รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประหยัดพลังงานในอาคารโดยการควบคุมอุณหภูมิในห้องเรียนด้วยโมเดลพรีดิกทีฟ

Saving building energy: model predictive classroom temperature control

นายสังวาล บกสุวรรณ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประหยัดพลังงานในอาคารโดยการควบคุมอุณหภูมิในห้องเรียนด้วยโมเดลพรีดิกทีฟ

Saving building energy: model predictive classroom temperature control

สังวาล บกสุวรรณ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การประหยัดพลังงานในอาคารโดยการควบคุมอุณหภูมิในห้องเรียนด้วยโมเดลพรีดิกทีฟ
แหล่งเงิน เงินอุดหนุนทั่วไป (เงินรายได้) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 120,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึง 30 เดือน กันยายน พ.ศ. 2559
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ นาย สังวาล บกสุวรรณ
ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การควบคุมระบบ HVAC ด้วยตัวควบคุม Model Predictive Control หรือ MPC เพื่อประหยัดพลังงานในอาคารหรือตึกถูกใช้อย่างแพร่หลาย สมรรถนะการควบคุมนั้นขึ้นอยู่กับตัวระบบเองรวมถึงการรบกวน ซึ่งแต่ละอาคารก็มีลักษณะเฉพาะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารเรียนในประเทศไทยซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาไม่ใช่ระบบอินเวอเตอร์ การทำงานของเครื่องปรับอากาศนั้นยังเป็นแบบเปิด-ปิด ซึ่งถือว่าเป็นการควบคุมที่มีสมรรถนะต่ำ ดังนั้นการควบคุมเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมภายในห้องเรียนก็นำไปสู่การประหยัดพลังงานของอาคารทั้งหมดได้ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดานี้มีสองสถานะเปิด-ปิด ดังนั้นระบบโดยรวมก็กลายเป็นระบบผสม และการเปลี่ยนสถานะของคอมเพรสเซอร์นั้นไม่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นเงื่อนไขในการออกแบบระบบควบคุม ทำให้การควบคุมอย่าง พีไอดี หรือ LQG นั้นไม่เหมาะสม ในโครงการวิจัยนี้นำเสนอวิธีการออกแบบโดยอาศัย EMPC (Explicit Model Predictive Control) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการโปรแกรมในระบบฝังตัว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิห้องลดลงไปยังค่าที่ต้องการ 25 องศาเซลเซียสได้ภายใน 10 นาที และเปลี่ยนแปลงระหว่าง 23-26 องศาเซลเซียส โดยสามารถลดเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้ 33.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า EMPC เหมาะสมเป็นอย่างมากสำหรับการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเรียนเพื่อลดพลังงาน

คำสำคัญ : การประหยัดพลังงานไฟฟ้า, HVAC, Model Predictive Control, Explicit Model Predictive Control

Research Title: Saving building energy: model predictive classroom temperature control

Researcher: Sungwan Boksuwan

Faculty: Engineering **Department:** Measurements and Control Engineering

ABSTRACT

HVAC control system using Model Predictive Control, or MPC, to save building energy is widely used. The control performance depends on the system itself and a nature of disturbance. Each of building has its own properties. In Thailand, University's classrooms mostly have the air conditioner which is not an inverter system. The control mechanism is on and off which is not efficient enough. Thus, the excellent control of the air conditioner will lead to energy saving. The classroom with on-off air conditioner is considered as a hybrid system since the compressor has only two positions. In addition, the compressor cannot change its own state simultaneously. All stage changes require at least 5 minute. Those constrain the design of control system, which the traditional controllers like PID or LQG are not a choice. In this research, the Explicit Model Predictive Control, or EMPC, is used because it is suitable for the implementation in an embedded system. The experimental results reveal that the temperature reaches the desired value 25 degree Celsius within 10 minute and keeps fluctuating between 23 and 26 degree Celsius. The working time of compressor is reduced 33.33 percent. The EMPC is considered very useful for the control of the temperature in the classroom with on-off air conditioners.

Keywords : Energy saving, HVAC, Model Predictive Control, Explicit Model Predictive Control

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษาในห้องทดลอง Cybernetics เป็นอย่างมากซึ่งมีส่วนช่วยให้งานสำเร็จไปได้ด้วยนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอ ขอบคุณ นาย สุรวัฒ บกสุวรรณ ซึ่งช่วยสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ อย่างเต็มกำลัง นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุก ๆ ท่านในการทำวิจัยครั้งนี้ซึ่งไม่อาจจะกล่าวนามได้ทั้งหมด

สังวาล บกสุวรรณ

คำนำ

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งหน่วยงานต่างๆให้ความสำคัญกับกิจกรรมต่างๆของตนเอง และพยายามที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง อาคารไม่ว่าจะเป็นอาคารธุรกิจหรืออาคารในสถานที่ราชการต่างๆก็มีการใช้พลังงานมากเช่นเดี่ยวกัน อุปกรณ์หลัก ๆ คือเครื่องปรับอากาศ ในอาคารเหล่านี้ซึ่งนำไปสู่การสิ้นเปลืองพลังงานมากในประเทศไทย รองลงมาเป็นระบบส่องสว่าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของอาคารนั้น ๆ และเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้ในอาคารเหล่านี้เป็นแบบธรรมดาไม่ใช้ระบบอินเวอร์เตอร์ การควบคุมเป็นชนิดเปิด – ปิด ซึ่งถือว่าเป็นการควบคุมที่มีประสิทธิภาพไม่สูง ดังนั้นการควบคุมระบบเครื่องปรับอากาศเหล่านี้ให้ทำงานอย่างเหมาะสม จะนำไปสู่การลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง V

สารบัญภาพ VI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 7

3.1 โมเดลคณิตศาสตร์สำหรับห้องควบคุม 7

3.2 การออกแบบระบบควบคุม Model Predictive Control 11

3.3 เครือข่ายระบบควบคุม 16

บทที่ 4 ผลการวิจัย 19

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 22

5.1 สรุปผลการวิจัย 22

5.2 ข้อเสนอแนะ 23

บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย 24

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง 25

สารบัญ

หน้า

ภาคผนวก 26

ภาคผนวก ก สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย ให้แนบแบบรายงานการใช้จ่ายเงิน

ประวัตินักวิจัย 27

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พารามิเตอร์ของห้องทดลองซึ่งได้จาการทำ Identification ซึ่งความถูกต้องอยู่ที่ 64 เปอร์เซ็นต์	10

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 อาคารสำหรับการทดลองระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ ที่ Switzerland	5
3.1 ห้องทดลองสำหรับการควบคุม Model predictive control วัตถุประสงค์เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในโดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาชนิดเปิด-ปิด	7
3.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้อง (สีน้ำเงิน) และอุณหภูมิภายนอก (สีแดง) เนื่องการการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์ รวมทั้งการเปิดปิดประตู เพื่อพัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์จากข้อมูล	8
3.3 การเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์เพื่อกระตุ้นระบบสำหรับกระบวนการ Identification	9
3.4 ผลตอบสนองที่ได้จากโมเดลทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบเข้ากับอุณหภูมิที่ได้จากการวัด	9
3.5 โครงสร้างการควบคุมด้วย Model predictive control	11
3.6 โครงสร้างการควบคุมระบบด้วย EMPC	11
3.7 โครงสร้างการคำนวณของ EMPC	12
3.8 ผลการจำลองระบบควบคุมกำหนดให้ค่าที่ต้องการอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายใน (สีน้ำเงิน) และอุณหภูมิภายนอก (สีแดง)	15
3.9 สัญญาณควบคุมโดยอาศัยตัวควบคุม Model predictive control	15
3.10 การวัดอุณหภูมิโดยทำการส่งข้อมูลผ่านระบบ CAN	16
3.11 บอร์ดควบคุมหลัก	17
3.12 บอร์ดส่งสัญญาณควบคุมเครื่องปรับอากาศ	17
3.13 บอร์ดเก็บข้อมูล	18
4.1 อุณหภูมิภายในห้องทดลองซึ่งควบคุมด้วย EMPC โดยอุณหภูมิที่ต้องการ 25 องศาเซลเซียส	19
4.2 สัญญาณควบคุมของ EMPC โดยค่าอุณหภูมิที่ต้องการอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส	20
4.3 สัญญาณการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์	20
5.1 อุณหภูมิภายในห้องซึ่งควบคุมด้วย EMPC	22

บทที่ 1
บทนำ

การใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็นเร่งด่วนอย่างมากในปัจจุบัน ซึ่งหลายหน่วยงานพยายามลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง ตึกหรืออาคารเรียนก็มีการใช้พลังงานอย่างมากเช่นเดียวกัน ส่วนใหญ่นั้นมากจากเครื่องปรับอากาศ รองลงมาเป็นระบบส่องสว่างและระบบน้ำ ในห้องเรียนหนึ่งห้องอาจใช้เครื่องปรับอากาศมากถึงสี่เครื่อง ดังนั้นการลดพลังงานในอาคารซึ่งถือเป็นหัวข้อวิจัยที่ได้รับความสนใจในวงกว้าง ให้ได้ผลควรมุ่งที่ระบบเครื่องปรับอากาศ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในอาคารและห้องเรียนส่วนใหญ่นั้นเป็นเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาไม่ใช่ระบบอินเวอเตอร์ การควบคุมเป็นชนิดเปิด-ปิดซึ่งเป็นการควบคุมที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอและคอมเพรสเซอร์จะทำงานตลอดเวลาหรือคอมเพรสเซอร์จะทำการเปิดปิดมากเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมแบบเปิด-ปิดซึ่งติดตั้งมาจากผู้ผลิตมักจะมีช่วงขอบเขตที่กว้างมากเกินไป เช่น อุณหภูมิที่ต้องการถูกกำหนดที่ 25 องศาเซลเซียส แต่คอมเพรสเซอร์จะหยุดทำงาน เมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 23.5 องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าเครื่องปรับอากาศไม่สามารถลดอุณหภูมิลงต่ำกว่าค่านี้ได้ คอมเพรสเซอร์จะทำงานตลอดเวลาซึ่งสาเหตุก็อาจมาจาก อุณหภูมิภายนอก และจำนวนของนักเรียน นักศึกษาภายในห้อง ซึ่งจะนำไปสู่การเสียพลังงานโดยไม่จำเป็น การควบคุมการเปิด-ปิดที่เหมาะสมนั้นนำไปสู่การลดพลังงานได้ ความยากยากของการควบคุมอุณหภูมิในห้องเรียนนั้นเนื่องจากเป็นระบบที่มีการตอบสนองช้า รวมทั้งคอมเพรสเซอร์เป็นชนิดเปิด-ปิด ไม่สามารถปรับได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งระบบนี้เรียกว่าระบบผสม (hybrid system) เป็นการผสมระหว่างตัวแปรต่อเนื่องคือ อุณหภูมิภายในห้อง อุณหภูมิภายนอก ความชื้นและความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ เข้ากับตัวแปรไม่ต่อเนื่องได้แก่ คอมเพรสเซอร์ซึ่งมีแค่สองตำแหน่งเท่านั้น รวมทั้งไม่สามารถเปิด-ปิดที่เวลาใด ๆ ได้ เพราะเครื่องปรับอากาศประเภทนี้จะถูกโปรแกรมมาจากผู้ผลิตเพื่อป้องกันการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์ เช่น การปิดคอมเพรสเซอร์นั้นจะทำได้หลังจากเปิดไปแล้ว 5 นาที และในทางกลับกัน การเปิดคอมเพรสเซอร์จะทำได้หลังจากทำการปิดคอมเพรสเซอร์ไปแล้ว 5 นาที ซึ่งการป้องกันนี้จะเป็นเงื่อนไขในการออกแบบระบบควบคุม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติในห้องเรียน โดยใช้ยุทธวิธีการควมคุมขั้นสูง Model predictive control ควบคุมเครื่องปรับอากาศอย่างเหมาะสมที่สุด ให้ผู้ใช้รู้สึกสะบายและประหยัดพลังงานไฟฟ้า ไปพร้อม ๆกัน ผลสัมฤทธิ์ จะนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (operating cost) ประหยัดเงิน ได้เป็นอย่างมาก และ

