

การสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิเพื่อปรับปรุงการควบคุม HVAC
ในอาคารโดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด

TEMPERATURE VARIATION MODELING FOR IMPROVING BUILDING HVAC
CONTROL USING MULTIPLE TEMPERATURE SENSORS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-257-127

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิเพื่อปรับปรุงการควบคุม HVAC
ในอาคารโดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด

TEMPERATURE VARIATION MODELING FOR IMPROVING BUILDING HVAC
CONTROL USING MULTIPLE TEMPERATURE SENSORS



T148829



ปรัชญ์ วิจักขณา
PRACH WIJUKKANA

เลขหมู่ 148829
เลขทะเบียน
วันเดือนปี 23 พ.ค. 2560

b. 00267088
f.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-257-127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEMPERATURE VARIATION MODELING FOR IMPROVING BUILDING HVAC
CONTROL USING MULTIPLE TEMPERATURE SENSORS



PRACH WIJUKKANA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017






FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิเพื่อปรับปรุงการควบคุม HVAC ในอาคาร โดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด
Thesis Title Temperature Variation Modeling for Improving Building HVAC Control using Multiple Temperature Sensors
นักศึกษ นายปรัชญ์ วิจักขณา
รหัสประจำตัว 55613608
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-257-127

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิศรธรรม	
รศ.ดร.ไสว	พงศ์สวัสดิ์	
รศ.ดร.พิทยา	ปานนิล	
รศ.ดร.อัมพวัน	จุลเสวีวงศ์	
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	เทพมณี	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 13.30-15.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-301

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิเพื่อปรับปรุงการควบคุม HVAC ในอาคารโดยใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด
นักศึกษา	นายปรัชญ์ วิจักขณา
รหัสนักศึกษา	55613608
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. ธีรวัฒน์ เทพมณี

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติเป็นระบบที่สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมของอากาศภายในอาคารให้คงที่หรือเกิดการแปรปรวนน้อยที่สุด เพื่อความสะดวกสบายต่อบุคคลในพื้นที่ โดยปกติจะใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพียงตัวเดียวติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องส่งลมเย็น ดำเนินงานโดยใช้อุปกรณ์ควบคุม เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของการควบคุมระบบปรับอากาศภายในอาคาร เช่น การทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศ เป็นต้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแนวคิดในการผสมรวมเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุดเข้ากับระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติแบบดั้งเดิมสำหรับอาคารพาณิชย์แบบหลายโซน โดยการนำเสนอการสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิที่อาศัยการจำลองแบบ Monte Carlo ระหว่างค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลักกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ได้เพิ่มเข้ามาใช้ร่วมในแต่ละโซน ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้การจำลองแบบ Monte Carlo เพื่อสร้างโมเดลที่นำเสนอนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมระบบ HVAC แบบที่มีการใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลายจุดได้

Thesis Title	Temperature Variation Modeling for Improving Building HVAC Control Using Multiple Temperature Sensors
Student	Mr. Prach Wijukkana
Student ID.	55613608
Degree	Master of Engineering
Program	Automation Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Teerawat Thepmanee

ABSTRACT

Uniformity of temperature is important to comfortable indoor environment in building automation system (BAS). Usually, only a single temperature sensor is placed in the conditioned space for controlling an air handling unit (AHU) operation by using a direct digital controller (DDC) to maintain thermal comfort conditions. In order to improve an efficiency of heating, ventilating and air conditioning (HVAC) control, a concept to integrate multiple temperature sensors into a traditional BAS for a multi-zone commercial building is introduced in this thesis. Temperature variation modeling based on Monte Carlo simulations between the measured values from the primary temperature sensor and the additional temperature sensors in each zone is presented. Results obtained from the proposed modeling can be applied for multiple temperature sensors control strategy of HVAC system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นมาเนื่องมาจากความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาที่มีพระคุณยิ่งของผู้เขียน กราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ธีรวัฒน์ เทพมณี ที่กรุณาเสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนแนะนำทางวิชาการ และเอกสารที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ที่ตีเสมอมา รวมทั้งได้คำแนะนำเกี่ยวกับหัวข้อวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ ที่ได้ชี้แนะแนวคิดที่ลึกซึ้ง ตลอดจนประสบการณ์อันมีค่าของท่าน เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ให้ข้อคิด ตลอดจนแนะนำรูปแบบการเขียน รวมทั้งแนะนำเอกสารที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ สังกัดวิศวกรรมการวัดและควบคุม (สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้ความอนุเคราะห์ในด้านต่าง ๆ

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัท อินเทลลิเจนท์ ซิสเต็มส์ แมนเนจเม้นท์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษามาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัท เอ็กเซลเลนซ์ ซิสเต็มส์ อินทิเกรเทอร์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์สถานที่ อุปกรณ์ และข้อมูลที่ใช้ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และครอบครัวของผู้เขียนที่สนับสนุนด้านการเรียนและคอยให้กำลังใจทุกเวลาจนการเรียนผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

ปรัชญ์ วิจักขณา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 การนำเสนอหลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	2
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ (BAS).....	4
2.2.1 โครงสร้างและหลักการพื้นฐานของ BAS.....	5
2.2.2 รูปแบบการสื่อสารใน BAS.....	6
2.2.2.1 การสื่อสารในรูปแบบ Fieldbus System.....	7
2.2.2.2 การสื่อสารในรูปแบบ IP-Based Network.....	8
2.2.3 เทคโนโลยีในปัจจุบันของ BAS.....	8
2.3 ระบบ HVAC.....	8
2.3.1 การควบคุมระบบ HVAC ด้วย BAS.....	9
2.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมเครื่องส่งลมเย็นในระบบ HVAC ด้วย BAS.....	10
2.3.2.1 การควบคุมแบบ PID ในระบบ HVAC ด้วย BAS.....	10
2.3.2.2 การควบคุมแบบ ON-OFF ในระบบ HVAC ด้วย BAS.....	11
2.4 การจำลองแบบ Monte Carlo.....	11
บทที่ 3 การสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิที่นำเสนอ.....	13
3.1 กล่าวนำ.....	13
3.2 ระบบ HVAC ในอาคารศูนย์การค้าที่เป็นกรณีศึกษา.....	13
3.2.1 แผนผังของอาคารศูนย์การค้าที่เป็นกรณีศึกษา.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2	ระบบ HVAC ที่มีการติดตั้งในแผนผังของอาคารศูนย์การค้า ที่เป็นกรณีศึกษา.....	14
3.2.3	ผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้งต่อการควบคุมระบบ HVAC.....	15
3.2.3.1	ผลกระทบจาก Layout Plant ระหว่าง Air Duct System กับ BAS.....	15
3.2.3.2	ผลกระทบจาก Layout Plant ระหว่าง Lighting System กับ BAS.....	15
3.2.3.3	ผลกระทบจากงานตกแต่งภายในกับ BAS.....	16
3.2.3.4	สรุปผลกระทบในการควบคุมระบบ HVAC ที่เกิดจากการติดตั้ง.....	16
3.3	แนวคิดการออกแบบระบบ HVAC โดยการเพิ่มจำนวนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ.....	18
3.4	โมเดลความผันแปรของอุณหภูมิที่นำเสนอ.....	22
3.4.1	การจำลองความผันแปรของอุณหภูมิโดยวิธี Monte Carlo.....	23
3.4.2	การประมาณค่าโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิ.....	25
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	26
4.1	กล่าวนำ.....	26
4.2	การทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์.....	26
4.2.1	การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด.....	26
4.2.2	การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด.....	29
4.2.3	การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด.....	32
4.2.4	การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด.....	34
4.2.5	วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์.....	37
4.2.6	สรุปผลการวิเคราะห์กรณีเพิ่มจำนวนเซนเซอร์.....	42
4.3	การทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่.....	42
4.3.1	การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 800 m ²	43
4.3.2	การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m ²	45
4.3.3	การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m ²	48
4.3.4	การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m ²	50
4.3.5	วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่.....	53
4.3.6	สรุปผลการวิเคราะห์กรณีเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่.....	53
4.4	การทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	53
4.4.1	การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.2	การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	56
4.4.3	การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	59
4.4.4	การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	61
4.4.5	วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์และ ตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	64
4.4.6	สรุปผลการวิเคราะห์กรณีเพิ่มจำนวนเซนเซอร์และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	64
4.5	การทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	65
4.5.1	การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 800 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	65
4.5.2	การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	68
4.5.3	การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	70
4.5.4	การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	73
4.5.5	วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	75
4.5.6	สรุปผลการวิเคราะห์กรณีเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	76
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการทำวิจัย.....	77
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	77
5.2	ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย.....	77
เอกสารอ้างอิง.....		79
ภาคผนวก.....		81
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....		82

ประวัติผู้เขียน..... 89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1	เซตของข้อมูลกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ ความผันแปรของอุณหภูมิที่พิกัดจุด x_i และ y_i37
4.2	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด ที่ได้จากการคำนวณด้วย สมการที่ 3.737
4.3	เซตของข้อมูลกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจาก ค่าความผันแปรของอุณหภูมิ ที่ได้จากการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB และจาก การคำนวณในสมการที่ 4.1 และ 4.238
4.4	สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์.....42
4.5	สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่.....53
4.6	สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์และ ตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....64
4.7	สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่และ ตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างระบบสาธารณูปโภคใน BAS	5
2.2 สถาปัตยกรรมทั่วไปของ BAS	5
2.3 รูปแบบการสื่อสารจากสถาปัตยกรรมทั่วไปของ BAS.....	7
2.4 การเดินสายสัญญาณสื่อสารในรูปแบบ Daisy Chain.....	7
2.5 การควบคุมเครื่องส่งลมเย็นในระบบ HVAC ด้วย BAS.....	10
3.1 แผนผังตัวอย่างสำหรับกรณีศึกษาที่มีการแบ่งพื้นที่ส่วนกลางออกเป็น 6 โซน.....	13
3.2 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องส่งลมเย็นและเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในพื้นที่จากแผนผังตัวอย่าง.....	14
3.3 พื้นที่ตัวอย่างโซน 5 จากแผนผังตัวอย่างสำหรับกรณีศึกษา.....	15
3.4 ตัวอย่างตำแหน่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอยู่ใกล้หัวจ่ายลม.....	16
3.5 ตัวอย่างตำแหน่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอยู่ใกล้โคมไฟ.....	17
3.6 ผลกระทบที่เกิดจากงานตกแต่งภายใน.....	17
3.7 แนวคิดการใช้เซนเซอร์ในสมาร์ตโฟนของผู้ที่อยู่ในเขตพื้นที่มาประมวลผลร่วมกับ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลักของระบบ HVAC ในรูปแบบโซนเดี่ยว.....	19
3.8 แนวคิดการใช้เซนเซอร์ในสมาร์ตโฟนของผู้ที่อยู่ในเขตพื้นที่มาประมวลผลร่วมกับ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลักของระบบ HVAC ในมุมมองหลายโซน.....	19
3.9 สถาปัตยกรรมระบบโดยรวมของระบบ HVAC ใน BAS ของอาคารพาณิชย์ร่วมกับ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด.....	20
3.10 แผนผังตัวอย่างที่มีการวัดอุณหภูมิหลายจุด.....	21
3.11 พื้นที่ตัวอย่างโซน 5 ที่มีการวัดอุณหภูมิหลายจุด.....	21
3.12 โครงสร้างระบบสำหรับการสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิ.....	22
3.13 แผนผังตัวอย่างสำหรับตำแหน่งการจำลองแบบ Monte Carlo.....	23
3.14 โมเดล Elliptic Paraboloid.....	24
4.1 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด.....	27
4.2 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด.....	28
4.3 ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด.....	28
4.4 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด.....	29
4.5 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด.....	30
4.6 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด.....	30
4.7 ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด.....	31
4.8 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด.....	31
4.9 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด.....	32
4.10 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด.....	33
4.12 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด.....	34
4.13 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด.....	35
4.14 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด.....	35
4.15 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด.....	36
4.16 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด.....	36
4.17 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับพื้นที่บนระนาบแนวแกน X กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด.....	39
4.18 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับพื้นที่บนระนาบแนวแกน Y กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด.....	40
4.19 ความแตกต่างของความผันแปรของอุณหภูมิระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองด้วย ซอฟต์แวร์ MATLAB และค่าที่ได้จากการคำนวณที่เกิดขึ้นกับพื้นที่บนระนาบแนวแกน X กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด.....	40
4.20 ความแตกต่างของความผันแปรของอุณหภูมิระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองด้วย ซอฟต์แวร์ MATLAB และค่าที่ได้จากการคำนวณที่เกิดขึ้นกับพื้นที่บนระนาบแนวแกน Y กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด.....	41
4.21 ค่าความผันแปรของอุณหภูมิตามเปอร์เซ็นต์ไทล์ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด.....	41
4.22 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m ²	43
4.23 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m ²	44
4.24 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m ²	44
4.25 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m ²	45
4.26 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m ²	46
4.27 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m ²	46
4.28 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m ²	47
4.29 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m ²	47
4.30 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m ²	48
4.31 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m ²	49
4.32 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m ²	49
4.33 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m ²	50
4.34 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m ²	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยเพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่เห็นไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.35 ผลการจำลองอนุทภูมิ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m ²	51
4.36 ความแตกต่างของอนุทภูมิระหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m ²	52
4.37 ความผันแปรของอนุทภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m ²	52
4.38 ผลการจำลองอนุทภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	54
4.39 ผลการจำลองอนุทภูมิ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	55
4.40 ความแตกต่างของอนุทภูมิระหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	55
4.41 ความผันแปรของอนุทภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	56
4.42 ผลการจำลองอนุทภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	57
4.43 ผลการจำลองอนุทภูมิ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	57
4.44 ความแตกต่างของอนุทภูมิระหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	58
4.45 ความผันแปรของอนุทภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	58
4.46 ผลการจำลองอนุทภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	59
4.47 ผลการจำลองอนุทภูมิ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	60
4.48 ความแตกต่างของอนุทภูมิระหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	60
4.49 ความผันแปรของอนุทภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	61
4.50 ผลการจำลองอนุทภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	62
4.51 ผลการจำลองอนุทภูมิ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	62
4.52 ความแตกต่างของอนุทภูมิระหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.53 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	63
4.54 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	66
4.55 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	66
4.56 ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	67
4.57 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	67
4.58 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	68
4.59 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	69
4.60 ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	69
4.61 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	70
4.62 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	71
4.63 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	71
4.64 ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	72
4.65 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	72
4.66 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	73
4.67 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	74
4.68 ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	74
4.69 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m ² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ค่าความผันแปรของอุณหภูมิในพื้นที่ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่ได้ ซึ่งการเพิ่มจุดวัดอุณหภูมิหลายจุดในพื้นที่จะทำให้มีข้อมูลของอุณหภูมิอ้างอิงมากขึ้นและอาจจะใกล้เคียงกับโหลดความร้อนจริงที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ให้มากที่สุด แล้วสามารถนำข้อมูลนั้นมาช่วยปรับปรุงกระบวนการควบคุมการทำงานของเครื่องส่งลมเย็นในระบบ HVAC เพื่อสร้างสภาวะความสบายเชิงความร้อนในสภาวะแวดล้อมของพื้นที่ให้อยู่ในสภาวะความสบายที่สุดแก่ผู้ที่อยู่ในพื้นที่ และเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานในส่วนที่ไม่จำเป็นซึ่งจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้

1.3 การนำเสนอหลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้้นำโมเดลทางคณิตศาสตร์และการจำลองแบบ Monte Carlo มาใช้เพื่อประเมินค่าความแปรผันของอุณหภูมิในระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงแนวคิดการผสมผสานการทำงานร่วมกันระหว่างระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติและการสร้างโมเดลข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุดสำหรับช่วยในการปรับปรุงการทำงานของเครื่องส่งลมเย็น ในระบบ HVAC ซึ่งระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติแบบดั้งเดิมจะมีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในพื้นที่เพียงตัวเดียวต่อ 1 โชนควบคุมสำหรับการควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่ส่วนกลางของเครื่องส่งลมเย็น ในการปรับปรุงนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มจุดในการวัดอุณหภูมิให้กับอุปกรณ์ควบคุมของกระบวนการควบคุมเครื่องส่งลมเย็น จากผู้ที่เข้ามาใช้บริการในพื้นที่จะได้มีส่วนร่วมในการส่งข้อมูลอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะนั้นให้กับระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ เพื่อนำไปประมวลผลร่วมกับระบบ HVAC เดิมได้เสมือนเป็นการเพิ่มจำนวนเซนเซอร์ให้กับระบบ HVAC แบบหลายจุด วิธีนี้จะเป็นการลดข้อจำกัดในการใช้เซนเซอร์เพียงตัวเดียวรักษาอุณหภูมิในแต่ละโซน โดยไม่มีค่าใช้จ่าย และสามารถทำให้ระบบ HVAC สามารถรับรู้ข้อมูลในพื้นที่ได้หลายจุดด้วยการบูรณาการใหม่ การสร้างโมเดลนี้เป็นประโยชน์ในการสร้างเทคโนโลยีการควบคุมเพื่อตอบสนองความต้องการความสะดวกสบายของผู้ที่อยู่ในพื้นที่ ในขณะที่ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานและการใช้พลังงานของระบบ HVAC อย่างเต็มรูปแบบ

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอการนำโมเดลทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการประเมินค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปรับอากาศ จากแผนผังที่นำมาเป็นกรณีศึกษาของอาคารศูนย์การค้าแห่งหนึ่งในประเทศไทย จากพื้นที่ใช้งานจริงที่จะมีการแบ่งพื้นที่สำหรับกระบวนการปรับอากาศออกเป็นโซน ซึ่งในแต่ละโซนนั้นจะมีกระบวนการควบคุมการปรับอากาศด้วยวิธีเดียวกัน จากนั้นเลือกมาหนึ่งโซนเพื่อนำมาศึกษา เพื่อออกแบบระบบสำหรับการรองรับข้อมูลของอุณหภูมิที่ได้จากเซนเซอร์แบบหลายจุด เพื่อจะผสมผสานการทำงานร่วมกับระบบ HVAC เดิม ในการทดลองโดยการจำลองอุณหภูมิจากเซนเซอร์หลักของระบบที่ควบคุมการทำงานของเครื่องส่งลมเย็นในระบบ HVAC และจำลองอุณหภูมิจากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามา เพื่อหาค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่ โดยจะใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้นโดยวิธีการจำลองแบบ Monte Carlo ด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ การนำเสนอหลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของการวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึง หลักการพื้นฐานของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ การควบคุมระบบ HVAC และวิธีการจำลองแบบ Monte Carlo

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึง ผลกระทบในการควบคุมระบบ HVAC นำเสนอแนวคิดในการช่วยปรับปรุงการควบคุมระบบ HVAC นำเสนอการสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิจากการเพิ่มจำนวนเซนเซอร์ด้วยการจำลองแบบ Monte Carlo พร้อมกับการประมาณค่าโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิที่นำเสนอ

บทที่ 4 เป็นการกล่าวถึง การทดลองในสถานะการณ์จำลองต่าง ๆ และวิเคราะห์ผลจากการทดลอง

บทที่ 5 เป็นบทสุดท้ายที่กล่าวถึง บทสรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัย

ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงความหมายของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ โดยจะอธิบายถึงโครงสร้างและหลักการดำเนินงานพื้นฐาน รูปแบบในการสื่อสาร และเทคโนโลยีในปัจจุบันของระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ ซึ่งจะมีระบบ HVAC เป็นส่วนหนึ่งในหลายระบบที่ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติดูแลอยู่ และอธิบายถึงหลักการดำเนินงานการควบคุมระบบ HVAC วิธีที่ใช้ในการควบคุม และการจำลองแบบ Monte Carlo

2.2 ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ (BAS) [1-3]

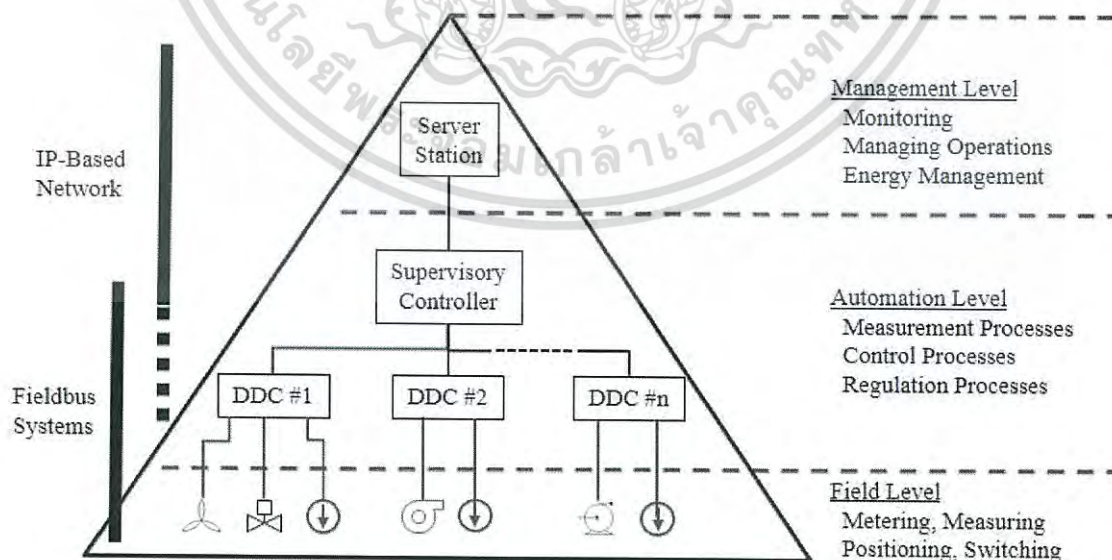
คำว่า BAS ย่อมาจาก Building Automation System ให้ความหมายว่า เป็นระบบควบคุมที่มีความสามารถในการบริหารจัดการกับอุปกรณ์ภายในอาคารได้อย่างอัตโนมัติ หรือรู้จักกันในชื่อ BMS ย่อมาจาก Building Management System ซึ่งคำสองคำนี้กล่าวถึงระบบศูนย์กลางในการควบคุมสาธารณูปโภคและสภาพแวดล้อมภายในอาคาร เพื่อความสะดวกสบาย ความปลอดภัย ของผู้ที่อาศัยอยู่ภายในอาคาร และช่วยในการจัดการด้านการใช้พลังงานของอาคารอย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ หรือ BAS นั้นเป็นระบบที่ได้รวมการเชื่อมต่อของแต่ละระบบภายในอาคารเข้าด้วยกัน เช่น ระบบการทำความร้อน ระบบการระบายอากาศ และระบบการปรับอากาศ (HVAC) ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบอุปกรณ์กันแดด (Lighting and Window Shading) ระบบรักษาความปลอดภัยและระบบควบคุมการผ่านเข้า-ออกพื้นที่ (Security and Access Control) ระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย (Fire Alarm) เป็นต้น นอกจากนี้ BAS ยังมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนโปรแกรมต่าง ๆ เพื่อให้ตรงกับข้อกำหนดในแต่ละอุปกรณ์และแต่ละพื้นที่ตามความต้องการของผู้ใช้งานหรือเจ้าหน้าที่ที่เป็นผู้ดูแลระบบ เช่น การกำหนดเวลาการทำงานของอุปกรณ์ล่วงหน้าเพื่ออำนวยความสะดวกในการสั่งงานอุปกรณ์หลาย ๆ อุปกรณ์ในเวลาเดียวกัน การเก็บบันทึกข้อมูลหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับระบบเพื่อช่วยประเมินการทำงานของระบบและช่วยในการกำหนดเวลาของการซ่อมบำรุงเครื่องจักรในระบบได้อีกด้วย การแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุผิดปกติกับอุปกรณ์ภายในระบบเพื่อช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถปฏิบัติการแก้ไขปัญหาที่เกิดกับอุปกรณ์ที่เกิดความผิดปกติได้ทันทั่วทั้งที่ และการเฝ้าสังเกตการณ์โดยเป็นศูนย์กลางรวมในการติดตามสถานะการทำงานของอุปกรณ์ภายในระบบให้ง่ายขึ้น โดยยกตัวอย่างระบบสาธารณูปโภคภายในอาคารที่อยู่ภายใต้การควบคุมด้วย BAS ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สนใจศึกษาการทำงานของระบบปรับอากาศส่วนกลางหรือ HVAC ในระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างระบบอาคารภูมิปัญญาใน BAS

2.2.1 โครงสร้างและหลักการพื้นฐานของ BAS

สถาปัตยกรรมทั่วไปของ BAS สามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ระดับ ตามฟังก์ชันการทำงานของระบบ ประกอบด้วย ระดับปฏิบัติการ (Field Level) ระดับควบคุม (Automation Level) และระดับการจัดการ (Management Level) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรมทั่วไปของ BAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับปฏิบัติการ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานรวมถึงเซ็นเซอร์และแอคชูเอเตอร์ ที่ถูกติดตั้งสำหรับการวัดปริมาณทางไฟฟ้า การวัดค่าข้อมูลของสิ่งแวดล้อม การควบคุมตำแหน่ง และการสั่งเปิด-ปิด การทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ถูกควบคุมด้วย BAS โดยอุปกรณ์ในระดับนี้จะสื่อสารซึ่งกันและกัน หรือสื่อสารกับอุปกรณ์ภายในระดับชั้นที่สูงกว่าได้โดยผ่านการส่งข้อมูลแบบแอนะล็อกหรือดิจิทัลด้วย Fieldbus Systems

ระดับควบคุมอัตโนมัติ การควบคุมอัตโนมัติรวมถึงทุกลำดับของการดำเนินการที่เป็นอิสระถูกกำหนดให้อยู่ในระดับนี้ จะทำงานบนข้อมูลที่ได้จากระดับปฏิบัติการ โดยการสร้างการควบคุมเชิงตรรกะและลูปควบคุม ซึ่งในระดับควบคุมอัตโนมัตินี้มีตัวควบคุม 2 แบบที่ใช้สำหรับการวัด การควบคุม และ กระบวนการควบคุม คือ Field-Level Controller และ System-Level Controller

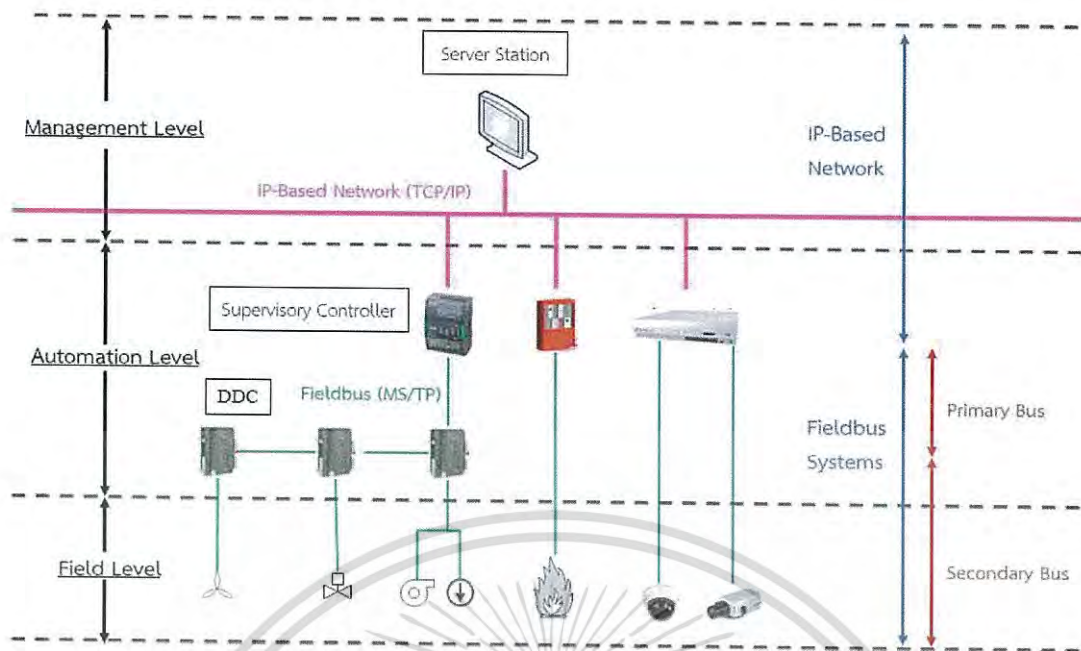
- Field-Level Controller เช่น Direct Digital Controllers (DDCs) มักใช้เพื่อควบคุมและกำหนดรูปแบบการทำงานของระบบต่าง ๆ เช่น ระบบปรับอากาศส่วนกลาง ระบบขนส่งส่วนกลาง ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบรักษาความปลอดภัย และระบบสัญญาณเตือนอัคคีภัย เป็นต้น เป็นที่เก็บชุดโปรแกรมควบคุมโดยตรง ซึ่งอาจปรับแต่งโปรแกรมได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยคุณลักษณะของโปรแกรมจะประกอบด้วย ตารางเวลา ตัวจับเวลา ตัวประมวลผล การตั้งค่าที่กำหนดตรรกะ และสัญญาณเตือน

- System-Level Supervisory Controller เป็นอุปกรณ์ประมวลผลหลัก ภายในจะมีหน่วยความจำอยู่ค่าหนึ่งทำหน้าที่จัดเก็บฐานข้อมูลของตัวระบบ โดยทั่วไปจะใช้สื่อสารกับ DDCs หรืออุปกรณ์ปฏิบัติการ ทั้งหมดที่ถูกเชื่อมต่อภายใต้ Supervisory Controller นี้ เพื่อดำเนินการควบคุมอาคารโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้หากการสื่อสารระหว่าง Supervisory Controller กับระดับชั้นที่สูงกว่าขาดการเชื่อมต่อกัน อุปกรณ์ Supervisory Controller จะยังสามารถทำงานได้ด้วยตัวเองเพียงลำพังโดยอาศัยหน่วยความจำภายใน

ระดับบริหารจัดการ มีชุดคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง (Server Station) ไม่เพียงแต่เป็นศูนย์กลางเครือข่ายการเชื่อมต่อของ Supervisory Controllers แต่ยังเป็นศูนย์กลางในการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมาก สำหรับประวัติการทำงานของระบบ เหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบ และสัญญาณเตือนภัยที่เกิดขึ้นกับระบบ นอกจากนี้ระดับบริหารจัดการยังประกอบด้วยชุดคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Operator Workstation) สำหรับติดต่อสื่อสารกับผู้ดูแลระบบเพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถบริหารจัดการกับระบบได้ เช่น การเขียนโปรแกรมระบบปฏิบัติการ การรายงานข้อมูลของระบบ และการตั้งเวลาให้กับระบบ

2.2.2 รูปแบบการสื่อสารใน BAS

รูปแบบการสื่อสารใน BAS สามารถแบ่งรูปแบบการสื่อสารได้ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การสื่อสารในรูปแบบ Fieldbus System และ การสื่อสารในรูปแบบ IP-Based Network ดังแสดงรูปแบบการสื่อสารจากสถาปัตยกรรมทั่วไปของ BAS ได้ดังรูปที่ 2.3

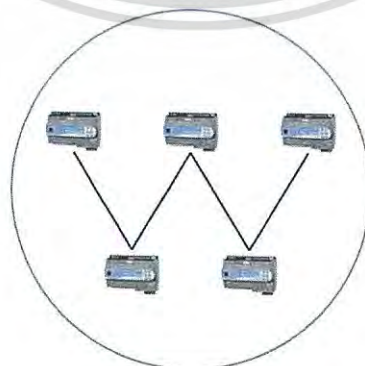


รูปที่ 2.3 รูปแบบการสื่อสารจากสถาปัตยกรรมทั่วไปของ BAS

2.2.2.1 การสื่อสารในรูปแบบ Fieldbus System

การสื่อสารในรูปแบบนี้สามารถอธิบายได้ 2 รูปแบบคือบัสหลัก (Primary Bus) และ บัสรอง (Secondary Bus)

การสื่อสารรูปแบบบัสหลัก เป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมในระดับสูง คือ เป็นการสื่อสารกันภายในระดับควบคุมอัตโนมัติ เช่น การสื่อสารระหว่าง Supervisory Controller กับ DDCs หรือ ระหว่าง DDC กับ DDC ด้วยกันเอง จะอยู่ในรูปแบบเอ็มเอส/ทีพี (Master-Slave/Token-Passing: MS/TP) เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ โดยใช้ EIA-485 หรือ RS-485 สายคู่บิด เป็นมาตรฐานขั้นต่ำคุณภาพ สำหรับการรับส่งข้อมูล ในการเดินสายสัญญาณสื่อสาร จะติดตั้งในรูปแบบ Daisy Chain หมายความว่า มีสายหลักเพียงเส้นเดียวและอุปกรณ์ในเครือข่ายทุกตัวจะเชื่อมต่อแบบขนานไปพร้อม ๆ กัน แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเดินสายสัญญาณสื่อสารในรูปแบบ Daisy Chain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารรูปแบบบัสรอง เป็นการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมในส่วนที่ต่ำกว่าคือ เป็นการสื่อสารกันระหว่างระดับควบคุมอัตโนมัติกับระดับปฏิบัติการ เช่น การสื่อสารระหว่าง DDC กับ เซนเซอร์ และแอกชูเอเตอร์ เป็นต้น ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของสายสัญญาณแอนาล็อกหรือดิจิทัล เช่น Thermistor, 4-20 mA, 0-10 VDC หรือ หน้าสัมผัส เป็นต้น

2.2.2.2 การสื่อสารในรูปแบบ IP-Based Network

การสื่อสารในรูปแบบ IP-Based Network จัดว่าเป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมในระดับสูง คือ เป็นการสื่อสารระหว่างระดับบริหารจัดการกับระดับควบคุมอัตโนมัติ เช่น การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางกับ Supervisory Controller จะอยู่ภายใต้รูปแบบ IP-based Network ที่ซีพี/ไอพี (Transmission Control Protocol/Internet Protocol: TCP/IP) เป็นโปรโตคอลที่มักใช้ในการสื่อสารกับโครงสร้างพื้นฐานอินเทอร์เน็ต บนเครือข่ายวีแลน (Virtual Local Area Network: VLAN) และแวน (Wide Area Network: WAN) ใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ โดยการข้ามเครือข่ายได้และสามารถหาเส้นทางที่จะส่งข้อมูลไปเองได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งอุปกรณ์จะเชื่อมต่อโดยตรงกับอีเทอร์เน็ตสวิตช์ (Ethernet Switches) หรือฮับ (Hub) เป็นโปรโตคอลที่อยู่ในชั้นการขนส่ง (Transport Layer) เมื่อเทียบกับโมเดล OSI เช่นเดียวกับยูดีพี (User Datagram Protocol: UDP) ทำหน้าที่จัดการและควบคุมการรับส่งข้อมูล

