

การทดสอบวิเคราะห์ระบบระบายความร้อน  
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์

**COOLING SYSTEM ANALYSIS FOR INCREASING EFFICENCY OF PELTIER  
ELECTRICITY GENERATION**

ภาณุพงศ์ ศิริกุล

PHANUPONG SIRIKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2553

การทดสอบวิเคราะห์ระบบระบายความร้อน  
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลทเทียร์



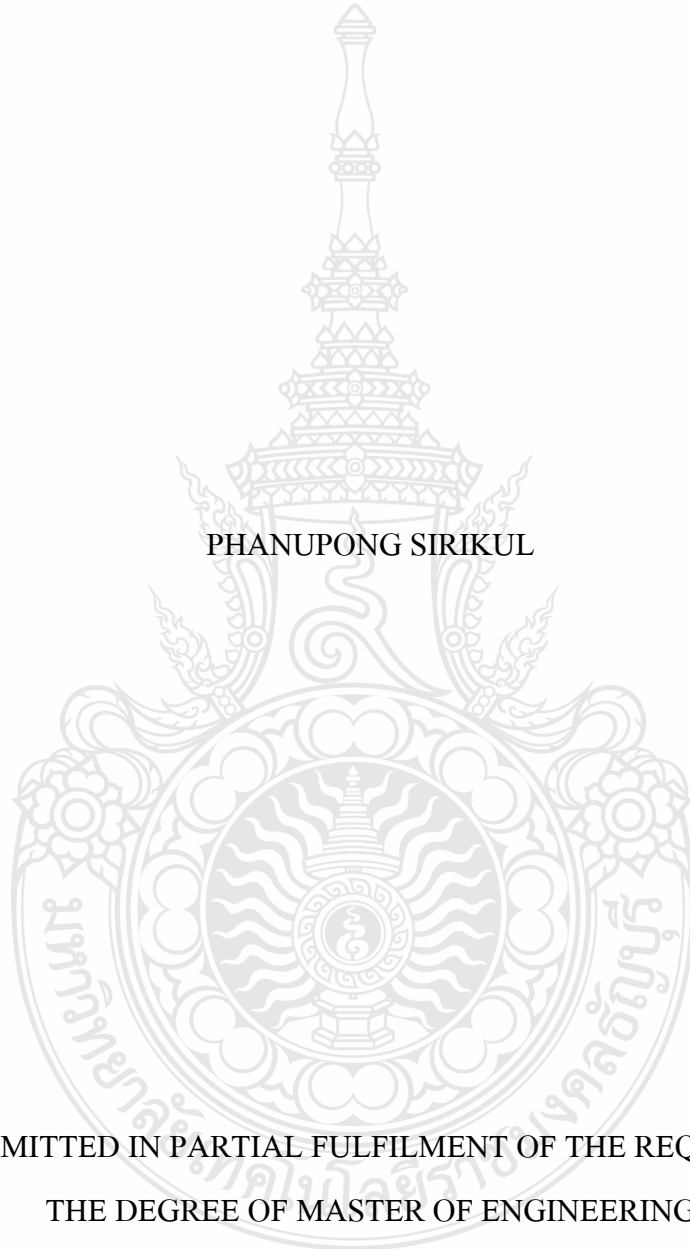
ภาณูพงศ์ ศิริกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2553

**COOLING SYSTEM ANALYSIS FOR INCREASING EFFICENCY OF PELTIER  
ELECTRICITY GENERATION**

**PHANUPONG SIRIKUL**



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
IN MECHANNICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF MECHANNICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2010

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้ากำลังศึกษาอยู่ที่คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็น  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอ  
รับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

ภาณุพงศ์ ศิริกุล



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดสอบวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์
ชื่อนักศึกษา	นายภาณุพงศ์ ศิริกุล
รหัสประจำตัว	115040703013-1
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. พิพัฒน์ ปราโมทย์

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการทดสอบวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าให้กับแผ่นเพลเทียร์ โดยการถ่ายเทความร้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์ โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแท่งฮีตเตอร์ผ่านทางโซลิตสเตรจรีเลย์ และใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

สำหรับการควบคุมใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับ PID Control Toolset และใช้การ์ดอินเทอร์เฟซ USB-6008 ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการจ่ายความร้อนให้แผ่นเพลเทียร์ทางด้านร้อน ใช้แผงระบายความร้อนระบายความร้อนจากเพลเทียร์ทางด้านเย็น เพื่อวัตถุประสงค์ให้ได้มาซึ่งพลังงานไฟฟ้า

ผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีแบ็คมากที่สุดในการป้อนความร้อนควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้วิธี Ziegler-Nichols ป้อนให้กับโมดูลเดียวทางด้านร้อนที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส และระบายความร้อนด้วยแผงอลูมิเนียมทางด้านเย็น ในส่วนการจัดวางตำแหน่งโมดูลพิจารณาเฉพาะสองโมดูลด้วยกัน แบบวางแนวทแยง ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 4.612 โวลต์ และ 4.658 โวลต์ ที่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดสองโมดูลแบบวางตามแนวครีป 4.308 โวลต์ และ 4.378 โวลต์ ที่ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก, แผงระบายความร้อน

**Thesis Title :** COOLING SYSTEM ANALYSIS FOR INCREASING EFFICENCY  
OF PELTIER ELECTRICITY GENERATION

**Student Name :** Mr. Phanupong Sirikul

**Student ID :** 115070403013-1

**Degree Award :** Master of Engineering

**Study Program :** Mechanical Engineering

**Academic year :** 2010

**Thesis Advisor :** Associate Professor Dr. Pipat Pramot

### ABSTRACT

This research presents the empirical results of the optimized heat transfer that made the peltier plate generated the maximum electricity output. For the heating system, the electricity supplied to the heating coil via the solid-state relays and the feedback signals were sent by the thermocouples.

The control system used LabVIEW with PID Control Toolset and the USB-6008 interface in order to communicate between computers and heat transfer process for the peltier plate at the heat junction. The heat sink was used for cooling the peltier on the cold junction for the better electric output.

The results show that the heat input at 68 °C, which was controlled by PID controllers using Ziegler-Nichols method, providing the best Seebeck coefficient. The module with dual-diagonal arrangement type delivered the best outputs which are 4.612 Volts and 4.658 Volts at 120 °C. On the other hand, the dual-parallel modules gave the worst results which are 4.308 Volts and 4.378 Volts at 120 °C.

**Keywords :** Thermoelectric, Heat sink

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ เนื่องด้วยความกรุณาจาก ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.มนุศักดิ์ จานทอง ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์ และ พ.อ. ผศ.ดร.ทวิวัชร วีระแก้ว สังกัดส่วนการศึกษาโรงเรียนนายร้อย จปร. กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าช่วยเหลือแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบข้อบกพร่องในการดำเนินการทดลองมาโดยตลอด จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์ไว้เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โดยเฉพาะ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และเจ้าหน้าที่ ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือสนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์การทดลอง เอกสารข้อมูล หนังสือตำรา อินเทอร์เน็ต สำหรับการทดลองครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ญาติพี่น้องทุกท่าน ซึ่งให้การสนับสนุนทรัพย์สินและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้า จนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

ภาณุพงศ์ ศิริกุล

23 กันยายน 2553



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและสมมติฐานของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก	4
2.2 การถ่ายเทความร้อน	10
2.3 ทฤษฎีระบบควบคุม การควบคุมประเภทพีไอดี	24
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	32
3.1 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนแผ่กระจายความร้อนด้วย Ansys	32
3.2 อุปกรณ์และวิธีการ	33
3.3 การออกแบบระบบควบคุมความร้อนด้วย LabVIEW	39
3.4 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนกระบวนการ	46
บทที่ 4 ผลการทดลอง	50
4.1 ผลการสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนด้วยโปรแกรม Ansys	50
4.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ	52
4.3 การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้วิธี Ziegler-Nichols	53
4.4 ผลการทดลองป้อนความร้อนแผ่นเพลทเทียร์	55



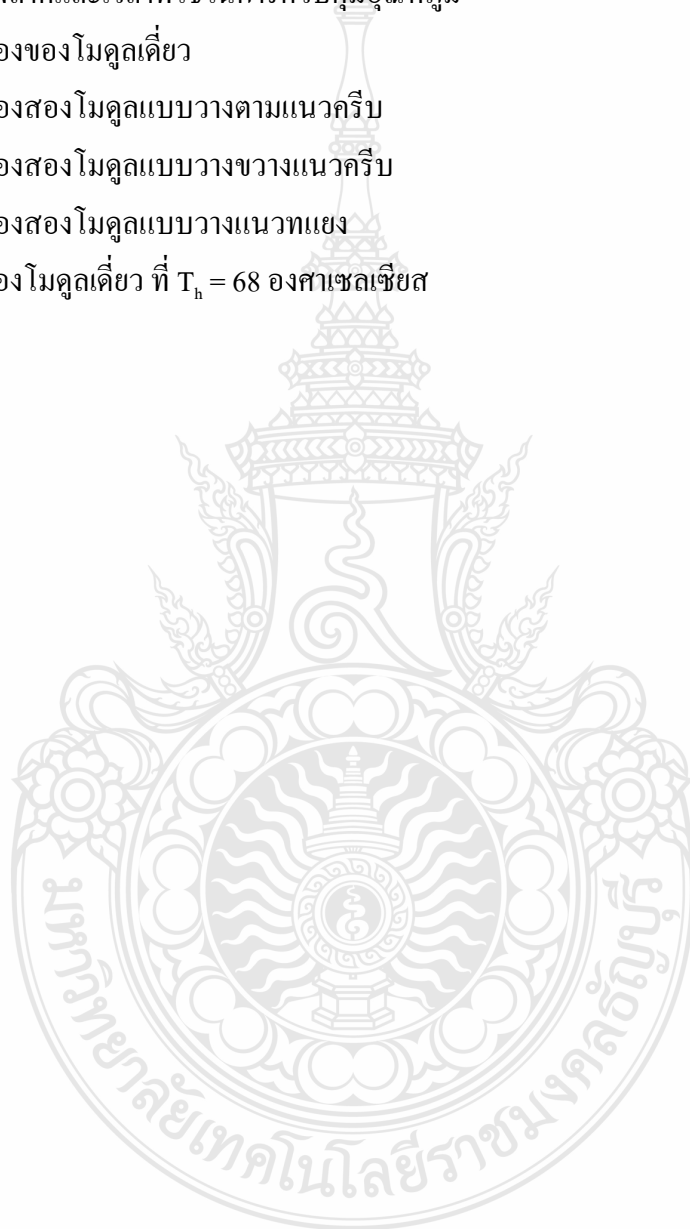
## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุป	60
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	65
ก ระยะเวลาจัดวาง โมดูลเพลทเทียร์	66
ข ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่	73
ประวัติผู้เขียน	93



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การหาค่าพีไอดีที่เหมาะสมด้วยวิธี Ziegler-Nichols	49
4.1 พารามิเตอร์ของตัวควบคุม	53
4.2 ค่าความผิดพลาดและเวลาที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ	54
4.3 ผลการทดลองของโมดูลเดี่ยว	55
4.4 ผลการทดลองสองโมดูลแบบวางตามแนวกริบ	55
4.5 ผลการทดลองสองโมดูลแบบวางขวางแนวกริบ	56
4.6 ผลการทดลองสองโมดูลแบบวางแนวทแยง	56
4.7 คุณสมบัติของโมดูลเดี่ยว ที่ $T_h = 68$ องศาเซลเซียส	57



## สารบัญรูป

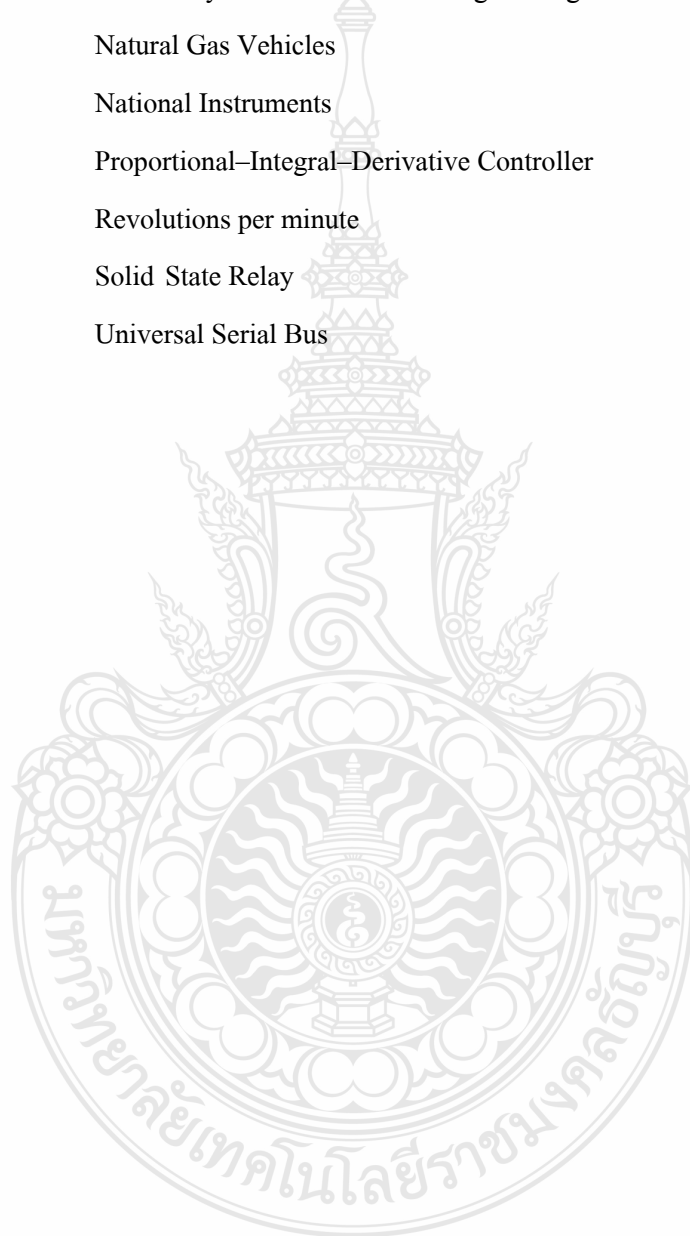
รูปที่	หน้า
2.1 ปราบกฎการณ์ซีเบ็ค	4
2.2 ปราบกฎการณ์เพลเทียร์	5
2.3 ปราบกฎการณ์ทอมสัน	6
2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกโมคูล	7
2.5 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว	8
2.6 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น	9
2.7 ทิศทางการไหลของความร้อน	13
2.8 ปริมาตรฮีเลเมนต์ที่ใช้วิเคราะห์การนำความร้อนในหนึ่งมิติ	13
2.9 ปริมาตรของฮีเลเมนต์ที่ใช้วิเคราะห์การนำความร้อนสามมิติ	15
2.10 ค่าสภาพการนำความร้อนของของแข็งบางชนิด	17
2.11 ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุฉนวนที่ใช้กับความเย็นยิ่งยวด	18
2.12 การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาออกจากแผ่นเรียบ	19
2.13 การนำและการพาความร้อนหนึ่งมิติผ่านครีบทรงเรขาคณิต	21
2.14 แผงระบายความร้อน	23
2.15 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมพีไอดี	25
2.16 ตัวอย่างของผลตอบสนองของระบบควบคุมในกรณีทีอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได (Step Function) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า $k_p$ ต่าง ๆ	26
2.17 ตัวอย่างของผลตอบสนองของระบบควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงค่า $k_i$ ต่าง ๆ	27
2.18 ตัวอย่างของผลตอบสนองของระบบควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงค่า $k_d$	28
2.19 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก ที่ผลิตจำหน่ายเชิงพาณิชย์ขนาดของเครื่องเมื่อเทียบกับกระป๋องน้ำอัดลม	30
3.1 การกำหนดเงื่อนไข และการสร้างเมชเพื่อวิเคราะห์ผลทางความร้อน	32
3.2 USB 6008 ใช้รับสัญญาณ และส่งสัญญาณ	34
3.3 NI 9112 อุปกรณ์ใช้ขยายสัญญาณ เทอร์โมคัปเปิล	35
3.4 ฮีตเตอร์	35
3.5 โพลีคอสเตตรีเลย์	36
3.6 เทอร์โมคัปเปิล	36
3.7 สารนำความร้อน	37
3.8 แผงระบายความร้อนแบบครีบอลูมิเนียม	38

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 ตัวต้านทานปรับค่าได้	38
3.10 การควบคุมระบบทดสอบการระบายความร้อนในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลทีเยอร์	39
3.11 ชุดทดสอบระบบระบายความร้อนในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลทีเยอร์	40
3.12 แบบจำลองแผนระบายความร้อนและจุดวัดอุณหภูมิ	41
3.13 Front Panel ของโปรแกรม LabVIEW	42
3.14 การเขียนคำสั่งการควบคุมบล็อก ไดอะแกรม ใน LabVIEW	43
3.15 การเขียนคำสั่งการควบคุมบล็อก ไดอะแกรม ใน LabVIEW	44
3.16 การเขียนคำสั่งการควบคุมบล็อก ไดอะแกรม ใน LabVIEW	45
3.17 การเขียนคำสั่งการควบคุมบล็อก ไดอะแกรม ใน LabVIEW	46
3.18 บล็อกไดอะแกรมการทดลองด้วยวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการ	48
3.19 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการด้วยวิธีป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดให้กับกระบวนการ	48
4.1 การจัดวางโมดูลเดี่ยว	50
4.2 การจัดวางสองโมดูลแบบวางตามแนวกริบ	51
4.3 การจัดวางสองโมดูลแบบวางขวางแนวกริบ	51
4.4 การจัดวางสองโมดูลแบบวางแนวทแยง	52
4.5 ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงเปิด	52
4.6 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอ	53
4.7 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี	54
4.8 ค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพลทีเยอร์โดยการจัดวางลักษณะต่างๆ	57
4.9 ค่าอุณหภูมิด้านเย็นและผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นของ โมดูลเดี่ยว	58
5.1 การนำโมดูลเพลทีเยอร์ไปใช้ประโยชน์ในลักษณะงานต่างๆ	62

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CFM	Cubic Feet per Minute
cP	Centipoise
DAQ	Data Acquisition
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
NGV	Natural Gas Vehicles
NI	National Instruments
PID Controller	Proportional–Integral–Derivative Controller
RPM	Revolutions per minute
SSR	Solid State Relay
USB	Universal Serial Bus



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่แหล่งพลังงานต่าง ๆ กลับมีแนวโน้มที่ลดลงและอาจจะหมดภายในศตวรรษนี้ เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ก่อให้เกิดงานวิจัยเพื่อหาพลังงานเสริม พร้อมทั้งช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศนั้นๆ ดังนั้น การนำพลังงานทดแทน และพลังงานเหลือใช้ มาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาสำหรับประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น และมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 17.5 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และปริมาณอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 50-80 เปอร์เซ็นต์ จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำพลังงานความร้อนมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ทั้งจากการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยตรง หรือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยเทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจคือ การนำเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Technology) ซึ่งเปลี่ยนพลังงานความร้อนมาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานโดยตรงแบบหนึ่ง ซึ่งจะใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ได้แล้วยังใช้เป็นเครื่องทำความเย็นได้อีกด้วย แต่ถึงอย่างไรก็ตาม งานวิจัยอื่นๆ ได้กล่าวไว้ว่าจุดคุ้มทุนในการใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกมีน้อย เนื่องจากอุปกรณ์มีประสิทธิภาพในการแปลงความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าต่ำ ซึ่งปกติจะอยู่ในช่วงร้อยละ 10-20 และถ้าต้องการอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง อุปกรณ์ดังกล่าวจะมีราคาอยู่ในระดับสูง ซึ่งไม่คุ้มค่าแต่เนื่องจากอัตราการพัฒนาเทคนิคในการผลิตวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Seebeck Coefficient) มากมีการนำไฟฟ้าที่ดี และมีการนำความร้อนต่ำ พัฒนาเป็นไปอย่างรวดเร็ว และวัสดุดังกล่าวถูกผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้ราคาค้นทุนถูกลง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อผลิตไฟฟ้าที่มีความคุ้มทุนได้จริง

ถ้าเราสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง จะเป็นสิ่งที่คุ้มค่ากับการลงทุนมาก “กระแสไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectricity)” เป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับประเทศไทยในการพัฒนาวัสดุที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้น ข้อจำกัดของประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าไม่ได้อยู่ที่แผ่นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับ การดูดซับความร้อนทางด้านที่ป้อนความร้อนและการระบายความร้อนให้กับด้านเย็นด้วย การทดสอบวิจัยจึงต้องการศึกษาระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าให้กับโมดูลเพเลเทียร์ เพื่อตรวจสอบวัสดุ ในด้านสมบัติทางความร้อน เช่น การนำความร้อน การพาความร้อน ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความร้อน สมควรได้รับการวิจัยและพัฒนาอย่างกว้างขวาง

เซลล์ไฟฟ้าจากความร้อน อาจไม่ใช่แนวทางที่ให้ประสิทธิภาพการผันพลังงานสูงสุด แต่จัดเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สะอาด และอาจพัฒนาให้เป็นอุปกรณ์ราคาถูกลง ที่มีประสิทธิภาพ ให้ปริมาณไฟฟ้าต่อบาทของการลงทุน มีค่าสูงพอที่จะนำมาใช้งานได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากเพลเทียร์ โดยใช้แผนภูมิระบายความร้อน ทำการสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์และทำการวิเคราะห์ผลทางความร้อน

1.2.2 ออกแบบระบบการควบคุมอุณหภูมิ ใช้สำหรับการป้องกันความร้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์ เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของแผงระบายความร้อน

1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการนำเพลเทียร์มาประยุกต์ใช้งานในการผลิตไฟฟ้าจากความร้อนได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.3 ขอบเขตและสมมติฐานของงานวิจัย

1.3.1 ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง เฉลี่ย 27-30 องศาเซลเซียส

1.3.2 ควบคุมความร้อน วัดค่าอุณหภูมิ และบันทึกค่าในการทดสอบด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยใช้ฟังก์ชันการควบคุม ที่ค่าอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป

1.3.3 การสร้างแบบชิ้นงานแผงระบายความร้อนสามมิติสร้างจากโปรแกรม Solidworks และทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนจากโปรแกรม Ansys

1.3.4 ทดสอบเปรียบเทียบ 4 ลักษณะคือ แบบ โมดูลเดี่ยว แบบสอง โมดูลจัดวางตามแนวครีบริบ วางขวางแนวครีบริบ วางแนวทแยง

## 1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาถึงทฤษฎีและหลักการทำงานของ แผ่นเพลเทียร์ประเภทต่าง ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้งาน การสร้างเครื่องทดสอบ และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.2 สร้างเครื่องทดลองแผ่นเพลเทียร์ให้สามารถป้องกันความร้อนที่มีความแม่นยำ ทำการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิ และทำการบันทึกผลการทดลอง

1.4.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ เรื่องของประสิทธิภาพในแต่ละอุณหภูมิแต่ละแบบ การทดสอบ ทำการสร้างแบบจำลองพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนใน โปรแกรมคอมพิวเตอร์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถบอกถึงความเป็นไปได้ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงด้วย เพลเทียร์ โดยจะสามารถนำไปปรับปรุงการสร้างแผงระบายความร้อนต่อไปได้ และจะทำให้สามารถใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากระบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นการใช้พลังงานหมุนเวียนให้เกิดประโยชน์ ทำให้เกิดการใช้พลังงานหมุนเวียนและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม นำไปสู่การออกแบบระบบที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในพื้นห่างไกลไฟฟ้าที่มีแหล่งพลังงานความร้อน





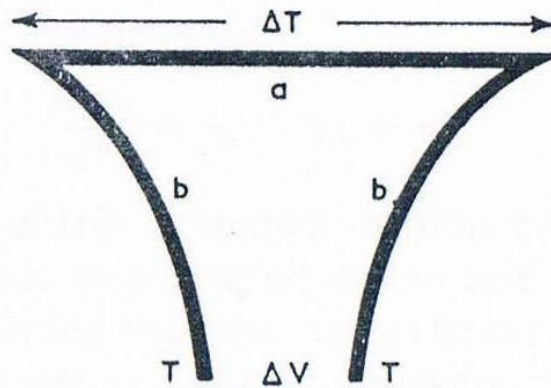
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์แผ่กระจายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแผ่นเพลเทียร์ จะต้องใช้ความรู้ที่เกี่ยวข้องจากแขนงวิชาต่างๆ เช่น ไฟฟ้า การถ่ายเทความร้อน การควบคุมอัตโนมัติ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และบทความทางวิชาการต่างๆ ที่มีผู้วิจัยได้นำเสนอโดยเน้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

#### 2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและอุณหภูมิ มีหลักการคือการผันความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า หรืออาจผันไฟฟ้าไปเป็นความร้อนและความเย็น ซึ่งเป็นการนำเอาปลายของสารกึ่งตัวนำต่างกันสองชนิดมาเชื่อมต่อกัน เมื่อจุดเชื่อมต่อทั้งสองข้างถูกกระตุ้นด้วยความร้อนและความเย็น จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในระบบ พบว่าหากอุณหภูมิของจุดเชื่อมต่อทั้งสองมีค่าแตกต่างกันมากเท่าไร อัตราการผลิตกระแสไฟฟ้าก็จะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



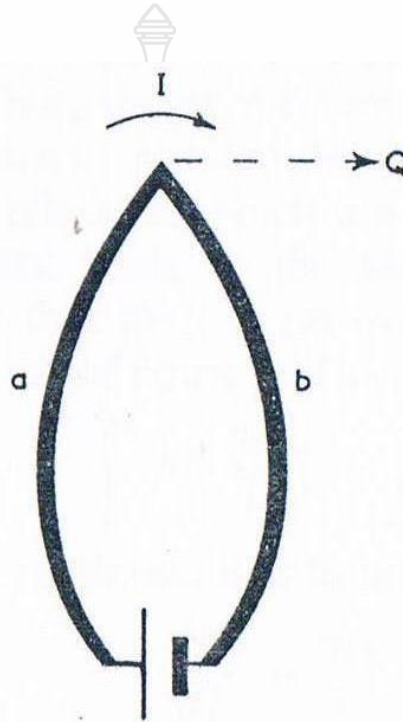
รูปที่ 2.1 ปราคฏการณ์ซีเบ็ค [1]

ในปี ค.ศ. 1821 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน Thomas Seebeck พบว่าเมื่อนำขดลวดโลหะ 2 เส้น ที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้ง 2 นี้ตามรูปที่ 2.1 ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้านี้เปลี่ยนแปลงได้ตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อน ไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิดแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า “ซีเบ็คโวลต์เตจ” (Seebeck Voltage)

$$\Delta V = \alpha_{ab} (T_H - T_C) \quad (2.1)$$

สำหรับความแตกต่างกันของอุณหภูมิน้อย ๆ ความสัมพันธ์ข้างต้นจะเป็นแบบเชิงเส้นและนิยามสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค คือ  $\alpha_{ab}$  สำหรับรอยต่อ นั้น ดังนั้น สัมประสิทธิ์ของซีเบ็คของรอยต่อระหว่างสองวัสดุ  $a$  และ  $b$  เท่ากับความแตกต่างระหว่างสัมประสิทธิ์สมบูรณ์ของสองวัสดุ นั้นคือ

$$\alpha_{ab} = \alpha_a - \alpha_b \quad (2.2)$$

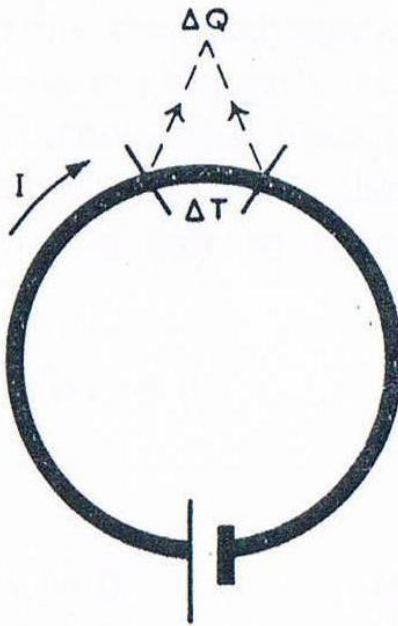


รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาเพลเทียร์ [1]

ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 Jean C.A. Peltier พบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกันที่ซีเบ็คสร้างขึ้น โดยใช้ลวดด้านหนึ่งทำจากบิสมัทและอีกด้านหนึ่งทำจากแอนติโมนีจะทำให้เกิดอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อที่แตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนขึ้นและปลายอีกข้างหนึ่ง จะเย็นลง วงจรการทดลองของเพลเทียร์เป็นดังรูปที่ 2.2 ปฏิกิริยานี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำระบบหล่อเย็นจากการผันความร้อนจากไฟฟ้า (Thermoelectric Refrigeration) ในที่นี้ อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับได้ (Rate of Reversible Heat Absorption,  $Q$ ) ซึ่งส่งมาพร้อมกับการผ่านของกระแส  $I$  ผ่านรอยต่อ คือ

$$Q = \pi_{ab} I \quad (2.3)$$

โดยที่  $\pi_{ab}$  คือ สัมประสิทธิ์ของเพลเทียร์ของรอยต่อ



รูปที่ 2.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน [1]

ปรากฏการณ์ผันไฟฟ้าจากความร้อนอันสุดท้ายคือ ปรากฏการณ์ทอมสันซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราของการแพร่ความร้อนแบบกลับได้  $Q$  ซึ่งเกิดขึ้นมาเนื่องจากการผ่านของกระแสไปตามตัวนำเดี่ยวอันหนึ่งเมื่อมีเกรเดียนต์อุณหภูมิ  $\Delta T$  ถ้าให้เกรเดียนต์อุณหภูมิ มีค่าน้อย ๆ จะได้ว่า

$$Q = \beta I (\Delta T) \quad (2.4)$$

โดยที่  $\beta$  คือสัมประสิทธิ์ของทอมสัน

สัมประสิทธิ์ของการผันไฟฟ้าจากความร้อนมีความสัมพันธ์กันตามความสัมพันธ์ของ เคลวิน

(Kelvin Relationships)

$$Q_{ab} = \frac{\pi_{ab}}{T} \quad (2.5)$$

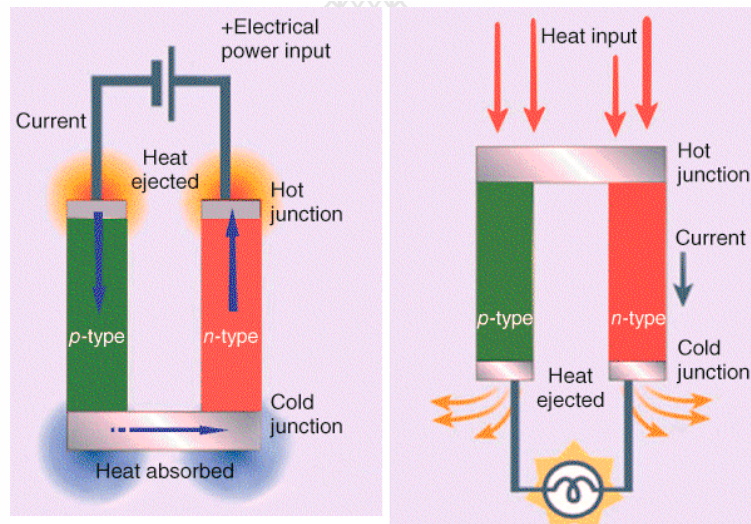
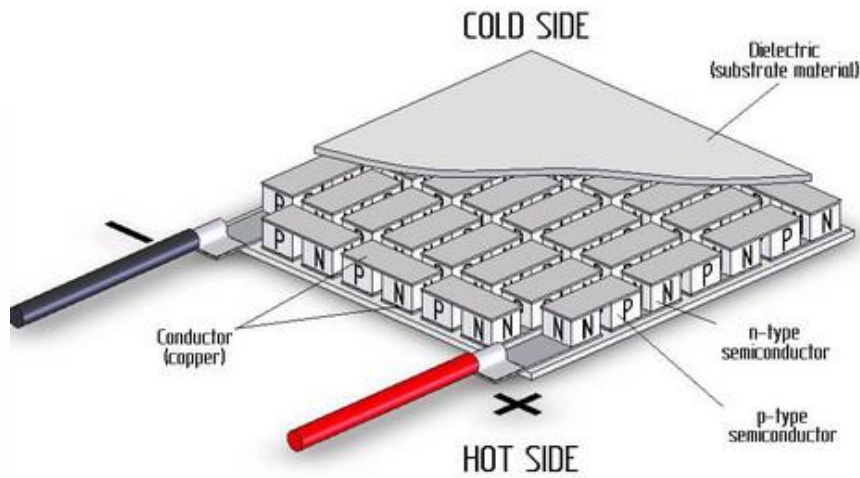
$$\frac{d\alpha_{ab}}{dT} = \frac{\beta_a - \beta_b}{T} \quad (2.6)$$

สมการที่ 2.5 เป็นจริงสำหรับวัสดุผันไฟฟ้าจากความร้อนจำนวนมาก และใช้ได้กับทุกวัสดุซึ่งถูกนำมาใช้ในการประยุกต์ทางการผันไฟฟ้าจากความร้อน

ให้สังเกตว่า ทั้งสัมประสิทธิ์ของซีเบ็คและสัมประสิทธิ์ของเพลเทียร์ถูกนิยามขึ้นในรูปของสมบัติต่างๆ ของรอยต่อ ในขณะที่สัมประสิทธิ์ของทอมสันเป็นสมบัติของตัวนำเดี่ยว

สมการที่ 2.6 ทำให้เราสามารถหาสัมประสิทธิ์ของซีเบ็คของวัสดุเดี่ยวได้คือ

$$\alpha = \int_0^T \frac{\beta}{T} dT \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.4 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล [2]

### 2.1.1 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

จากรูป 2.4 การเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อป้อน ความร้อนเข้าทาง ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกและควบคุมให้อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าต่ำกว่า โดยอาจจะใช้ฮีทซิงค์ (Heatsink) เป็นตัวระบายความร้อน (อุณหภูมิทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกต้องสูงกว่าอุณหภูมิทางด้านเย็น) ซึ่งจะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อนำกระแสทางไฟฟ้ามารวมกับเทอร์โมอิเล็กทริก จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลจากสารกึ่งตัวนำชนิด p-type ไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด n-type ลักษณะการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำชนิด n-type และ p-type จะมีลักษณะการต่อเป็นคู่ๆ แบบอนุกรมและแบบขนาน โดยหากต้องการใช้งานทางด้านไฟฟ้าก็นำมาต่อเป็นแบบอนุกรมหรือขนานเพื่อให้ได้ขนาดของพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมตามความต้องการ

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนอกจากผลิตไฟฟ้าแล้วยังสามารถทำให้เกิดอุณหภูมิร้อนและเย็นได้ โดยการป้อนไฟฟ้าเข้าไปยังเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จะทำให้เกิดความร้อนด้านหนึ่งและความเย็นอีกด้านหนึ่ง อุณหภูมิความเย็นจะเย็นหรือร้อนอยู่ได้ในระยะเวลานานจะต้องมีอุปกรณ์ระบายความร้อนหรือ ระบายความเย็น ให้แก่ด้านร้อนหรือด้านเย็น เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้า และมีอุปกรณ์ระบายความร้อนหรือระบายความเย็น ที่เหมาะสมแล้ว ก็จะได้ความร้อนหรือความเย็นตามต้องการ