นอกจากนี้ ยังเป็นเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมทำงานวิจัย เรียนรู้ และตระหนักถึงความสำคัญของการประยุกต์ใช้การควบคุมชั้นสูง เพื่อสร้างระบบควบคุมสมรรถนะสูง ที่มีมูลค่าทางการตลาด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างและติดตั้งระบบเซ็นเซอร์สำหรับห้องต้นแบบซึ่งมีเครื่องปรับอากาศ 1เครื่อง
2. สร้างระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อเก็บข้อมูลและควบคุมอุณหภูมิ ห้องต้นแบบ
3. ออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ ชนิด Model Predictive Control เพื่อควบคุมอุณหภูมิอย่างเหมาะสมที่สุด

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบเปิด-ปิด เพื่อลดการใช้พลังงานในห้องเรียนโดยอาศัยการควบคุมขั้นสูง วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1. พัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์ (mathematical modeling) เพื่ออธิบายพฤติกรรมเชิงพลศาสตร์ของอุณหภูมิภายในห้องรวมทั้งผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอก
2. พัฒนาระบบควบคุม Model predictive control สำหรับควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเรียน โดยการโปรแกรมลงในระบบฝังตัว
3. ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น โดยนำไปติดตั้งกับห้องซึ่งมีเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่อง เพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของการปรับปรุงสมรรถนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีการที่นำเสนอนี้ สามารถลดการใช้พลังงานในห้องทดลองได้ ไม่น้อยกว่า 33.33 เปอร์เซ็นต์ ในการใช้งานห้อง 3 ชั่วโมง ซึ่งคอมเพรสเซอร์จะทำงานแค่ 2 ชั่วโมงเท่านั้น เราสามารถประหยัดไปได้ 60 นาที การใช้ห้องเรียนนั้นจะใช้วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 3 ชั่วโมง ดังนั้น 1 ห้อง ในหนึ่งวันเราจะประหยัดไปได้ถึง 2 ชั่วโมง นั้นหมายความว่าถ้ามหาลัยมีห้อง เรียน 100 ห้อง ในหนึ่งวันเราสามารถประหยัดได้ถึง 200 ชั่วโมง การเปิดคอมเพรสเซอร์น้อยลงนั้นนอกจากประหยัดพลังงานแล้ว ยังเป็นการยืดอายุของคอมเพรสเซอร์เองอีกด้วย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การควบคุมอาคาร (Building) โดยทั่วไปประกอบด้วย ระบบความร้อน ระบบระบายอากาศ ระบบปรับอากาศซึ่งระบบนี้เรียกว่า HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning system) การควบคุมระบบนี้เรียกว่า ระบบควบคุม HVAC มีการศึกษามาอย่างต่อเนื่อง และมีการประยุกต์กับอาคารต่าง ๆ การควบคุมระบบ HVAC มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดนเมื่อ ตัวควบคุมที่เรียกว่า MPC (Model Predictive Control) ได้ถูกนำมาใช้ Afran และคณะ [1] ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ MPC สำหรับระบบ HVAC ซึ่งชี้ในเห็นความท้าทายของระบบนี้ไว้ว่า

1. ระบบ HVAC นั้นเป็นระบบไม่เชิงเส้น
2. พลศาสตร์ของระบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา และจุดทำงานของระบบก็เปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน
3. การรบกวนระบบเปลี่ยนแปลงตามเวลา
4. มีข้อมูลของสภาพแวดล้อมน้อย
5. เป็นระบบที่มีการกระทำระหว่างระบบย่อย ๆ ด้วยกันเอง
6. หลายอาคารไม่มีการควบคุมในระดับ Supervisory

ปัญหาเหล่านี้ทำให้วิธีการควบคุมที่ผ่านมาประสบปัญหาในการออกแบบ แต่ MPC มีจุดแข็งหลายประการและเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบ HVAC

1. ใช้โมเดลพลศาสตร์ในการทำนายพฤติกรรมของระบบในอนาคตเพื่อการคำนวณสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม แทนการควบคุมซึ่งพยายามทำให้ความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์
2. รวมโมเดลการรบกวนเข้ามาในการคำนวณเพื่อลดผลของการรบกวนนั้น
3. ความสามารถในการรับมือกับข้อจำกัดของระบบและความไม่แน่นอน
4. ความสามารถในการรับมือกับระบบซึ่งพลศาสตร์เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งยังสามารถรบมือกับการเปลี่ยนแปลงจุดทำงานได้ในย่านที่กว้าง
5. เหมาะสมกับการรับมือระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงช้า
6. การประหยัดพลังงานสามารถรวมเข้าไปในกระบวนการออกแบบตัวควบคุม
7. มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบได้มากกว่าหนึ่งโดยอาศัยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์
8. สามารถออกแบบโครงสร้างระบบได้ทั้งระดับ Supervisory และระดับ local

การประยุกต์ใช้ MPC นั้นขึ้นอยู่กับระบบ เช่น อาคารธุรกิจ สนามบิน เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของโหลดด้วย อย่างไรก็ตามสามารถกล่าวได้ว่าการประยุกต์ใช้จะประสบความสำเร็จหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับว่าเราสามารถอธิบายระบบและการรบกวนได้ถูกต้องมากน้อยแค่ไหน Huang และคณะ [2] ทำการประยุกต์ MPC เพื่อควบคุมระบบ HVAC สำหรับอาคารธุรกิจโดยพยายามหาโมเดลพลศาสตร์ของการกระทำระหว่างกันของแต่ละโซนโดยใช้วิธี Neural network การรวมเอาการกระทำระหว่างกันเข้ามานั้นก็เพื่อให้โมเดลพลศาสตร์ถูกต้องมากยิ่งขึ้นนั้นเอง นอกจากนี้ Huang และคณะ [3] ยังประยุกต์ MPC เข้ากับระบบ HVAC ของอาคารสนามบินซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ 13 เปอร์เซ็นต์ การวิจัยส่วนใหญ่พยายามอธิบายการรบกวนระบบให้ได้มากที่สุด Morari และคณะ [4] ซึ่งเป็นกลุ่มวิจัยเรื่อง HVAC ที่ใหญ่ที่สุดอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งได้มีการศึกษาวิจัยและทดลองระบบควบคุมแบบต่าง ๆ และตีพิมพ์เสนอผลงานอย่างต่อเนื่อง ล่าสุดได้สรุปผลและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจนถึงปัจจุบัน ได้ประยุกต์ MPC เข้ากับอาคารธุรกิจ ภาพที่ 2. 1 โดยการรวมเอาผลการทำนายสภาพอากาศเข้ามาร่วมคำนวณด้วยซึ่งเป็นความพยายามอธิบายการรบกวนระบบให้ถูกต้องมากที่สุดนั่นเอง ผลการวิจัยชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่า MPC สามารถควบคุมระบบ HVAC ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ และสมรรถนะสูง และประหยัดพลังงานได้จริง เนื่องจากมีการรวมข้อมูลสภาพอากาศ และโหลดความร้อนเข้ามาในการคำนวณด้วย แต่บทความนี้ชี้ให้เห็นว่าการลงทุนเริ่มต้นก็สูงเช่นเดียวกัน ดังนั้นในงานวิจัยที่นำเสนอนี้จึงคำนึงถึงประเด็นนี้ด้วย กล่าวคือระบบที่ได้จะต้องคุ้มค่าการลงทุน อีกตัวอย่างหนึ่งได้แก่งานวิจัยของ Aswani และคณะ [5] ซึ่งประยุกต์ MPC เพื่อควบคุมห้องปฏิบัติการซึ่งมีความไม่แน่นอนของผู้เข้ามาใช้สูง โดยการใช้ วิธีการเรียนรู้ (Learning) เพื่อทำการทำนายโหลดความร้อนจากผู้เข้ามาใช้ห้องสามารถประหยัดพลังงานได้มากถึง 30-70 เปอร์เซ็นต์ นอกจากความพยายามอธิบายระบบและการรบกวนให้ถูกต้องมากที่สุดแล้ว การควบคุมระบบระบบย่อย ๆ ภายในระบบ HVAC ให้ทำงานอย่างเหมาะสมก็นำไปสู่การใช้พลังงานอย่างเหมาะสมเช่นเดียวกัน ใน [4] นั้น Aswani ได้ประยุกต์ MPC กับห้องปฏิบัติการซึ่งเครื่องปรับอากาศเป็นชนิดเปิด-ปิด ไม่ใช่ระบบอินเวอเตอร์ การเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์บ่อย ๆ จะนำไปสู่การสิ้นเปลืองพลังงานมาก ในการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการนำ MPC มาใช้สามารถลดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงได้เทียบกับการควบคุมแบบเปิด-ปิด

การนำ MPC มาประยุกต์ใช้กับระบบ HVAC ให้ได้ประสิทธิภาพสูงนั้นขึ้นอยู่กับตัวระบบเอง เช่น อาคารธุรกิจ อาคารสนามบิน หรือห้องปฏิบัติการ และขึ้นอยู่กับธรรมชาติการกวนระบบและโหลดความร้อน รวมทั้งระบบย่อยภายในระบบ HVAC ด้วย ดังนั้นการนำ MPC มาประยุกต์ใช้ต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี แต่ละระบบ อาคารเรียนในมหาวิทยาลัยซึ่งยังไม่มีการศึกษาและประยุกต์ระบบ MPC เข้ามาใช้ควบคุมการใช้ มีการใช้พลังไฟฟ้าเป็นจำนวนมากเช่นกัน ในสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนั้นมีห้องเรียนเป็นจำนวนมาก แต่ละห้องมีการใช้งานวันละ 6 ชั่วโมง ซึ่งอุปกรณ์หลักที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง คือระบบเครื่องปรับอากาศและเกือบทั้งหมดไม่ใช่ระบบอินเวอเตอร์ ทั้งหมดมีการควบคุมแบบเปิด-ปิด ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งที่จะควบคุมระบบเครื่องปรับอากาศ โดยอาศัยระบบควบคุมขั้นสูง MPC ทำหน้าที่ในการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์ให้เหมาะสมที่สุด

ภายใต้เงื่อนไขของระบบผสม (Hybrid system) ซึ่งอินพุทในที่นี้คือคอมเพรสเซอร์มีแค่ 2 สถานะกล่าวคือ เปิด-ปิด การปิดคอมเพรสเซอร์นั้นไม่ทำให้เครื่องปรับอากาศหยุดทำงาน เครื่องปรับอากาศยังคงทำงานอยู่พัดลดยังคงหมุน และอีกเงื่อนไขหนึ่งคือไม่สามารถปิดหรือเปิดเครื่องปรับอากาศได้ทันที เงื่อนไขนี้ขึ้นอยู่กับเครื่องปรับอากาศแต่ละรุ่น แต่ละผู้ผลิต

