

การควบคุมระบบปรับอากาศที่มีความเที่ยงตรงสูงด้วยคอมพิวเตอร์ Multivariable Control System of Precision Air Conditioning units

มงคล มงคลวงศ์โรจน์ และ ยุพาภรณ์ นวลเพ็ง
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-3269987 ต่อ 103

Mongkol mongkolwongrojn and Yupaporn Nualpeng
Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok 10520, Thailand Tel:02-3269987 Ext.103

บทคัดย่อ

บทความได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมระบบปรับอากาศที่มีความเที่ยงตรงสูงด้วยคอมพิวเตอร์ (Multivariable Control System of Precision Air Conditioning Units) ซึ่งเป็นการควบคุมแบบหลายตัวแปรคือจะทำการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในห้องปรับอากาศด้วยคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยหลักการเพิ่มการทำความเย็นของระบบปรับอากาศจึงทำการออกแบบชุดคอยล์เย็นจำนวน 8 ชั้น ให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในห้องปรับอากาศในช่วง 18-25 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 50-55 เปอร์เซ็นต์ความชื้น

จากการทดสอบระบบปรับอากาศ เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์(Mathematical model) ซึ่งแบบจำลองที่ได้จะไม่เป็นระบบเชิงเส้น (Nonlinearized model) จะทำให้เป็นระบบเชิงเส้น (Linearized model) แล้วทำการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ความเที่ยงตรงสูง โดยเลือกใช้ตัวควบคุมแบบ PI และ PID งานวิจัยนี้ได้ใช้คอมพิวเตอร์ไปควบคุมระบบปรับอากาศ โดยการควบคุมอัตราการไหลของลมเย็นและเปิดปิดคอมเพรสเซอร์เป็นการควบคุมชนิดON-OFF control ผลที่ได้สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้เป็นที่น่าพอใจ

Abstract

This paper describes the research analysis deal with the experimental investigation on the multivariable control system of the precision air conditioning units with programmable control. Temperature and humidity control of air-conditioning system relying on high cooling capacity of the system. Eight layers of evaporators are designed and installed for experiment. The range of temperature and humidity in control are 18-25°C and 50-55% respectively.

From the experiment the nonlinear mathematical models are obtained with thermal load and without thermal load and linearized model is approximated by using least square method. System simulation was obtained for PI control and PID control

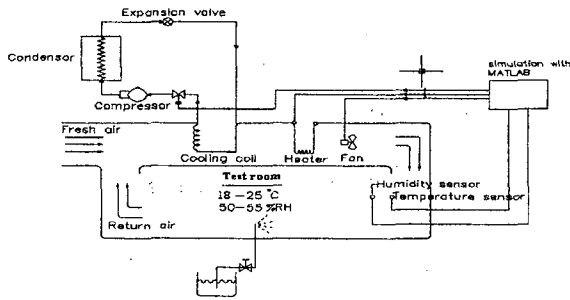
are step input. Microcomputer was implemented to control air temperature and humidity by ON-OFF the air supply flow rate, the heater and the compressor of the air conditioning unit. The results for control is also satisfactory.

1.บทนำ

การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของห้องปรับอากาศในปัจจุบันจะเป็นการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์หรือไม่โครโปรเซสเซอร์[5]จะไม่สนใจถึงอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิและความชื้นมาก ดังนั้นบทความนี้จึงทำการออกแบบชุดคอยล์เย็น ให้มีจำนวนชั้นมากขึ้น[3] เพื่อเพิ่มการทำความเย็นให้สามารถควบคุมได้ทั้งอุณหภูมิและความชื้น แล้วทำการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในรูปของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ซึ่งได้มาจากเงื่อนไขการทำงานของระบบ โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุด จะทำการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อดูพฤติกรรมของตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิและความชื้น เช่น การปรับความเร็วของพัดลม ความร้อนความชื้น ส่วนสารทำความเย็นจะใช้คุณสมบัติของน้ำยาแอร์ R-22