### 2.1.2 ประเภทของเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสามารถแบ่งออกตามลักษณะได้ 2 แบบคือ

1. เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว (Single Stage Module) เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นในการทำงานไม่สูงมาก ซึ่งมีค่าประมาณ 67 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลต่างของอุณหภูมิจังหวะที่ไม่มีภาวะความร้อน ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กทริกมีหลายรูปแบบทั้งขนาดและรูปร่าง อีกทั้งมีสมบัติหลายอย่างให้เลือกตามลักษณะการใช้งานเช่น ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดัน และความสามารถในการถ่ายเทความร้อน โดยสามารถสรุปลักษณะและสมบัติได้ดังนี้

- ขนาดพื้นที่ผิวหน้าเซรามิก 1.8 x 3.4 ตารางมิลลิเมตร ถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตร
- ขนาดความสูงตั้งแต่ 2.54 มิลลิเมตร ถึง 5.8 มิลลิเมตร
- ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.2 ถึง 125 วัตต์
- ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.8 ถึง 60 แอมป์
- ค่าแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.4 ถึง 15.4 โวลต์



รูปที่ 2.5 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบชั้นเดียว (Single stage module) [3]

2. เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage Module) เป็นเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีการต่อตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป ลักษณะและสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้นที่สำคัญคือ

- พื้นที่ผิวด้านเย็นมีขนาดตั้งแต่ 3.2 x 3.2 ตารางมิลลิเมตร ถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ผิวด้านร้อนขนาดตั้งแต่ 3.8 x 3.8 ตารางมิลลิเมตร ถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตร

- ขนาดความสูงตั้งแต่ 3.8 มิลลิเมตร ถึง 21.4 มิลลิเมตร
- ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.39 ถึง 59 วัตต์
- ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.7 ถึง 9.5 แอมป์
- ค่าแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.8 ถึง 14 โวลต์

ซึ่งจำนวนชั้นของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น มีการเชื่อมต่อตั้งแต่ 2 ชั้น ถึง 6 ชั้น



รูปที่ 2.6 เทอร์โมอิเล็กทริกแบบหลายชั้น (Multistage Module) [4]

### 2.1.3 ทฤษฎีของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าจากความร้อน

เมื่อโหลดความต้านทาน  $R_L$  ถูกต่อไว้ระหว่างปลายด้านเย็นที่แขนของเทอร์โมคัปเปิล  $a$  พลังงานความร้อนที่ให้เข้าไปที่รอยต่อร้อนจะขับเคลื่อนผ่านวงจรและส่งกำลังไปยัง  $R_L$  ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์

$$\eta = \frac{\text{กำลังที่ให้กับโหลด } R_L}{\text{ความร้อนดูดซับที่รอยต่อ}} \quad (2.8)$$

ถ้าสมมติให้สภาพนำไฟฟ้า สภาพนำความร้อนและสัมประสิทธิ์ของซีเบ็คของตัวนำ  $a$  และ  $b$  มีค่าคงที่และไม่คิดความต้านทานสัมผัสที่รอยต่อร้อนและเย็นแล้ว ประสิทธิภาพสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\eta = \frac{I^2 R_L}{\alpha T_H + \lambda p(T_H - T_C) - \frac{1}{2} I^2 R} \quad (2.9)$$

โดยที่  $\lambda p$  คือ การนำความร้อนของ  $a$  และ  $b$  แบบขนาน และ  $R$  คือความต้านทานรวมของ  $a$  และ  $b$  ในวัสดุต้นไฟฟ้าจากความร้อน  $\sigma$ ,  $\lambda$  และ  $\alpha$  จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามสมการที่ 2.8 ยังสามารถใช้ได้ถ้าค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมของตัวแปรต่าง ๆ ที่พิจารณาในช่วงอุณหภูมิที่สนใจถูกนำมาพิจารณาด้วย

สมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และความร้อนที่เราให้แก่ ด้านร้อน

$$Q = IT_h + K \Delta T - \frac{1}{2} RI^2 \quad (2.10)$$

- เมื่อ  $Q$  = ปริมาณความร้อนที่ให้แก่ด้านร้อน (จูล)  
 $\alpha$  = สัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (โวลต์ต่อเคลวิน)  
 $\Delta T$  = ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (องศาเคลวิน)  
 $R$  = ความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริก (โอห์ม)  
 $I$  = กระแสไฟฟ้า (แอมป์)  
 $T_h$  = อุณหภูมิด้านความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (องศาเคลวิน)  
 $K$  = ค่าการนำความร้อนของ เทอร์โมอิเล็กทริก (วัตต์ต่อเซนติเมตรเคลวิน)

เราได้ กำลังไฟฟ้าจ่าย ออกมาคือ

$$P_{out} = I^2 R_L \quad (2.11)$$

เมื่อ  $R_L$  = ค่าความต้านทานของโหลดทางไฟฟ้า

ค่าแรงดันไฟฟ้าใช้งาน จะออกมาในรูป Seebeck effect คือ

$$V = \alpha \Delta T = (R + R_L) I$$

$$\therefore I = \frac{\alpha \Delta T}{R + R_L}$$

$$\therefore P_{out} = R_L \left( \frac{\alpha \Delta T}{R + R_L} \right)^2 \quad (2.12)$$

## 2.2 การถ่ายเทความร้อน

กระบวนการถ่ายเทความร้อน เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายถ่ายเทและเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อน ซึ่งอยู่ในขอบเขตของกฎข้อที่หนึ่งและข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่ว่า “พลังงานต่างๆ ไม่ถูกสร้างขึ้นหรือถูกทำลายได้แต่สามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งของพลังงานไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้” และ “ไม่มีกระบวนการใด ๆ ที่จะเคลื่อนย้ายถ่ายเทพลังงานจากอุณหภูมิต่ำกว่าไปยังอุณหภูมิที่สูงกว่า” วิทยาศาสตร์ทางการถ่ายเทความร้อนกล่าวถึงหลักการที่ว่าความร้อนจะเคลื่อนที่จากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่แหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันอัตราการถ่ายเทความร้อนมีความสำคัญมากต่อการออกแบบเครื่องมือต่างๆ

การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีต่าง ๆ ที่กล่าวแล้วแต่ละวิธีการกระบวนการถ่ายเทความร้อน อาจแบ่งแยกออกเป็นประเภทได้ตามสภาวะ การถ่ายเทลักษณะภายนอกและจำนวนมิติที่เกิดการถ่ายเท

1. การถ่ายเทความร้อนในสภาวะสม่ำเสมอ (Steady State) เป็นการถ่ายเทความร้อน ที่เกิดขึ้นเมื่ออัตราการเคลื่อนไหลของความร้อนในระบบหรือในกระบวนการไม่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาที่เปลี่ยนไป เช่นเมื่อเวลาคงที่หรือเมื่อพิจารณาหาค่าการถ่ายเทความร้อนที่เวลาใดเวลาหนึ่ง อุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ จะคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

2. การถ่ายเทความร้อนในสภาวะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady or Transient State) การถ่ายเทความร้อนในสภาวะนี้เกิดขึ้นอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ในระบบเปลี่ยนไปตามเวลาที่เปลี่ยนอุณหภูมิ ที่เปลี่ยนไปนี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในระบบ

3. การถ่ายเทความร้อนตามลักษณะพื้นฐานภายนอก (Configuration) การถ่ายเทความร้อนในลักษณะนี้อาจเป็นไปตามรูปลักษณะทรงเรขาคณิตศาสตร์ เช่น การถ่ายเทความร้อนของวัตถุรูปผืนแผ่นเรียบ รูปทรงกระบอก รูปท่อและรูปแผ่นขนาน

หรือเป็นไปตามลักษณะการวางของวัตถุ เช่น การถ่ายเทความร้อนในแนวตั้งหรือแนวตั้งในแนวราบหรือแนวนอน และในแนวเฉียงลาด เป็นต้น

หรือเป็นไปตามลักษณะการไหลของของเหลวหรือก๊าซผ่านไปตามวัตถุแข็ง เช่น การถ่ายเทความร้อนในลักษณะการไหลผ่านภายในและการไหลผ่านภายนอก เป็นต้น

4. การถ่ายเทความร้อนตามจำนวนมิติการถ่ายเท (Number of Dimension) การถ่ายเทความร้อนอาจมีทิศทางไปทางเดียวเรียกว่าการถ่ายเทความร้อนหนึ่งมิติ เช่น การถ่ายเทความร้อนของท่อที่ฝังอยู่ใต้พื้นดิน หรือมีทิศทางไปสามทางเป็นการถ่ายเทความร้อนสามมิติ เช่น การถ่ายเทความร้อนจากท่อที่ยื่นออกมาจากตึก เป็นต้น

### 2.2.1 วิธีการถ่ายเทความร้อน

ความร้อนหรือพลังงานความร้อนจะเคลื่อนย้ายถ่ายเทได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ การนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation)

แม้จะมีการแบ่งแยกวิธีการเคลื่อนย้ายถ่ายเทความร้อนและการวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 วิธี ดังกล่าว แต่การถ่ายเทความร้อนส่วนมากในสภาพทั่วไป ความร้อนจะไม่เคลื่อนย้ายโดยวิธีใดวิธีหนึ่งเพียงวิธีเดียว แต่จะถ่ายเทโดยหลายวิธีที่กล่าวมาพร้อมกัน ในการแก้ปัญหาจะพิจารณาถึงวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนย้ายถ่ายเทไปมากที่สุด เป็นวิธีการที่ความร้อนใช้ในการถ่ายเทความร้อน โดยไม่คำนึงถึงวิธีการอื่นๆ ที่ความร้อนใช้ในการถ่ายเท แต่ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทโดยวิธีนั้น ๆ น้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหานั้น

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ เป็นกระบวนการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในตัวกลาง (ของแข็ง ของเหลวหรือ ก๊าซ) หรือวัตถุ



เดียวกัน หรือระหว่างตัวกลางที่ต่างกันแต่อยู่สัมผัสหรือติดต่อกัน โดยตรง การเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการนำนี้พลังงานภายในวัตถุจะถ่ายเทหรือเคลื่อนย้ายโดยการติดต่อโดยตรงของโมเลกุลและปราศจากการเคลื่อนย้ายของโมเลกุลของวัตถุนั้น ๆ วัตถุแข็งทึบแสงจะมีการเคลื่อนย้ายของความร้อนโดยวิธีการนำเพียงอย่างเดียว การเคลื่อนย้ายความร้อนของความร้อนในตัวกลางหรือวัตถุที่ไม่เป็นของแข็ง ส่วนมากจะเป็นไปแบบผสมกล่าวคือ ความร้อนจะเคลื่อนที่ถ่ายเทไปด้วยวิธีการนำและการพาไปทั้งสองวิธีและบางลักษณะจะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการแผ่

2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา เป็นกระบวนการถ่ายความร้อนระหว่างผิวของวัตถุแข็งกับของเหลวหรือก๊าซ กระบวนการถ่ายเทความร้อน ไม่มีเฉพาะความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัตถุเพียงอย่างเดียว แต่มีองค์ประกอบอื่น ๆ อีกที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อกระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพานี้ เช่นลักษณะการเคลื่อนที่ของเหลวหรือก๊าซ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้ก็ให้ผลเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนโดยวิธีอื่น ๆ คือมีการเคลื่อนย้ายพลังงานเกิดขึ้นและเคลื่อนย้ายไปตามอุณหภูมิที่ลดต่ำลง (Temperature Gradient) การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีการพานี้เป็นกระบวนการที่สำคัญมาก เพราะความร้อนจะถูกนำพาไปด้วยพลังงานจะถูกสะสมและเคลื่อนย้ายด้วยวิธีต่างๆ ปนกันไป (Mixing Motion) การพาความร้อนจึงอาจแบ่งแยกออกเป็นประเภทย่อยตามลักษณะต่าง ๆ

3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่ เป็นกระบวนการที่ความร้อนเคลื่อนจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่วัตถุนั้นอยู่ห่างจากกัน และแม้ว่าระยะห่างนั้น จะเป็นบริเวณสุญญากาศก็ตาม การแผ่ความร้อนโดยทั่วไปหมายถึงกระบวนการถ่ายเทหรือ ส่งพลังงานออกไปโดยคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า การกระจายของคลื่นแม่เหล็กที่เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิและทำให้พลังงานเคลื่อนย้ายเรียกว่า การแผ่ความร้อน (Thermal Radiation) ซึ่งต่างกับการแผ่กระจายของแสง (Light Radiation) ที่ช่วงความยาวคลื่น (Wave Length) ต่างกัน

### 2.2.2 การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ (Conduction Heat Transfer)

เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิที่ถ่ายเทจากด้านในของวัตถุหนึ่งสู่ด้านนอก กรณีนี้แสดงว่ามีการถ่ายเทพลังงานจากขอบเขตที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ขอบเขตที่มีอุณหภูมิต่ำ ลักษณะเช่นนี้เราได้กล่าวมาแล้วว่าพลังงานถ่ายเทด้วยวิธีการนำ นั้นแสดงว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอุณหภูมิ

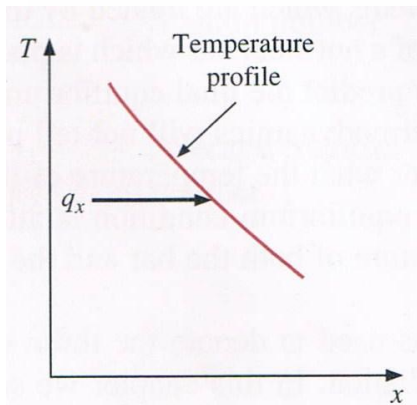
$$\frac{q}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x}$$

เมื่อแทนด้วยสัดส่วนที่เป็นค่าคงที่ จะได้สมการดังนี้

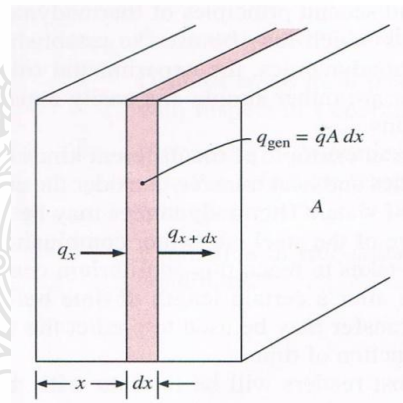
$$q = kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.13)$$

เมื่อ  $q$  คืออัตราการถ่ายเทความร้อน  $\frac{\partial T}{\partial x}$  คือค่าอุณหภูมิในทิศทางที่ความร้อนไหล ค่าคงที่  $k$  มีค่าเป็นบวก เรียกว่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ และถ้ามีค่าเป็นลบแสดงว่าเป็นไปตามหลักการของกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ตัวอย่างเช่น ความร้อนที่ไหลจะมีค่าลดต่ำลงตามสเกลอุณหภูมิที่แสดงด้วยระบบโคออร์ดิเนต ดังรูปที่ 2.7 สมการที่ 2.13 เรียกว่า กฎของฟูเรียร์ของการนำความร้อนที่ได้จากนักฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ โจเซฟ ฟูเรียร์ (Joseph Fourier) เป็นผู้รวบรวมหลักสำคัญพร้อมทั้งแสดงวิธีการวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ ซึ่งถือว่ามี ความสำคัญมาจากสมการที่ 2.13 เป็นสมการของสภาพการนำความร้อนและค่า  $k$  มีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อหนึ่งหน่วยความยาวเมตรต่อหนึ่งองศาเซลเซียสในขณะที่เดียวกันค่าของความร้อนมีหน่วยเป็นวัตต์

ให้พิจารณาระบบที่เป็นหนึ่งมิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ถ้าระบบอยู่ในสภาวะคงตัว (สม่ำเสมอ) ตัวอย่างเช่น ถ้าค่าอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแล้วให้นำเอาสมการที่ 2.13 มาทำการอินทิเกรต และแทนค่าลงไป ก็จะได้ผลลัพธ์ตามต้องการ



รูปที่ 2.7 ทิศทางการไหลของความร้อน[5]



รูปที่ 2.8 ปริมาตรอีเลเมนต์ที่ใช้วิเคราะห์ การนำความร้อนในหนึ่งมิติ[5]

อย่างไรก็ดี ถ้าค่าอุณหภูมิของของแข็งมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กัเวลา หรือถ้ามี แหล่งกำเนิดความร้อน หรือตัวรับความร้อน อยู่ภายในของแข็ง ก็จะทำให้ปัญหานี้ยุ่งยากมากขึ้น เรา พิจารณากรณีทั่วไป ซึ่งอุณหภูมิอาจจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กัเวลา และแหล่งกำเนิดความร้อน ประกอบรวมอยู่ในวัตถุ สำหรับอีเลเมนต์นี้มีความหนา  $dx$  การสมดุลพลังงานจะได้ดังนี้

$$\text{พลังงานที่ถูกนำมาที่ผิวด้านซ้าย} + \text{พลังงานที่ผลิตขึ้นในอีเลเมนต์} = \text{พลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง} + \text{พลังงานที่ถูกนำออกมาที่ผิวด้านขวา}$$

ปริมาณของพลังงานดังกล่าว พิจารณาได้ดังต่อไปนี้

$$\text{พลังงานที่ถูกนำมาที่ผิวด้านซ้าย} = q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$\text{พลังงานที่ผลิตขึ้นในโอเลเมนต์} = \dot{q} A dx$$

$$\text{พลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง} = \rho c A \frac{\partial T}{\partial x} dx$$

$$\begin{aligned} \text{พลังงานที่ถูกนำออกมาที่ผิวด้านขวา} &= q_{x+dx} = -kA \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right]_{x+dx} \\ &= -A \left[ k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] \end{aligned}$$

- เมื่อ  $\dot{q}$  = พลังงานที่ผลิตขึ้นต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (วัตต์ต่อตารางเมตร)  
 $c$  = ความร้อนจำเพาะของวัสดุ (จูลต่อกิโลกรัมเซลเซียส)  
 $\rho$  = ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

ให้รวมความสัมพันธ์ต่างๆ ข้างบนนี้ในสมการสมดุลพลังงาน จะได้

$$\begin{aligned} -kA \frac{\partial T}{\partial x} + \dot{q} A dx &= \rho c A \frac{\partial T}{\partial x} dx - A \left[ k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{q} &= \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} \end{aligned} \quad (2.14)$$

สมการที่ 2.14 เป็นการนำความร้อนหนึ่งมิติที่กำหนดให้ปริมาณความร้อนไหลเป็นจำนวนมาก ดังนั้นสิ่งที่เราต้องพิจารณาก็คือ การนำความร้อนเท่านั้น ที่ไหลเข้าและออกจากปริมาตรๆ หนึ่งทั้งสามทิศทาง ที่แสดงด้วยโคออร์ดิเนต ดังในรูปที่ 2.9 (a) การสมดุลพลังงานคือ

$$-q_x + q_y + q_z + q_{gen} = q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz} + \frac{dE}{d\tau}$$

และปริมาณพลังงานที่มีดังนี้

$$q_x = -k dy dz \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$q_{x+dx} = - \left[ k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] dy dz$$

$$q_y = -k dy dz \frac{\partial T}{\partial y}$$

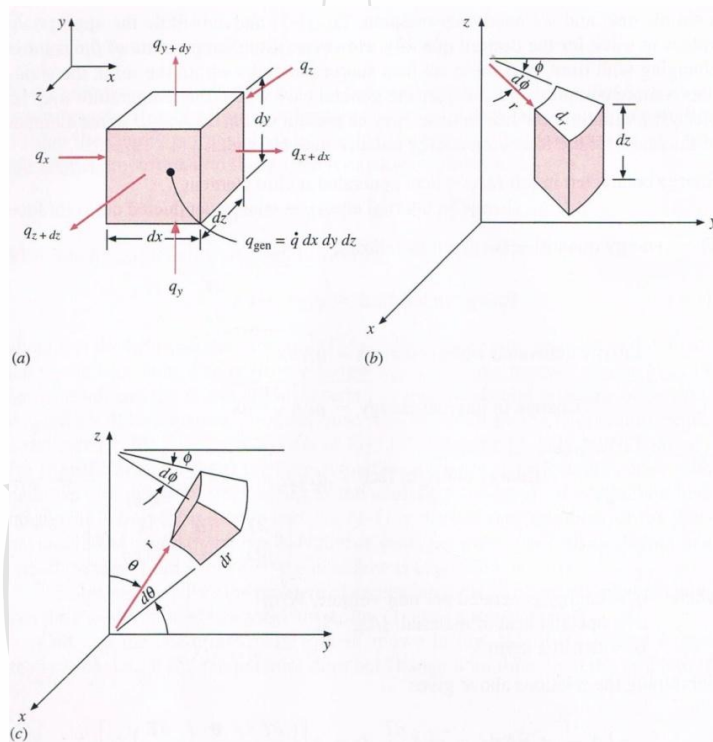
$$q_{x+dx} = - \left[ k \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) dy \right] dx dz$$

$$q_z = -k dx dy \frac{\partial T}{\partial z}$$

$$q_{z+dz} = - \left[ k \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) dz \right] dx dy$$

$$q_{gen} = \dot{q} dx dy dz$$

$$\frac{dE}{dT} = \rho c dx dy dz \frac{\partial T}{\partial \tau}$$



รูปที่ 2.9 ปริมาตรของอีเลเมนต์ที่ใช้วิเคราะห์การนำความร้อนสามมิติ [5]

(a) ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

(b) ระบบพิกัดซิโลินดรีคัล

(c) ระบบพิกัดสเฟียรีคัล

ดังนั้นรูปทั่วไปของสมการการนำความร้อนสามมิติ จะแสดงได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2.15)$$

สำหรับกรณีที่ค่าสภาพการนำความร้อนที่ค่าคงที่ ดังนั้นสมการที่ 2.15 นำมาเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2.16)$$

เมื่อ ปริมาณ  $\alpha = k/\rho c$  เรียกว่า ค่าสภาพการแพร่กระจายความร้อนของวัสดุ

สำหรับค่า  $\alpha$  ที่มีค่ามาก ความร้อนจะเกิดการแพร่กระจายผ่านวัสดุได้เร็วมากด้วย เราจะเห็นได้จากการทดสอบว่าการทำให้ค่า  $\alpha$  มีค่ามากขึ้น มักเป็นผลต่อเนื่องมาจากค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุมีค่ามากด้วย ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีอัตราการถ่าย เทพพลังงานรวดเร็ว หรืออาจเป็นเพราะค่าความจุความร้อน ( $\rho c$ ) มีค่าต่ำ ค่าความจุความร้อนต่ำ หมายถึง พลังงานมีการเคลื่อนที่ผ่านวัสดุน้อย จะทำให้ดูดกลืนความร้อนได้น้อย และใช้เพื่อทำให้อุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้น ดังนั้นพลังงานจำนวนมากนี้จะนำไปใช้เพื่อการถ่ายเทต่อไป ค่าสภาพการแพร่กระจายความร้อน มีหน่วยเป็นตารางเมตรต่อวินาที

จากความสัมพันธ์ข้างบน แสดงอนุพันธ์ที่  $x + dx$  นำมาเขียนในรูปของอนุกรมเทย์เลอร์ด้วย เทอมสองเทอมแรกที่จะนำมาใช้ในการคำนวณต่อไป สมการที่ 2.16 นำมาปรับเปลี่ยนได้ทั้ง โคออร์ดิเนตทรงกระบอกหรือทรงกลมด้วยเทคนิคการคำนวณที่เป็นมาตรฐาน ผลเฉลยที่ได้มีดังนี้

โคออร์ดิเนตทรงกระบอก

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2.17)$$

โคออร์ดิเนตทรงกลม

$$\frac{1}{r} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} (rT) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau} \quad (2.18)$$

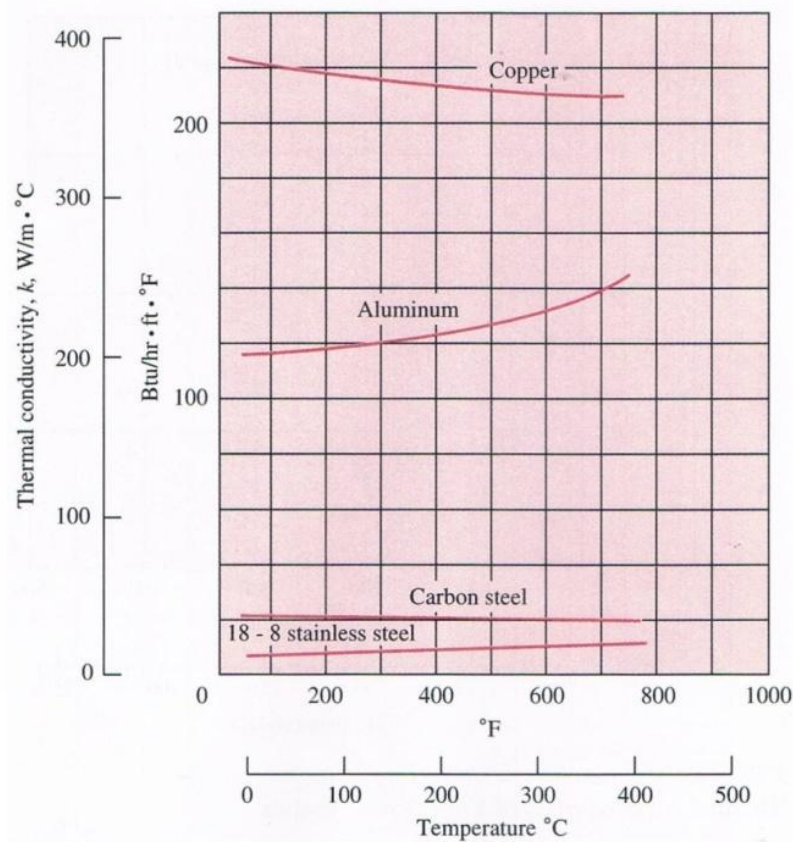
ระบบโคออร์ดิเนตที่ใช้กับสมการที่ 2.17 และ 2.18 แสดงดังรูปที่ 2.9 b และ c ตามลำดับ ปัญหาในทางปฏิบัติส่วนมาก รวมทั้งกรณีพิเศษเฉพาะของสมการทั่วไปที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จะใช้เป็นแนวทางในบทต่อไป โดยภาพรวมแล้วสามารถแสดงการลดรูปได้ เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับกรณีต่างๆ หลากๆ กรณีในทางปฏิบัติได้เป็นอย่างดี

### 2.2.3 สภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

สมการที่ 2.17 เป็นสมการที่กำหนดสภาพการนำความร้อน การกำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับพื้นฐานของค่าที่วัดได้จากการทดลองโดยการหาค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ สำหรับก๊าซที่ให้อุณหภูมิ การวิเคราะห์ได้กำหนดไว้ในทฤษฎีของไคเนติกหรือทฤษฎีของไหลของก๊าซต่างๆ ต้องนำมาใช้เพื่อกำหนดค่าความถูกต้องซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง ทฤษฎีเหล่านี้สามารถนำมาใช้กับ

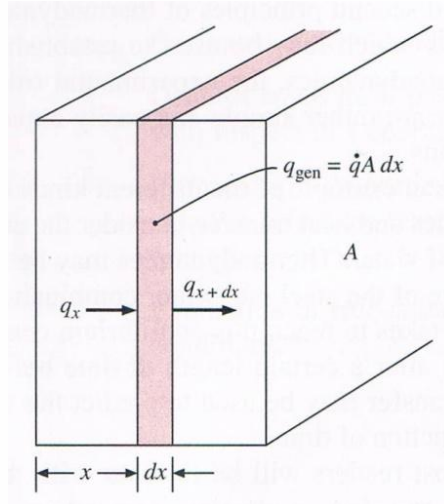
การกำหนดสภาพการนำความร้อนในของเหลวและของแข็ง แต่โดยทั่วไปแล้วมีค่าถาวรกันค่อนข้างมาก และรวมทั้งแนวคิดที่ต้องการค่าเพื่อนำไปใช้เฉพาะเจาะจงลงไปว่าเป็นของเหลวและแข็งชนิดใด

พลังงานความร้อนที่ไหลผ่านของแข็งเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ การสั่นของแลตทิซและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ สำหรับตัวนำความร้อนที่ดีจะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากเคลื่อนที่ภายในโครงสร้างของแลตทิซของวัสดุนั้น ขณะที่อิเล็กตรอนของวัสดุนั้นอาจจะเคลื่อนที่ด้วยประจุไฟฟ้า เช่นเดียวกับพลังงานความร้อนที่เคลื่อนย้ายจากขอบเขตพื้นที่อุณหภูมิสูงไปขอบเขตที่มีอุณหภูมิต่ำ ดังเช่นในกรณีของก๊าซต่างๆความจริงแล้วอิเล็กตรอนเหล่านี้มักต้องอ้างอิงถึงก๊าซอิเล็กตรอน พลังงานมักผ่านไปโดยลักษณะเกิดการสั่นตัวของ โครงสร้างแลตทิซของวัสดุโดยทั่วไปวิธีการถ่ายเทพลังงานไม่มากเท่ากับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนและผลได้นี้ก็คือเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ซึ่งเกือบทั้งหมดมักจะเป็นตัวนำความร้อนที่ดี อันได้แก่ ทองแดง อลูมิเนียม และเงิน และฉนวนๆไฟฟ้าโดยปกติแล้วจะต้องเป็นฉนวนความร้อนที่ดี สังเกตได้จากเพชร ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าแต่สามารถให้ค่าสภาพการนำความร้อนเป็นห้าเท่าซึ่งสูงเท่ากับเงินหรือทองแดง ความเป็นจริงนี้นักเจียรนัยเพชรสามารถพิจารณาข้อได้เปรียบระหว่างเพชรกับเศษหิน ได้ดี เครื่องมือขนาดเล็กสามารถนำมาใช้วัดผลตอบสนองของหินที่ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน เพชรจริงจะแสดงการตอบสนองที่รวดเร็วมากกว่าหินที่คุณภาพไม่ดี สภาพการนำความร้อนของของแข็งบางประเภทดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ค่าสภาพการนำความร้อนของของแข็งบางชนิด [5]

ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุต่างๆ ที่นำมาใช้ทำฉนวนหลายชนิด ค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนบางประเภท ที่อุณหภูมิสูง การถ่ายเทพลังงานผ่านวัสดุฉนวนอาจเกิดขึ้นได้หลายวิธี เช่น การนำผ่านไฟเบอร์หรือวัสดุแข็งที่มีเนื้อพรุน การนำผ่านช่องอากาศในพื้นที่จัดระยะห่างเอาไว้ และที่อุณหภูมิสูง จะเกิดการแผ่รังสีความร้อนด้วย



รูปที่ 2.11 ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุฉนวนที่ใช้กับความเย็นยิ่งยวด [5]

ปัญหาทางเทคนิคที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การสะสมและการส่งของของเหลวที่เป็นการทำความเย็นอย่างยิ่งยวด เช่นเดียวกับไฮโดรเจนเหลวในช่วงเวลาที่เกิดขึ้น ดังนั้นการนำมาประยุกต์ให้เกิดการพัฒนาเป็นฉนวนที่ดีที่สุด (Superinsulations) เพื่อใช้ในกรณีที่มีอุณหภูมิต่ำมาก (ต่ำประมาณ -250 องศาเซลเซียส) ประสิทธิภาพของฉนวนเหล่านี้ส่วนมากประกอบด้วยวัสดุหลายๆ ชั้น โดยมีวัสดุที่มีค่าการสะท้อนกลับได้สูงติดตั้งแยกออกจากกัน โดยการกำหนดเป็นระยะห่างของการติดตั้งฉนวนในแต่ละระบบจะต้องนำมาใช้เพื่อกำหนดในการนำความร้อนผ่านอากาศมีค่าต่ำสุด และค่าสภาพการนำความร้อนอาจมีค่าต่ำถึง 0.3 มิลลิวัตต์ต่อเมตรเซลเซียส ก็ได้ กล่าวโดยสรุปในแง่การใช้งานนั้น ต้องเลือกวัสดุฉนวนให้สอดคล้องกับอุณหภูมิเย็นยิ่งยวดดังแสดงในรูปที่ 2.11

### 2.2.4 ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)

การเปรียบเทียบความสามารถการระบายความร้อนของครีบบระบายความร้อนรูปร่างต่างๆ นั้น จะใช้ค่าความต้านทานความร้อน โดยหาได้จากสมการที่ 2.19

$$R_{th} = \frac{1}{\bar{h}_c A_s} = \frac{(T_s - T_j)}{IV} \quad (2.19)$$

- โดยที่  $R_{th}$  คือ ความต้านทานความร้อน (เคลวินต่อวัตต์)  
 $\bar{h}_c$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน)  
 $A_s$  คือ พื้นที่ผิวที่สัมผัสของไหล (ตารางเมตร)

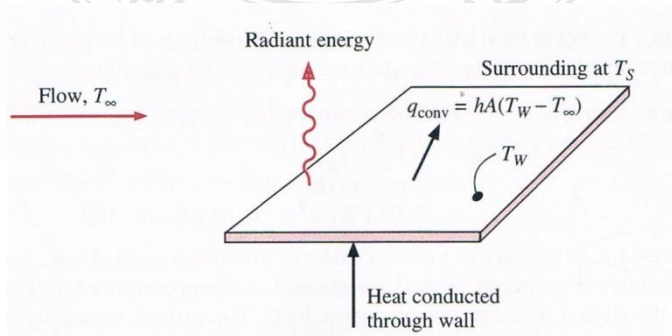
การหาค่าพื้นที่ผิวที่สัมผัสของไหล ( $A_s$ ) สมการหาได้จากสมการที่ 2.20

$$A_s = A_{base} + \eta_{fin} (\pi d_{fin} h_{fin}) + 4 (t_{base} L_{base}) \quad (2.20)$$

- โดยที่  $A_{base}$  คือ พื้นที่ฐานของครีบบระบายความร้อน (ตารางเมตร)  
 $\eta_{fin}$  คือ จำนวนครีบบระบายความร้อน  
 $\pi$  คือ Pi = 3.1416  
 $d_{fin}$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของครีบบางแท่ง (เมตร)  
 $h_{fin}$  คือ ความสูงของครีบบางแท่ง (เมตร)  
 $t_{base}$  คือ ความหนาของฐานครีบบระบายความร้อน (เมตร); ( $t_{base} = 0.005$  เมตร)  
 $L_{base}$  คือ ความยาวของฐานครีบบระบายความร้อน (เมตร)

### 2.2.5 การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา (Convection Heat Transfer)

มักทราบกันดีแล้วว่า แผ่นโลหะร้อนจะเย็นตัวลงได้อย่างรวดเร็วเมื่อนำไปวางให้พัดลมเป่ามากกว่าการนำไปวางไว้ในอากาศนิ่ง ๆ วิธีการนี้เรียกว่าการพา หรือเรียกว่า กระบวนการถ่ายเทความร้อนด้วยการพา สำหรับการพาได้มาจากการดึงเอาพฤติกรรมที่สังเกตได้ในกระบวนการถ่ายเทความร้อน อย่างไรก็ตามการดึงเอาข้อสังเกตต้องขยายความออกมาด้วย เหตุผลหนึ่งก็เพื่อใช้เป็นข้อเปรียบเทียบ แล้วนำมากำหนดการวิเคราะห์ในปัญหานั้น ๆ ขึ้น ตัวอย่างเช่น เราทราบว่าความเร็วที่อากาศเป่าบนแผ่นเรียบที่ร้อนทำให้มีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น และมีผลกระทบทำให้เกิดการระเหยความร้อนโดยตรง ตัวอย่างเช่น ถ้าเพิ่มความเร็วเป็นสองเท่า อัตราการถ่ายเทความร้อนจะเป็นสองเท่าหรือไม่? เรามักสงสัยว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนอาจจะแตกต่างกัน ถ้าเราระบายความร้อนแผ่นเรียบด้วยน้ำแทนที่จะใช้อากาศ จะมีค่าแตกต่างกันเท่าไร คำถามเหล่านี้จะต้องตอบก่อนเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ในขั้นพื้นฐานดีขึ้น ดังจะได้กล่าวในบทต่อ ๆ ไป สำหรับขณะนี้ เราสเก็ชกลไกทางกายภาพของการถ่ายเทความร้อนด้วยการพา และแสดงความสัมพันธ์ไปถึงกระบวนการนำความร้อนด้วย