ภาพที่ 2. 1 อาคารสำหรับการทดลองระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ ที่ Switzerland

ที่มา: วารสารวิชาการ, Manfred Morari, 2015

Li และคณะ [6] ทำการศึกษาระบบควบคุมแบบเปิด-ปิดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งไม่ใช้ MPC และประยุกต์ใช้กับระบบรถขนส่ง ซึ่งก็เป็นแนวคิดของระบบ HVAC เช่นเดียวกัน ในงานวิจัยนี้นั้นได้พยายามอธิบายเครื่องปรับอากาศแบบเปิด-ปิด ด้วยโมเดลพลศาสตร์ให้ถูกต้องมากที่สุดจากนั้นทำการหาเวลาการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์ที่เหมาะสมที่สุด แต่วิธีนี้ไม่สามารถรวมเงื่อนไขการออกแบบเข้าไปได้ ซึ่งเป็นเงื่อนไขของเครื่องปรับอากาศชนิดนี้ ด้วยเหตุผลดังกล่าว Shafiei และคณะ [7] ซึ่งก็เป็นนักวิจัยกลุ่มเดิมได้นำเสนอการควบคุม MPC สำหรับระบบรถขนส่งซึ่งมีระบบเก็บพลังงานร่วมด้วย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีการรวม สภาพแวดล้อมภายนอก เส้นทางการเดินรถ และสภาพจราจรเข้ามาด้วย ซึ่งเป็นการยืนยัน ถึงประสิทธิภาพของ MPC ได้อย่างชัดเจน

องค์ประกอบอันหนึ่งที่สำคัญในการออกแบบระบบควบคุมคือการหาโมเดลคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายระบบเชิงพลศาสตร์ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาอย่างมาก ซึ่งมีงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งพยายามหาโมเดลพลศาสตร์เพื่ออธิบาย

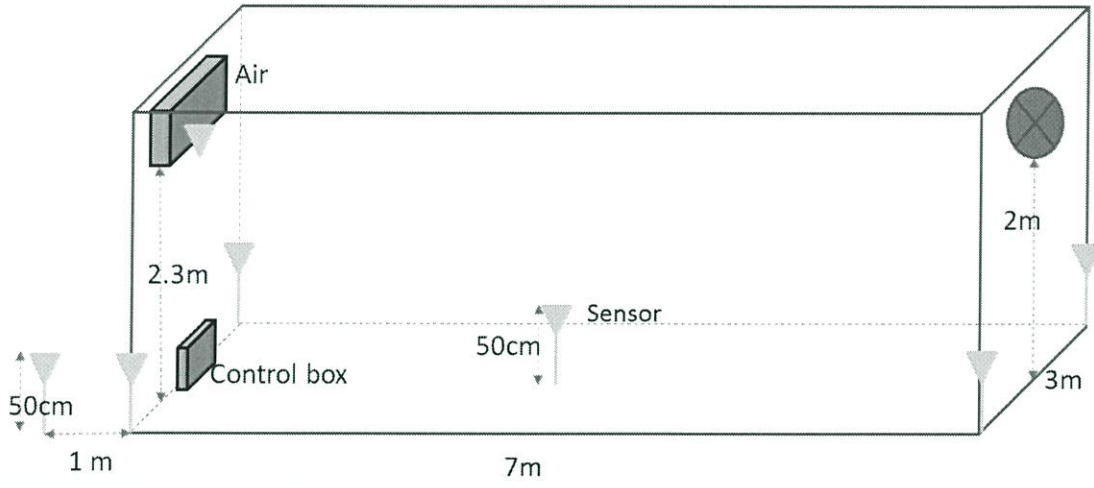
ระบบให้ถูกต้องมากที่สุด เช่นการรวมเอาการกระทำระหว่างกันเข้ามา จริง ๆแล้วขั้นตอนนี้จะต้องง่ายหรือมีเครื่องมือเฉพาะ ซึ่งในงานวิจัยของ Li และคณะ [6] ก็ได้อธิบายถึงการใช้โมเดลพลศาสตร์เช่นเดียวกัน เป็นโมเดลที่รวมเอาอุณหภูมิภายนอกเข้ามีพิจารณาด้วยรวมทั้งอุณหภูมิที่ผนังของคาร์โกด้วย ทำให้สามารถรวมการกระทำระหว่างกันเข้ามาได้ด้วยเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบ HVAC นอกจากนี้ Schne และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาวิธีการหาโมเดลพลศาสตร์ของระบบปรับอากาศภายในบ้าน โดยการโมเดลเฉพาะผลของอุณหภูมิภายนอกเท่านั้นและใช้โปรแกรม MATLAB ในการหาพารามิเตอร์ ของระบบ วิธีนี้ทำให้สามารถสร้างโมเดลพลศาสตร์โดยใช้เวลาน้อยลง

ในงานวิจัยนี้จะทำการประยุกต์ MPC เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเรียนซึ่งประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศแบบเปิด-ปิด การควบคุมพลังงานภายในห้องเรียนนั้นจะนำไปสู่การลดพลังงานในอาคารนั่นเอง โดยการเปิด-ปิดให้น้อยที่สุด หรือลดเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้น้อยที่สุด การวัดสมรรถนะของระบบควบคุมดังนั้นสามารถวัดได้จากเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับห้องเรียนด้วย MPC (Model Predictive Control) นั้นขั้นตอนหลัก ๆ ประกอบด้วย การศึกษาคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศแบบเปิด-ปิด และทำการหาโมเดลพลศาสตร์เพื่ออธิบายพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้อง จากการเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์ และผลของอุณหภูมิภายนอก รวมทั้งการเปิด หรือ ปิด ประตูเข้าออกด้วย จากนั้นทำการออกแบบตัวควบคุม MPC และทำการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก่อน เพื่อศึกษาคุณสมบัติของระบบเบื้องต้นและสุดท้ายทำการทดสอบระบบทั้งหมด

3.1 โมเดลคณิตศาสตร์สำหรับห้องควบคุม



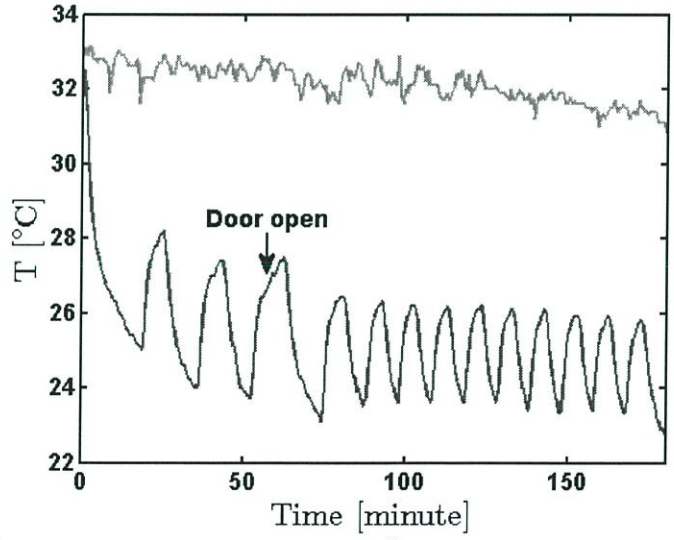
ภาพที่ 3. 1 ห้องทดลองสำหรับการควบคุม Model predictive control วัตถุประสงค์เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในโดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาชนิดเปิด-ปิด

ห้องสำหรับทดลองระบบควบคุม MPC แสดงใน ซึ่งมีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิหลายตำแหน่งเพื่อนำข้อมูลที่จุดต่าง ๆ ไปพาโมเดลพลศาสตร์และศึกษาสมรรถนะการควบคุม แต่ในการใช้งานระบบจริง ๆ นั้นจะมีเซ็นเซอร์แต่ตำแหน่งเดียว หรือถ้าห้องใหญ่มากก็สามารถเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์ได้ ดังนั้น ภาพที่ 3. 1 มองได้เป็นกรณีทั่วไป ของปัญหา เครื่องปรับอากาศนั้นเป็นชนิดเปิด-ปิด กล่าวคืออินพุทของระบบมีแค่สองสถานะในขณะที่ตัวแปรควบคุมคืออุณหภูมิ เป็นตัวแปรต่อเนื่อง ทำให้ระบบนี้เป็นระบบผสม (Hybrid system)

โมเดลพลศาสตร์ของห้องทดลองอธิบายได้โดย

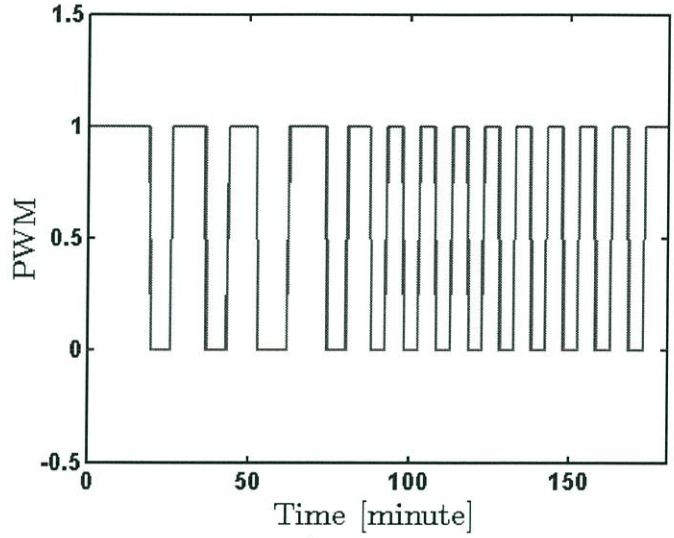
$$T[n+1] = a_1 T[n] + b_1 u[n] + d_1 w[n] + q[n] \quad (1)$$

สมการ (1) นั้นอธิบายอุณหภูมิภายในห้องทดลอง T ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์ u รวมทั้งอุณหภูมิภายนอก w ในขณะที่ความร้อนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบอธิบายด้วยตัวแปร q ซึ่งอาจจะมาจากคนที่อยู่ภายในหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากตัวแปรอินพุทของระบบนั้นเป็นตัวแปรชนิดไม่ต่อเนื่อง กล่าวคือมีแค่การเปิดและปิดคอมเพรสเซอร์ ดังนั้นเราต้องสร้างระบบใหม่ขึ้นมาใช้แทนเพื่อเปลี่ยนจากระบบผสมเป็นระบบเวลาต่อเนื่อง โดยการนิยามการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์ในลักษณะ PWM (Pulse Width Modulation) ดังนั้นตัวแปรอินพุทจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หรือ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น แนวคิดนี้ทำให้ระบบผสมเดิม กลายเป็นระบบเชิงเส้นไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แต่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศนั้นเราไม่สามารถเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์ได้ที่ความถี่สูง เพราะจะทำให้คอมเพรสเซอร์เสียหายได้ รวมทั้งทางผู้ผลิตจะทำการเขียนโปรแกรมป้องกันการเปิด-ปิดไว้แล้ว ซึ่งการเปลี่ยนสถานะนั้นต้องรอทุก ๆ 5 นาที เช่นถ้าคอมเพรสเซอร์ถูกเปิดแล้วต้องการให้มันปิดนั้นต้องรอ อีก 5 นาทีถึงจะดำเนินการได้