2.ทฤษฎีพื้นฐาน

การจำลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของระบบปรับอากาศ ความร้อนมีอิทธิพลต่อระบบปรับอากาศซึ่งจะได้มาจากแหล่งต่างๆ จะมีผลทำให้อุณหภูมิและความชื้นเพิ่มขึ้น ในการคำนวณหาการทำความเย็นของห้องปรับอากาศหรือห้องทดลองเราจะแยกแหล่งความร้อนสัมผัสและแหล่งความร้อนแฝงเพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้เลือกเครื่องปรับอากาศ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบปรับอากาศ

จากรูปที่ 1 จะได้ขนาดของอุปกรณ์ต่างๆในระบบปรับอากาศ ที่อุณหภูมิ 18-25 °C และความชื้น 50-55 %RH ดังนี้

1. ภาระการทำความเย็น [3] ทั้งหมดของห้องปรับอากาศ

(Cooling load) เท่ากับ 38,552 Btu/hr

2. อีแวปอเรเตอร์ (Evaporator) [3]

สมมติฐาน:

อุณหภูมิแวดล้อม 80 °F DB, 67 °F WB

ภาระการทำความเย็นทั้งหมด 38,552 Btu/hr

ปริมาณลม 1,586 CPM

อุณหภูมิของน้ำยาแอร์ที่ทางเข้า 45 °F

ขนาดของคอยล์ 24" x 20"

สารทำความเย็น ฟรีออน 22 (R-22)

number of circuits = 3

rows = 8 rows

ภาระการทำความเย็น = 5 tons

3. การเลือกคอมเพรสเซอร์ (compressor) [2]

คอมเพรสเซอร์ Model E036

ขนาด = 5 tons

ความเร็วรอบ = 1,260 rpm

4. การเลือกคอนเดนเซอร์ (condenser) [2]

เลือก Total Unit MBH = 78 x 1,000 = 78,000 Btu/hr

Tube circuit Total Unit MBH = 2

Unit Size = 5

5. การหาปริมาณและสภาวะของลมส่ง [2]

สมมติฐาน:

$$Q_s = 37,702 \text{ Btu/hr}$$

$$Q_L = 850 \text{ Btu/hr}$$

อุณหภูมิห้องควบคุมไว้ที่ 73.4 °F DB, 50% RH

ต้องการลมส่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 65 °F

ลมเย็นที่ออกจากอุปกรณ์ปรับอากาศไว้ที่ 90% RH

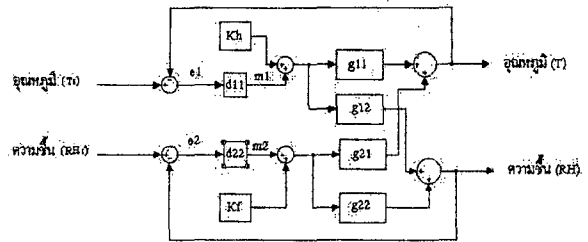
RH

ได้ปริมาณของลม = 1,586 cfm

แล้วนำระบบปรับอากาศที่ได้มาใช้งานจำลองการควบคุม

กับระบบการควบคุมรวมแบบการควบคุมหลายตัวแปร [1]

(Multivariable interacting system) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

จากรูปที่ 2 จะได้สมการในรูปเมตริกซ์ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบการควบคุมหลายตัวแปร

$$\begin{bmatrix} T \\ RH \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

T คือ อุณหภูมิ (Output)

RH คือ ความชื้น (Output)

$g_{11}, g_{12}, g_{21}, g_{22}$ คือ ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบ

สมการอินพุตของระบบ

$$\begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} & 0 \\ 0 & d_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{n1} \\ d_{n2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

m_1, m_2 คือ สัญญาณอินพุต

d_{11}, d_{22} คือ ตัวควบคุมแบบ PID

d_{n1}, d_{n2} คือ สัญญาณรบกวน

สมการผลต่าง (error)

$$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_s \\ RH_s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} T \\ RH \end{bmatrix} \quad (3)$$

e_1, e_2 คือ ค่า error

T_s คือ อุณหภูมิ (set point)