2.2.3 เทคโนโลยีในปัจจุบันของ BAS

ปัจจุบัน BAS นิยมใช้โปรโตคอล BACnet (Building Automation and Control network) สำหรับการสื่อสารกันภายในระบบรวมถึงการสื่อสารกับอุปกรณ์ของผลิตภัณฑ์อื่น โปรโตคอล BACnet กำหนดจำนวนของบริการ (Service) ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในอาคาร ได้แก่ Who-is, I-Am, Who-Has, I-Have เป็นต้น ซึ่งใช้สำหรับการค้นหาอุปกรณ์และการบริการด้านข้อมูลอื่น ๆ เช่น การอ่านคุณสมบัติ (Read-Property) การเขียนคุณสมบัติ (Write-Property) การแชร์ข้อมูล เป็นต้น ซึ่งโปรโตคอล BACnet จะมีทั้งที่เป็น BACnet/IP และ BACnet MS/TP เป็นส่วนประกอบด้วย ซึ่งในปัจจุบัน BAS จะเน้นเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่จะควบคุมโดยตรง ไม่ว่าจะเป็น IP-Based Network หรือ MS/TP มีข้อดีคือ เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับการเดินท่อร้อยสายจำนวนมากโดยจะเหลือไว้เพียงแค่สายสื่อสารเท่านั้น และลดจำนวนการใช้ DDCs ลงซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบตอนเริ่มต้นโครงการ

2.3 ระบบ HVAC [4-6]

BAS ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสาธารณูปโภคภายในอาคารซึ่งมีระบบ HVAC รวมอยู่ด้วย ระบบ HVAC กล่าวถึงระบบควบคุมการทำงานทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศ ปัจจุบันระบบ HVAC ซึ่งเป็นระบบปรับอากาศซึ่งดูแลเรื่องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคาร การจัดหาอากาศภายนอกเพื่อระบายอากาศ การกรองอากาศ ช่วยทำให้อากาศในพื้นที่เกิดการไหลเวียน HVAC ประกอบด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้

- การทำความร้อน คือ การเพิ่มความร้อนให้อากาศโดยมีจุดประสงค์เพื่อรักษา อุณหภูมิในพื้นที่ควบคุม

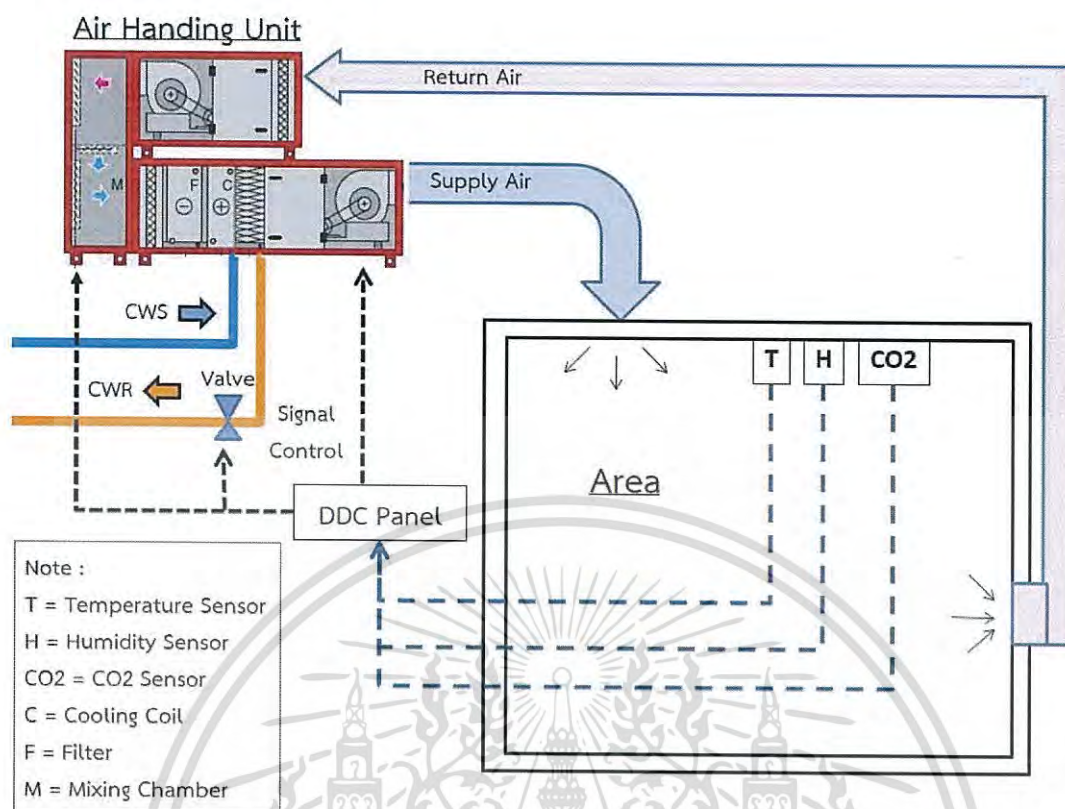
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การระบายความร้อน คือ การกำจัดความร้อนออกจากอากาศโดยมีจุดประสงค์เพื่อรักษาอุณหภูมิในพื้นที่ควบคุม
- การควบคุมความชื้น คือ การเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับอากาศ และการกำจัดความชื้นออกจากอากาศมีจุดประสงค์เพื่อรักษาความชื้นในพื้นที่ควบคุม
- การระบายอากาศ คือ เปลี่ยนอากาศภายในด้วยอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเพื่อรักษาคุณภาพอากาศในพื้นที่ควบคุม
- การฟอกอากาศ คือ การกำจัดฝุ่นและอนุภาคอื่น ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาคุณภาพอากาศในพื้นที่ควบคุม
- การไหลเวียนของอากาศ คือ การไหลเวียนและการผสมของอากาศโดยมีจุดประสงค์เพื่อรักษาอุณหภูมิ ความชื้น และคุณภาพของอากาศ

การควบคุม HVAC ที่ดีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยการใช้ข้อมูลเกี่ยวกับเงื่อนไขความสบายเชิงความร้อนของผู้ที่อาศัยอยู่ในอาคาร รวมถึงข้อมูลของเซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่

2.3.1 การควบคุมระบบ HVAC ด้วย BAS

โดยปกติแล้วอาคารพาณิชย์ที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่จะทำการควบคุมสถานะของอากาศภายในอาคารด้วยวิธีการการแบ่งโซนในการควบคุมการปรับอากาศของพื้นที่ออกเป็นหลายโซน ซึ่งสถานะอากาศที่เหมาะสมในแต่ละโซนจะถูกควบคุมด้วย DDCs เซนเซอร์ และแอกชูเอเตอร์ เป็นต้น โดยจะมีเครื่องส่งลมเย็น เป็นส่วนหนึ่งของระบบ HVAC ซึ่งจะทำหน้าที่ระบายความร้อน ควบคุมความชื้น ฟอกอากาศ และทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศในพื้นที่ที่เหมาะสม เบื้องต้นเครื่องส่งลมเย็นจะทำการปรับอากาศ และทำการส่งอากาศที่ปรับแล้วเข้าไปยังพื้นที่ ทั้งนี้อากาศจะถูกทำให้เย็นลงด้วยคอยล์ทำความเย็น และจะทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศที่มากหรือน้อยด้วยรอบการหมุนของมอเตอร์ใบพัด เพื่อให้ค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในพื้นที่เป็นไปตามค่าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งในพื้นที่จะมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งมายัง DDC เพื่อประมวลผลการทำงานของวาล์วน้ำเย็นและความเร็วรอบของมอเตอร์ ทำให้อากาศที่ถูกผลิตออกมามีค่าอุณหภูมิและความชื้น เข้าใกล้หรือเท่ากับค่าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ และเครื่องส่งลมเย็นจะทำการเติมอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาผสมกับอากาศภายในที่ห้องผสม ซึ่งภายในห้องผสมจะมีบาน เปิด-ปิด สำหรับควบคุมอัตราส่วนระหว่างอากาศที่หมุนเวียนกลับมาใช้อากาศใหม่จากภายนอกและอากาศที่ต้องระบายทิ้ง หากคุณภาพอากาศในพื้นที่ภายในอาคารลดลง กล่าวคือ มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งในพื้นที่จะมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยข้อมูลชุดนี้จะถูกส่งมายัง DDC เพื่อประมวลผลสำหรับควบคุมการทำงานของบาน เปิด-ปิด เพื่อเติมอากาศบริสุทธิ์จนมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ควบคุมน้อยกว่าค่าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ สามารถอธิบายการทำงานของเครื่องส่งลมเย็นได้จากรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การควบคุมเครื่องส่งลมเย็นในระบบ HVAC ด้วย BAS

2.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมเครื่องส่งลมเย็นในระบบ HVAC ด้วย BAS

เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมเครื่องส่งลมเย็นในระบบ HVAC ด้วย BAS จะแบ่งออกเป็น ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งในส่วนฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย เซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ (ทำหน้าที่เป็นอินพุตให้ระบบ) อุปกรณ์ปลายทางสำหรับรับคำสั่งควบคุม (ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตให้ระบบ) และอุปกรณ์ควบคุม (ทำหน้าที่เป็นสมองให้ระบบ) เป็นต้น ในส่วนซอฟต์แวร์จะใช้เป็นชุดควบคุมโดยจะจำแนกตามลักษณะของการใช้งานได้เป็น 2 ลักษณะคือ การควบคุมแบบ PID และการควบคุมแบบ ON-OFF

2.3.2.1 การควบคุมแบบ PID ในระบบ HVAC ด้วย BAS

การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative: PID) ใน BAS เป็นการควบคุมการกระทำของเอาต์พุตที่ควบคุมบนพื้นฐานของการรับรู้ข้อมูล และควบคุมค่าที่กำหนดไว้ ในการควบคุมอาจจะมีการแสดงผลโดยตรง และแสดงผลย้อนกลับ นอกจากนี้ยังสามารถปรับการอ้างอิงเอาต์พุต และลักษณะการได้ระดับการทำงานเริ่มต้น การควบคุมแบบ PID นี้เป็นการควบคุมที่พยายามรักษาค่าตัวแปรกระบวนการให้มีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้อยู่ตลอดเวลา ถือเป็น การช่วยลดความแปรปรวนของค่าตัวแปรกระบวนการ และทำให้ค่าโอเวอร์ชูต (Overshoot) ลดลง เช่น การควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่สำหรับการทำงานของเครื่องส่งลมเย็น โดยมีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเป็นอินพุตให้กับระบบ และมีวาล์วน้ำเย็นเป็นเอาต์พุตของระบบ ทำงานด้วยวิธีควบคุมตำแหน่งช่วงของการ เปิด-ปิด ของวาล์วน้ำเย็น เพื่อรักษาอุณหภูมิของระบบให้เท่ากับอุณหภูมิที่กำหนดเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 การควบคุมแบบ ON-OFF ในระบบ HVAC ด้วย BAS

การควบคุมแบบเปิด-ปิด (ON-OFF) ใน BAS ให้การควบคุมเอาต์พุตในลักษณะสั่งงานแบบ เปิด หรือ ปิด ได้ 2 ตำแหน่ง ด้วยความแตกต่างของอินพุต (Hysteresis) เอาต์พุตสามารถกำหนดให้แสดงผลโดยตรง และแสดงผลกลับทาง เช่น การควบคุมก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ภายในอาคารจอตลอดชั้น ใต้ดิน โดยพัดลมระบายอากาศจะถูกตั้งค่าให้ทำงานเมื่อใดก็ตามที่มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในพื้นที่สูงขึ้นหรือสูงกว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่กำหนดไว้ ระบบ HVAC จะสั่งให้พัดลมระบายอากาศทำงานจนกว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงจนต่ำกว่าค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่กำหนดไว้ พัดลมระบายอากาศถึงจะหยุดการทำงาน

2.4 การจำลองแบบ Monte Carlo [7]

วิธีของ Monte Carlo เป็นการจำลองพฤติกรรมของระบบทางฟิสิกส์และทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ และการคำนวณอื่น ๆ วิธีการจำลองนี้จะแตกต่างจากวิธีการจำลองแบบอื่น ๆ โดยการสุ่มซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่แน่นอน ในลักษณะบางอย่างโดยปกติจะใช้ตัวเลขสุ่ม (ในทางปฏิบัติตัวเลขสุ่มหลอก) ในทางตรงกันข้ามกับอัลกอริทึม Deterministic เนื่องจากการทำซ้ำของอัลกอริทึมและการคำนวณจำนวนมากที่เกี่ยวข้อง Monte Carlo เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์โดยใช้เทคนิคการจำลองคอมพิวเตอร์จำนวนมาก Monte Carlo เป็นกระบวนการหาคำตอบสำหรับสมการที่ยาก ๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ข้อมูลสุ่ม เป็นการคำนวณระบบที่มีความไม่แน่นอนสูงหรือคำนวณได้ยาก ความน่าเชื่อถือของ Monte Carlo อยู่ที่หากมิติของปัญหามีมากขึ้น Monte Carlo จะยังมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบดีขึ้นในขณะที่วิธีการหาคำตอบแบบเดิมจะยังมีความผิดพลาดมากขึ้น

อัลกอริทึม Monte Carlo มักเป็นวิธีการแบบตัวเลข Monte Carlo ที่ใช้ในการค้นหาแนวทางแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (ซึ่งอาจมีหลายตัวแปร) ที่ไม่สามารถแก้ไขได้ง่ายตัวอย่างเช่น แคลคูลัสหรือวิธีเชิงตัวเลขอื่น ๆ สำหรับปัญหาหลายประเภทความมีประสิทธิภาพเทียบกับวิธีเชิงตัวเลขอื่น ๆ จะเพิ่มขึ้นเมื่อมิติของปัญหาเพิ่มขึ้น หรืออาจเป็นวิธีการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ ที่ขึ้นอยู่กับจำนวนสุ่ม

การจำลองคือการเป็นตัวแทนของความเป็นจริงวิธี Monte Carlo เป็นเทคนิคที่สามารถใช้แก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์หรือทางสถิติ และการจำลอง Monte Carlo ใช้การสุ่มตัวอย่างซ้ำ ๆ เพื่อกำหนดคุณสมบัติของปรากฏการณ์บางอย่างหรือพฤติกรรม วิธี Monte Carlo มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านวิศวกรรมสำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงและการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเชิงปริมาณ ในการออกแบบกระบวนการ ความต้องการที่เกิดขึ้นจากการโต้ตอบพฤติกรรมเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นของการจำลองกระบวนการทั่วไป

การสร้างโมเดล

1. สังเกตระบบจริงและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบและการเก็บรวบรวมข้อมูล
2. โครงสร้างของการสร้างโมเดล จะเป็นโมเดลของแนวความคิด ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อตกลงเบื้องต้น บนองค์ประกอบของโครงสร้างของระบบ รวมทั้งข้อสมมติฐานบนค่าของโมเดลของข้อมูล
3. ให้รหัสของระบบปฏิบัติการของโมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์

การสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ นั้นเทคนิคหนึ่งที่ใช้คือสถิติเป็นเทคนิคที่ใช้ดูหรือหาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของตัวแปร ซึ่งเทคนิคที่นิยมใช้ คือ Monte Carlo เป็นแนวคิดพื้นฐานในระบบการจำลองที่ประกอบด้วยความน่าจะเป็น และเป็นเทคนิคในการสร้าง

1. ข้อมูลโดยใช้ตัวเลขสุ่มและความน่าจะเป็นสะสม
2. ตัวเลขสุ่ม อาจได้จากตารางเลขสุ่ม โปรแกรมคอมพิวเตอร์
3. ค่าความน่าจะเป็นสะสม เป็นความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลที่ต้องการอาจได้จากการทดลองหรือทราบจากลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็น

ขั้นตอนของเทคนิค

1. สร้างกราฟหรือตารางความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลที่ต้องการ
2. เลือกตัวเลขสุ่ม ใส่จุดทศนิยมเพื่อให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ใช้แทนค่าความน่าจะเป็นสะสม
3. อ่านค่าของข้อมูลจากกราฟหรือตาราง ซึ่งค่าที่ได้นี้คือค่าของข้อมูลที่ต้องการ

ดังนั้นในการออกแบบของโมเดล จะใช้ข้อมูลโดยตรงเป็นการทำที่สามารถทำซ้ำได้ในเทคนิค Monte Carlo มีประสิทธิภาพมากในการใช้กับคอมพิวเตอร์ และเก็บข้อมูลที่ใช้ในทฤษฎีของการแจกแจงความน่าจะเป็น และเป็นการง่ายที่จะเปลี่ยนพารามิเตอร์ของทฤษฎีการแจกแจง โดยทั่วไปเชื่อว่าจะมีประโยชน์มากถ้ามีการใช้ทฤษฎีการแจกแจง



บทที่ 3

การสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิที่นำเสนอ

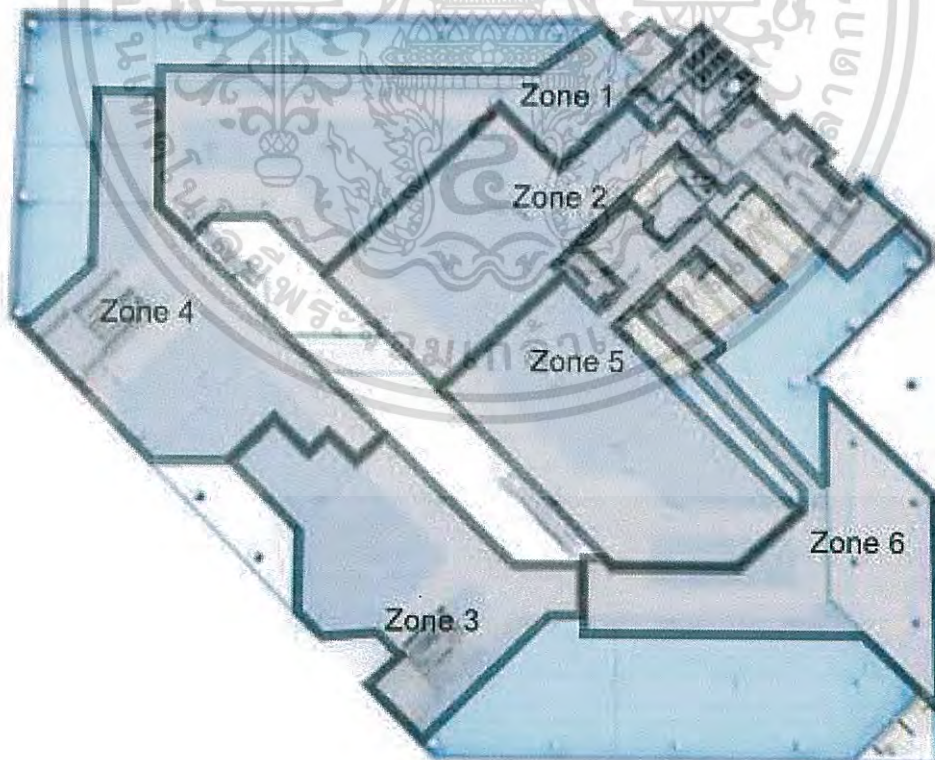
3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบ HVAC ในอาคารศูนย์การค้าที่เป็นกรณีศึกษา โดยมีแบบแผนผังของอาคาร ระบบ HVAC ที่มีการติดตั้ง ปัญหา และผลกระทบที่เกิดขึ้นในกรณีศึกษา การนำเสนอโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิมบนพื้นฐานของการจำลองแบบ Monte Carlo โดยมีการนำเสนอแนวคิดในการช่วยปรับปรุงการควบคุมระบบ HVAC รวมถึงรูปแบบของโมเดลความผันแปรที่นำเสนอและการจำลองแบบ Monte Carlo สำหรับกรณีศึกษา และการประมาณค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากโมเดลที่นำเสนอ

3.2 ระบบ HVAC ในอาคารศูนย์การค้าที่เป็นกรณีศึกษา

3.2.1 แผนผังของอาคารศูนย์การค้าที่เป็นกรณีศึกษา

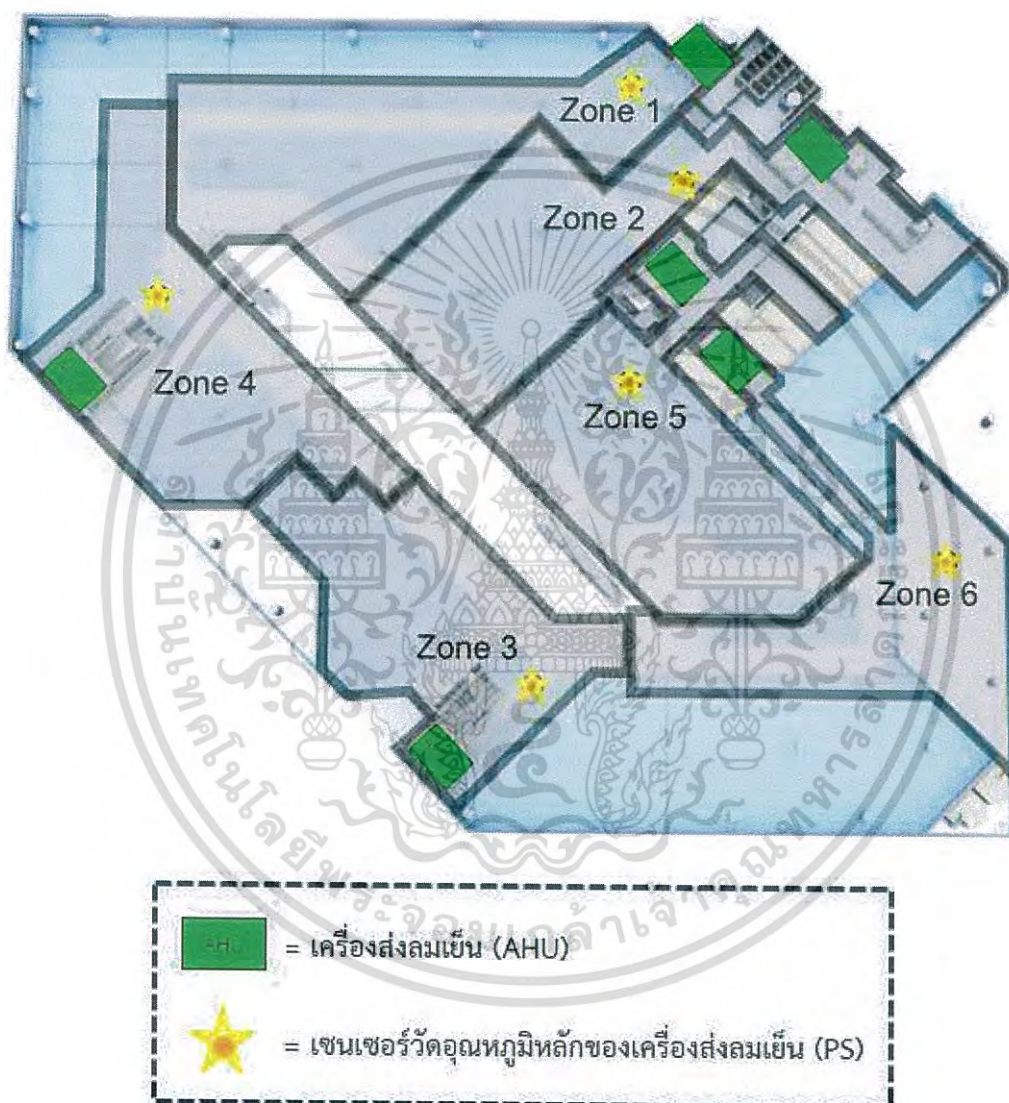
ในกรณีศึกษานี้ได้ใช้อาคารศูนย์การค้าแห่งหนึ่งในประเทศไทยมาเป็นกรณีศึกษา อาคารแห่งนี้มีขนาดพื้นที่ต่อชั้นเท่ากับ $6,500 \text{ m}^2$ โดยจะมีการแบ่งพื้นที่ส่วนกลางสำหรับปรับอากาศด้วยระบบ HVAC ออกเป็น 6 โซน แสดงดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.1 แผนผังตัวอย่างสำหรับกรณีศึกษาที่มีการแบ่งพื้นที่ส่วนกลางออกเป็น 6 โซน ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ระบบ HVAC ที่มีการติดตั้งในแผนผังของอาคารศูนย์การค้าที่เป็นกรณีศึกษา

สำหรับพื้นที่ปรับอากาศส่วนกลางนั้นจัดว่าเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ในแผนผังตัวอย่างนี้จึงมีการจัดแบ่งพื้นที่ออกสำหรับควบคุมอากาศของระบบ HVAC ออกเป็น 6 โซน ซึ่งในแต่ละโซนจะประกอบด้วยเครื่องส่งลมเย็นและเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ โซนละ 1 ชุด โดยใช้สัญลักษณ์ กล่องสี่เหลี่ยมสีเขียวแทน เครื่องส่งลมเย็น และดาวสีเหลืองแทนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ถูกติดตั้งในพื้นที่ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องส่งลมเย็นและเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในพื้นที่จากแผนผังตัวอย่าง

เนื่องจากรูปแบบการควบคุมการปรับอากาศในแต่ละโซนมีรูปแบบการทำงานที่เหมือนกันดังนั้นภายในการศึกษานี้จึงยกตัวอย่างพื้นที่ปรับอากาศของโซน 5 ที่มีขนาดพื้นที่ 607.5 m² นำมาเป็นตัวอย่างในการศึกษานี้ แสดงดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 พื้นที่ตัวอย่างโซน 5 จากแผนผังตัวอย่างสำหรับกรณีศึกษา

3.2.3 ผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้งต่อการควบคุมระบบ HVAC

ผลกระทบในการควบคุมระบบ HVAC คือผลกระทบที่ส่งผลให้ผลลัพธ์ของกระบวนการควบคุมระบบ HVAC ออกมาผิดเพี้ยนกับความเป็นจริง นั้นหมายถึงสิ่งที่ทำให้การรับรู้ของระบบ HVAC ผิดเพี้ยนไปนั่นเอง กล่าวคือ ถ้าอินพุตที่เข้ามายังระบบประมวลผลผิดเพี้ยน ส่งผลให้การควบคุมเอาต์พุตของระบบผิดเพี้ยนจากความต้องการที่แท้จริงตามไปด้วยนั่นเอง ซึ่งในแผนผังที่ได้นำมาศึกษานี้มีปัจจัยที่เป็นผลกระทบในการควบคุมระบบ HVAC คือ ผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้ง

ผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้ง คือ ตำแหน่งในการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม กล่าวถึงการออกแบบในการสร้างอาคาร สำหรับงานระบบผู้ออกแบบจะมีการกำหนดแผนรูปแบบ (Layout Plan) ของแต่ละระบบออกมา เช่น แผนรูปแบบของระบบส่งลมเย็น (Air Duct System Layout Plan) แผนรูปแบบตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ ของ BAS (BAS Layout Plan) และแผนรูปแบบของระบบแสงสว่าง (Lighting System Layout Plan) เป็นต้น เมื่อระบบในส่วนต่าง ๆ ที่ได้รับการออกแบบนำมาติดตั้งจริงตามแบบของแต่ละระบบแล้วทำให้การอ่านค่าของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิไม่ตรงกับค่าอุณหภูมิจริงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ ยกตัวอย่างผลกระทบจากการติดตั้งได้ 3 ตัวอย่าง คือ ผลกระทบที่เกิดจากแผนรูปแบบระหว่างระบบส่งลมเย็นกับระบบ BAS ระบบแสงสว่างกับระบบ BAS และงานตกแต่งภายในกับระบบ BAS เป็นต้น

3.2.3.1 ผลกระทบจาก Layout Plan ระหว่าง Air Duct System กับ BAS

ผลกระทบจาก Layout Plan ระหว่าง Air Duct System กับ BAS คือ ตำแหน่งในการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับหัวจ่ายลม เป็นผลให้ข้อมูลที่ได้อ่านค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์อุปกรณ์นี้มีข้อมูลที่ต่ำกว่าความเป็นจริง ทำให้ระบบควบคุม HVAC มองว่าอุณหภูมิในพื้นที่ควบคุมนั้นมีอุณหภูมิต่ำจึงทำการลดการใช้ น้ำเย็นของเครื่องส่งลมเย็นลงเพื่อให้อุณหภูมิในพื้นที่สูงขึ้นตามค่าที่ได้ตั้งไว้ เป็นผลให้ระบบ HVAC ควบคุมอุณหภูมิจริงในพื้นที่ออกมาสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.2.3.2 ผลกระทบจาก Layout Plan ระหว่าง Lighting System กับ BAS

ผลกระทบจาก Layout Plan ระหว่าง Lighting System กับ BAS คือ ตำแหน่งในการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับโคมไฟที่มีการกระจายตัวของความร้อน เป็นผลให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

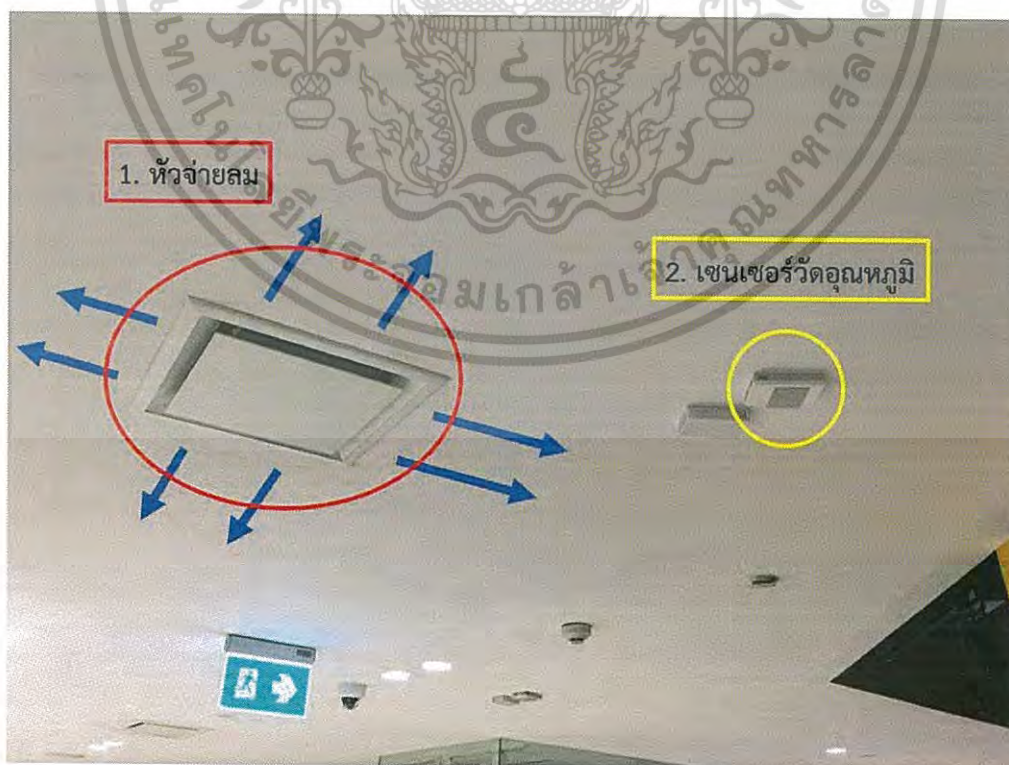
ข้อมูลที่ได้จากการอ่านค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์อุปกรณ์นี้มีข้อมูลที่สูงกว่าความเป็นจริง ทำให้ระบบควบคุม HVAC มองว่าอุณหภูมิในพื้นที่ควบคุมนั้นมีอุณหภูมิสูงจึงทำการเพิ่มการใช้น้ำเย็นของเครื่องส่งลมเย็นลงเพื่อให้อุณหภูมิในพื้นที่เย็นลงตามค่าอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ เป็นผลให้ระบบ HVAC ควบคุมอุณหภูมิจริงในพื้นที่ออกมาต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5

3.2.3.3 ผลกระทบจากงานตกแต่งภายในกับ BAS

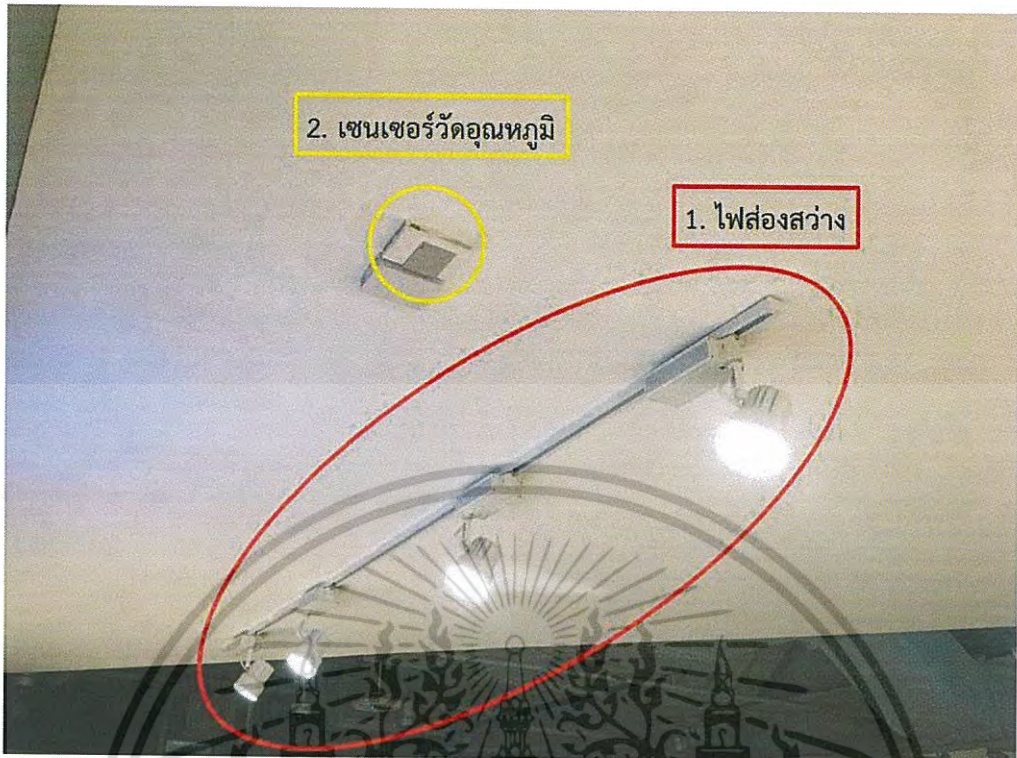
ผลกระทบที่เกิดจากงานตกแต่งภายใน จากเดิมที่ผู้ออกแบบได้กำหนด BAS Layout Plan สำหรับการวางตำแหน่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อให้สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่และการไหลเวียนของอากาศในพื้นที่ไว้อย่างเหมาะสมแล้ว ต่อมามีการเข้าตกแต่งพื้นที่ทำให้วัสดุตกแต่งบางชิ้นงานไปปิดกั้นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ติดตั้งอยู่ ทำให้การอ่านค่าอุณหภูมิของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ได้ติดตั้งไปแล้วมีข้อมูลที่ไม่ตรงกับอุณหภูมิจริงในพื้นที่ แสดงดังรูปที่ 3.6