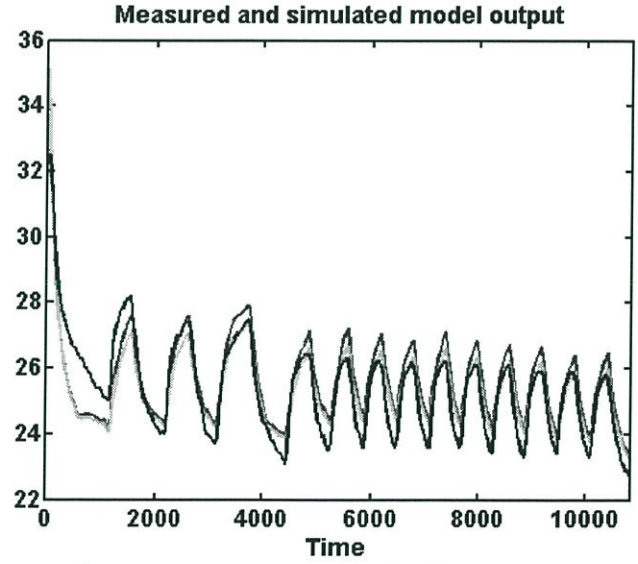


ภาพที่ 3. 2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้อง (สีน้ำเงิน) และอุณหภูมิภายนอก (สีแดง) เนื่องการการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์ รวมทั้งการเปิดปิดประตู เพื่อพัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์จากข้อมูล

จากการทดลองจึงทำการเลือกช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงสถานะหรือเรียกว่าเวลาในการสุ่มตัวอย่าง (Sampling time) เท่ากับ 15 นาที โดยทั่วเวลาควรอยู่ระหว่าง 8 ถึง 15 นาที เพื่อป้องกันคอมเพรสเซอร์ ดังนั้นค่าของ PWM จะอยู่ระหว่าง 5/15 ถึง 10/15 หรือ PWM จะต้องอยู่ในช่วง [0.35,0.65]



ภาพที่ 3. 3 การเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์เพื่อกระตุ้นระบบสำหรับกระบวนการ Identification



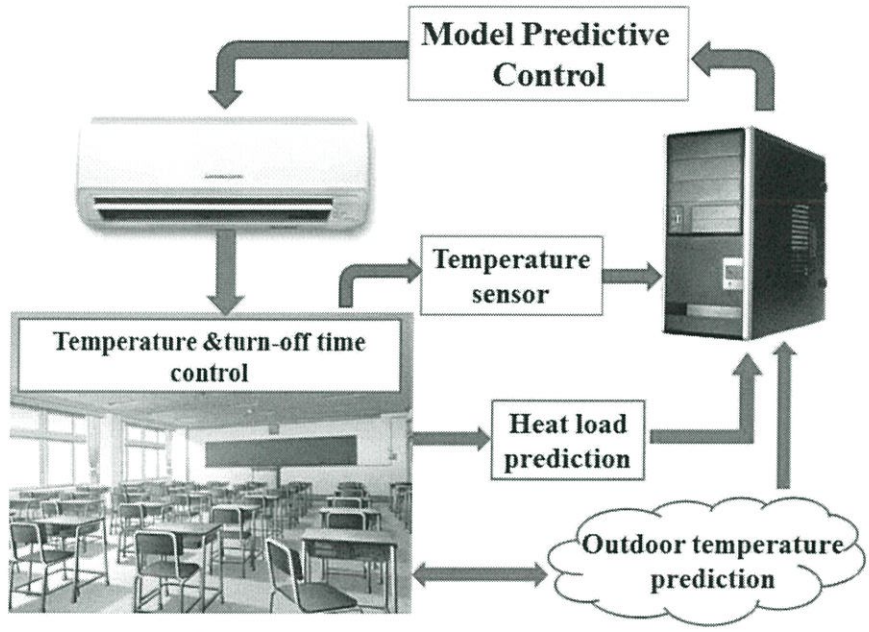
ภาพที่ 3. 4 ผลตอบสนองที่ได้จากโมเดลทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบเข้ากับอุณหภูมิที่ได้จากการวัด

การหาค่าพารามิเตอร์ของ (1) นั้นสามารถทำได้หลายวิธี วิธีหนึ่งคือการทำ Identification โดยการวัดเอาท์พุท ซึ่งเป็นอุณหภูมิภายในห้องซึ่งเป็นตัวแปรที่ต้องการควบคุม ภาพที่ 3. 2 ภาพที่ 3. 2 เส้นสีน้ำเงินข้อมูลของอุณหภูมิภายนอกแสดงด้วยเส้นสีแดง ข้อมูลอุณหภูมิภายในนี้ได้มาจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของคอมเพรสเซอร์ ภาพที่ 3. 3 ซึ่งถูกใช้เพื่อกระตุ้นระบบ การกระตุ้นระบบนั้น เป็นการกระตุ้นในลักษณะสุ่ม และให้ระบบอยู่ในสถาวะการใช้การปกติมากที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการหาโมเดลคณิตศาสตร์ด้วยวิธีนี้นั้น จะต้องสร้างสัญญาณเข้าไปกระตุ้นระบบ และบันทึกผลที่ได้ จากนั้นเราจะใช้ข้อมูลทั้งหมดอุณหภูมิภายใน ภายนอก และ สัญญาณอินพุทการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์ เพื่อคำนวณหาพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่านิยามใน (1) วิธีนี้เรียกว่า Identification จากการข้อมูลอุณหภูมิใน ภาพที่ 3. 2 และสัญญาณอินพุท ภาพที่ 3. 3 พารามิเตอร์ทั้งหมดที่ได้จากการทำ Identification ดังนี้

ตารางที่ 3. 1 พารามิเตอร์ของห้องทดลองซึ่งได้จาการทำ Identification ซึ่งความถูกต้องอยู่ที่ 64 เปอร์เซ็นต์

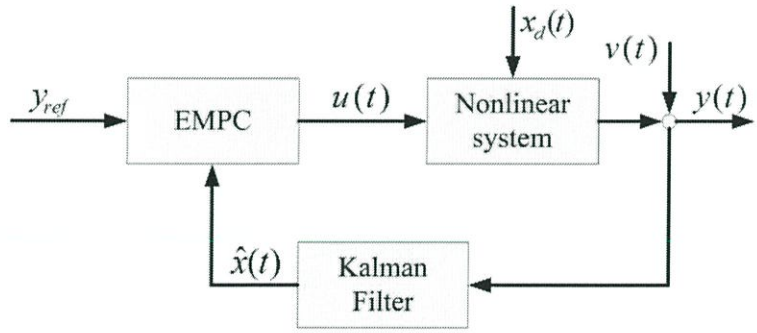
พารามิเตอร์	ค่า
a_1	0.004971702218272
b_1	-3.182844667379395
d_1	0.836924487818905

การหาโมเดลนั้นมีระเบียบวิธีการคำนวณหลายวิธี แต่วิธีที่ให้ความถูกต้องที่แตกต่างกันและเหมาะกับระบบหรือข้อมูลที่แตกต่างกัน ในการวิจัยนี้ทดลองใช้ระเบียบวิธีการคำนวณสองวิธี โดยอาศัยรูปแบบสมการสถานะและฟังก์ชั่นถ่ายโอน ผลที่ได้แสดง ภาพที่ 3. 4 สีดำเป็นอุณหภูมิที่ได้จากการทดลอง สีส้มเป็นโมเดลจากการใช้สมการสถานะให้ความถูกต้อง 64 เปอร์เซ็นต์ และสีน้ำเงินเป็นผลลัพธ์ของวิธีฟังก์ชั่นถ่ายโอนซึ่งให้ถูกต้อง 53 เปอร์เซ็นต์ จากรูปเห็นได้ชัดเจนว่าสีส้มมีความถูกต้องมากกว่า



ภาพที่ 3. 5 โครงสร้างการควบคุมด้วย Model predictive control

3.2 การออกแบบระบบควบคุม Model Predictive Control

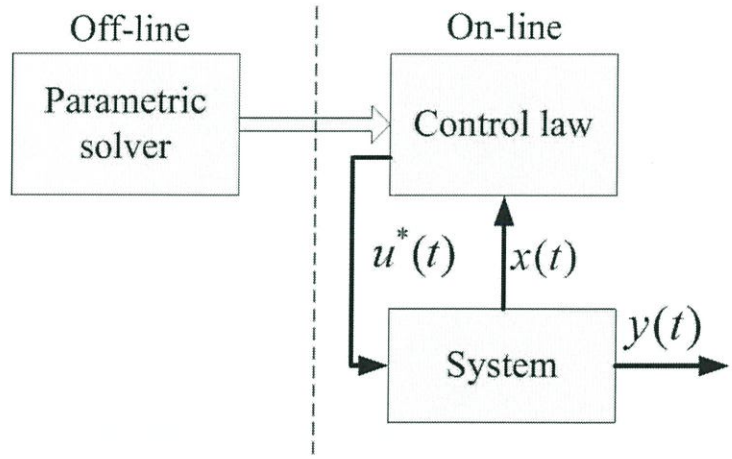


ภาพที่ 3. 6 โครงสร้างการควบคุมระบบด้วย EMPC

การควบคุม MPC (Model predictive control) เป็นการควบคุมขั้นสูงซึ่งสามารถรวมค่าของโหลดต่าง ๆ รวมทั้งการทำนายอนาคตเข้ามาด้วย ทำให้ตัวควบคุมชนิดนี้มีประสิทธิภาพอย่างมากและเหมาะอย่างยิ่งสำหรับระบบที่มีพลศาสตร์ช้าอย่างอุณหภูมิภายในห้อง โครงสร้างการควบคุมแสดงใน ภาพที่ 3. 5 สังเกตว่าการควบคุมรวมผลของอุณหภูมิภายนอกเข้ามาด้วย นอกจากนี้ยังสามารถรวมข้อจำกัด (Constraint) ของสัญญาณควบคุมเข้าไปได้ด้วยในที่นี้คือค่า PWM ซึ่งจะต้องมีค่าอยู่ในช่วง [0.35, 0.65] การคำนวณสัญญาณควบคุมนั้นสามารถสรุปลำดับขั้นการคำนวณได้ดังนี้

1. วัดค่าอุณหภูมิ ณ เวลาปัจจุบัน เรียกว่าที่เวลา k ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นให้กับการทำนายอุณหภูมิในอนาคต
2. ทำการทำนายผลของระบบในอนาคต หาค่าลำดับของสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่สุด
3. กระตุ้นระบบด้วยสมาชิกตัวแรกของสัญญาณควบคุม สมาชิกตัวอื่น ๆ ทิ้งไป
4. กลับไปที่ ขั้นที่ 1 และทำซ้ำเช่นนี้

ในขั้นตอนที่ 2 นั้นการหาค่าเหมาะสมที่สุดสามารถทำได้สองวิธี คือการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบ on-line ซึ่งเรียกว่า On-line Model Predictive Control และการคำนวณแบบ off-line ซึ่งเรียกว่า Explicit Model Predictive Control หรือ EMPC ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Explicit Model Predictive Control ซึ่งเหมาะสมกับระบบฝังตัวมากกว่า บล็อกไดอะแกรมการควบคุมด้วย EMPC ภาพที่ 3. 6 ซึ่งเราสามารถรับมือกับระบบไม่เชิงเส้น ระบบซึ่งอินพุทมีแค่สองสภาวะและมีการอิ่มตัวของสัญญาณควบคุม Kalman filter มักจะถูกนำมาใช้ในกรณีที่เราไม่สามารถวัดตัวแปรสถานะได้ทั้งหมด หรือตัวแปรสถานะมีสัญญาณรบกวนสูง การโปรแกรม EMPC ลงในระบบฝังตัวนั้น โครงสร้างแสดงใน ภาพที่ 3. 7



