

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับวัดความเป็นตัวนำความร้อนของแผงรูปกล่อง

Design and Constuction of a Device for Measuring

Thermal Conductance of Box-panel

มิ่ง โลกิขมสงทอง\*

บทคัดย่อ

บทความนี้อธิบายการออกแบบและสร้างมาตรวัดความนำความร้อนสำหรับวัสดุในรูปแบบของแผงหรือกล่องประกอบสำเร็จ อุปกรณ์มีความสามารถในการครอบคลุมการวัดความนำความร้อนของวัสดุได้หลายชนิดและหลายรูปแบบ เนื่องจากอุปกรณ์ได้สร้างขึ้นมาจากท้องถิ่น จึงมีความสำคัญต่อการศึกษาทางวิศวกรรมและงานวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิจัยด้านการหุ้มฉนวนกันความร้อน

โครงสร้างของอุปกรณ์นี้เป็นชนิดกล่องร้อนแบบมีกำบัง ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานASTM อุปกรณ์ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญสามส่วนได้แก่ กล่องกำบัง กล่องเย็น กล่องมาตรวัด ขนาด 160x160x125 cm 148x134x75 cm. 85x85x65 cm ตามลำดับ เครื่องสามารถใช้กับชิ้นงานทดสอบได้ถึงขนาด 150x150x15 cm ในรูปของแผงแบบกล่อง

ลักษณะสำคัญของเครื่องอยู่ที่ ไม่ต้องวัด อัตราการไหลของความร้อนและความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ บทความนี้อธิบายผลการทดสอบไว้ด้วยโดยสังเขป

Abstract

This paper describes the design and construction of a thermal conductivity meter for materials in the form of panel or fabricated box. The instrument has a capacity to cover the measurement of thermal conductivity for a wide range of material and construction. Being totally locally constructed, it will have some importance in engineering education and in research, especially the research in thermal insulation.

The structure of this measuring device is of the Guarded Hot Box type which is in compliance with the ASTM standard. It consists of three main components, i.e., the guard box, the cold box, and the metering box with the size of 160x160x125, 148x134x75, and 85x85x65 cm respectively. The test specimen of the size up to 150x150x15 cm, in the form of box-panel can be easily accommodated in this instrument.

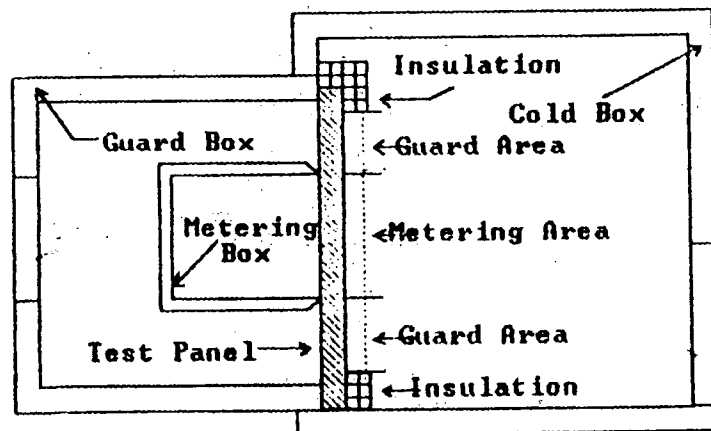
The main features of the device are that heat flux measurement will not be necessary and its mobility can be accounted for. This paper also describes briefly some of the test result.