3.2.3.4 สรุปผลกระทบในการควบคุมระบบ HVAC ที่เกิดจากการติดตั้ง

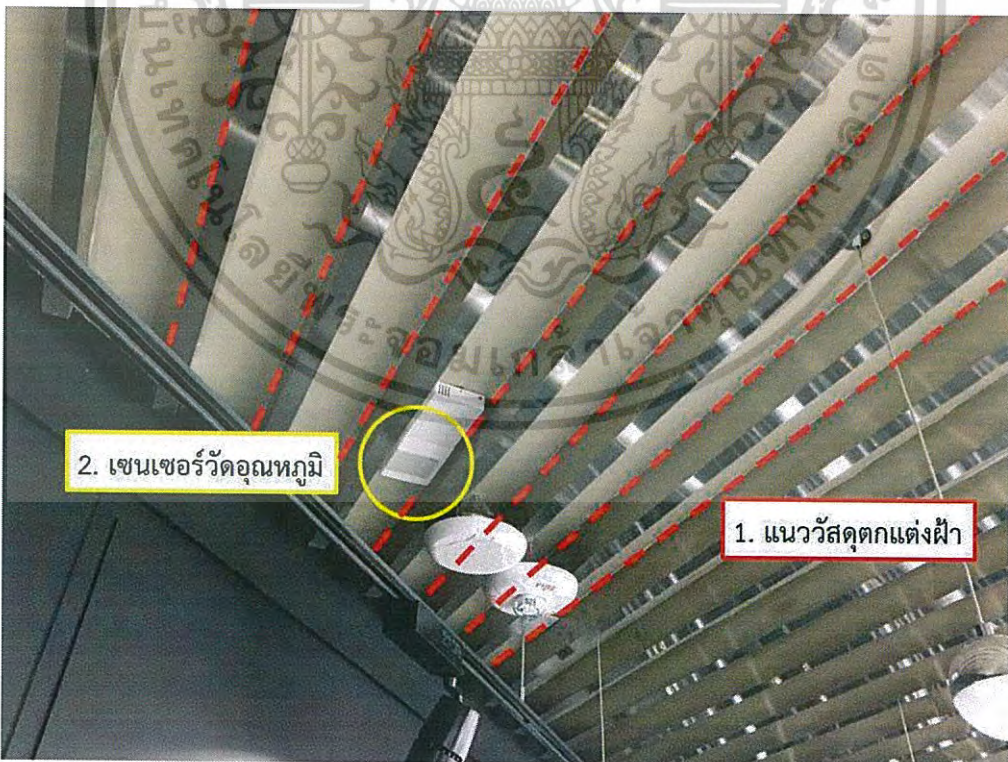
สำหรับการควบคุมอุณหภูมิของระบบ HVAC ในพื้นที่ได้มีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพียงจุดเดียว หากตำแหน่งในการติดตั้งเซนเซอร์มีตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมดังตัวอย่างที่กล่าวมาจะทำให้การควบคุมอุณหภูมิของระบบ HVAC สำหรับพื้นที่นั้นมีผลของอุณหภูมิที่ผิดไปจากค่าที่ได้ตั้งไว้ สำหรับตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ที่ไม่เหมาะสม การจะแก้ไขหรือย้ายตำแหน่งของเซนเซอร์ที่ถูกติดตั้งไปแล้วนั้น เป็นเรื่องยากในพื้นที่ที่ได้มีการตกแต่งเสร็จสิ้นไปแล้ว ไม่ว่าจะเป็นการเดินท่อร้อยสายไปยังจุดติดตั้งใหม่หรือติดตั้งเซนเซอร์ใหม่ การเก็บงานที่เกิดจากการรื้อถอนเซนเซอร์ เพราะการแก้ไขงานติดตั้งในบางพื้นที่มีมูลค่างานสูงกว่าราคาของเซนเซอร์ นี่จึงเป็นปัญหาที่เกิดขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปเนื้อหาเกี่ยวกับตัวอย่างตำแหน่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอยู่ใกล้หัวจ่ายลมไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.5 ตัวอย่างตำแหน่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอยู่ใกล้โคมไฟ



รูปที่ 3.6 ผลกระทบที่เกิดจากงานตกแต่งภายใน

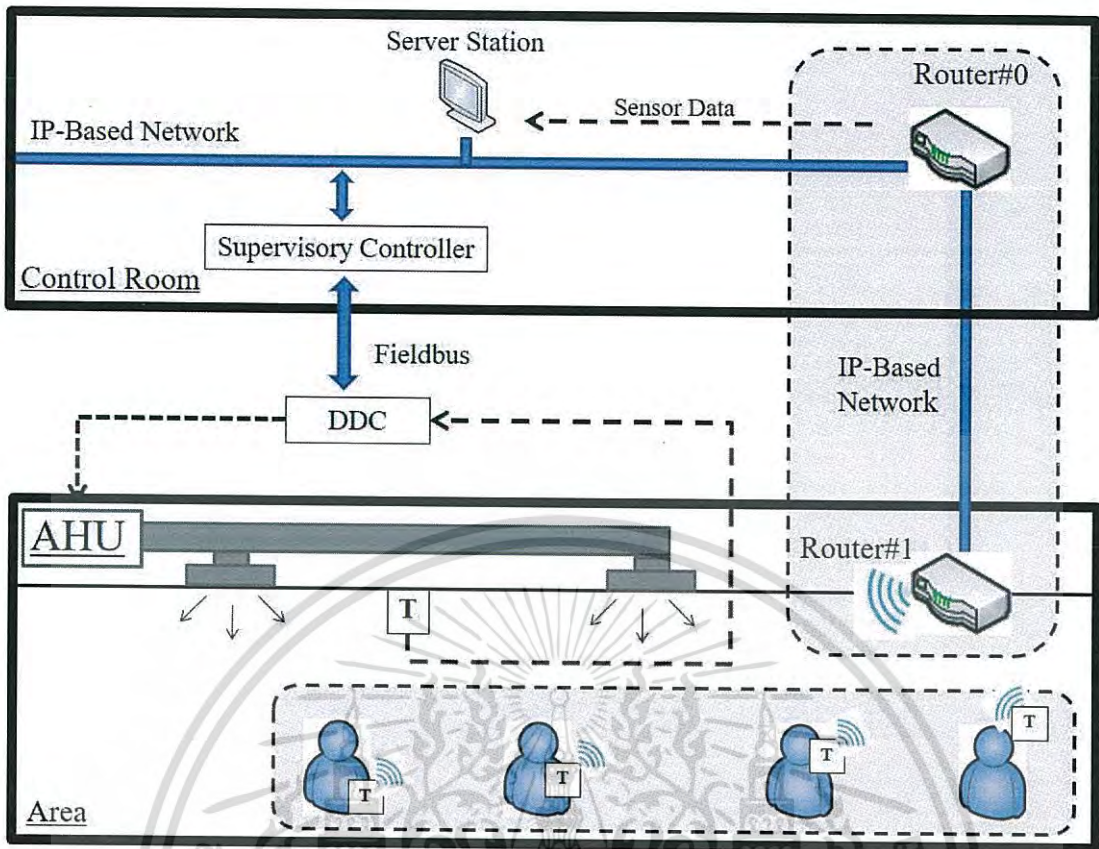
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แนวคิดการออกแบบระบบ HVAC โดยการเพิ่มจำนวนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

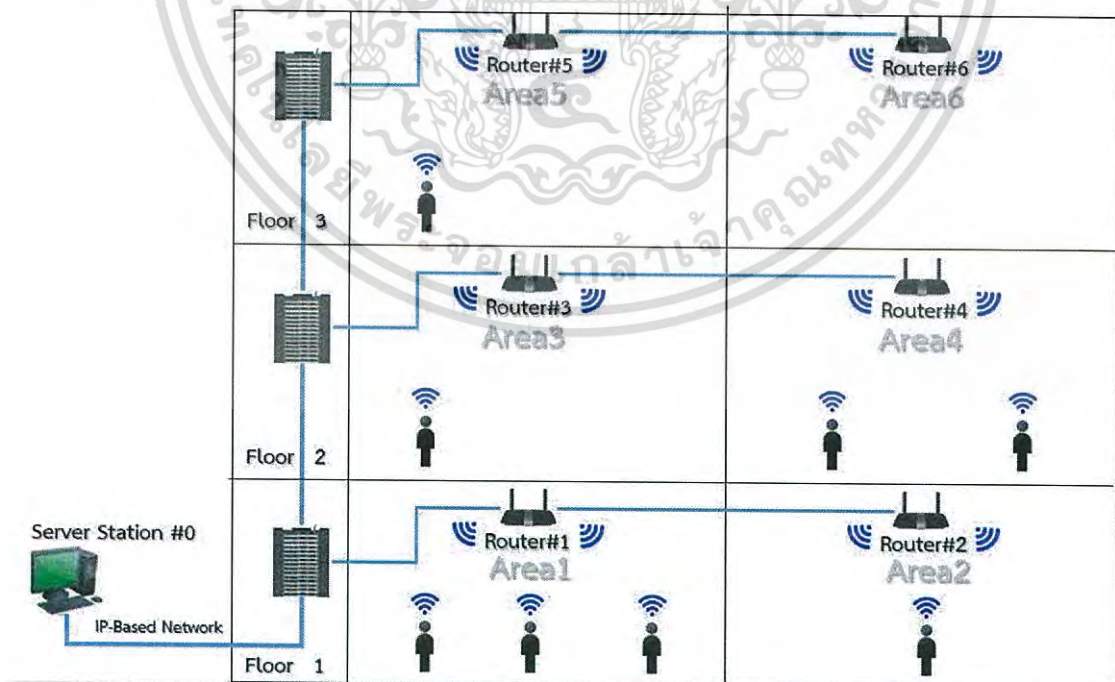
จากปัญหาที่เกิดขึ้นจากตำแหน่งในการติดตั้งเซนเซอร์จะเห็นได้ว่าการใช้เซนเซอร์เพียงจุดเดียวในการควบคุมระบบ HVAC อาจเกิดผลกระทบ ทำให้อุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์ไม่เท่ากับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ได้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแนวคิดในการผสมรวมเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุดจากสมาร์ตโฟนของผู้ที่เข้ามาใช้บริการในพื้นที่ร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเดิมที่มีเพียงจุดเดียวในการควบคุมการทำงานของเครื่องส่งลมเย็นในระบบ HVAC แต่ละโซนของอาคาร เพื่อให้เข้าใจถึงความสม่ำเสมอของอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศ โดยการเพิ่มจำนวนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลายจุดเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ HVAC ให้มากขึ้น [8-13]

แนวคิดการผสมรวมเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุดให้กับระบบ HVAC ในกรณีที่จะใช้วิธีนำเซนเซอร์หลายตัวสำหรับการควบคุมระบบปรับอากาศในแต่ละโซน โดยจะอาศัยข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มีอยู่ในสมาร์ตโฟนของผู้ที่เข้ามาใช้บริการในพื้นที่ มาผสมรวมการทำงานร่วมกับเซนเซอร์หลักที่ถูกติดตั้งไว้แล้วสำหรับการควบคุมเครื่องส่งลมเย็นในแต่ละโซน แนวคิดในการรวมระบบนี้จะให้ผู้เข้าใช้บริการในพื้นที่จำเป็นต้องติดตั้งแอปพลิเคชันบนมือถือ ในรูปแบบการลงทะเบียนเพื่อเข้าใช้งาน Free Wi-Fi ของทางอาคาร โดยจะมีการติดตั้ง Router Wi-Fi ตามโซนต่าง ๆ ภายในอาคาร ซึ่ง Router Wi-Fi นอกจากจะเป็นอุปกรณ์จ่ายสัญญาณ Free Wi-Fi แล้วยังเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ในสมาร์ตโฟนเฉพาะข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเท่านั้น มายัง BAS ผ่านทาง IP-Based Network หลังจากนั้น BAS จะนำข้อมูลอุณหภูมิจากเซนเซอร์ที่ได้มาจำแนกออกเป็นกลุ่มตาม IP Address ของ Router ซึ่งจำนวนของ Router ที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลมายังระบบ BAS นั้นจะมีจำนวนสัมพันธ์กับจำนวนของเครื่องส่งลมเย็นที่ควบคุมอากาศในโซนนั้น ๆ ในอัตราส่วน 1:1 โดยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเติมเข้ามา (Additional Temperature Sensor: AS) เป็นเซนเซอร์ที่มีอยู่ในสมาร์ตโฟน และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลัก (Primary Temperature Sensor: PS) เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ถูกติดตั้งในพื้นที่สำหรับการควบคุมระบบ HVAC เดิม เพื่อเข้าสู่กระบวนการควบคุมเครื่องส่งลมเย็นในแต่ละโซนซึ่งจะทำให้ได้ลมเย็นตามค่าเฉลี่ยของเซนเซอร์ทุกจุดในพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8

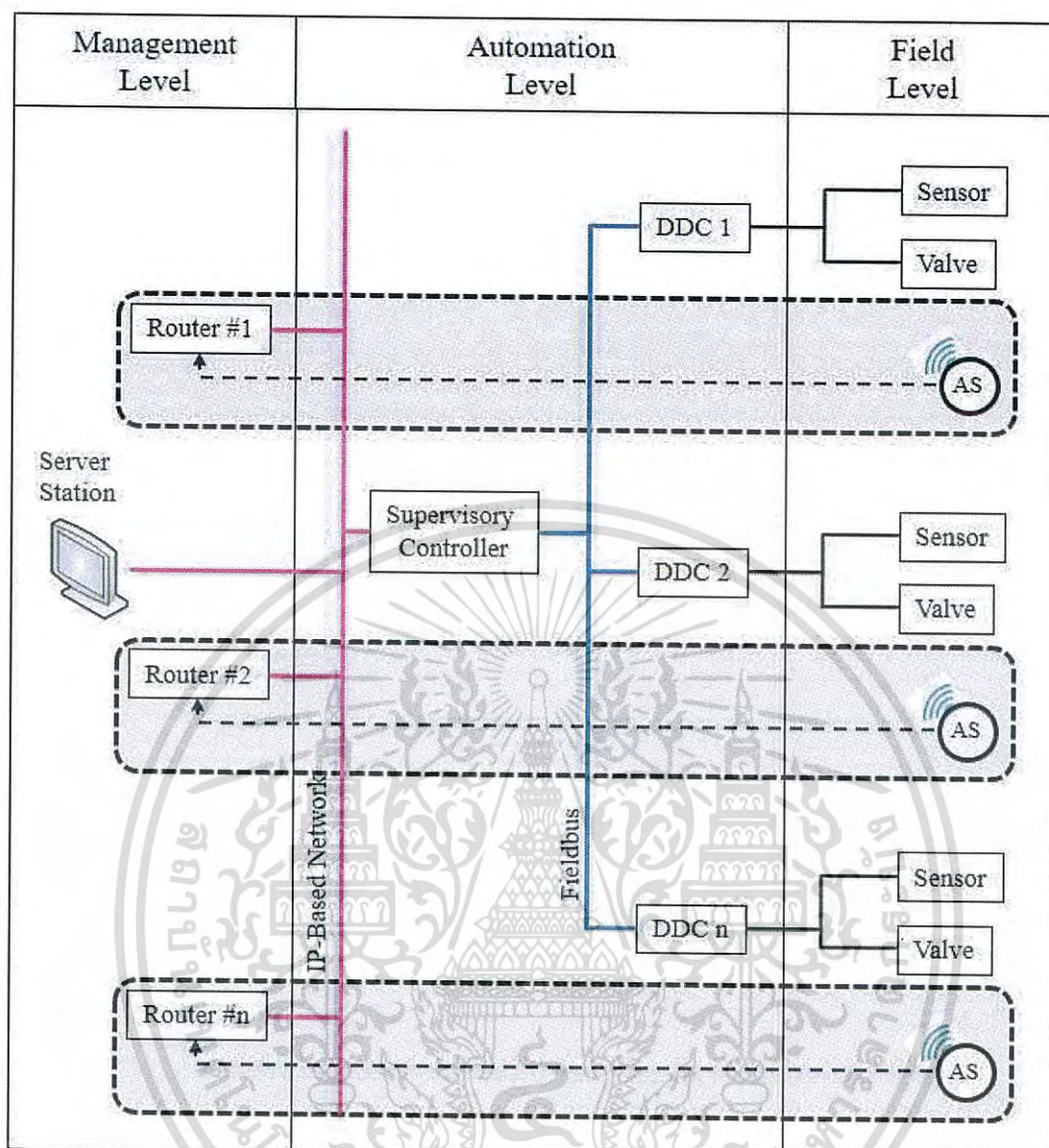
สถาปัตยกรรมโดยรวมของระบบ HVAC ใน BAS ร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลายจุด ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยเซนเซอร์ที่เพิ่มเติมเข้ามานี้หรือ AS จะอยู่ในระดับปฏิบัติการ ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิในพื้นที่แล้วส่งข้อมูลไปยัง Router Wi-Fi ผ่านทางการเชื่อมต่อไร้สายหรือสัญญาณ Wi-Fi จากนั้นข้อมูลชุดนี้จะถูกส่งไปยังชุดคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางของระบบ BAS เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผล (ส่วนนี้จะอยู่ในระดับบริหารจัดการ) เมื่อซอฟต์แวร์ของ BAS รับข้อมูลอุณหภูมิของ AS แล้วทำการประมวลผลเพื่อส่งต่อข้อมูลมายัง Supervisory Controller ซึ่งเป็นตัวประมวลผลหลักของระบบ ในส่วนนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากชุดคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางของระบบ BAS มาจำแนกออกเป็นโซนเพื่อนำข้อมูลที่ถูกจำแนกส่งต่อไปยัง DDC ที่ควบคุมเครื่องส่งลมเย็นในแต่ละโซน (ส่วนนี้จะอยู่ในระดับควบคุมอัตโนมัติ) ซึ่ง DDC จะนำข้อมูลจาก AS ที่ได้มาประมวลผลร่วมกับข้อมูลเซนเซอร์หลักที่มีอยู่แล้วของระบบ HVAC ในแต่ละโซน หรือ PS เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของวาล์วน้ำเย็นในเครื่องส่งลมเย็นต่อไป (ส่วนนี้จะอยู่ในระดับปฏิบัติการ)



รูปที่ 3.7 แนวคิดการใช้เซนเซอร์ในสมาร์ทโฟนของผู้ที่อยู่ในเขตพื้นที่มาประมวลผลร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลักของระบบ HVAC ในรูปแบบโซนเดียว



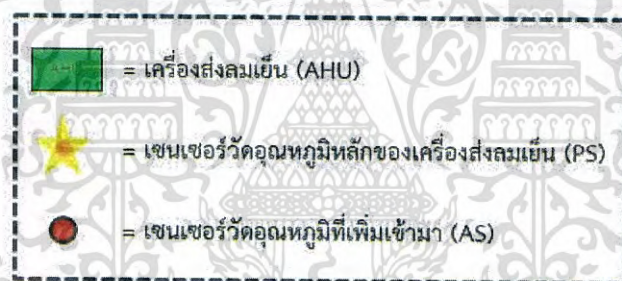
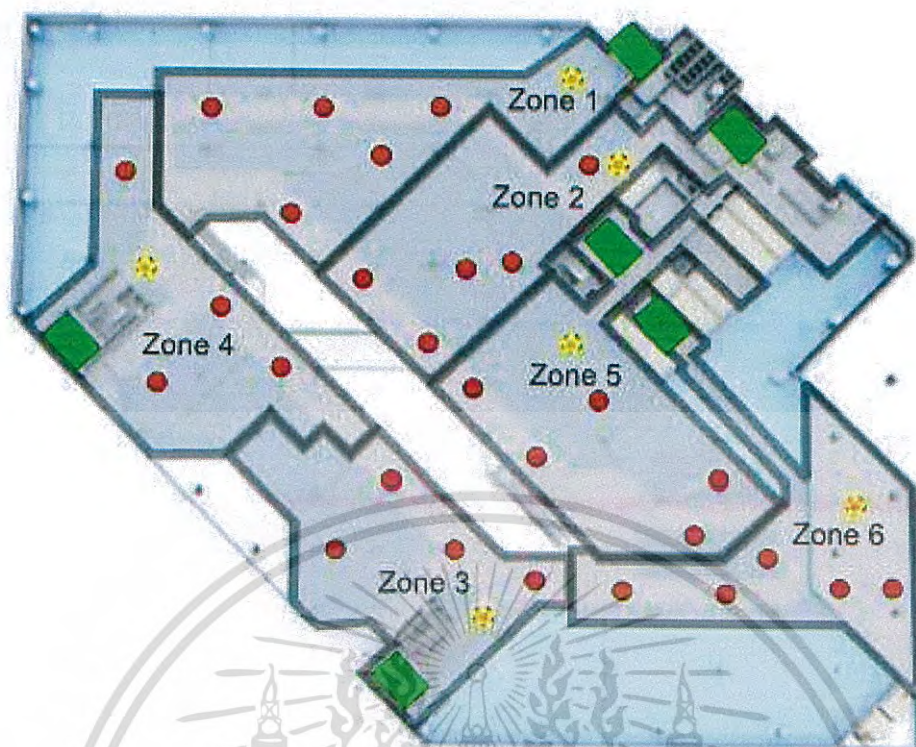
รูปที่ 3.8 แนวคิดการใช้เซนเซอร์ในสมาร์ทโฟนของผู้ที่อยู่ในเขตพื้นที่มาประมวลผลร่วมกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลักของระบบ HVAC ในมุมมองหลายโซน ไปประโยชน์ด้านการค้า
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 สถาปัตยกรรมระบบโดยรวมของระบบ HVAC ใน BAS ของอาคารพาณิชย์ร่วมกับ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด

จากแนวคิดในการผสมรวมการทำงานระหว่างเซนเซอร์หลักกับเซนเซอร์แบบหลายจุดที่เพิ่มเติมเข้ามา เมื่อนำมารวมกับแผนผังของอาคารศูนย์การค้าที่เป็นกรณีศึกษา สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 และ 3.11 โดยใช้สัญลักษณ์จุดสีแดงแทนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเติมเข้ามา และสัญลักษณ์ดาวสีเหลืองเป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลักของระบบ HVAC เดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



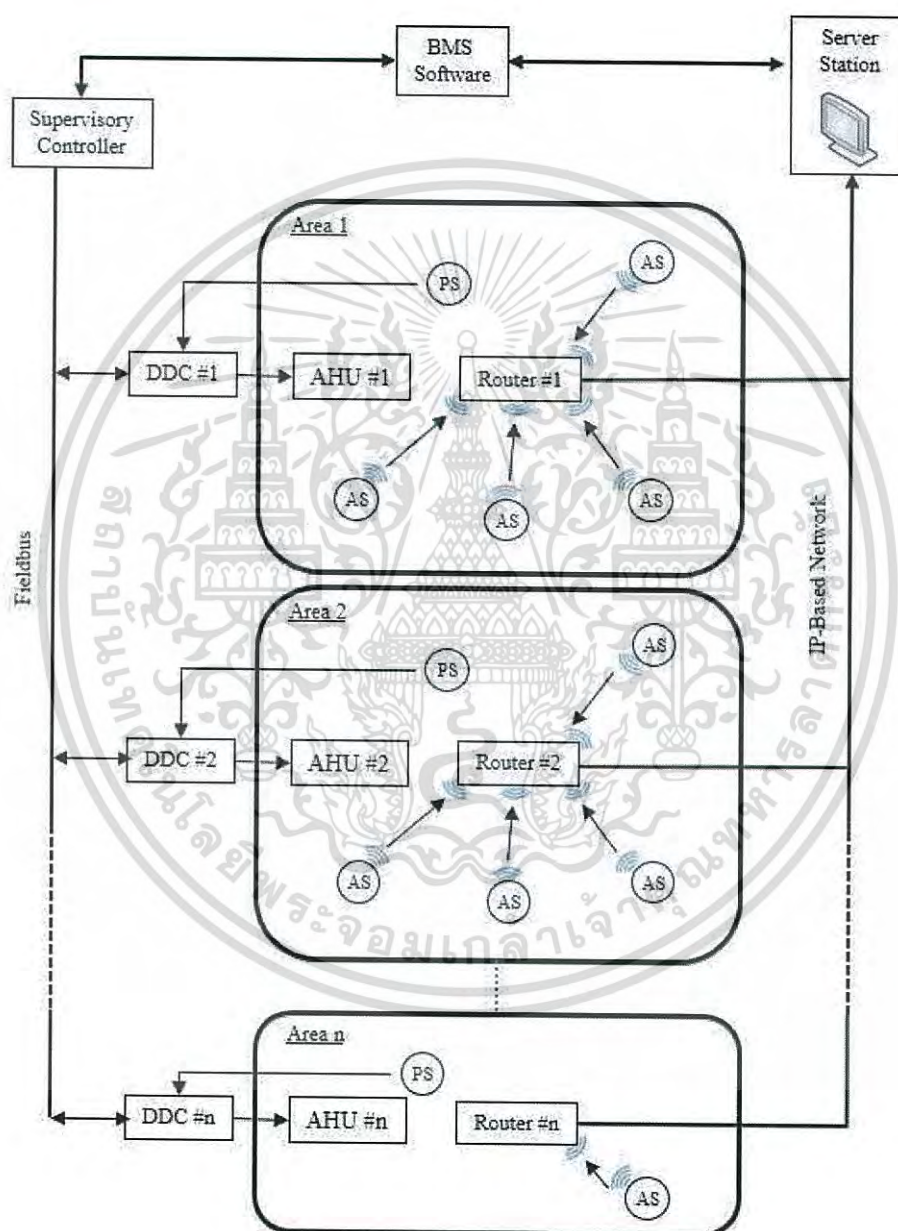
รูปที่ 3.10 แผนผังตัวอย่างที่มีการวัดอุณหภูมิหลายจุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 รูปที่ 3.11 พื้นที่ตัวอย่างโซน 5 ที่มีการวัดอุณหภูมิหลายจุดไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 โมเดลความผันแปรของอุณหภูมิที่นำเสนอ

จากแนวคิดการเพิ่มจุดวัดอุณหภูมิ สามารถนำมาสร้างเป็นโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิจากข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ สำหรับการปรับอากาศในแต่ละโซนภายในอาคารพาณิชย์ ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิตลอดทั้งโซนขึ้นอยู่กับ การออกแบบและการติดตั้งระบบควบคุม HVAC เป็นวิธีหนึ่งในการประเมินความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเพื่อเป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในพื้นที่ [9-13]



รูปที่ 3.12 โครงสร้างระบบสำหรับการสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.12 ในการประเมินความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ เพื่อเป็นตัวแทนของความผันแปรของอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศ จะได้ความผันแปรของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่แบบสามมิติ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ แสดงได้โดย

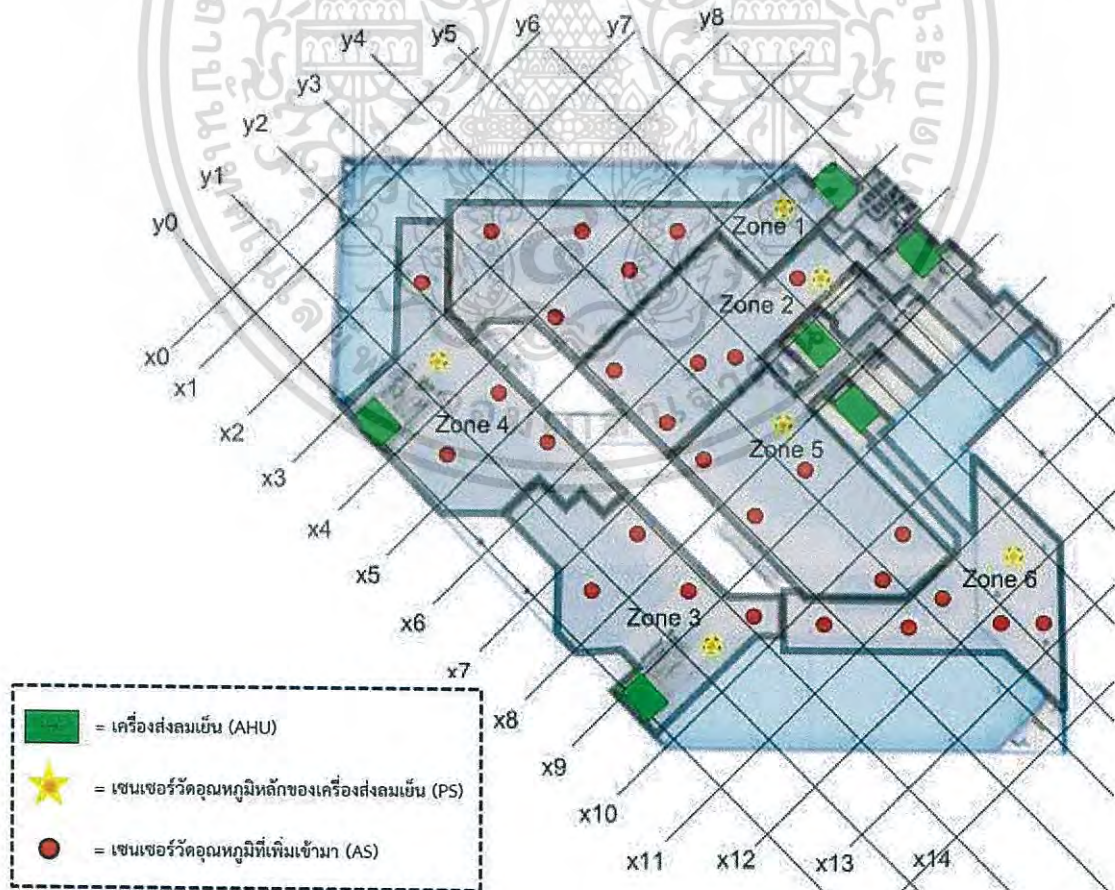
$$T_{var}(X_i, Y_i, Z_i) = T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i) - T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j) \quad (3.1)$$

โดยที่ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ คือ อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองของเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามา

$T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ คือ อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองเซนเซอร์หลักของระบบ HVAC

3.4.1 การจำลองความผันแปรของอุณหภูมิโดยวิธี Monte Carlo

การนำเทคนิคที่ใช้การจำลองโดยวิธี Monte Carlo เพื่อสร้างโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในอาคาร เนื่องจากอุณหภูมิที่ได้ในโซนเดียวไม่ควรเกิดความแตกต่างกันของอุณหภูมิ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อให้ผู้ที่เข้ามาใช้บริการในอาคารเกิดสภาวะความสบาย จากแผนผังตัวอย่างที่นำมาศึกษาจากรูปที่ 3.13 ได้กำหนดสัญลักษณ์จุดสีแดง แทนตำแหน่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามา (AS) (อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองของเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามา) และดาวสีเหลือง แทนตำแหน่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลัก (PS) (อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองเซนเซอร์หลักของระบบ HVAC)



รูปที่ 3.13 แผนผังตัวอย่างสำหรับการจำลองแบบ Monte Carlo ระโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองอุณหภูมิของอุณหภูมิจากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มีอยู่ในอุปกรณ์สมาร์ตโฟน (AS) และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลักที่ถูกใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องส่งลมเย็นในระบบ HVAC (PS) ที่ตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่สามมิติ โดยวิธี Monte Carlo แสดงตามสมการที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

$$T_{AS}(x_i, y_i, z_i) = SP + TS \times (\text{rand}(N,1) - 0.5) \quad \forall i \quad (3.2)$$

$$T_{PS}(x_j, y_j, z_j) = SP + TS \times \left(\frac{T_a}{\max(T_a)} - 0.5 \right) \quad \forall j \quad (3.3)$$

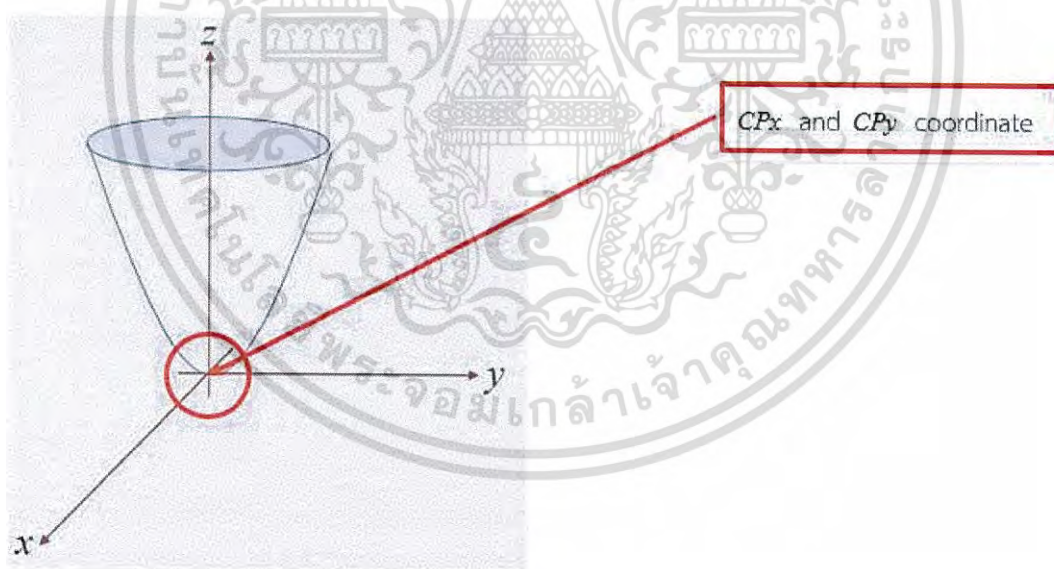
โดยที่ SP หมายถึง ค่าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ของอุณหภูมิในพื้นที่