ภาพที่ 3. 7 โครงสร้างการคำนวณของ EMPC

สังเกตว่าค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้นถูกคำนวณไว้ก่อนในส่วน Off-line การคำนวณที่เหลืออยู่ในส่วนของ On-line อธิบายได้ดังนี้

1. วัดค่าอุณหภูมิ ณ เวลาปัจจุบัน
2. ระบุว่าอุณหภูมิที่ได้นั้น สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์การควบคุมตัวใด และทำการคำนวณสัญญาณควบคุม
3. กระตุ้นระบบด้วยสัญญาณควบคุมดังกล่าว

โมเดลพลศาสตร์สำหรับอธิบายห้องทดลอง

$$T(n+1) = 0.00497T(n) - 3.182844u(n) + 0.83692w(n)$$

โปรแกรมการออกแบบสามารถเขียนได้ดังนี้

```
% x(n+1) = Ad*x(n) + Bd*u(n) + Gd*w(n), w(n)~ N(0,Qw)
% y(n) = Cd*x(n) + Dd*u(n) + Hd*w(n) + v(n), v(n)~N(0,Qv)
Ts = 900;
At = 0.004971702218272;
Bu = -3.182844667379395;
Aw = 0.836924487818905;
Aq = 1;
Ad = [At Aw Aq;0 1 0;0 0 1];
Bd = [Bu;0;0];
Cd =[1 0 0];
Dd = [0];
sys = LTISystem('A',Ad,'B',Bd, 'C',Cd,'D', Dd,'Ts',Ts);
sys.x.min = [0;0;0];
sys.x.max = [45;50;40];
sys.u.min = [0.34];
sys.u.max = [0.65];
sys.y.with('reference');
sys.y.reference = 'free';
sys.y.penalty = QuadFunction(1);
sys.u.penalty = QuadFunction(0.1);
N = 4;
Mympc = MPCController(sys,N);
empmpc = Mympc.toExplicit()
empmpc.optimizer.toMatlab('EMPC.m', 'primal', 'obj');
```

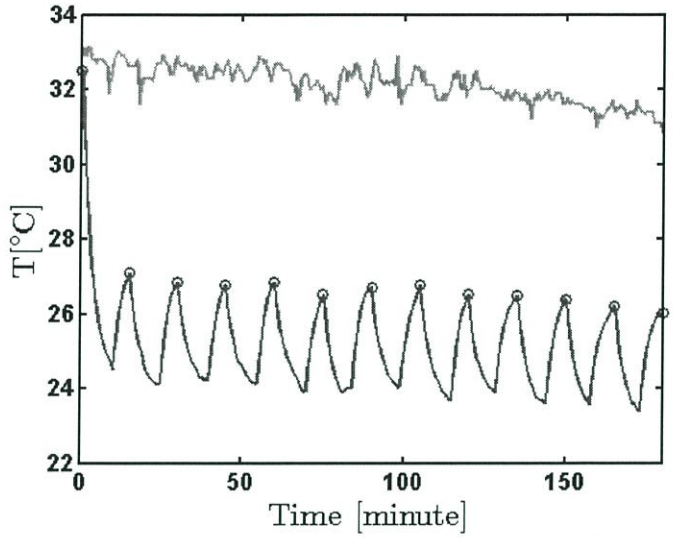
ผลลัพธ์ที่ได้คือ EMPC ซึ่งเก็บในไฟล์ EMPC.m ซึ่งสามารถนำไปแปลงเป็นภาษาซีได้โดยตรง จริง ๆ แล้ว การควบคุม EMPC นั้นก็คือ การป้อนกลับสถานะ

$$u(k) = \mathrm{K}_i \mathrm{x}(\mathrm{k}) + F_i, \qquad x(k) \in \Pi$$

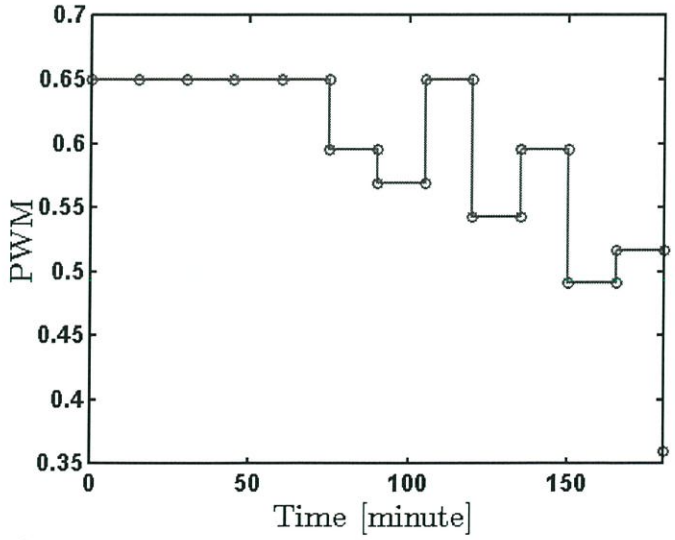
ซึ่ง Π หมายถึง ค่าของ (K_i, F_i) ทั้งหมดนั่นเอง ดังนั้นลำดับขั้นการคำนวณ คือวัดค่าของ $\mathrm{x}(\mathrm{k})$ ปัจจุบัน และเลือกค่า (K_i, F_i) ที่สอดคล้อง นำมาคูณกัน เราก็จะได้สัญญาณควบคุม $u(k)$

การที่เราจะคำนวณค่าของสัญญาณควบคุมได้ เราต้องมีตัวแปรสถานะ ในการทดลองนี้เราสามารถวัดได้ทั้งอุณหภูมิภายในและภายนอก แต่ก็มีสัญญาณกวนอย่าง Noise ดังนั้นจึงใช้ Kalman filter เพื่อประมาณค่าตัวแปรสถานะทั้งหมด

```
Ts = 900; sysC = ss(OK);
T = Clinic180816.OutputData;
u = Clinic180816.InputData(:,1);
w = Clinic180816.InputData(:,2);
[r,c] = size(T);s = max(r,c);
t = 30*[0:s-1];
Uw = timeseries(w,t);
Uu = timeseries(u,t);
Tt = timeseries(T,t);
X0 = T(1,1);
sysC_T = sysC;
Cc = sysC.c;
sysC_T.c = 1;
sysC_T.b = Cc*sysC.b;
K = Cc*OK.k;
sysC = ss(sysC_T.a,[sysC_T.b K],sysC_T.c,[sysC_T.d 0]);
sysD_T = c2d(sysC,Ts);
Atd = sysD_T.a;
Btd = sysD_T.b(1,1:2);
Ctd = sysD_T.c;
Gtd = sysD_T.b(1,3);
Htd = [0]; ytVar = 0.814201766096338;
[rAtd,cAtd] = size(Atd);
[rBtd,cBtd] = size(Btd);
[rCtd,cCtd] = size(Ctd);
[rDtd,cDtd] = size(Dtd);
[rGtd,cGtd] = size(Gtd);
[rHtd,cHtd] = size(Htd);
 qtd = 1;
 Atg = [Atd qtd;zeros(1,cAtd) 1];
Btg = [Btd;zeros(1,cBtd)];
Ctg = [Ctd 0];
Dtg = [Dtd 0];
Gtg = blkdiag(Gtd,1);
Htg = [0 0];
%Design Kalman filter
inputs = {'U' 'W' 'wT' 'wq'};
states = {'T' 'q'};
outputs = {'yt'};
modeltForKalman = ss(Atg,[Btg Gtg],Ctg,[Dtg
Htg],Ts,'inputname',inputs,...
          'statename',states,'outputname',outputs);
QtN = diag([0.01,0.01]);%E[ww^T] state disturbance
RtN = 0.01;%E[vv^T] measurement noise
% RtN = ytVar;
[kalmft,L,P,M] = kalman(modeltForKalman,QtN,RtN);
```



ภาพที่ 3. 8 ผลการจำลองระบบควบคุมกำหนดให้ค่าที่ต้องการอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายใน (สีน้ำเงิน) และอุณหภูมิภายนอก (สีแดง)

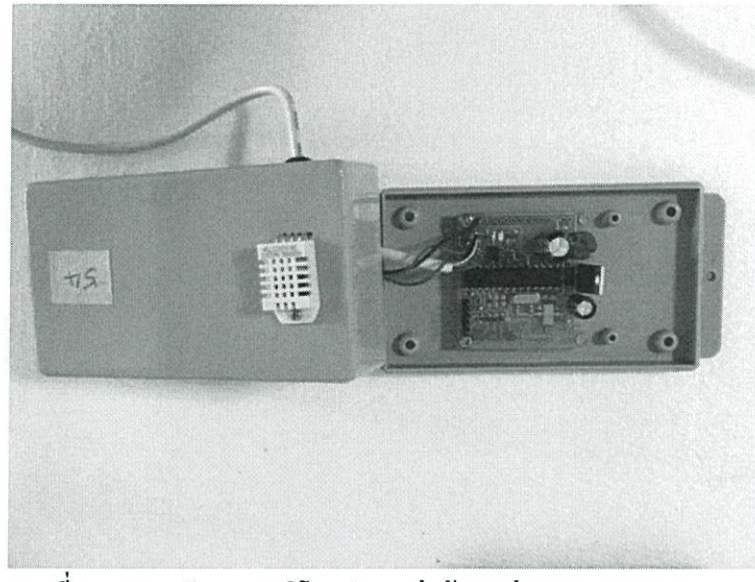


ภาพที่ 3. 9 สัญญาณควบคุมโดยอาศัยตัวควบคุม Model predictive control

การจำลองตัวควบคุม EMPC นั้นจะอาศัยข้อมูลของสัญญาณรบกวนจริง ๆ ซึ่งได้จากการวัด ในการจำลองนี้กำหนดให้อุณหภูมิที่ต้องการอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ผลการจำลองแสดงใน ภาพที่ 3. 8 อุณหภูมิภายใน

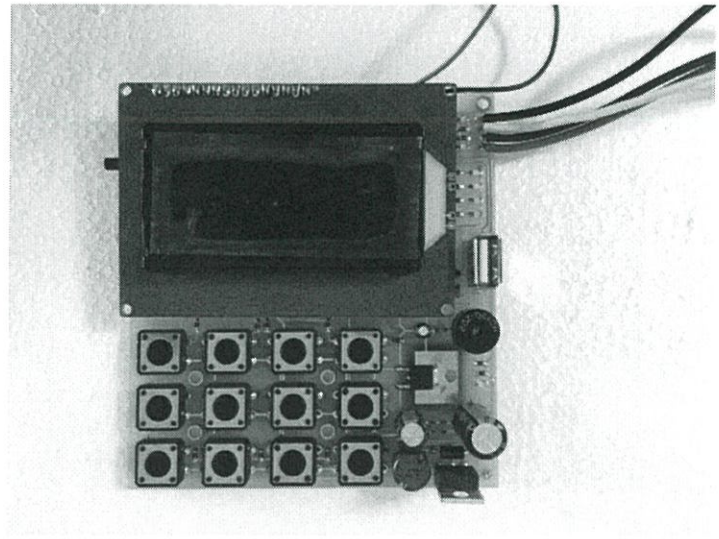
นำเสนอด้วยเส้นสีน้ำเงิน ซึ่งลดลงจากประมาณ 33 องศาเซลเซียส มาที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 8 นาที ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของตัวควบคุมชนิดนี้เพราะสามารถจ่ายอินพุทที่ระดับขีดจำกัดได้ ภาพที่ 3. 9 สังเกตว่าในช่วง 60 นาทีแรกนั้น อินพุทอิ่มตัวตลอดเวลา ซึ่งแตกต่างจากการควบคุมทั่ว ๆ ไปซึ่งไม่สามารถจ่ายอินพุทที่ระดับนี้ได้ หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 24-26.5 องศาเซลเซียส ขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถปรับได้ โดยการปรับค่าอุณหภูมิที่ต้องการ เช่นปรับให้อยู่ที่ 24 องศาเซลเซียส ขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงจะอยู่ที่ 23.5-25.5 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 3 ชั่วโมงนั้นอุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนแปลงไม่มากสำหรับกรณีการเปลี่ยนแปลงปกติ ซึ่งอาจสมมติเป็นค่าคงที่ได้ การประหยัดพลังงานซึ่งหมายถึงการลดเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์นั้นไม่น้อยกว่า 33 เปอร์เซ็นต์ ในห้องทดลอง