---

\*อาจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทนำ

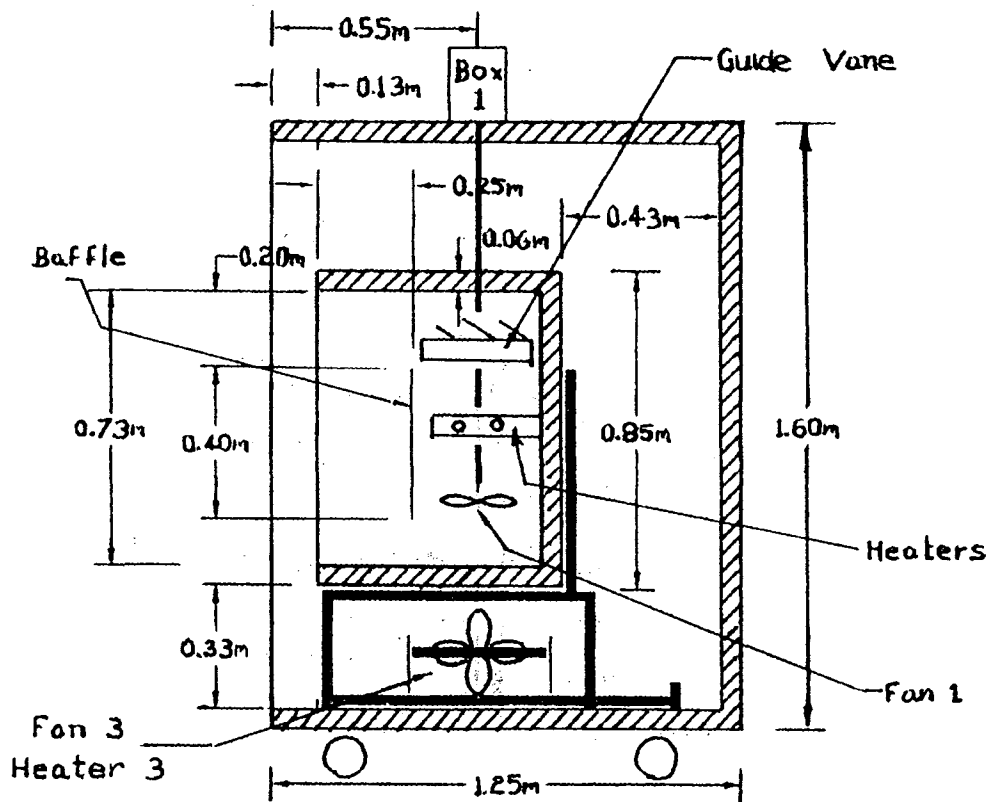
การควบคุมการถ่ายเทความร้อน ในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเข้าเป็นจะต้องอาศัยวิธีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะของการหุ้มฉนวนก็จะแตกต่างกันออกไปตามแต่รูปร่างของระบบที่ควบคุม ส่วนจำนวนชั้นที่หุ้มและชนิดของวัสดุที่ใช้กันก็ขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิที่ต้องการ ในกรณีของระบบที่มีรูปร่างเป็นแผ่นระนาบซึ่งเมื่อทำการหุ้มฉนวนแล้วก็จะอยู่ในลักษณะคล้ายแผงรูปกล่อง ซึ่งมีการจัดรูปแบบไปได้หลายประการ เช่น อาจเป็นแผ่นวัสดุฉนวนวางกันอยู่ด้วยช่องอากาศ การคำนวณค่าความเป็นตัวนำความร้อนของระบบแบบนี้จะยังมีความเที่ยงตรงน้อยลง เมื่อระบบมีการจัดรูปแบบซับซ้อนยิ่งขึ้น เมื่อเป็นเช่นนี้ค่าความเป็นตัวนำความร้อนที่เชื่อถือได้จะมาจากการวัดจากของจริงหรือใกล้เคียงของจริง เทาที่ปรากฏอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดนี้ ยังไม่มีออกมาใช้กันให้เห็นเป็นที่แพร่หลายในประเทศไทย แต่ในต่างประเทศได้มีมาตรฐานกำหนดวิธีการทดสอบหาค่าความเป็นตัวนำความร้อน สำหรับระบบแผงรูปกล่องไว้หลายวิธี วิธีหนึ่งที่ได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน [1] คือวิธีกล่องร้อนแบบมีกำบัง จุดเด่นของวิธีนี้ก็คือการที่มีกล่องมาตรวัดสำหรับวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนอยู่ในกล่องร้อนที่มีกำบังไว้อย่างมิดชิด เพื่อให้ความร้อนภายในกล่องมาตรวัดผ่านผิวของฉนวนทดสอบได้เพียงด้านเดียวเท่านั้น นอกจากนี้วิธีนี้จะใช้ทดสอบกับแผงรูปกล่องแล้ว ยังใช้ได้กับวัสดุแผ่นเนื้อเดียวกันได้อีกด้วย ตามแนวทางที่ได้กำหนดเป็นมาตรฐานนี้ อุปกรณ์สำหรับวัดความเป็นตัวนำความร้อนของแผงรูปกล่องจึงได้รับการออกแบบและสร้างขึ้นมา



รูปที่ 1 ลักษณะการจัดวางของอุปกรณ์และชิ้นทดสอบ

## ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์

ส่วนประกอบสำคัญได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 ในส่วนของห้องมาตรฐานวัด ประกอบด้วย Heater แบบ Fin ขนาด 700 W สองตัว, ไม้พัดลมนิยิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 in แบบจุด หนึ่งใบ, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 0.24 A 250 V หนึ่งตัว, Thermocouple Probe วัดอุณหภูมิของอากาศชนิด K ติดตั้งภายใน หนึ่งตัว, Thermocouple Probe วัดอุณหภูมิของอากาศชนิด K ติดตั้งภายนอก หนึ่งตัว, สายไฟทนความร้อนห้าตัว ในส่วนของห้องกำบัง ประกอบด้วย Heater แบบ Fin ขนาด 700 W สองตัว, ไม้พัดลมนิยิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 in แบบเป่า สองใบ, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 0.24A 250Vสองตัว, Thermostat สองตัว, สายไฟทนความร้อน. ในส่วนของห้องเย็น ประกอบด้วย Compressor แบบลูกสูบ ขนาด 3/8 hp หนึ่งตัว, ขดลวดทองแดงของอินวปโรเตอร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm, เครื่องควบคุมแบบของไหล แบบไหลสองทางสวนกัน, ชุด Guide Vane, Thermocouple Probe วัดอุณหภูมิของอากาศ ชนิด K, สายไฟทนความร้อน