TS หมายถึง ช่วงของอุณหภูมิ (Temperature Span)

N หมายถึง จำนวนเซนเซอร์จากการจำลอง

การจำลองค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิหลักของระบบ HVAC ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในพื้นที่ ด้วยโมเดล Elliptic Paraboloid โดยพื้นผิวของโมเดลมีรูปของสมการ ดังแสดงในสมการที่ 3.4

$$(x^2/a^2) + (y^2/b^2) = z/c \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.14 โมเดล Elliptic Paraboloid

จากสมการที่ 3.4 และรูปที่ 3.14 โมเดล Elliptic Paraboloid นำมาประยุกต์ใช้สำหรับการจำลองอุณหภูมิจากเซนเซอร์อุณหภูมิหลัก $T_{PS}(x_j, y_j, z_j)$ ตามสมการที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_a = (X - \max(X) \times CPx\%)^2 + (Y - \max(Y) \times CPy\%)^2 \quad (3.5)$$

เมื่อ $CPx\%$ หมายถึง ระยะของตำแหน่งพิกัดแนวแกน X เทียบกับระยะของแนวแกน X จะได้ค่า
อยู่ในช่วง 0 ถึง 1

$CPy\%$ หมายถึง ระยะของตำแหน่งพิกัดแนวแกน Y เทียบกับระยะของแนวแกน Y จะได้ค่า
อยู่ในช่วง 0 ถึง 1

X หมายถึง ระยะในแนวแกน X จากการสุ่ม

Y หมายถึง ระยะในแนวแกน Y จากการสุ่ม

$\max(X)$ หมายถึง ค่าสูงสุดในแนวแกน X

$\max(Y)$ หมายถึง ค่าสูงสุดในแนวแกน Y

สมมติให้ภายในพื้นที่ตัวอย่างมีการส่งความเย็นเข้ามาในพื้นที่เพียงจุดเดียว โมเดลที่สร้างนี้จะมีรูปร่างคล้ายถ้วยครึ่งวงรี ซึ่งมีจุดต่ำสุดที่พิกัด CPx และพิกัด CPy แทนตำแหน่งของอุณหภูมิที่เครื่องส่งลมเย็นทำได้มีค่าต่ำที่สุดในพื้นที่ โดยค่า X และ Y เป็นตำแหน่งของพิกัดในโมเดล Elliptic Paraboloid ดังนั้นผลการจำลอง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่ตำแหน่งใด ๆ จะมีอุณหภูมิ $24 \pm 2^\circ\text{C}$ ตามสมการที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

3.4.2 การประมาณค่าโมเดลความผันแปรของอุณหภูมิ

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) นำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในโซนที่มีการปรับอากาศ จากโมเดลที่นำเสนอในสมการที่ 3.1 สามารถสร้างสมการการถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression) ได้ดังนี้

$$T_{var}(X_i, Y_i, Z_i) = a_0 + a_1x_i + a_2y_i \quad (3.6)$$

เมื่อ a_0 , a_1 และ a_2 เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficients) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.7 เมื่อ x_i และ y_i คือ ตำแหน่งพิกัดจุดบนพื้นที่ที่สนใจ

$$\begin{bmatrix} T_{var}(x_1, y_1) \\ T_{var}(x_2, y_2) \\ \vdots \\ T_{var}(x_i, y_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 + a_1x_1 + a_2y_1 \\ a_0 + a_1x_2 + a_2y_2 \\ \vdots \\ a_0 + a_1x_i + a_2y_i \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

จากสมการที่ 3.7 สามารถนำมาพยากรณ์ค่าความผันแปรของอุณหภูมิได้ โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a_0 , a_1 และ a_2 แทนค่าในสมการที่ 3.6 สำหรับการหาค่าความผันแปรที่จะเกิดขึ้นบนพิกัดใด ๆ ในพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

การทดลองหาค่าความผันแปรของอุณหภูมิในพื้นที่ควบคุมด้วยโมเดลที่นำเสนอ โดยใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB กับแผนผังที่นำมาศึกษาในการทดลองและใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการช่วยวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้มีการทดลองโดยการจำลองเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์ดังนี้

1. พิกัดจุดต่ำสุดของเซนเซอร์หลักอยู่ตำแหน่งใด ๆ ในแผนผัง และได้จำลองสถานการณ์ 2 สถานการณ์ดังนี้
 - การจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์
 - การจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่
2. พิกัดจุดต่ำสุดของเซนเซอร์หลักอยู่ตำแหน่งตรงกลางแผนผัง และได้จำลองสถานการณ์ 2 สถานการณ์ดังนี้
 - การจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์
 - การจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่

4.2 การทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์

การทดลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มีการเพิ่มเข้ามา (AS) ในพื้นที่ควบคุมเพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของอุณหภูมิที่มีจำนวนเซนเซอร์เท่ากับ 4 จุด 20 จุด 50 จุด และ 100 จุด โดยมีค่าคงที่ในการทดลองดังนี้

อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้ในพื้นที่ เป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CP_x\% = 0.4$ และ $CP_y\% = 0.7$

การทดลองบนขนาดพื้นที่ 800 m^2 : $\max(X) = 40 \text{ m}$ และ $\max(Y) = 20 \text{ m}$

$SP = 24 \text{ }^\circ\text{C}$

$TS = \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

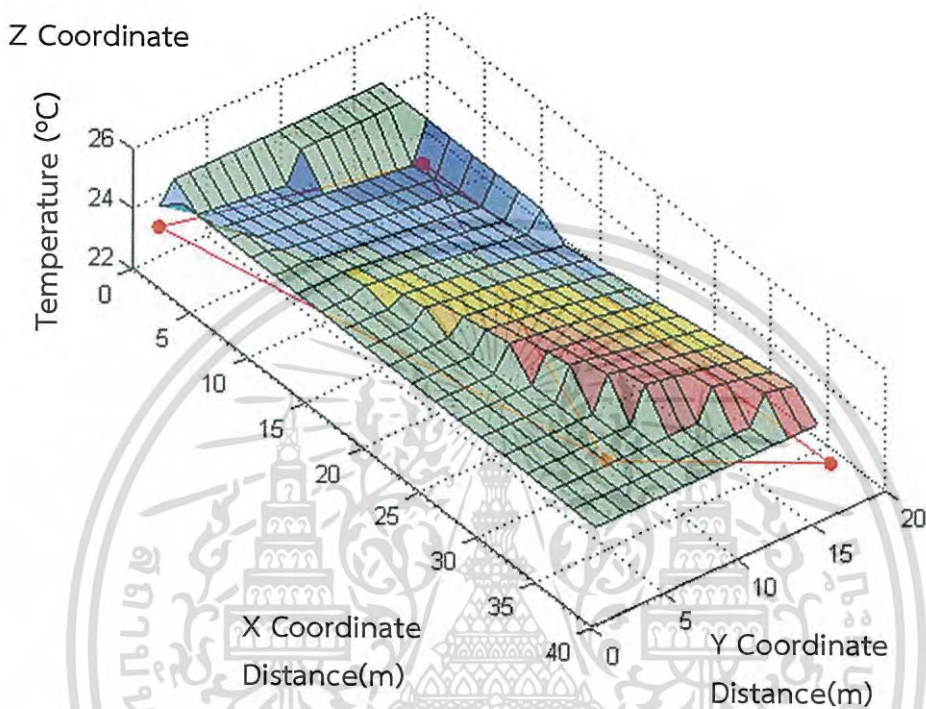
4.2.1 การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 4 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่าง เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งใด ๆ ในพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CP_x\% = 0.4$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 16 \text{ m}$ และ $CP_y\% = 0.7$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 14 \text{ m}$ โดยการเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

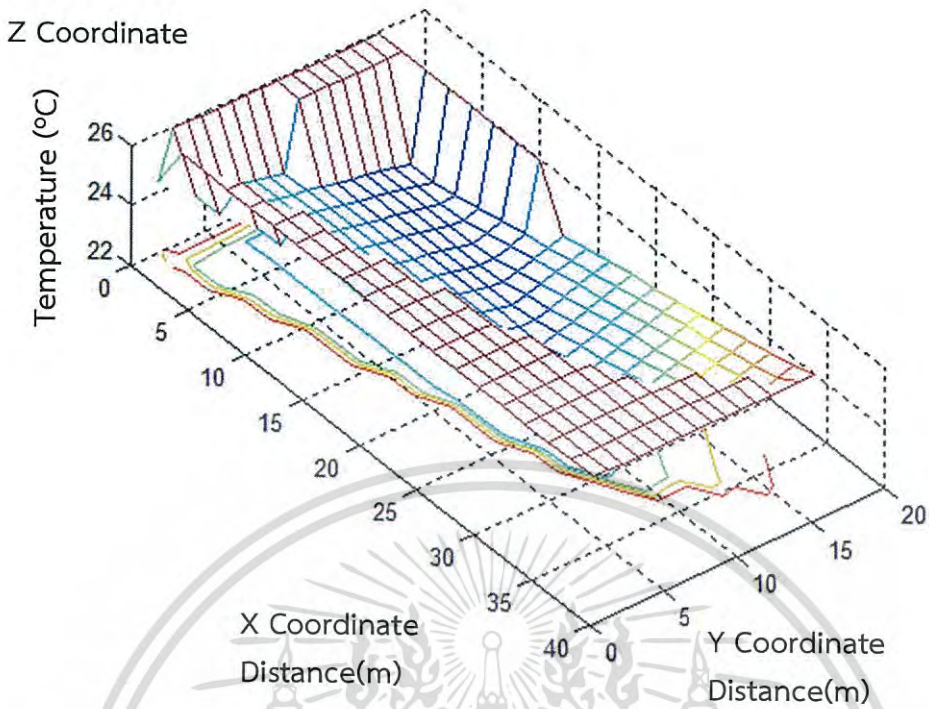
รูปที่ 4.3 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.1 และ 4.2 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกันขึ้นด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอ โดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

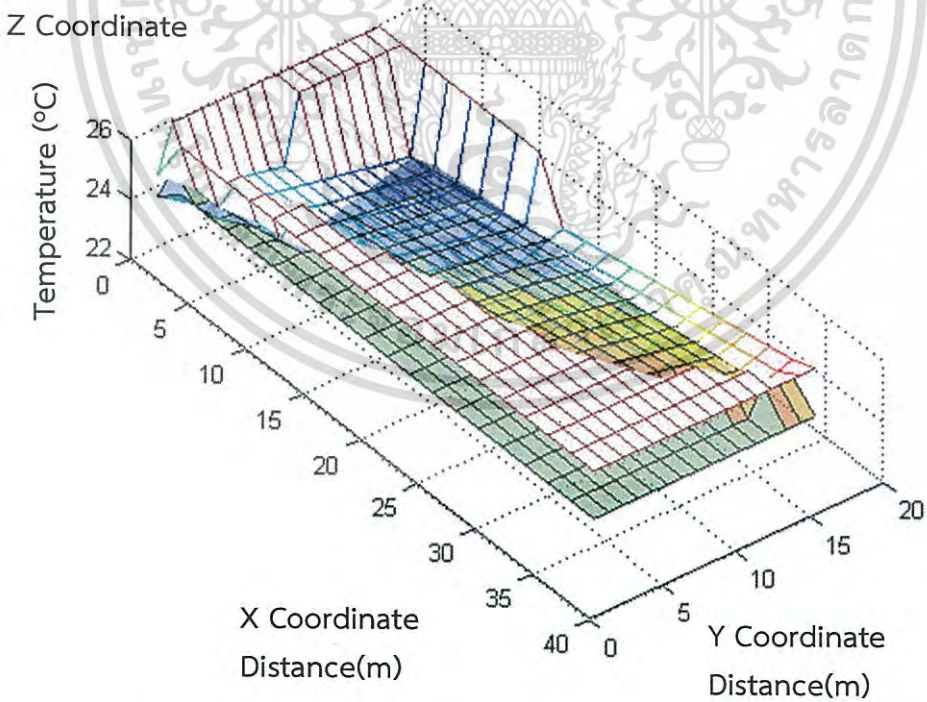


รูปที่ 4.1 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

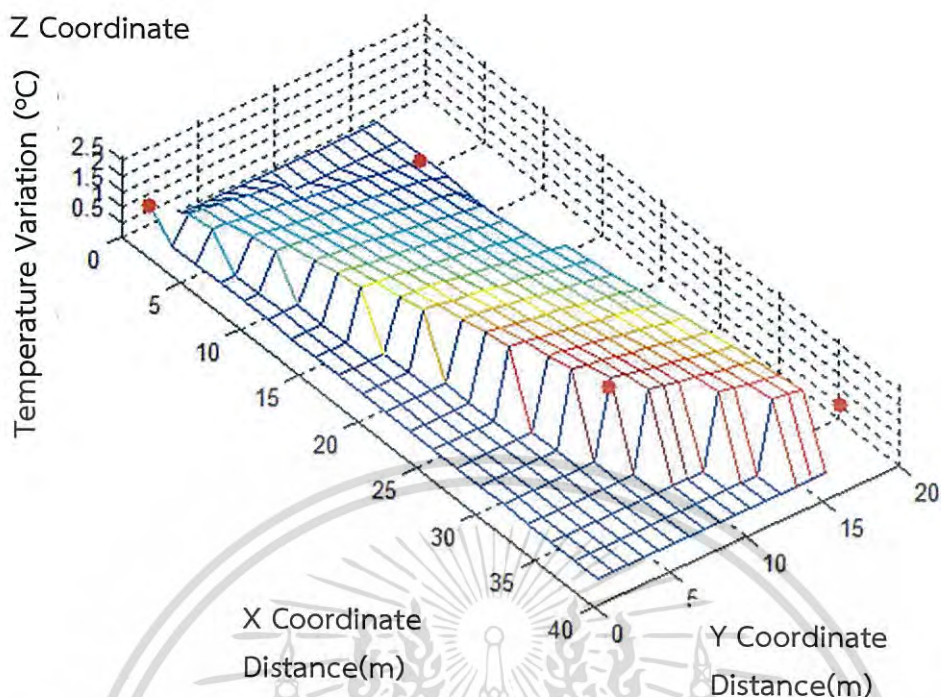


รูปที่ 4.2 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(x, y, z)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด



รูปที่ 4.3 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS}(x, y, z)$ และ $T_{PS}(x, y, z)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด

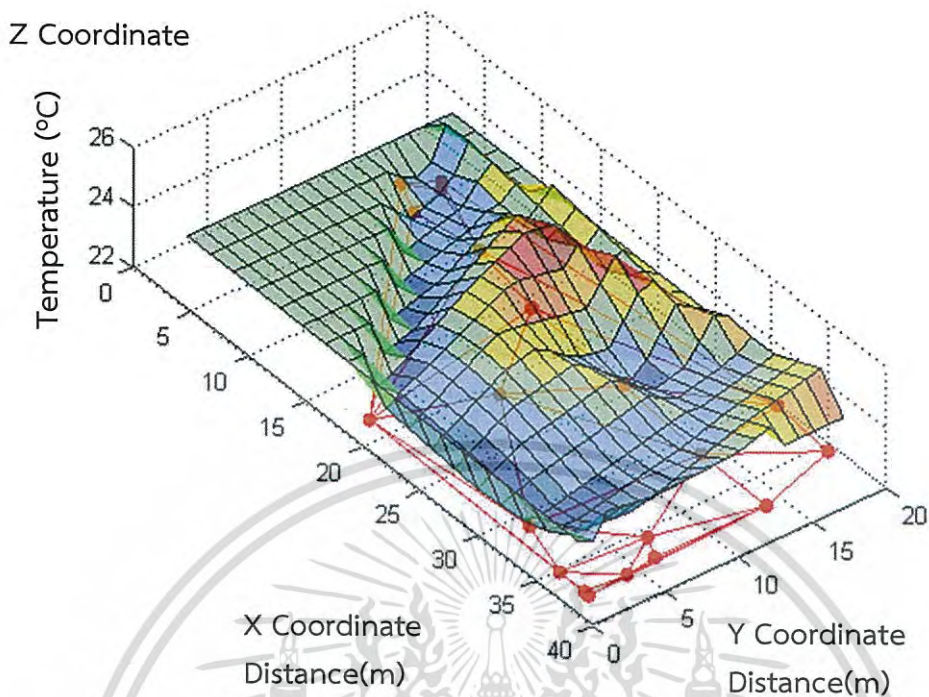
4.2.2 การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 20 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่าง เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

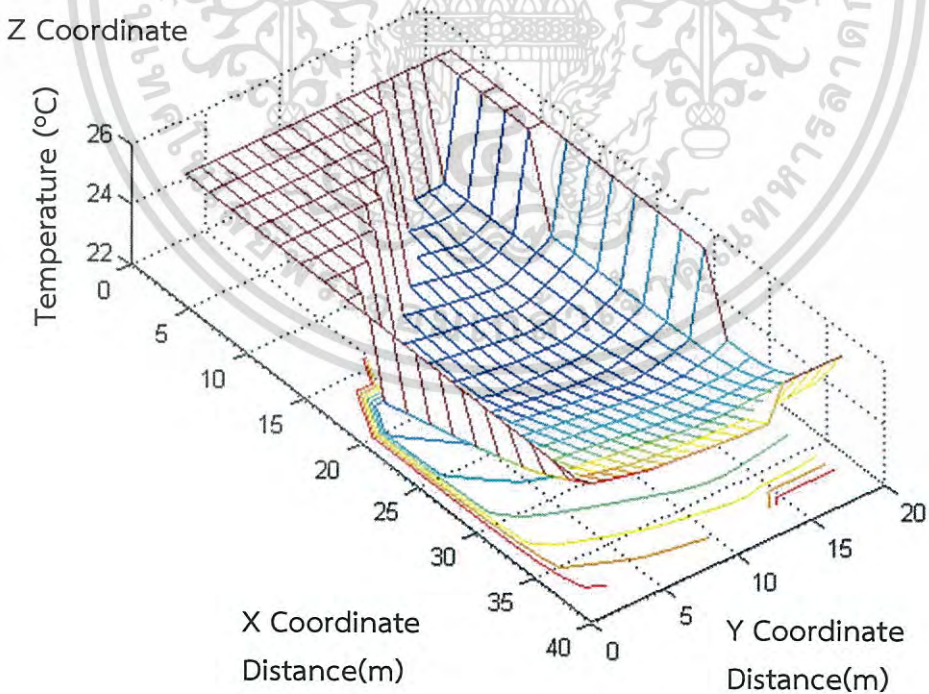
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งใด ๆ ในพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CP_x\% = 0.4$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 16$ m และ $CP_y\% = 0.7$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 14$ m โดยการเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

รูปที่ 4.7 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.5 และ 4.6 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.8 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอ โดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

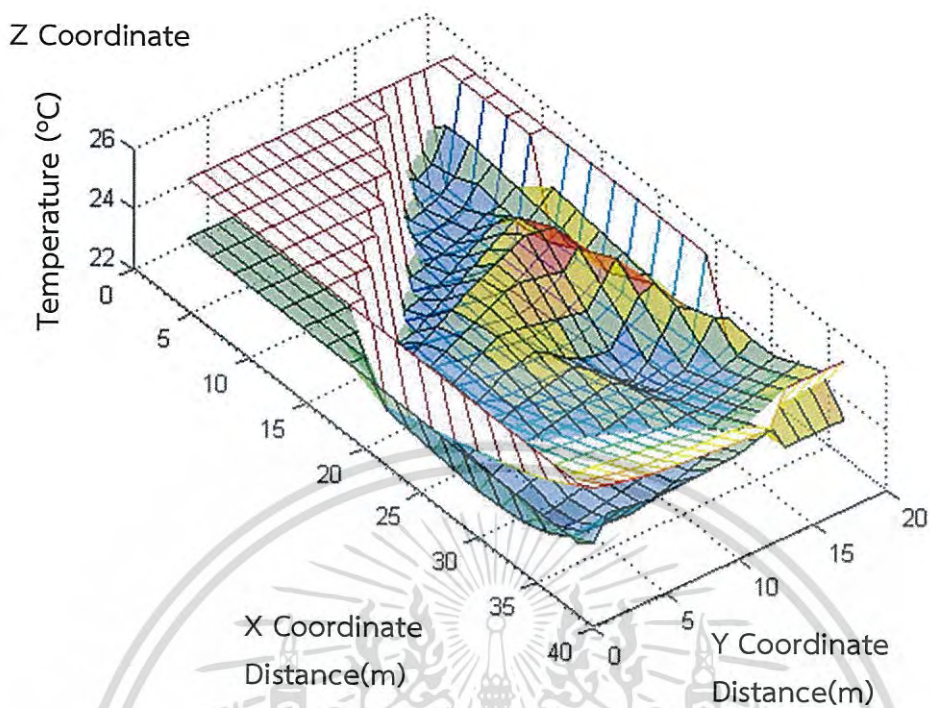


รูปที่ 4.5 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(x_i, y_i, z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด

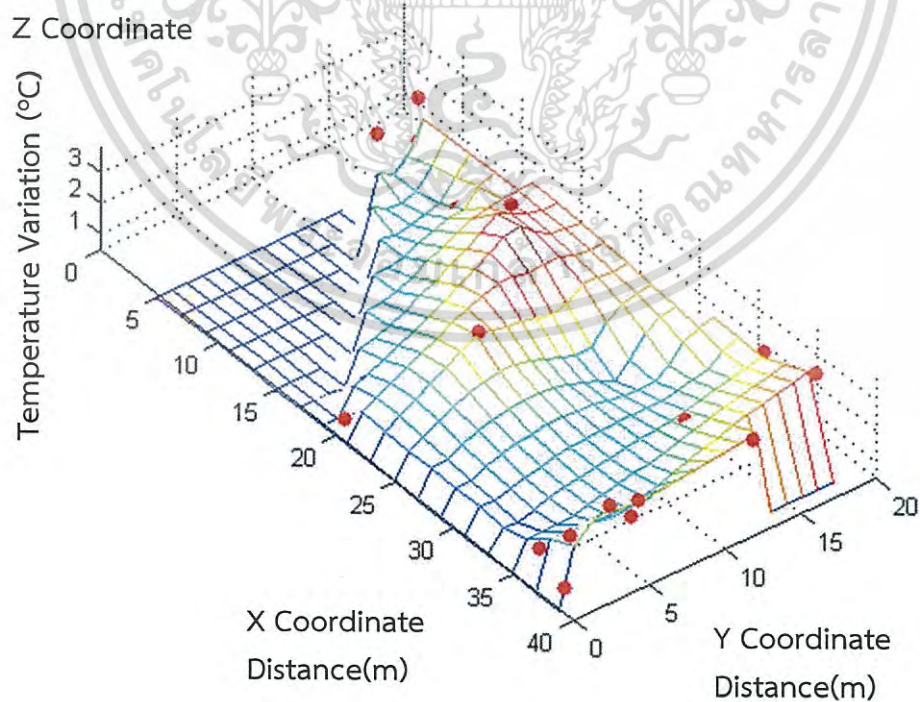


รูปที่ 4.6 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(x_j, y_j, z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด



รูปที่ 4.8 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

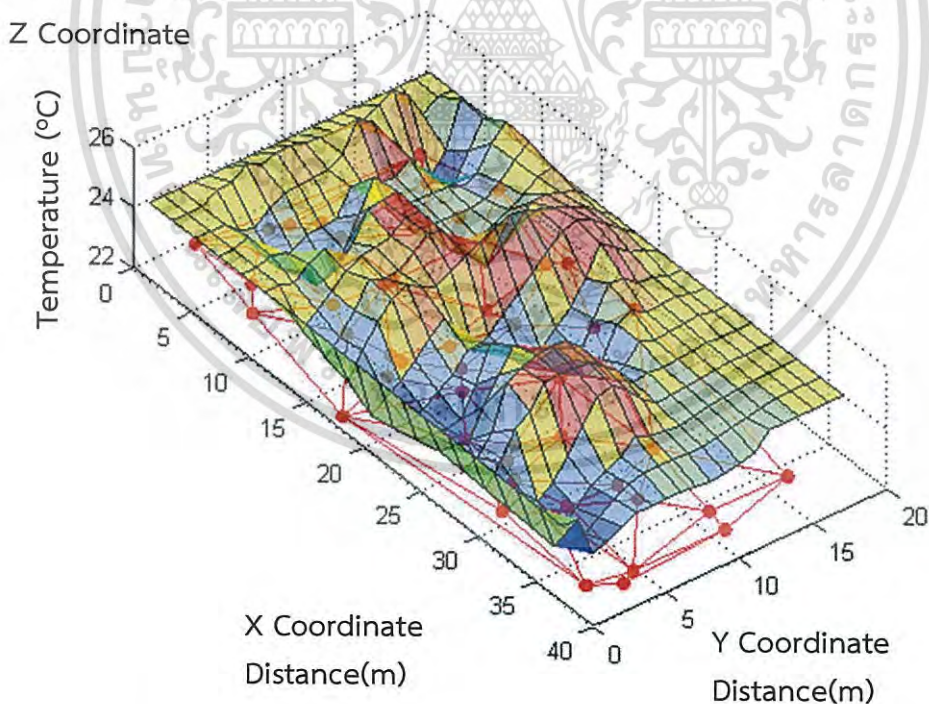
4.2.3 การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด

รูปที่ 4.9 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(x_i, y_i, z_i)$ จำนวน 50 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่าง เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

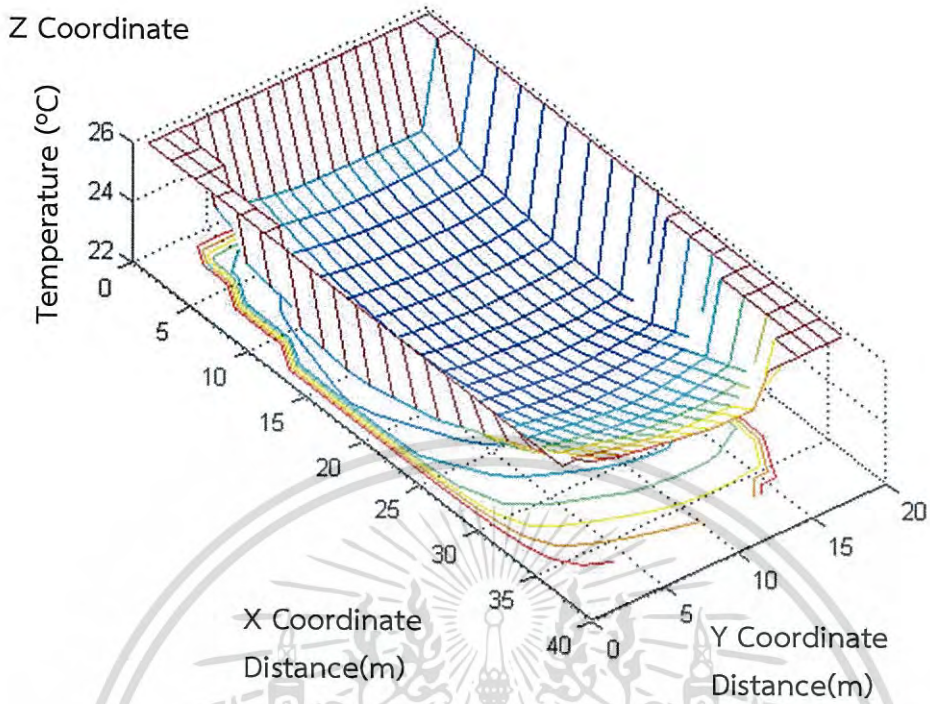
รูปที่ 4.10 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(x_j, y_j, z_j)$ ที่จุดติดตั้งใด ๆ ในพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.4$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 16$ m และ $CPy\% = 0.7$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 14$ m โดยการเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

รูปที่ 4.11 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.9 และ 4.10 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

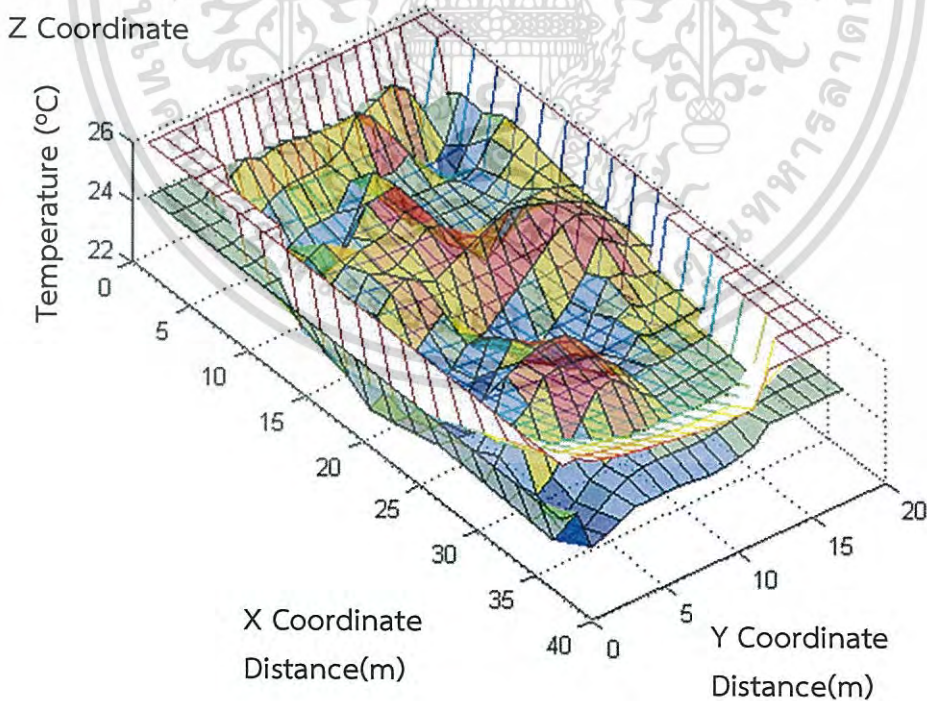
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(x_i, y_i, z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอ โดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ



รูปที่ 4.9 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(x_i, y_i, z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด

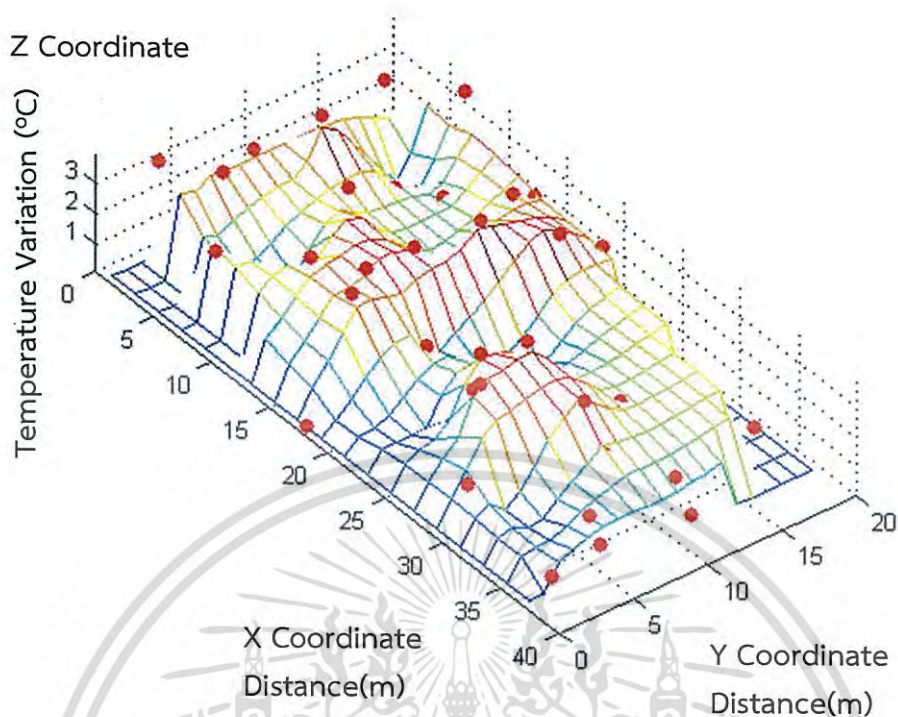


รูปที่ 4.10 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(x, y, z)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด



รูปที่ 4.11 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS}(x, y, z)$ และ $T_{PS}(x, y, z)$
กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด

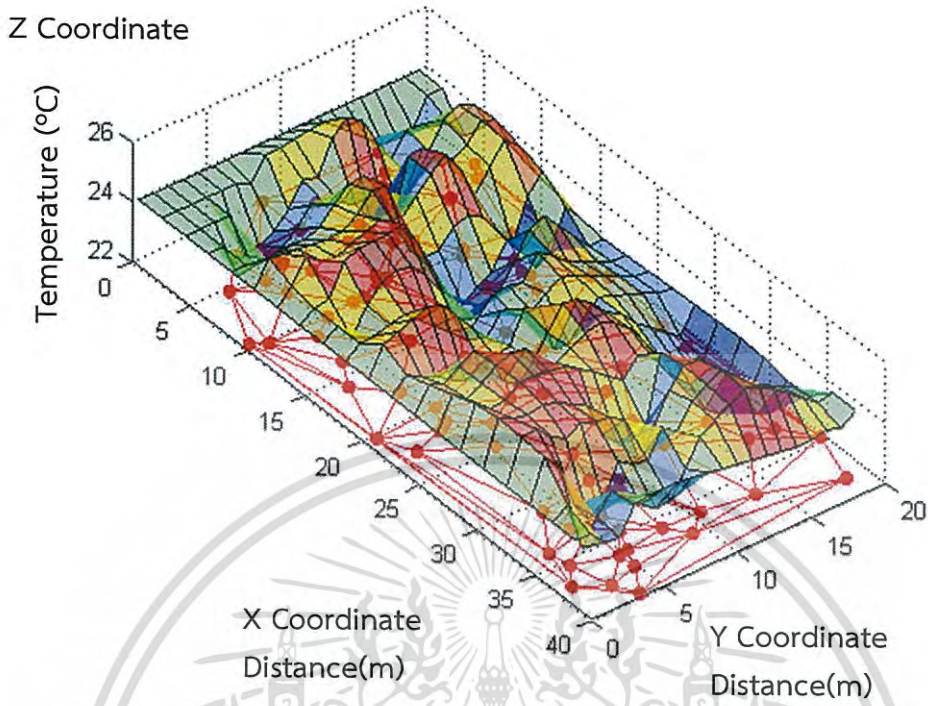
4.2.4 การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด

รูปที่ 4.13 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 100 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่าง เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