รูปที่ 2.12 การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาออกจากแผ่นเรียบ [5]



พิจารณาการให้ความร้อนแผ่นเรียบ ดังรูปที่ 2.12 อุณหภูมิของแผ่นเรียบคือ  $T_w$  และอุณหภูมิของของไหล คือ  $T_\infty$  ความเร็วของของไหลดังแสดงรูป และความเร็วนี้ลดลงจนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์ที่ผิวแผ่นเรียบเพราะเกิดการกระทำของค่าความหนืด เมื่อความเร็วของชั้นของของไหลที่ผนังเป็นศูนย์ ความร้อนต้องถ่ายเทด้วยการนำความร้อนที่จุด ๆ นั้น ดังนั้น เราต้องคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยใช้สมการที่ 2.21 ด้วยค่าสมการนำความร้อนของของไหลและอุณหภูมิของของไหลที่ผนัง ถ้าการไหลของความร้อนเกิดขึ้นลักษณะที่เป็นการนำความร้อนในชั้นนี้ หรือเมื่อเราพูดถึงการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาแล้วต้องพิจารณาค่าความเร็วของของไหลด้วยหรือ? คำตอบก็คือ ค่าอุณหภูมินั้นขึ้นอยู่กับอัตราของของไหลที่นำความร้อนออกไป หากมีความเร็วสูงก็จะทำให้มีค่าการพาความร้อนที่อุณหภูมิสูงด้วย ดังนั้นค่าอุณหภูมิที่บริเวณผนังนั้นจะขึ้นอยู่กับสนามการไหล และต้องนำเอาความสัมพันธ์มาวิเคราะห์ร่วมกันในภายหลังปริมาณทั้งสองดังกล่าว แม้ว่าเราต้องจำกลไกเชิงกายภาพของการถ่ายเทความร้อนในผนังว่าเป็นกระบวนการนำความร้อน การแสดงผลกระทบบรวมของการพาความร้อน เราใช้กฎของนิวตันว่าด้วยการระบายความร้อนจะได้

$$Q = hA(T_w - T_\infty) \quad (2.21)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนนี้จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่แตกต่างรวมทั้งหมด ระหว่างผนังกับของไหลและพื้นที่ผิว  $A$  ปริมาณของ  $h$  เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา และสมการที่ 2.21 คือสมการที่ได้จากการกำหนดเงื่อนไขข้างต้นนี้ การวิเคราะห์ผลการคำนวณของค่า  $h$  อาจนำไปใช้ในบางระบบ สำหรับในสภาวะที่ซับซ้อนต้องหาค่าด้วยวิธีการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนบางครั้งเรียกว่า การนำผ่านฟิล์ม เพราะว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นกระบวนการนำความร้อนในชั้นบางๆ ของของไหลที่บริเวณผิวของผนัง จากสมการที่ 2.21 เราสังเกตได้ว่าหน่วยของ  $h$  คือ วัตต์ต่อหนึ่งหน่วยตารางเมตรต่อองศาเซลเซียสเมื่อความร้อนที่ไหลนั้นมีหน่วยเป็นวัตต์

โดยภาพรวมที่จะทำการวิเคราะห์ต่อไป สิ่งหนึ่งอาจจะกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาว่าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางความร้อนของของไหล คือ ค่าสภาพการนำความร้อน ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น เพราะอิทธิพลความหนืดที่มีต่อสภาพของความเร็วที่เปลี่ยนแปลงจากผิวผนังจนถึงชั้นขอบเขตความเร็วที่เกิดขึ้นจริง และความสอดคล้องของอัตราการถ่ายเทพลังงานในขอบเขตให้ใกล้เคียงผนัง

ถ้าแผ่นเรียบที่ให้ความร้อนแล้ว นำไปวางในห้องซึ่งมีอากาศล้อมรอบ จะไม่มีแหล่งความร้อนภายนอกที่อาจเคลื่อนที่เข้ามา การเคลื่อนที่ผ่านของอากาศ ผลลัพธ์ของค่าความหนาแน่นจะอยู่ใกล้กับแผ่นเรียบ เราเรียกว่าการพาโดยธรรมชาติหรืออิสระ ลักษณะการพาเช่นนี้แตกต่างกับวิธีการพาด้วยแรงบังคับ ซึ่งจากประสบการณ์ในกรณีนี้ก็คือการใช้พัดลมเป่าอากาศเป่าลงบนแผ่นเรียบ

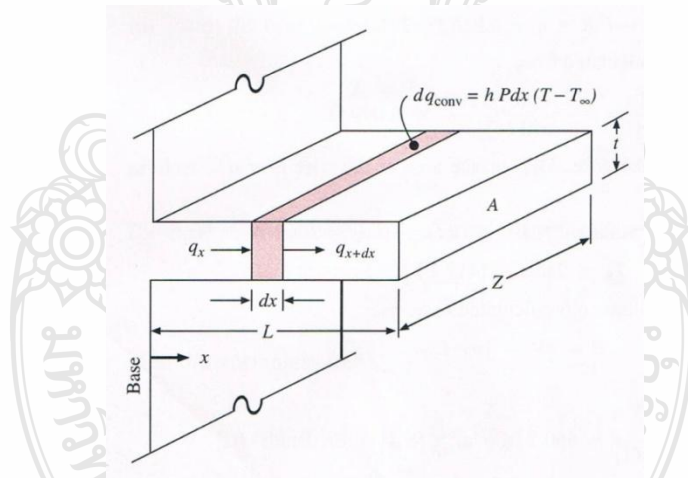
### 2.2.6 ระบบที่มีการนำและการพาความร้อนร่วมกัน

ความร้อนที่นำผ่านวัสดุมักเกิดกระบวนการพาความร้อนออกมาบางส่วนด้วย ตัวอย่างเช่น การสูญเสียความร้อนผ่านผนังเตาแล้วปล่อยสู่สภาวะแวดล้อมด้วยวิธีการพาความร้อน การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดที่เป็นท่อแล้วติดครีบริบที่ผิวท่อ มักนำมาใช้กับการดึงความร้อนออกจากของเหลวร้อน การถ่ายเทความร้อนจากของเหลวไปสู่ท่อที่ติดครีบริบจึงเป็นการพาความร้อน ความร้อนที่นำผ่านวัสดุแล้วปล่อยสู่สภาวะแวดล้อมจะเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อน

การวิเคราะห์ระบบที่มีทั้งการนำความร้อนและการพาความร้อนจึงมีความสำคัญกับการนำไปใช้ในทางปฏิบัติมาก สำหรับในส่วนนี้เป็นการทดสอบกับปัญหาพื้นที่ที่ยื่นออกมาที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมง่าย ๆ โดยพิจารณาเป็นครีบริบที่มีหนึ่งมิติสัมผัสกับของไหลที่มีสภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิ  $T_\infty$  ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ค่าอุณหภูมิที่ฐานของครีบริบคือ  $T_0$  วิธีการแก้ปัญหานี้ให้ทำการสมดุลพลังงานบนอีเลเมนต์ของครีบริบที่มีความหนา  $dx$  ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ดังนี้

พลังงานที่ผิวด้านซ้าย = พลังงานที่ออกมาที่ผิวด้านขวา + พลังงานที่สูญเสียโดยการพาการกำหนดสมการเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา นำมาเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$q = hA(T_w - T_\infty) \quad (2.22)$$



รูปที่ 2.13 การนำและการพาความร้อนหนึ่งมิติผ่านครีบริบทรงเรขาคณิต [5]

เมื่อพื้นที่ในสมการนี้คือพื้นที่ผิวของการพาความร้อน พื้นที่ภาคตัดของครีบริบ  $A$  และเส้นรอบขอบรูป  $P$  ดังนั้นปริมาณของพลังงานคือ

$$\text{พลังงานที่ผิวด้านซ้าย} = q_x = -kA \frac{dT}{dx}$$

$$\text{พลังงานที่ออกมาที่ผิวด้านขวา} = q_{x+dx} = -kA \left. \frac{dT}{dx} \right]_{x+dx}$$

$$= -kA \left( \frac{dT}{dx} + \frac{d^2T}{dx^2} dx \right)$$

$$\text{พลังงานสูญเสียโดยการพา} = hP dx (T - T_\infty)$$

สังเกตว่าพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันที่มีการพา คือ ผลที่ได้จากความยาวเป็นเส้นรอบขอบรูปของครีบริบ และความหนาที่แตกต่างกัน  $dx$  เมื่อเรารวมปริมาณเหล่านี้เข้าด้วยกัน แล้วสมมูลพลังงานจะได้ดังนี้

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{hP}{kA} (T - T_\infty) = 0 \quad (2.23)$$

สิ่งที่ได้จากข้อมูลดังกล่าว กำหนดให้ค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นนั้นกระทำในทิศทาง  $x$  เท่านั้น สมมติฐานนี้จะเป็นไปได้ถ้าครีบริบมีความบางเพียงพอ สำหรับครีบริบในทางปฏิบัติที่สนใจกันนั้นมักมีค่าพิคพลาตอันเนื่องมาจากสมมติฐานมีค่าน้อยกว่า 1 เบอร์เซ็นต์ ค่าความถูกต้องรวมทั้งหมดในทางปฏิบัติที่ใช้คำนวณครีบริบโดยปกติจะจำกัดโดยค่าความไม่แน่นอนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อน  $h$  โดยส่วนมากแล้วสังเกตได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในแต่ละผิวมักคิดให้มีค่าเดียวกัน ดังเช่นที่กำหนดข้างบน ถ้าใช้พฤติกรรมที่ไม่คงที่กับปัญหานี้ก็ต้องใช้เทคนิคเชิงตัวเลขที่เรียกว่า ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ เพื่อนำมาใช้ปัญหาดังกล่าว

### 2.2.7 เทคนิคการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Enhancement Techniques)

การระบายความร้อนเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น ถ้าการระบายความร้อนไม่เหมาะสมจะส่งผลให้วัสดุได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อนเกินขีดจำกัดที่วัสดุจะทนได้ ทำให้การทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ไม่สามารถทำงานตามปกติ ปัจจุบันอุปกรณ์ต่างๆ มีการพัฒนาอย่างมาก โดยเฉพาะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนต่อหน่วยพื้นที่สูงขึ้นทำให้กลไกการถ่ายเทความร้อนปกติไม่สามารถระบายความร้อนได้ทันกับการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของอุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้มีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ เพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยจำแนกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

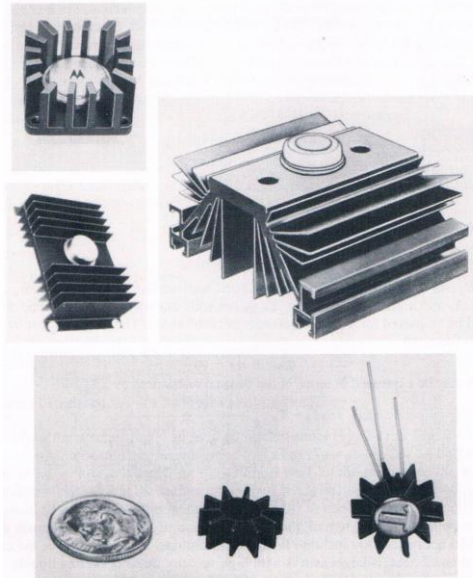
#### 1. การเพิ่มพื้นที่ผิว

การเพิ่มพื้นที่ผิวในการและเปลี่ยนความร้อน โดยติดตั้งครีบริบระบายความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวบนแหล่งความร้อน พลังงานความร้อนจะส่งผ่านมายังอุปกรณ์ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนกับของไหลเพิ่มขึ้นโดยทั่วไป ครีบริบระบายความร้อนแบ่งตามรูปร่างของครีบริบได้ดังต่อไปนี้

1) Plate-fin Heat Sink ครีบริบระบายความร้อนมีลักษณะเป็นแผ่น เพราะสามารถผลิตได้ง่าย วิธีการผลิตมีหลายแบบได้แก่ การฉีดยื่นรูป ครีบริบระบายความร้อนจะเป็นเนื้อเดียวกัน หรือแยก

ผลิตส่วนครีบบและส่วนฐานแล้วนำมาประกอบภายหลัง โดย การเชื่อม การอัดยึดด้วยสกรู และวิธีใช้ การขยายตัว-หดตัวของโลหะ

2) Pin-fin Heat Sink ครีบบระบายความร้อนมีลักษณะเป็นแท่ง เนื่องจากมีครีบบจำนวนมากส่งผลทำให้มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนมาก แต่ต้นทุนการผลิตสูงกว่า Plate-Fin Heat Sink



รูปที่ 2.14 แผงระบายความร้อน [5]

## 2. การเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

การเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดย การใช้ของไหลพุ่งชนผิว ที่ลดความหนาของชั้นซิดผิวทำให้ความต้านทานทางความร้อนที่ผิวกับของไหลลดลงทำให้มีการและเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะบริเวณที่ใกล้จุดศูนย์กลางการตกกระทบ หรือจุดหยุดนิ่ง (Stagnation Point) การถ่ายเทความร้อนจะมีค่ามากและจะลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้น

## 3. การเพิ่มค่าการนำความร้อน

การเพิ่มการนำความร้อน โดย การเติมอนุภาคนาโนลงในสารทำงานเช่นการเติม  $\text{TiO}_2$  หรือ  $\text{Ag}$  ลงไปในสารทำงานทำให้ของไหลมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป มีค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น

## 4. เทคนิคอื่นๆ

เทคนิคอื่นๆ ได้แก่ เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphons), ฮีทไปป์ (Heat Pipe) และ เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) เทอร์โมไซฟอน (Thermosyphons),คือ อุปกรณ์ที่สามารถถ่ายความร้อนได้อย่างรวดเร็วไม่มีชิ้นส่วนกลไก เทอร์โมไซฟอนมีลักษณะเป็นท่อปลายปิดทั้งสองข้าง ภายในบรรจุสารสำหรับการถ่ายเทความร้อน ด้านหนึ่งของท่ออยู่ที่มีอุณหภูมิสูง อีกด้านหนึ่งอยู่ในที่มีอุณหภูมิต่ำ หลัง

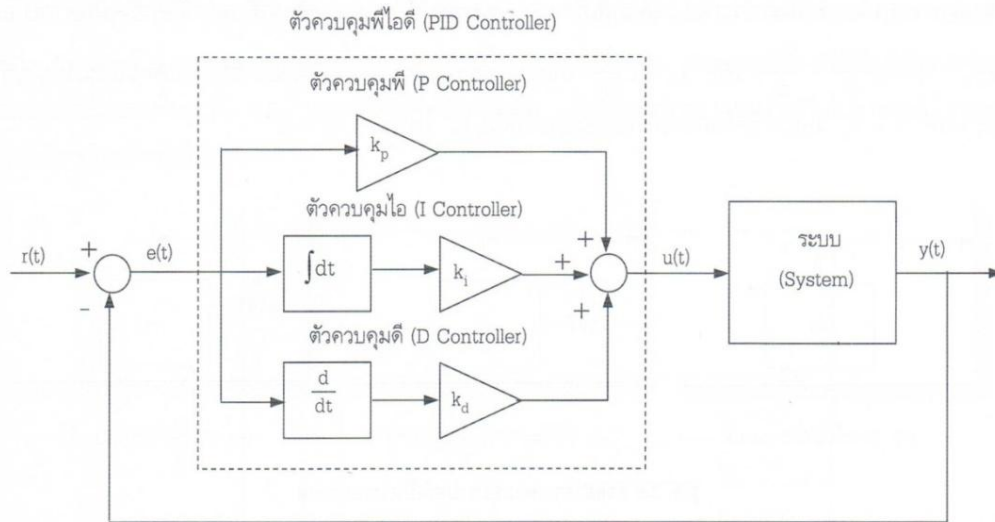
การทำงานอาศัยการถ่ายเทความร้อน โดยการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารที่บรรจุอยู่ภายในส่วนล่างของท่อ การทำงาน Thermosyphons นั้นเป็นดังนี้ เมื่อสารถ่ายเทความร้อนในสถานะของเหลวได้รับความร้อนที่ส่งผ่านผนังท่อจากแหล่งความร้อน จะเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วลอยขึ้นสู่ส่วนบนของท่อที่ส่วนบนไอสารถ่ายเทความร้อนจะคายความร้อนผ่านผนังท่อ แล้วเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวเกาะผนังท่อ และไหลกลับมาสู่ด้านล่างของท่อด้วยน้ำหนักตัว เมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอลอยขึ้น วนเวียนไปตลอดเวลาที่มีความแตกต่างด้านอุณหภูมิ ส่วนสารถ่ายเทความร้อนอาจเป็นน้ำหรือสารทำความเย็นชนิดใดก็ได้ตามความเหมาะสม เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนแฝงทำให้สามารถถ่ายความร้อนได้อย่างรวดเร็ว

2) ฮีทไปป์ (Heat Pipe) คือ อุปกรณ์ที่สามารถถ่ายความร้อนได้อย่างรวดเร็วมีโครงสร้างและหลักการการทำงานเหมือนกับเทอร์โมไซฟอน แต่ฮีทไปป์สามารถทำงานในแนวอนได้ไม่เหมือนกับ เทอร์โมไซฟอนที่ส่วนระเหยต้องอยู่ต่ำกว่าส่วนควบแน่นเสมอโดยภายในรอบๆท่อจะมีเส้นลวดโลหะเล็กๆ นำมาถักเป็นโครงข่ายเรียกว่า วิค (Wick) โดยน้ำหรือสารทำความเย็นจะไหลผ่านในส่วนนี้ ลักษณะการทำงานที่ปลายของท่อฮีทไปป์ข้างหนึ่งจะได้รับความร้อนเข้ามาแล้วเปลี่ยนสถานะเป็นไอไปสู่ปลายอีกข้างหนึ่ง เพื่อถ่ายโอนความร้อนออก ในส่วนนี้สารทำความเย็นจะกลั่นตัวเป็นของเหลวแล้วไหลผ่าน วิค กลับมายังด้านระเหยอีกครั้ง

3) เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้จากการแตกต่างของอุณหภูมิ และในทางตรงกันข้ามถ้าเราให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปในวัสดุชนิดนี้ มันก็จะเกิดแตกต่างกันของอุณหภูมิขึ้นในตัววัสดุนี้ด้วยเช่นกัน ภายในสารกึ่งตัวนำชนิด N และ P เรียงสลับกันจำนวนมากที่ถูกจัดวางเป็นแบบเมตริกซ์ ทำเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิมินพิวสองด้านบนสารกึ่งตัวนำ

### 2.3 ทฤษฎีระบบควบคุม การควบคุมประเภทพีไอดี

ตัวควบคุมประเภทพีไอดี (PID, Proportional – Integral – Derivative) เช่น ตัวควบคุมพีไอดี ตัวควบคุมพีไอ และตัวควบคุมพีดี เป็นตัวควบคุมที่ให้สัญญาณควบคุมเป็นแบบมีค่าต่อเนื่อง และใช้งานกันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม ซึ่งอาจจะประมาณได้ว่ามากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ของระบบควบคุมวงปิดที่ใช้งานในปัจจุบันใช้ตัวควบคุมประเภทพีไอดี โดยส่วนใหญ่จะเป็นตัวควบคุมพีไอ จุดเด่นหลักที่ทำให้ตัวควบคุมประเภทพีไอดีได้รับความนิยมสูง คือ การหาค่าตัวแปรของตัวควบคุมสามารถทำได้ง่ายโดยการทดลองปรับแต่งหาค่าในระหว่างการควบคุมระบบจริงได้เลยโดยไม่ต้องใช้ทฤษฎีการควบคุมมากและให้ผลลัพธ์ในระดับที่น่าพอใจ แผนผังอย่างง่ายของระบบควบคุมพีไอดีแสดงให้รูปที่ 2.15 จะสังเกตว่าตัวควบคุมประกอบไปด้วยตัวควบคุมพี (P, Proportional) ตัวควบคุมไอ (I, Integral) และควบคุมดี (D, Derivative) รวมกันอยู่ โดยมีอัตราขยายพี ( $k_p$ ) อัตราขยายไอ ( $k_i$ ) และอัตราขยายดี ( $k_d$ ) เป็นตัวแปรตัวควบคุม



รูปที่ 2.15 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมพีไอดี [6]

ปัจจุบันหลายบริษัท เช่น ABB, Emerson, Honeywell และ Yokogawa ได้ผลิตตัวควบคุมประเภทพีไอดีสำเร็จรูปพร้อมใช้งานจำหน่าย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตัวควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ประมวลผลหลักและมีความสามารถในการปรับแต่งหาค่าตัวแปรของตัวควบคุมได้เอง แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับบางระบบที่มีความซับซ้อนและมีความเสี่ยงต่ออันตรายสูง การหาค่าตัวแปรของตัวควบคุมอาจจะจำเป็นต้องดำเนินการออกแบบตัวควบคุมตามหลักทฤษฎีการควบคุมอย่างจริงจัง ซึ่งวิธีการออกแบบมีด้วยกันหลายวิธี

พิจารณาแผนผังระบบควบคุมพีไอดีในรูปที่ 2.15 จะพบว่ากฎการควบคุมพีไอดี (PID Control Law) เป็นไปตามสมการคณิตศาสตร์ดังนี้

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.24)$$

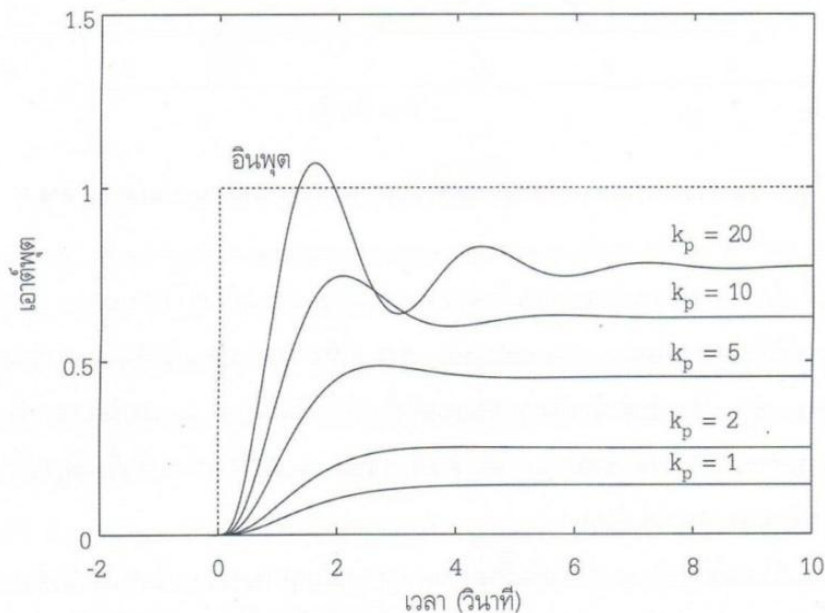
$$u(t) = k_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right); T_i = \frac{k_p}{k_i}, T_d = \frac{k_d}{k_p} \quad (2.25)$$

โดยที่  $u(t)$  คือ สัญญาณควบคุมซึ่งเป็นเอาต์พุตของตัวควบคุม  $e(t) = y(t)$  คือ ค่าผลต่างของการควบคุมซึ่งเป็นอินพุตของตัวควบคุม  $y(t)$  คือ สัญญาณเอาต์พุตของระบบที่ถูกควบคุม และ  $r(t)$  คือ สัญญาณอ้างอิงของควบคุม ซึ่งวัตถุประสงค์ของการควบคุมโดยทั่วไปจะต้องทำให้  $y(t)$  มีค่าเท่ากับ  $r(t)$  หรือ  $e(t)$  เป็นศูนย์นั่นเอง ส่วนในกรณีของตัวควบคุมพีไอและพีไอดีจะกำหนดให้  $k_i = k_d = 0$  และ  $k_d = 0$  ตามลำดับ

ในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของตัวควบคุมโดยการทดลองปรับกับระบบจริงนั้น ผู้ออกแบบที่มีความคุ้นเคยกับระบบเป็นอย่างดีอาจจะสามารถกระทำได้โดยการสุ่มปรับค่าตัวแปรใน

ระหว่างการควบคุมจริง จนกระทั่งระบบมีพฤติกรรมตามที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ตาม สิ่งที่อยู่อกแบบจะต้องเข้าใจอย่างถ่องแท้คือ โครงสร้างของตัวควบคุมและอิทธิพลของแต่ละตัวแปรของตัวควบคุมที่มีต่อพฤติกรรมโดยรวมของระบบควบคุม

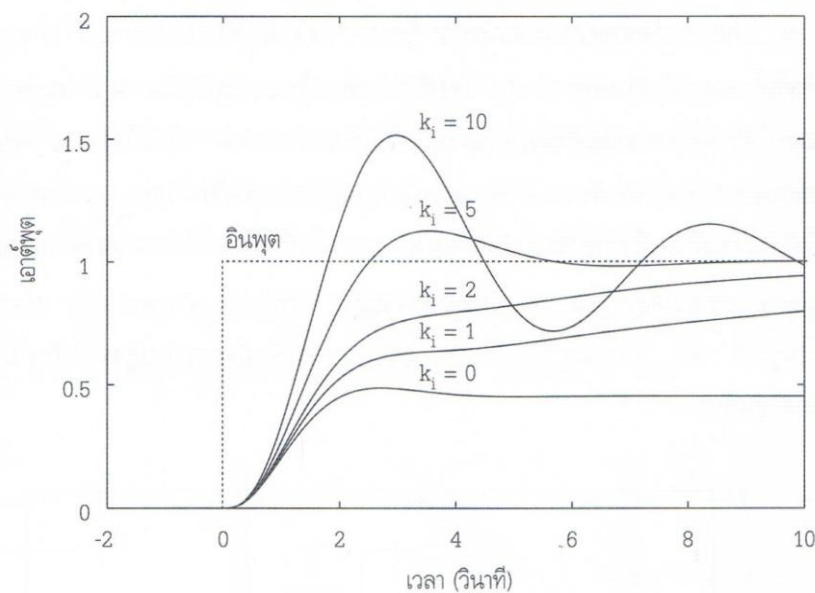
ตัวแปร  $k_p$  คือ ค่าอัตราขยายในส่วนของกฎการควบคุมแบบพี (P Control Law) โดยเอาต์พุตของตัวควบคุมที่จะแปรผันโดยตรงกับค่าผลต่าง  $e(t)$  โดยมีค่าคงที่ของการแปรผัน คือ  $k_p$  นั่นเอง ซึ่งจะสังเกตว่าถ้าค่าผลต่างมีขนาดมาก สัญญาณควบคุมก็จะมาเพื่อแก้ไขให้ค่าผลต่างลดลง อย่างไรก็ตาม ค่าผลต่าง  $e(t)$  อันเนื่องมาจากอิทธิพลของตัวควบคุมพีหลังจากที่ระบบควบคุมเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady State) โดยส่วนใหญ่จะไม่สามารถขจัดให้เป็นศูนย์ได้ ซึ่งก็เพิ่มค่าอัตราขยาย  $k_p$  สูงขึ้น จะช่วยให้ขนาดของค่าผลต่างที่สถานะคงตัว (Steady State Error) ลดลงได้มากขึ้น แต่เอาต์พุตอาจจะเกิดการพุ่งเกิน (Overshoot) หรือระบบมีพฤติกรรมการสั่นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.16 นอกจากนี้แล้ว ในบางระบบ การเพิ่มอัตราขยายสูงมากเกินไปอาจจะทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพได้เช่นกัน



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างของผลตอบสนองของระบบควบคุมในกรณีที่อินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันได (Step Function) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า  $k_p$  ต่าง ๆ [6]

ตัวแปร  $k_i$  คือ ค่าอัตราขยายในส่วนของกฎการควบคุมแบบไอ (I Control Law) ซึ่งอิทธิพลของตัวควบคุมไอมีความแตกต่างจากตัวควบคุมพี คือมีจุดเด่นด้านความสามารถในการขจัดหรือลดผลต่างที่สถานะคงตัวของการควบคุมได้ดี เอาต์พุตในส่วนของตัวควบคุมไอจะแปรผันโดยตรงกับค่าปริพันธ์ซึ่งก็คือค่าผลรวมของค่าผลต่างจากอดีตจนถึงปัจจุบันนั่นเอง โดยที่มี  $k_i$  เป็นค่าคงที่ของการแปรผัน อย่างไรก็ตาม ตัวควบคุมไอมีแนวโน้มที่จะส่งผลทำให้ระบบเข้าสู่สถานะคงตัวช้าลงและเกิดการพุ่งเกิน (Overshoot) มากขึ้นด้วย รวมทั้งอาจจะส่งผลให้ระบบควบคุมสูญเสีย

เสถียรภาพในที่สุด ถ้าเพิ่มอัตราขยายสูงมากเกินไป รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของระบบควบคุมต่อตัวควบคุมพีไอที่ค่า  $k_i$  ต่าง ๆ



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างของผลตอบสนองของระบบควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงค่า  $k_i$  ต่าง ๆ [6]

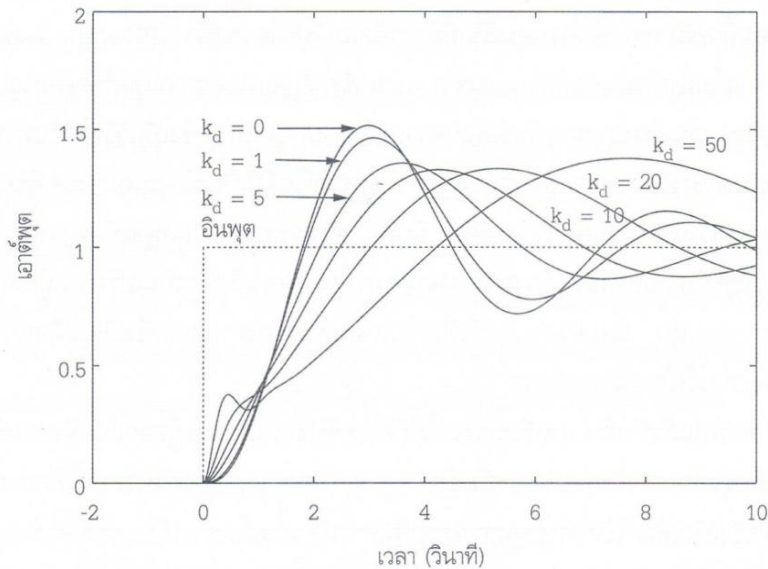
นอกจากนี้แล้ว การใช้งานตัวควบคุมขับเคลื่อนแอกชูเอเตอร์ถึงสภาวะอิ่มตัว (Saturation) ส่งผลให้ระบบควบคุมไอสันและอาจจะสูญเสียเสถียรภาพตัวอย่างสภาวะอิ่มตัว เช่น โดยปกติเมื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้มอเตอร์ มอเตอร์จะหมุนเร็วขึ้น จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่แม้จะเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าขึ้นมากเท่าใด ความเร็วของมอเตอร์ก็จะไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไป ความเร็วสูงสุดนี้เรียกว่า ความเร็วอิ่มตัวของมอเตอร์ นั่นเอง

ปรากฏการณ์ไวנדอัปเกิดจากการเพิ่มขึ้นตามเวลาของสัญญาณควบคุมในส่วนของตัวควบคุมไอ เนื่องจากผลของการปริพันธ์หรือการรวมสะสมของค่าผลต่างของการควบคุมที่ไม่เท่ากับศูนย์ ในขณะที่แอกชูเอเตอร์ไม่ได้ทำงานมีมากขึ้นเพราะอยู่ในสภาวะอิ่มตัว ส่งผลให้การทำงานของแอกชูเอเตอร์ไม่สอดคล้องกับค่าสัญญาณควบคุม เมื่อค่าผลต่างลดลงเข้าใกล้ค่าศูนย์หรือเป็นศูนย์ ค่าสัญญาณควบคุมยังคงมีค่ามากกว่าที่ควรจะเป็น ส่งผลให้ระบบควบคุมเกิดการสั่นมากขึ้น นอกจากนี้ ถ้าสัญญาณควบคุมที่สะสมเพิ่มขึ้นในขณะที่เกิดการไวנדอัปมีค่ามาก ๆ ระบบควบคุมอาจจะสูญเสียเสถียรภาพได้ การหลีกเลี่ยงหรือแก้ปัญหาไวנדอัปสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การลดข้อจำกัดความเร็วของผลตอบสนองการควบคุมลงเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ตัวควบคุมขับเคลื่อนแอกชูเอเตอร์ถึงสภาวะอิ่มตัว การหยุดการทำงานของตัวควบคุมไอชั่วคราวเมื่อแอกชูเอเตอร์อิ่มตัว เป็นต้น

ตัวแปร  $k_d$  คือ ค่าอัตราขยายในส่วนของกฎการควบคุมแบบดี (D Control Law) ซึ่งเอาต์พุตของตัวควบคุมดีแปรผันโดยตรงกับค่าอนุพันธ์หรือการเปลี่ยนแปลงของค่าผลต่างโดยมี  $k_d$  เป็นค่าคงที่ของการแปรผันโดยทั่วไปตัวควบคุมดีจะทำหน้าที่เป็นตัวลดโอเวอร์ชูต เป็นการเพิ่ม



เสถียรภาพของระบบควบคุม อย่างไรก็ตาม ในบางระบบ ถ้ากำหนดให้ค่าตัวแปร  $k_d$  สูงมากเกินไป อาจส่งผลให้เพิ่มโอเวอร์ชูตได้เช่นกันดังแสดงในรูปที่ 2.18 นอกจากนี้ ถ้าระบบมีเวลาการหน่วง (Time Delay) สูง ผลของตัวควบคุมดีอาจจะทำให้ระบบควบคุม ไม่เสถียรได้



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างของผลตอบสนองของระบบควบคุมต่อการเปลี่ยนแปลงค่า  $k_d$  [6]

ในทางปฏิบัติ สัญญาณรบกวนเอาต์พุต  $y(t)$  ของระบบอาจจะมีสัญญาณรบกวนความถี่สูง (High Frequency Noise) รวมอยู่ด้วย ส่งผลให้ตัวตอบสนองหรือไวต่อสัญญาณรบกวนด้วยและอาจทำให้ระบบควบคุมมีพฤติกรรมไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ ดังนั้นในบางครั้งจะต้องมีการกรองสัญญาณให้เฉพาะสัญญาณความถี่ต่ำผ่านโดยใช้ตัวกรองผ่านต่ำ (Low - Pass Filter) เพื่อลดผลของสัญญาณรบกวนก่อนที่จะดำเนินการอนุพันธ์ แต่ผลของการกรองสัญญาณอาจทำให้เกิดการหน่วง (Delay) สัญญาณขึ้น ดังนั้นผู้ออกแบบอาจจะต้องคำนึงถึงผลกระทบนี้ด้วย ด้วยปัญหาทั้งหมดข้างต้นนี้ทำให้ในทางปฏิบัติตัวควบคุมประเภทพีไอดีที่ใช้งานจริงจะนิยมกำหนดค่า  $k_d$  เป็นศูนย์ ซึ่งก็คือตัวควบคุมพีไอนั่นเอง