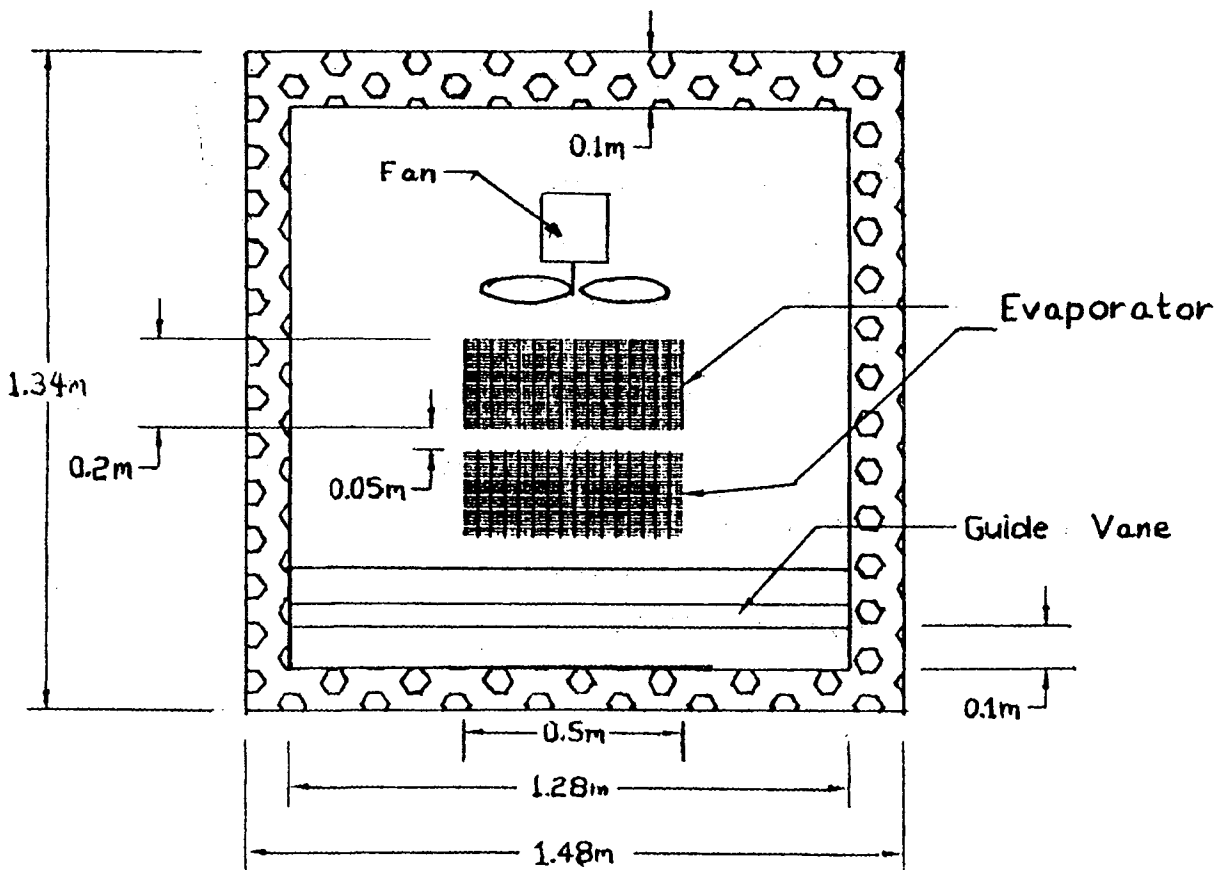
รูปที่ 2 ขนาดและการจัดวางอุปกรณ์ของห้องมาตรฐานวัดและห้องกำบัง

**การออกแบบ**

**กล่องมาตรฐาน**

จากมาตรฐาน [1] ได้กำหนดรูปแบบและลักษณะทั่วไปของโครงสร้างกล่องมาตรฐานไว้กล่าวคือ ขนาดของกล่องมาตรฐานขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงานทดสอบ แต่โดยทั่วไปแล้วจะใช้ขนาดที่มีขนาดกว้าง 32 in หรือ 48 in และขนาดของความสูงไม่ควรน้อยกว่าขนาดของความกว้าง ส่วนความลึกของกล่องไม่ควรลึกมากเกินไปจนทำให้การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ วัสดุที่เลือกใช้สำหรับทำกล่องมาตรฐาน ควรมีค่าความเป็นตัวนำความร้อนไม่เกิน  $0.2 \text{ Btu}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ft}^{-2}\cdot^{\circ}\text{F}^{-1}$  ตลอดทั่วทั้งกล่อง สำหรับขอบของกล่องที่สัมผัสกับโรงงานทดสอบ ควรทำการฉนวนขอบด้านนอกให้หนาไม่เกิน 1/2 in เพื่อฉนวนกัน โดยพื้นที่ที่ทำการทดสอบของโรงงานทดสอบจะอยู่ระหว่างกึ่งกลางของปะเก็นทั้งสอง สี่ด้าน