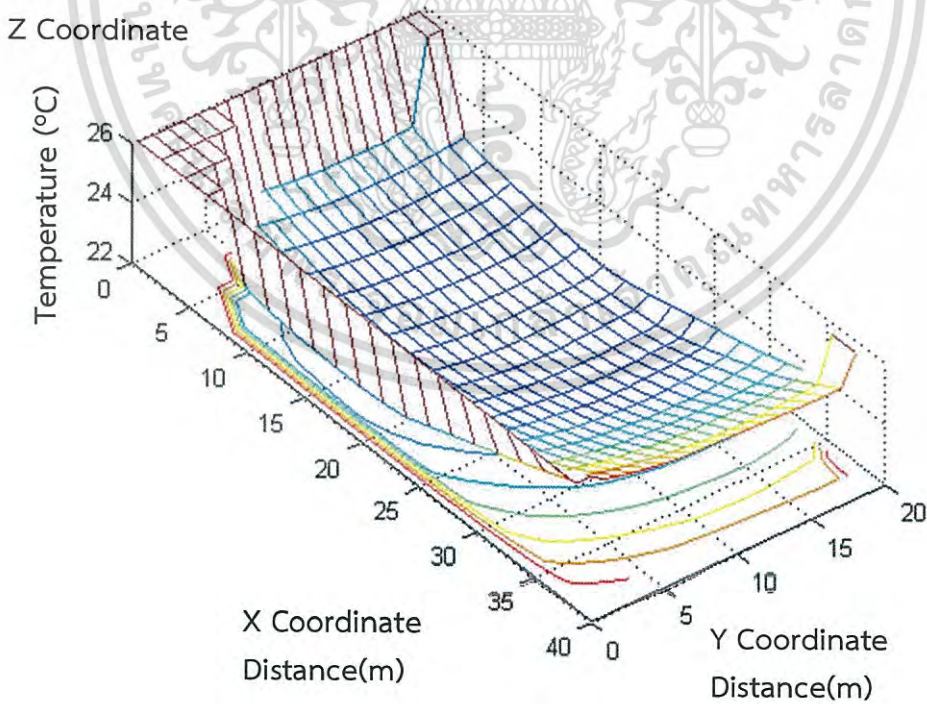
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งใด ๆ ในพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.4$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 16$ m และ $CPy\% = 0.7$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 14$ m โดยการเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

รูปที่ 4.15 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.13 และ 4.14 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.16 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอ โดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

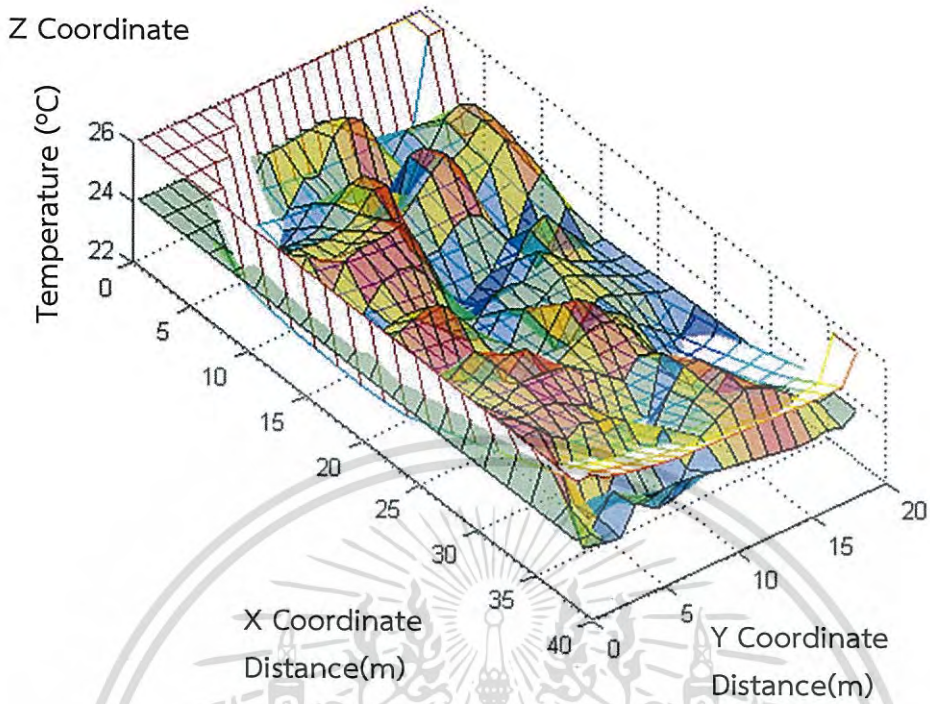


รูปที่ 4.13 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(x_i, y_i, z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด

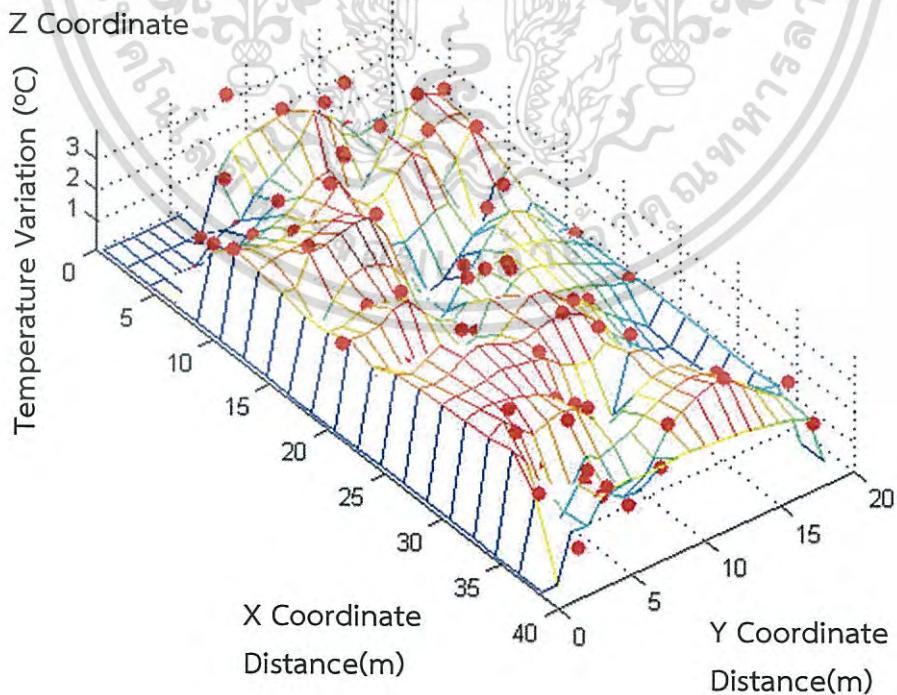


รูปที่ 4.14 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(x_j, y_j, z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด



รูปที่ 4.16 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์ [14]

จากการทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด สามารถดูข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิที่พิกัดจุด x_i และ y_i จากซอฟต์แวร์ MATLAB ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เซตของข้อมูลกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ ความผันแปรของอุณหภูมิที่พิกัดจุด x_i และ y_i

ข้อมูลลำดับที่	X Coordinate Distance(m)	Y Coordinate Distance(m)	Z Coordinate Temperature Variation (°C)
1	32.58894746	13.11481398	1.742742971
2	36.23167748	0.714233571	1.513999361
3	5.079472652	16.98258612	3.049832685
4	36.53503425	18.67986496	3.168565137
5	25.29436985	13.5747031	0.735255951
6	3.9016162	15.15480261	1.946823116
7	11.13992875	14.86264936	1.770110335
8	21.87526077	7.844540391	2.573017573
9	38.30027342	13.1095578	2.825224856
10	38.59554141	3.423733756	3.00651226
11	6.304523267	14.12092176	1.09186584
12	38.82371127	0.636656928	2.70657624
13	38.28667793	5.538459699	2.608157548
14	19.41502595	0.923427813	0.638212473
15	32.01121876	1.942635625	0.463756259
16	5.675453545	16.46915657	1.98122174
17	16.87045131	13.89657246	3.826741366
18	36.62942101	6.341989601	1.349308439
19	31.68829318	19.00444098	2.328836536
20	38.37969706	0.68892161	0.88301329

จากตารางที่ 4.1 นำค่าความผันแปรของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งพิกัดจุด x_i และ y_i แทนค่าในสมการที่ 3.7 สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Coefficients Regression) a_0 , a_1 และ a_2 ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด ที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ 3.7

Coefficients Regression	a_0	a_1	a_2
การทดลองที่ 4.2.2 (AS: $N = 20$)	0.69691	0.02234	0.07509

โมเดลความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและผลตอบสนองจากสมการที่ 3.6 สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ความผันแปรของอุณหภูมิ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของอุณหภูมิ นั่นคือ พิกัดจุดของพื้นที่บนระนาบแนวแกน X และ Y ดังนั้นสมการพยากรณ์จากโมเดลความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองกรณีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\hat{T}_{var}(x_i, y_i, z_i) = 0.69691 + 0.02234x_i + 0.07509y_i \quad (4.1)$$

ค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณ ทำให้สามารถหาค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Error) ซึ่งเกิดจากข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB (Temperature Variation) กับข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณหรือการพยากรณ์ (Predicted Temperature Variation) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$e_{(x_i, y_i, z_i)} = T_{var}(x_i, y_i, z_i) - \hat{T}_{var}(x_i, y_i, z_i) \quad (4.2)$$

โดยที่ $e_{(x_i, y_i, z_i)}$ เป็นค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Error)

$T_{var}(x_i, y_i, z_i)$ เป็นข้อมูลข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB

$\hat{T}_{var}(x_i, y_i, z_i)$ เป็นข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณหรือการพยากรณ์

ตารางที่ 4.3 เซตของข้อมูลกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากค่าความผันแปรของอุณหภูมิ ที่ได้จากการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB และจากการคำนวณในสมการที่ 4.1 และ 4.2

ข้อมูลลำดับที่	Temperature Variation (°C)	Predicted Temperature Variation (°C)	Residuals (°C)
1	1.742742971	2.409901985	-0.667159014
2	1.513999361	1.560134128	-0.046134767
3	3.049832685	2.085638818	0.964193867
4	3.168565137	2.915958519	0.252606618
5	0.735255951	2.281438848	-1.546182897
6	1.946823116	1.922070829	0.024752287
7	1.770110335	2.061872079	-0.291761743
8	2.573017573	1.774759261	0.798258312
9	2.825224856	2.537126127	0.288098729
10	3.00651226	1.816411731	1.190100529
11	1.09186584	1.898128976	-0.806263135
12	2.70657624	1.612227524	1.094348716
13	2.608157548	1.968305773	0.639851776

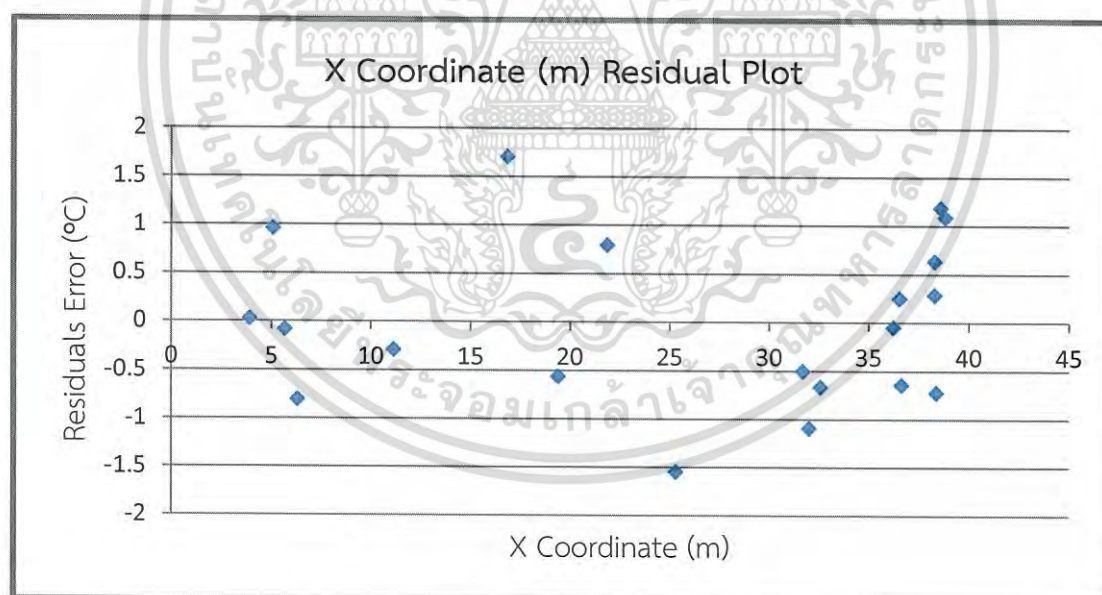
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) เซตของข้อมูลกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น จากค่าความผันแปรอุณหภูมิ ที่ได้จากการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB และ จากการคำนวณในสมการที่ 4.1 และ 4.2

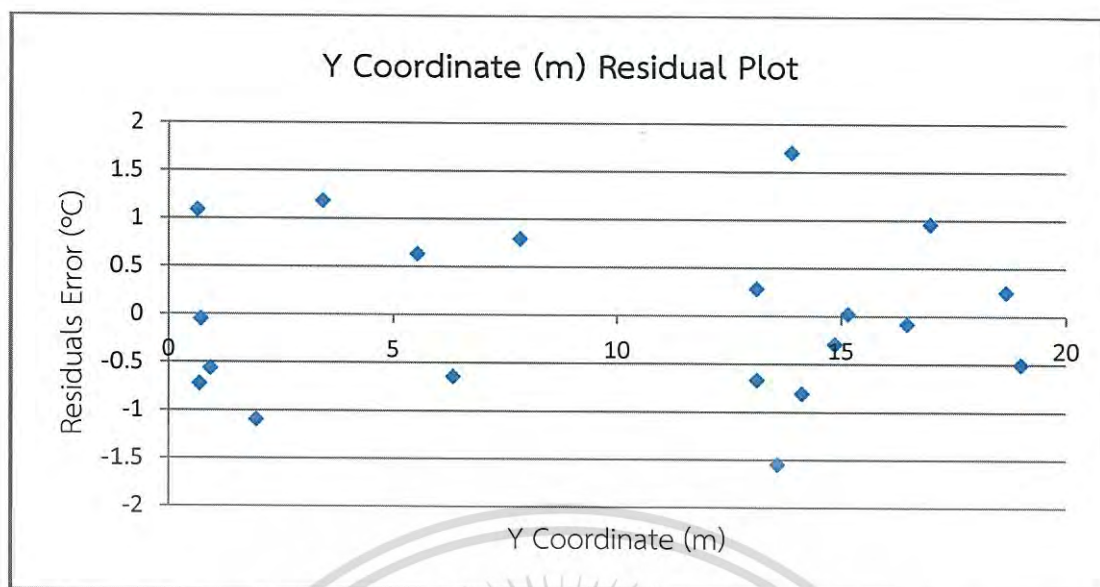
ข้อมูลลำดับที่	Temperature Variation (°C)	Predicted Temperature Variation (°C)	Residuals (°C)
14	0.638212473	1.200076725	-0.561864252
15	0.463756259	1.558069696	-1.094313437
16	1.98122174	2.060402318	-0.079180577
17	3.826741366	2.117376781	1.709364585
18	1.349308439	1.991611942	-0.642303503
19	2.328836536	2.832031259	-0.503194722
20	0.88301329	1.606230659	-0.723217369

จากตารางที่ 4.3 สามารถสร้างกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนกับพื้นที่บนระนาบแนวแกน X และค่าความคลาดเคลื่อนกับพื้นที่บนระนาบแนวแกน Y ได้ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าใกล้เคียงศูนย์ และส่วนใหญ่อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 จึงสรุปได้ว่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่



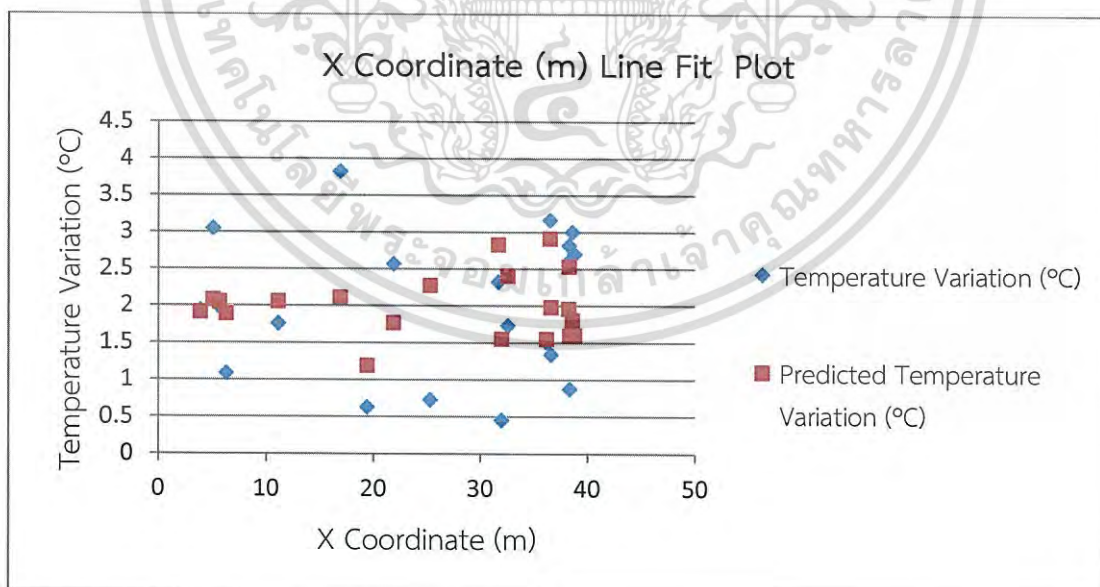
รูปที่ 4.17 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับพื้นที่บนระนาบแนวแกน X กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



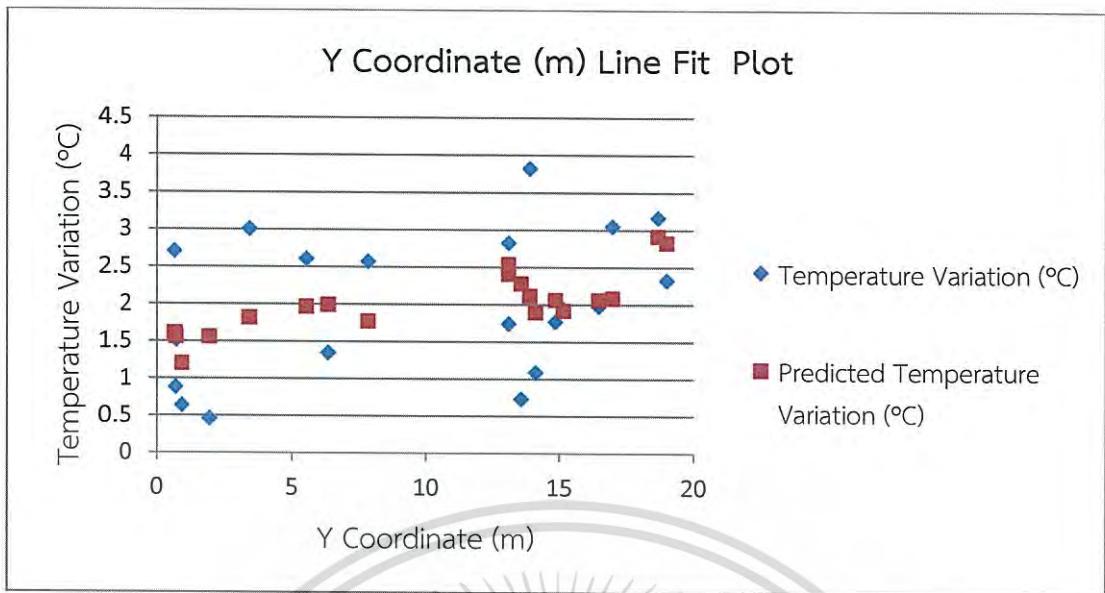
รูปที่ 4.18 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับพื้นที่บนระนาบแนวแกน Y
กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด

จากตารางที่ 4.3 สามารถสร้างกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB กับค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณโดยพิจารณาจากพื้นที่ในแนวแกน X และแนวแกน Y ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ



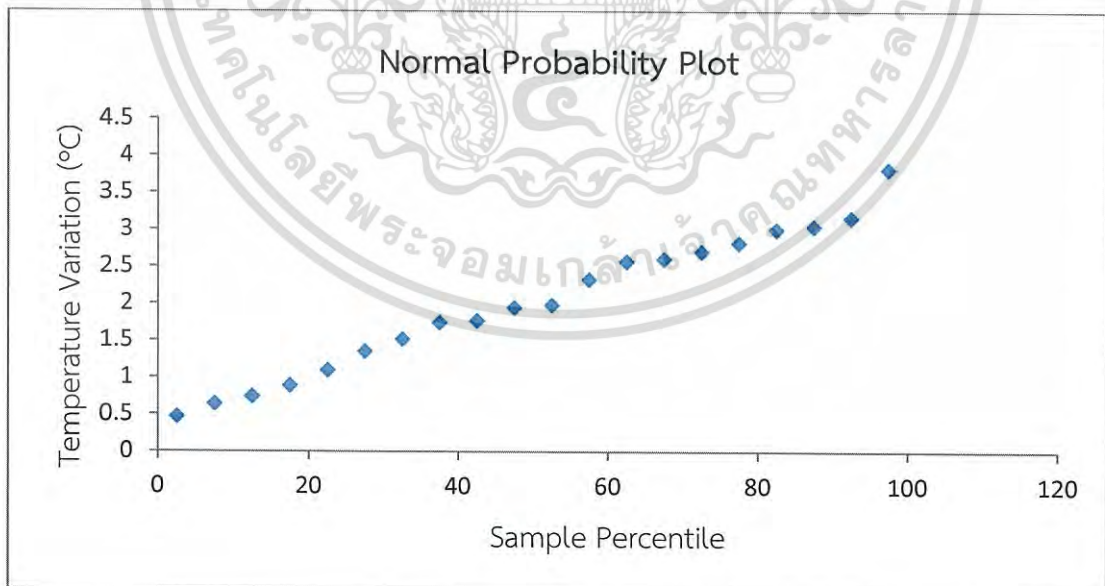
รูปที่ 4.19 ความแตกต่างของความผันแปรของอุณหภูมิตั้งแต่ค่าที่ได้จากการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB และค่าที่ได้จากการคำนวณที่เกิดขึ้นกับพื้นที่บนระนาบแนวแกน X
กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ความแตกต่างของความผันแปรของอุณหภูมิระหว่างค่าที่ได้จากการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB และค่าที่ได้จากการคำนวณที่เกิดขึ้นกับพื้นที่บนระนาบแนวแกน Y กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด

รูปที่ 4.21 คือความผันแปรของอุณหภูมิตามเปอร์เซ็นต์ไทล์สามารถสร้างกราฟ Normal Probability Plot เพื่อตรวจสอบว่าความผันแปรของอุณหภูมิมิมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะค่าที่ได้อยู่ในรูปเชิงเส้นในแนวทแยงมุม



รูปที่ 4.21 ค่าความผันแปรของอุณหภูมิตามเปอร์เซ็นต์ไทล์ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่า ตำแหน่งพิกัดจุดบนระนาบของพื้นที่ในแนวแกน X และ Y ไม่สามารถนำมาพยากรณ์ค่าความผันแปรของอุณหภูมิได้ เนื่องจากค่า R Square = 0.20202 มีค่าน้อยมาก โดยมีสมการพยากรณ์คือ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i) = 0.69691 + 0.02234x_i + 0.07509y_i$

นำผลที่ได้จากการทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด 20 จุด 50 จุด และ 100 จุด โดยนำค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดจากอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามา กับเซนเซอร์หลักของระบบ ที่ตำแหน่งพิกัด x_i และ y_i สามารถวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งในการทดลองโดยการเพิ่มจำนวนเซนเซอร์ ได้ทดลองบนพื้นที่ขนาดเดียวกันคือ 800 m² ทุกการทดลอง

ตารางที่ 4.4 สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์

ลำดับการทดลอง	R Square	Observations	Significance F	Coefficients Regression		
				a_0	a_1	a_2
4.2.1	99.03 %	4	0.09825	0.91871	0.07078	-0.07682
4.2.2	20.20 %	20	0.14686	0.69691	0.02234	0.07509
4.2.3	6.15 %	50	0.22494	2.24368	-0.01806	0.02703
4.2.4	4.08 %	100	0.13223	2.40135	0.00149	-0.04464

4.2.6 สรุปผลการวิเคราะห์กรณีเพิ่มจำนวนเซนเซอร์

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มีการเพิ่มเข้ามาในพื้นที่ควบคุมเพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของอุณหภูมิ จากการทดลองในขนาดพื้นที่เท่ากัน จะเห็นได้ว่าหากมีจำนวนจุดวัดอุณหภูมิในพื้นที่มากขึ้นจะช่วยในการรับรู้ปริมาณความร้อนในพื้นที่ได้ดีขึ้น และสามารถสร้างกราฟพื้นผิวสามมิติของรูปแบบอุณหภูมิที่จำลองในพื้นที่ปรับอากาศได้ละเอียดขึ้น สำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่พิกัดใด ๆ ซึ่งในการทดลองนี้ อุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะอยู่ในรูปแบบของการสุ่ม ดังนั้น ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึง จำนวนของเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R Square) นั่นคือ ถ้าจำนวนเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามามีจำนวนมากขึ้น แล้วความเหมาะสมของโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสำหรับพยากรณ์ค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ ในพื้นที่จะมีความเหมาะสมลดลง และตำแหน่งใด ๆ สำหรับการวัดอุณหภูมิในพื้นที่ไม่มีผลต่อความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทดลอง

4.3 การทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่

การทดลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ควบคุมการปรับอากาศเพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของอุณหภูมิตั้งในพื้นที่ขนาดต่าง ๆ ดังนี้ที่ 800 m² 1,800 m² 3,200 m² และ 5,000 m² โดยมีค่าคงที่ในการทดลองดังนี้

จำนวนจุดวัดอุณหภูมิจากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (AS) $N = 20$ จุด
อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้ในพื้นที่ เป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CP_x\% = 0.4$ และ $CP_y\% = 0.7$

$SP = 24$ °C

$TS = \pm 2$ °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

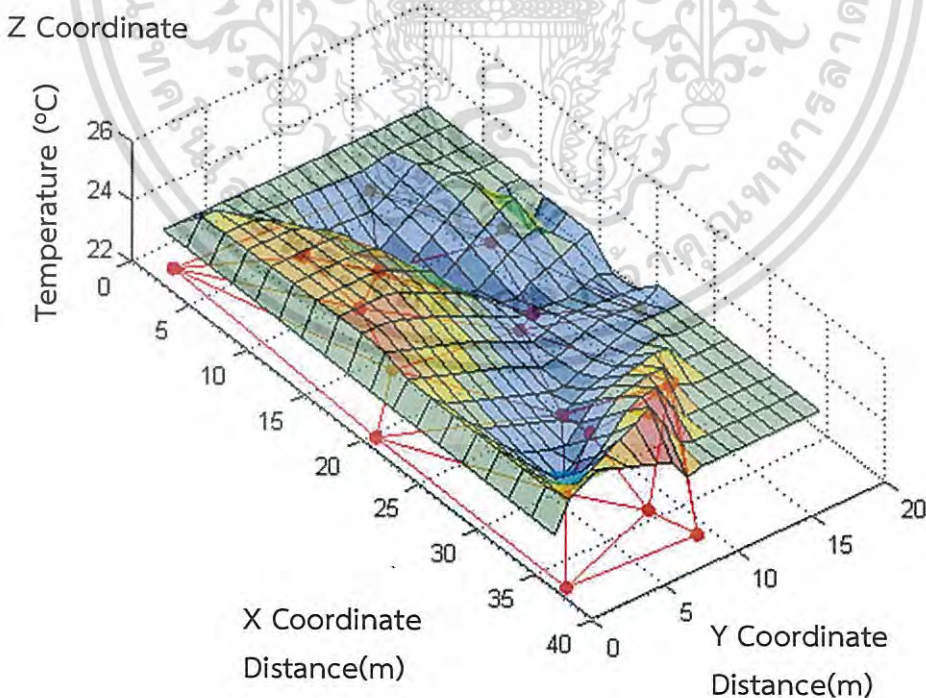
4.3.1 การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 800 m²

รูปที่ 4.22 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 20 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่างขนาด 800 m² แบ่งเป็น $max(X) = 40$ m และ $max(Y) = 20$ m เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

รูปที่ 4.23 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งใด ๆ ในพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.4$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 16$ m และ $CPy\% = 0.7$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 14$ m การเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

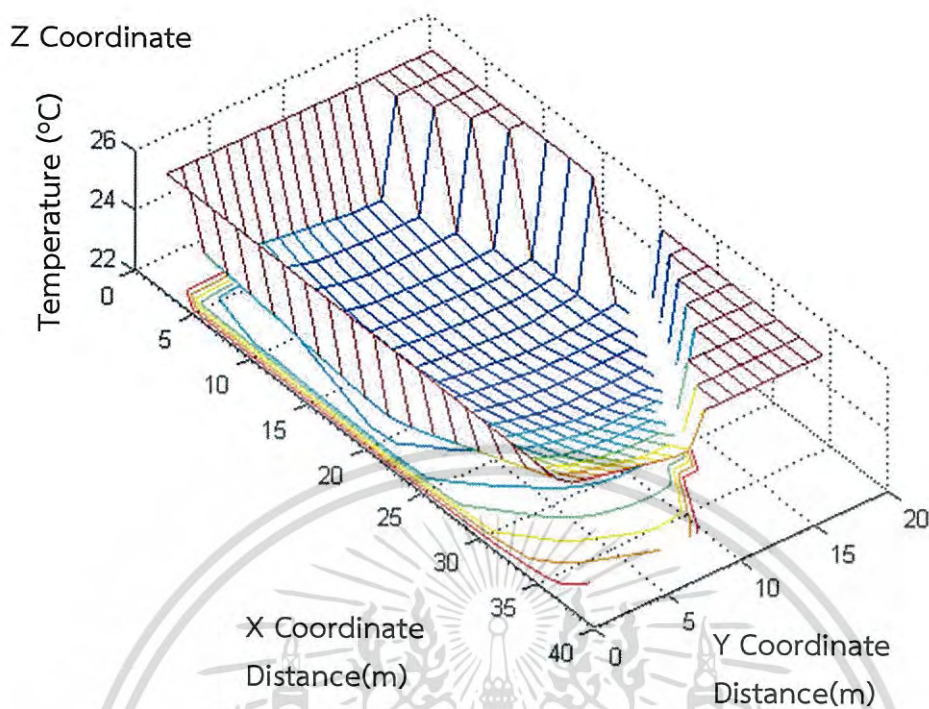
รูปที่ 4.24 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.22 และ 4.23 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.25 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอโดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

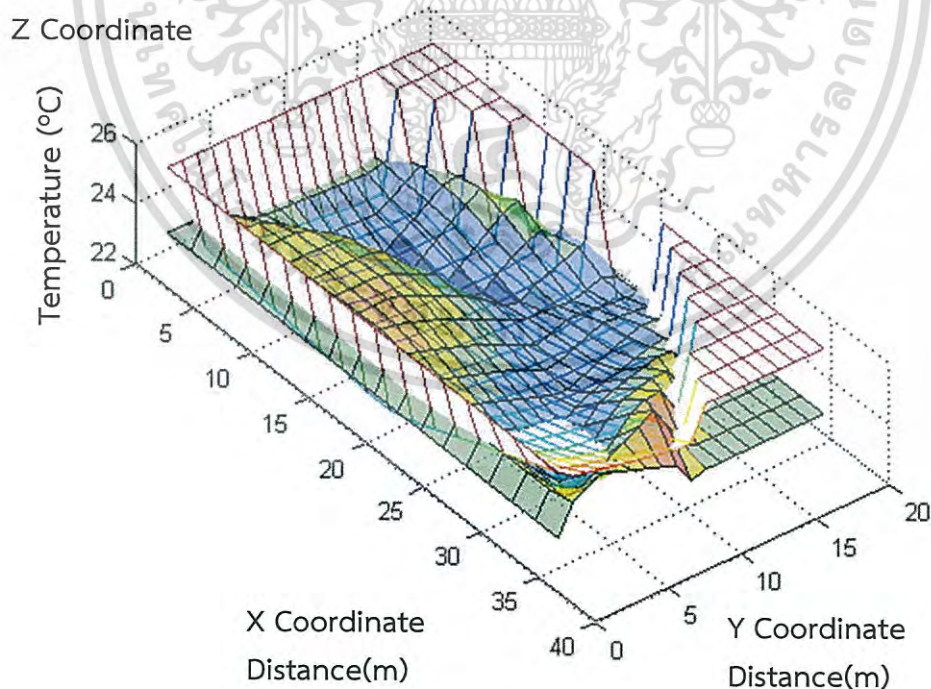


รูปที่ 4.22 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

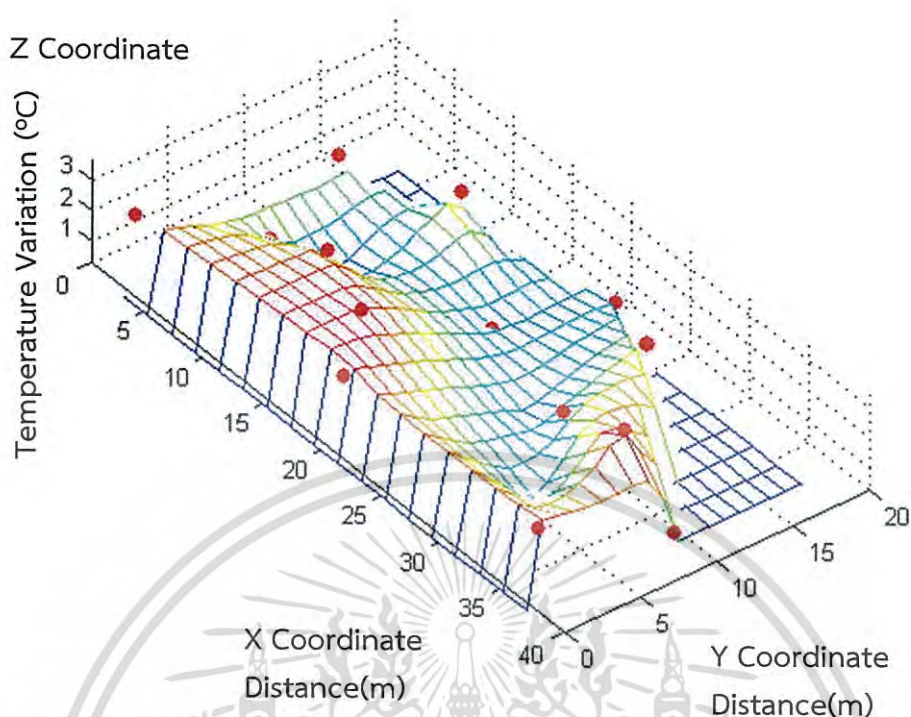


รูปที่ 4.23 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(x_j, y_j, z_j)$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m^2