นอกจากนี้แล้ว การกำหนดค่าสัญญาณอ้างอิง  $r(t)$  ในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดจะส่งผลให้ค่าผลต่าง  $e(t)$  เปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดด้วย ทำให้ค่าสัญญาณควบคุมในส่วนของพจน์ตัวควบคุมมีค่าสูงมาก ระบบควบคุมอาจเกิดโอเวอร์ชูตสูงได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติควรหลีกเลี่ยงการกำหนดค่าสัญญาณ  $r(t)$  ในลักษณะนี้ อีกวิธีการหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้คือแทนที่จะทำการอนุพันธ์หรือหาการเปลี่ยนแปลงของค่าผลต่างโดยตรงให้ทำการอนุพันธ์เฉพาะค่าเอาต์พุตอย่างเดียวแทน ซึ่งจะได้กฎการควบคุมดังนี้

$$u(t) = k_p e(t) + k_{i0} \int e(\tau) d\tau + k_d \frac{dy(t)}{dt} \quad (2.26)$$

โดยในกรณีที่เอาต์พุต  $y(t)$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ ค่าอนุพันธ์  $\frac{dy(t)}{dt}$  จะเป็นความเร็วของการเคลื่อนที่นั่นเอง ดังนั้นกฎการควบคุมนี้จะเรียกว่า ตัวควบคุมพีไอที่มีการป้อนกลับค่าความเร็ว (PI With Velocity Feedback) และในทางปฏิบัติเราจะไม่ทำการอนุพันธ์สัญญาณจริง แต่จะใช้ค่าสัญญาณจากเซ็นเซอร์วัดค่าความเร็วแทน วิธีการนี้จะตัดปัญหาผลไม่พึงประสงค์ของการอนุพันธ์อันเกิดจากสัญญาณรบกวนได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมาก

จากที่กล่าวมาข้างต้น อาจจะพิจารณาได้ว่าตัวควบคุมพีไอนี้เป็นตัวควบคุมวงปิดที่มีการใช้ทั้งข้อมูลจากอดีต ปัจจุบัน และแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคต นั่นคือ ตัวควบคุมพีไอตอบสนองกับค่าผลต่างในสถานะปัจจุบันทันทีทันใด ในขณะที่ตัวควบคุมไอซึ่งเป็นการรวมค่าผลต่างในอดีตจนถึงปัจจุบันเปรียบเสมือนการพิจารณาข้อมูลในอดีตทั้งหมดในการควบคุม และตัวควบคุมดีเป็นการหาอนุพันธ์ของค่าผลต่างซึ่งเป็นเสมือนการพิจารณาทิศทางการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตนั่นเอง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับระบบที่ไม่มี ความซับซ้อนมากและผู้ออกแบบมีความชำนาญและคุ้นเคยกับระบบเป็นอย่างดีอยู่แล้ว อาจจะสุ่มปรับค่าตัวแปร  $k_p$ ,  $k_i$  และ  $k_d$  ของตัวควบคุมได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการทดลองควบคุมจริงหรือเลือกใช้ตัวควบคุมสำเร็จรูปที่มีความสามารถในการปรับแต่งค่าตัวแปรของตัวควบคุมได้เอง แต่ในกรณีที่ระบบมีความซับซ้อนมากหรือผู้ออกแบบไม่มีความคุ้นเคยกับระบบมากพอที่จะทำการควบคุมค่าเริ่มต้นของค่าตัวแปร  $k_p$ ,  $k_i$  และ  $k_d$  ของตัวควบคุมอาจจะหาค่าได้จากสูตรสำเร็จรูปหรือวิธีที่มีการคิดค้นไว้แล้ว เช่น วิธี Ziegler – Nichols ซึ่งเป็นวิธีที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลายในงานจริง อย่างไรก็ตาม จำไว้เสมอว่าวิธีนี้สร้างขึ้นมาจากประสบการณ์ของผู้คิดค้นที่มีประสบการณ์กับการควบคุมระบบหนึ่ง ๆ เท่านั้น ไม่จำเป็นต้องใช้งานกับทุกระบบเสมอไป และค่าตัวแปรที่ได้เป็นเพียงค่าเริ่มต้นเท่านั้น ผู้ออกแบบยังคงต้องปรับแต่งค่าเพื่อให้ระบบควบคุมมีผลตอบสนองใกล้เคียงกับความต้องการมากที่สุด ทั้งผลตอบสนองชั่วคราวและที่สถานะคงตัว

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยุทธนา ดันติวิวัฒน์[7] เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โบอิเล็กทรอนิกส์ที่เห็นในรูปที่ 2.19 เป็นเครื่องที่ผลิตจำหน่ายในท้องตลาด ขนาด 5 กิโลวัตต์ 110/220 โวลต์, 50/60 เฮิร์ตซ์มีขนาดกระทัดรัด หิ้วไปไหนมาไหนได้สะดวก น้ำหนักเพียง 15 กิโลกรัม สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ภายใน 20 วินาที มีความน่าเชื่อถือได้สูง เสียงเงียบ มีเฉพาะเสียงที่เกิดจากพัดลมระบายความร้อนตัวเล็กๆเท่านั้น ซึ่งเป็นส่วนที่เคลื่อนไหวเพียงขึ้นเดียว เชื้อเพลิงที่ใช้ ใช้ได้ทั้งบิวเทน, โพรเทน แก๊สธรรมชาติ (NGV) หรือแม้แต่ น้ำมันเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเครื่องยนต์ และราคาไม่แพงจะเป็นการดีและมีประโยชน์ต่อประเทศชาติมากมาย ถ้านักวิจัย, นักวิทยาศาสตร์และ/หรือวิศวกรไทย ร่วมกับนักอุตสาหกรรมผลิตเครื่องไฟฟ้าเทอร์โบอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นในเชิงพาณิชย์ได้เอง



รูปที่ 2.19 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก ที่ผลิตจำหน่ายเชิงพาณิชย์  
ขนาดของเครื่องเมื่อเทียบกับกระป๋องน้ำอัดลม [7]

ว่าที่ ร.ต. ฉัฐพงษ์ แกมทับทิม[8] ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำน้ำร้อนและผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและทำการสร้างเครื่องทดลองรวมถึงโปรแกรมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ทำการออกแบบระบบที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งสรุปลักษณะระบบได้ดังนี้ ขนาดพื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 2.20 เมตร × 1.20 เมตร จำนวน 2 แผง มุมเอียง 0°, 10°, 14°, 15°, 20° และ 30° โดยมีอัตราการไหลของน้ำ 1, 2 และ 3 ลิตรต่อวินาที จำนวนเทอร์โมอิเล็กทริก 360 ตัว ต่ออนุกรมแถวละ 18 ตัว จำนวน 20 แถว ผลคือระบบสามารถผลิตน้ำร้อน 40-62 องศาเซลเซียส และระบบผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้า 22.8 -33.3 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 9.5 -13.9 แอมป์ กำลังงาน 242.9-461 วัตต์

วิระชัย เลิศสถาพรสุข[9] ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับตู้แช่วัคซีนเทอร์โมอิเล็กทริก โดยทำการออกแบบและสร้างตู้แช่วัคซีนเทอร์โมอิเล็กทริกต้นแบบขนาดความจุ 10 ลิตร ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลรุ่น TEC 1-12704 ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าใช้งานสูงสุด 13.5 โวลต์ และ 4.4 แอมป์ จำนวน 1 ตัว การทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ การทดลองโดยใช้แหล่งจ่ายกระแสตรง และการทดสอบโดยใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยควบคุมอุณหภูมิห้องไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส และระบบระบายความร้อนทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกใช้การระบายความร้อนด้วยน้ำ จากการทดลองพบว่า การจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ตู้วัคซีนเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถลดอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียส มาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 40 นาที และมีค่าสิ้นเปลืองพลังงาน 1108.95 วัตต์ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็น 81.4 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังไฟฟ้าใช้งานสูงสุด

เจริญพร เลิศสถิตชนกร[10] ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของการพาความร้อนแบบอิสระในเครื่องปรับอากาศแบบเทอร์โมอิเล็กทริก (TEAC) โดยการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีป สี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนแบบอิสระที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลใช้การถ่ายเทความร้อนแบบบังคับ โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสกาย ในการทดลองใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลจำนวน 7 โมดูล (Tainjin Lantain model TEC1-12708) โดยทดลองในห้องที่มีการหุ้มฉนวน โดยมีปริมาตร 0.024 ลูกบาศก์เมตร และ 1 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาถึงผลของการติดตั้งเครื่อง TEAC อีก 2 ตำแหน่ง คือ การติดตั้งในแนวตั้ง และการติดตั้งแบบเอียง 5 องศา จากแนวระดับ จากการทดลองพบว่า สมรรถนะการทำความเย็นของระบบขึ้นกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และติดตั้งแบบเอียง 5 องศาให้สมรรถนะการทำความเย็นดีกว่าการติดตั้งในแนวตั้ง ภายใต้เงื่อนไขในการออกแบบนี้ การทำงานของระบบที่เหมาะสมอยู่ที่กระแสไฟฟ้า 3 แอมป์ และอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้านร้อน 0.027 กิโลกรัมต่อวินาที สามารถทำความเย็นได้ 169 วัตต์ และลดอุณหภูมิของห้องทดสอบระหว่าง 16 องศาเซลเซียส และ 28 องศาเซลเซียส ขึ้นกับปริมาตรของห้องทดลอง จากการทดสอบในห้องขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร พบว่า มีการกลั่นตัวของน้ำ 14.6 กรัม ในช่วงการทดลอง 3 ชั่วโมง เมื่อใช้เป็นเครื่องลดความชื้นจะมีการกลั่นตัวของน้ำ 356 กรัมต่อวัน

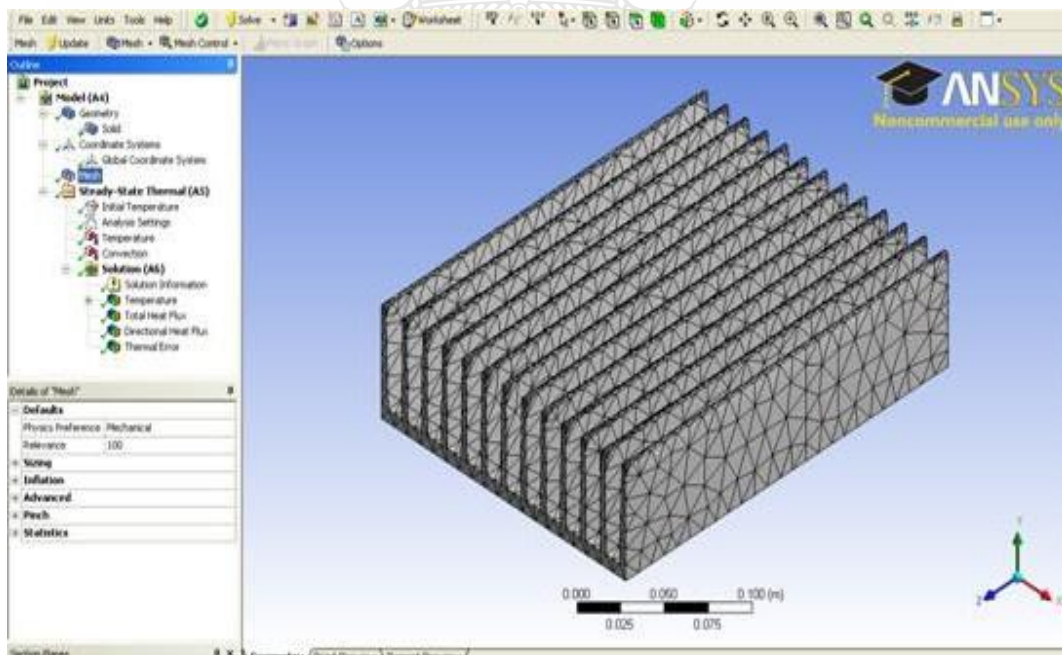


# บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนแผ่กระจายความร้อด้วย Ansys

โปรแกรม Ansys เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณผลทางอุณหภูมิจากวัสดุในงานวิศวกรรม ที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ในรูปของโปรแกรมสำเร็จรูป ง่ายต่อการใช้งาน เหมาะสำหรับนักออกแบบ นักวิจัย และวิศวกรในหลายสาขา โปรแกรมมีความสามารถคำนวณได้ทั้งสองมิติและสามมิติ รูปแบบการคำนวณสามารถคำนวณได้ทั้ง การพาความร้อน การนำความร้อน การแผ่รังสีความร้อน รวมไปถึงความถี่คลื่นต่างๆ ทำการกำหนดวัสดุเป็นอลูมิเนียมอัลลอย สร้างเมชขึ้นงาน ป้อนค่าอุณหภูมิความร้อนจากแผ่นเพลทเทียร์ ป้อนค่าการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาแบบธรรมชาติมีค่า 5 วัตต์ต่อตารางเมตรเซลเซียส



รูปที่ 3.1 การกำหนด เงื่อนไข และการสร้างเมชเพื่อวิเคราะห์ผลทางความร้อน

#### 3.1.1 การสร้างแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองของการระบายความร้อนแผ่นเพลทเทียร์ด้วยแผ่กระจายความร้อนนั้น มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง 30 เซ็นติเมตร ยาว 30 เซ็นติเมตร และสูง 30 เซ็นติเมตร ทำด้วย อลูมิเนียม ติดตั้งชุดให้ความร้อน (Heater) จำนวน 1 ตัว มีฉนวนกันความร้อนอยู่รอบด้าน และติดตั้ง อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple) จำนวน 3 จุด ดังรูปที่ 3.10

จากลักษณะของแบบจำลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนโดยรอบแก่แบบจำลอง แผงระบายความร้อนเป็นแบบคงที่ และส่วนบริเวณโดยรอบของแบบจำลองจะมีการสูญเสียความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นสำหรับการวิจัยจะกำหนดให้การพาความร้อนเป็นแบบอุณหภูมิคงที่ โดยทำการป้อนความร้อนแก่แบบจำลองทั้ง 4 รูปแบบ ที่อุณหภูมิ 40-120 องศาเซลเซียส

### 3.1.2 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

1. แบ่งส่วนของแบบจำลอง โดยทำการแบ่งส่วนของแบบจำลองออกเป็นชิ้นส่วนย่อยที่มีขนาดต่างกัน โดยแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะเป็นแบบเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ประกอบด้วย 3 จุดต่อ
2. การป้อนข้อมูล ข้อมูลที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องการ ประกอบด้วย
  - 1) จำนวนของชิ้นส่วนย่อย
  - 2) จำนวนของจุดต่อ
  - 3) ข้อมูลจำเพาะสำหรับแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะเริ่มต้นหมายเลขของจุดต่อ I, J, K และจุดต่อ m ตามลำดับ
  - 4) พิกัดของตำแหน่งของจุดต่อต่างๆ
  - 5) จำนวนของชิ้นส่วนย่อยที่มีอนุพันธ์ของเงื่อนไขขอบเขต
  - 6) อุณหภูมิเริ่มแรกที่จุดต่อต่างๆ
  - 7) สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการเชิงอนุพันธ์
  - 8) จำนวนเวลาที่ใช้ในการพิจารณา
3. คำนวณเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆ ของการถ่ายเทความร้อน
4. นำเอลิเมนต์เมตริกซ์ต่างๆ มารวมกันเป็นสมการรวมของระบบ
5. แทนค่าอุณหภูมิเริ่มแรกที่จุดต่างๆ และเงื่อนไขขอบเขตลงในสมการรวมของระบบ
6. ทำการแก้สมการรวมของระบบ โดยใช้วิธีสตีเฟนสโดยตรง
7. ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้ โดยทำการเปรียบเทียบกับผลข้อมูลจากการทดลอง

### 3.2 อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองแผงระบายความร้อนเพื่อหาอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยธรรมชาติหรืออิสระ เพื่อได้มาซึ่งแรงดันไฟฟ้าโดยป้อนพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ให้แก่แผ่นเพลทเทียร์ที่อุณหภูมิ 40-100 องศา-เซลเซียส ทำการทดสอบ 2 กรณี คือ แผ่นเดียว และสองแผ่นวางในตำแหน่งต่างๆกัน รอจนกระทั่งอุณหภูมิที่ป้อนเกิดการนำความร้อนและการพาความร้อนนิ่ง จึงจะบันทึกผล ค่าอุณหภูมิ ความร้อนที่ด้านร้อน ด้านเย็น อุณหภูมิที่ฮีตซิงค์ 3 จุด วัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพลทเทียร์ วัดกระแสไฟฟ้าโดยการป้อนค่าความต้านทานตั้งแต่ 1-10 โอห์ม สถานที่ทดลอง อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส

สร้างชุดทดสอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิการทดลองที่มีความสามารถในการควบคุมความร้อน ป้อนความร้อนให้กับเพลทีเยร์ โดยใช้ ระบบควบคุม พีไอดี คอนโทรล ใช้อุปกรณ์ดังนี้

-NI USB-6008

USB 6008 จะเป็น DAQ รุ่นเล็กที่มีฟังก์ชัน โดยมีจำนวนช่อง Analog Input สำหรับวัดแรงดันที่อยู่ในช่วง +/-10 โวลต์ จำนวน 8 ช่องสัญญาณที่ความเร็ว Sampling Rate 48kS/s, Analog Output 2 ช่อง สัญญาณ, Digital I/O 12 ช่องสัญญาณ และ Counter สำหรับการนับ 1 ตัว โดยใช้ไฟเลี้ยงจากสาย USB จึงไม่ต้องต่อสายเพาเวอร์ให้ยุ่งยาก พร้อมช่องต่อสายสัญญาณแบบขันสกรูในตัว ขนาดเล็กสามารถนำไปใช้ได้ในงานต่างๆไป



รูปที่ 3.2 USB 6008 ใช้รับสัญญาณ และส่งสัญญาณ

-NI USB-9162 และ NI 9112 ใช้ขยายสัญญาณ เทอร์โมคัปเปิล

NI USB-9162 ทำหน้าที่แปลงช่องสัญญาณมาทางสาย USB เพื่อใช้ในการติดตั้งโมดูล Signal Conditioner กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งไม่สามารถใช้การวัดแบบธรรมดาแบบที่ USB-6008 ทำได้ เพราะสัญญาณจากเซนเซอร์ชนิดนี้เป็นแรงดันก็จริง แต่จะมีขนาดเล็กมากๆ จนทำให้เกิดสัญญาณรบกวนมากมายจนอ่านค่าไม่ได้ในการทดลองนี้จึงได้นำเอา NI 9211 ที่มีช่วงการรับสัญญาณที่แคบและยังมีตัวกรองสัญญาณรบกวนสำหรับ Thermocouple โดยเฉพาะ มีจำนวนช่อง Analog Input สำหรับวัดแรงดันที่อยู่ในช่วง +/-80 มิลลิโวลต์ จำนวน 4 ช่องสัญญาณ ช่วงปฏิบัติการ-40 ถึง 70 องศาเซลเซียส ความละเอียด 24 บิต ที่ความถี่ 50/60 เฮิรตซ์ จึงทำให้การวัดมีความเที่ยงตรงสูง มาทำการเชื่อมต่อ เพื่อใช้วัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.3 NI 9112 อุปกรณ์ใช้ขยายสัญญาณ เทอร์โมคัปเปิล

#### -ฮีตเตอร์

ฮีตเตอร์ (Heater) มีลักษณะเป็นแผ่นม้วนกลมประกอบด้วยผิวด้านในบุด้วยฉนวน ถัดเข้าไปจะมีลวด ความร้อนที่พันอยู่รอบฉนวนและที่ผิวนอกจะหุ้มไว้ด้วยแผ่น โลหะที่มีสกรูสำหรับประกอบติดเอาไว้และจะต้องให้ผิวของกระบอกสะอาดปราศจากสิ่งอื่นมาคั่น ทั้งนี้เพื่อให้ความร้อนถ่ายเทไปยังกระบอกได้ดีที่สุด ในการทดลองครั้งนี้ให้ฮีตเตอร์ ขนาด 45 วัตต์ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ กระแสสลับ จำนวนสองโมดูล ให้ความร้อนผ่านการถ่ายเทไปยังแท่งทองแดงที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งแผ่นเพลทีนที่นำมาทดสอบ



รูปที่ 3.4 ฮีตเตอร์



### -โซลิดสเตตเจอร์เลย์

Solid State Relay (SSR) เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่เหมือน Electromechanical Relay ตรงที่ไม่มี ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในการตัดต่อทางไฟฟ้า ไม่มีการอาร์คของหน้าสัมผัสทำให้ไม่เกิดประกายไฟและไม่มีการเสื่อมสภาพของหน้าสัมผัสจึงเหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการเปิดปิดบ่อยๆ ในการทดลองนี้ใช้ยี่ห้อ AIKS รุ่น ASR01 - 210DA ช่วงแรงดันใช้งาน 24 - 240 โวลต์ กระแสสลับ INPUT 3-32 โวลต์ กระแสตรง จำนวนสองโมดูล



รูปที่ 3.5 โซลิดสเตตเจอร์เลย์

### -เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลนั้น มีประวัติค่อนข้างเก่าแก่ทีเดียว คือ ถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2364 โดยนักฟิสิกส์ ชาวเยอรมันชื่อ โทมัส โจฮานน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) ได้ค้นพบว่า เมื่อต่อโลหะสองชนิดเข้าด้วยกัน ให้มีรอยต่อสองแห่ง แล้วทำให้รอยต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าขนาดอ่อนๆ ไหลภายในวงจรการ ที่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลได้นี้ เนื่องจากมีความแตกต่างศักย์เกิดขึ้นที่รอยต่อแต่ละแห่ง และมีขั้วตรงข้ามกัน โดยที่แรงดันขั้ว รอยต่อร้อนจะสูงกว่า แรงดันที่รอยต่อเย็น งานทดลองในครั้งนี้นำเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลที่มีลักษณะหัวแบน ชนิด K



รูปที่ 3.6 เทอร์โมคัปเปิล

### -สารนำความร้อน

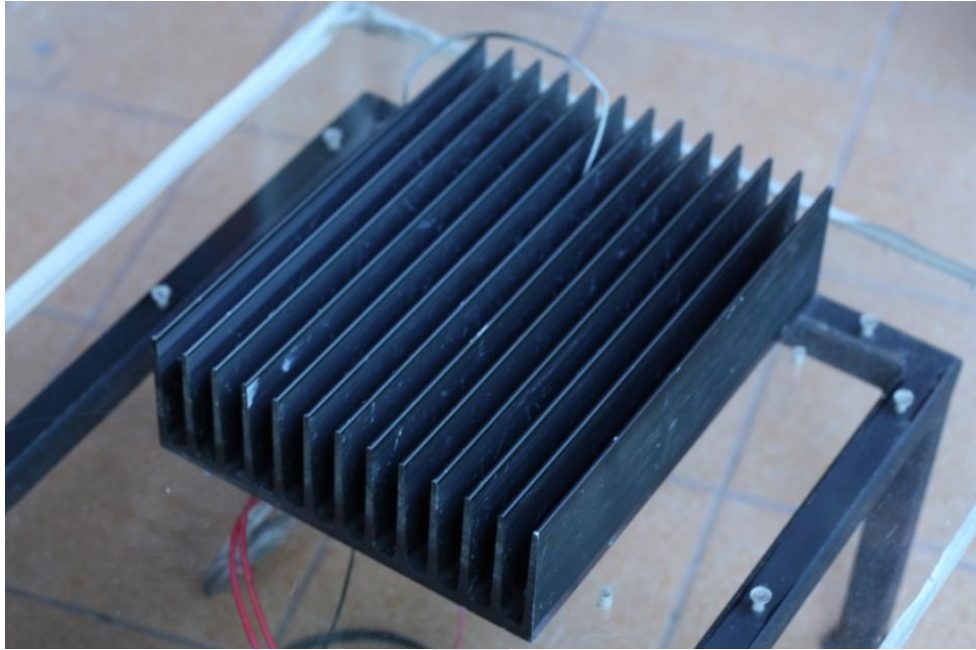
สารนำความร้อนคือสารที่มีลักษณะเป็นของเหลวชั้น เรียกกันทั่วไปว่าซิลิโคน ใช้ทาผิวแผงระบายความร้อนบริเวณที่สัมผัสกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ก่อนที่จะติดตั้งลงไป สารเทอร์โมคอมพาวด์ (Thermal Compound) จะช่วยให้แนบสนิทกันดียิ่งขึ้น และเป็นสื่อกลางนำความร้อนถ่ายเทจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไปยังฮีทซิงค์เพื่อระบายออกไป ซิลิโคนคือ สารประกอบพวก เทอร์โมคอมพาวด์ หรือตัวนำความร้อนนี้เอง ทำหน้าที่เชื่อมประสานนำความร้อน เพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนได้ดีขึ้น เพราะหากไม่มีซิลิโคนคั่นระหว่างกลาง ความร้อนจะไม่ถ่ายเทไปยังฮีทซิงค์ได้เท่าที่ควร ซิลิโคนหรือสารนำความร้อนต่างๆจึงสำคัญมากซิลิโคนที่ใช้กันในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป มี 2 ประเภทคือ สารที่เป็นโลหะ และสารโลหะผสมออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ และซิลเวอร์ออกไซด์ก็ได้ คุณสมบัติส่วนใหญ่คือ ไม่นำไฟฟ้า ไม่แห้ง เหนียว ลักษณะเป็นครีมสีขาว สีแดง สีเทา อาจมีสีอื่น ได้ขึ้นอยู่กับว่าใส่สารประกอบนำความร้อนชนิดอะไร ถ้าเป็นสารแบบโลหะจะนำความร้อนและนำไฟฟ้าด้วย บางชนิดเหนียว เช็ดทำความสะอาดออกง่าย บางชนิดเป็นอิมัลชันเหมือนกาวเชื่อม เหมาะสำหรับวัสดุที่ติดแล้วติดเลย การทาซิลิโคนควรทาในบริเวณที่เกิดความร้อนสูง ไม่จำเป็นที่จะต้องทานามากเกินไป เพราะจะเป็นการกั้นความร้อนแทนที่จะนำความร้อน ควรทาบางพอประมาณที่สามารถเชื่อมรอยต่อได้ หรือจะทานานๆไว้ก่อน พอติดตั้งฮีทซิงค์แล้ว แรงกดจะกระจายสารเทอร์โมคอมพาวด์ หรือ ซิลิโคนออกไปทำให้อากาศช่องว่างออกไปหมด คือแนบสนิท



รูปที่ 3.7 สารนำความร้อน

### -แผงระบายความร้อนแบบครีบอลูมิเนียม

แผงระบายความร้อนสร้างจากอลูมิเนียมอัลลอย ขนาด  $26 \times 20 \times 7$  เซนติเมตร มีลักษณะเป็นครีบบระบายความร้อนจำนวน 13 ครีบ ระยะห่างระหว่างครีbsd้วยกันเท่ากับ



รูปที่ 3.8 แผงระบายความร้อนแบบครีบอลูมิเนียม

-ตัวต้านทานปรับค่าได้

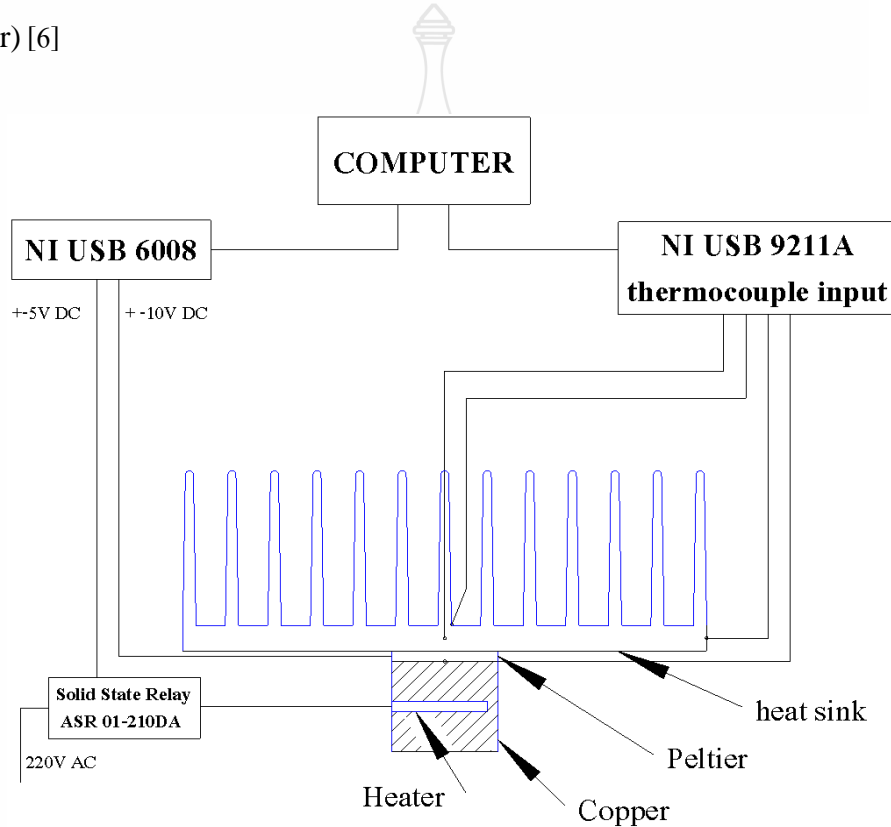
ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Variable Resistor) ทนกำลังไฟฟ้าได้ 100 วัตต์ ทำการปรับความต้านทานโดยขันคลายสกรูแล้วเลื่อนแท่งเหล็กไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซ้าย-ขวา โดยการใช้มัลติมิเตอร์มิเตอร์ในการวัดความต้านทาน เมื่อได้ค่าที่ต้องการจึงทำการขันสกรูล็อก



รูปที่ 3.9 ตัวต้านทานปรับค่าได้

### 3.3 การออกแบบระบบควบคุมความร้อนด้วย LabVIEW

เนื่องจากการทดลองการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์มีความเกี่ยวข้องเนื่องกับการป้อนความร้อน ต้องใช้ระบบควบคุมที่แม่นยำเพื่อให้ได้ผลงานวิจัยออกมาถูกต้องเป็นไปตามข้อเท็จจริงมากที่สุด จึงเลือกที่จะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมฮีตเตอร์ ทำความร้อนป้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์โดยเลือกใช้ฟังก์ชันการควบคุมแบบ พีไอดี (PID controller, proportional–integral–derivative controller) [6]



รูปที่ 3.10 การควบคุมระบบทดสอบการระบายความร้อนในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์

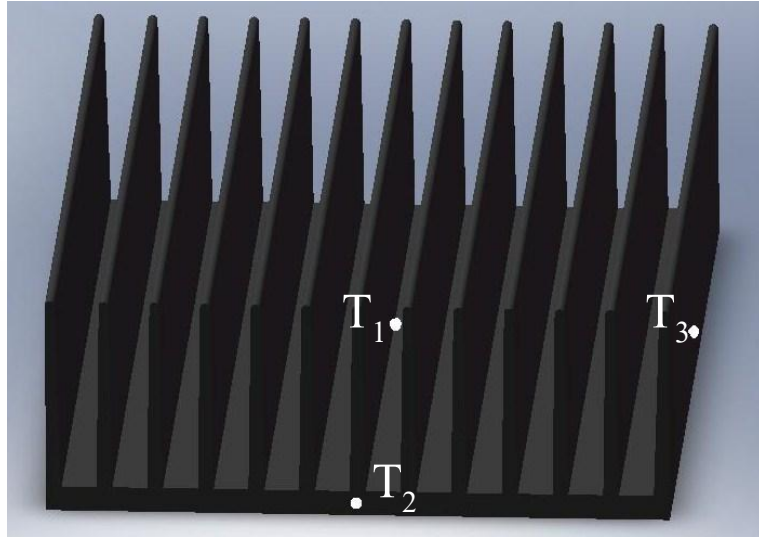
ระบบของโปรแกรมที่เขียนขึ้นใน LabVIEW จะรับสัญญาณทางสายยูเอสบี (USB Universal Serial Bus) จาก NI USB 9211A ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณมาจากเทอร์โมคัปเปิล คอมพิวเตอร์รับสัญญาณจะทำการประมวลผลระหว่างอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ กับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริง ถ้าอุณหภูมิยังไม่ร้อนถึงที่กำหนด คอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าโดยใช้ ฟังก์ชันพีไอดี แล้วส่งสัญญาณผ่านทางสายยูเอสบีไปยัง NI USB 6008 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณอนาล็อก (Analog) แรงดันไฟฟ้า กระแสตรง 0-5 โวลต์ ไปยังโซลิดสเตตรีเลย์ (Solid State Relay) ทำหน้าที่ตัด-ต่อ วงจรไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ลักษณะการทำงานของระบบเป็นการควบคุม ความร้อนแบบปิด (Closed Loop) ในขณะที่ทำการป้อนความร้อนให้กับเพลเทียร์และต้องระบาย ความร้อนให้กับอีกด้าน การทดลองนี้จะนำแผงระบายความร้อน ผลิตจากอลูมิเนียมขนาด 26×20×7 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีครีป 13 อัน มีพื้นที่ระบายความร้อน 53 ตารางเซนติเมตร มาใช้ในการทดลอง

โดยอาศัยหลักการนำความร้อนและการพาความร้อนแบบอिसระ สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือจุดประสาน  
เชื่อมต่อระหว่างแผ่นเพลเทียร์กับแผงระบายความร้อนจะต้องทาผิวบางๆด้วยซิลิโคนนำความร้อน  
(Heatsink Compound) เพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อทุกๆผิวสัมผัส จากกระบวนการจะได้พลังงานไฟฟ้า  
กระแสตรงออกมา ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยต่อสายไปยัง NI USB 6008 ที่สามารถรับแรงดันได้  
0-10 โวลต์ จากนั้นจะส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางสายยูเอสบี



รูปที่ 3.11 ชุดทดสอบระบบระบายความร้อนในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์