ขั้นตอนในการออกแบบกล่องมาตรฐาน[2] ประกอบไปด้วย 1. การออกแบบขนาดของกล่อง 2. การเลือกวัสดุและจำนวนสำหรับทำตัวกล่อง 3. การคำนวณหาความหนาของฉนวนที่ใช้เพื่อให้ได้ตามข้อกำหนดของ มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 8 ขนาดและการจัดวางอุปกรณ์ของกล่องเย็น

เลือกขนาดความกว้างและความยาวของกล่องเท่ากับ 32 in หรือประมาณ 0.8 m วัดจากตำแหน่งกึ่งกลางของฉนวน วัสดุที่เลือกใช้ทำเป็นผนังของกล่องมาตรฐานวัดเลือกใช้แผ่นสแตนเลสหนา 1.5 mm เนื่องจากมีความแข็งแรงทนและมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ ส่วนฉนวนเลือกใช้ Rock Wool หนา 50 mm ค่าความเป็นตัวนำความร้อนของผนังกล่องมาตรฐานวัดจะมีค่าเท่ากับ  $0.13 \text{ Btu}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ft}^{-2}\cdot\text{F}^{-1}$

### กล่องกำบัง

จากมาตรฐาน[1] ได้กำหนดรูปแบบและลักษณะทั่วไปของโครงสร้างของกล่องกำบังไว้ กล่าวคือ ขนาดของกล่องกำบัง ควรมีขนาดใหญ่พอให้มีช่องว่างระหว่างกล่องกำบังและกล่องมาตรฐาน โดยมีระยะห่างระหว่างผนังของกล่องทั้งสองไม่น้อยกว่าความหนาของฉนวนทดสอบที่หนาที่สุดในกรณีทั่ว ๆ ไปคือไม่น้อยกว่า 6 in เพื่อให้อุณหภูมิที่แตกต่างกันของอากาศภายในกล่องกำบัง และพื้นผิวด้านในของกล่องกำบังมีค่าน้อย วัสดุที่เลือกใช้ทำกล่องกำบังควรมีค่าความเป็นตัวนำความร้อนไม่เกิน  $0.1 \text{ Btu}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ft}^{-2}\cdot\text{F}^{-1}$  ซึ่งก็จะมิผลทำให้การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในกล่องกำบังน้อยเมื่อเทียบกับความร้อนที่ถ่ายเทจากกล่องกำบังไปยังฉนวนทดสอบ

ขั้นตอนในการออกแบบกล่องกำบัง[2] ประกอบไปด้วย 1. การเลือกวัสดุและฉนวนสำหรับทำตัวกล่อง 2. การคำนวณหาความหนาของฉนวนที่ใช้เพื่อให้ได้ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ที่ได้กำหนดไว้ 3. การออกแบบขนาดของกล่องกำบัง ให้สอดคล้องกับขนาดของกล่องมาตรฐาน

สำหรับวัสดุและฉนวนที่ใช้ทำผนังของกล่องกำบัง จะใช้วัสดุและฉนวนเหมือนกับผนังของกล่องมาตรฐาน คือ ใช้แผ่นสแตนเลส และ ฉนวน Rock Wool ให้ค่าความเป็นตัวนำความร้อน ประมาณ  $0.1 \text{ Btu}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ft}^{-2}\cdot\text{F}^{-1}$  ตามที่มาตรฐานได้แนะนำไว้