3.3 เครือข่ายระบบควบคุม



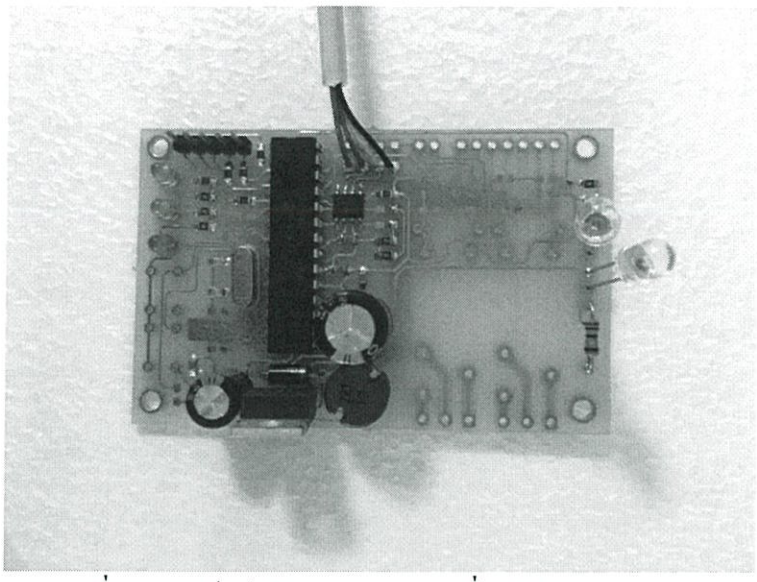
ภาพที่ 3. 10 การวัดอุณหภูมิโดยทำการส่งข้อมูลผ่านระบบ CAN

ถึงแม้ปัจจุบันการทดลองนั้นจะมุ่งที่ห้องทดลองเพียงแค่ห้องเดียวแต่ระบบที่ทำการออกแบบนี้จะสามารถขยายเพื่อครอบคลุมทั้งตึกได้ ระบบเครือข่ายที่เลือกใช้นั้นคือระบบ CAN ซึ่งสามารถที่จะเพิ่มจำนวนโหนดได้โดยง่าย ในการวิจัยครั้งนี้นั้นได้สร้าง ระบบการวัดทั้งหมด 8 ชุด ซึ่งจะสื่อสารผ่านระบบ CAN โหนดสำหรับการวัดอุณหภูมิ ภาพที่ 3. 10 ซึ่งประกอบด้วยเซ็นเซอร์และไอซีสำหรับการสื่อสาร การออกแบบนั้นเน้นให้มีขนาดเล็กติดตั้งได้ง่าย ซึ่งนอกเหนือจากวัดอุณหภูมิแล้ว ยังสามารถวัดความชื้นได้ด้วยแต่ปัจจุบันยังไม่ได้นำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ แต่ในอนาคตนั้นจะมีการรวมการควบคุมความชื้นเข้ามาด้วย



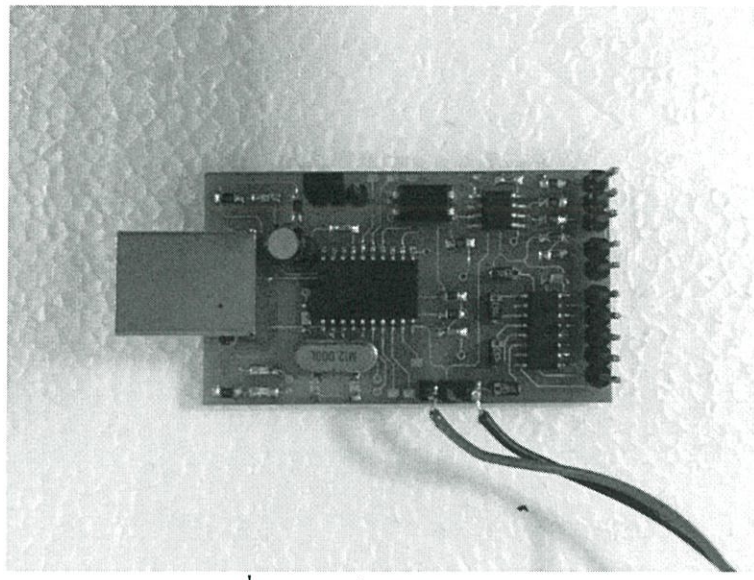
ภาพที่ 3. 11 บอร์ดควบคุมหลัก

บอร์ดควบคุมหลักแสดงใน ภาพที่ 3. 11 ซึ่งตัวควบคุม EMPC ทำการโปรแกรมในบอร์ดนี้ และทำหน้าที่ในการประมวลผลและควบคุมระบบทั้งหมด ข้อมูลจากเซ็นเซอร์จะถูกส่งผ่านระบบ CAN มายังบอร์ดนี้ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกประมวลผลโดย EMPC และทำการคำนวณค่าสัญญาณควบคุม หรือ PWM ส่งไปควบคุมเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 3. 12 บอร์ดส่งสัญญาณควบคุมเครื่องปรับอากาศ

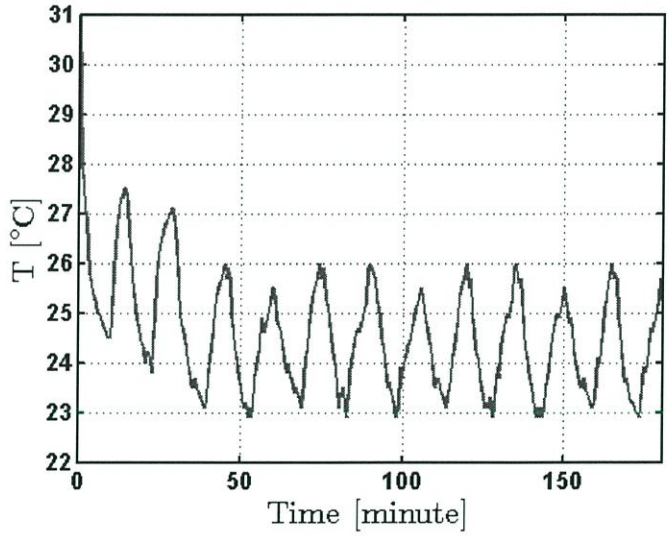
การควบคุมเครื่องปรับอากาศนั้น จะไม่มีการแก้ไขตัวเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นจะไม่มีปัญหาเรื่องของประกัน แต่จะใช้วิธีการเลียนแบบ รีโมท คือสร้างสัญญาณรีโมทขึ้นมาให้เหมือนกับของผู้ผลิตซึ่งวิธีนี้ทำให้เราสามารถควบคุมการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์ได้ บอร์ดผลิตสัญญาณรีโมทแสดงใน ภาพที่ 3. 12 ซึ่งสามารถนำไปวางที่ไหนก็ได้ภายในห้อง การสร้างสัญญาณนั้นจะต้องทำการถอดรหัสสัญญาณรีโมทซึ่งจะมีความยุ่งยากบ้าง ในกรณีที่สามารถแก้ไขเครื่องปรับอากาศได้โดยไม่ต้องกังวลเรื่องของประกันนั้น ก็จะทำให้การควบคุมง่ายขึ้นมาก ในการทดลองนั้นจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เช่นอุณหภูมิภายในภายนอก ซึ่งบอร์ดเก็บข้อมูลแสดงใน ภาพที่ 3. 13



ภาพที่ 3. 13 บอร์ดเก็บข้อมูล

บทที่ 4
ผลการวิจัย

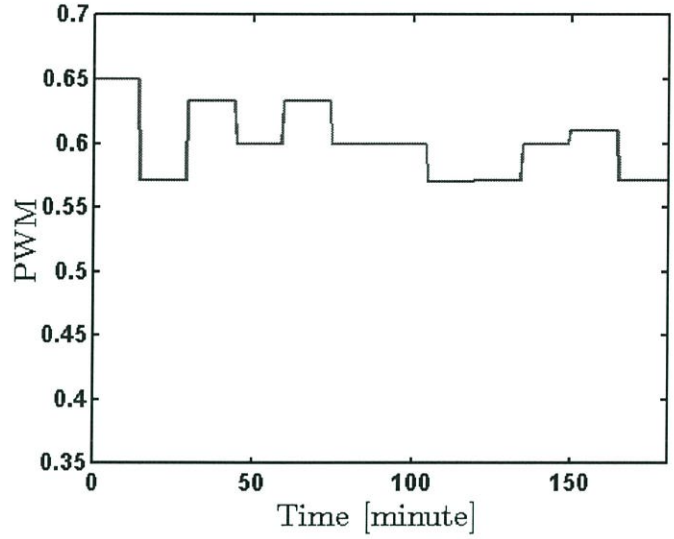
ระบบควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเรียนเพื่อประหยัดพลังงานโดยการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาซึ่งคอมเพรสเซอร์มีสองสภาวะคือเปิดและปิดที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นอาศัยการควบคุม EMPC (Explicit Model Predictive Control) ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้เหมาะสมและประหยัดพลังงานมากที่สุด โดยพยายามให้คอมเพรสเซอร์ทำงานน้อยที่สุด การทดสอบสมรรถนะนั้นอาศัยการคำนวณเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ในห้องที่ติดตั้งระบบนี้ใช้เครื่องปรับอากาศ Saijo Denki รุ่น SJ-C18P-S-ETGP1 ประสิทธิภาพการทำความเย็น 18,3200 Btu กระแสไฟฟ้า 7.29 แอมป์ และกำลังไฟฟ้า 1,575 วัตต์ ในการทดลองนั้นจะทำการทดลองครั้งละ 3 ชั่วโมง ตามเวลาเสมือนการใช้ห้องสำหรับการเรียนการสอน ขณะทำการทดลองข้อมูลจะถูกเก็บทุก ๆ 30 วินาที ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิภายในห้องและสัญญาณสำหรับการควบคุมคอมเพรสเซอร์ โดยปกติในห้องทดลองคอมเพรสเซอร์จะทำงานตลอดเวลาซึ่งแสดงในเห็นว่าเครื่องปรับอากาศทำงานไกล้ขีดจำกัดแล้ว