รูปที่ 4.24 ความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่าง $T_{AS}(x_i, y_i, z_i)$ และ $T_{PS}(x_j, y_j, z_j)$
กรณีพื้นที่ขนาด 800 m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m^2

4.3.2 การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด $1,800 \text{ m}^2$

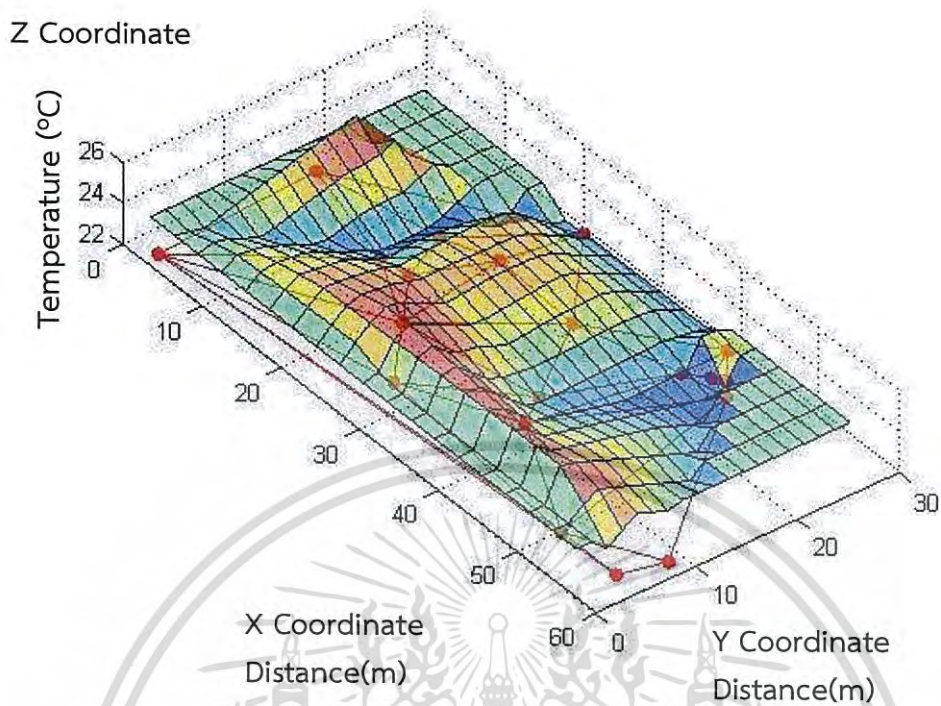
รูปที่ 4.26 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 20 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่างขนาด $1,800 \text{ m}^2$ แบ่งเป็น $\max(X) = 60 \text{ m}$ และ $\max(Y) = 30 \text{ m}$ เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

รูปที่ 4.27 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งใด ๆ ในพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.4$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 24 \text{ m}$ และ $CPy\% = 0.7$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 21 \text{ m}$ การเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

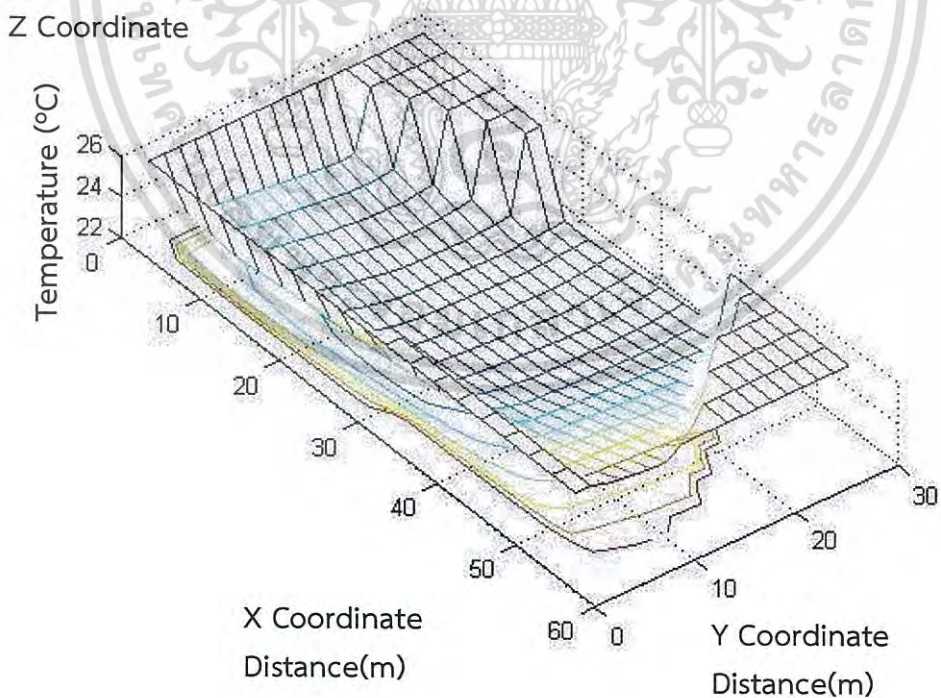
รูปที่ 4.28 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.26 และ 4.27 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.29 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอโดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

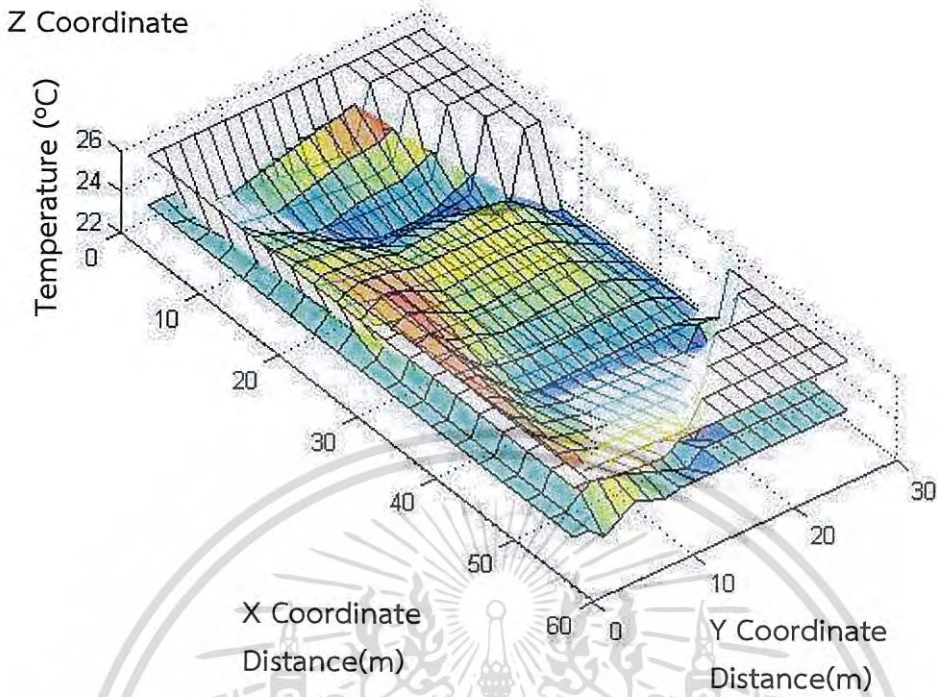


รูปที่ 4.26 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_j, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m^2

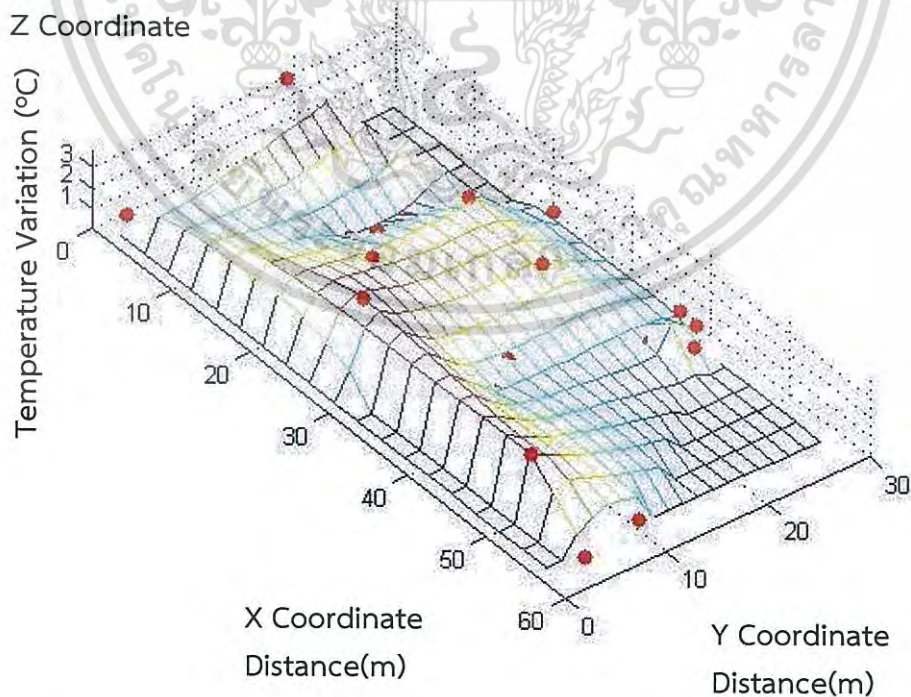


รูปที่ 4.27 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีพื้นที่ขนาด 1,800 m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีสถานที่ขนาด 1,800 m²



รูปที่ 4.29 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var(X_i, Y_i, Z_i)}$ กรณีสถานที่ขนาด 1,800 m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

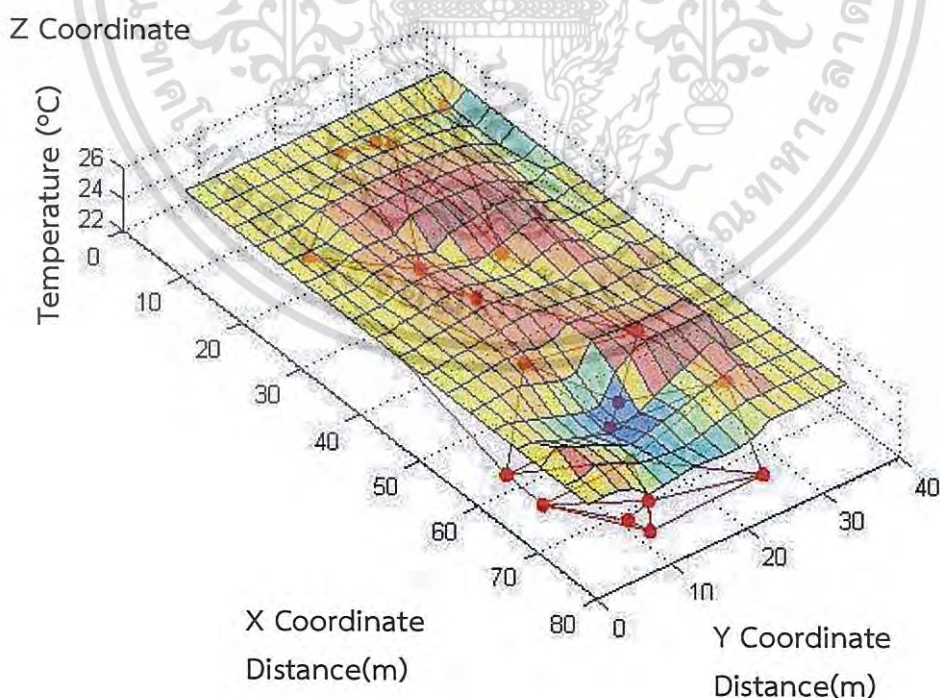
4.3.3 การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m²

รูปที่ 4.30 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 20 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่างขนาด 3,200 m² แบ่งเป็น $max(X) = 80$ m และ $max(Y) = 40$ m เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

รูปที่ 4.31 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งใด ๆ ในพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.4$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 32$ m และ $CPy\% = 0.7$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 28$ m การเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

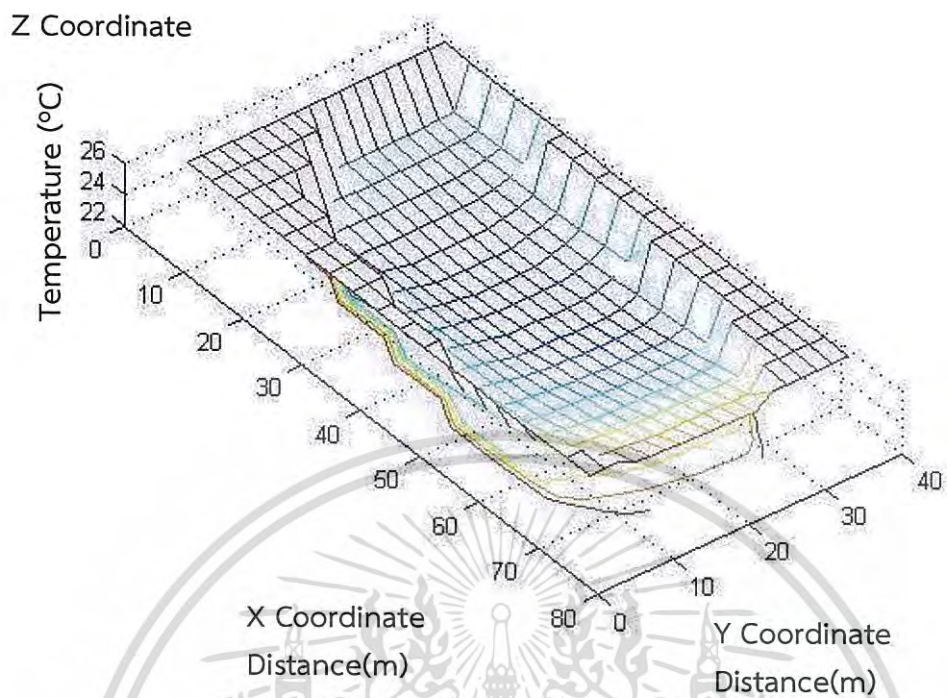
รูปที่ 4.32 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.30 และ 4.31 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.33 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอโดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

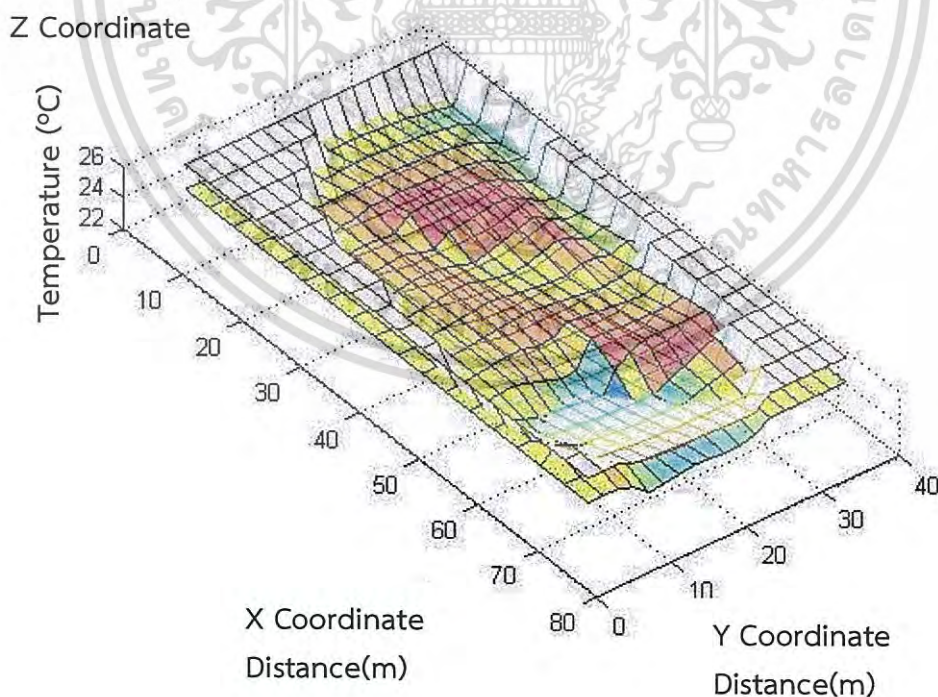


รูปที่ 4.30 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

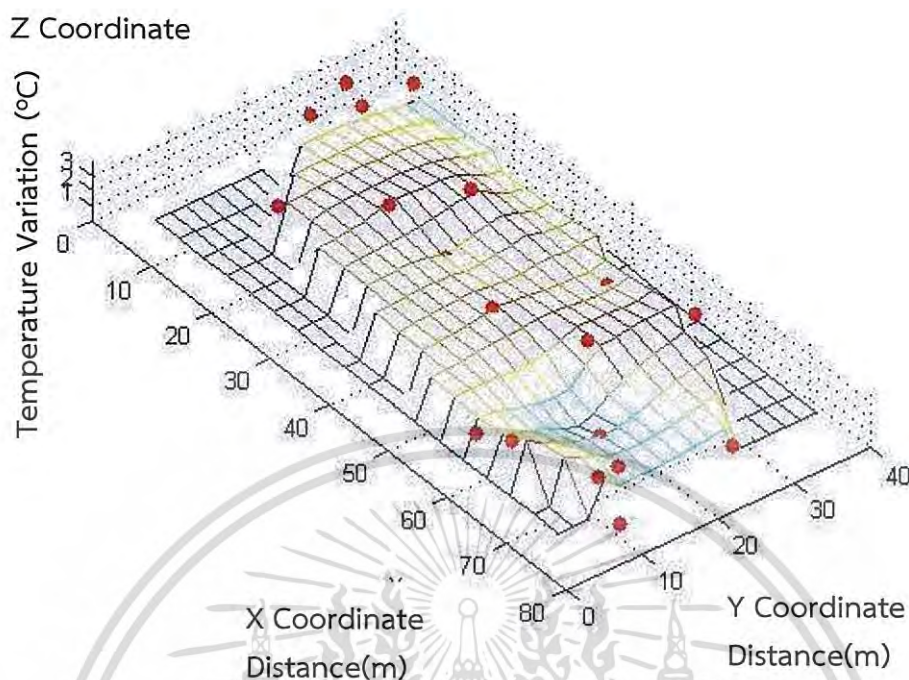


รูปที่ 4.31 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(X, Y, Z)$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m²



รูปที่ 4.32 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS}(X, Y, Z)$ และ $T_{PS}(X, Y, Z)$
กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีสถานที่ขนาด 3,200 m^2

4.3.4 การทดลองกรณีสถานที่ขนาด 5,000 m^2

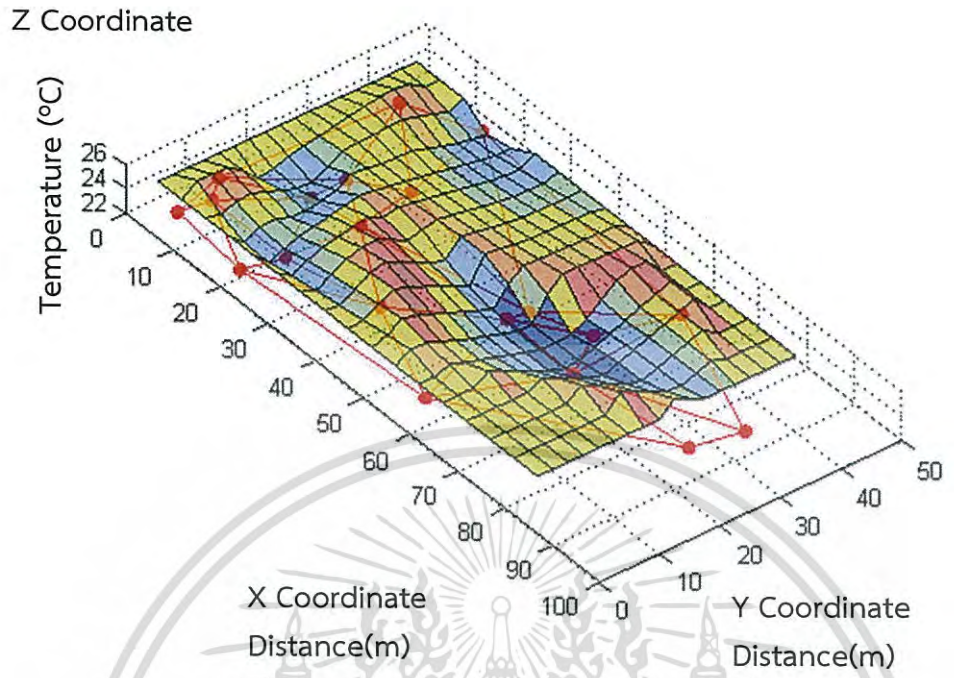
รูปที่ 4.34 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 20 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่างขนาด 5,000 m^2 แบ่งเป็น $max(X) = 100$ m และ $max(Y) = 50$ m เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

รูปที่ 4.35 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งใด ๆ ในพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.4$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 40$ m และ $CPy\% = 0.7$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 35$ m การเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

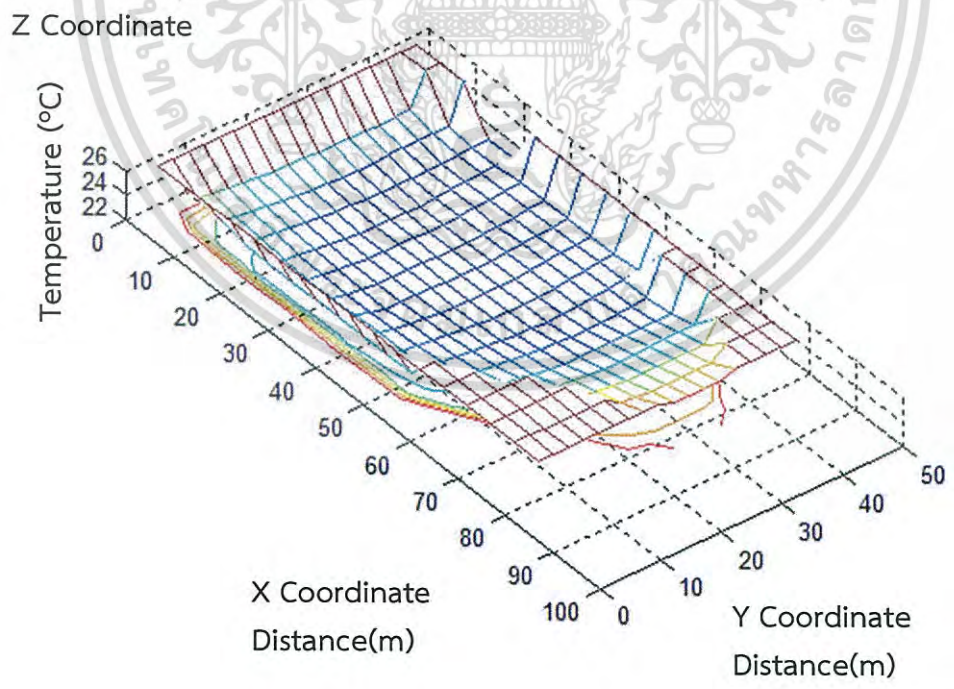
รูปที่ 4.36 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.34 และ 4.35 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.37 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอโดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

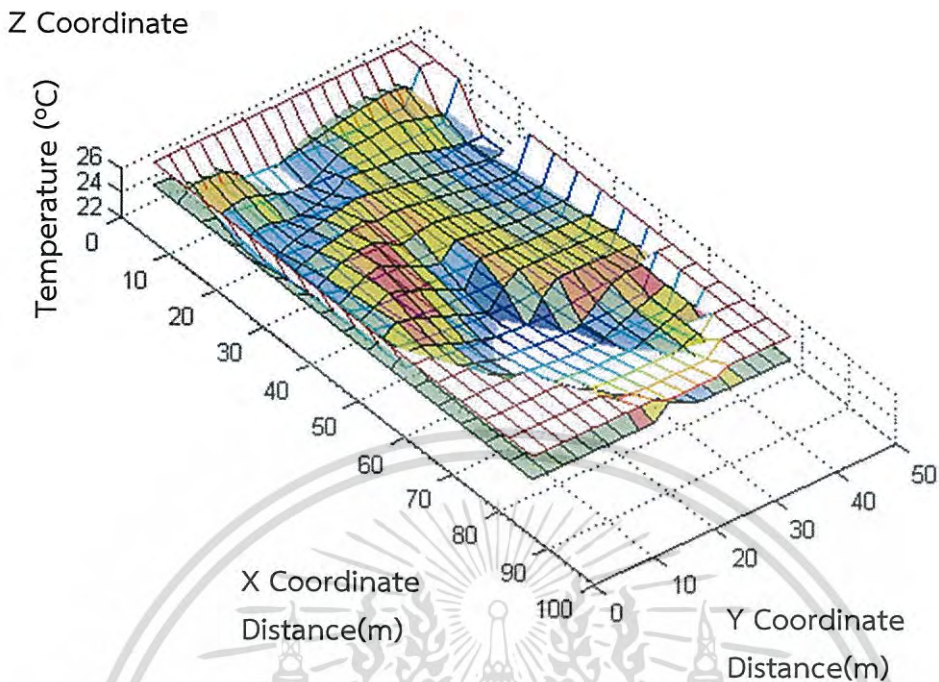


รูปที่ 4.34 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(x, y, z)$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m²

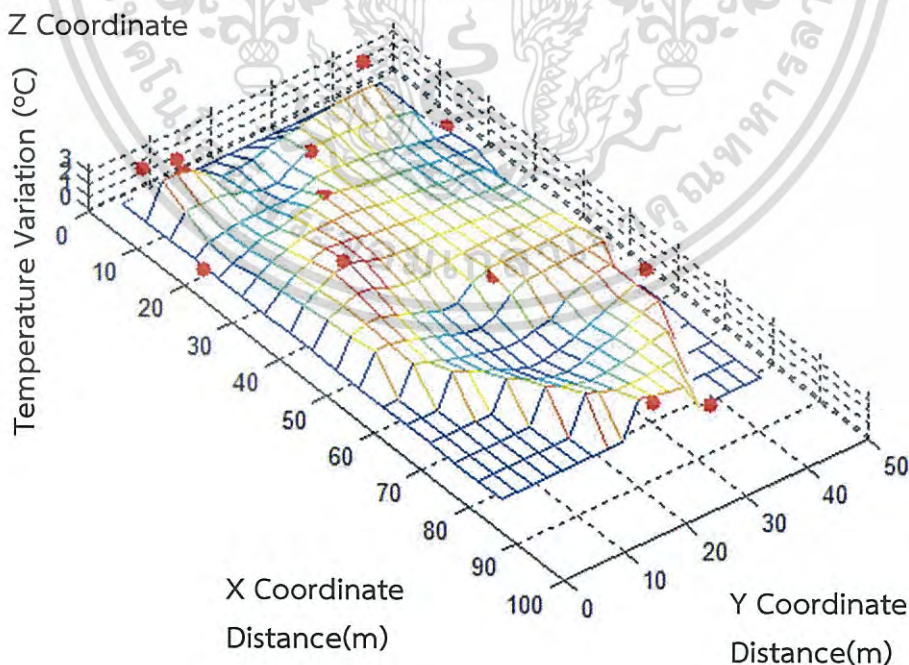


รูปที่ 4.35 ผลการจำลองอุณหภูมิหลัก $T_{PS}(x, y, z)$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีสถานที่ขนาด 5,000 m²



รูปที่ 4.37 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีสถานที่ขนาด 5,000 m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่

นำผลที่ได้จากการจำลองโดยการจำลองบนพื้นที่ขนาดต่าง ๆ ดังนี้ที่ 800 m² 1,800 m² 3,200 m² และ 5,000 m² โดยนำค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดจากอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาที่เซนเซอร์หลักของระบบ ที่ตำแหน่งพิกัด x_i และ y_j สามารถวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งในการทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ มีจำนวนเซนเซอร์ในการทดลอง (Observations) $N = 20$ จุด ทุกการทดลอง

ตารางที่ 4.5 สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่

ลำดับการทดลอง	R Square	Area (m ²)	Significance F	Coefficients Regression		
				a_0	a_1	a_2
4.3.1	19.67%	800	0.15526	2.30187	0.00856	-0.07405
4.3.2	12.48%	1,800	0.32181	2.62915	-0.01549	-0.03631
4.3.3	6.74%	3,200	0.55243	3.11384	-0.01316	-0.00754
4.3.4	0.59%	5,000	0.95047	1.70855	0.00410	-0.00288

4.3.6 สรุปผลการวิเคราะห์กรณีเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่และกำหนดให้จำนวนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาในพื้นที่ควบคุมมีปริมาณเท่ากันคือ 20 จุดวัด เพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของอุณหภูมิ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ปรับอากาศที่มีขนาดเพิ่มขึ้นจะทำให้การรับรู้ปริมาณความร้อนในพื้นที่ไม่ทั่วถึงทั้งพื้นที่ และในการสร้างกราฟพื้นผิวสามมิติของรูปแบบอุณหภูมิที่จำลองในพื้นที่ปรับอากาศได้ไม่ละเอียดสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิที่พิกัดใด ๆ ซึ่งในการทดลองนี้อุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะอยู่ในรูปแบบของการสุ่ม ดังนั้น ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึง ขนาดของพื้นที่ในการทดลองแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R Square) นั่นคือ ถ้าพื้นที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้วความเหมาะสมของโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสำหรับพยากรณ์ค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ ในพื้นที่จะมีความเหมาะสมลดลง และตำแหน่งใด ๆ สำหรับการวัดอุณหภูมิในพื้นที่ไม่มีผลต่อความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทดลอง

4.4 การทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

การทดลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มีการเพิ่มเข้ามา (AS) ในพื้นที่ควบคุมเพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของอุณหภูมิที่มีจำนวนเซนเซอร์เท่ากับ 4 จุด 20 จุด 50 จุด และ 100 จุด โดยมีค่าคงที่ในการทดลองดังนี้

อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้ในพื้นที่ เป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CP_x\% = 0.5$ และ $CP_y\% = 0.5$

การทดลองบนขนาดพื้นที่ 800 m²: $max(X) = 40$ m และ $max(Y) = 20$ m

$SP = 24$ °C

$TS = \pm 2$ °C

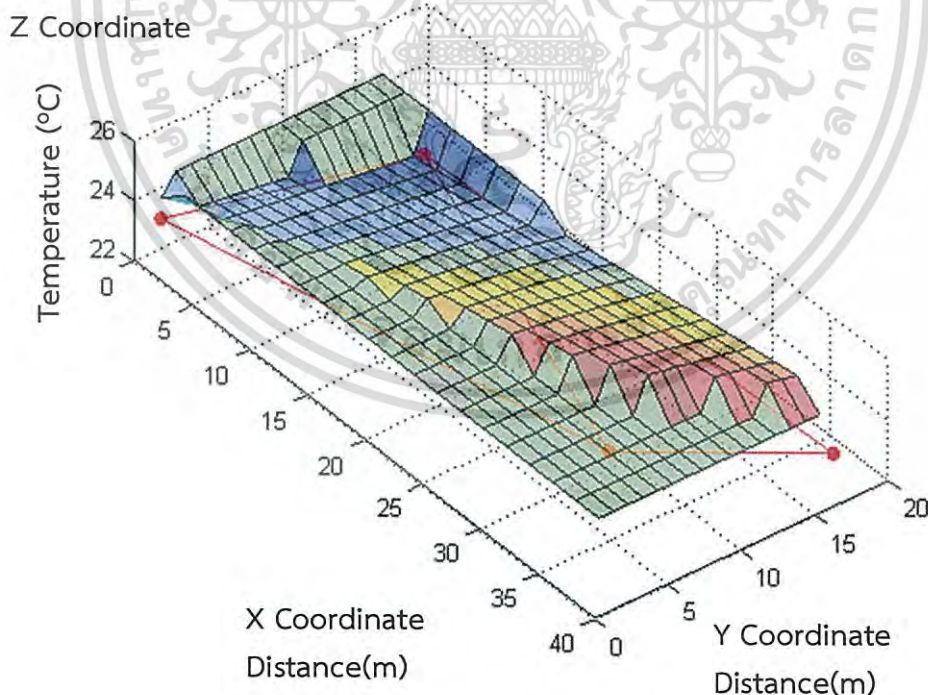
4.4.1 การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

รูปที่ 4.38 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(x_i, y_i, z_i)$ จำนวน 4 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่าง เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

รูปที่ 4.39 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(x_j, y_j, z_j)$ ที่จุดติดตั้งตรงกลางพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 20$ m และ $CPy\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 10$ m โดยการเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

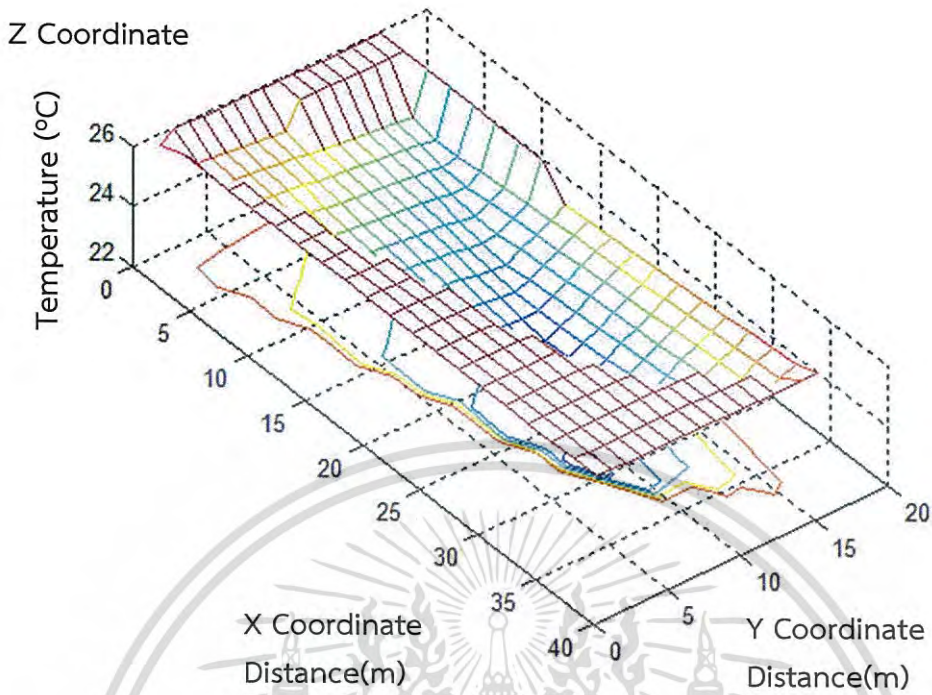
รูปที่ 4.40 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.38 และ 4.39 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.41 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(x_i, y_i, z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอ โดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