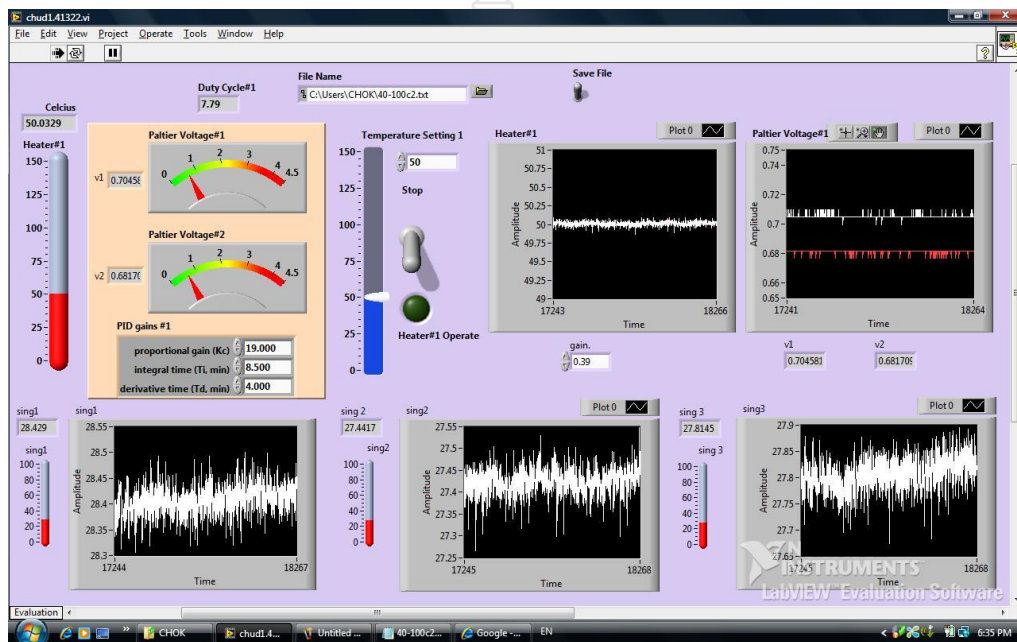
การพัฒนาโครงการหรือโครงการทางด้านการวัดและงานควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์นอก  
จากปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำ และเที่ยงตรงในการทำงานแล้ว การ  
พัฒนาโปรแกรมการใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์ (Application Program) ที่ใช้งานได้ง่ายแสดงผลเป็น  
รูปภาพที่สวยงามน่าใช้ ในหลายๆ โปรแกรมที่ใช้งานอาจมีรูปแบบการใช้งานที่ไม่ค่อยจะดึงดูดใจ  
ผู้ใช้งานเท่าไรนัก เช่น โปรแกรมใช้งานที่มีการสั่งงานและการแสดงข้อมูลด้วยตัวอักษร (Text-Base  
Program) เป็นต้น จึงมีผู้พัฒนาซอฟต์แวร์โปรแกรมการใช้งาน ที่มีการแสดงผลเป็นรูปภาพที่สวยงาม  
น่าใช้และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นเรื่องที่ทำได้อย่างรวดเร็ว ในรูปแบบของการโปรแกรม  
ด้วยรูปภาพ (Graphical Programming) ซึ่งเป็นจุดเด่นของซอฟต์แวร์ตัวนี้ พร้อมด้วยฟังก์ชันการ  
ทำงานต่างๆ ที่มีไว้ให้เรียกใช้อย่างมากมาย รองรับการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้งานกับเครื่องมือวัดและ  
ควบคุมที่หลากหลาย ซอฟต์แวร์ที่กล่าวนี้ คือ LabVIEW



รูปที่ 3.12 แบบจำลองแผงระบายความร้อนและจุดวัดอุณหภูมิ

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือเรียกย่อ ๆ ว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัด LabVIEW จัดเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Programming Language คล้ายกับ Visual Basic หรือ Visual C++ แต่แตกต่างกันตรงที่ LabVIEW เป็นการสร้างโปรแกรมโดยใช้ภาษารูปภาพ (Graphical (G) Programming Language) ก็จะใช้บล็อกฟังก์ชันซึ่งแทนด้วย ไอคอน (Icon) แทนการเขียนโปรแกรมย่อย (Subscription) และใช้เส้นเชื่อมต่อระหว่างบล็อกฟังก์ชันแทนการไหลของข้อมูลระหว่างโปรแกรมย่อยนั้นๆ คล้ายกับการเขียนโฟลชาร์ต (Flow Chart) หรือบล็อก ไดอะแกรม (Block Diagram) ของโปรแกรมในขณะที่การเขียนโปรแกรมด้วยตัวอักษร (Text-Based Programming) จะต้องคำนึงถึงวากสัมพันธ์ (Syntax) ของภาษา ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องระมัดระวังอยู่ตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การพัฒนาโปรแกรมด้วย LabVIEW ช่วยลดเวลาลงได้อย่างมาก เมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาที่ต้องใช้ตัวอักษรแบบเดิมๆ (ประมาณ 4 ถึง 10 เท่า) การทำงานของโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ยังสามารถวัดผลแสดงผลและบันทึกผลการทดลองโดยคอมพิวเตอร์ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น แสดงผลในรูปแบบของกราฟที่สัมพันธ์กับเวลา แสดงผลการตัดต่อสัญญาณในรูปแบบของหลอดไฟ มีสวิตช์เปิดปิดการทำงานเหมือนจริง เป็นต้น ทำให้การทดลองมีความเที่ยงตรงแม่นยำมาก โปรแกรม VI ที่สร้างโดย LabVIEW จะเรียกส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ว่า Front Panel ซึ่งประกอบด้วยส่วนรับคำสั่งควบคุม เช่น การป้อนข้อมูล, ปุ่มหมุน, สวิตช์ และส่วนแสดงผลข้อมูล เช่น การแสดงผลด้วยตัวเลข, มิเตอร์, บาร์สเกล จอแสดงผลแบบออสซิลโลสโคป และกราฟ เป็นต้น ส่วนต่างๆเหล่านี้สามารถควบคุมการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้นผ่าน Front Panel นี้ เช่น การกดปุ่ม, เลื่อนแถบ สไลด์หรือป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ด พร้อมดูผลข้อมูลได้อีกด้วย โดย LabVIEW จะแสดงและควบคุมการทำงานผ่านทางคอมพิวเตอร์ สิ่งที่ทำให้ LabVIEW ต่างจากซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมอื่นทั่วไปอีกอย่างหนึ่ง คือ ความสามารถในการพัฒนาโปรแกรมใช้งานทางด้าน

งานวัดและงานควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งถือเป็นเป้าหมายสำคัญของ LabVIEW โดยจะมีเครื่องมือ (Tool) และไลบรารี (Library) ที่สนับสนุนการใช้งานทางด้านนี้ไว้อย่างมากมาย ให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของเครื่องมือ เสมอจริง (Virtual Instrument หรือ VI) พื้นที่ส่วนที่เขียนโปรแกรมจะเรียกว่า Block Diagram เปรียบเสมือนกับ Hardware ภายในเครื่องมือวัด โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ



รูปที่ 3.13 Front Panel ของ โปรแกรม LabVIEW

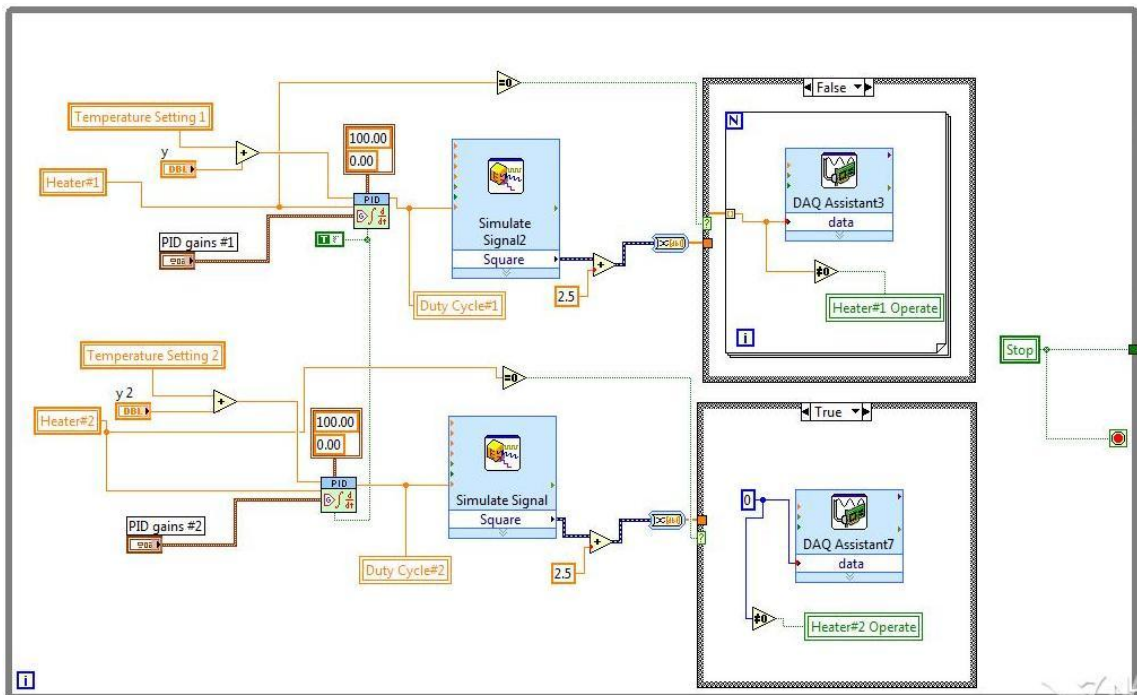
LabVIEW อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล(Input)จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจาก การ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า) , การ์ด IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)

2. หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการทำ Analysis หรือ วิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้ การทดลองในครั้งนี้ฟังก์ชันที่สำคัญคือ ฟังก์ชันพีไอดี

3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multimeter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่ต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลา หรือ Spectrum Analyzer จะแสดงสัญญาณในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

### 3.3.1 เขียนขั้นตอนการเขียนโปรแกรมการควบคุมความร้อน



รูปที่ 3.14 การเขียนคำสั่งการควบคุมบล็อก ไดอะแกรม ใน LabVIEW

Graphic Block Diagram การสร้างโปรแกรม VI บน LabVIEW สามารถทำได้โดยการสร้างบล็อกไดอะแกรมซึ่งประกอบด้วยรูปไอคอนของบล็อกฟังก์ชันต่างๆ ที่ใช้แทนโปรแกรมย่อย โดยไม่ต้องกังวลเรื่องวากยสัมพันธ์ของภาษา เหมือนกับการเขียนโปรแกรมด้วยข้อความแบบเดิมๆ เพื่อระบุว่ามีการส่งข้อมูลจากบล็อกใดไปยังบล็อกใด ฟังก์ชันการทำงานของบล็อกต่างๆ ที่มีให้เลือกใช้มีตั้งแต่ฟังก์ชันการคำนวณธรรมดาไปจนถึงฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง รวมถึงฟังก์ชันการควบคุมอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตการปฏิบัติการที่เกี่ยวกับไฟล์ ข้อมูลและอื่นๆ อีกมากมาย

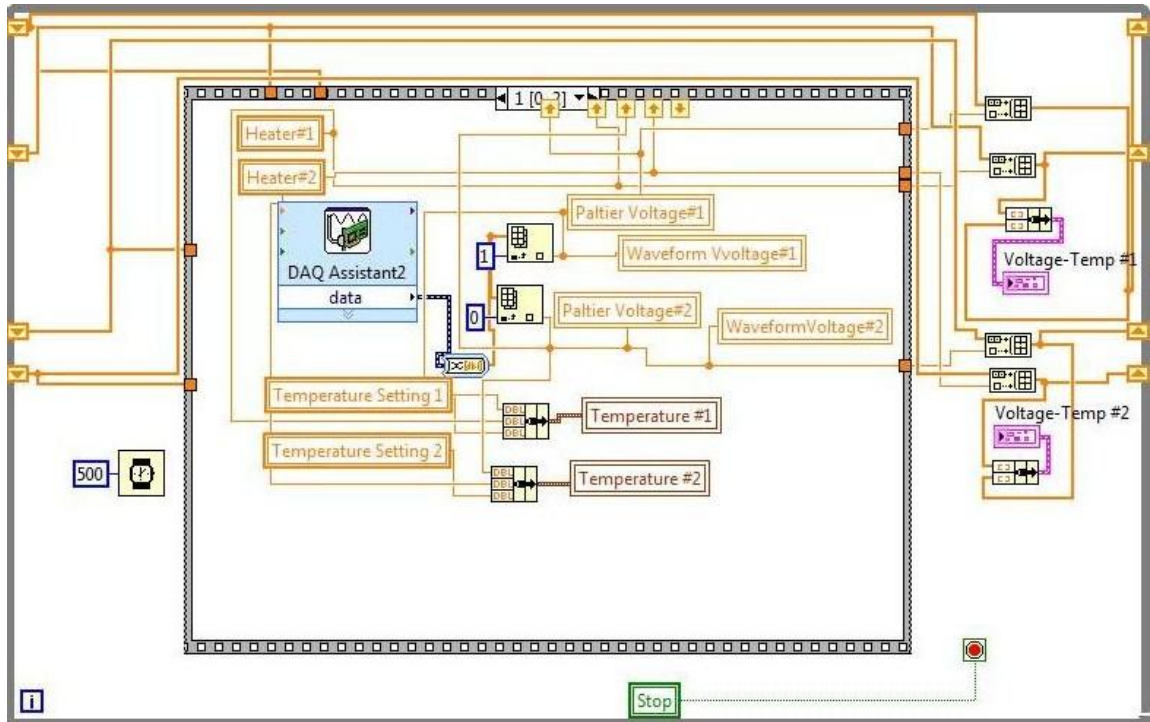
While Loop เป็นกรอบสี่เหลี่ยม ประกอบด้วย Terminal Index ซึ่งจะส่งค่าตัวเลขออกมาบอกว่าตอนนี้ While Loop วิ่งมากี่ครั้งแล้วโดยเริ่มนับจากศูนย์ และ While Loop จะรันจนกว่า Terminal เงื่อนไข จะได้รับการกด Stop จึงจะหยุดรัน ซึ่งเงื่อนไขตัวกลมสีแดงนี้เรียกว่า Stop If True ก็คือหยุดเมื่อได้รับค่าจริง

ประกอบด้วย Diagram Case ย่อยอย่างน้อยสองชั้นซ้อนทับกันอยู่ ซึ่งจะมองเห็นได้ครั้งละหนึ่ง Case และมีตัวเลือก (Case Selector) ว่าจะรัน Case ไหน เมื่อสร้าง Case Structure ขึ้นมาเริ่มต้นจะเป็น Boolean (เครื่องหมายคำถามสีเขียว) ซึ่งหมายความว่า จะมีเพียงสอง Case ให้ใช้เท่านั้นคือ Case True และ Case False

ทำการเรียก DAQ Assistant จาก Functions palette: Analog Output เราสามารถใช้ DAQ Assistant ในการสร้างแรงดันโดยเลือกที่ Generate Signals>>Analog Output>>Voltage สำหรับ



USB-6008 สามารถสร้างแรงดันตั้งแต่ 0-5 โวลต์ จากนั้นเลือกอุปกรณ์และช่องสัญญาณที่ต้องการจ่ายแรงดัน ถ้าต้องการจ่ายมากกว่าหนึ่งช่องให้กด <Ctrl> ค้างไว้ขณะเลือก สำหรับงานครั้งนี้เลือก DAQ (USB-6008) ช่องที่ ao0 และ ao1 ต่อสายให้ตรงกับหมายเลขแหล่งสัญญาณและอุปกรณ์ Solid State Relay ที่ต้องการจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปใช้งาน



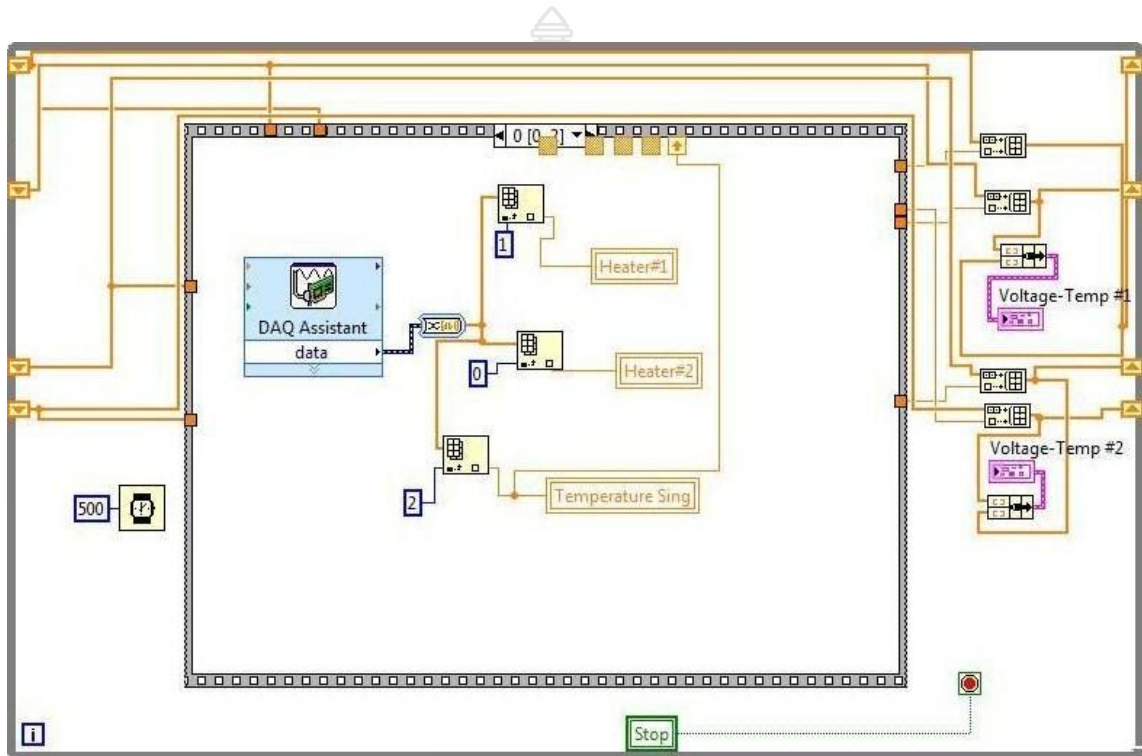
รูปที่ 3.15 การเขียนคำสั่งการควบคุมบล็อก โคอะแกรม ใน LabVIEW

การกำหนดความเร็วของลูป นอกจากจะทำให้โปรแกรมรันด้วยจังหวะความเร็วที่ต้องการแล้ว ยังช่วยไม่ให้ CPU ของคอมพิวเตอร์ทำงานมากเกินไปจนจำเป็นอีกด้วย โดยปกติโปรแกรมจะรันด้วยความเร็วสูงสุดเท่าที่จะทำได้จน CPU มีการทำงานเต็มที่จนอาจไม่มีเวลาสำหรับงานอื่น ๆ ซึ่งเราสามารถหน่วงเวลาเพื่อให้ลูปรันช้าลงได้ด้วยฟังก์ชันหน่วงเวลา (Wait) โดยป้อนค่า Wait Until Next ms Multiple ให้มีค่าเป็น 500 หมายความว่า ทันทีที่ลูปแรกรันเสร็จไม่ว่าจะใช้เวลาไปกี่วินาที ลูปจะต้องรอต่อไปอีก 500 มิลลิวินาที จึงจะเริ่มรันลูปใหม่ได้

ในการเขียนโปรแกรมโดยลูป ต้องการข้อมูลจากลูปที่ผ่านมาแล้ว นำไปใช้ต่อในลูปปัจจุบันด้วย เราจึงต้องสร้างตัวหน่วยความจำสำหรับลูปเรียกว่า Shift Register

Sequence เป็นการควบคุมการไหลของโปรแกรมแบบตามลำดับ Frame คล้ายกับฟิล์มรูปซึ่งโปรแกรมจะเริ่มการทำงานตั้งแต่ Frame ลำดับที่ 0 ถัดไปเป็น Frame ลำดับที่ 1 ถัดไปเป็น Frame ลำดับที่ 2 และ 3 ซึ่งการไหลของโปรแกรมไม่สามารถย้อนกลับไปยัง Frame ก่อนหน้าได้

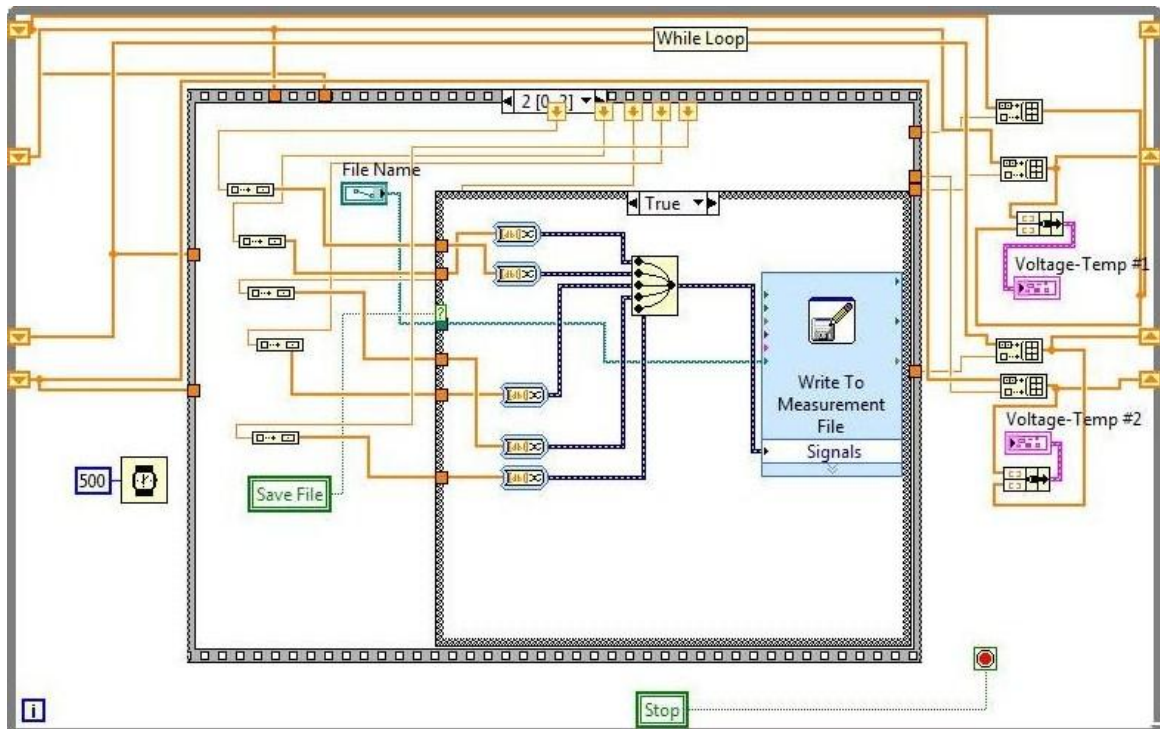
ทำการเรียก DAQ Assistant จาก Functions palette : Analog Input ทำการตั้งสัญญาณแรงดัน โดยเลือก Acquire Singnals >> Analog Input >>Voltage จากนั้นเลือกอุปกรณ์และช่องสัญญาณที่ต้องการวัด ถ้าต้องการวัดมากกว่าหนึ่งช่องให้กด <Ctrl> ค้างไว้ขณะเลือก สำหรับงานครั้งนี้เลือก ตั้งสัญญาณจาก DAQ (USB-6008) ช่องที่ ai0 และ ai1 ต่อสายให้ตรงกับหมายเลขแหล่งสัญญาณและ อุปกรณ์เพลเทียร์ที่ต้องการวัด สามารถวัดแรงดันได้ตั้งแต่ 0-10 โวลต์



รูปที่ 3.16 การเขียนคำสั่งการควบคุมบล็อก ไดอะแกรม ใน LabVIEW

ทำการเรียก DAQ Assistant จาก Functions palette : Analog Input ทำการตั้งสัญญาณ Thermocople โดยเลือก Acquire Singnals >> Analog Input >>Temperature>>Thermocople เลือก ช่องสัญญาณ ai0 ai1 ai2 และ ai3 ทำการต่อสาย Thermocouple ให้ตรงกับตำแหน่งหมายเลขที่ได้ เลือกไว้ จากนั้นทำการ Configure ค่าต่างๆ เช่น อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุดที่จะวัด, หน่วยของอุณหภูมิ, ชนิดของ Thermocouple, CJC Source และความเร็วในการตั้งสัญญาณ

การบันทึกข้อมูลจาก LabVIEW ลงไฟล์ และการอ่านข้อมูลจากไฟล์นำมาใช้ใน LabVIEW เป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องนำมาใช้งาน เรื่องของไฟล์บันทึกเป็นตัวอักษรหรือ Text File ซึ่งเป็นโค้ดในระบบ ASCII ที่สามารถเซฟหรือนำมาเปิดด้วยโปรแกรมต่างๆ ได้เช่น Notepad, MS Word, MS Excel ฯลฯ โดยเลือกใช้ Write to Measurement File จากนั้นทำการต่อสายไปยังตัวเปิดไฟล์เก็บข้อมูล File Name



รูปที่ 3.17 การเขียนคำสั่งการควบคุมบล็อก ไคอะแกรม ใน LabVIEW

### 3.4 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนกระบวนการ

วิธีการของซีเกลอร์ – นิโคลส์ (Ziegler - Nichols) [19] สำหรับปรับค่าอัตราขยายของ PID เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับปรับปรุงหรือพัฒนาตัวควบคุมเพื่อต้องการให้ระบบควบคุมนั้นมีการตอบสนองช่วงชั่วคราว (Transient Response) และการตอบสนองในสถานะอยู่ตัว (Steady State) มีลักษณะตามที่ต้องการ วิธีการของซีเกลอร์ – นิโคลส์เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับผู้มีความชำนาญและอาศัยประสบการณ์และการสังเกต เป็นวิธีที่ใช้กันมานานแล้ว แต่บางครั้งก็ไม่สามารถหาเหตุผลมาอธิบายในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้ วิธีที่เหมาะสมและนิยามมากกว่าคือการออกแบบตัวควบคุมโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Model Based Control) มากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการของซีเกลอร์ – นิโคลส์ก็ยังเป็นที่นิยมใช้ในหมู่ผู้ออกแบบที่มีประสบการณ์ ดังนั้น ในหัวข้อนี้จึงจะอธิบายถึงวิธีการของซีเกลอร์ – นิโคลส์ที่คงนิยมใช้กันอยู่

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการออกแบบระบบควบคุมพื้นฐานก็คือการเลือกรูปแบบของตัวควบคุมและคำนวณค่าอัตราขยายของตัวควบคุมนั้น โดยอาศัยสมการการเคลื่อนที่ของระบบการออกแบบแบบนี้ต้องการแบบจำลองที่สมบูรณ์ของระบบพลศาสตร์ที่จะทำการควบคุม ซึ่งแบบจำลองนี้จะอยู่ในรูปแบบของสมการการเคลื่อนที่ (Dynamic Equation) หรือสมการฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ซึ่งจะต้องมีค่าค่อนข้างถูกต้องแม่นยำ ระบบควบคุมของเราจึงจะมีลักษณะของการตอบสนองตามที่ผู้ออกแบบได้ตั้งเป้าหมายในการออกแบบไว้

แต่ในความเป็นจริงแล้วการจะหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แทนการทำงานของระบบจริงให้ได้แม่นยำนั้นค่อนข้างจะลำบาก ดังนั้น จึงน่าจะมีวิธีการหรือกระบวนการใด ๆ ที่ช่วยทำให้ผู้ออกแบบสามารถหาเป็นสูตรสำเร็จที่จะใช้เป็นกฎพื้นฐาน (Empirically Based Rules) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมระบบ วิธีการนี้ก็คือวิธีการของซีเกลอร์ – นิโคลส์ (Ziegler - Nichols) ซึ่งใช้มานานกว่า 40 ปีแล้ว ปัจจุบันนี้ก็ยังนิยมใช้อยู่ โดยเฉพาะในหมู่ผู้ที่มีประสบการณ์ในการออกแบบตัวควบคุมแบบคลาสสิก (Classical Control) และก็มีอีกหลายวิธีซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงไปจากวิธีการของซีเกลอร์ – นิโคลส์ นี้

ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีการของซีเกลอร์ – นิโคลส์ นั้นจะขอรวบรวมรูปแบบหรือโครงสร้างของตัวควบคุมในแบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้เป็นตัวควบคุมมาตรฐานและสามารถเขียนได้ในรูปแบบของสมการฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้คือ

ตัวควบคุมแบบสัดส่วน  $G_p(s) = K_p$

ตัวควบคุมแบบพีไอ  $G_{PI}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} \right)$

ตัวควบคุมแบบพีดี  $G_{PD}(s) = K_p (1 + T_d s)$

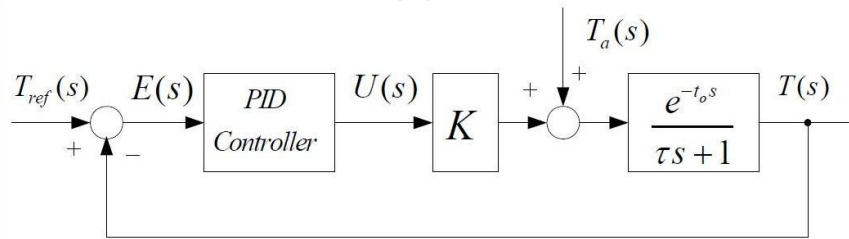
ตัวควบคุมแบบพีไอดี  $G_{PID}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_I s} + T_d s \right)$

วิธีการปฏิบัติการของกระบวนการ (Process Reaction Method) หรือเส้นโค้งปฏิบัติการของกระบวนการ (Process Reaction Curve) มีวิธีการออกแบบดังนี้คือ จากแผนภาพบล็อกข้างล่างนี้แสดงให้เห็นถึงวิธีการทดลองเพื่อหาค่าเกณฑ์ของตัวควบคุม โดยจะใส่สัญญาณอินพุตที่เป็นฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วยเข้าไปยังระบบที่ต้องการจะควบคุม เมื่อระบบทำงานด้วยสัญญาณอินพุตดังกล่าวให้ทำการบันทึกสัญญาณเอาต์พุต โดยใช้อุปกรณ์บันทึกสัญญาณ (Signal Recorder) แบบต่าง ๆ ซึ่งอาจจะเป็น Strong Oscilloscope, Analog Recorder, Digital Recorder หรือให้คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล จากรูปสัญญาณเอาต์พุตที่บันทึกได้นั้นมาใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับสัญญาณตอบสนองดังกล่าว จากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะนำไปใช้ในการออกแบบหาค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ต่อไป

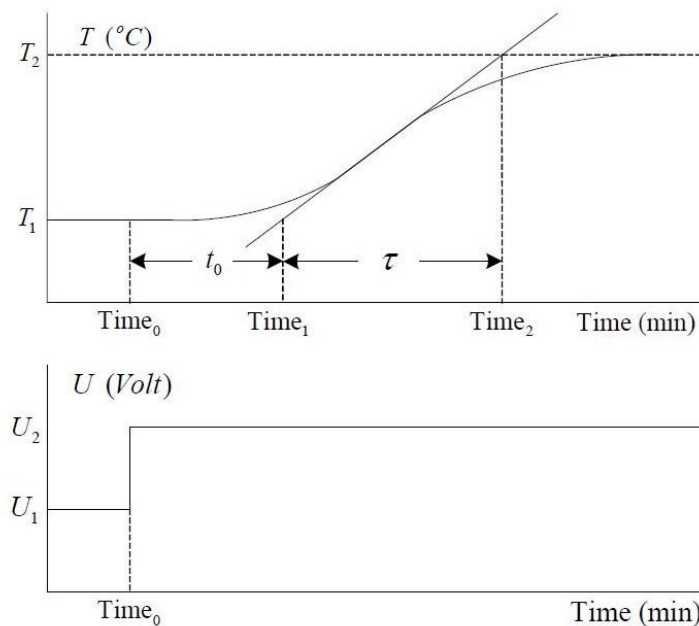
วิธีการปฏิบัติการของกระบวนการนี้ เป็นวิธีการที่ซีเกลอร์ – นิโคลส์พบว่าจากการพิจารณาการตอบสนองของระบบเมื่อสัญญาณอินพุต (Input Signal) คือ ฟังก์ชันขั้น จะพบว่าเมื่อทำการอ่านและบันทึกค่าการตอบสนองนี้ลงในกระดาษ เส้นแสดงการตอบสนองนี้จะมีลักษณะคล้ายตัว s ดังแสดงไว้ในรูปข้างล่างนี้ ซึ่งเรียกว่าเส้นโค้งปฏิบัติการของกระบวนการ (Process Reaction Curve)

ซึ่งเป็นลักษณะของการตอบสนองของระบบที่คล้ายกับระบบที่มีอันดับหนึ่ง (First Order System) เส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการที่บันทึกจากการทดลองหรือจากผลลัพธ์การตอบสนองของระบบที่ได้จากการจำลองการเคลื่อนที่ของระบบดังกล่าวจะมีรูปแบบของการตอบสนองที่สามารถเขียนประมาณได้ด้วยสมการฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้คือ

$$T(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1} U(s) \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.18 บล็อกไดอะแกรมการทดลองด้วยวิธีการปฏิกิริยาของกระบวนการ



รูปที่ 3.19 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการด้วยวิธีป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดให้กับกระบวนการ

สำหรับวิธีการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการป้อนความร้อน สามารถทำได้โดยใช้วิธีป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดให้กระบวนการ โดยวิธีการคือการป้อนสัญญาณแรงดันควบคุม  $U(s)$  ให้กระบวนการและวัดอุณหภูมิของกระบวนการป้อนความร้อน  $T(s)$  จากนั้นจะได้พารามิเตอร์ของกระบวนการป้อนความร้อนตามสมการที่ (3.1) ดังนี้

$$K = \frac{T_2 - T_1}{U_2 - U_1} \quad (3.1)$$

$$\tau = T = Time_2 - Time_1, \quad t_0 = L = Time_1 - Time_0$$

สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม จะใช้วิธีป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได ให้กับกระบวนการซึ่งถูกแนะนำโดย Ziegler-Nichols [18] และตารางการหาค่าพารามิเตอร์พีไอดีที่เหมาะสมแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

วิธี Ziegler – Nichols หรือที่เรียกว่า Reaction Curve Based Method นี้ใช้ได้เฉพาะกับระบบที่มีเสถียรภาพที่ยังไม่มีการควบคุมเท่านั้น เป็นวิธีการหาค่าเริ่มต้น โดยพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบที่ยังไม่มีการควบคุมต่อสัญญาณอินพุตที่อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันขั้นบันได ค่าตัวแปรของตัวควบคุมจะหาจากผลตอบสนองของระบบโดยตรง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 การหาค่าพีไอดีที่เหมาะสมด้วยวิธี Ziegler-Nichols

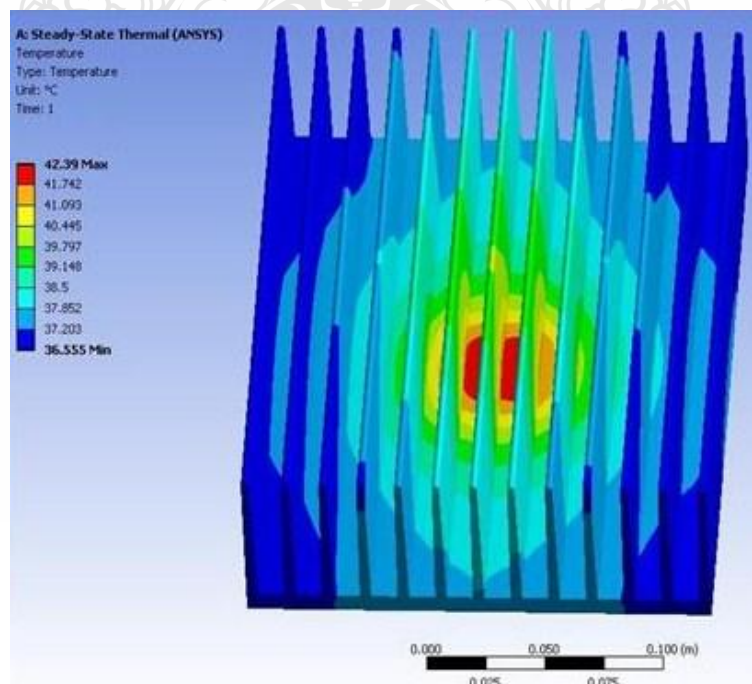
Type of controller	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$T/(K.L)$	$\infty$	0
PI	$0.9T/(K.L)$	$L/0.3$	0
PID	$1.2T/(K.L)$	$2L$	$0.5L$