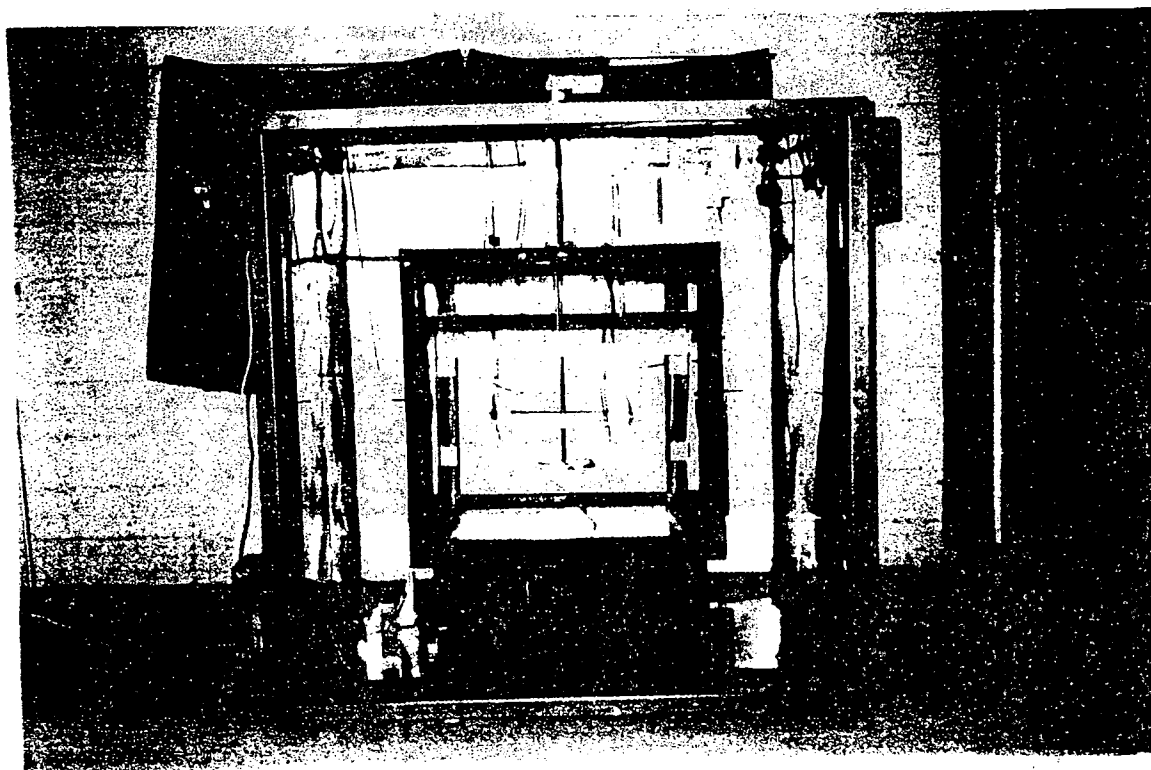
เนื่องจากการออกแบบขนาดของกล่อง สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือพื้นที่ว่างระหว่างผนังของกล่องกำบัง และตัวกล่องมาตรฐาน ซึ่งจะคิดถึงอุปกรณ์ต่างๆ เช่น พัดลมและ Heater รวมทั้ง Thermocouple สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศภายในกล่องกำบัง เพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศในกล่องกำบัง ให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศในกล่องมาตรฐาน ความมาตรฐานซึ่งกำหนดให้ระยะห่างของผนังของกล่องกำบัง และกล่องมาตรฐานมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 6 in สำหรับระยะห่างของผนังของกล่องกำบัง และกล่องมาตรฐานที่ได้ออกแบบไว้จะมีระยะประมาณ 0.33 m (ประมาณ 13 in ซึ่งมากกว่า 6 in) เพื่อให้มีพื้นที่พอสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้ง Thermocouple ซึ่งมีความยาวประมาณ 0.1m ตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิของอากาศควรอยู่บริเวณกึ่งกลางของพื้นที่ว่างของผนังของกล่องกำบังและกล่องมาตรฐาน ดังนั้นขนาดความกว้างและความยาวของกล่องกำบัง สามารถคำนวณได้เมื่อกำหนดขนาดของกล่องมาตรฐาน และความหนาของแผ่นฉนวนในกล่องกำบัง

### กล่องเย็น

ในการออกแบบส่วนของกล่องเย็น สิ่งที่ต้องพิจารณาก็คือภาระในการทำความเย็นของกล่อง เมื่อต้องทำหน้าที่เป็นแหล่งรับความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทมาจากฉนวนทดสอบ ดังนั้นขั้นตอนในการออกแบบกล่องเย็น[3] จึงประกอบไปด้วย 1. การออกแบบโครงสร้างของกล่องเย็น 2. การคำนวณหาภาระในการทำความเย็นหรือ Load ของระบบทำความเย็นในกล่องเย็น 3. การเลือกอุปกรณ์ทำความเย็นที่สอดคล้องกับค่า

ความสามารถทำความเย็นที่คำนวณได้ในข้อ 2 ได้แก่ อีแวนโปเรเตอร์ คอนเดนเซอร์ คอมเพรสเซอร์ และวาล์วลดความดัน