RH_s คือ ความชื้น (set point)

นำสมการ (3) และ (2) แทนลงใน (1) จะได้

$$T = (I + GD)^{-1} (GDT_s + Gd_{n1}) \quad (4.1)$$

$$RH = (I + GD)^{-1} (GDRH_s + Gd_{n2}) \quad (4.2)$$

รูปทั่วไปของทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบ

$$\begin{bmatrix} T \\ RH \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_s \\ RH_s \end{bmatrix} \quad (5)$$

ในรูปเมตริกซ์ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Q คือ ทรานเฟอร์ฟังก์ชันระบบป้อนกลับ

เปรียบเทียบสมการ (5) และ (4) ในรูปเวกเตอร์จะได้

$$Q = (I + GD)^{-1} GD \quad (7)$$

ตัวควบคุมในรูปทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

$$D = G^{-1}Q(I-Q)^{-1} \quad (8)$$

2.1 การทดลองหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากรูปที่ 1. ได้ทำการทดลองเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มี 2 เงื่อนไข คือที่สภาวะมีภาระ (load) และไม่มีภาระ (No load) โดยการเพิ่มความร้อน ความชื้น แล้วทำการปรับความเร็วของพัดลม ที่ความเร็วรอบต่ำ (Low speed) จะทำการบันทึกอุณหภูมิและความชื้น ส่วนที่ความเร็วรอบสูง (High speed) จะเปิดตัวทำความร้อน (Heater) แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้น จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปเมตริกซ์ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน [1]

กรณี : ไม่มีภาระ

$$\begin{bmatrix} T(s) \\ RH(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{21.734}{s+0.0028} & \frac{22.036}{s+0.002} \\ \frac{54.171}{s+0.0003} & \frac{57.66}{s+0.0021} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_s(s) \\ RH_s(s) \end{bmatrix} \quad (9)$$

กรณี : มีภาระ

$$\begin{bmatrix} T(s) \\ RH(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{20.821}{s+0.0026} & \frac{21.616}{s+0.0014} \\ \frac{58.1465}{s+0.0011} & \frac{38.091}{s+0.0038} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_s(s) \\ RH_s(s) \end{bmatrix} \quad (10)$$

2.2 การจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศโดยใช้ MATLAB

จากรูปที่ 2. จะทำการจำลองการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ด้วยตัวควบคุมแบบ PT และ PID โดยอาศัยทฤษฎีของ Ziegler-Nichols [4]

กรณี : ไม่มีภาระ

ตัวควบคุมแบบ PI :

$$d_{11}(s), d_{22}(s) = \frac{0.0006(s+0.3)}{s}$$

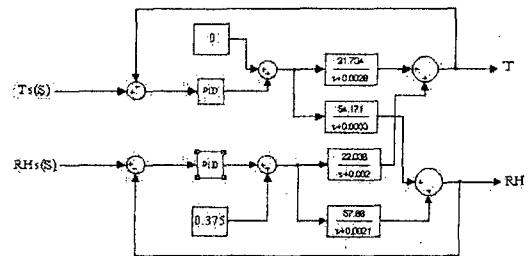
ตัวควบคุมแบบ PID :

$$d_{11}(s), d_{22}(s) = \frac{0.0004(s+1)^2}{s}$$

Kh = 0

Kf = 0.375

จากรูปที่ 2. แทนค่า d11, d22, Kh, Kf จะได้ ดังรูปที่ 7.



รูปที่ 3. บล็อกไดอะแกรมระบบปรับอากาศที่ควบคุมด้วย PI และ PID กรณีไม่มีภาระ

กรณี : มีภาระ

ตัวควบคุมแบบ PI :

$$d_{11}(s), d_{22}(s) = \frac{0.0006(s+0.3)}{s}$$

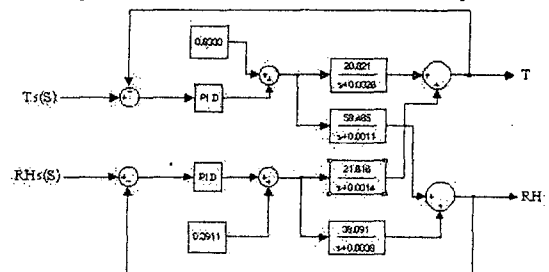
ตัวควบคุมแบบ PID :

$$d_{11}(s), d_{22}(s) = \frac{0.0004(s+1)^2}{s}$$

Kh = 0.8333

Kf = 0.3911

จากรูปที่ 2. แทนค่า d11, d22, Kh, Kf จะได้ ดังรูปที่ 8.