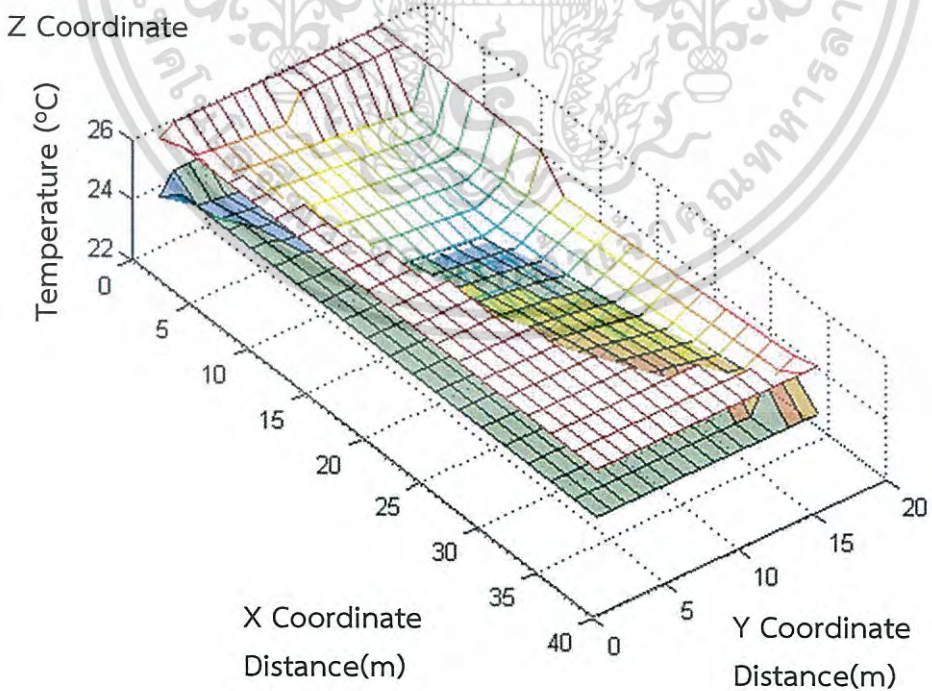


รูปที่ 4.38 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(x_i, y_i, z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

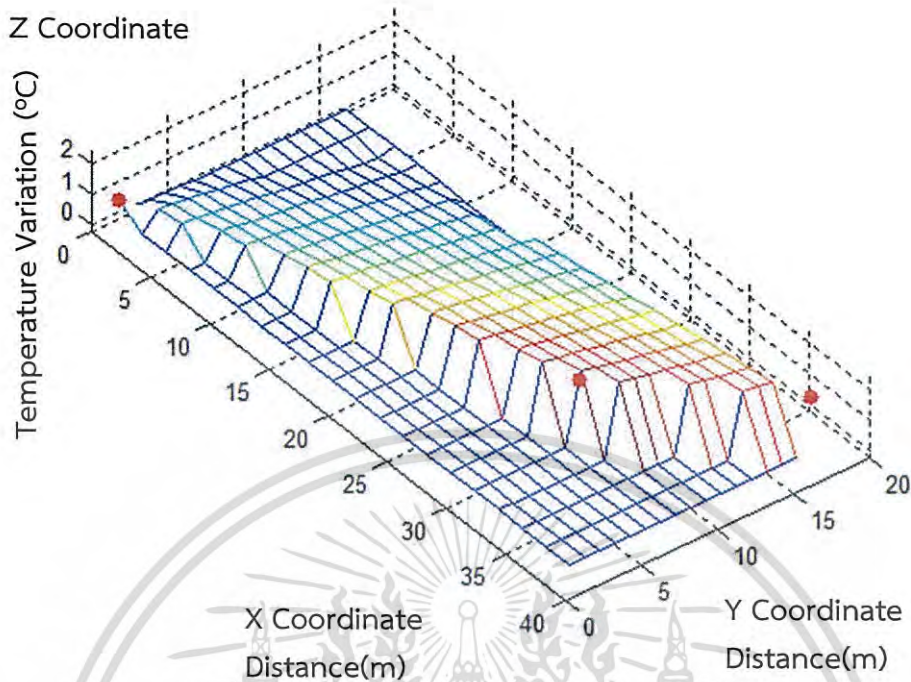


รูปที่ 4.39 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(x, y, z)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง



รูปที่ 4.40 ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่าง $T_{AS}(x, y, z)$ และ $T_{PS}(x, y, z)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุดและตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผังไปรษณีย์ขอนแก่นในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

4.4.2 การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

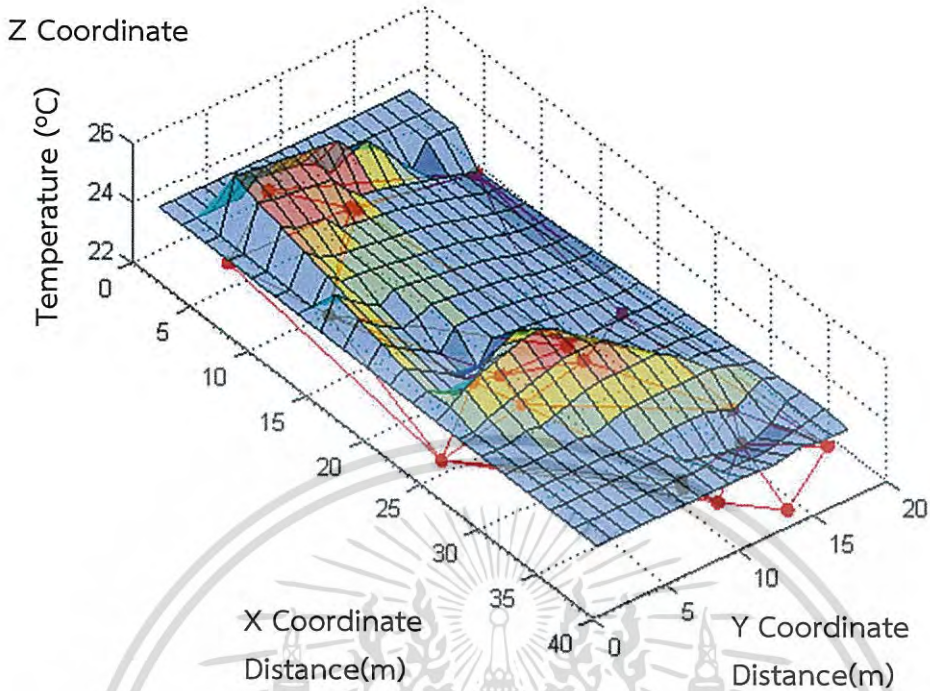
รูปที่ 4.42 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 20 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่าง เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

รูปที่ 4.43 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งตรงกลางพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 20$ m และ $CPy\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 10$ m โดยการเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

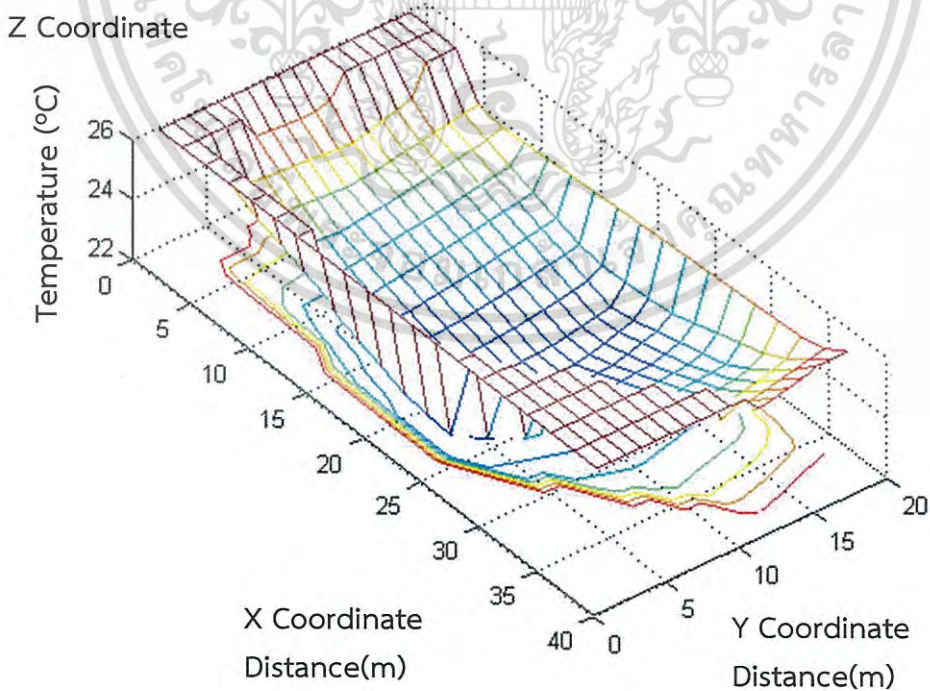
รูปที่ 4.44 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.42 และ 4.43 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามา กับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.45 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอ โดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

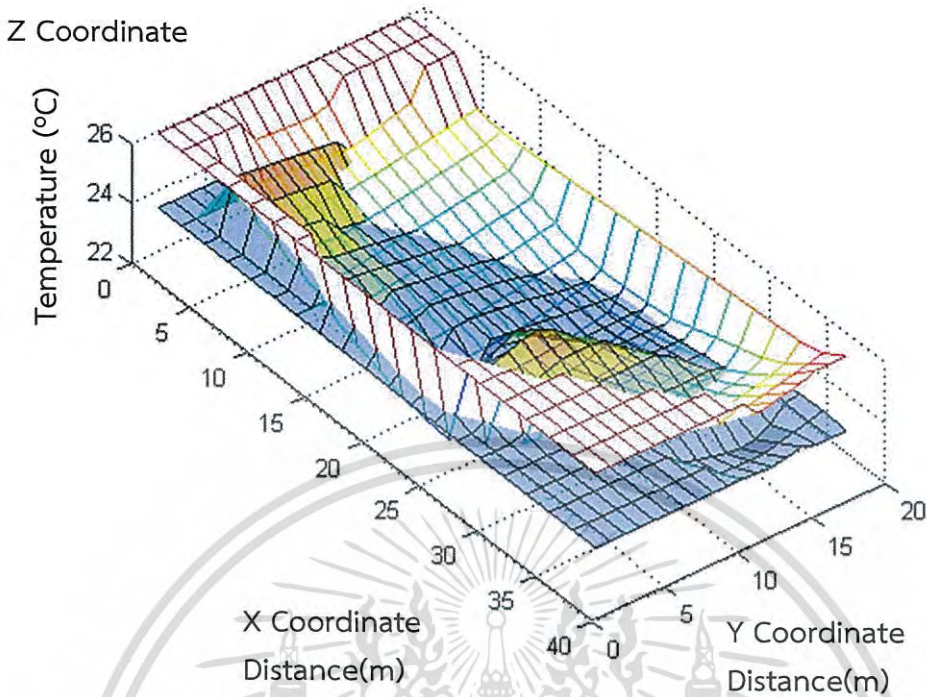


รูปที่ 4.42 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

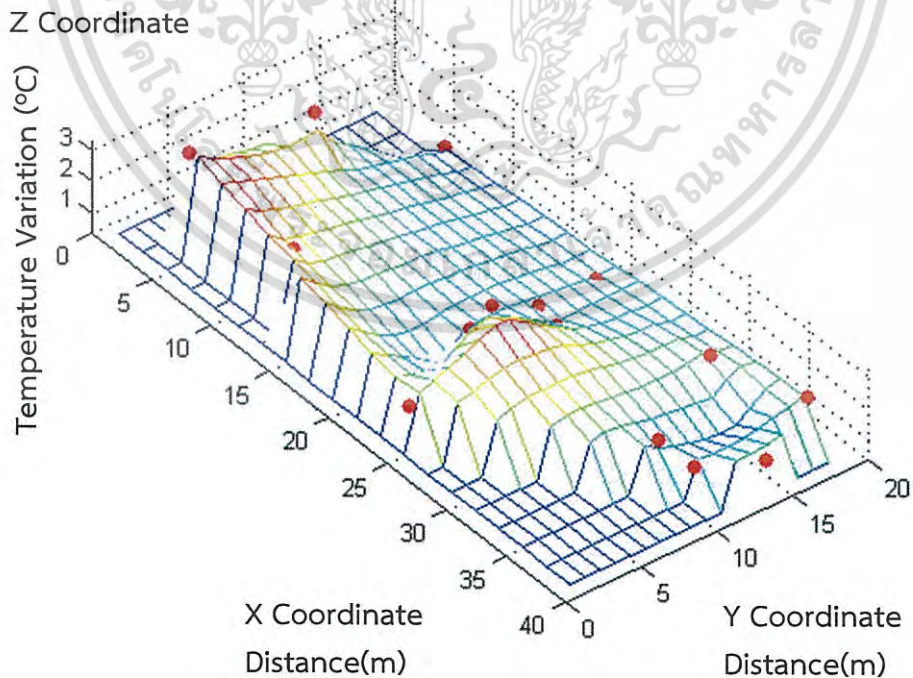


รูปที่ 4.43 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับและตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS(X_i, Y_j, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง



รูปที่ 4.45 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 20 จุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับและตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผังอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

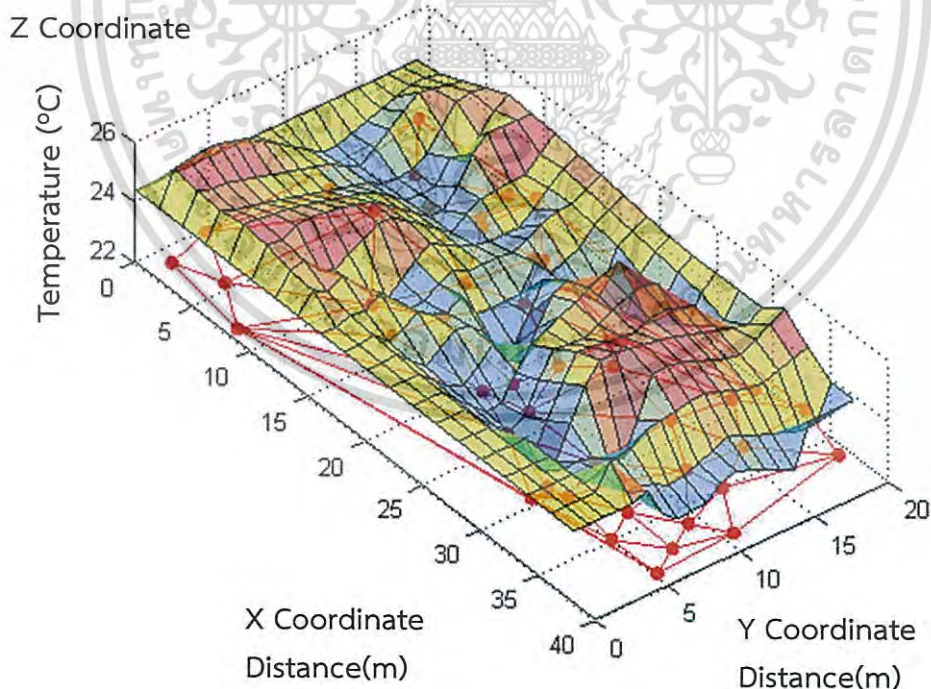
4.4.3 การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

รูปที่ 4.46 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(x_i, y_i, z_i)$ จำนวน 50 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่าง เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

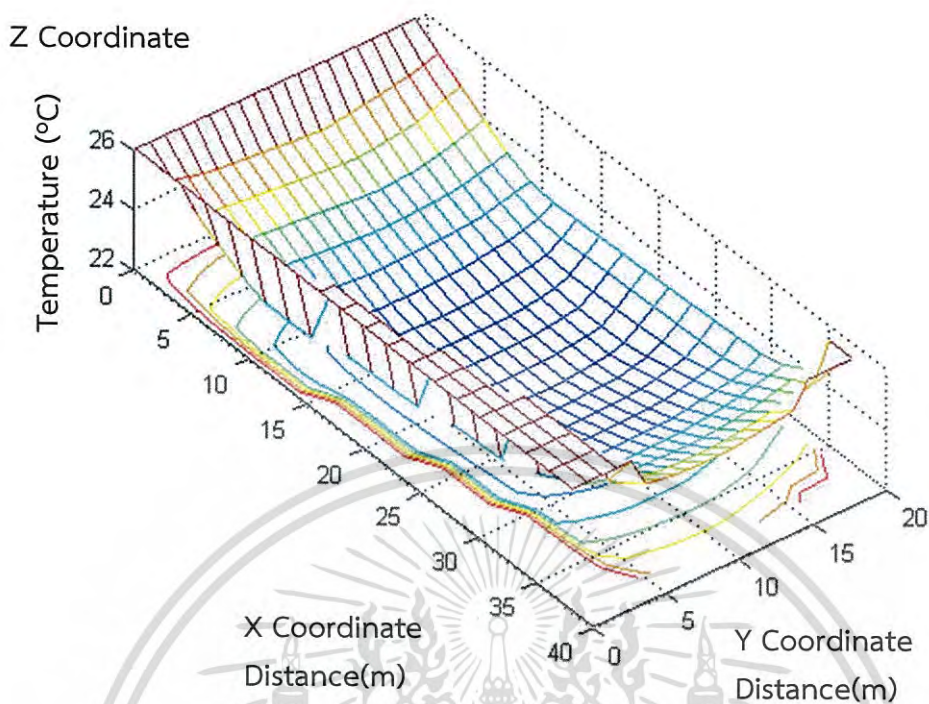
รูปที่ 4.47 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(x_j, y_j, z_j)$ ที่จุดติดตั้งตรงกลางพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 20$ m และ $CPy\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 10$ m โดยการเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

รูปที่ 4.48 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.46 และ 4.47 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

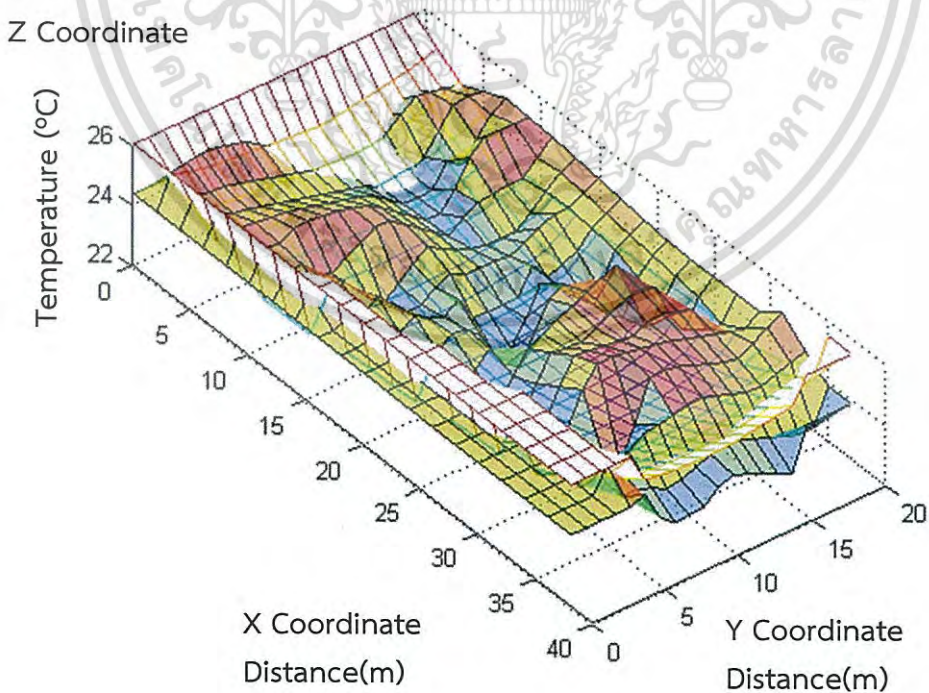
รูปที่ 4.40 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(x_i, y_i, z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอ โดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ



รูปที่ 4.46 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(x_i, y_i, z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง



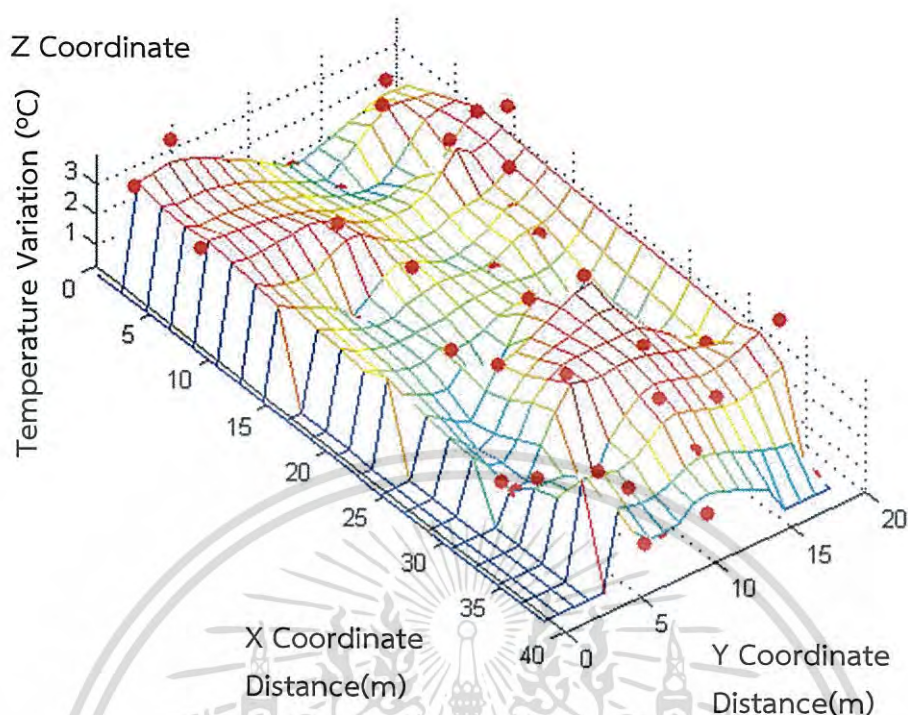
รูปที่ 4.47 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(X,Y,Z)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง



รูปที่ 4.48 ความแตกต่างของอุณหภูมิมระหว่าง $T_{AS}(X,Y,Z)$ และ $T_{PS}(X,Y,Z)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 50 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

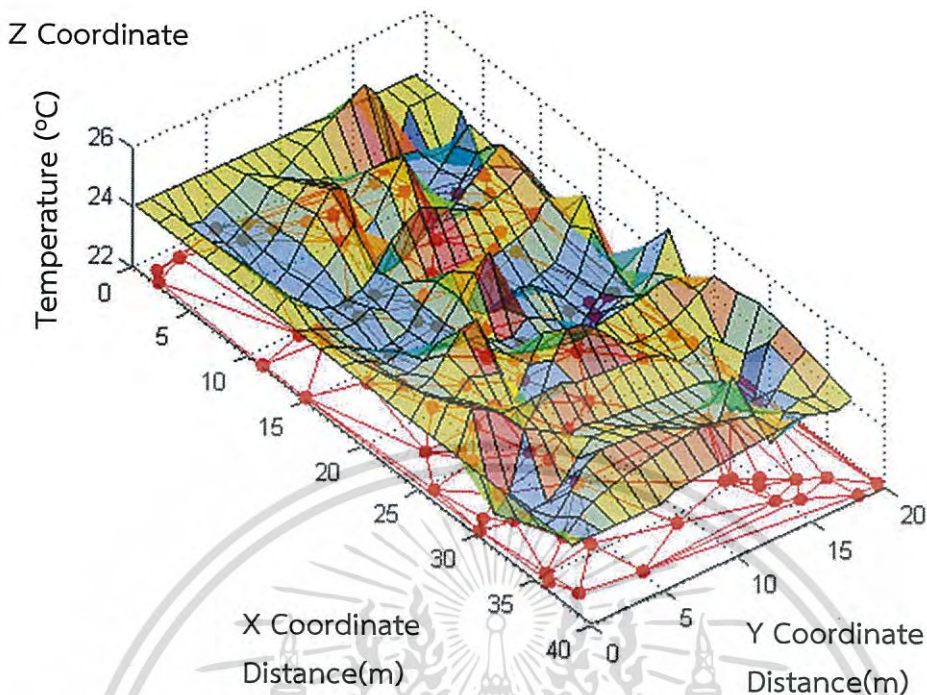
4.4.4 การทดลองกรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

รูปที่ 4.50 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 100 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่าง เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

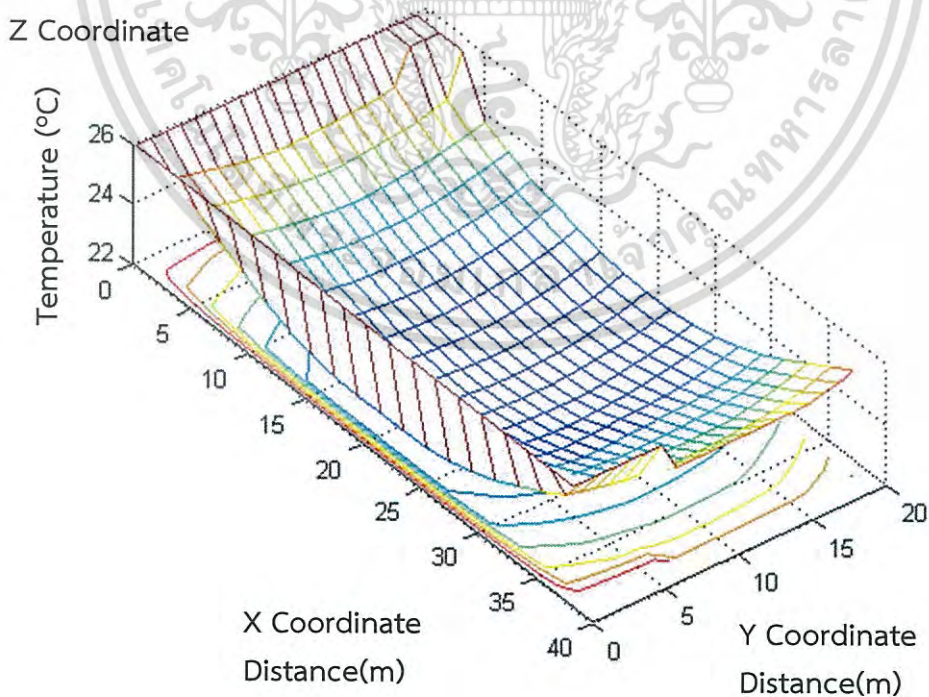
รูปที่ 4.51 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งตรงกลางพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 20$ m และ $CPy\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 10$ m โดยการเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

รูปที่ 4.52 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.50 และ 4.51 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.53 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอ โดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

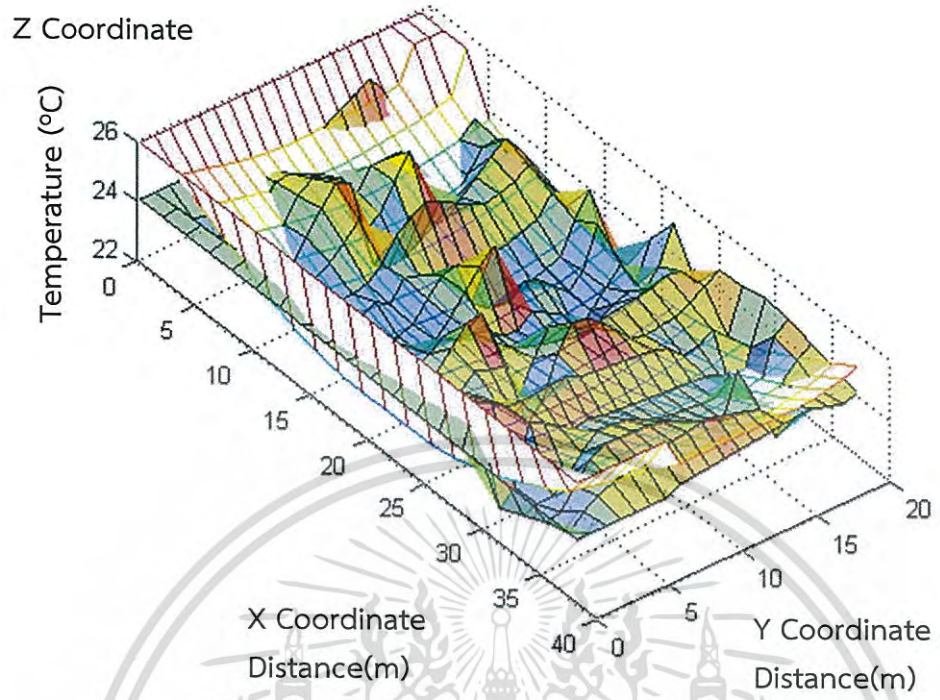


รูปที่ 4.50 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(x_i, y_i, z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

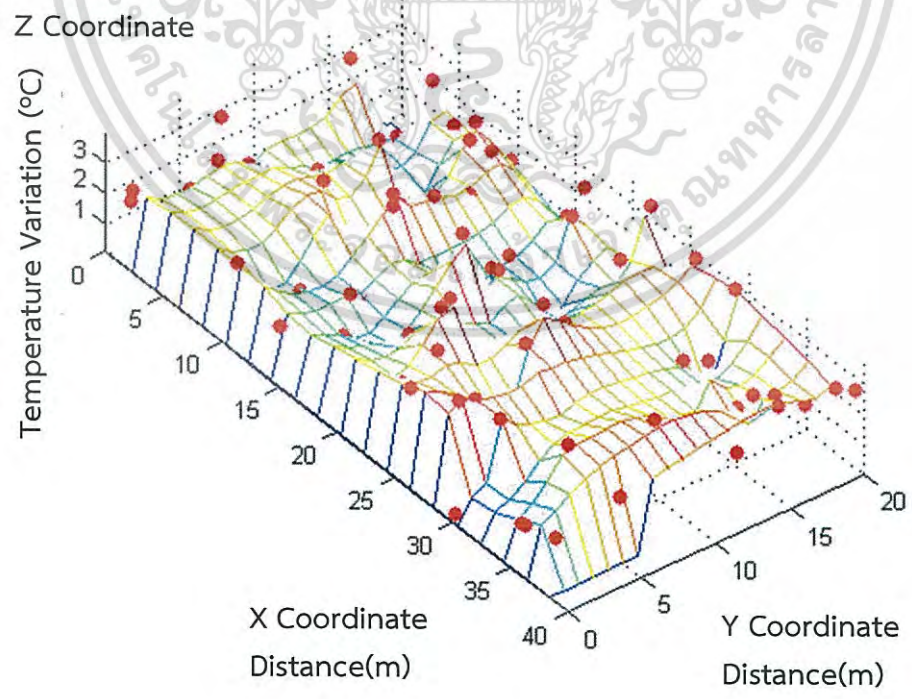


รูปที่ 4.51 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(x_j, y_j, z_j)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับและตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง นุญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS(X_i, Y_i, Z_i)}$ และ $T_{PS(X_j, Y_j, Z_j)}$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง



รูปที่ 4.53 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีจำนวนเซนเซอร์ 100 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับและตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผังอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

นำผลที่ได้จากการทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์ 4 จุด 20 จุด 50 จุด และ 100 จุด และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง โดยนำค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดจากอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับเซนเซอร์หลักของระบบ ที่ตำแหน่งพิกัด x_i และ y_i สามารถวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งในการทดลองโดยการเพิ่มจำนวนเซนเซอร์ ได้ทดลองบนพื้นที่ขนาดเดียวกันคือ 800 m^2 ทุกการทดลอง

ตารางที่ 4.6 สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลองโดยการจำลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

ลำดับการทดลอง	R Square	Observations	Significance F	Coefficients Regression		
				a_0	a_1	a_2
4.4.1	99.03%	4	0.09825	0.68198	0.07078	-0.07682
4.4.2	16.53%	20	0.21524	2.32173	-0.00303	-0.06836
4.4.3	7.11%	50	0.17642	2.55161	-0.02201	0.01763
4.4.4	2.63%	100	0.27361	1.70045	0.01421	0.01122

4.4.6 สรุปผลการวิเคราะห์กรณีเพิ่มจำนวนเซนเซอร์และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเพิ่มจำนวนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่มีการเพิ่มเข้ามาในพื้นที่ควบคุม และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง เพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของอุณหภูมิ จากการทดลองในขนาดพื้นที่เท่ากัน จะเห็นได้ว่าหากมีจำนวนจุดวัดอุณหภูมิในพื้นที่มากขึ้นจะช่วยให้การรับรู้ปริมาณความร้อนในพื้นที่ได้ดีขึ้น และยังสามารถสร้างกราฟพื้นผิวสามมิติของรูปแบบอุณหภูมิที่จำลองในพื้นที่ปรับอากาศได้ละเอียดขึ้นสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่พิกัดใด ๆ ซึ่งในการทดลองนี้อุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะอยู่ในรูปแบบของการสุ่ม ดังนั้น ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึง จำนวนของเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R Square) นั่นคือ ถ้าจำนวนเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามามีจำนวนมากขึ้น แล้วความเหมาะสมของโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสำหรับพยากรณ์ค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ ในพื้นที่จะมีความเหมาะสมลดลง และตำแหน่งใด ๆ สำหรับการวัดอุณหภูมิในพื้นที่ที่ไม่มีผลต่อความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทดลอง

4.5 การทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

การทดลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ที่ควบคุมการปรับอากาศเพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของอุณหภูมิบนพื้นที่ขนาดต่าง ๆ ดังนี้ที่ 800 m² 1,800 m² 3,200 m² และ 5,000 m² โดยมีค่าคงที่ในการทดลองดังนี้

จำนวนจุดวัดอุณหภูมิจากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (AS) $N = 20$ จุด
อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้ในพื้นที่ เป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.5$ และ $CPy\% = 0.5$

$$SP = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$TS = \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

