

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

ระบบระบายอากาศบริเวณใต้หลังคาควบคุมอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Automatic Air Ventilation System for Air Space under Roof with Microcontroller

หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ¹

¹ ศูนย์นวัตกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ (IMERs)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล(กำแพงแสน) คณะวิศวกรรมศาสตร์(กำแพงแสน)

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์(กำแพงแสน) จ.นครปฐม 73140

*โทรศัพท์: 034 355 310, โทรสาร: 034 355 310 E-mail: fenghtw@ku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการประยุกต์ใช้ระบบพัดลมระบายอากาศ ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ตรวจอุณหภูมิ เพื่อลดภาระความร้อนที่สะสมอยู่ภายใต้หลังคา ซึ่งในทางการปรับอากาศ ถือได้ว่าเป็นแหล่งภาระความร้อนแหล่งหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากบางครั้งมีอุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส เป็นการเพิ่มภาระการทำงานให้แก่เครื่องปรับอากาศ

ระบบระบายอากาศใต้หลังคาประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ 3 ตัว เพื่อวัดอุณหภูมิภายนอกห้อง อุณหภูมิภายในห้อง และอุณหภูมิพื้นที่ใต้หลังคา ไมโครคอนโทรลเลอร์และพัดลมระบายอากาศ การควบคุมของระบบนี้เป็นการควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศให้ทำการดูดอากาศในบริเวณห้องซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิบริเวณห้องใต้หลังคา โดยควบคุมให้ความแตกต่างระหว่างทั้งสองส่วนไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าระบบนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 30 วัตต์ และลดภาระความร้อนประมาณ 250 วัตต์ที่พื้นที่เพดาน 100 ตารางเมตร เมื่อพิจารณาถึงการคืนทุนพบว่าระบบนี้สามารถคืนทุนภายใน 1 - 1.34 ปี เมื่อใช้ในห้องที่มีการปรับอากาศวันละ 4 - 8 ชั่วโมงต่อวัน นอกจากนี้ยังทำให้ผู้ที่อาศัยในห้องที่ไม่ปรับอากาศรู้สึกสบายไม่ร้อนอีกด้วย

คำหลัก: ระบบปรับอากาศ การประหยัดพลังงาน ระบบระบายอากาศ ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This paper proposed an application of ventilating fan, microcontroller and temperature sensor for reducing accumulated heat within roof house. In air condition, this is a influent cooling load because, it can increase more than 60°C degree in sometime.

The proposed Automatic Air Ventilation System for Air Space under Roof with Microcontroller are including of three temperature sensors, microcontroller and ventilating fan. the system control a difference of temperature within 10 degree of difference between indoor and roof. From experimental result, the system consume energy around 30 watt, But it can be reduce cooling load in 250 watt for area of ceiling equals 100 sq. m. And, this system can replace investment within 1 - 1.34 years, when use 4 - 8 hour per day

Keywords: Air Conditioning, Energy Management, Ventilation System, Microcontroller.

1. บทนำ

ปัจจุบันการประหยัดพลังงานนับว่าเป็นสิ่งที่ต้องกระทำ เนื่องจากการใช้พลังงานที่ฟุ่มเฟือยย่อมนำมาซึ่งภาวะโลกร้อน การปรับอากาศในอาคารบ้านเรือนนั้นเป็นแหล่งการใช้พลังงานที่สูง แต่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้อยู่อาศัยในเขตร้อน ดังนั้นเมื่อต้องใช้พลังงานหรือไฟฟ้าอย่างประหยัดก็ควรที่จะทำการลดภาระความร้อนที่เข้าไปสู่ห้องพักอาศัย วิธีการลดภาระความร้อนโดยทั่วไปเริ่มตั้งแต่การออกแบบบ้านให้อยู่ในทิศทางที่รับแสงน้อย ปรับปรุงภูมิทัศน์รอบบ้านให้เย็นสบายโดยการปลูกต้นไม้ การออกแบบหลังคาโดยใช้วัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงเช่น หลังคาจากหลังคาไม้ หรือใช้วัสดุที่มีผิวมัน วัสดุที่มีผิวโทนสีขาวจะสามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ดี ทำให้อุณหภูมิของหลังคาลดลง การใส่ฉนวนกันความร้อนเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถป้องกันการนำความร้อนผ่านหลังคาเข้าอาคารได้โดยตรง[4] รวมถึงการมีม่านในที่แดดส่อง หรือติดตั้งอุปกรณ์ฉนวนบนหลังคา วิธีการต่างๆเหล่านี้สามารถลดภาระความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารหรือบ้านพักได้เป็นอย่างดี วิธีการต่างๆเหล่านี้มีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก และเหมาะกับบ้านหรืออาคารใหม่ที่ต้องวางแผนตั้งแต่เริ่มสร้าง แต่สำหรับบ้านหรืออาคารเก่านั้น การปรับปรุงเพื่อลดภาระความร้อนเป็นเรื่องต้องลงทุนสูงขึ้นไปอีก

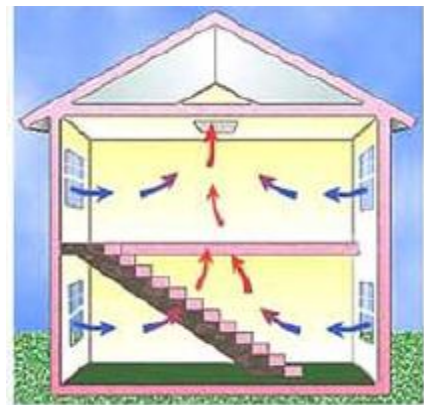
ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศโดยอาศัยการลดภาระความร้อนหรือความร้อนที่สะสมในห้องใต้หลังคา ซึ่งเป็นภาระความร้อนที่สำคัญส่วนหนึ่งของระบบปรับอากาศในบ้านและอาคารอยู่อาศัย ดังรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงแนวทางการระบายอากาศแบบใช้ฉนวนในรูปที่ 1ก และระบบระบายอากาศห้องใต้หลังคาในงานวิจัยนี้ดังรูปที่ 1ข โดยระบบที่นำเสนอนี้เป็นระบบอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รับค่าอุณหภูมิ เพื่อนำไปตัดสินใจว่าจะเปิดหรือปิดระบบพัดลมสำหรับบริเวณใต้หลังคา

บทความวิจัยนี้ประกอบไปด้วยบทนำเพื่อแนะนำถึงการประหยัดพลังงานในการปรับอากาศ ระบบ

ระบายอากาศใต้หลังคา ส่วนในหัวข้อที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีการระบายความร้อนในระบบปรับอากาศ การเคลื่อนไหวของอากาศ ตลอดจนแนวทางในการออกแบบระบบระบายอากาศอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนในหัวข้อที่ 3 กล่าวถึงการทดลองต่างๆ ในเรื่องการทดสอบอุปกรณ์ตรวจรู้และระบบระบายอากาศอัตโนมัติ และในหัวข้อสุดท้ายกล่าวถึงข้อสรุปและแนวทางในการพัฒนาต่อไป



ก. ลักษณะระบายอากาศทั่วไป



ข. ลักษณะการระบายอากาศในงานวิจัย

รูปที่ 1 ลักษณะของระบบระบายอากาศของบริเวณห้องใต้หลังคา

2. ทฤษฎีการปรับอากาศและแนวทางการออกแบบระบบระบายอากาศใต้หลังคา

2.1 การปรับอากาศ

ภาระความร้อนในการปรับอากาศ เป็นผลรวมของความร้อนที่มาจากหลายแหล่ง ซึ่งในการคำนวณภาระความร้อน ค่าภาระความร้อนที่นิยมคิดคำนวณได้แก่

- ก. ความร้อนจากภายนอกที่ผ่านเข้ามาในบริเวณการทำความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านผนังฉนวน (Wall Heat Gain Load)
- ข. ความร้อนที่เข้าสู่บริเวณทำความเย็นโดยตรงโดยการแผ่รังสี ผ่านกระจกหรือวัสดุอื่นที่โปร่งแสง (Solar Glass Heat Gain Load)
- ค. ความร้อนที่มากับอากาศอุ่นภายนอกในขณะเปิดประตู หรือผ่านรอยแตกของขอบหน้าต่าง หรือประตู (Air Infiltration Load)
- ง. ความร้อนจากตัวสินค้าที่ต้องการทำให้เย็น (Product Load)
- จ. ความร้อนจากคนที่กำลังทำงานภายในบริเวณทำความเย็น (Human Load)
- ฉ. ความร้อนจากอุปกรณ์ต่างๆที่เป็นตัวเกิดความร้อนที่อยู่ในบริเวณทำความเย็น เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า

ดวงไฟ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หม้อต้มกาแฟ แต่ไม่จำเป็นว่าการคำนวณ Cooling Load ทุกๆกรณี จะต้องเท่ากับผลรวมของความร้อนจากแหล่งเหล่านี้ เพราะในบางลักษณะงาน ความร้อนจากแบ่งแหล่งอาจจะมีผลกระทบน้อยมาก จนไม่ต้องนำมาคิด สำหรับบ้านพักที่อยู่อาศัย ภาระความร้อนที่สำคัญอย่างหนึ่งคือความร้อนที่ไหลผ่านผนัง ซึ่งเป็นภาระความร้อนที่ไหลผ่านกำแพง พื้นและหลังคาเข้าสู่ห้อง สามารถคำนวณได้จากสูตร [1,2] ดังต่อไปนี้

$$Q = (A) * (U) * (TD) \quad (1)$$

เมื่อ

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (วัตต์ Watt, W)

A คือ พื้นที่ผิวภายนอกของผนัง (เมตร², m²)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W/m².K)

TD คือ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผนังด้านนอกและด้านใน (K)

ดังนั้นภาระความร้อนขึ้นอยู่กับ TD เป็นสำคัญ ยิ่ง TD มากภาระความร้อนก็สูงขึ้น โดยในการออกแบบการปรับอากาศ อุณหภูมิภายในควรมีค่า 25 องศาเซลเซียส ค่า TD นั้นจากตารางที่ 1 ผลกระทบจากแสงอาทิตย์ ที่ต้องบวกเพิ่มจากอุณหภูมิแตกต่างปกติ

(ภายนอก-ภายใน) สำหรับเพดานหลังคาเรียบ(Flat Roof) มีค่าเท่ากับ 11 องศาเซลเซียส ซึ่งแตกต่างจากผนังด้านตะวันออก(East) และตะวันตก(West) ที่มีค่า TD เท่ากับ 5 องศาเซลเซียส โดยมีค่ามากขึ้นกว่า 2 เท่า ดังนั้นถ้าลดภาระความร้อนจากหลังคาก็ย่อมทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศลง

ตารางที่ 1 ผลกระทบจากรังสีความร้อน (มีค่าเป็นองศาเซลเซียสที่ต้องบวกเพิ่มให้กับความแตกต่างอุณหภูมิเพื่อชดเชยผลกระทบจากดวงอาทิตย์) [2]

Type of Surface	East Wall	South Wall	West Wall	Flat Roof
Dark Colored Surfaces such as : State roofing Tar roofing Black paints	5	3	5	11

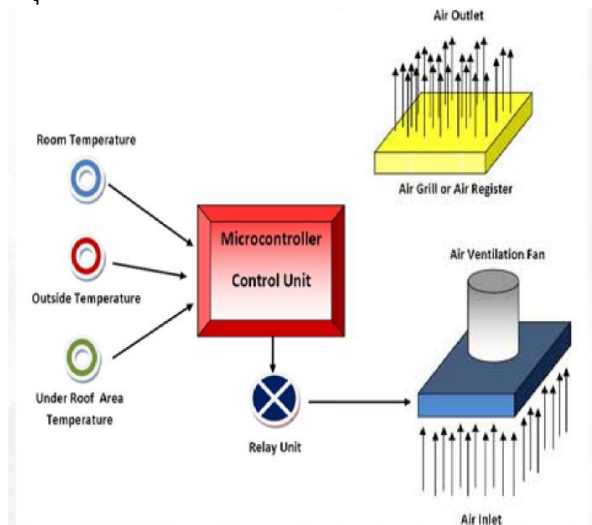
ดังนั้นภาระความร้อนบนเพดานจึงมีค่าสูงมาก จึงต้องลดอุณหภูมินี้ลง

2.2.ระบบระบายอากาศใต้หลังคาควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

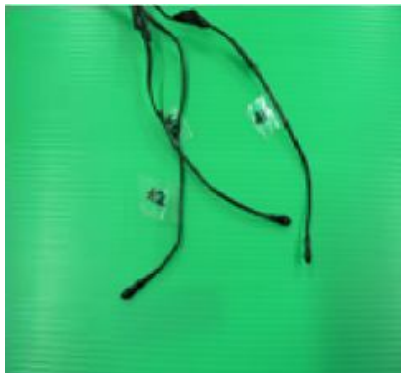
ระบบระบายอากาศใต้หลังคา ประกอบด้วย อุปกรณ์หลักๆ สามส่วนคือ ส่วนแรกคือส่วนตรวจรู้ อุณหภูมิ 3 ตัว อุณหภูมิภายในอาคาร และอุณหภูมิเพื่อใช้วัดอุณหภูมิสามจุด ได้แก่ วัดอุณหภูมิภายนอกอาคาร อุณหภูมิภายในอาคาร และอุณหภูมิพื้นที่ใต้หลังคา พื้นที่ใต้หลังคา ส่วนที่สองคือระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และรีเลย์เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของพัดลมดูดอากาศ และส่วนที่สามคือพัดลมดูดอากาศ เพื่อใช้ดูดอากาศจากภายในห้องที่เย็นกว่าเข้าสู่บริเวณห้องใต้หลังคา อากาศร้อนที่อยู่บริเวณห้องใต้หลังคาจะถูกดันออกโดยอัตโนมัติ ทำให้อุณหภูมิพื้นที่ห้องใต้หลังคาเย็นลง โดยลักษณะอุปกรณ์ดังรูปที่ 3 และแนวคิดของระบบระบายอากาศพื้นที่ใต้หลังคาด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไปดังรูปที่ 2 โดยมีหลักการทำงานคือ

ก. ถ้าอุณหภูมิภายนอกสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในห้องและเพดาน โดยถ้ามีความแตกต่างกันมากกว่า 10 องศาเซลเซียส จึงสั่งให้พัดลมดูดอากาศทำงาน และถ้าต่างกั นน้อยกว่า 2 องศาเซลเซียสจึงหยุดทำงาน

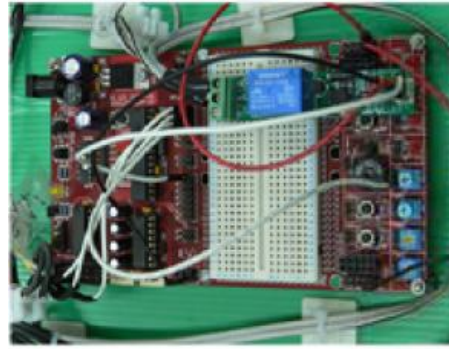
ข. ถ้าอุณหภูมิภายนอกต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในห้องและเพดาน โดยถ้ามีความแตกต่างกันมากกว่า 20 องศาเซลเซียส จึงสั่งให้พัดลมดูดอากาศทำงาน และถ้าต่างกั นน้อยกว่า 5 องศาเซลเซียสจึงหยุดทำงาน



รูปที่ 2 ระบบระบายอากาศพื้นที่ใต้หลังคาด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์



ก. อุปกรณ์ตรวจอุณหภูมิ 3 ตัว



ข. ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการระบายอากาศ



ค. พัดลมดูดอากาศ

รูปที่ 3 ระบบระบายอากาศพื้นที่ใต้หลังคาด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์

3. การดำเนินโครงการและผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้มีวิธีการดำเนินโครงการดังนี้

ก. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะการระบายอากาศและการะความร้อนของอาคาร

ข. ทำการออกแบบระบบระบายความร้อนในส่วนควบคุมในด้านอิเล็กทรอนิกส์และวงจรควบคุม

ค. จัดหาวัสดุอุปกรณ์ต่างๆตามที่ต้องการในการออกแบบไว้

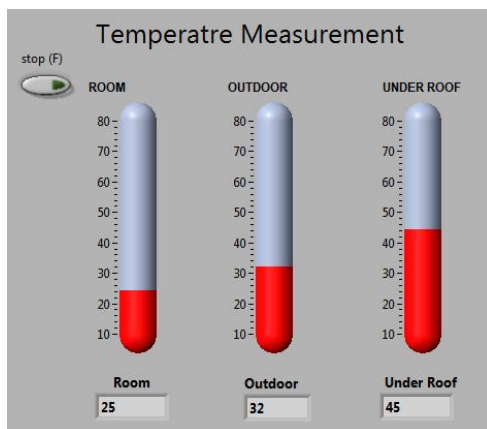
ง. ทำการประกอบระบบปรับอากาศและเขียนโปรแกรมการทำงานของเครื่องระบายอากาศในไมโครคอนโทรลเลอร์

จ. ทำการทดลองวัดอุณหภูมิการทำงานของระบบระบายอากาศเปรียบเทียบกับขณะที่ไม่มีการระบายอากาศ

3.1 การทดลองระบบระบายอากาศใต้หลังคา อัตโนมัติ

บทความนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองจากสถานที่จริง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดภาระความร้อนที่ส่งผ่านจากหลังคาสู่ห้องพักอาศัยด้วยวิธีการระบายอากาศช่องใต้หลังคาของอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น อาคารที่ให้ทำการทดลองเป็นอาคารพักอาศัยชั้นเดียวขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.40 เมตร หลังคาทรงจั่ว มุมหลังคาด้วยกระเบื้องคอนกรีต มุมของหลังคาประมาณ 40 - 45 องศา

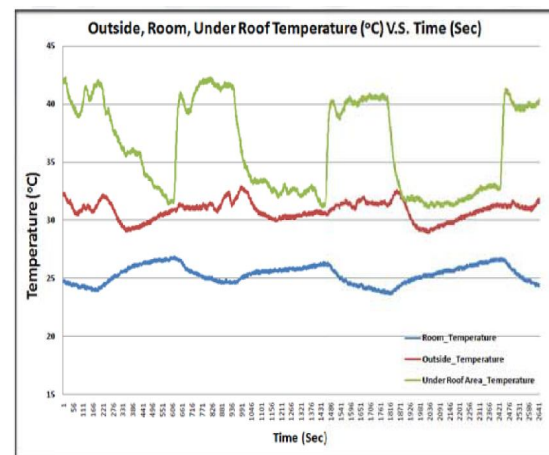
ในการทดลองใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับพัดลมระบายอากาศ ให้ระบายอากาศอย่างอัตโนมัติแทนการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ การเก็บและบันทึกข้อมูลจากการทดลองใช้เครื่องมือวัดสัญญาณ NI USB 6008 โปรแกรม Labview 8.6 และคอมพิวเตอร์ ASUS EEE PC โดยมีลักษณะโปรแกรมที่ใช้บันทึกดังรูปที่ 4 และบันทึกและเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลาติดต่อกันอย่างน้อย 3 วัน หรือ 72 ชั่วโมงต่อ 1 การทดลอง ทำการทดลองในช่วงเดือนมีนาคม - มิถุนายน 2553



รูปที่ 4 โปรแกรมเก็บข้อมูลอุณหภูมิห้อง(Room) อุณหภูมิภายนอกห้อง (Outdoor) และบริเวณช่องว่างใต้หลังคา (Under Roof)

จากการทดลองระบบการระบายอากาศอัตโนมัติ ทำงานเปิด/ปิดพัดลมระบายอากาศ เมื่ออุณหภูมิภายนอกและค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเกิน

กว่าหรือน้อยกว่าที่กำหนดอย่างถูกต้องสม่ำเสมอ โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นไปตามรูปที่ 5 ซึ่งเป็นตัวอย่างในช่วงเวลา 3 วัน โดยแกนนอนเป็นเวลา(Time) และแกนตั้งเป็นค่าอุณหภูมิ อันได้แก่ อุณหภูมิห้อง(Room) อุณหภูมิภายนอกห้อง (Outdoor) และบริเวณช่องว่างใต้หลังคา (Under Roof) โดยเส้นบน คือเส้นอุณหภูมิภายใต้หลังคา เส้นกลางคือ อุณหภูมิภายนอก และเส้นล่างคือเส้นอุณหภูมิภายในห้อง



รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิภายนอก(Outside) อุณหภูมิภายใน(Room) และอุณหภูมิใต้หลังคา เมื่อระบบระบายอากาศอัตโนมัติทำงาน

จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิบริเวณห้องใต้หลังคา(เส้นบนสุด) มีค่าสูงระบบจะทำการเปิดพัดลมดูดอากาศเข้าไปในบริเวณห้องใต้หลังคาทำให้อุณหภูมิห้องใต้หลังคาลดลง และเมื่อหยุดทำงานอุณหภูมิห้องใต้หลังคาจะสูงขึ้นเหมือนเดิม เป็นเช่นนั้นเป็นวัฏจักร โดยความแตกต่างระหว่างเส้นอุณหภูมิภายใต้หลังคา กับเส้นอุณหภูมิภายในห้องเป็นตัวบ่งชี้ถึงการประหยัดพลังงานหรือภาระความร้อนที่น้อยลงดังแสดงในสมการที่ 1