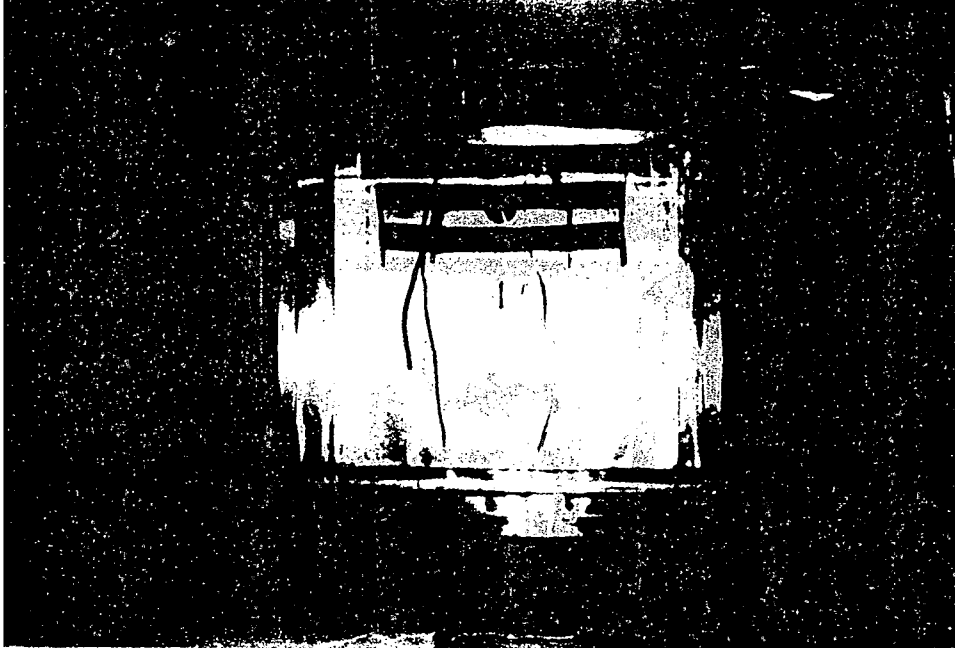
ในการออกแบบโครงสร้างของกล่องเย็น ซึ่งได้แก่ การกำหนดขนาดของกล่องการเลือกวัสดุ และจำนวนกันความร้อนสำหรับทำตัวกล่อง จะต้องออกแบบขนาดของกล่องให้มีขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของกล่องกำบัง เพื่อให้กล่องเย็นคืนเงินงานทดสอบให้คิดแนบกับกล่องกำบังเสมอ โดยวัสดุที่เลือกใช้ทำตัวกล่องเย็นเลือกใช้แผ่นสแตนเลสและเลือกใช้โฟลริบูรีเทนเป็นฉนวนกันความร้อน



รูปที่ 4 ภาพถ่ายจริงของกล่องมาตรวัดและกล่องกำบัง

ภาระในการทำความเย็นทั้งหมด เท่ากับ 30000 Btu/h หรือประมาณ 2.5 ตัน โดยที่อุปกรณ์ของระบบทำความเย็นที่เลือกใช้และรายละเอียดต่าง ๆ จะมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณา ดังต่อไปนี้ อีแวนโปเรเตอร์ เลือกใช้อีแวนโปเรเตอร์แบบท่อเปลือย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm โดยใช้แบบจิกแซ็ก เพื่อให้มีกาทำความเย็นที่ดี การบิอนสารทำความเย็นเลือกใช้แบบ Direct expansion เพราะไม่ต้องการให้มีความชื้นเกิดขึ้น ซึ่งถ้าเลือกใช้แบบ Flooded อาจต้องใช้น้ำหล่อเย็นซึ่งอาจทำให้เกิดความชื้นที่ไม่ต้องการเข้ามาในวงจรไฟ นอกจากนี้แบบ Direct expansion ยังมีราคาถูกกว่าด้วย คอนเดนเซอร์ เลือกใช้คอนเดนเซอร์แบบอากาศหล่อเย็น ซึ่งมีข้อดี คือ ไม่มีปัญหาการบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายขั้นแรกต่ำ การติดตั้งมีปัญหาน้อยกว่าแบบใช้น้ำหล่อเย็น เหมาะกับขนาดภาระน้อย ๆ โดยทำการเลือกจากขนาดที่มีตามท้องตลาดที่สามารถรับภาระของระบบทำความเย็นที่มีความสามารถในการทำความเย็นหรือ Load ประมาณ 30000 Btu/h ขึ้นไป คอมเพรสเซอร์ เลือกใช้คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบเคลื่อนที่ เนื่องจากเหตุผลดังนี้ เป็นแบบที่นิยมใช้กับขนาดภาระการทำความเย็นน้อย ๆ (น้อยกว่า 10 ตัน) ความเร็วการหมุนต่ำ ปลอดภัยในการทำงาน สามารถรักษาความดันที่ด้านส่งได้ค่อนข้าง

ข้างดี ซึ่งเหมาะกับการใช้คอนเดนเซอร์แบบใช้อากาศหล่อเย็น ค่าใช้จ่ายต่ำ วาล์วลดความดัน เลือกใช้วาล์วลดความดันแบบ Capillary tube เพราะเหมาะสำหรับการใช้งานในระบบทำความเย็นที่มีภาระการทำความเย็นในช่วง 1/2 - 3 ตัน ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจะอยู่ในช่วง 1/16-1/8 in.