# บทที่ 4

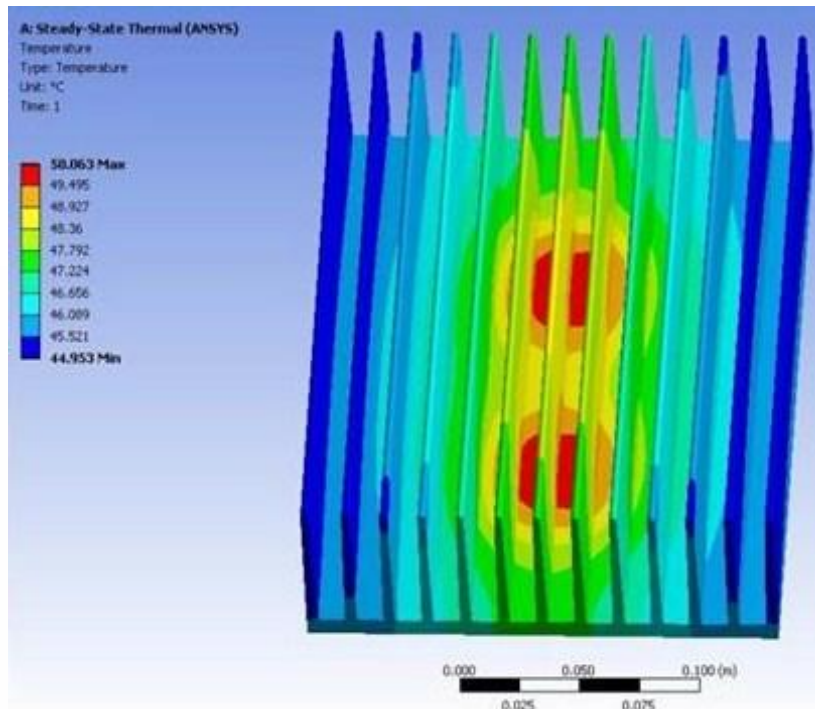
## ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนแผ่กระจายความร้อนด้วยโปรแกรม Ansys

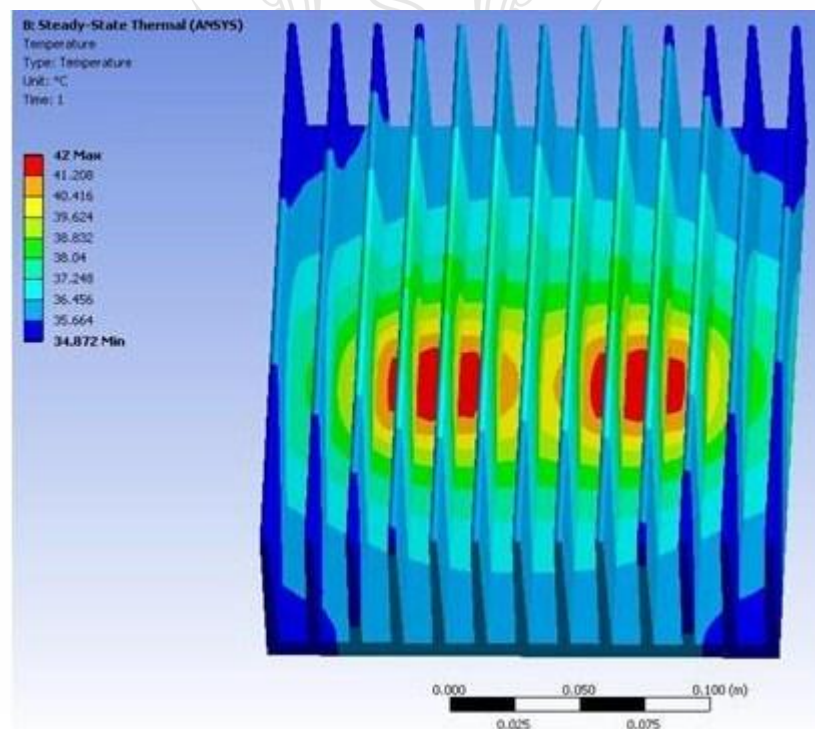
การศึกษาแบบจำลองของการถ่ายเทความร้อนเริ่มจากการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ของแบบจำลองเป็นจำนวน 15,157 12,523 15,079 15,079 เอลิเมนต์ ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 30,020 25,345 29,831 29,871 จุดต่อ ตามลำดับ มีพื้นที่ผิวในการระบายความร้อน  $1.2454 \times 10^{-3}$  ลูกบาศก์เมตร น้ำหนักแผ่กระจายความร้อนอลูมิเนียมอัลลอย 3.4497 กิโลกรัม จากนั้นกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง โดยให้ความร้อนที่ด้านล่างแก่แบบจำลอง โดยจะจ่ายความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตรงบริเวณที่จะติดตั้งแผ่นเพลเทียร์ และกำหนดให้ผนังแผ่กระจายความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศ 5 วัตต์ต่อตารางเมตรเซลเซียส ที่อุณหภูมิทดสอบ 22 องศาเซลเซียสทำการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 พบว่าแบบจำลองของการถ่ายเทความร้อน โมดูลเดียวเกิดการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด การกระจายของอุณหภูมิดีกว่าสองโมดูล เมื่อวิเคราะห์เฉพาะการจัดวางระหว่างสองโมดูลด้วยกัน พบว่า การจัดวางสองโมดูลแบบทแยงเป็นการจัดวางแผ่นเพลเทียร์ที่มีการระบายความร้อนที่แผ่กระจายความร้อนได้ดีที่สุด อ่านสิ่อณหภูมิสูงสุดได้ 100 องศาเซลเซียส ต่ำสุด 85.86 องศาเซลเซียส สภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 91,099 วัตต์ต่อตารางเมตร ต่ำสุด 297.63 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 4.1 การจัดวางโมดูลเดี่ยว

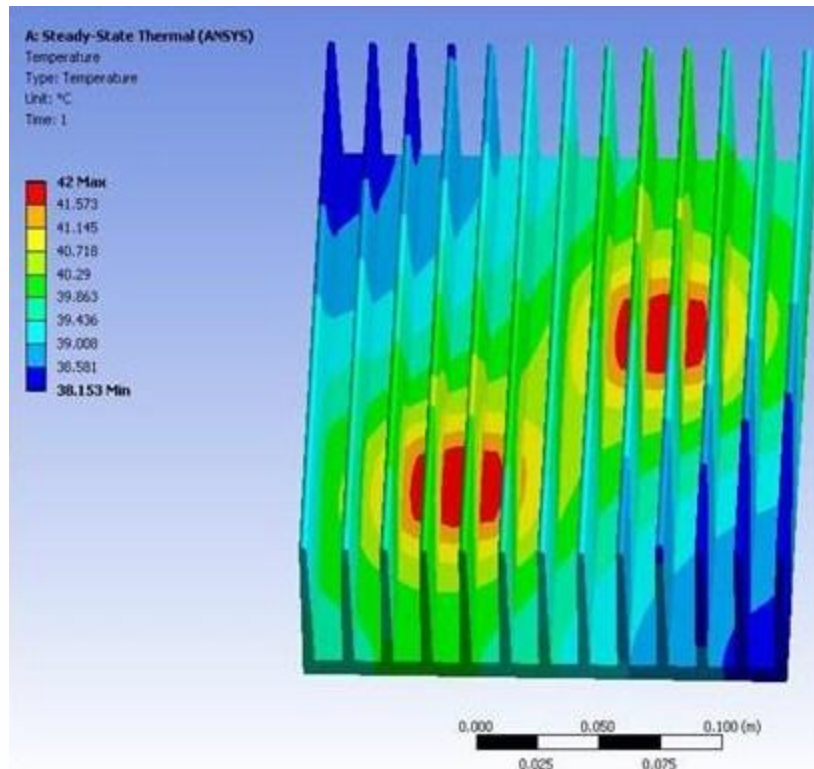


รูปที่ 4.2 การจัดวางสองโมดูลแบบวางตามแนวครึ่ง



รูปที่ 4.3 การจัดวางสองโมดูลแบบวางขวางแนวครึ่ง

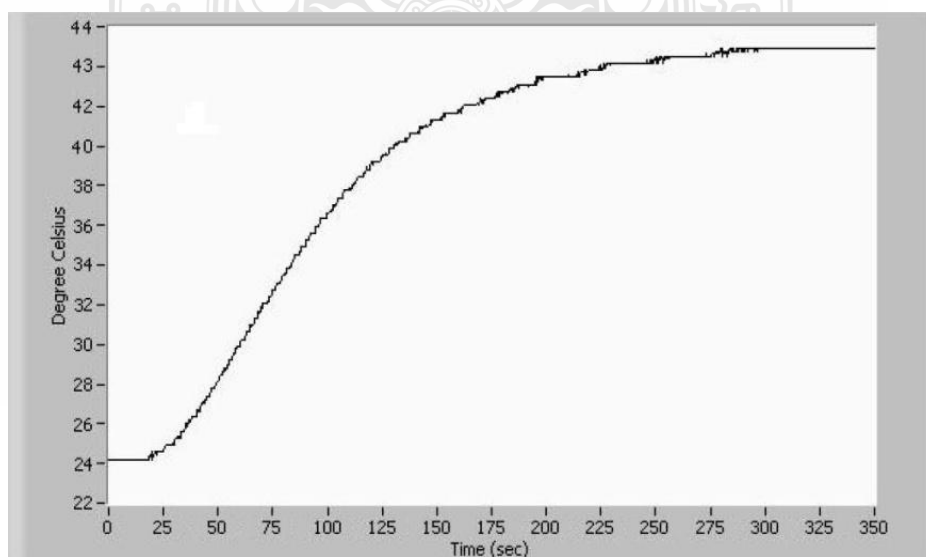




รูปที่ 4.4 การจำลองสองโมดูลแบบวางแนวทแยง

#### 4.2 ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ

การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ โดยในการทดลองนี้ทำการทดลองในห้องที่มี อุณหภูมิ  $T(a)$  25 องศาเซลเซียส และเลือกจุดทำงาน ณ ตำแหน่งที่อุณหภูมิของกระบวนการ ( $T$ ) มีค่า เท่ากับ 24.2 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงเปิด

รูปที่ 4.5 คือผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงเปิด เมื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุต อ่างอิงที่ป้อนให้กับกระบวนการ โดยจากผลการทดลองได้แบบจำลองของกระบวนการดังนี้

$$T(s) = \frac{19.387e^{-0.3334 s}}{1.8167s+1} U(s) \quad (4.1)$$

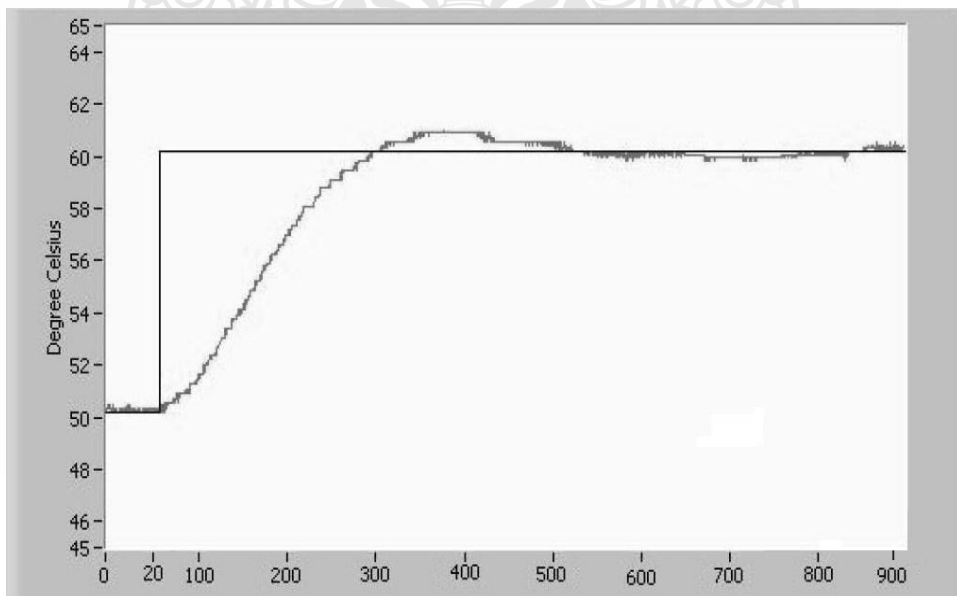
จากสมการที่ 3.1 พบว่า ณ.จุดการทำงานของกระบวนการนี้มีค่าอัตราขยายของระบบควบคุม 19.387 องศาเซลเซียสต่อ โวลต์ ค่าคงตัวเวลา (Time Constant) 1.8167 นาที หรือ 109 วินาที และค่า เวลาไร้ผลตอบสนอง 0.3334 หรือ 28 วินาที

### 4.3 การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้วิธี Ziegler-Nichols

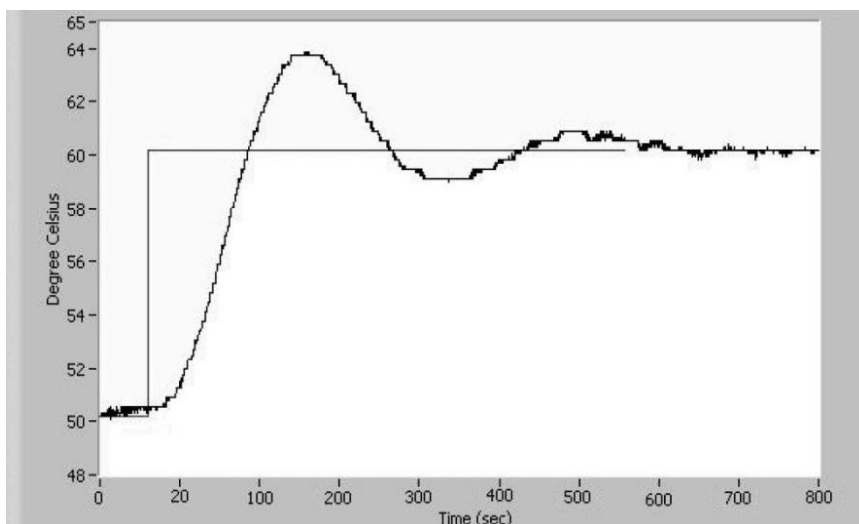
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของตัวควบคุม

Type of controller	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	0.2810	0	0
PI	0.2529	1.1113	0
PID	0.3372	0.6668	0.1667

การทดลองผลตอบสนองของระบบควบคุมในสภาวะมีโหลดนี้ ใช้แผงระบายความร้อนทำ หน้าที่เป็นโหลดในระบบควบคุม ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอ



รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี

รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมอุณหภูมิเครื่องจ่ายความร้อนของตัวควบคุมพีไอและพีไอดี เมื่อกำหนดให้สัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดเปลี่ยนแปลงไป 10 องศาเซลเซียส ในสภาวะมีโหลดเป็นแหล่งระบายความร้อน จากรูปพบว่า ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมพีไอและพีไอดีมีค่าพุ่งเกิน (Percent Overshoot) 7 เปอร์เซ็นต์ และ 35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเวลาเข้าที่ (Settling Time) ประมาณ 900 วินาทีและ 600 วินาที ตามลำดับ เห็นได้ว่าในสภาวะมีโหลดนั้น ตัวควบคุมแบบพีไอ สามารถควบคุมอุณหภูมิผลตอบสนองของระบบควบคุมได้ช้ากว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี

ตารางที่ 4.2 ค่าความผิดพลาดและเวลาที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ

เวลาการควบคุมการจ่ายความร้อนจากอุณหภูมิห้อง ถึง อุณหภูมิกำหนดอยู่ในสภาวะนิ่ง ( $\pm 0.3$ องศาเซลเซียส )		ค่าความผิดพลาดของการควบคุมอุณหภูมิ
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลาเฉลี่ย (นาที)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
40	4.382	0.189
50	4.953	0.192
60	5.477	0.206
70	6.789	0.210
80	7.564	0.235
90	8.048	0.249
100	8.525	0.263
110	9.842	0.287
120	10.795	0.298

#### 4.4 ผลการทดลองป้อนความร้อนแผ่นเพลทเทียร์

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของโมดูลเดี่ยว

TH	TC1	TC2	TC3	$\Delta T$	$\alpha$	V1
40	27.20	26.65	26.55	12.80	0.0626	0.801
50	28.45	27.60	27.30	21.55	0.0629	1.356
60	32.45	30.15	30.80	27.55	0.0633	1.743
70	34.20	31.45	32.10	35.80	0.0633	2.267
80	36.10	32.95	33.50	43.90	0.0629	2.761
90	37.55	33.60	34.45	52.45	0.0627	3.291
100	38.35	34.20	34.65	61.65	0.0627	3.866
110	40.25	35.10	36.15	69.75	0.0627	4.375
120	42.60	37.60	37.95	77.40	0.0614	4.757

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองสองโมดูลแบบวางตามแนวครีป

TH	TC1	TC2	TC3	V1	V2	VT
40	26.22	28.43	26.59	0.601	0.632	0.616
50	27.12	29.56	27.43	1.061	1.119	1.090
60	31.20	32.07	30.85	1.484	1.567	1.706
70	33.11	33.56	32.23	2.004	2.107	2.055
80	34.52	35.12	33.88	2.381	2.499	2.440
90	36.03	35.55	34.79	2.850	2.952	4.495
100	37.05	36.13	34.99	3.462	3.640	3.551
110	38.55	37.24	36.56	3.753	3.879	3.816
120	41.10	39.58	38.53	4.308	4.378	7.367

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองสองโมดูลแบบวางขวางแนวกรیب

TH	TC1	TC2	TC3	V1	V2	VT
40	27.11	26.54	27.36	0.803	0.822	0.812
50	28.43	27.30	28.24	1.259	1.307	1.283
60	32.56	30.01	31.97	1.673	1.812	2.095
70	34.13	31.32	33.08	2.204	2.302	2.253
80	36.21	32.56	34.36	2.581	2.702	2.641
90	37.50	33.33	35.67	3.050	3.149	4.894
100	38.54	34.07	35.55	3.662	3.835	3.748
110	40.32	34.98	37.59	3.953	4.005	3.979
120	42.55	37.35	39.03	4.456	4.475	7.727

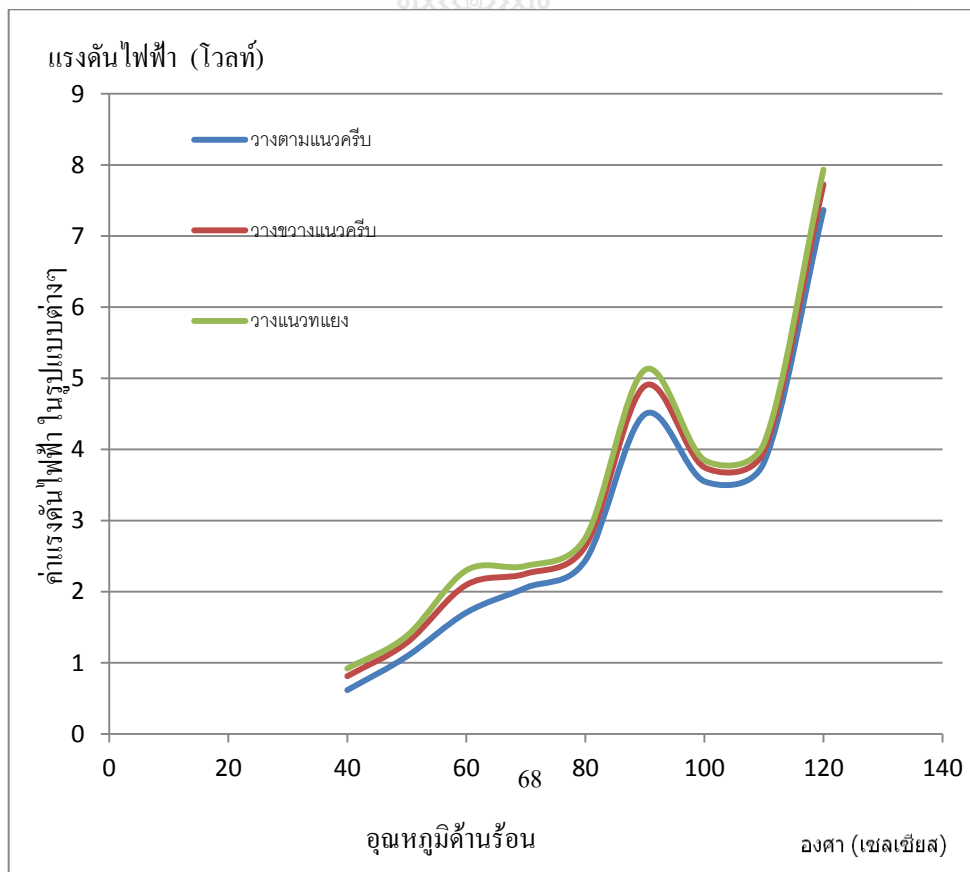
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองสองโมดูลแบบวางแนวทแยง

TH	TC1	TC2	TC3	V1	V2	VT
40	27.03	27.34	27.44	0.917	0.924	0.920
50	28.24	28.34	28.29	1.347	1.412	1.379
60	32.37	31.78	31.86	1.765	1.923	2.300
70	33.98	33.11	33.23	2.321	2.403	2.362
80	36.02	34.29	34.34	2.701	2.811	2.756
90	37.31	35.72	35.58	3.144	3.237	5.118
100	38.40	35.48	35.39	3.759	3.942	3.850
110	40.24	37.62	37.60	4.055	4.113	4.084
120	42.31	39.12	39.08	4.612	4.658	7.934

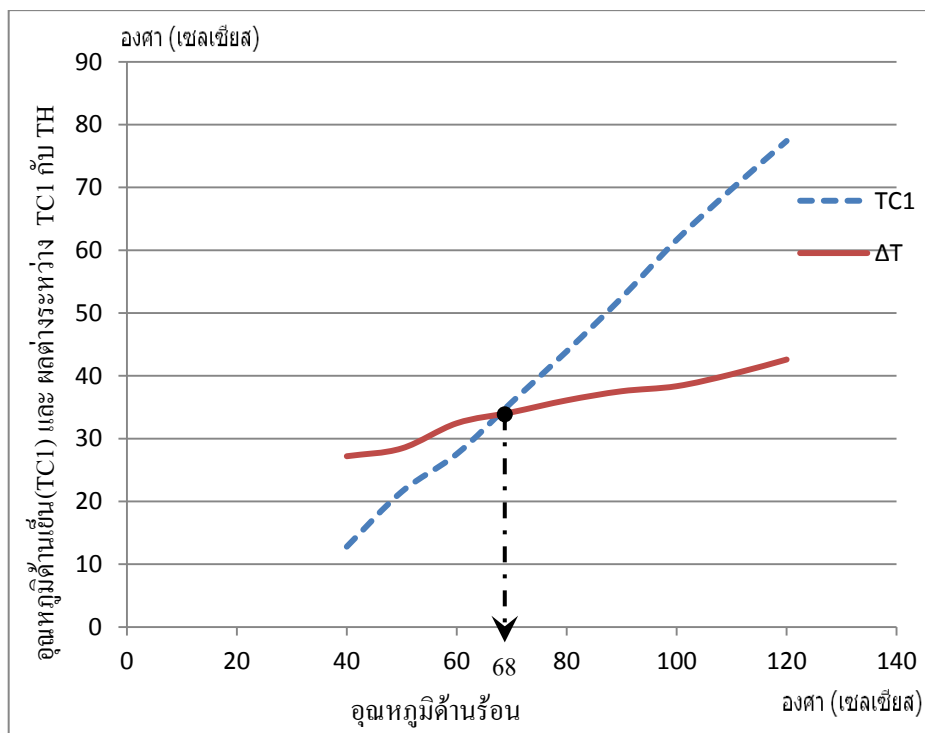
TH = อุณหภูมิด้านร้อน (องศาเซลเซียส)      TC1 = อุณหภูมิด้านเย็นจุดที่ 1 (องศาเซลเซียส)  
 V1 = แรงดันไฟฟ้าโมดูลที่ 1 (โวลต์)      TC2 = อุณหภูมิด้านเย็นจุดที่ 2 (องศาเซลเซียส)  
 V2 = แรงดันไฟฟ้าโมดูลที่ 2 (โวลต์)      TC3 = อุณหภูมิด้านเย็นจุดที่ 3 (องศาเซลเซียส)  
 VT = แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย       $\alpha$  = ค่าสัมประสิทธิ์ซีบีค

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของโมดูลเดี่ยวแบบ ก ที่  $T_h = 68$  องศาเซลเซียส

โหลด ( $\Omega$ )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแส (A)	1.09	.88	.75	.65	.56	.51	.46	.42	.39	.36
แรงดัน (V)	1.25	1.92	2.4	2.65	3	3.21	3.37	3.51	3.64	3.76
กำลังไฟฟ้า(W)	1.36	1.68	1.8	1.72	1.68	1.63	1.55	1.47	1.41	1.35



รูปที่ 4.8 ค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผ่นเพลเทียร์โดยการจัดวางลักษณะต่างๆ



รูปที่ 4.9 ค่าอุณหภูมิด้านเย็นและผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นของโมดูลเดียว

จากผลการทดสอบการระบายความร้อนให้กับแผ่นเพลทีนัม โดยใช้แผงระบายความร้อนอลูมิเนียมแบบครีป ระบายความร้อน โดยธรรมชาติ พบว่าเมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าจากโมดูลเดี่ยวตรงกึ่งกลาง จะให้ค่าแรงดันสูงกว่าการต่อขนานในการจัดวางสองโมดูลแบบวางตามแนวครีป การจัดวางสองโมดูลแบบวางขวางแนวครีป และการจัดวางสองโมดูลแบบวางแนวทแยง แต่จะให้ค่าแรงดันต่ำกว่าเมื่อแบบสองโมดูลทำการต่ออนุกรมกัน เมื่อวิเคราะห์การทดลองการระบายความร้อนแบบโมดูลเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ป้อนให้แก่ระบบการผลิตไฟฟ้ากับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค ในช่วงอุณหภูมิ 40-120 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 4.3 พบว่า ช่วงอุณหภูมิ 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คมากที่สุด แล้วจากนั้นพิจารณารูปที่ 4.9 เป็นการเขียนกราฟของค่าอุณหภูมิด้านเย็น (TC1) และค่าผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็น (DT) ทำให้เกิดจุดตัดในเส้นกราฟ เมื่อลากเส้นมายังอุณหภูมิด้านร้อน จะได้ค่าอุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คมากที่สุด พิจารณาลักษณะการจัดวางเฉพาะสองโมดูลด้วยกัน แบบวางแนวทแยง จะให้ค่าการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าแบบอื่น ดังกราฟในรูปที่ 4.8

จากนั้นทดสอบโดยป้อนโหลดด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ ที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่าค่าความต้านทานมากขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้าลดลงแต่แรงดันเพิ่มขึ้น ที่ความต้านทาน 3 โอห์ม มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 1.8 วัตต์

เมื่อนำผลที่ได้จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Ansys วิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง จะเห็นได้ว่าสามารถมองภาพของรูปแบบการถ่ายเทความร้อนได้เข้าใจมากขึ้น จากภาพจะแสดงให้เห็นว่า แบบโมดูลเดี่ยว เป็นการระบายความร้อนจากเพลทฮีตเตอร์โมดูลเดี่ยวที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเมื่อวางอยู่ ณ ตำแหน่งตรงกลางแผงระบายความร้อน แต่เมื่อเทียบกับสองโมดูลที่ต่ออนุกรม แบบวางตามแนวครีบ แบบวางขวางแนวครีบ และแบบวางแนวทแยง จะให้แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างสอง โมดูลด้วยกัน ในลักษณะการจัดวาง แบบวางตามแนวครีบ แบบวางขวางแนวครีบ และแบบวางแนวทแยงจากการทดลองปรากฏว่า แบบวางขวางแนวครีบ สามารถจ่ายแรงดันได้มากกว่าแบบวางตามแนวครีบ ร้อยละ 11 และแบบวางแนวทแยงสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่าแบบวางตามแนวครีบ ร้อยละ 17 ค่าพีล็กซ์ความร้อนสูงสุด 2.31 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร และเป็นการจัดวางที่เกิดการระบายความร้อนได้ดีที่สุด





## บทที่ 5

### สรุป

การทดสอบวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลทเทียร์ นำพลังงานความร้อน มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อมาใช้ประโยชน์ โดยมีหลักการคือ ต้องป้อนความร้อนให้กับโมดูลเพลทเทียร์ที่ด้านร้อนและระบายความร้อนให้กับโมดูลเพลทเทียร์ที่ด้านเย็น ในการทดลองในครั้งนี้มุ่งเน้นในส่วนของการระบายความร้อน โดยทำการระบายความร้อนจากแผงระบายความร้อนอลูมิเนียมลักษณะเป็นครีบบระบายความร้อน ระบายความร้อนโดยธรรมชาติ จากการศึกษาและทดสอบพบว่า โมดูลเพลทเทียร์แต่ละแผ่นมีความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าในปริมาณที่น้อยจึงต้องนำโมดูลเพลทเทียร์หลายๆแผ่นมาต่อแบบขนานหรือต่อแบบอนุกรมเพื่อให้ได้ปริมาณไฟฟ้าที่มากขึ้นตามความต้องการ เมื่อจำนวน โมดูลที่มีปริมาณมากขึ้นหลายแผ่นการออกแบบการจัดวางจึงมีส่วนสำคัญนอกเหนือจากความสามารถในการระบายความร้อนด้วยแผงระบายความร้อน จึงต้องทำการทดลองและศึกษาโดยการนำเอาโปรแกรม Ansys มาใช้ในการวิเคราะห์ห่ออกแบบรูปแบบการจัดวาง โมดูลเพลทเทียร์ พบว่า แบบจำลองของการถ่ายเทความร้อน โมดูลเดี่ยวเกิดการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด การกระจายของอุณหภูมิดีกว่าสอง โมดูล เมื่อวิเคราะห์เฉพาะการจัดวางระหว่างสองโมดูลด้วยกันพบว่า การจัดวางสอง โมดูลแบบทแยงเป็นการจัดวางแผ่นเพลทเทียร์ที่มีการระบายความร้อนที่แผงระบายความร้อนได้ดีที่สุด อ่านค่าอุณหภูมิสูงสุดได้ 100 องศาเซลเซียส ต่ำสุด 85.86 องศาเซลเซียส สภาพการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 91,099 วัตต์ต่อตารางเมตร ต่ำสุด 297.63 วัตต์ต่อตารางเมตร

เมื่อได้ผลการทดลองจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพของโมดูลเพลทเทียร์ โดยการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่มีความแม่นยำเพื่อใช้ทดสอบการป้อนความร้อนให้เพลทเทียร์ มาใช้ในการศึกษาหลักการทำงานของแผ่นเพลทเทียร์ ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน ด้วยการถ่ายเทความร้อนจากเพลทเทียร์โดยใช้แผงอลูมิเนียมระบายความร้อน เปรียบเทียบกับการสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนแผงระบายความร้อนในคอมพิวเตอร์และทำการวิเคราะห์ผลทางความร้อน สามารถที่จะจัดวางตำแหน่งแผ่นเพลทเทียร์ ให้เกิดการระบายความร้อนได้มากที่สุด และเป็นแนวทางการปรับปรุงรูปแบบการออกแบบแผงระบายความร้อนรูปแบบอื่นอีกต่อไป เพื่อการผลิตไฟฟ้าที่ให้ประสิทธิ ภาพสูงที่สุด จากนั้นจะมีผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการสร้างแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองจากการวัดจริง สิ่งที่สำคัญในส่วนของการทดสอบคือการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่มากที่สุดเพื่อให้ผลการทดลองมีความสอดคล้องเที่ยงตรงกับผลของการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ โดยทำการป้อนความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิ โดยโปรแกรม LabVIEW ใช้ฟังก์ชัน พีไอดีควบคุม ผลการทดลองการหาค่าพารามิเตอร์ในการควบคุม โดยวิธี Ziegler – Nichols หรือที่เรียกว่า Reaction Curve Based Method ได้ค่า  $K_p = 0.3372$



$K_1 = 0.6668$   $K_2 = 0.1667$  ทำการทดสอบการระบายความร้อนจากแผงอลูมิเนียมแบบครีปในลักษณะต่างๆกันดังนี้ 1.ทดสอบแบบโมดูลเดี่ยวจัดวางตรงกึ่งกลาง 2.ทดสอบแบบสองโมดูลจัดวางทับซ้อนกันแบบเซนส์วิช 3.ทดสอบแบบสองโมดูลจัดวางตามแนวครีป 4.ทดสอบแบบสองโมดูลจัดวางขวางแนวครีป 5.ทดสอบแบบสองโมดูลจัดวางในแนวทแยง ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, และ 120 องศาเซลเซียส มีค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิควบคุมเฉลี่ย 0.236 องศาเซลเซียส จัดได้ว่าเป็นความผิดพลาดเฉลี่ยที่ยอมรับได้ในการทดสอบครั้งนี้ เวลาที่ใช้ในการควบคุมการจ่ายความร้อนเริ่มจากที่อุณหภูมิห้อง จนถึงอุณหภูมิทดสอบใช้เวลาเฉลี่ย 7.375 นาที เนื่องจากการระบายความร้อนที่มีจำกัดเพราะเป็นการระบายความร้อนอิสระที่อาศัยอากาศธรรมชาติเป็นตัวระบายความร้อน โมดูลเพลเทียร์จึงสามารถทำงาน ทนอุณหภูมิได้อยู่ที่ 120 องศาเซลเซียส ถ้าป้อนอุณหภูมิสูงขึ้นอีกจะทำให้โมดูลเพลเทียร์ได้รับความเสียหาย นอกเสียจากจะสามารถระบายความร้อนได้เพิ่มขึ้น

จากผลการทดสอบการระบายความร้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์ โดยใช้แผงระบายความร้อนอลูมิเนียมแบบครีประบายความร้อนโดยธรรมชาติโดยการป้อนความร้อนจากฮีตเตอร์ พบว่าเมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าจากโมดูลความสอดคล้องกับผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Ansys วิเคราะห์ผล โดยพิจารณาจากปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากการวัด จากหลักการทฤษฎีของโทมัสซีเบ็คแล้ว ถ้ามีการระบายความร้อนได้มากเท่าไร จะส่งผลให้มีผลผลิตปริมาณไฟฟ้ามักขึ้น ดังนั้นผลของการจัดวางโมดูลเพลเทียร์แต่ละแบบจะให้ค่าการระบายความร้อนที่แตกต่างกัน โดยการจัดวาง โมดูลเพลเทียร์สองโมดูลแบบทแยงจะให้ค่าการระบายความร้อนมากที่สุด ดูได้จากผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส แรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 4.612 โวลต์ และ 4.658 โวลต์ ในขณะที่การจัดวางสองโมดูลแบบวางขวางแนวครีปวัดค่าแรงดันได้น้อยที่สุด 4.308 โวลต์ และ 4.378 โวลต์

แผงระบายความร้อนอีกรูปแบบที่ได้นำมาทำการทดสอบเปรียบเทียบคือแผงระบายความร้อนที่ใช้หลักการระบายความร้อนโดยฮีตปั๊มและครีปผสมกัน ทดสอบดังนี้ 1.ทดสอบ โมดูลเดี่ยวโดยระบายความร้อนแบบธรรมชาติ โมดูลเพลเทียร์สามารถทำงานทนอุณหภูมิสูงสุดได้อยู่ที่ 80 องศาเซลเซียส วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 1.89 โวลต์ 2.ทดสอบโมดูลเดี่ยวระบายความร้อนแบบบังคับ ที่ความเร็วสูงสุดของอากาศอยู่ที่ 90.62 CFM ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับมอเตอร์พัดลมเท่ากับ 0.16 แอมป์ 12 โวลต์ กระแสตรง โมดูลเพลเทียร์สามารถทำงานทนอุณหภูมิสูงสุดได้อยู่ที่ 140 องศาเซลเซียส วัดแรงดันไฟฟ้าได้ 5.37 โวลต์ เมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบแบบโมดูลเดี่ยวที่ใช้แผงอลูมิเนียมระบายความร้อนวัดแรงดันไฟฟ้าได้ 4.757 โวลต์ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าการระบายความร้อนโดยใช้แผงระบายความร้อนฮีตปั๊มเมื่อติดตั้งพัดลมช่วยระบายความร้อนจะสามารถช่วยทำให้อุณหภูมิการทำงานเพิ่มขึ้น 20 องศาเซลเซียส แต่ถ้าไม่ใช้พัดลมช่วยระบายความร้อนจะทำให้อุณหภูมิการทำงานต่ำกว่าการระบายความร้อนที่ใช้แผงอลูมิเนียม 20 องศาเซลเซียส