ระบายออกอุณหภูมิ

นอกจากนี้ห้องที่ทำการทดลองเป็นห้องที่เปิดเครื่องปรับอากาศอยู่ ซึ่งพบว่าระบบนี้ไม่มีผลต่อการปรับอากาศ เพราะอุณหภูมิภายในห้องยังมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสอยู่

3.2 การคำนวณอัตราคืนทุน

ระบบที่นำมาทดสอบนี้ใช้พัดลมขนาดใบพัด 10 เซนติเมตร ที่มีอัตราการระบายอากาศ 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ใช้พลังงานไฟฟ้า 220 โวลต์ 18 วัตต์ มีราคา 1,600 บาท และอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้พลังงานรวม 12 วัตต์ มีมูลค่า 1,400 บาท ดังนั้นระบบนี้ต้องลงทุน 3,500 บาท สามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศ 250 วัตต์ต่อชั่วโมง ถ้าเปิดเครื่องปรับอากาศวันละ 8 ชั่วโมง คือ 2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 8 บาทต่อวัน ดังนั้น 1 ปี ประหยัดได้ 3,650 บาท ฉะนั้นระบบนี้สามารถคืนทุนได้ 1.2 ปี

และเมื่อเทียบกับการหุ้มฉนวนซึ่งมีราคาตารางเมตรละ 150 บาท ในพื้นที่ 100 ตารางเมตรต้องลงทุน 15,000 บาท สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศ 500 วัตต์ต่อชั่วโมง ถ้าเปิดเครื่องปรับอากาศวันละ 8 ชั่วโมง คือ 4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 16 บาทต่อวัน ดังนั้น 1 ปี ประหยัดได้ 5,840 บาท ฉะนั้นระบบนี้สามารถคืนทุนได้ 2.6 ปี ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระบบระบายความร้อนนี้ลงทุนต่ำกว่าและมีระยะเวลาในการคืนทุนที่เร็วกว่า

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้นำเสนอโครงการงานวิจัยการศึกษาและออกแบบระบบระบายอากาศในการระบายอากาศร้อนพื้นที่ใต้หลังคาโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจากการทดลองกับหลังคาจริงให้ผลเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือทำให้บริเวณห้องที่อยู่ใต้ฝานั้นมีอุณหภูมิคงที่สม่ำเสมอทั้งเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศหรือไม่เปิดก็ตาม และระบบนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 30 วัตต์ แต่สามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศ 250 วัตต์ สำหรับพื้นที่ใต้หลังคา 100 ตารางเมตร และถ้านำมูลค่าการลงทุนของระบบนี้มาคิดผลตอบแทนการลงทุนเทียบกับค่าพลังงานที่ประหยัดไป พบว่าระบบนี้สามารถคืนทุนภายใน 1 - 1.34 ปี

ระบบระบายอากาศใต้หลังคาอัตโนมัตินี้สามารถจะปรับปรุงให้ดีกว่านี้ได้ อาทิเช่นใช้ระบบอัจฉริยามา

ใช้ในการตัดสินใจเปิดปิดพัดลมเพื่อให้ประหยัดพลังงานสูงสุด การทดสอบกับอาคาร และบ้านเรือนให้มีความหลากหลายมากขึ้น เชื่อมต่อกับระบบปรับอากาศเพื่อให้ประหยัดพลังงานสูงขึ้น เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล (กำแพงแสน) คณะวิศวกรรมศาสตร์(กำแพงแสน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์(กำแพงแสน) ที่ได้เอื้อเฟื้อทุนวิจัย และสถานที่อันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ. สุรพล พฤษพานิช(2529), การปรับอากาศ : หลักการและระบบ, หจก. ฟิสิกส์เซนเตอร์.
- [2] Wilbert F. Stoecker and Jerold W. Jones(1993), Refrigeration & Air Conditioning , McGraw-Hill International Edition, 2 nd Ed.
- [3] Technology Fact Sheet, (2002). Whole-House Ventilation System : Improved control of Air Quality, Building Technology Program, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, USA.
- [4] วิกรม จำนงค์จิตต์, (2545). ประสิทธิภาพของการออกแบบการระบายอากาศช่องใต้หลังคาเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท 2545 , ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 105 หน้า.