity

[1]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

จากสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น อันส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์และพืช จากปัญหาเหล่านี้ องค์กรต่างๆ ในหลายประเทศจึงคิดหาวิธีแก้ไขเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากสภาวะโลกร้อน ขณะที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อน ทำให้อาคารบ้านเรือนต่างๆ มักจะมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อปรับอุณหภูมิภายในอาคารให้ลดลง ซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนและพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ก็ได้มาจากการเผาน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหิน ซึ่งปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสู่บรรยากาศ ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์และพืช และมีส่วนทำให้อุณหภูมิบริเวณพื้นผิวโลกร้อนขึ้น (ปานทิพย์, 2554) การรักษาอุณหภูมิภายในอาคารบ้านเรือนให้เย็นโดยการนำฉนวนกันความร้อนมาสกัดกั้นความร้อนจากภายนอกไม่ให้แพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่การผลิตฉนวนกันความร้อนจากวัสดุบางชนิดมีปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อสุขภาพของคนงานผู้ผลิตและผู้บริโภค เช่น ฉนวนกันความร้อนจากใยสังเคราะห์ ฉนวนวัสดุสังเคราะห์ เป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงเกิดความคิดที่จะผลิตฉนวนกันความร้อนจากวัสดุที่ได้จากพืชที่เจริญเติบโตตามธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่นได้แก่ ต้นปุด (earth ginger, *Etlingera littoralis Gieseke*)(Figure 1) ส่วนที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำแผ่นฉนวนประกอบด้วย เส้นใยใบ (a) เปลือกนอก (b) และแกนในของต้นปุด (c) โดยนำมาทำการขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนเพื่อช่วยลดผลกระทบจากสภาวะโลกร้อน อันเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับวัสดุที่มีอยู่ตามธรรมชาติที่ปกติไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ และตรงกับแนวคิดในการแก้ไขปัญหาในการช่วยลดสภาวะโลกร้อนได้

(a) (b) (c)

Figure 1 Parts of earth ginger that used to make an insulation board; leaves (a) outer shell (b) inner core (c).

อุปกรณ์และวิธีการ

ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยและการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนแสดงในแผนภาพ (Figure 2) ดังนี้

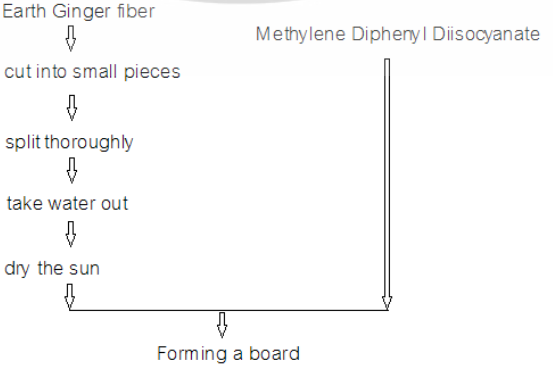


Figure 2 Diagram showed fibers preparation and insulation board forming.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ขั้นตอนและวิธีการเตรียมเส้นใยของต้นปุดแสดงใน Figure 3 (a-f) ประกอบด้วย การสับต้นปุดให้เป็นชิ้นเล็กๆ (a) แล้วนำไปตำกับครก (b) นำไปปั่น (c) เพื่อให้เส้นใยมีความละเอียดขึ้น พร้อมกรองเพื่อแยกน้ำกับเส้นใย (d) โดยบีบน้ำออก (e) สุดท้ายนำเส้นใยตากแห้งใช้ระยะเวลาประมาณ 1- 2 วัน (f)

(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Figure 3 Preparation of earth ginger fibers for insulation board forming (a-f).

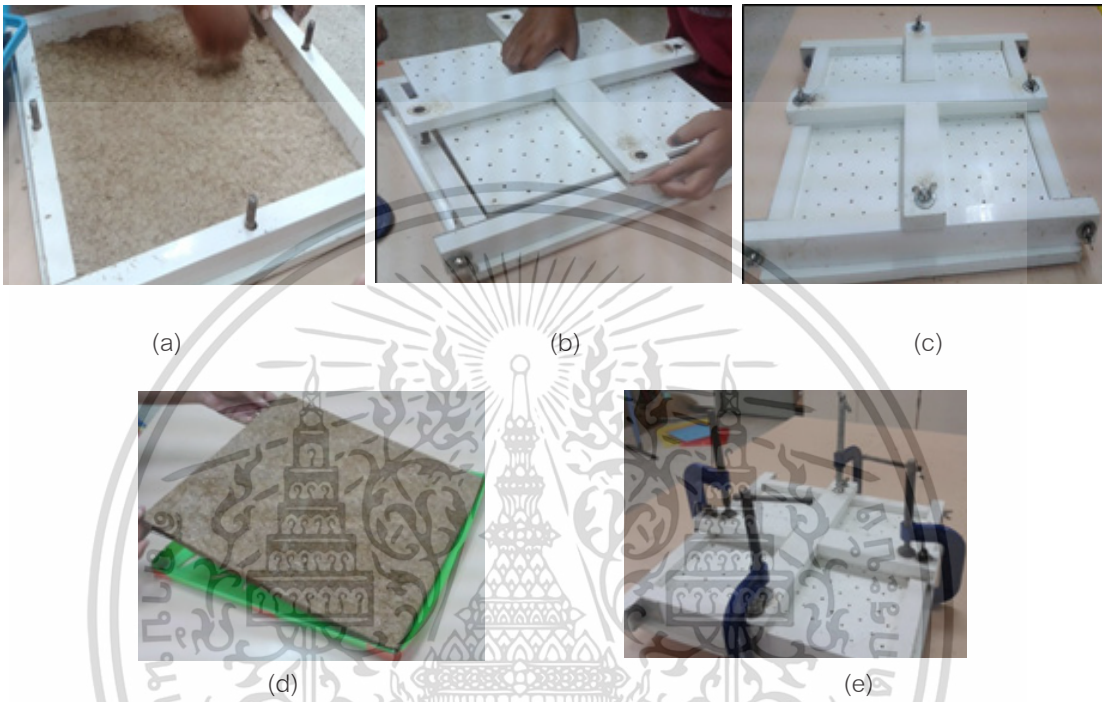
2. การขึ้นรูปแผ่นฉนวนด้วยวิธีการพ่นละอองฝอยในงานวิจัยนี้ได้เลือกน้ำยางธรรมชาติที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยมวล ใส่กระบอกฉีดน้ำยางพารา และฉีดให้มีละอองแบบฝอย เพื่อผสมกับเส้นใยให้ทั่วถึงเพื่อใช้เป็นกาวประสานการขึ้นรูปของแผ่นฉนวน (Figure 4, a–c) หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้น้ำยางเกิดการคงรูปยึดจับกับเส้นใยของต้นปุด

(a) (b) (c)

Figure 4 Preparation of methylene diphenyl diisocyanate (a-c).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การผลิตแผ่นฉนวน (Figure 5, a-e) โดยนำเส้นใยใส่ในบล็อกเพื่อขึ้นรูปฉนวน (a) อัดแผ่นด้วยฝาบล็อก (b) แล้วนำไปตากแดด (c) และแกะออกจากบล็อกไม้มาใส่บล็อกพลาสติกอัด (d) แล้วนำไปใส่ในบล็อกไม้ที่กดด้วยปากกาอัดไม้ (C-clamp) (e) โดยจะได้แผ่นฉนวนที่ทำจากเส้นใยใบ เปลือกและแกนในของต้นปุดที่มีความกว้าง 360.0 ความยาว 360.0 mm และความหนา 14.9 มม. (Figure 6, a-c)



(a) (b) (c)

(d) (e)

Figure 5 Insulation board forming by earth ginger fibers (a-e).

(a) (b) (c)

Figure 6 Insulation board made of leaves; (a) outer shell, (b) and inner core, (c) of earth ginger.

ผลการทดลองและวิจารณ์

งานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบค่าการเป็นฉนวนความร้อนตามมาตรฐาน ASTM-C177 ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ระบุถึงลักษณะและสมบัติต่างๆ ที่ต้องการของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ ระบบหรือการใช้งาน ข้อกำหนดเหล่านี้จะแสดงค่าเป็นตัวเลขและมีข้อจำกัดเอาไว้พร้อมทั้งวิธีหาค่าเหล่านั้นเอาไว้ด้วย ข้อกำหนดในการทดสอบค่าการนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C177-97 จะทดสอบด้วยเครื่อง Thermal Conductivity Analyzer ที่เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และตรวจสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุโดยวิธี Steady State คือการให้สภาวะการคงตัวของเครื่องทดสอบโดยที่อุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อน (hot plate) กำหนดที่ 37.7 ^{O}C อยู่ด้านบนของชิ้นงานและการทดสอบอุณหภูมิของแผ่นระบายความร้อน (cold plate) กำหนดที่ 10.0 ^{O}C อยู่ด้านล่างของชิ้นงานในขณะทำการทดสอบ Cooling equipment จะเป็นการให้อุณหภูมิความเย็นด้วยน้ำที่อุณหภูมิ10.0-15.0 ^{O}C ตลอดเวลาในการทดสอบและอุณหภูมิห้องในขณะทำการทดสอบจะอยู่ที่ 25.0-26.0 ^{O}C โดยการให้ความร้อนผ่านชิ้นงานและวัดค่าผลต่างของอุณหภูมิที่ด้านบนและด้านล่างของชิ้นงาน ซึ่งเครื่อง Thermal Conductivity Analyzer จะรายงานผลเป็นค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

จากการทดสอบค่าการนำความร้อนจากเส้นใยใบ เส้นใยเปลือกนอกและเส้นใยแกนในของต้นปุดอย่างละ 3 ตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM-C177 (Standard Test Method for Steady–State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus) ด้วยเครื่องมือ Thermal Conductivity Analyzer ณ สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ค่าเฉลี่ยในการทดสอบค่าการนำความร้อนจากเส้นใยใบ เปลือกนอกและแกนในของต้นปุด 0.0752 W/mK, 0.0757 W/mK และ 0.0737 W/mK ตามลำดับ และความหนาแน่นจากเส้นใยใบ เปลือกนอกและแกนในของต้นปุดมีค่าเท่ากับ 416.5 kg/m^3, 386.7 kg/m^{3}และ 379.2 kg/m^3 ตามลำดับ แสดงว่าความหนาแน่นมีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติความเป็นฉนวนและการลดความร้อน โดยฉนวนความร้อนที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีกว่าฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่นมากเนื่องจากความหนาแน่นที่มากขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น (ตระการ, 2537) และจากการทดสอบในงานวิจัยนี้พบว่าแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยใบเปลือกนอกและแกนในของต้นปุดมีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกับแผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยกกช้าง (Thitiwan *et al*., 2012) ฉนวนจากเปลือกทุเรียนและฉนวนจากใยมะพร้าว (Khedari *et al*., 2004) ฉนวนจากฟางและข้าวสาลี (Zhou *et al*., 2010) ฉนวนจากเส้นใยจากเปลือกต้นฝ้าย (Zhou *et al*., 2010) (Table 1) แสดงให้เห็นว่าค่าการนำความร้อนของฉนวนความร้อนของต้นปุด

ไม่ว่าจะเป็นจากเส้นใยใบ เปลือกนอก แกนใน เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนได้ทั้ง 3 ส่วน เนื่องจากค่าการนำความร้อนจากเส้นใยของต้นปุดมีค่าใกล้เคียงกับค่าการนำความร้อนจากฝ้าย แม้ว่าแผ่นฉนวนจากส่วนต่างๆ ของต้นปุดจะมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าฉนวนจากเส้นใยกกช้าง เปลือกทุเรียน ใยมะพร้าว ฟางข้าวสาลี ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากพืชที่เจริญเติบโตตามธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่น แต่ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากต้นปุดก็ยังอยู่ในช่วงของการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี

Table 1 Thermal conductivity of insulation boards made by various plant materials.

Board type	Density (kg/m^3)	Thermal conductivity (W/mK)	Source
Earth gingerouter shell fiber	286.7	0.0757	Present study
Earth gingerinner core fiber	379.2	0.0737	Present study
Earth ginger leave fiber	416.5	0.0752	Present study
Wheat straw board	150.0-250.0	0.0481-0.0521	Zhou *et al.* (2010)
Cotton stalk fiber	150.0-450.0	0.0585-0.0815	Zhou *et al.* (2010)
Narrow-leaved cattail fiber	200.0-400.0	0.0438-0.0606	Thitiwan *et al.* (2012)
Durian peel and coconut coir	311.0-611.0	0.0728-0.1117	Khedari *et al.* (2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้านำค่าการนำความร้อนของฉนวนความร้อนจากต้นปุด 0.0737-0.0757 W/m K มาเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนของฉนวนความร้อนที่มีใช้ในเชิงพาณิชย์ (Berit, 2007) พบว่าค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนที่ทำจากต้นปุดมีค่าใกล้เคียงกับค่าการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาซึ่งมีค่าการนำความร้อน 0.0754-0.0761 W/m K และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนของฉนวนความร้อนจากเอกสารเผยแพร่แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างสำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (Tanunchai, 2006) พบว่าค่าการนำความร้อนของฉนวนความร้อนจากต้นปุด มีค่าน้อยกว่าค่าการนำความร้อนของไฟเบอร์ซีเมนต์ แผ่นไม้อัด และแผ่นยิบซัม ที่มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.1250, 0.1380 และ 0.190 W/m K ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Thermal conductivity of insulation boards made by various materials.

Board type	Density (kg./m^3)	Thermal conductivity (W/m.K)	Source
Earth gingerleave fiber (ASTM-C177)	286.7-416.5	0.0737-0.0757	Present study
Autoclaved aerated concrete	330.0-350.0	0.0754-0.0761	Berit *et al.* (2007)
Cement fiber	1,100.0-1,300.0	0.1250	Tanunchai *et al.* (2006)
Plywood board	528.0	0.138	Tanunchai *et al.* (2006)
Gypsum board	800.0	0.190	Tanunchai *et al.* (2006)

หากพิจารณาจากลักษณะภายนอกของเส้นใยของต้นปุด แผ่นฉนวนกันความร้อนของเส้นใยของต้นปุดในส่วนที่เป็นใบ จะเล็กละเอียดเกาะตัวกันค่อนข้างดี แกนในจะมีเส้นใยที่ใหญ่กว่า อ่อนนุ่มเกาะตัวกันดีมาก ส่วนเส้นใยจากเปลือกนอกจะมีขนาดใหญ่กว่าส่วนอื่น ๆ และแข็งกว่าเล็กน้อยแต่เกาะตัวกันดีมาก เมื่อนำมาทำเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อน เส้นใยจากใบจะได้เป็นแผ่นฉนวนความร้อนที่เรียบที่สุด ถัดมาจะได้เป็นแผ่นฉนวนความร้อนที่ทำจากแกนในของต้นปุดและจะได้เป็นแผ่นฉนวนความร้อนที่ขรุขระมากที่สุดคือส่วนที่เป็นเส้นใยที่ได้จากเปลือกนอกของต้นปุด

สรุปผลการทดลอง

การวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนของต้นปุดโดยทำการขึ้นรูปฉนวนให้มีขนาด 360.0 x 360.0 x 14.9 มม. และนำมาทดสอบค่าการนำความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่าแผ่นฉนวนจากเส้นใยของต้นปุดไม่ว่าจะเป็นเส้นใยใบ เปลือกนอกและแกนในสามารถที่จะเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีโดยแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยของต้นปุดที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 286.7-416.5 กิโลกรัม/ตารางเมตร มีค่าการนำความร้อนระหว่าง 0.0737-0.0757 W/m.K โดยมีข้อเสนอแนะในการชั่งน้ำหนักของเส้นใยให้ได้ปริมาณที่มีน้ำหนักเท่ากันแล้วอัดด้วยเครื่องไฮโดรลิกส์ซึ่งจะส่งผลให้มีความหนาแน่นของชิ้นงานที่เท่ากันค่าที่ได้จะมีผลต่อสัมประสิทธิ์การนำความร้อนใกล้เคียงกันทุกแผ่นและควรมีการพัฒนาเป็นการนำเส้นใยผสมกับน้ำยางปั่นกวนให้เข้ากันแล้วรีดขึ้นรูปตามกระบวนการการผลิตลามิเนตซึ่งจะทำให้ฉนวนสามารถม้วนงอได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์และทดสอบค่าการนำความร้อนของตัวอย่างชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ตระการ ก้าวกสิกรรม. 2537. คู่มือฉนวนความร้อน. กรุงเทพมหานคร.นำอักษรการพิมพ์.กรุงเทพ. 312 น.

ปานทิพย์ อัฒนวานิช. 2554. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. กรุงเทพมหานคร.สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 224 น.

Sampathrajan, A., N.C. Vijayaraghavan and K.R. Swaminathan. 1992. Mechanical and thermal properties of particle boards made farm from residues.Bioresource Technology. 40:249-251.

Gurjar, R.M. 1995. Effect of different binders on properties of particle board from cotton seed hulls with emphasis on water repellency. Bioresource Technology. 43:177-178.

Khedari,J.,N. Noppanun,H. Jongjit and C. Sarocha.2004. New low cost insulating particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. Building and Environment. 39:59-65.

Tanunchai, P., P. Pantuda., W., Oonjittichai. And P. Tisavipat. 2006. Thermal resistance efficiency of building insulation material from agricultural waste.Journal of Architectural/Planning Research and Studies. 4: 3 – 13.

Berit Straube and H. Walther. 2008. AAC with low thermal conductivity. Germany. 27:371-373.

Guntekin, E. and B. Karakus. 2008. Feasibility of using eggplant (*Solanum melongena*) stalks in the production of experimental particleboard. Ind Crop Prod. 27:354-358.

Rachtanapun, P., K. Loiloes and D. Jaikeankeaw. 2010. Effects of blended starch adhesive contents and particle size of tamarind hulls on properties of particleboard. Proc. the 48th Kasetsart University Annual Conf. 3- 5 February 2010. Agro-industry.

Zhou, XY., F. Zheng, Li HG and Lu CL. 2010. An environmental-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. Energy and Buildings ;42:1070-1074.

American Society of Testing and Materials. Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus (C 518), 2010. West Conshohocken, PA 19428-2959, United Stated. p.152-166.

Thitiwan, L., C. Sutharat and J. Songklod. 2012. A study of physical, mechanical and thermal properties for thermal insulation from narrow-leaved cattail fibers. APCBEE Procedia. 1: 108 – 113.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้