การใช้โปรแกรมเข้ามาช่วยในการออกแบบการจัดวางตำแหน่งของโมดูลเพลเทียร์นับว่ามีความสามารถที่จะทำนายผลการสร้างแบบจำลองที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับการทดลองโดยการวัดจริง

ดังนั้นการจำลองหาผลจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาออกแบบคำนวณหารูปแบบในการสร้างเพื่อที่จะสามารถออกแบบสร้างงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าจากโมดูลเพลเทียร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### ข้อเสนอแนะการนำไปใช้ประโยชน์

ระหว่างหน้าสัมผัสของแผ่นเพลเทียร์กับแผงระบายความร้อนจะมีช่องว่างขนาดเล็ก ที่จะเป็นอุปสรรคต่อการถ่ายเทความร้อนจึงต้องมีการใช้ซิลิโคนนำความร้อน ที่มีค่าการนำความร้อนดี

เนื่องจากแผ่นเพลเทียร์มีขนาดบางจึงทำให้พื้นที่ด้านร้อนอยู่ใกล้พื้นที่ด้านเย็น ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนไปหากันโดยไม่ผ่านตัวแผ่นเพลเทียร์ ทำให้ระบบการผลิตไฟฟ้ามีคุณภาพต่ำลง จึงต้องคำนึงการสร้างฉนวนป้องกันความร้อนในจุดนี้ด้วย

ควรนำการวิเคราะห์ผลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในฟังก์ชัน Thermal-Electric (Ansys) มาใช้ในการทดลองซึ่งจะสามารถวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของตัวโมดูลเพลเทียร์ เพื่อจะได้ผลตามสภาพใกล้เคียงความถูกต้อง

ควรศึกษาขั้นตอนการออกแบบต่างๆ ทั้งทางภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ ให้มีความเข้าใจถึงหลักการการถ่ายเทความร้อน เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนา เครื่องผลิตไฟฟ้าจากแหล่งความร้อนด้วยแผ่นเพลเทียร์ต่อไป

เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานที่หลากหลาย เช่น การนำพลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากรถยนต์มาผลิตไฟฟ้าใช้ในรถ การใช้ความร้อนจากตะเกียงแก๊สมาผลิตไฟฟ้าเพื่อชาร์จแบตเตอรี่มือถือและใช้เป็นพลังงานให้กับวิทยุ เป็นต้น เป็นการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นทางเลือกในการใช้งานที่หลากหลาย

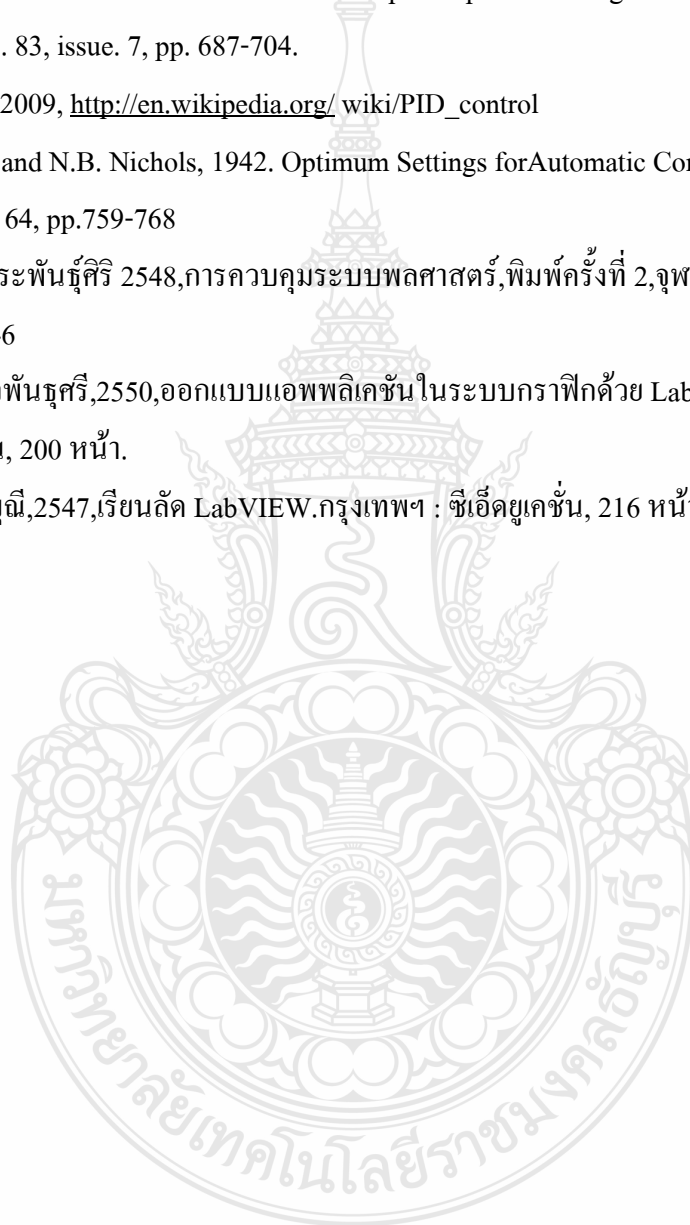


รูปที่ 5.1 การนำโมดูลเพลเทียร์ไปใช้ประโยชน์ในลักษณะงานต่างๆ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] B.L.WORSNOP, B.Sc., Ph.D.APPLICATIONS OF THERMOELECTRICITY Methuen's Monographs On Physical Subjects, pp 3-109
- [2] Rowe, D.M., "CRC Handbook of Thermoelectric" , New York, CRC Press,1995.
- [3] Anders Killander, John C. Bass, 1996, "A Stove-Top Generator For Cold Areas", *IEEE 15th International Conference on Thermoelectric*, pp.390-393
- [4] Yuri Gurevich, Georgiy Logvinov and Igor Volovichev, " Nonequilibrium Carriers of Charge in Theory of Thermoelectric Phenomena", *Proceedings of the 22nd International Conference on Thermoelectrics*, pp.464-467.
- [5] Jack P. Holman, 1997. Heat transfer, Southern Methodist University, U.S.A., Eighth Edition, McGraw-Hill. Inc, New York, pp 1-30
- [6] สุวัฒน์ กุลชนปริดา,2552,วิศวกรรม การควบคุมอัตโนมัติ ส.ศ.ท.กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทยช็ปปุ่น).
- [7] Rida Y.Nuwayhid, Alan Shinhadeh, Nesreen Ghaddar. "Develeopment and testing of a domestics woodstove thermoelectric Generator with natural convection cooling", *Energy Conversion & Management*, Vol. xx, No. x, pp. xxx-xxx., 2004.
- [8] นัฐพงษ์ แกมทับทิม,2550,การศึกษาแนวทางการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำน้ำร้อนและผลิตไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก,วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 115 หน้า
- [9] วีระชัย เลิศสถาพรสุข,2543,การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้สำหรับระบบตัวกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชา เทคโนโลยีพลังงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 108 หน้า
- [10] Lertsatitthanakorn, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., and Daguene, M., 2002,"Experimental Performance of a Ceiling-type Free Convected Thermoelectric Air Conditioner"**International Journal of Ambient Energy**, Vol.23,No.2, April,pp.59-68.
- [11] ณัฐ จันทร์ครบ ฉัตรชัย เอี่ยมพรสิน อมร สมเจดน์เลิศเจริญ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์, "การผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งของเตาหุงต้มในครัวเรือนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก", *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรม ครั้งที่ 29*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 9-10 พฤศจิกายน 2549. หน้า 1194-1196.

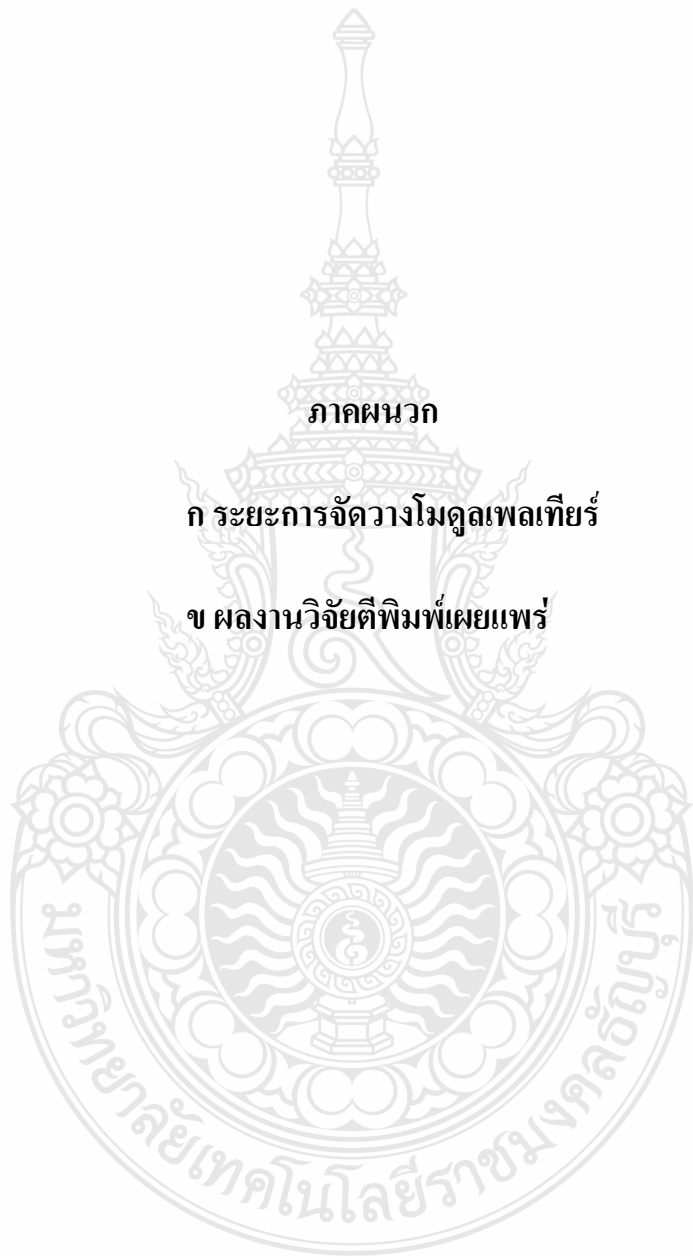
- [12] Jorge Vázquez, Miguel A. Sanz-Bobi, Rafael Palacios, \*Antonio Arenas, “State of the Art of Thermoelectric Generators Based on Heat Recovered from the Exhaust Gases of Automobiles” *Proceedings of the 7th European Workshop on Thermoelectrics*, Paper #17, Oct 2002, Pamplona, SPAIN.
- [13] Eakburanawat, J. and Boonyaroonate, I., 2005, "Development of a thermoelectric battery charger with microcontroller-based maximum power point tracking technique", *Applied Energy*, Vol. 83, issue. 7, pp. 687-704.
- [14] PID control 2009, [http://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_control](http://en.wikipedia.org/wiki/PID_control)
- [15] J.G. Ziegler and N.B. Nichols, 1942. Optimum Settings for Automatic Controller. ASME Trans., Vol. 64, pp.759-768
- [16] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ 2548,การควบคุมระบบพลศาสตร์,พิมพ์ครั้งที่ 2,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 229-246
- [17] กิจไพบูล ชีวพันธุ์ศรี,2550,ออกแบบแอฟพลิเคชันในระบบกราฟิกด้วย LabVIEW.กรุงเทพฯ : ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 200 หน้า.
- [18] เจริญ เพชรมณี,2547,เรียนตัด LabVIEW.กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 216 หน้า.



ภาคผนวก

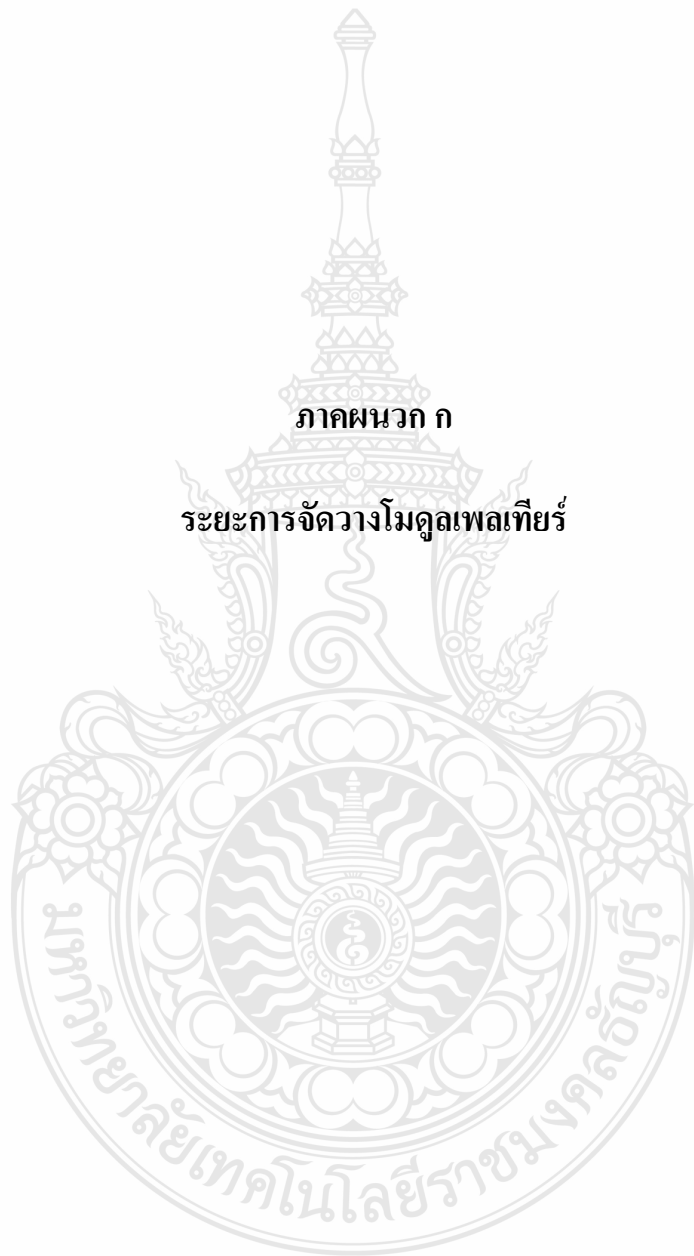
ก ระยะเวลาจัดวางโมดูลเพลเทียร์

ข ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่



ภาคผนวก ก

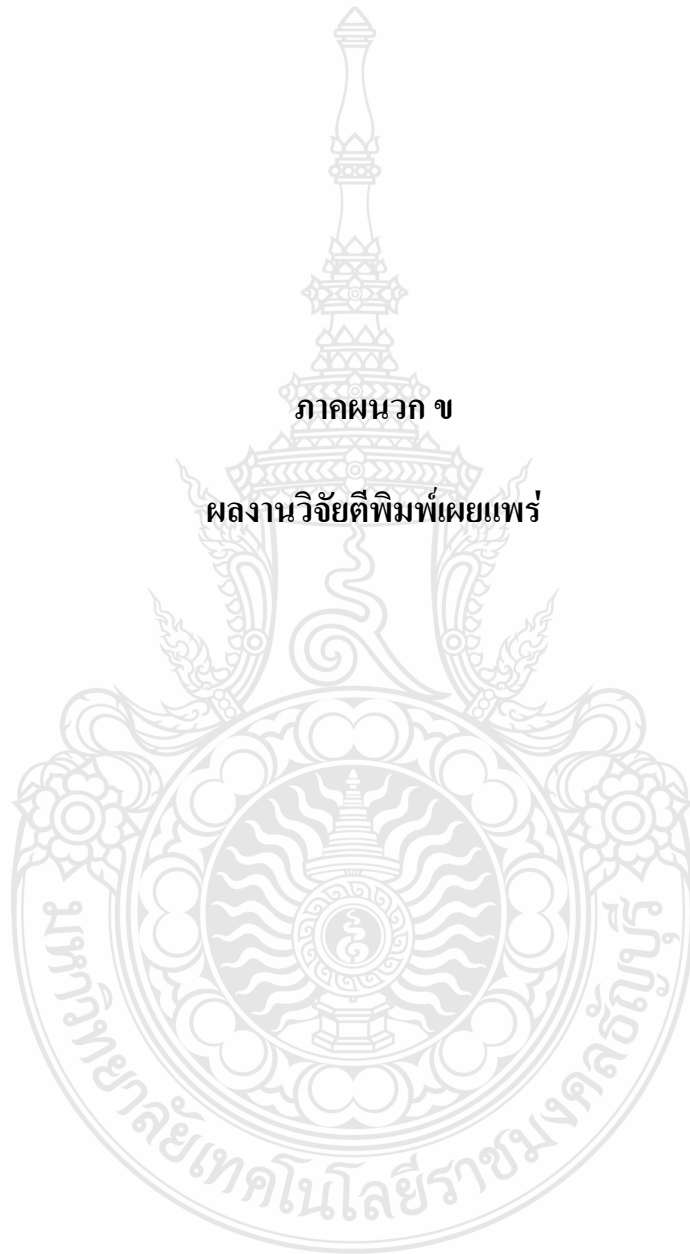
ระยะเวลาจัดวางโมดูลเพลเทียร์





ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่





งานวิจัยเพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรมตามแนวทางปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง  
RESEARCH FOR INNOVATION ALONG THE PHILOSOPHY OF SUFFICIENCY ECONOMY



UBRC 4<sup>th</sup>

บทคัดย่อ (Abstracts)

การประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 4  
The 4<sup>th</sup> Ubon Ratchathani University Research Conference

9 - 10 สิงหาคม 2553

โรงแรมลายทอง จังหวัดอุบลราชธานี  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

### คณะกรรมการฝ่ายประเมินผล

1. ผศ.ศิริพร	จิ่งสุทธีวงษ์	ประธานกรรมการ
2. นางสาวโณมสอางค์	ไชยยงค์	กรรมการ
3. นายธีระพล	ญาณศิริ	กรรมการ
4. นายสุภาวัฒน์	โสวรรณ	กรรมการและเลขานุการ

มีหน้าที่ ออกแบบสอบถาม แจก/เก็บ บันทึกลงและวิเคราะห์แบบสอบถามเพื่อประเมินผลการจัดงาน

### ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาผลงาน

ผศ.ดร.กนกวรรณ มะโนรัมย์	ดร.กิตติยา วงษ์ขันธ์
ดร.กรรณิกา รัตนพงศ์เลขา	ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย
ดร.กัมปนาท นายจรัส	ดร.ชนินฐา แก้วแดง
ดร.กานต์ตะวัน วุฒิเสลา	ผศ.ดร.จันทพร ทองเอกแก้ว
ผศ.ดร.จันทร์เพ็ญ อินทรประเสริฐ	รศ.ดร.ทวนทอง จุฑาเกตุ
ดร.จาวรธรรม ศิริเทพทวี	ดร.ทวีศักดิ์ สุดยอดสุข
รศ.จินตนา เหล่าไพบูลย์	ดร.ธนาทิพย์ แผลมคม
ดร.จิรดา แอร์บัสท์	ดร.ธัญมัย เจียรกุล
ผศ.ดร.จุฑามาส จิตต์เจริญ	ผศ.ดร.นลิน เพ็ชรทอง
ดร.ชมพูนุท ธานีเชียร	ผศ.ดร.น้องเล็ก คุณนราดิศัย
ผศ.ดร.ชรีดา ปุกหุด	อาจารย์นิต หาญประเทศ
ผศ.ดร.ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์	ดร.นิภาวรรณ พงษ์พรหม
ผศ.ดร.บุญยสฤษฎ์ อเนกสุข	ดร.ประสิทธิ์ นครราช
ผศ.ดร.เบญจภรณ์ เศรษฐบุปผา	อาจารย์ปรีชญ์ อินทรศักดิ์สิทธิ์
ดร.ประนอม แซ่จิ่ง	ผศ.ดร.ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล
ผศ.ดร.ประสงค์สม ปุณยอุปพัทธ์	ผศ.ดร.ปราณีต งามเสน่ห์
ดร.ปวีรบรรด สมเน็ก	ดร.พรพรรณ ฟิ่งโพธิ์
ผศ.ดร.ปรีชา เกரியกรกฎ	ดร.เพ็ชรรัตน์ ไสยสมบัติ
ผศ.ดร.ปาริชาติ พุ่มขจร	ดร.มะลิวรรณ อมตชงไชย
รศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ รัตนชัยกุลโสภณ	รศ.ดร.มานัส ลอศิริกุล
ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	ดร.วิริยา พรหมกอง
ดร.รักเกียรติ จิตคติ	ดร.วิโรจน์ เกษรบัว
ผศ.ดร.รุ่งรัศมี บุญดาว	ดร.ศรัณย์ สุดใจ
รศ.เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์	ดร.ศศิธร หล่อเรืองศิลป์
ดร.อัญชลี สำเภา	ดร.ศักดิ์ดา น้อยนาง
ดร.ลักษณณ์ เจริญวัฒนา	ดร.ศักดิ์ศรี สุภาพร
ผศ.ดร.วันดี รังสีวิจิตรประภา	ผศ.ดร.ศิริพร จิ่งสุทธีวงษ์
รศ.ดร.วินช พรมอารักษ์	ดร.ศุภฤกษ์ จันทรจรัสจิตต์

รศ.ดร.วิภาวี เสหาหิน  
ผศ.ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์  
ผศ.ดร.สมภพ สนนองราษฎร์  
รศ.สมหมาย ชินนาค  
รศ.ดร.สัมมนา มูลสาร  
ดร.สุธิดา แจ่มใส ไหว้  
ดร.สุพจน์ สีบุตร  
ดร.สุมาลี เกยวิจิตร  
ดร.สุรชัย สุวรรณลี  
ดร.เหมวรรณ เหมะนัค  
อาจารย์อดุลย์เดช ไศลบาท  
ผศ.ดร.อนันต์ ไชยกุลวัฒนา  
ผศ.ดร.อัฉร่า จุฑาเกตุ  
ดร.อัฉร่า มหาวีวัฒน์

รศ.ดร.สถาพร โภคา  
ดร.สายสมร ล้าลอง  
ผศ.ดร.สิทธา เจนศิริศักดิ์  
ดร.สิทธิพงษ์ โกมล  
ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี  
รศ.ดร.สุวัฒน์ วีระพงษ์ชนากร  
ผศ.ดร.สุวัฒน์ ผาบจันดา  
ดร.เสนอ ชัยรัมย์  
ผศ.ดร.แสง วีชระชนกิจ  
ผศ.ดร.อนุชา แยมไธสง  
ผศ.ดร.อรัญญา พิมพ์มงคล  
ดร.อริสรา อิศสระรัมย์  
ผศ.ดร.อุดม ทิพรราช  
อาจารย์อัสรี รอดทัศน

สารบัญ

หน้า

- การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา  
เจตนา วงศ์วิเชียร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 97
- การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผิวถ่านอัดแท่ง  
จริยาภรณ์ อุ๋นวงษ์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 99
- การจัดทำข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศเครือข่ายการขนส่ง : กรณีศึกษาสินค้าปูนซีเมนต์  
ยางพาราและ ยิปซั่ม  
วิทยา อรุณรัตน์จรรวี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 101
- ศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตชิ้นส่วนในการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304  
ประสาน แสงเขียว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 103
- การประยุกต์หลักการชิกซ์ ชิกมา เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นงาน  
Bearing Housing  
ศักดิ์ดา มั่นคง มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ 105
- การทดสอบวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
ในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์  
ภาณุพงศ์ ศิริกุล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 107
- ผลกระทบจากความล้าของตัวปรับความตึงโซ่ราวลิ้นแบบสปริงชนิด  
อภิสัทธี ประมุขสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 109
- กรณีศึกษาเลือกใช้เสาเอ็นและคานทับหลังสำเร็จรูปในงานก่อสร้างอาคาร  
สุวิทย์ อรุณศรี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 111
- การพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกในอุทยานแห่งชาติเพื่อรองรับกลุ่มคนพิเศษ  
กรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติเขาสก อำเภอพนม จังหวัดสุราษฎร์ธานี  
นราวัฒน์ เกื้อทอง วิทยาลัยดาปี 113
- การมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ บ้านแหลมลมทวน  
ตำบลบ้านปรก อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม  
พิทักษ์ ศิริวงษ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร 115
- การเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการและการอนุรักษ์ตลาดน้ำวัดลำพญา  
และตลาดน้ำคลองลัดมะยม  
เกษสุดา เงามะเศษ มหาวิทยาลัยศิลปากร 117

การทดสอบวิเคราะห์ระบบระบายความร้อน  
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์

ภาณุพงศ์ ศิริกุล พิพัฒน์ ปราโมทย์และมนุศักดิ์ จานทอง  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
E-mail: [chudcowboy@hotmail.com](mailto:chudcowboy@hotmail.com)

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นนำเสนอการทดสอบวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าให้กับแผ่นเพลเทียร์ โดยการนำทฤษฎีเทอร์โมอิเล็กทริกของ ไซมัส ซีเบ็ค และการระบายความร้อนของฟูเรียร์ มาทดสอบวิเคราะห์แผนระบายความร้อน ใช้หลักการนำความร้อน และการพาความร้อนเพื่อวัตถุประสงค์ให้ได้มาซึ่งพลังงานไฟฟ้า โดยหลักการแล้วจะไม่มี การนำพลังงานใดมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการนำและการพาความร้อน เป็นการระบายความร้อนโดยอากาศธรรมชาติ แผนระบายความร้อนสร้างจาก อลูมิเนียม สภาพการนำความร้อน 202 W/m.c เนื่องจากแผ่นเพลเทียร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่รูปร่างบางจึงมีขีดความสามารถในการทนอุณหภูมิความร้อนที่จำกัด ผลการทดลองพบว่า การป้อนความร้อนให้กับโมดูลเดียวทางด้านร้อนที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส และระบายความร้อนด้วยแผงอลูมิเนียมทางด้านเย็น จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คมากที่สุด การทดลองเกิดการเสียหายกับแบบโมดูลเดียวที่อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส แบบสองโมดูลซ้อนกันที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : เพลเทียร์

## Cooling system analysis for increasing efficiency for peltier electricity generation

Phanupong Sirikul Pipat Pramot Manusak Janthong  
Department of Mechanical Engineering , Faculty of Engineering ,  
Rajamangala University of Technology, Pathumthani , Thailand  
E-mail: [chudcowboy@hotmail.com](mailto:chudcowboy@hotmail.com)

### Abstract

This article presents experiments and analysed results of cooling system to increase efficiency in electricity generation of peltier plate. Thermoelectric theory of Thomas Seebeck and Heat transfer of Fourier have been used to analyze test of the heat sink by using principle of induction and convection of heat in order to obtain electric power from peltier. In the experiment, no power has not been used to enhance the efficiency of induction and convection of heat. The ambient air is natural cooling. Heat sink material is aluminum, and its induction condition is 202 W/m.c. The slim size of the peltier plate has caused limitation of thermal tolerance. Results The test results showed that providing heat to a single module in hot side with temperatures of 68 degrees Celsius and transferred the heat with aluminum heat sink in cold side will cost the most Seebeck coefficient. Experimental damaged to a single module at temperatures higher than 120 degrees Celsius, two modules overlapped at temperatures over 90 degrees Celsius.

**Keywords:** Peltier



# วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบุรีรัมย์

## Journal of Engineering, RMUTT

● ปีที่ 7 ● ฉบับที่ 1 - 2 ● เดือนมกราคม - ธันวาคม 2552

ISSN 1685-5280

◆ ก๊าซเรดอนในอาคารและวัสดุก่อสร้าง Radon Gas in Buildings and Construction Materials โดย ฉันททิพ คำนวนทิพย์	1
◆ การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับอาคารชุด Using Artificial Neural Networks for Designing of Electrical System for Buildings โดย บัณฑิต ฤทธิ์ทอง, ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	12
◆ การทดสอบระบบจ่ายและระบายความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์ The experimental of heat providing and cooling for electric generation by peltier. โดย ภานุพงศ์ ศิริกุล, ทิทัศน์ ปราโมทย์, มนูญศักดิ์ จานทอง	22
◆ การวิเคราะห์การออกแบบโครงสร้างเครื่องจักรควบคุมความเร็วด้วยระบบ CNC An Analysis of the Designed Structure of a CNC High-Speed Milling Machine โดย สมศักดิ์ แก่นทอง	33
◆ การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของแผ่นเมมเบรนทรงกลมจากคลื่นอะคูสติก A study of membrane geometric using acoustic wave (theoretical and experimental analysis) โดย ทิทัศน์ ปราโมทย์, ณัฐสิทธิ์ พัฒนะอัม	40
◆ การศึกษาการใช้ผ้าใบไทรคอร์ดเก่าในแอสฟัลต์คอนกรีต A Study of Using Waste Tire Cord Fabric in Asphalt Concrete โดย นิรชร นกแก้ว	46
◆ การศึกษาความต้องการพัฒนาตนเองของพนักงาน บริษัท ทีโอเอ เท็กซ์ไทล์ (ประเทศไทย) จำกัด A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF COTTON YARN SIZED WITH OXIDIZED STARCH โดย วิรัตน์ ดวงจินดา, ปราโมช ธรรมภรณ์	57
◆ การศึกษาคุณลักษณะของเส้นด้ายฝ้ายที่ลงแป้งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรแบบออกซิไดซ์ A STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF COTTON YARN SIZED WITH OXIDIZED STARCH โดย ยศวิทย์ ตั้งฐานานุกศักดิ์, ปิสิมจิตต์ เตชธรรมรักษ์, สมภพ นราภิรมย์อนันต์	65
◆ เทคนิคการเขียนหนังสือวิชาการได้รวดเร็วและมีคุณภาพ Technique in Writing a Quick and Quality Textbook โดย มานพ ดันตระบัณฑิตย์	71
◆ ปัญหาการทิ้งงานในโครงการภาครัฐที่จัดจ้างด้วยวิธีการสอบราคา ก่อนและหลังมาตรการช่วยเหลือผู้ประกอบการอาชีพ งานก่อสร้าง: กรณีศึกษา มติคณะรัฐมนตรี วันที่ 17 มิถุนายน 2551 WORK ABANDONMENT PROBLEMS IN PUBLIC CONSTRUCTION PROJECTS BY PRICE SEARCH METHOD BEFORE AND AFTER THE SUPPORT: A CASE STUDY OF THE CABINET RESOLUTION PASSED ON 17 JUNE 2008. โดย ภานุมาศ แก้วดา, พุทธิพล ทองอินทร์ดำ, กองกฤษ โตชัยวัฒน์	78
◆ ผลกระทบจากความล้าของตัวปรับความตึงไข้วราวลื่นแบบสปริงชนิด Effect due to the Fatigue of Tension Lifter Typed Spiral Spring โดย อภิสิทธิ์ ประมุขสาร, ทิทัศน์ ปราโมทย์	88
◆ Development of a Small Rice Combine Harvester โดย R. Kalsirisilp, V.M. Salokhe, C. Youprasobchok, C. Polwong, A. Fanchaiyapoom, S. Baisaengchan and W. Panyawan	93



## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิผู้พิจารณาบทความ

รศ.มานพ ตันตระกูล	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.วันชัย ริจิรวนิช	คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบุรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ณรงค์ บวบทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.นภพินท์ อนันตศิริชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.กานต์ พนาศุภมัสดุ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ผศ.ดร.ทวีชัย สำราญวานิช	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.ปิติศักดิ์ กร้ามาตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.กัณวรัช พลุปรารชญ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ดร.อาทิตย์ ไสตรโยม	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.นำคุณ ศรีสนิท	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.มิ่ง โลกิจแสงทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.อิสสระีย์ หารราชจรรยาโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์	
รศ.ดร.เข้มชัย เหมะจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ชัยยุทธ ช่างสาร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ก้องเกียรติ พลุสวัสดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ผศ.ดร.ณฐา คุปต์ขจีเยียร	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ศิวกร อ่างทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.จงจันต์ ผลประเสริฐ	คณะสาธารณสุขศาสตร์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.ประเทืองทิพย์ ปานบำรุง	คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รศ.ดร.เจียรนัย เล็กอุทัย	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.เวดิน ปิยรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ	คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ธัญญา นิยมภา	คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน



การทดสอบระบบจ่ายและระบายความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์  
**The experimental of heat providing and cooling for electric generation by peltier.**

กาญจพงศ์ ศิริกุล<sup>1</sup>, พิพัฒน์ ปราโมทย์, มนุศักดิ์ จานทอง<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการทดสอบวิเคราะห์ระบบจ่ายและระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าให้กับแผ่นเพลเทียร์ โดยการจ่ายอุณหภูมิให้แก่แผ่นเพลเทียร์ ควบคุมอุณหภูมิความร้อนด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแท่งฮีตเตอร์ผ่านทางโซลิดสเตตเรลย์ และใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ สำหรับการควบคุมใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับ PID Control Toolset และใช้การ์ดอินเทอร์เฟซ USB-6008 ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการจ่ายความร้อนให้แผ่นเพลเทียร์ทางด้านร้อน ใช้แผงระบายความร้อนระบายความร้อนจากเพลเทียร์ทางด้านเย็น เพื่อวัตถุประสงค์ให้ได้มาซึ่งพลังงานไฟฟ้า ผลการทดลองพบว่าการป้อนความร้อนควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้ค่า  $K_p 0.298$ ,  $T_i 4.200$ ,  $T_d 1.050$  ป้อนให้กับโมดูลเดียวทางด้านร้อนที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส และระบายความร้อนด้วยแผงอลูมิเนียมทางด้านเย็น จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คมากที่สุด การจัดวางตำแหน่งโมดูล สองโมดูลแบบ ง ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก , แผงระบายความร้อน

### Abstract

This article presents the experiments and analyses results of heat providing and cooling system to increase efficiency in electricity generation of peltier plate by providing temperature to the peltier plate. Controlled the heat with electric current to the bar Heater via solid-state relays and uses thermocouple as a temperature measurements. For controlling use LabVIEW program together with PID Control Toolset and uses the interface card USB-6008 in order to communicating between computers and the process of heat providing to the peltier plate in the heat side. Use the heat sink for cooling from cold side of the peltier plate in order to obtain the electric power. The test results showed that the heat input which is controlled by PID controllers using the  $K_p 0.298$ ,  $T_i 4.200$ ,  $T_d 1.050$ , providing heat to a single module in hot side with temperatures of 68 degrees Celsius and transferred the heat with aluminum heat sink in cold side will cost the most Seebeck coefficient. Module position placement, double module type Ng provided the highest power