รูปที่ 5 ภาพถ่ายจริงของกล่องเย็น

## การสร้าง

### กล่องมาตรฐาน

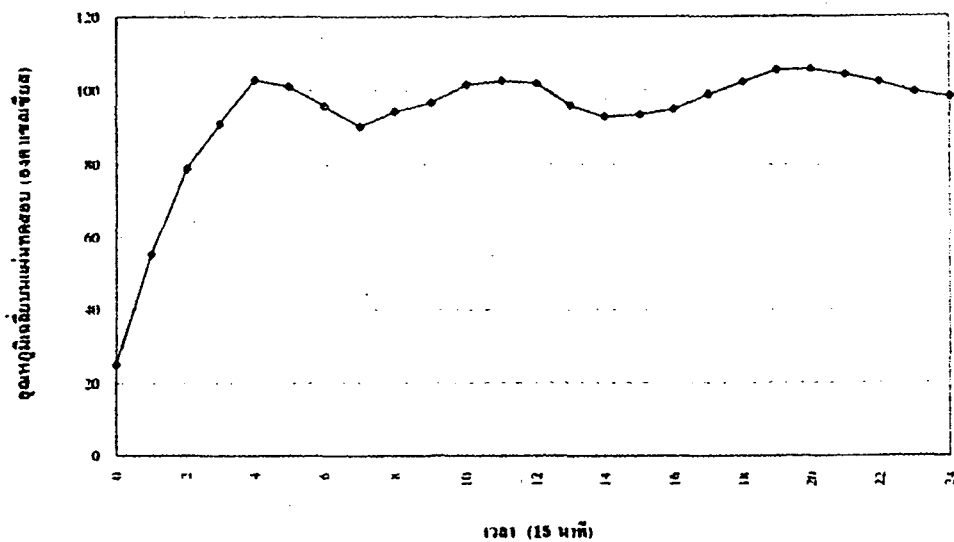
กล่องมาตรฐาน เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความเป็นตัวนำความร้อน ซึ่งจะมีขนาด 85x85x65 cm โดยแบ่งการสร้างกล่องมาตรฐานออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบภายใน ดังแสดงในรูปที่ 2 และ ในรูปที่ 4 โครงสร้าง เหล็กฉากขนาด 4 cm สแตนเลสเบอร์ 20 ฉนวนกันความร้อนชนิด Rock Wool หนา 6 cm ส่วนประกอบภายใน Thermocouple มอเตอร์พัดลม แผ่นบังคับทิศทาง การไหล Heater ขนาด 700 W ปะเก็น

### กล่องกำบัง

กล่องกำบัง เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมให้ความร้อนไหลไปในทิศทางเดียวหรือหนึ่ง มิติ ด้วยการห่อหุ้มกล่องมาตรฐานเอาไว้ซึ่งกล่องกำบังจะมีขนาด 160x160x125 cm โดยแบ่งการสร้างกล่องกำบังออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนโครงสร้างและส่วนประกอบภายในเช่นเดียวกับ กล่องมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2 และในรูปที่ 4 โครงสร้างประกอบด้วยชิ้นส่วนเหมือนในกล่องมาตรฐาน ส่วนประกอบภายใน Thermocouple มอเตอร์พัดลม กล่อง Control box Heater ขนาด 700 W ปะเก็น

## กล่องเย็น

กล่องเย็น เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการรับความร้อนจากก่องกำบัง และกล่องมาครวัด ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 148x134x75 cm โดยจะแบ่งการสร้างกล่องเย็นเป็นสองส่วนคือ ส่วนโครงสร้าง และส่วนประกอบภายใน ดังแสดงในรูปที่ 3 และ ในรูปที่ 5 โครงสร้าง ประกอบด้วย เหล็กฉาก สเตนเลสเบอร์ 20 โพลียูเรเทน ส่วนประกอบภายใน ประกอบด้วย Thermostat มอเตอร์พัดลม คอนเดนเซอร์ คอมเพรสเซอร์ อีแวปโปเรเตอร์ วาล์วลดความดัน Guide vane



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบนผิวร้อนสำหรับแผ่นกระเบื้องใยหิน

## การทดสอบการทำงาน

เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมามีขีดความสามารถในการทำงานได้เพียงใด แผ่นวัสดุ ได้แก่ กระเบื้องใยหิน ฮิปซัมและไม้อัด ได้ถูกนำมาใช้ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยในการนี้ได้ติดตั้งแผ่นทองแดงไว้บนผิวแผ่นขึ้นทดสอบเพื่อวัดพลังงานความร้อนจริงที่ไหลผ่านแผ่นวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกล่องมาครวัด ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบนาน 6 ชั่วโมง การกระจายของอุณหภูมิบนผิวทั้งสองด้านของแผ่นวัสดุ ตลอดเวลาทดสอบ เช่น สำหรับแผ่นกระเบื้องใยหิน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6 และ 7

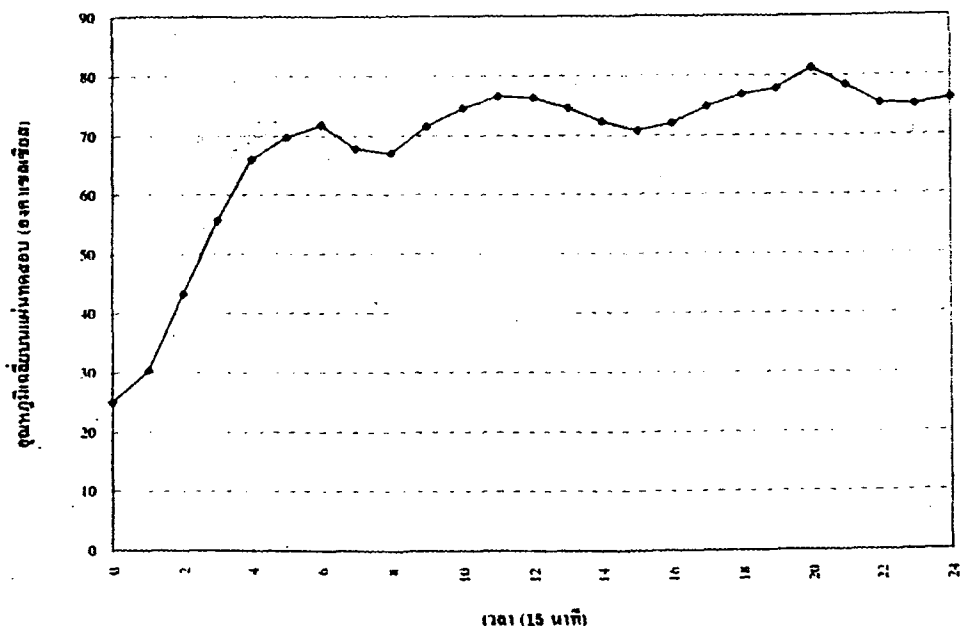
ผลการทดสอบปรากฏว่า พลังงานความร้อนในกล่องมาครวัดมีการถ่ายเทเข้าไปสู่ช่องว่างของก่องกำบัง ประมาณ 13% ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากล่องมาครวัดยังไม่สามารถใช้วัดค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทได้โดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสำหรับแผ่นวัสดุทั้งสามมีความแตกต่างจากค่าที่ให้ไว้ในแหล่งข้อมูลค่อนข้างสูงถึงประมาณ 25ถึง60% แล้วแต่ชนิดของวัสดุ

## สรุป

โครงการสำหรับพัฒนาเครื่องมือวัด ความเป็นตัวนำความร้อนอันนี้เป็นโครงการนำร่อง ซึ่งได้รับผลเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่งและคงจะสร้างแรงกระตุ้นให้มีการศึกษาพัฒนากันต่อไป เพื่อปรับปรุงให้



เครื่องมือทำงานได้ดีขึ้น การสร้างเครื่องมือวัดขึ้นมาตามมาตรฐานสากล ผลการทดสอบย่อมเป็นที่ยอมรับกันในวงกว้างระยะเวลาในอินที่แผ่นวัสดุแต่ละชนิด และแผงรูปกล่องที่มีการจัดรูปแบบต่างกัน จะใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว ต่างกันออกไปในขณะทำการทดสอบ ดังนั้นการจัดเตรียมสถานที่ทดสอบเพื่อการทดสอบในช่วงระยะเวลาชยาวมาก จึงต้องนำมาพิจารณาในอนาคตด้วย



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบนผิวยื่นสำหรับแผ่นกระเบื้องใยหิน

## กิตติกรรมประกาศ

ขอประกาศกิตติกรรมแก่สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้การสนับสนุนในการทำโครงการนี้

## หนังสืออ้างอิง

- [1] ASTM Standard C 236-66 *Standard Test Method for Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Guarded Hot Box*, American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, Pa.19103.
- [2] เกียรติขจร อธิระธรรยา, ขาววิทย์ วงศ์รัตนพรุฑ และถ้ำบุญ นิระขจรบุญ, การพัฒนาเครื่องมือสำหรับวัดความเป็นตัวนำความร้อน, ปรียญานันท์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537

[3] บุรินทร์ ศรีทราวนิชย์ , ทูลีพงศ์ จัชนรงค์ และสุคนธา เขียมกุลวรพงษ์ การพัฒนาเครื่องมือของ เครื่องมือสำหรับวัดความเป็นตัวนำความร้อน , ปริชญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2538