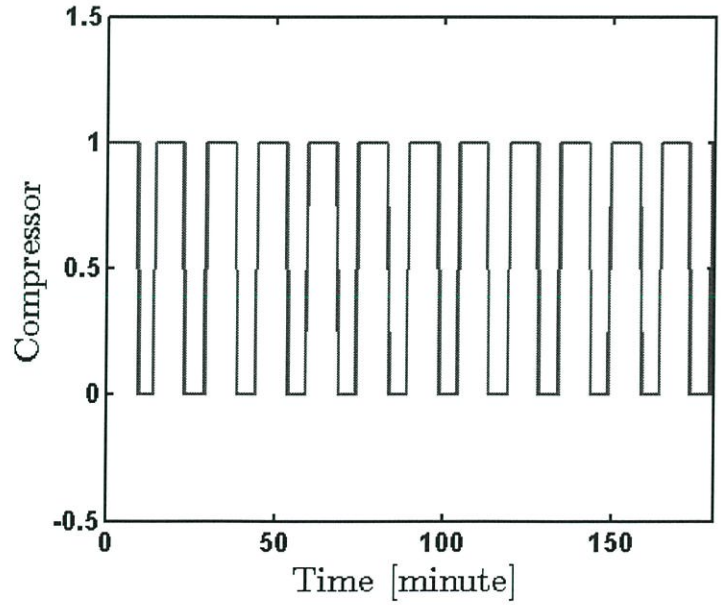
ภาพที่ 4. 1 อุณหภูมิภายในห้องทดลองซึ่งควบคุมด้วย EMPC โดยอุณหภูมิที่ต้องการ 25 องศาเซลเซียส

ในการทดลองอุณหภูมิที่ต้องการกำหนดไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในห้องขณะเริ่มต้น 31 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิภายนอก 32.5 องศาเซลเซียส ผลของการควบคุมอุณหภูมิ ภาพที่ 4. 1 และสัญญาณควบคุมหรือ PWM ที่สอดคล้องกัน ภาพที่ 4. 2 และการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์ ภาพที่ 4. 3 เมื่อระบบเริ่มทำงาน EMPC ทำการคำนวณและสร้างสัญญาณของคุมที่ระดับสูงสุดเพื่อเร่งให้อุณหภูมิภายในห้องลดลงมายัง 24.5 องศาเซลเซียส อย่าง

รวดเร็วภายในเวลา 10 นาที จากนั้นอุณหภูมิเพิ่มขึ้นกลับไปมีค่าสูงสุด 27.5 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่คอมเพรสเซอร์ปิดการทำงาน



ภาพที่ 4. 2 สัญญาณควบคุมของ EMPC โดยค่าอุณหภูมิที่ต้องการอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส



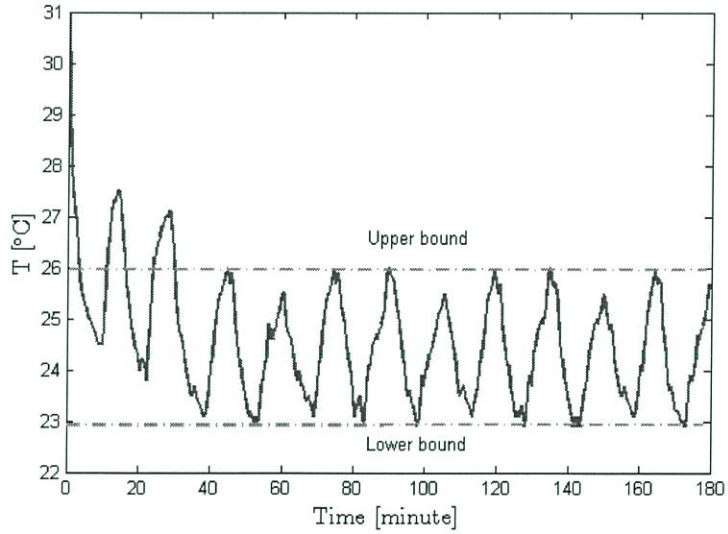
ภาพที่ 4. 3 สัญญาณการเปิด-ปิด คอมเพรสเซอร์

และใช้เวลา 30 นาที เพื่อให้อุณหภูมิไปถึงช่วงที่คงตัวซึ่งอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 26 ถึง 23 องศาเซลเซียส จนกระทั้งหมดเวลา 3 ชั่วโมง ถึงแม้จะใช้เวลานานถึง 30 นาที แต่ระหว่างเวลานั้น อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 27.5 ถึง 24 องศาเซลเซียส ซึ่งเฉลี่ยแล้วก็ไม่ถือว่าร้อน สัญญาณควบคุม PWM มีค่าสูงสุดแค่การสุ่มตัวอย่างครั้งแรกเท่านั้น และที่เวลาต่อมาค่า PWM ก็ลดลงและไม่ไปถึงขีดจำกัดอีกเลย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาการสุ่มตัวอย่างที่ 15 นาทีนั้นเหมาะสมแล้ว จากอุณหภูมิ ภาพที่ 4. 1 นั้นแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิภายในห้องสามารถควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้โดยอาศัยตัวควบคุม Model predictive control และสามารถลดเวลาการเปิดคอมเพรสเซอร์ได้ถึง 33.33 เปอร์เซ็นต์ จากการเปิดคอมเพรสเซอร์ตลอดเวลา ห้องที่ใช้ทดลองนั้น คอมเพรสเซอร์จะทำงานตลอดเวลา ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของเครื่องปรับอากาศ และความเป็นฉนวนของผนังห้อง การทำงานตลอดเวลาของคอมเพรสเซอร์แสดงให้เห็นว่าทำงานใกล้ขีดจำกัดแล้ว แต่จากผลการทดลอง ภาพที่ 4. 1 และ ภาพที่ 4. 2 แสดงให้เห็นว่าคอมเพรสเซอร์ยังสามารถปิดการทำงานได้มากถึง 60 นาทีในช่วงเวลา 3 ชั่วโมง ถึงแม้เวลานี้ยังขึ้นอยู่กับโหลดความร้อนแต่ การทดลองก็ชี้ให้เห็นว่าการควบคุมแบบเปิด-ปิด โดยอาศัยการกำหนดขอบเขตนั้นไม่เหมาะสม โดยเฉพาะเมื่อโหลดความร้อนสูง หรืออากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงตัวคอมเพรสเซอร์จะไม่สามารถไปถึงขอบเขตได้เลยหรือไม่สามารถปิดการทำงานได้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การลดพลังงานจากการใช้เครื่องปรับอากาศภายในอาคารเรียนโดยอาศัยการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องเรียนด้วยการควบคุมอุณหภูมิห้องให้เหมาะสมผ่านการควบคุมคอมเพรสเซอร์ เครื่องปรับอากาศแต่ละผู้ผลิตนั้นก็จะมีรูปแบบการทำงานของตัวเอง เครื่องรับอากาศที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็น Saijo Denki รุ่น SJ-C18P-S-ETGP1 ซึ่งเมื่อเราเริ่มการทำงานครั้งแรกนั้นเครื่องจะรอ 3 นาที ก่อนเปิดคอมเพรสเซอร์ และจะเปิดตลอดไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสถานะได้ภายใน 10 นาที และเมื่อผ่านช่วงแรกไปแล้วทุกการเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์นั้นต้องรอ 5 นาที ถึงจะสามารถเปลี่ยนแปลงสภานะใหม่ได้ เงื่อนไขนี้ทำให้การออกแบบระบบควบคุมยากมากขึ้น การใช้ตัวควบคุมอย่าง พีไอดีนั้นไม่สะดวกเพราะไม่สามารถรวมเงื่อนไขเข้าไปได้โดยง่าย หรือแม้แต่การควบคุมชนิดเหมาะสมที่สุดอื่น ๆ อย่าง LQG จากเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงสถานะของคอมเพรสเซอร์นั้น ทำให้ทราบได้ว่ารอบการคำนวณ หรือช่วงเวลาสุ่มตัวอย่างต่ำสุดคือ 10 นาที



ภาพที่ 5. 1 อุณหภูมิภายในห้องซึ่งควบคุมด้วย EMPC

การประยุกต์ใช้ EMPC เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในห้อง ซึ่งใช้เครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมวิธีนี้นั้นยอมให้รวมข้อจำกัดและโหลดเข้าไปในการคำนวณได้ซึ่งจะทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าการควบคุมแบบทั่วไป ซึ่งสิ่งหนึ่งที่มักจะนำเข้ามารวมคืออุณหภูมิภายนอก และคุณสมบัติที่สำคัญคือการรวมค่าอุณหภูมิในอนาคตโดยอาศัยการทำนายจากโมเดล

พลวัตซึ่งโมเดลนี้รวมอุณหภูมิจากภายนอกเข้าไปได้ด้วย สำหรับโหลดความร้อนนั้นธรรมชาติของห้องเรียนจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก หรือเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง การลดเวลาในการสุ่มตัวอย่างลงนั้นสามารถทำได้สำหรับคอมเพรสเซอร์ที่ใช้นั้นต้องไม่ต่ำกว่า 10 นาที ซึ่งจะมีผลให้การเปิด-ปิด มีความถี่สูงขึ้น และค่าขอบเขตบนและล่างนั้นสามารถลดลดได้ ซึ่งปัจจุบันอยู่ที่ 26 และ 23 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่จะเพิ่มในส่วนของจำนวนการเปิด-ปิดมากขึ้น

5.1 ข้อเสนอแนะ

คอมเพรสเซอร์ชนิดเปิด-ปิด นี้ถึงแม้จะมีราคาที่ถูกกว่าแบบอินเวอเตอร์ แต่จะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเสมอ ถึงแม้การเปลี่ยนแปลงนั้นอาจจะไม่สงผลกระทดสำหรับระบบบางชนิด การลดขนาดของการเปลี่ยนแปลงนี้ ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับระบบด้วย และคอมเพรสเซอร์แบบนี้จะใช้ได้ดี หรือขนาดของการเปลี่ยนแปลงต่ำเมื่อระบบมีค่าเวลาคงตัวสูง กล่าวคือต้องใช้เวลานานเพื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว ซึ่งหมายถึงห้องเรียนควรมีฉนวนที่ดี ซึ่งห้องที่ใช้ทดลองนั้นความเป็นฉนวนถือว่าไม่เหมาะสมห้องสามารถเก็บความร้อนไว้ได้ในช่วงเวลาอันสั้น

อีกวิธีหนึ่งคือการลดเวลาการสุ่มตัวอย่างลง ซึ่งข้อนี้ขึ้นอยู่กับเครื่องปรับอากาศที่เลือกใช้ สมรรถนะของระบบที่ได้อธิบายนี้ยังคงสามารถเพิ่มขึ้นได้อีก โดยการหาโมเดลคณิตศาสตร์ให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัจจุบันมีความถูกต้อง 60 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 6
สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

ลำดับ	ชื่อผลงาน	จำนวน
1	Explicit model predictive control โปรแกรมในระบบฝั้งตัว	4
2	Model predictive control โปรแกรมในระบบฝั้งตัว	2
3	เน็ทเวิคร์การควบคุมโดยการสื่อสารแบบ CAN	1
4	เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น สื่อสารบนระบบ CAN	8
5	บอร์ดความคุม	1
6	โปรแกรมการถอดรหัสรีโมท	1
7	บอร์ดสร้างสัญญาณรีโมท	1
8	บอร์ดเก็บข้อมูล สำหรับการหาโมเดลทางคณิตศาสตร์	1
9	ชุดถอดรหัสรีโมทเครื่องปรับอากาศ	2

บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง

[1] A. Afran, F. Janabi-Sharifi, Review of modeling methods of HVAC systems, Applied Thermal Engineering, 67(2014), 507-519.

[2] H. Huang, L. Chen, E. Hu, A new model predictive control scheme for energy and cost saving in commercial buildings: An airport terminal building case study, Building and Environment, 89 (2015), 203-216.