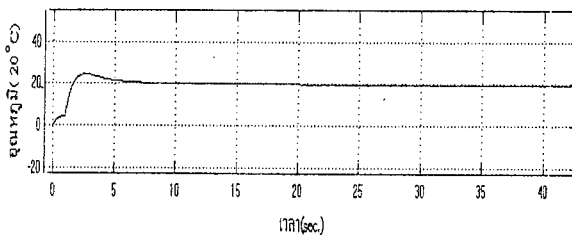
รูปที่ 4. บล็อกไดอะแกรมระบบปรับอากาศที่ควบคุมด้วย PI และ PID กรณีมีภาระ

3. ผลการจำลองระบบด้วย MATLAB

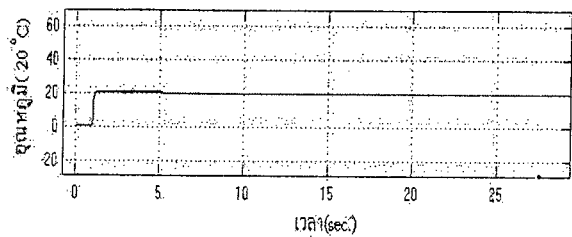
ผลการจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศ จะได้รับการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นกรณีไม่มีภาระ ดังรูปที่ 5, 6

ผลการตอบสนองของอุณหภูมิเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PI จะเข้าสู่สภาวะสมดุล (set point) ที่เวลา 20 วินาที ที่ค่า Kp = 0.45, 0.575 และ Ki = 0.129, 0.04777 ส่วนตัวควบคุมแบบ PID จะ

เข้าสู่สภาวะสมดุลย์ ที่เวลา 5 วินาที ที่ค่า $K_p = 0.104, 0.039$ $K_i = 0.052, 0.0195$ และ $K_d = 0.026, 0.00975$



(ก)



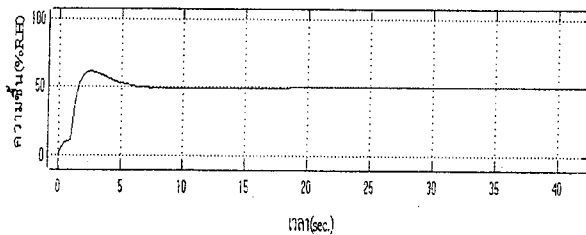
(ข)

รูปที่ 5. แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิ

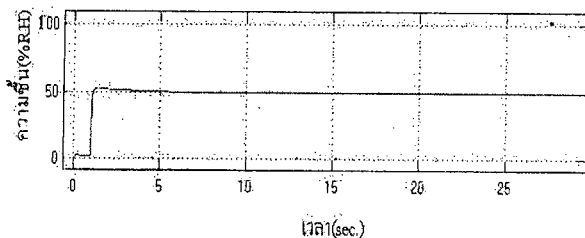
(ก) ตัวควบคุมแบบ PI

(ข) ตัวควบคุมแบบ PID

ผลการตอบสนองของความชื้นเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PI จะเข้าสู่สภาวะสมดุลย์(set point) ที่เวลา 18 วินาที ที่ค่า $K_p = 0.45, 0.1575$ และ $K_i = 0.129, 0.04777$ ส่วนตัวควบคุมแบบ PID จะเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ ที่เวลา 6 วินาที ที่ค่า $K_p = 0.104, 0.039$ $K_i = 0.052, 0.0195$ และ $K_d = 0.026, 0.00975$



(ก)



(ข)

รูปที่ 6. แสดงผลการตอบสนองของความชื้น

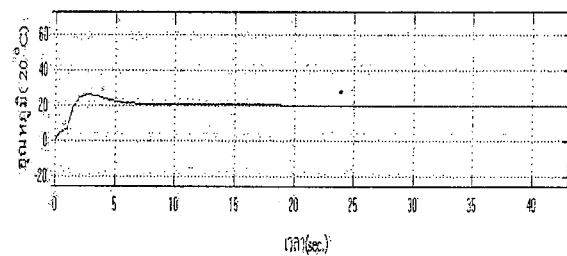
(ก) ตัวควบคุมแบบ PI

(ข) ตัวควบคุมแบบ PID

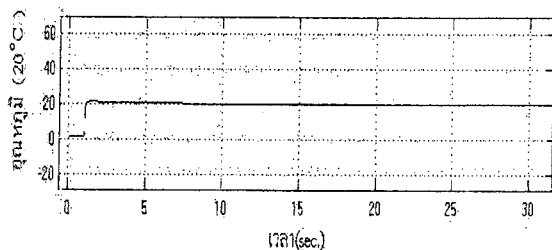
ผลการจำลองการควบคุมระบบปรับอากาศ จะได้การตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นกรณีมีภาระ ดังรูปที่ 7, 8

ผลการตอบสนองของอุณหภูมิเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PI จะเข้าสู่สภาวะสมดุลย์(set point) ที่เวลา 19 วินาที ที่ค่า $K_p = 0.42, 0.1572$ และ $K_i = 0.126, 0.04774$ ส่วนตัวควบคุมแบบ PID จะ

เข้าสู่สภาวะสมดุลย์ ที่เวลา 7.5 วินาที ที่ค่า $K_p = 0.072, 0.027$ $K_i = 0.036, 0.0135$ และ $K_d = 0.018, 0.00675$



(ก)



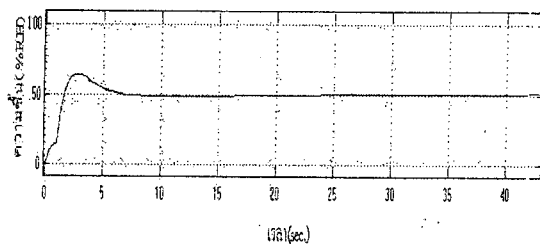
(ข)

รูปที่ 7. แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิ

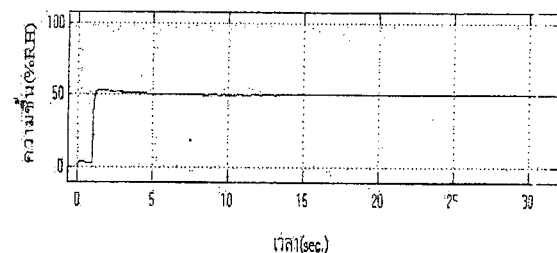
(ก) ตัวควบคุมแบบ PI

(ข) ตัวควบคุมแบบ PID

ผลการตอบสนองของความชื้นเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PI จะเข้าสู่สภาวะสมดุลย์(set point) ที่เวลา 24 วินาที ที่ค่า $K_p = 0.42, 0.1572$ และ $K_i = 0.126, 0.04774$ ส่วนตัวควบคุมแบบ PID จะเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ ที่เวลา 14 วินาที ที่ค่า $K_p = 0.072, 0.027$ $K_i = 0.036, 0.0135$ และ $K_d = 0.018, 0.00675$



(ก)



(ข)

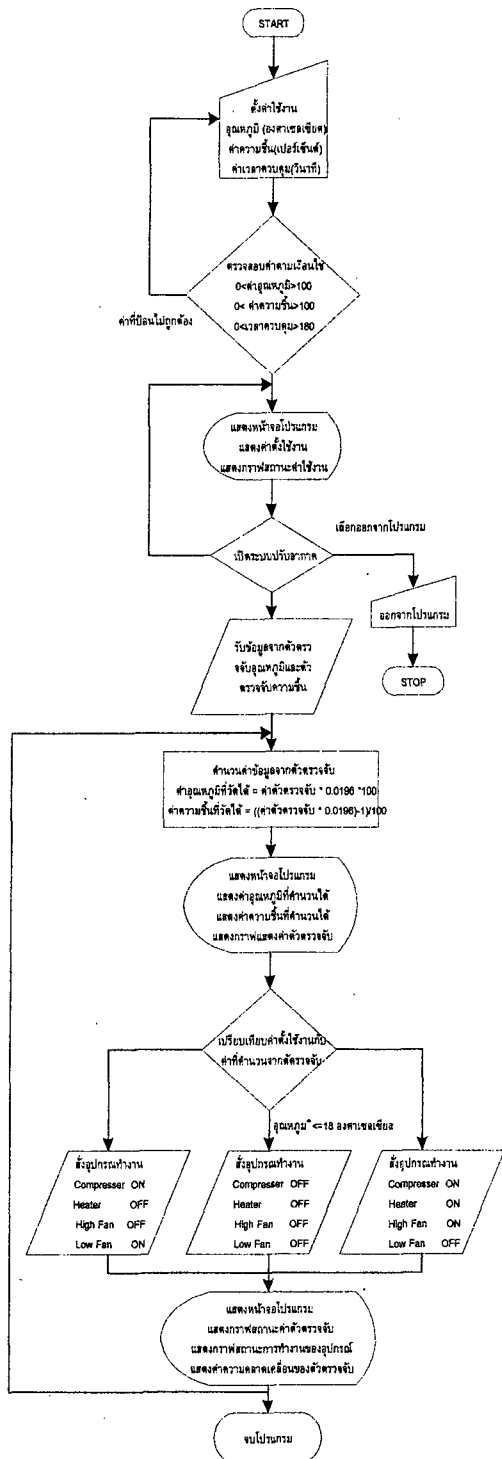
รูปที่ 8. แสดงผลการตอบสนองของความชื้น

(ก) ตัวควบคุมแบบ PI

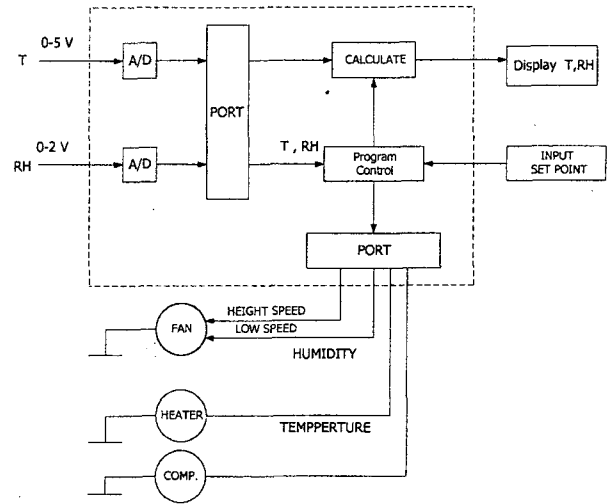
(ข) ตัวควบคุมแบบ PID

4. ผลการควบคุมระบบ

การควบคุมจริงจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ ดังรูปที่ 10 ส่วนการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบปรับอากาศ ดังรูปที่ 9