Keyword : Thermoelectric , Heat sink

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

<sup>2</sup> อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

## 1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีปริมาณสูงมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะชีวิตประจำวันล้วนแต่จะต้องเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าแทบทั้งสิ้น ซึ่งการได้มาของพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ ได้มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ถ่านลิกไนต์ และก๊าซธรรมชาติ มีแนวโน้มว่าค่าใช้จ่ายจะสูงขึ้นทุกปี ประกอบกับแหล่งพลังงานประเภทที่ใช้แล้วหมดไป (Non - Renewable) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดก็ร่อยหรอลงไปทุกที และยังส่งผลให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยได้ถือว่าเป็นประเทศที่อยู่ในระดับกำลังพัฒนา มีความตื่นตัวที่จะนำพลังงานทดแทนมาใช้ มีการค้นคว้าวิจัยพัฒนาอยู่เรื่อยๆ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้า เป็นต้น การผลิตไฟฟ้าพลังงานสะอาดยังมีเทคโนโลยีอีกชนิดหนึ่งซึ่งยังไม่เป็นที่แพร่หลายก็คือ เทอร์โมอิเล็กทริก[1-4] ในรูปแบบโมดูล เพลเทียร์ (Peltier element) เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าชนิดหนึ่ง เมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current ,D.C.) ให้กับแผ่นเพลเทียร์ จะเกิดความร้อนขึ้นด้านหนึ่ง และในเวลาเดียวกันอีกด้านก็จะให้ความเย็น ในทางกลับกันเมื่อดำเนินการกระบวนการย้อนกลับ คือ ป้อนความร้อนด้านหนึ่งและในขณะที่เดียวกันระบายความร้อนให้อีกด้านของแผ่นเพลเทียร์ ก็จะมีพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เกิดขึ้น เนื่องจากลักษณะรูปร่างของแผ่นเพลเทียร์ ที่มีขนาดเล็กและบางจึงยังไม่สามารถที่จะดูดซับปริมาณความร้อน และระบายความร้อนให้กลับด้านเย็นได้เพียงพอ จึงต้องออกแบบสร้างและติดตั้ง แผงระบายความร้อนเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นและมีระยะเวลาต่อเนื่องเป็นเวลานาน

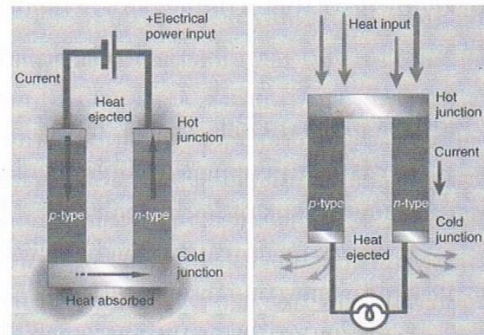
เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้เทอร์โมอิเล็กทริก โมดูล มีผลทำให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้า แล้วจะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างขั้วทั้งสองเทอร์โมอิเล็กทริก นอกจากการผลิตความร้อน-เย็นแล้ว ยังสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าจากความแตกต่าง

อุณหภูมิระหว่างผนังรอยต่อ P-N กับผนังอีกด้านของสาร P,N ดังรูปที่ 1 [5] ค่าแรงแดันของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างผนังทั้งสองด้านนี้กระตุ้นให้เกิดปรากฏการณ์ซีเบ็ค(Seebeck effect) ผลักดันให้เกิดการเคลื่อนตัวของพาหะไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ P และ N ก่อตัวเป็นอำนาจสนามไฟฟ้าภายในที่มีศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิตามสมการ

$$v = \alpha(\nabla T) \quad (1)$$

โดยที่  $\alpha$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คในสารกึ่งตัวนำ  $T$  คือ ฟังก์ชันอุณหภูมิระหว่างผนังของเพลเทียร์

พิจารณาสมการ (1) จะเห็นว่าการเพิ่มความสามารรถในการผลิตไฟฟ้าที่กระทำได้ คือ ทำการระบายความร้อนให้ได้มาก ซึ่งจะทำให้ผลต่าง  $\nabla T$  มีค่ามาก จึงจะทำให้แรงดันไฟฟ้า  $v$  มีค่าเพิ่มขึ้น [6]



รูปที่ 1 โครงสร้างของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกและวงจรทางไฟฟ้า [7]

ลำดับขั้นการระบายความร้อนของการทดลอง เริ่มจากการพิจารณาค่าอุณหภูมิจากแผ่นเพลเทียร์ด้านที่สัมผัสกับตัวจ่ายความร้อนป้อนผ่านเพลเทียร์ไปยังแผงระบายความร้อนผู้ผิวเผินของลูมิเนียมด้านที่เหลือจากบริเวณที่สัมผัสกับเพลเทียร์ กรณีนี้แสดงว่ามีมีการถ่ายเทพลังงานจากขอบเขตที่อุณหภูมิสูงไปสู่ขอบเขตที่

อุณหภูมิต่ำ เรียกว่าการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำ (Conduction Heat Transfer) [8] นั้นแสดงว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอุณหภูมิ

พฤติกรรมที่สังเกตได้ในกระบวนการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาขยายความออกมาด้วยเหตุผลก็เพื่อให้เป็นข้อเปรียบเทียบ ตัวอย่างเช่น เราทราบว่าความเร็วที่อากาศเป่าบนแผ่นเรียบที่ร้อนทำให้มีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น และมีผลกระทบทำให้เกิดการระบายความร้อนโดยตรง ตัวอย่างเช่น ถ้าเพิ่มอัตราเร็วเป็นสองเท่า อัตราการถ่ายเทความร้อนจะเป็นสองเท่าหรือไม่? มักสงสัยว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนอาจจะแตกต่างกัน ถ้าเราระบายความร้อนด้วยน้ำแทนที่จะใช้อากาศ โดยภาพรวมที่จะทำการวิเคราะห์ต่อไป สิ่งหนึ่งอาจจะเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาว่าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางความร้อนของของไหล ความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่น

**2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย**

1. สร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่มีความแม่นยำเพื่อใช้ทดสอบการป้อนความร้อนให้เพลเทียร์
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของแผ่นเพลเทียร์ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน
3. เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากเพลเทียร์โดยใช้แฉงอุณหภูมิแบบระบายความร้อน ทำการสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์แล้วทำการวิเคราะห์ผลทางความร้อน

**3. อุปกรณ์และวิธีการ**

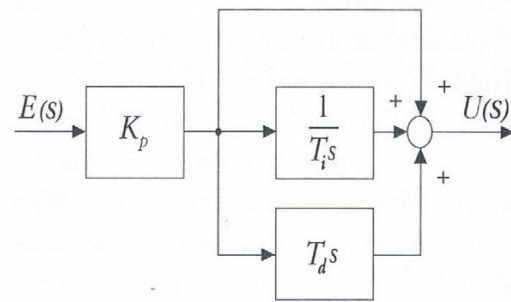
การทดลองแผงระบายความร้อนเพื่อหาอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยธรรมชาติหรืออิสระเพื่อได้มาซึ่งแรงดันไฟฟ้าโดยป้อนพลังงานความร้อนจากฮีตเตอร์ให้แผ่นเพลเทียร์ที่อุณหภูมิ 40-100 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบ 2 กรณี คือ แผ่นเดี่ยว และสองแผ่นวาง

ในตำแหน่งต่างๆกัน รอจนกระทั่งอุณหภูมิที่ป้อนเกิดการนำความร้อนและการพาความร้อนนิ่ง จึงจะบันทึกผลทำการวัดอุณหภูมิที่แผงระบายความร้อน 3 จุด สถานที่ทดลอง อุณหภูมิห้องเฉลี่ย 25 องศาเซลเซียส

**3.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนกระบวนการ**

ตัวควบคุมพีไอดีตามโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2 สามารถทำการเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมได้ตามสมการที่ (2)

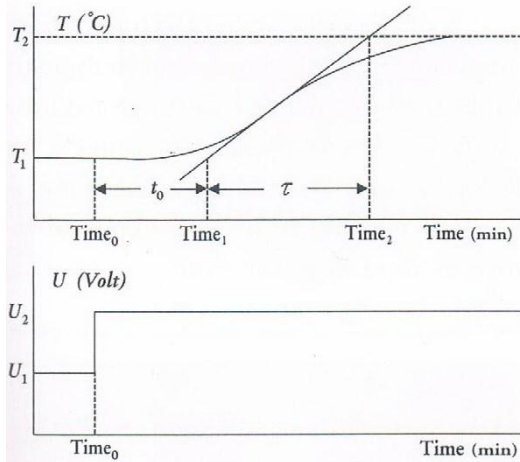
$$G_c(x) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s) \tag{2}$$



รูปที่ 2 โครงสร้างตัวควบคุมพีไอดี

รูปแบบของการตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง (first order system) รวมกับเวลาล่าช้าในการขนถ่าย (transportation lag,  $t_0$ ) มีลักษณะคล้ายตัว s ซึ่งเรียกว่าเส้นโค้งปฏิกิริยาของกระบวนการ (process reaction curve) เขียนได้ด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้คือ

$$T(a) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1} U(s) \tag{3}$$



รูปที่ 3 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ ด้วยวิธีป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได

สำหรับวิธีการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการป้อนความร้อน สามารถทำได้โดยใช้วิธีป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดให้กระบวนการ โดยวิธีการคือการป้อนสัญญาณแรงดันควบคุม  $U(s)$  ให้กระบวนการและวัดอุณหภูมิของกระบวนการป้อนความร้อน  $T(s)$  จากนั้นจะได้พารามิเตอร์ของกระบวนการป้อนความร้อนตามสมการที่ (3) ดังนี้

$$K = \frac{T_2 - T_1}{U_2 - U_1} \tag{4}$$

$$\tau = T = Time_2 - Time_1, \quad t_0 = L = Time_1 - Time_0$$

สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม จะใช้วิธีป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได ให้กับกระบวนการซึ่งถูกแนะนำโดย Ziegler-Nichols [8] และตารางการหาค่าพารามิเตอร์ พีไอดีที่เหมาะสมแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การหาค่าพีไอดีด้วยวิธี Ziegler-Nichols

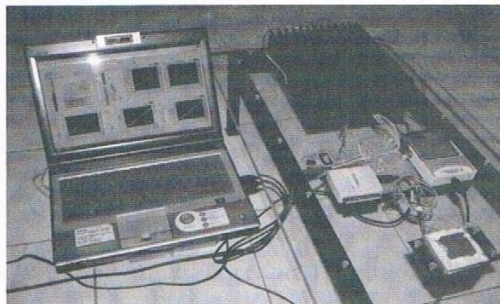
Type	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$T/(K.L)$	$\infty$	0
PI	$0.9T/(K.L)$	$L/0.3$	0
PID	$1.2T/(K.L)$	2L	0.5L

### 3.2 การออกแบบระบบควบคุมด้วย LabVIEW

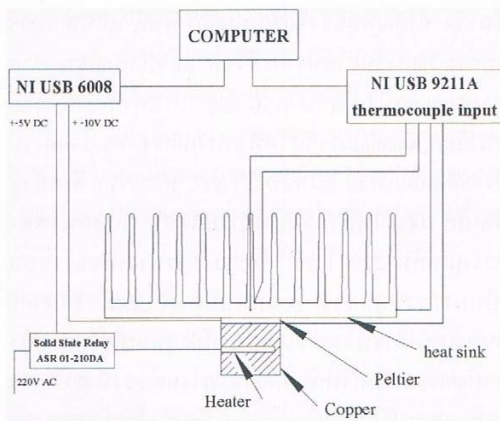
เนื่องจากการทดลองการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์มีความเกี่ยวข้องเนื่องกับการป้อนความร้อน ต้องใช้ระบบควบคุมที่แม่นยำก็เพื่อให้ได้ผลงานวิจัยออกมาถูกต้องเป็นไปตามข้อเท็จจริงมากที่สุด จึงเลือกที่จะใช้โปรแกรมแลบวิว (Labview) ในการควบคุมฮีตเตอร์ ทำความร้อนป้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์โดยเลือกใช้ฟังก์ชันการควบคุมแบบ พีไอดี (PID controller, proportional-integral-derivative controller)[9]

ระบบของโปรแกรมที่เขียนขึ้นในแลบวิวจะรับสัญญาณทางสายยูเอสบี (USB Universal Serial Bus) จาก NI USB 9211A ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณมาจากเทอร์โมคัปเปิล คอมพิวเตอร์รับสัญญาณจะทำการประมวลผลระหว่างอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ กับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริง ถ้าอุณหภูมียังไม่ร้อนถึงที่กำหนด คอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าโดยใช้ฟังก์ชันพีไอดี แล้วส่งสัญญาณผ่านทางสายยูเอสบีไปยัง NI USB 6008 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณอนาล็อก(Analog)แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0-5 โวลต์ ไปยังโซลิดสเตตรีเลย์ (SOLID STATE RELAY) ทำหน้าที่ตัดต่อ วงจรไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ลักษณะการทำงานของระบบเป็นการควบคุมความร้อนแบบปิด (CLOSE LOOP) ในขณะที่ทำการป้อนความร้อนให้กับเพลเทียร์และต้องระบายความร้อนให้กับอีกด้าน การทดลองนี้จะนำแผงระบายความร้อน ผลิตจากอลูมิเนียม ขนาด 26x20x7 เซนติเมตร มีครีป 13 อัน มีพื้นที่ระบายความร้อน 53 ตารางเซนติเมตร มาใช้ในการทดลองโดยอาศัยหลัก

การนำความร้อนและการพาความร้อนแบบอิสระ สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือจุดผสมเชื่อมต่อระหว่างแผ่นเพลเทียร์กับแผงระบายความร้อนจะต้องทาผิวบางๆ ด้วยซิลิโคนนำความร้อน(Heatsink Compound) เพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อทุกๆผิวสัมผัส จากกระบวนการจะได้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงออกมา ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยต่อสายไปยัง NI USB 6008 ที่สามารถรับแรงดันได้ 0-10 โวลต์ จากนั้นจะส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางสายยูเอสบี

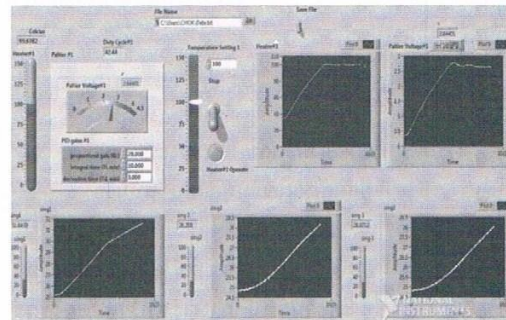


รูปที่ 4 ชุดทดสอบระบบระบายความร้อนในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์



รูปที่ 5 การควบคุมระบบทดสอบการระบายความร้อนในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลเทียร์

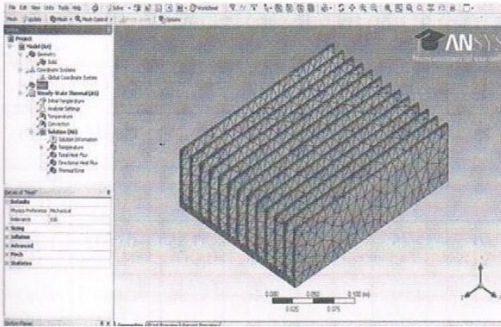
การทำงานของโปรแกรมแลบวิวในคอมพิวเตอร์ยังสามารถวัดผลแสดงผลและบันทึกผลการทดลองโดยคอมพิวเตอร์ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น แสดงผลในรูปแบบของกราฟที่สัมพันธ์กับเวลา แสดงผลการตัดต่อสัญญาณในรูปแบบของหลอดไฟ มีสวิตช์เปิดปิดการทำงานเหมือนจริง เป็นต้น ทำให้การทดลองมีความเที่ยงตรงแม่นยำมาก



รูปที่ 6 ลักษณะการแสดงผล ที่เขียนขึ้นบน Front Panel ในโปรแกรมแลบวิว

### 3.3 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนแผงระบายความร้อนด้วย Ansys

โปรแกรม Ansys เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณผลทางอุณหภูมิของวัตถุในงานวิศวกรรม ที่ใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ในรูปแบบของโปรแกรมสำเร็จรูป ง่ายต่อการใช้งาน เหมาะสำหรับนักออกแบบ นักวิจัย และวิศวกรในหลายสาขา โปรแกรมมีความสามารถคำนวณได้ทั้งสองมิติและสามมิติ รูปแบบการคำนวณสามารถคำนวณได้ทั้ง การพาความร้อน การนำความร้อน การแผ่รังสีความร้อน รวมไปถึงความถี่คลื่นต่างๆ ทำการกำหนดวัสดุเป็นอลูมิเนียมอัลลอย สร้างเมชชิ้นงาน ป้อนค่าอุณหภูมิความร้อนจากแผ่นเพลเทียร์ ป้อนค่าการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาแบบธรรมชาติ มีค่า  $5 \text{ w/m}^2\text{c}$

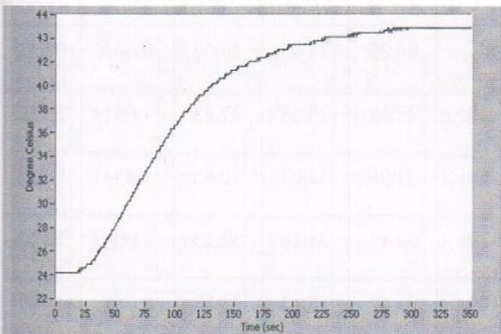


รูปที่ 7 การกำหนด Condition และการสร้างเมชเพื่อวิเคราะห์ผลทางความร้อน

4. ผลการทดลอง

4.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ

การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ โดยการทดลองนี้ทำการทดลองในห้องที่มีอุณหภูมิ T (a) 25 °C และเลือกจุดทำงาน ณ ตำแหน่งที่อุณหภูมิของกระบวนการ (T) มีค่าเท่ากับ 24.2 °C



รูปที่ 7 ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงเปิด

รูปที่ 7 แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงเปิด เมื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุตอ้างอิงที่ป้อนให้กับกระบวนการไป 10% โดยจากผลการทดลองได้แบบจำลองของกระบวนการดังนี้

$$T(s) = \frac{19.387e^{-0.3334 s}}{1.8167s + 1} U(s)$$

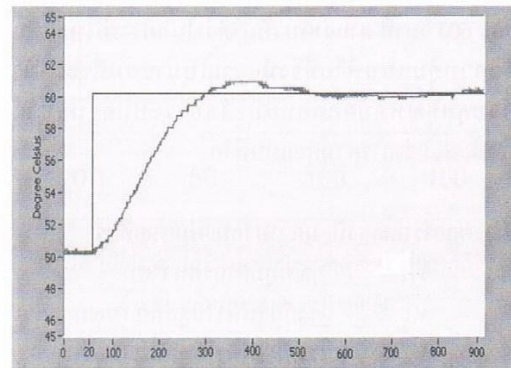
จากสมการที่ 3 พบว่า ณ.จุดการทำงานของกระบวนการนี้มีค่าอัตราขยายของระบบควบคุม 19.387 °C /Volt, - ค่าคงตัวเวลา (TimeConstant) 1.8167 นาที หรือ 109 วินาที และค่าเวลาไร้ผลตอบสนอง 0.3334 หรือ 28 วินาที

4.2 การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้วิธี Ziegler-Nichols

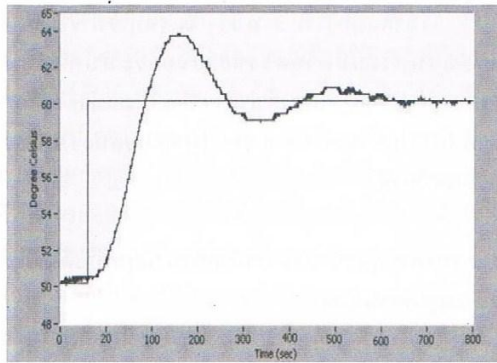
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของตัวควบคุม

Type	K <sub>p</sub>	T <sub>i</sub>	T <sub>d</sub>
P	0.249	0	0
PI	0.224	7.000	0
PID	0.298	4.200	1.050

การทดลองผลตอบสนองของระบบควบคุมในสภาวะมีโหลดนี้ ใช้แผนกระจายความร้อนทำหน้าที่เป็นโหลดในระบบควบคุม ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอ



รูปที่ 9 ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี

รูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมอุณหภูมิเครื่องจ่ายความร้อนของตัวควบคุมพีไอและพีไอดี เมื่อกำหนดให้สัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดเปลี่ยนแปลงไป 10 °C ในสภาวะมีโหลดเป็นแผนจระบายความร้อน จากรูปพบว่า ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมพีไอและพีไอดีมีค่าฟังก์เกิน (Percent Overshoot) 7 เปอร์เซ็นต์และ 35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเวลาเข้าที่ (Settling Time) ประมาณ 900 วินาที และ 600 วินาที ตามลำดับ เห็นได้ว่าในสภาวะมีโหลดนั้น ตัวควบคุมแบบพีไอดีจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาควบคุมอุณหภูมิผลตอบสนองของระบบควบคุมได้เหมาะสมกว่าการควบคุมแบบพีไอ

4.3. ผลการทดลองป้อนความร้อนแผ่นเพลทียร์

- TH = อุณหภูมิด้านร้อน (°C)
- V1 = แรงดันไฟฟ้าโมดูลที่ 1 (Volt)
- V2 = แรงดันไฟฟ้าโมดูลที่ 2 (Volt)
- VT = แรงดันไฟฟ้ารวม (Volt)
- TC1 = อุณหภูมิด้านเย็น (°C)
- TC2 = อุณหภูมิด้านเย็น (°C)
- TC3 = อุณหภูมิด้านเย็นสองโมดูล (°C)
- $\alpha$  = ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค

ตารางที่ 3 ผลการทดลองของโมดูลเดี่ยวแบบ ก

TH	TC1	TC2	TC3	DT	$\alpha$	V1
40	27.20	26.65	26.55	12.80	0.0626	0.801
50	28.45	27.60	27.30	21.55	0.0629	1.356
60	32.45	30.15	30.80	27.55	0.0633	1.743
70	34.20	31.45	32.10	35.80	0.0633	2.267
80	36.10	32.95	33.50	43.90	0.0629	2.761
90	37.55	33.60	34.45	52.45	0.0627	3.291
100	38.35	34.20	34.65	61.65	0.0627	3.866
110	40.25	35.10	36.15	69.75	0.0627	4.375
120	42.60	37.60	37.95	77.40	0.0614	4.757

ตารางที่ 4 ผลการทดลองสองโมดูลแบบ ข

TH	TC1	TC2	TC3	V1	V2
40	26.22	28.43	26.59	0.601	0.632
50	27.12	29.56	27.43	1.061	1.119
60	31.20	32.07	30.85	1.484	1.567
70	33.11	33.56	32.23	2.004	2.107
80	34.52	35.12	33.88	2.381	2.499
90	36.03	35.55	34.79	2.850	2.952
100	37.05	36.13	34.99	3.462	3.640
110	38.55	37.24	36.56	3.753	3.879
120	41.10	39.58	38.53	4.308	4.378



ตารางที่ 5 ผลการทดลองสองโมดูลแบบ ก

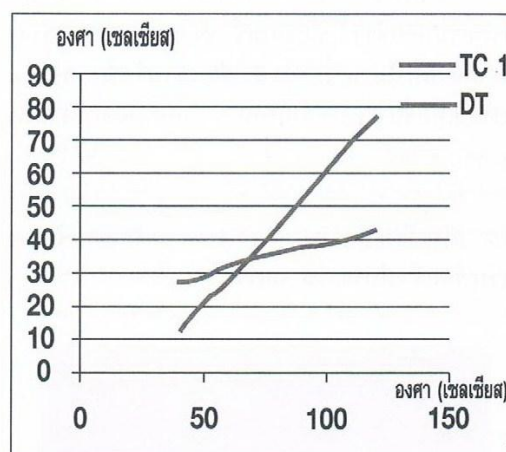
TH	TC1	TC2	TC3	V1	V2
40	27.11	26.54	27.36	0.803	0.822
50	28.43	27.30	28.24	1.259	1.307
60	32.56	30.01	31.97	1.673	1.812
70	34.13	31.32	33.08	2.204	2.302
80	36.21	32.56	34.36	2.581	2.702
90	37.50	33.33	35.67	3.050	3.149
100	38.54	34.07	35.55	3.662	3.835
110	40.32	34.98	37.59	3.953	4.005
120	42.55	37.35	39.03	4.456	4.475

ตารางที่ 6 ผลการทดลองสองโมดูลแบบ ง

TH	TC1	TC2	TC3	V1	V2
40	27.03	27.34	27.44	0.917	0.924
50	28.24	28.34	28.29	1.347	1.412
60	32.37	31.78	31.86	1.765	1.923
70	33.98	33.11	33.23	2.321	2.403
80	36.02	34.29	34.34	2.701	2.811
90	37.31	35.72	35.58	3.144	3.237
100	38.40	35.48	35.39	3.759	3.942
110	40.24	37.62	37.60	4.055	4.113
120	42.31	39.12	39.08	4.612	4.658

ตารางที่ 7 ผลการทดลองของโมดูลเดี่ยวแบบ ก

โหลด (Ω)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กำลังไฟฟ้า(W)
1	1.09	1.25	1.36
2	.88	1.92	1.68
3	.75	2.4	1.8
4	.65	2.65	1.72
5	.56	3	1.68
6	.51	3.21	1.63
7	.46	3.37	1.55
8	.42	3.51	1.47
9	.39	3.64	1.41
10	.36	3.76	1.35



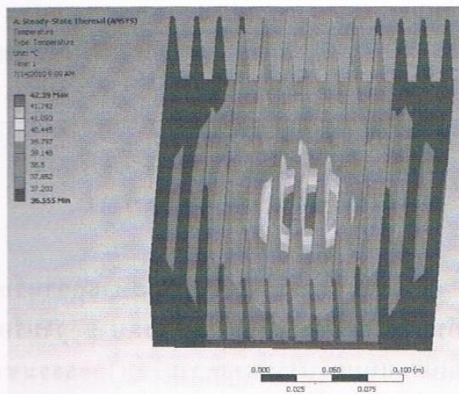
รูปที่ 10 ค่าอุณหภูมิต้านเย็นและผลต่างของอุณหภูมิต้านร้อนกับต้านเย็นของโมดูลเดี่ยว

จากผลการทดสอบการระบายความร้อนให้กับแผ่นเพลเทียร์ โดยใช้แผงระบายความร้อนอลูมิเนียมแบบกริป ระบายความร้อนโดยธรรมชาติพบว่าเมื่อวัดแรงดันไฟฟ้าจากโมดูลเดี่ยวแบบ ก จะให้ค่าแรงดันสูงกว่าการต่อขนานในสองโมดูลแบบ ข ก ง

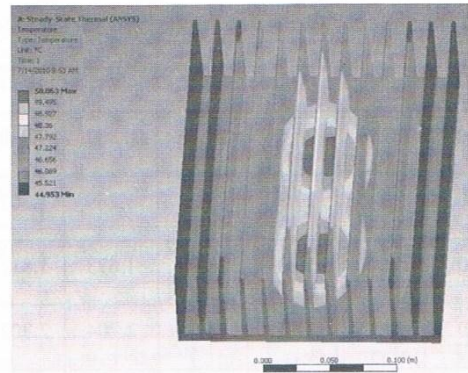
และให้ค่าแรงดันต่ำกว่าเมื่อทำการต่ออนุกรมกัน เมื่อวิเคราะห์การทดลองการระบายความร้อนแบบโมดูลเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ป้อนให้แก่ระบบการผลิตไฟฟ้ากับค่าสัมประสิทธิ์ซีบีเอ็ม ในช่วงอุณหภูมิ 40-120 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 3 พบว่าช่วงอุณหภูมิ 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ซีบีเอ็มมากที่สุด แล้วจากนั้นพิจารณารูปที่ 10 เป็นการเขียนกราฟของค่าอุณหภูมิด้านเย็น (TC1) และค่าผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็น (DT) ทำให้เกิดจุดตัดในเส้นกราฟ เมื่อลากเส้นมายังอุณหภูมิด้านร้อน จะได้ค่าอุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ซีบีเอ็มมากที่สุด พิจารณาลักษณะการจัดวางเฉพาะสองโมดูลด้วยกัน แบบ ง จะให้ค่าการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าแบบอื่น

จากนั้นทดสอบโดยป้อนโหลดด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ ที่อุณหภูมิ 68 °C ผลปรากฏว่าค่าความต้านทานมากขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้าลดลงแต่แรงดันเพิ่มขึ้น ที่ความต้านทาน 3 โอห์ม มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 1.8 วัตต์

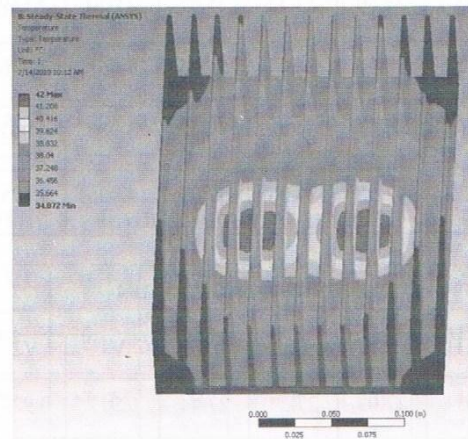
**4.2. การสร้างแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนแผ่กระจายความร้อนด้วยโปรแกรม Ansys**



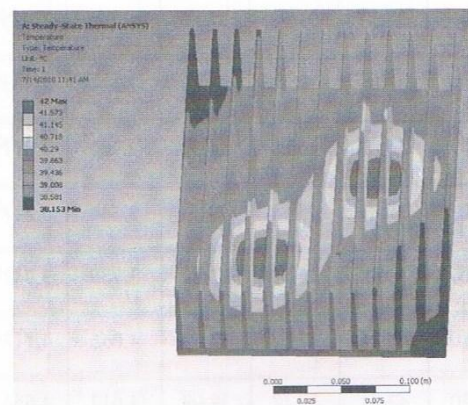
รูปที่ 11 จัดวางโมดูลแบบ ก



รูปที่ 12 จัดวางโมดูลแบบ ข



รูปที่ 13 จัดวางโมดูลแบบ ค



รูปที่ 14 จัดวางโมดูลแบบ ง

เมื่อได้ผลการทดสอบจากการทดลองจึงนำมาสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Ansys เพื่อใช้เปรียบเทียบว่าผลการทดลองมีความถูกต้องหรือไม่ และจะสามารถมองภาพของรูปแบบการถ่ายเทความร้อนได้เข้าใจมากขึ้น จากภาพจะแสดงให้เห็นว่า แบบ ก เป็นการระบายความร้อนจากเพลทเทียร์โมดูลเดี่ยวที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเมื่อวางอยู่ ณ ตำแหน่งตรงกลางแผงระบายความร้อน แต่เมื่อเทียบกับสองโมดูลที่ต่ออนุกรม แบบ ข ค และ ง จะให้แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าต่อไปเป็นการเปรียบเทียบระหว่างสองโมดูลด้วยกัน ในลักษณะการจัดวางแบบ ข ค และ ง จากการทดลองปรากฏว่าแบบ ค สามารถจ่ายแรงดันได้มากกว่าแบบ ข ร้อยละ 11 และแบบ ง สามารถแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่าแบบ ข ร้อยละ 17 ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุด  $2.31 \text{ KW/m}^2$  ซึ่งเป็นการจัดวางที่เกิดการระบายความร้อนได้ดีที่สุด

## 5. สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้นำเสนอการสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่มีความแม่นยำเพื่อใช้ทดสอบการป้อนความร้อนให้เพลทเทียร์ มาใช้ในการศึกษาหลักการทำงานของแผ่นเพลทเทียร์ ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน ด้วยการถ่ายเทความร้อนจากเพลทเทียร์โดยใช้แผงอลูมิเนียมระบายความร้อน แล้วสร้างแบบจำลอง การถ่ายเทความร้อนแผงระบายความร้อนในคอมพิวเตอร์และทำการวิเคราะห์ผลทางความร้อนสามารถที่จะจัดวางตำแหน่งแผ่นเพลทเทียร์ ให้เกิดการระบายความร้อนได้มากที่สุดและเป็นแนวทางการปรับปรุงรูปแบบการออกแบบแผงระบายความร้อนรูปแบบอื่นอีกต่อไป เพื่อการผลิตไฟฟ้าที่ให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ให้ข้อมูล NI USB 6008 จาก ห้องแล็บ ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ของภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จึงขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐ จันทร์กรบ ฉัตรชัย เข็มพรสิน อมร สมเจตน์ เลิศเจริญ และเจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์, “การผลิตไฟฟ้า จากความร้อนเหลือทิ้งของเตาहु่งต้ม ในครัวเรือนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก”, *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 9-10 พฤศจิกายน 2549. หน้า 1194-1196.
- [2] Jorge Vilquez, Miguel A. Sanz-Bobi, Rafael Palacios, \*Antonio Arenas, “State of the Art of Thermoelectric Generators Based on Heat Recovered from the Exhaust Gases of Automobiles” *Proceedings of the 7th European Workshop on Thermoelectrics*, Paper #17, Oct 2002, Pamplona, SPAIN.
- [3] Rida Y. Nuwayhid, Alan Shinhadeh, Nesreen Ghaddar. “Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric Generator with natural convection cooling”, *Energy Conversion & Management*, Vol. xx, No. x, pp. xxx-xxx., 2004.
- [4] Anders Killander, John C. Bass, 1996, “A Stove-Top Generator For Cold Areas”, *IEEE 15th International Conference on Thermoelectric*, pp.390-393
- [5] Yuri Gurevich, Georgiy Logvinov and Igor Volovichev, “Nonequilibrium Carriers of Charge in Theory of Thermoelectric Phenomena”, *Proceedings of the 22nd International Conference on Thermoelectrics*, pp.464-467.
- [6] Eakburanawat, J. and Boonyaroonate, I., 2005, “Development of a thermoelectric battery charger

with microcontroller-based maximum power point tracking technique”, *Applied Energy*, Vol. 83, issue. 7, pp. 687-704.

[7] Rowe, D.M., “CRC Handbook of Thermoelectric”, New York, CRC Press, 1995.

[8] Jack P. Holman, 1997. Heat transfer, Southern Methodist University, U.S.A., Eighth Edition, McGraw-Hill. Inc, New York, pp 1-30

[9] PID control 2009, [http://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_control](http://en.wikipedia.org/wiki/PID_control)

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายภาณุพงศ์ ศิริกุล
วัน เดือน ปีเกิด	19 พฤษภาคม 2526
ที่อยู่	9/2 ซอย 92 ลมเย็น ถนนลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
ประวัติการศึกษา	-สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างกลโรงงาน จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ขอนแก่น เมื่อ พ.ศ.2545 -สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรม เครื่องจักรกลเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ.2549
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2551 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งนักวิชาการประจำคณะกรรมการการปกครองท้องถิ่น รัฐสภา
ผลงานวิจัย	ภาณุพงศ์ ศิริกุล , ศึกษาการนำนโยบายสู่การปฏิบัติ กับโครงการหมู่บ้านหายจนชุมชนเข้ม แข็งงานค้นคว้าวิจัยอิสระ หลักสูตรผู้นำการเมืองยุคใหม่ รุ่นที่ 6 สถาบันพระปกเกล้า ภาณุพงศ์ ศิริกุล , พิพัฒน์ ปราโมทย์ , มนุศักดิ์ जानทอง , การทดสอบระบบจ่ายและระบาย ความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลทเทียร์ , วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราช มงคลธัญบุรี ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 - 2 เดือนมกราคม – ธันวาคม 2552 ภาณุพงศ์ ศิริกุล , พิพัฒน์ ปราโมทย์ , มนุศักดิ์ जानทอง , การทดสอบวิเคราะห์ระบบระบาย ความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยแผ่นเพลทเทียร์ , การประชุมวิชาการ มอบ.วิจัย ครั้งที่ 4 วันที่ 9 – 10 สิงหาคม 2553 โรงแรมลาซาลง จังหวัดอุบลราชธานี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี