การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21
17-19 ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี

ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ เทอร์โมอิเล็กตริก

A Temperature and Humidity Control System Using Thermoelectric Material

คมสัน มุ่ยสี เมธี ลิ่มกุล มงคล มงคลวงศ์โรจน์
ห้องปฏิบัติการเครื่องกลไฟฟ้า สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

K. Muysee, M. Limkul, M. Mongkolwongrojn
Electro-Mechanical Engineering Lab, ReCCIT, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

บทคัดย่อ

สมรรถนะของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กตริก และ ระบบที่ใช้อุปกรณ์ดังกล่าว ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กตริกและศักยภาพทางด้านการตลาดของอุปกรณ์เหล่านี้ได้กลายเป็นสิ่งที่น่าสนใจ บทความนี้เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในสภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง ๆโดยการใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กตริก

ระบบควบคุมประกอบด้วยการทำความเย็นและการทำความร้อนด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กตริกและใช้ตัวกำเนิดความชื้นในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งระบบนี้เป็นระบบป้อนกลับที่มีเป้าหมายสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน ซึ่งจะมีความเหมาะสมมากในระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะที่ต้องการ ซึ่งการนำเสนอของระบบนี้จะเป็นวิธีการหาการควบคุมระบบรวมเพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมที่สุดและประสิทธิภาพที่ดี ในการทดลองนี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพและผลการทดลองในรูปของสภาวะที่ต้องการและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นของระบบควบคุมที่ใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กตริก

Abstract

Performances of thermoelectric materials and systems that utilize them became more interesting in the technology and potential new markets. This paper presents the development of a temperature and humidity control system specially for high humidity environmental conditions using thermoelectric devices.

The system consists of multiple cooling and/or heating thermoelectric devices and a steam generator in order to be able to control both temperature and humidity. The feedback control was proposed for performance enhancement and energy saving. It is very suitable for temperature and humidity control system that has time delay. The implementation of control approach to optimize the overall control and detain an enhanced and robust performance. The performance analysis and experimental results show the practicability of the proposed system and its viability in the real temperature and humidity control system using thermoelectric devices

1.บทนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการใช้ระบบทำความเย็นกันอย่างแพร่หลายและสามารถพบเห็นได้ทั้งในระดับครัวเรือนจนถึงระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอาหารหรือการเกษตรรวมถึงการถนอมอาหาร ระบบทำความเย็นถือเป็นส่วนหนึ่งของการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดเวลา ซึ่งอุปกรณ์ทำความเย็นภายในประเทศเกือบทั้งหมดใช้คอมเพรสเซอร์แบบอัดไอและใช้สารทำความเย็น คือ คลอโรฟลูออโรคาร์บอน เมื่อระบบเกิดการรั่วไหลเข้าสู่บรรยากาศจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการทำลายโอโซนชั้นบรรยากาศทำให้เกิดปรากฏการเรือนกระจก[1] เทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจคือการนำเอาเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กตริกเข้ามาใช้แทนระบบอัดไอ ซึ่งมีข้อดีคือ ระบบการทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กตริกจะอยู่ในสภาวะของแข็ง (Solid state) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ ไม่ใช้สารทำความเย็นจึงไม่ทำลายสภาวะแวดล้อม ไม่จำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุง และยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน [3] การทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิ-เล็กตริกมีการใช้อย่างกว้างขวาง เช่น การทำความเย็นให้กับตู้โดยสารรถไฟ [4] เรือเดินสมุทร [5] รถถังทางการทหาร [6] การแช่แข็งน้ำผลไม้ [7]การศึกษาการทำความเย็นบนฝ้าเพดานโดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริก[8]เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวแนวทางการแก้ไขจึงนำเทอร์โมอิเล็คตริก มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมสภาวะอากาศซึ่งอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กตริกเป็นอุปกรณ์อิเล็คทรอนิคชนิดหนึ่งที่สามารถใช้สร้างความร้อนและความเย็นได้เพียงแค่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ ด้วยข้อดีคือ ใช้พลังงานน้อย

เป็นอุปกรณขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา ไม่มีเสียงดังขณะทำงาน ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เป็นต้น งานวิจัยชิ้นนี้จะศึกษาระบบการควบคุมสภาวะอากาศภายในกล่องทดลองด้วยเทอร์โมอิเล็กตริกและตัวกำเนิดความชื้น ซึ่งมีขนาดภายใน ขนาด 7x10x7 in^3 แล้วทำการทดลอง เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้ในการพัฒนาต่อไป

2.การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ในบทความวิจัยนี้ได้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนเป็นระบบอันดับที่หนึ่ง

$$g_{i,j}(s) = \frac{Ke^{Ts}}{1+\tau s} \qquad (1)$$

, i = 1, 2

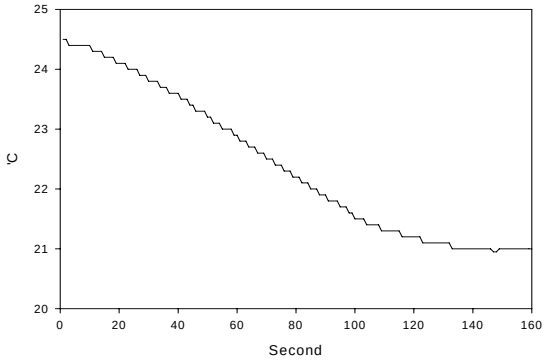
j = 1, 2

ที่ K = อัตราขยายของระบบ

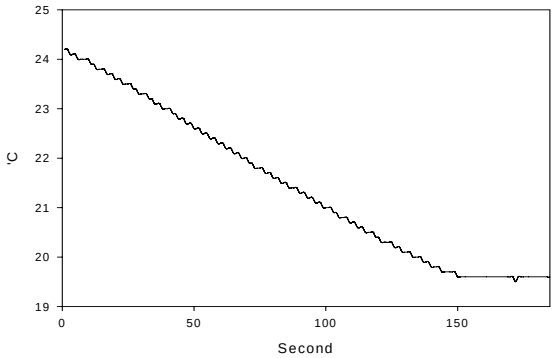
τ = ค่าคงที่ทางเวลาของระบบ (time constant)

e^{Ts} = พจน์ประวิงเวลา (delay time)

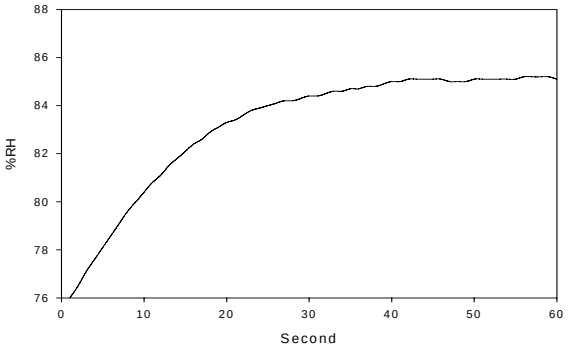
ในการหาแบบจำลองของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจะใช้ Graph การตอบสนองของแบบจำลองภายใต้ input step function ดังแสดงในรูปที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ



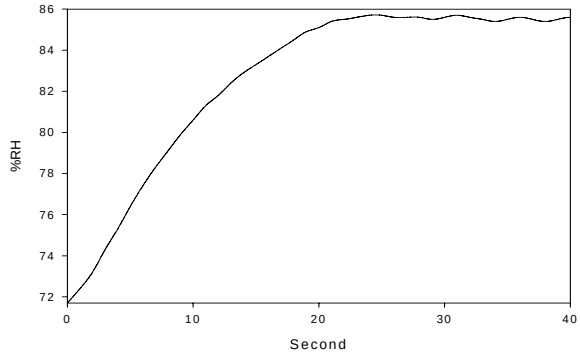
รูปที่1 แสดงการตอบสนองต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ ของg11
ที่ 37% τ = 82 s



รูปที่2 แสดงการตอบสนองต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ ของg12
ที่ 37% τ = 84 s



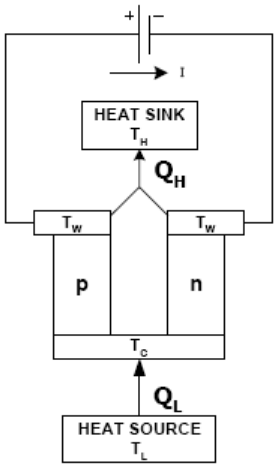
รูปที่3 แสดงการตอบสนองต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ ของg21
ที่ 63% τ = 17 s



รูปที่4 แสดงการตอบสนองต่ออินพุตแบบอิมพัลส์ ของg22
ที่ 63% τ = 11 s

3.เทอร์โมอิเล็กตริกและการถ่ายเทความร้อน

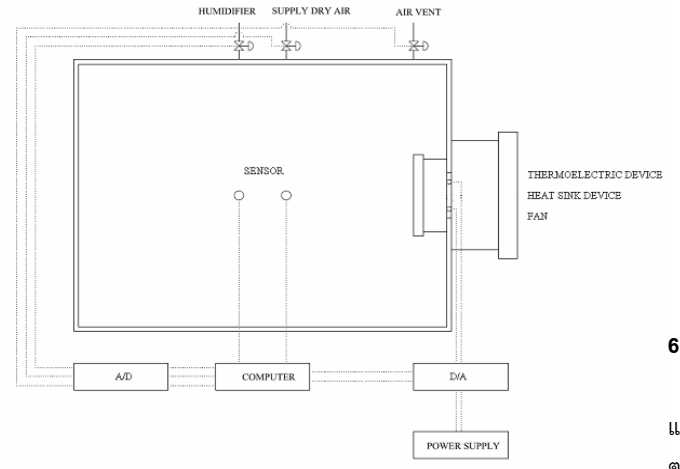
ในปี ค.ศ.1834 ฌอง ซี. เอ. เพลเทียร์ (Jean C. A. Peltier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส พบว่าเมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงให้กับรอยต่อของสารกึ่งตัวนำสองด้านจะกลายเป็นผิวร้อน(hot surface) และผิวเย็น (cold surface) ขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปรากฏการนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ในทางกลับกันถ้าถ่ายเทความร้อนให้กับผิวด้านหนึ่งจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรียกว่า ซีเบ็คโวลท์เตจ (Seebeck voltage) สารกึ่งตัวนำดังกล่าวเรียกว่า p-n junctions แสดงดังรูปที่5 โดยที่การผลิตกระแสไฟฟ้าจะต่อแบบอนุกรม การทำความเย็นจะต่อแบบขนานแซนวิชระหว่างแผ่นฉนวนเซรามิก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เพลเทียร์ซึ่งจัดเป็นปั๊มความร้อน(heat pump) เรียกว่าเทอร์โมอิเล็กตริก



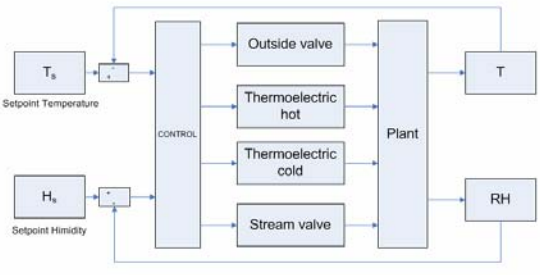
รูปที่ 5 หลักการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กตริก

4. ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็กตริก และ เครื่องให้กำเนิดไอน้ำ และ คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นดังแสดงในรูปที่ 6 อุณหภูมิและความชื้นของอากาศในกล่องควบคุมถูกเปลี่ยนแปลงโดยการทำความเย็นหรือทำความร้อนและลดความชื้นหรือเพิ่มความชื้น การควบคุมอุณหภูมิทำได้โดยการแปลี่ยนแปลงกระแสฟ้าผ่านเข้าอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กตริกส่วนการควบคุมความชื้นทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงองศาของวาล์วควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำ ดังรูปที่ 7



รูปที่6 กล่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่7 แผนผังการควบคุมอุปกรณ์

5.แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

จากรูปที่6 ได้ทำการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแบบการควบคุมหลายตัวแปร โดยการเปลี่ยนแปลงความร้อนและความชื้น แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้น จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อันดับหนึ่งมีเทอมการหน่วงเวลา ในรูปเมตริกซ์ทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นดังสมการที่ (2) และทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นของระบบดังสมการ (3), (4), (5), (5), (6)

$$\begin{Bmatrix} T(s) \\ RH(s) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V(s) \\ Q(s) \end{Bmatrix} \quad (2)$$

ที่

$$g_{11} = \frac{1.75e^{-0.062s}}{1+82s} \quad (3)$$

$$g_{12} = \frac{911.58e^{-0.0002s}}{1+84s} \quad (4)$$

$$g_{21} = \frac{7.08e^{-0.062s}}{1+17s} \quad (5)$$

$$g_{22} = \frac{3874.2e^{-0.0002s}}{1+11s} \quad (6)$$

$T(s)$ = อุณหภูมิที่กำหนด

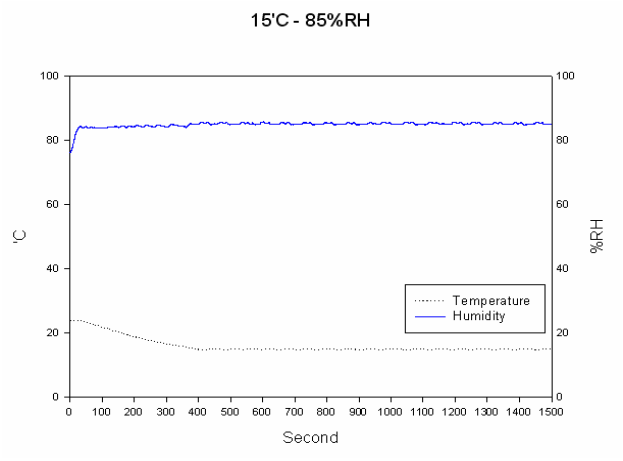
$RH(s)$ = ความชื้นที่กำหนด

$V(s)$ = สัญญาณควบคุมการปรับแปลี่ยน โวล์เตจ

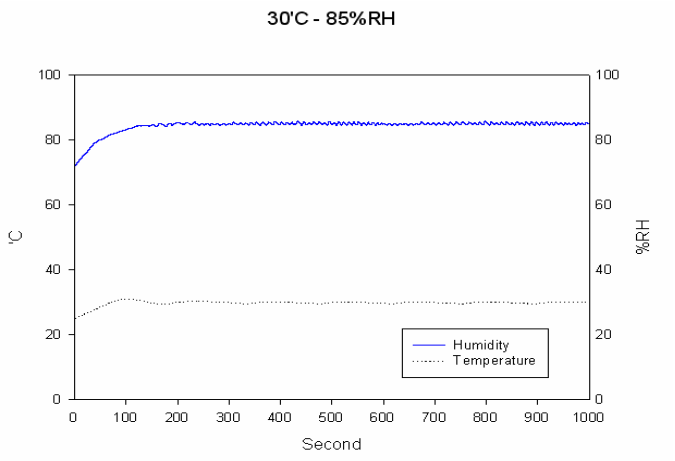
$Q(s)$ = สัญญาณควบคุมการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของไอน้ำ

6.ผลการทดลอง

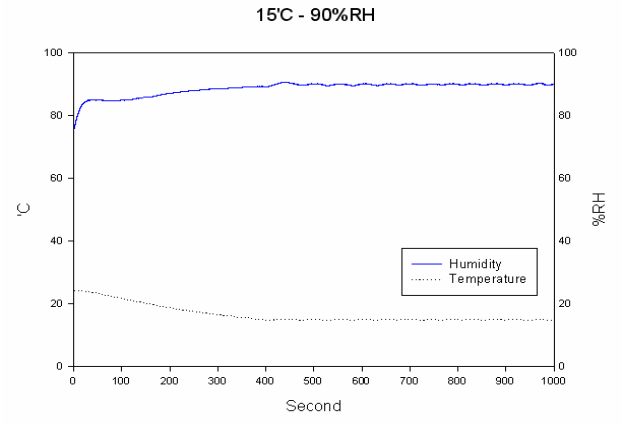
งานวิจัยนี้ได้แสดงการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริก ผลการทดลองได้แสดงการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่สภาวะต่าง ๆดังแสดงในรูปที่ 8 ถึงรูปที่13. รูปที่ 8 แสดงผลของอุณหภูมิและความชื้นของระบบควบคุมโดยกำหนดอุณหภูมิและความชื้นที่15'C 85%RH สภาวะเริ่มต้นที่ 24^0C และ 74%RH ใช้เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 410 และ 380 วินาที ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดในสภาวะคงตัว $\pm 0.2^0 C$ และ $\pm 0.6\% RH$ ในการทดลองเมื่อค่า set point อยู่ที่ 15'C และ 90%RH โดยสภาวะเริ่มต้นที่ 24^0C และ 74%RH เวลาของการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวอยู่ที่ 422 และ 410 วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm 0.1^0 C$ และ $\pm 0.4\% RH$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 9. ที่สภาวะเริ่มต้น 24^0C และ 74%RH เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและ



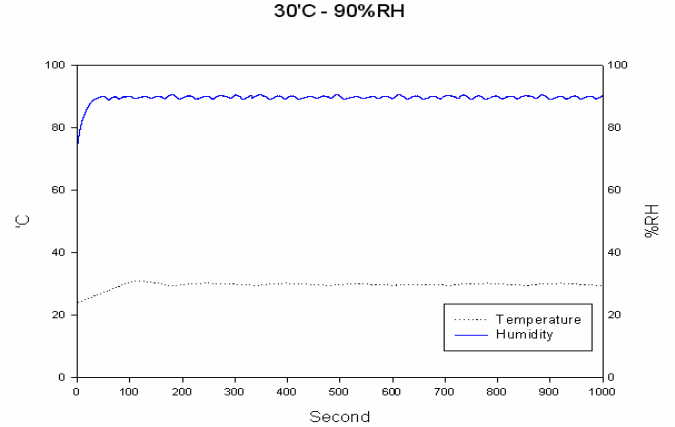
รูปที่ 8 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 15^{0}C 85%RH



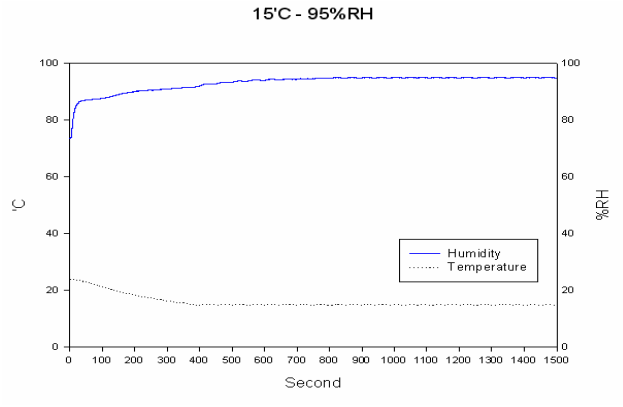
รูปที่11 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 30^{0}C 85%RH



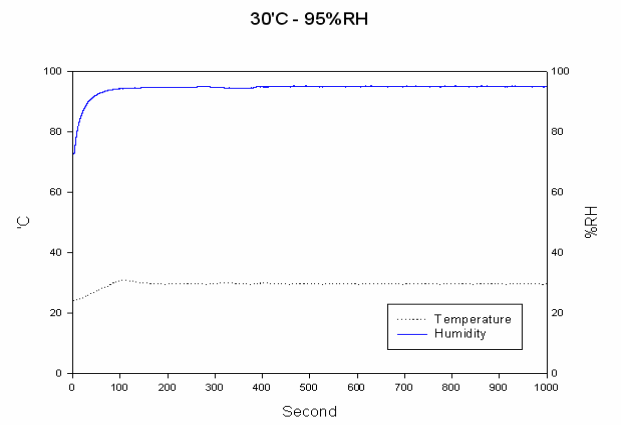
รูปที่9 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 15^{0}C 90%RH



รูปที่12 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 30^{0}C 90%RH



รูปที่ 10ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 15^{0}C 95%RH



รูปที่13 ผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นที่ 30^{0}C 95%RH

24^0C และ 74%RH ใช้เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 410 และ 380 วินาที ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดในสภาวะคงตัว $\pm 0.2^0 C$ และ $\pm 0.6\% RH$ ในการทดลองเมื่อค่า set point อยู่ที่ 15'C และ 90%RH โดยสภาวะเริ่มต้นที่ 24^0C และ 74%RH เวลาของการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวอยู่ที่ 422 และ 410 วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm 0.1^0 C$ และ $\pm 0.4\% RH$ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 9. ที่สภาวะเริ่มต้น 24^0C และ 74%RH เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 434 และ 671 วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm 0.2^0 C$ และ $\pm 0.4\% RH$ ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 10. ที่สภาวะเริ่มต้น 24^0C และ 75%RH ใช้ เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 63 และ 134วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm 0.2^0 C$ และ $\pm 0.6\% RH$ ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 11. ที่สภาวะเริ่มต้น 24^0C และ 74%RH ใช้เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 82 และ 38วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm 0.4^0 C$ และ $\pm 0.7\% RH$ ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 12. ที่สภาวะเริ่มต้น 24^0C และ 75%RH ใช้เวลาการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 120 และ 96วินาที ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm 0.4^0 C$ และ $\pm 0.2\% RH$ ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 13.

7. สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต้นแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกและชุดกำเนิดไอน้ำ ที่สามารถนำไปประยุกต์ในทางปฏิบัติได้และสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 15^0C ถึง 60^0C และความชื้นได้ตั้งแต่ 40% ถึง 95%RH ซึ่งมีขนาดภายในห้องควบคุม 7x10x7 in^3
2) ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นมีความแม่นยำสูง ให้ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.4^0 C$, $\pm 0.7\% RH$

8.กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมเครื่องกลไฟฟ้า สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ(ReCCIT) ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

REFERENCES

[1] สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ http://www.thaieei.com

[2] Bell, L., "Increased Thermoelectric System Thermodynamic Efficiency by Use of Convective Heat Transport," Proceedings of 21 th Int. Conf. On Thermoelectrics, Long Beach,CA, U.S.A.,(2002)

[3] Stockholm, J.G., "Reliability of Thermoelectric cooling Systems", 10th International Conference on Thermoelectric, 1991, pp. 27-31.

[4] Stockholm, J.G. and L. Pujol-Soulet, "Prototype Thermoelectric Air Conditioning of a Passenger Railway Coach", 4th International Conference on Thermoelectric Energy conversion, Arlington, USA, 1982, pp. 136-141.

[5] Stockholm, J.G. and P.M. Schlicklin, "Thermoelectric Cooling Naval Applications", 7th International Conference on Thermoelectric Energy conversion, Arlington, USA, 1988, pp. 235-238.

[6] Heen, P. and B. Mathiprakasam, "Development of Two-Men TE Microclimate Conditioner for Use in Army Ground-Vehicles", 11th International Conference on Thermoelectric Energy conversion, Arlington, USA, 1992, pp. 181-184.

[7] Miguel A., R. Palacios and A. Arenas, "Thermoelectric Applied to the Cryoconcentration of Orange Juice", 15th International Conference on Thermoelectric, California, USA, 1992, pp.259-263

[8] C. Lertsatitthanakorn Experimental study of a thermoelectric ceiling radiant cooling panel 18th ME-NETT

[9] Ling K V, Dexter A L. (1994), Expert Control of air-conditioning plant, Automatica, 30: 761-773

[10] D.M. Schwenk. (1989), Single-loop digital controllers in HVAC, ASHREA Transaction, 95:1985-1994