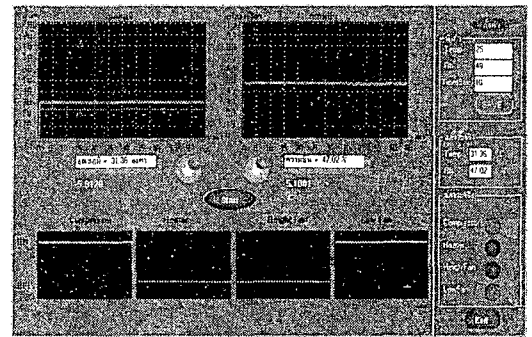


รูปที่ 9. แสดงการขั้นตอนการเขียนโปรแกรม



รูปที่ 10. แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

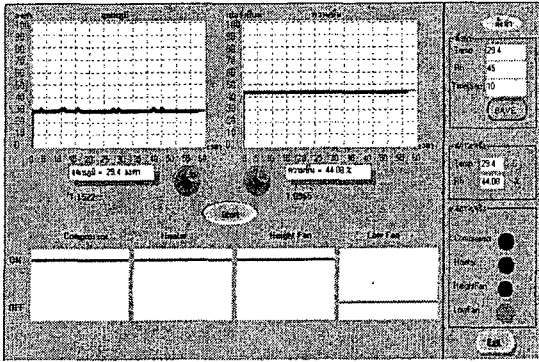
ผลการควบคุมระบบปรับอากาศด้วยคอมพิวเตอร์ จะได้การตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นกรณีมีภาระ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11. แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้น

จากผลการควบคุม สามารถควบคุมให้ระบบปรับอากาศทำงานเข้าสู่ Set point ทั้งอุณหภูมิและความชื้น ใช้เวลา 160 วินาที ที่อุณหภูมิ 31.36 องศาเซลเซียส ค่าความคลาดเคลื่อนขณะนั้น -5.9128 และความชื้น 47.02 เปอร์เซ็นต์ โดยสถานะของอุปกรณ์ที่ทำงานในขณะนั้นคือ คอมเพรสเซอร์ ชูตชดลดต่ำ ความร้อน และพัดลมความเร็วรอบต่ำ

ผลการควบคุมระบบปรับอากาศ จะได้การตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นกรณีไม่มีภาระ ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12. แสดงผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้น

จากผลการควบคุมชนิดตัวควบคุมที่สามารถควบคุมให้ระบบปรับอากาศทำงานเข้าสู่ Set point ทั้งอุณหภูมิและความชื้น เวลาที่ใช้ 60 วินาที ที่อุณหภูมิ 29.4 องศาเซลเซียส และความชื้น 45 เปอร์เซ็นต์ โดยสถานะของอุปกรณ์ที่ทำงานในเวลานั้นคือ คอมเพรสเซอร์ ชูตคลวดทำความร้อน และพัดลมความเร็วรอบสูง

5.สรุป

บทความนี้เป็นการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของระบบปรับอากาศให้เหมาะสมในการนำไปใช้งานในงานห้องปรับอากาศ โดยอาศัยการจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ ที่หาได้จากการออกแบบคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศให้ทำงานในช่วงอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมตามที่ได้ออกแบบไว้

จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ก็นำไปจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB โดยกำหนดให้อินพุตที่ป้อนเข้าสู่ระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงและตัวควบคุมแบบ PI และ PID จะเห็นว่าผลจากการควบคุมด้วยตัวควบคุม PID จะเข้าสู่สภาวะสมดุล(set point)ได้เร็วกว่าตัวควบคุมแบบ PI กล่าวคือ ในกรณีมีภาระสำหรับการควบคุมด้วย PID จะใช้เวลา 5 วินาที และ PI ใช้เวลา 18 วินาที

จากการควบคุมจริง จะเข้าสู่สภาวะสมดุล(set point) นั่นคือ ในกรณีมีภาระ จะใช้เวลา 1 นาที และ กรณีไม่มีภาระ ใช้เวลา 2 นาที 40 วินาที ซึ่งผลจากการจำลองและควบคุมจริงนั้นระบบปรับอากาศสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ เป็นที่น่าพอใจ

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] J.G. Bollinger, N.A. Duffie, " Computer control of Machines and Process," Addison. Wesley,1989, pp. 155-161
- [2] R.J.Dossat, " Principles of Refrigeration," Prentice-Hall,1997
- [3] Bohn, " Heat transfer Division," Gulf & Western ,1976
- [4] K.Ogata, " Modern Control Engineering," Prentice-Hall,1990, pp. 592-605
- [5] B.Arguello-serrano and M.Velez-Reyes, "Nonlinear Control of a Heating, Ventilating, and Air Conditioning System with Thermal Load Estimation," IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.7,No.1,January 1999