[3] D. sturzenegger, D. Gyalistras, M. Morari, R. Smith, Model predictive climate control of a Swiss office building: implementation, results and cost-benefit analysis, IEEE transaction on control systems technology, 24 (2016), 1-12.

[4] A. Aswani, N. Master, J. Taneja, D. Culler, C. Tomlin, Reducing transient and steady state electricity consumption in HVAC using learning-based model predictive control, IEEE Proc., 100(2012), 240-253.

[5] B. Li, R. Otten, V. Chandan, W.F. Mohs, J. Berge, A.G. Alleyne, Optimal on-off control of refrigerated transport systems, Control engineering practice, 18 (2010), 1406-1417.

[6] S.E. Shaffiei, A. Alleyne, Model predictive control of hybrid thermal energy systems in transportation refrigeration, Applied Thermal Engineering, 82 (2015), 264-280.

[7] T. Schne, S. Jasko, G. Simon, Dynamic models of a home refrigerator, MACRO 2015 5th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Science and Robotics, 2015, 105-114.

ภาคผนวก

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

บันทึกรายการรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ 259-01-01020 ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2558 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2559

แหล่งทุน: เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ชื่อโครงการ การประหยัดพลังงานในอาคารโดยการควบคุมอุณหภูมิในห้องเรียนด้วยโมเดลพรีดิกทีฟ

ชื่อหัวหน้าโครงการ: นาย สังวาล บกสุวรรณ

ว/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างถึง	รายการรับ - จ่าย			รายรับ	รายจ่าย						รวมรายจ่าย
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ดอกเบี้ยรับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน				งบลงทุน	
							ค่าจ้างชั่วคราว	ค่าตอบแทน	ค่าใช้สอย	ค่าวัสดุ	ค่าสาธารณูปโภค	ค่าครุภัณฑ์	
	งบประมาณที่ได้รับการอนุมัติ (ตามแผน)		120,000.00										-
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 1 = 85%)		102,000.00										
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 2 = 15%)		18,000.00										
	จำนวนเงินที่ได้รับ (งวดที่ 3)												
	หัก ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 1)			60,533.00			-	-	-	60,533.00	-	-	60,533.00
	ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 2)			28,479.64			-	-	-	28,479.64	-	-	28,479.64
	ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 3)			6,980.00			-	-	-	6,980.00	-	-	6,980.00
	ค่าใช้จ่าย (ครั้งที่ 4)			25,727.00			-	-	-	25,727.00	-	-	25,727.00
	งบประมาณคงเหลือ		120,000.00		**- 1,719.64**	**0.00**							
	รายละเอียดค่าใช้จ่าย												
ครั้งที่ 1													
ว/ด/ป	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	(เลขที่ใบเสร็จรับเงิน)											-
5 ม.ค 59	ค่าวัสดุอิเล็กทรอร์นิกส์ และอุปกรณ์ไมโครคอนโทรเลอ	RC5900101								34,533.00			34,533.00
6 ม.ค 59	ค่าวัสดุอิเล็กทรอร์นิกส์ และอุปกรณ์สำหรับการสื่อสาร	RC5900102								26,000.00			26,000.00
													-
													-
													-
													-
													-

บันทึกรายการรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ 259-01-01020 ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2558 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2559

.หล่งทุน: เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ื่อโครงการ การประหยัดพลังงานในอาคารโดยการควบคุมอุณหภูมิในห้องเรียนด้วยโมเดลพรีดิกทีฟ

ื่อหัวหน้าโครงการ: นาย สังวาล บกสุวรรณ

/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างถึง	รายการรับ - จ่าย			รายรับ	รายจ่าย						รวม
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ดอกเบี้ยรับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน				งบลงทุน	รายจ่าย
													-
													-
													-
													-
	รวมครั้งที่ 1		-	-	-	-	-	-	-	60,533.00	-	-	60,533.00
เรั้งที่ 2													
/ด/ป	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	(เลขที่ใบเสร็จรับเงิน)											-
8 เม.ย 59	ค่าอุปกรณ์เซ็นเซอร์	L161401								1,070.00			1,070.00
9 เม.ย 59	ค่าอุปกรณ์ไฟฟ้า	IV5904117								2,409.64			2,409.64
9 เม.ย 59	ค่าอุปกรณ์ C-box	RC5900303								25,000.00			25,000.00
													-
													-
													-
													-
													-
													-
													-
													-
													-
													-
	รวมครั้งที่ 2		-	-	-	-	-	-	-	28,479.64	-	-	28,479.64

บันทึกรายการรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ 259-01-01020 ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2558 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2559

.หล่งทุน: เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ื่อโครงการ การประหยัดพลังงานในอาคารโดยการควบคุมอุณหภูมิในห้องเรียนด้วยโมเดลพรีดิกทีฟ

ื่อหัวหน้าโครงการ: นาย สังวาล บกสุวรรณ

/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างถึง	รายการรับ - จ่าย			รายรับ	รายจ่าย						รวม
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ดอกเบี้ยรับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน				งบลงทุน	รายจ่าย
รั้งที่ 3													
/ด/ป	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	(เลขที่ใบเสร็จรับเงิน)											-
พ.ค 59	ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	29-713								1,065.00			1,065.00
พ.ค 59	ค่าบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์	RR5905-008								1,801.00			1,801.00
พ.ค 59	ค่าบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์	BL5905-019								1,801.00			1,801.00
พ.ค 59	อุปกรณ์ไฟฟ้า	719-0944								2,313.00			2,313.00
													-
													-
													-
													-
													-
													-
	รวมครั้งที่ 3		-	-	-	-	-	-	-	6,980.00	-	-	6,980.00
รั้งที่ 4													
/ด/ป	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	(เลขที่ใบเสร็จรับเงิน)											-
3 พ.ค 59	ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	232-16051126								587.00			587.00
2 พ.ค 59	ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	232-16052002								140.00			140.00
4 พ..ค 59	ค่าบอร์ดควบคุม	RC5900405								25,000.00			25,000.00

บันทึกรายการรับ-จ่ายเงิน โครงการวิจัย สัญญาเลขที่ 259-01-01020 ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2558 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2559

แหล่งทุน: เงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ชื่อโครงการ การประหยัดพลังงานในอาคารโดยการควบคุมอุณหภูมิในห้องเรียนด้วยโมเดลพรีดิกทีฟ

ชื่อหัวหน้าโครงการ: นาย สังวาล บกสุวรรณ

ว/ด/ป	รายการ	เลขที่อ้างถึง	รายการรับ - จ่าย			รายรับ	รายจ่าย						รวม
			รับ	จ่าย	คงเหลือ	ดอกเบี้ยรับ	งบบุคลากร	งบดำเนินงาน				งบลงทุน	รายจ่าย
													-
													-
													-
													-
													-
													-
													-
	รวมครั้งที่ 4		-	-	-	-	-	-	-	25,727.00	-	-	25,727.00

ลงชื่อหัวหน้าโครงการ .....

วันที่ 20 ม.ค. 2559

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

1. **ประวัติส่วนตัว**

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย สังวาล บกสุวรรณ

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Sungwan Boksuwan

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

ที่อยู่ที่ติดต่อ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ 1 ซ.ฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 096-1420565

E-mail: sungwan.bo@kmitl.ac.th

2. **ประวัติการศึกษา**

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Ph.D.	Mechanical Engineering and Intelligent Systems	The University of Electro-Communications, ญี่ปุ่น	2558
M. Eng.	Electrical engineering	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2548
B. Eng.	Control engineering	สจล	2546

3. **ฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ**

ปี พ.ศ.	หัวข้อ	ผู้จัด
2559	หลักสูตร การบริหารชุดโครงการวิจัยไม่ยากอย่างที่คิด รุ่นที่ 4	สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร
2559	หลักสูตร การคิดเชิงระบบ (Systems Thinking) เพื่อพัฒนาข้อเสนอโครงการวิจัย รุ่นที่ 5	สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร

4. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ.	ทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2558	ทุนวิจัย ณ the University of Electro-Communications (UEC), Japan	สจล
2555-2557	Cadet Projects ณ ประเทษ ญี่ปุ่น	The University of Electro-Communications (UEC), ญี่ปุ่น
2556	UEC Oversea research programe ณ Department of chemical engineering, NTNU, Trondheim, Norway	The University of Electro-Communications (UEC), ญี่ปุ่น
2553-2554	การควบคุมไร้สาย (หัวหน้าโครงการ)	โครงการวิจัยเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล
2553-2554	โมดูลเก็บข้อมูลไร้สายสำหรับระบบฝังตัว (ผู้ร่วมวิจัย)	โครงการวิจัยเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล

5. ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่

Journal papers:

Author	Title	Year	Journal
Sungwan Boksuwan Taworn Benjanarasuth Chisato Kanamori Hisayuki Aoyama	Robust hybrid control for two-dimensional handheld micromanipulator	2014	Robotics and Mechatronics, Vol.26, No.3
Sungwan Boksuwan Taworn Benjanarasuth	Robust Real-time model predictive control for torsional vibration system	2012	Automation Technology, Vol.6, No.3, pp. 345-353

Conference papers:

Author	Title	Year	Proceeding
Sungwan Boksuwan Taworn Benjanarasuth Hisayuki Aoyama	A Heated Needle Micromanipulator with Hybrid Control for Heat-Caused Denaturation in Proteins	7-11 July 2015	IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2015), Busan, Korea
Ryo Kikuchi **Sungwan Boksuwan** Hisayuki Aoyama	Development of mechanism to control pencil-shaped handheld micro needle with non-contact	18-20 November 2014	6th the International Conference on Positioning Technology, Kitakyusyu, Japan
Sungwan Boksuwan Taworn Benjanarasuth Chisato Kanamori	Tremor suppression robust hybrid control for handheld micromanipulator	22-25 October 2014	Control, automation and systems, pp. 267 – 271,

Hisayuki Aoyama			KINTEX, Seoul, Korea
Sungwan Boksuwan Taworn Benjanarasuth Chisato Kanamori Hisayuki Aoyama	Design and Control of Magnetic Driven Active Handheld Medical Micromanipulator with Explicit Model Predictive Control	23-25 June 2014	New actuator and 8th exhibition on smart actuators and drive systems, paper ID C3.1, pp. 377-380 Bremen, Germany,
Sungwan Boksuwan Taworn Benjanarasuth Chisato Kanamori Hisayuki Aoyama	An optimal steering of a two-dimensional handheld micromanipulator using real-time model predictive control	12-15 November 2013	Asian society for precision engineering and nanotechnology (ASPEN2013), Thaipei Taiwan
Sungwan Boksuwan Taworn Benjanarasuth	Code Generation of Fractional Filters for dsPIC Microcontrollers	22-24 November 2011	2011 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2011), pp. 1309 – 1313, Bali, Indonesia
Sungwan Boksuwan, Taworn Benjanarasuth Jamrus Ruttanayukol	Real-time Model Predictive Control of Torsional Vibration System	22-24 October 2011	Asia Simulation Conference 2011(JSST), pp. 412 – 415 Japan
Noriyuki Komine **Sungwan Boksuwan** Taworn Benjanarasuth Jongkol Ngamwiwit	Optimal H2 Controller Design with Derivative State Constraints for Torsional Vibration System	7-9 October 2009	Asia Simulation Conference 2009 (JSST 2009), paper ID. 091 Shiga, Japan
Sungwan Boksuwan Manop Wongsaisuwan	PID Controller Design for Linear Time-Invariant Systems Using Linear Matrix Inequalities	25-27 October 2005	28th Electrical Engineering Conference (EECON), Thailand