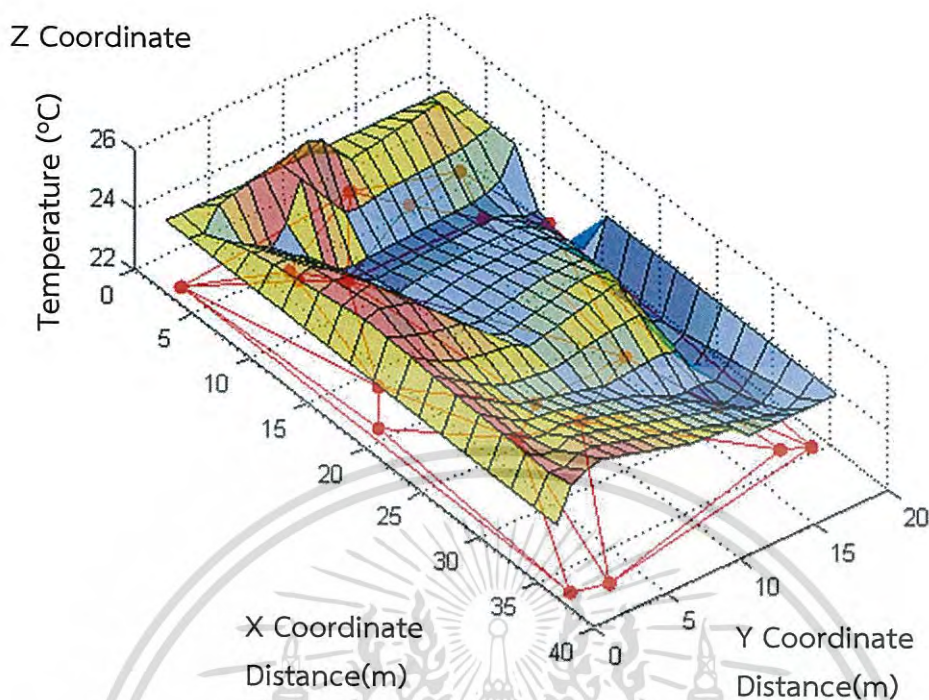
4.5.1 การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 800 m² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

รูปที่ 4.54 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 20 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่างขนาด 800 m² แบ่งเป็น $\max(X) = 40$ m และ $\max(Y) = 20$ m เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

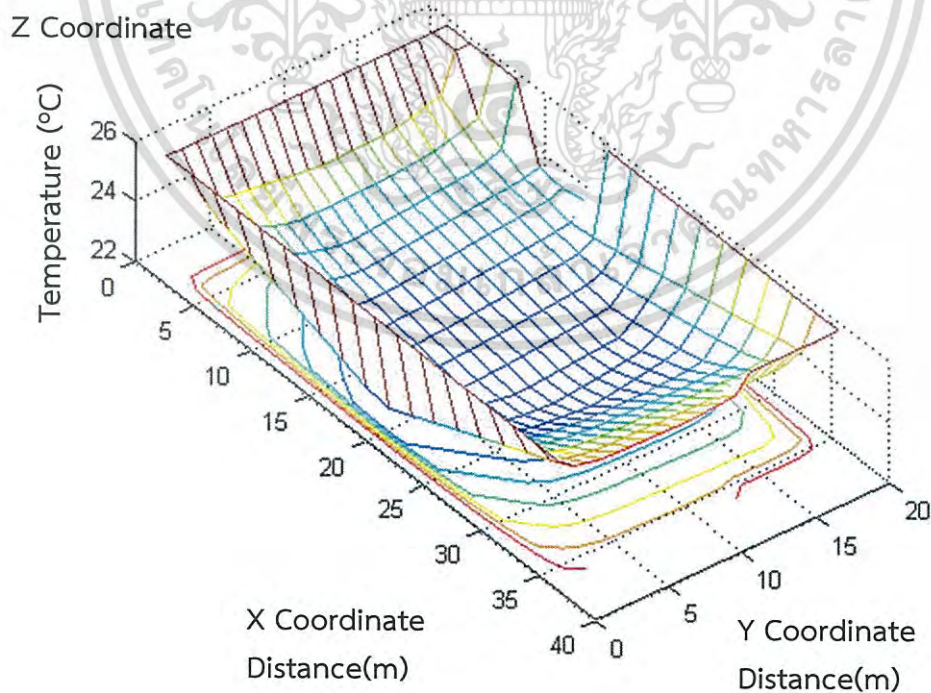
รูปที่ 4.55 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งตรงกลางพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 20$ m และ $CPy\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 10$ m การเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

รูปที่ 4.56 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.54 และ 4.55 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.57 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอโดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

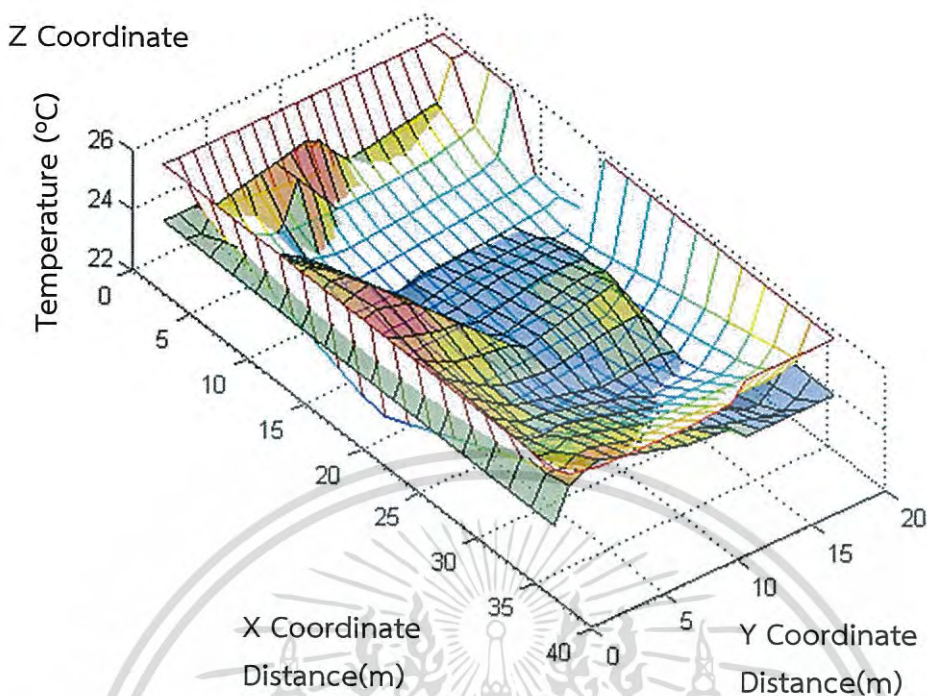


รูปที่ 4.54 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(x, y, z)$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m^2 และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

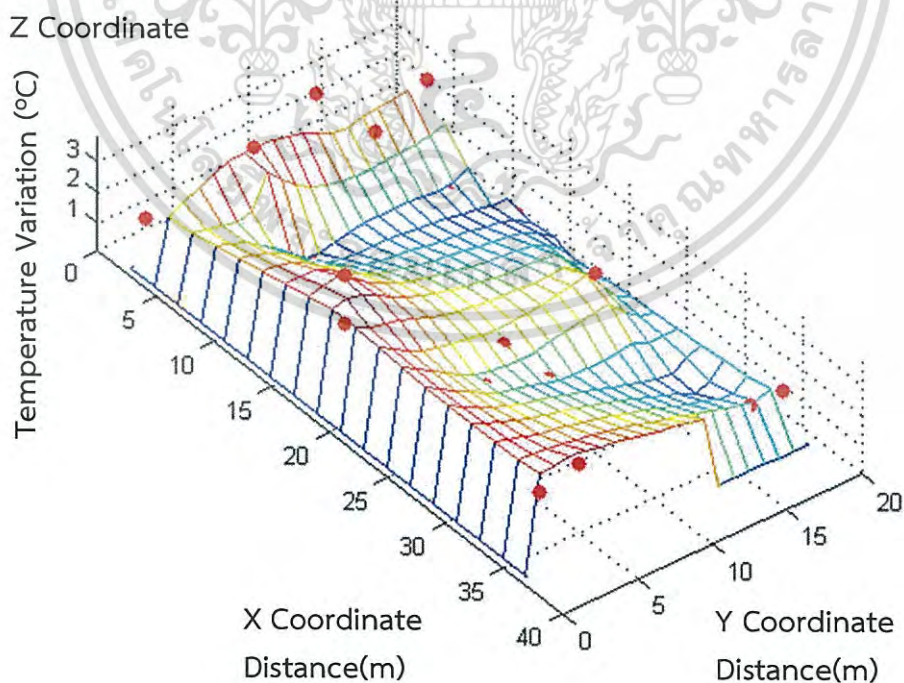


รูปที่ 4.55 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(x, y, z)$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับและตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.56 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m^2 และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง



รูปที่ 4.57 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 800 m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับและตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

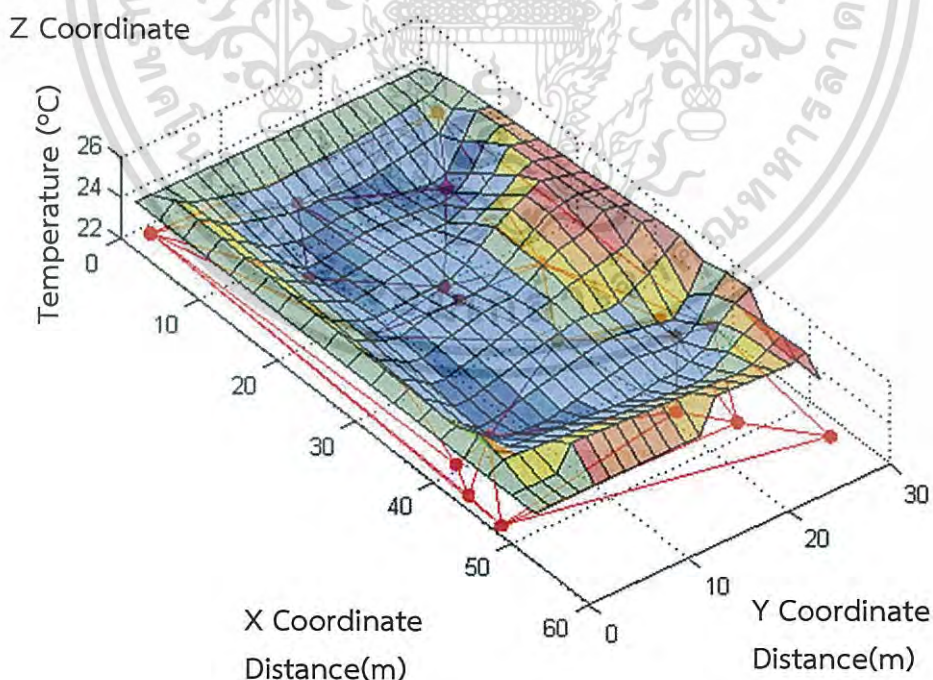
4.5.2 การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด $1,800 \text{ m}^2$ และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

รูปที่ 4.58 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 20 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่างขนาด $1,800 \text{ m}^2$ แบ่งเป็น $\max(X) = 60 \text{ m}$ และ $\max(Y) = 30 \text{ m}$ เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

รูปที่ 4.59 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งตรงกลางพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 30 \text{ m}$ และ $CPy\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 15 \text{ m}$ การเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

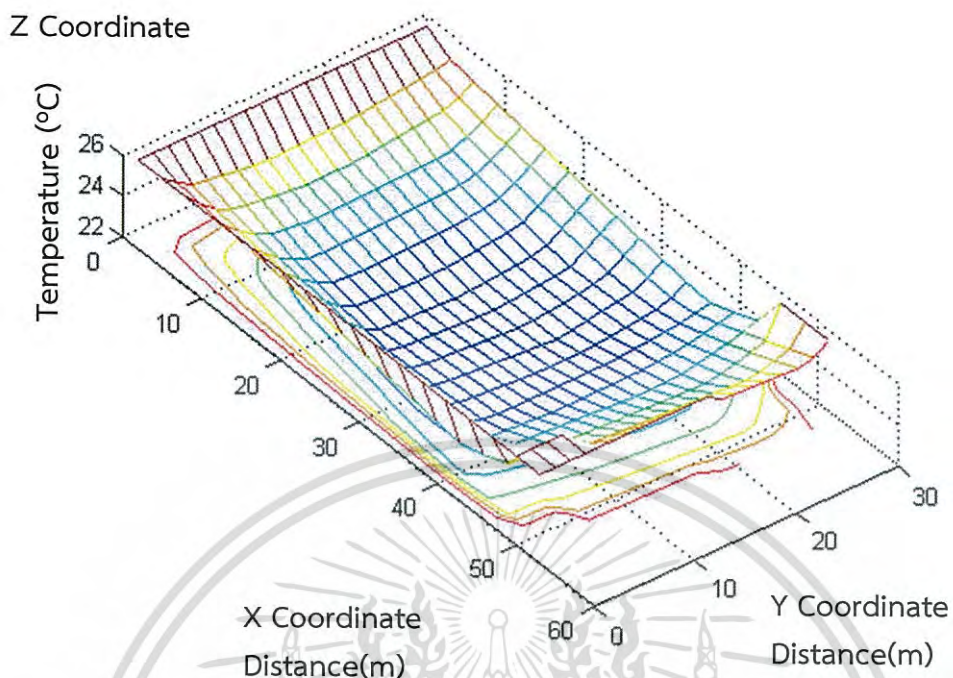
รูปที่ 4.60 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.58 และ 4.59 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.61 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอโดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

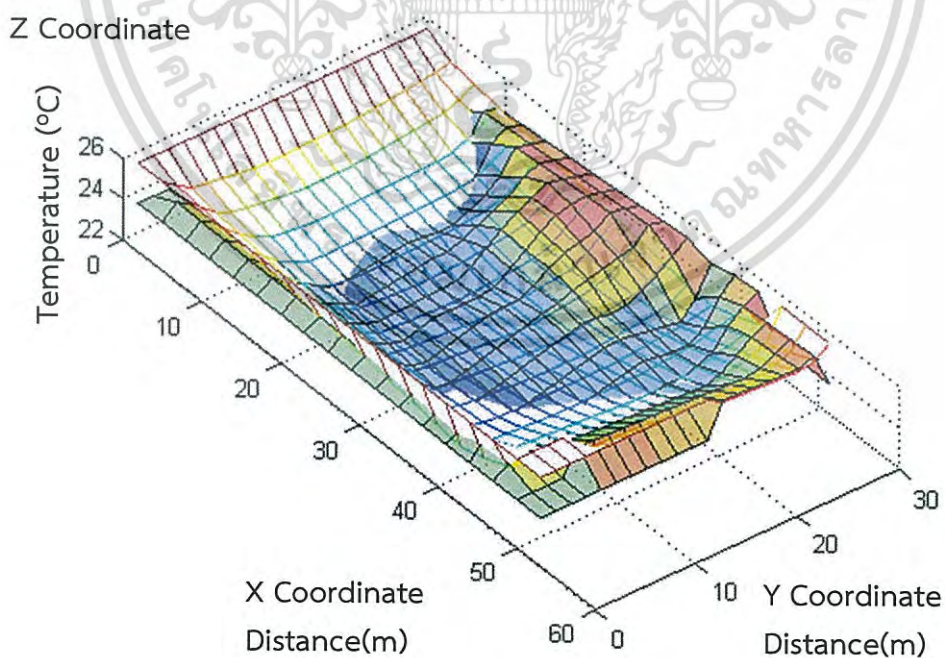


รูปที่ 4.58 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด $1,800 \text{ m}^2$ และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

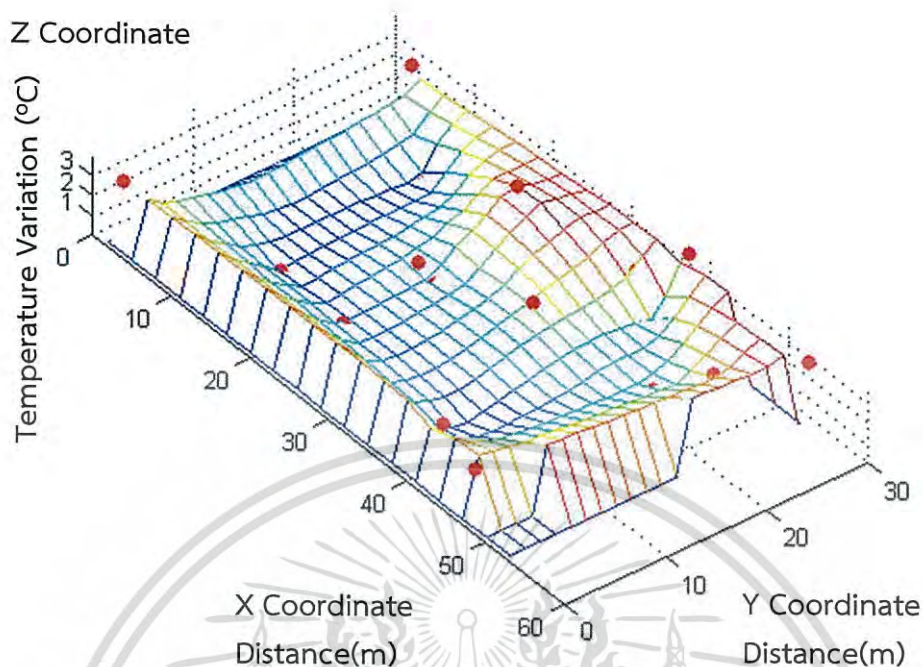


รูปที่ 4.59 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(X, Y, Z)$ กรณีพื้นที่ขนาด $1,800 \text{ m}^2$ และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผ่นผ้ง



รูปที่ 4.60 ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่าง $T_{AS}(X, Y, Z)$ และ $T_{PS}(X, Y, Z)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กรณีพื้นที่ขนาด $1,800 \text{ m}^2$ และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผ่นผ้งไซโประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.61 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด $1,800 \text{ m}^2$ และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

4.5.3 การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด $3,200 \text{ m}^2$ และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

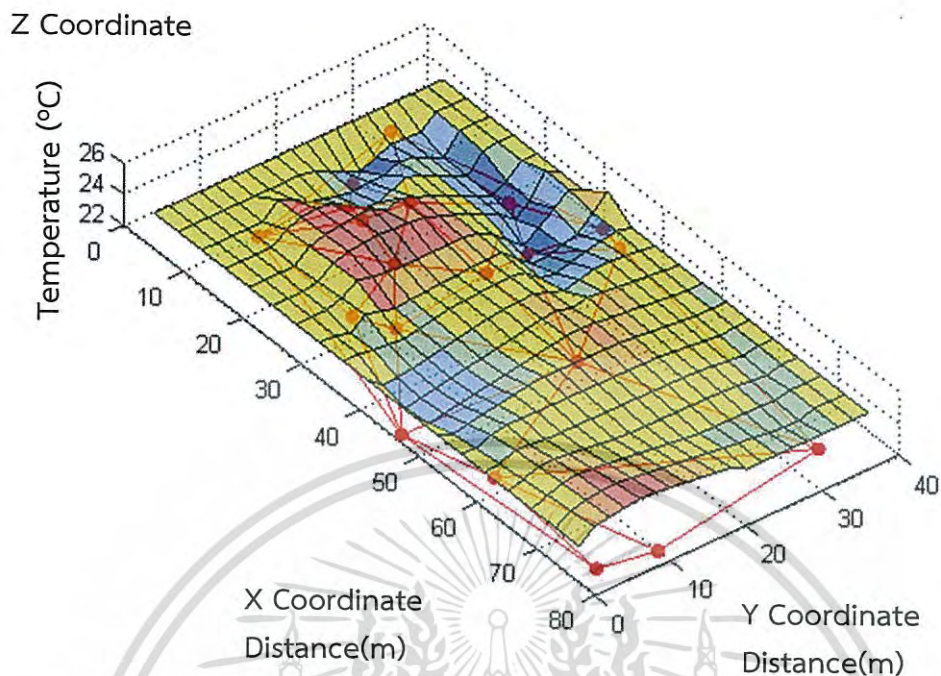
รูปที่ 4.62 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 20 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่างขนาด $3,200 \text{ m}^2$ แบ่งเป็น $\max(X) = 80 \text{ m}$ และ $\max(Y) = 40 \text{ m}$ เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

รูปที่ 4.63 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งตรงกลางพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 40 \text{ m}$ และ $CPy\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 20 \text{ m}$ การเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

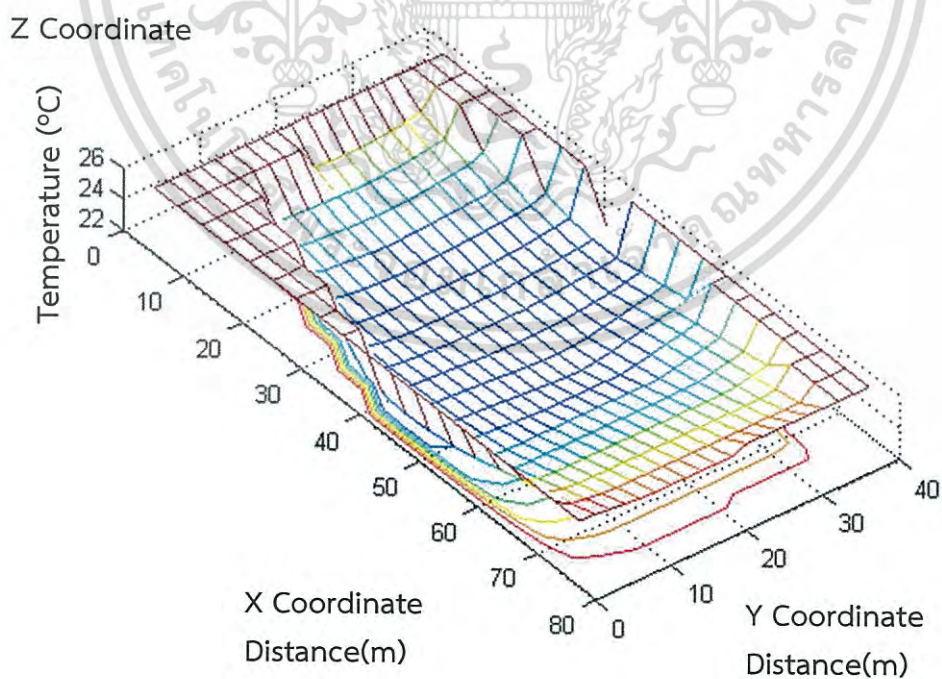
รูปที่ 4.64 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.62 และ 4.63 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.65 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอโดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

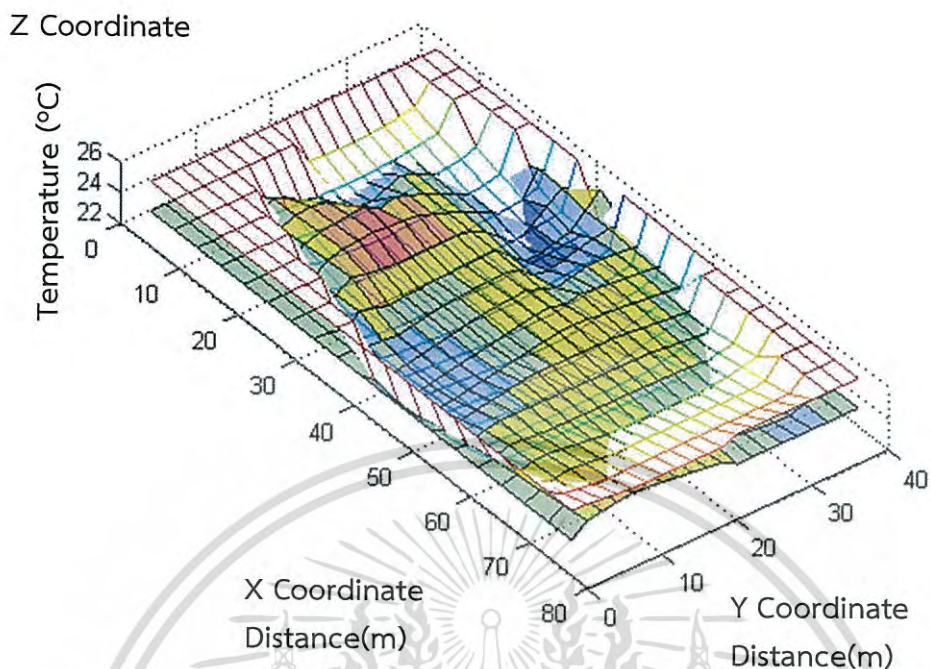


รูปที่ 4.62 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m^2 และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

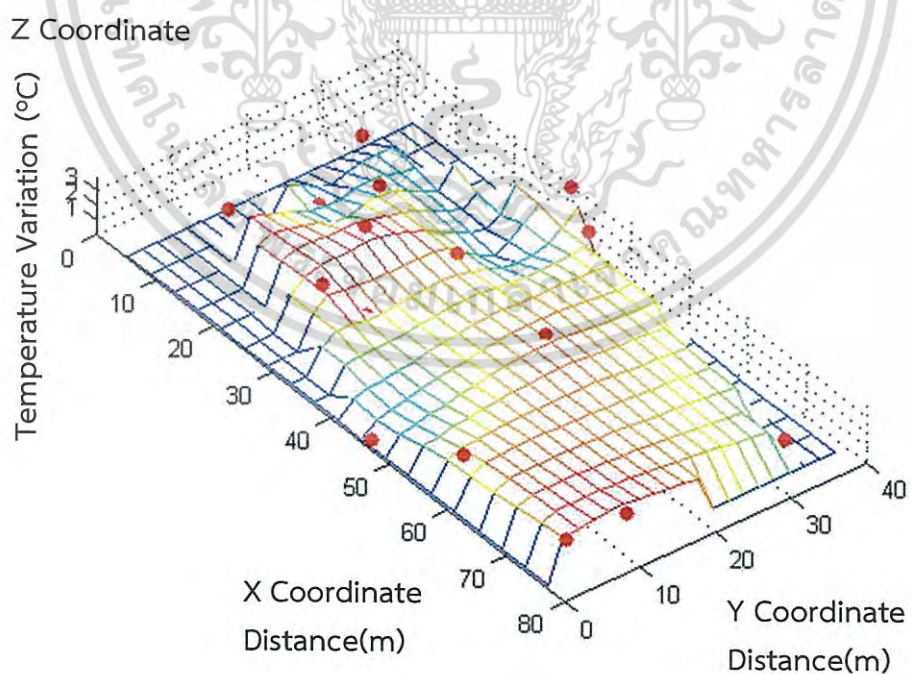


รูปที่ 4.63 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง นุญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.64 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และ $T_{PS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m^2 และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง



รูปที่ 4.65 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 3,200 m^2

และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

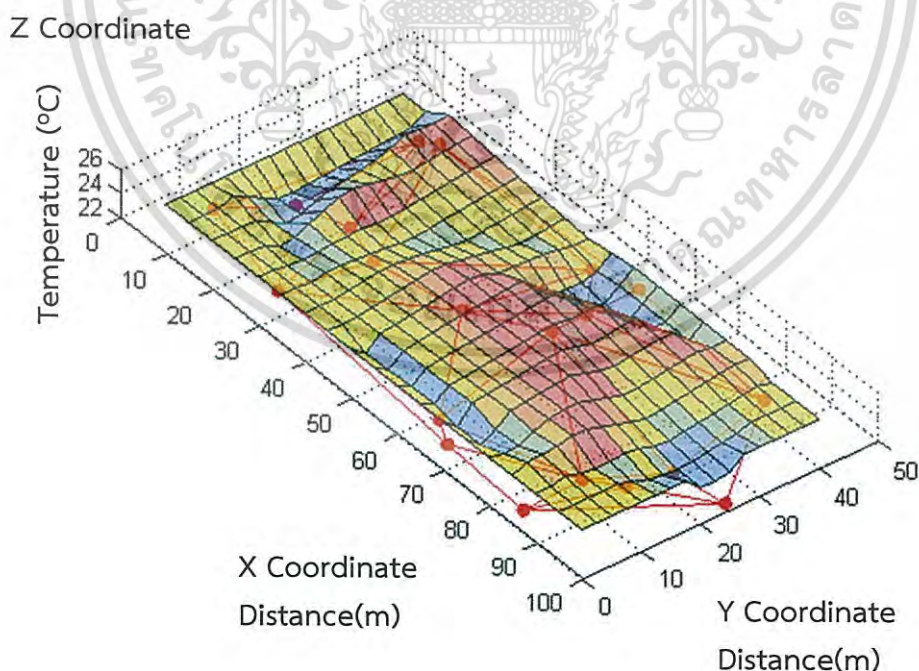
4.5.4 การทดลองกรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

รูปที่ 4.66 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองที่ได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบหลายจุด $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ จำนวน 20 จุดที่อยู่ในพื้นที่ตัวอย่างขนาด 5,000 m² แบ่งเป็น $max(X) = 100$ m และ $max(Y) = 50$ m เส้นสีแดงระหว่างจุดสีแดงทั้งสองจุดเป็นขอบเขตสำหรับการประเมินอุณหภูมิระหว่างเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาทั้งสองจุด

รูปที่ 4.67 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติของอุณหภูมิจำลองจากเซนเซอร์หลัก $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ ที่จุดติดตั้งตรงกลางพื้นที่ตัวอย่าง ค่าที่จำลองนี้เป็นสมมติฐานของอุณหภูมิที่วัดได้ในพื้นที่ที่ได้รับการปรับอากาศด้วยเครื่องส่งลมเย็น อุณหภูมิต่ำสุดที่วัดได้จากหัวจ่ายลมเย็นของเครื่องส่งลมเย็น ซึ่งเป็นจุดต่ำสุดที่พิกัด $CPx\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $X = 50$ m และ $CPy\% = 0.5$ หรือจุดพิกัดแนวแกน $Y = 25$ m การเปลี่ยนค่าจากพิกัดจุดต่ำสุดจะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่วัดได้

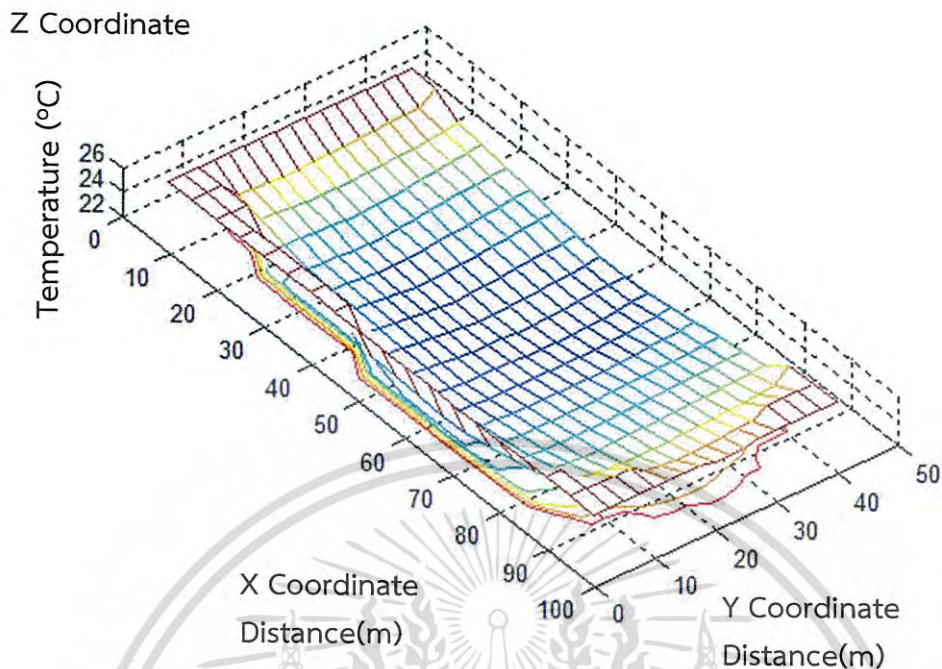
รูปที่ 4.68 แสดงผลที่ได้จากการทับซ้อนกันของอุณหภูมิจำลองจากรูปที่ 4.66 และ 4.67 เพื่อแสดงความแตกต่างของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าความผันแปรของอุณหภูมิที่จุดใด ๆ ระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามากับอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบจะแตกต่างกัน

รูปที่ 4.69 แสดงกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ จากโมเดลที่นำเสนอโดยที่จุดสีแดงคือ ความผันแปรของอุณหภูมิจากการจำลอง และพื้นผิวสามมิติคือ ค่าความผันแปรของอุณหภูมิจากการประมาณค่า และความแตกต่างระหว่างจุดสีแดงกับพื้นผิวสามมิติคือ ความผิดพลาดจากการประมาณค่าของสมการ

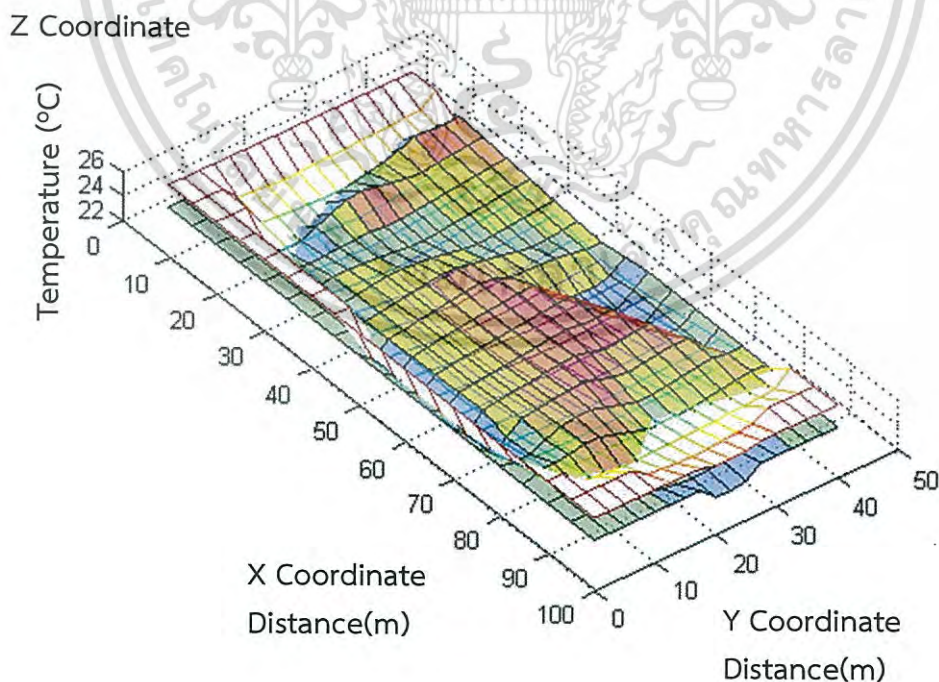


รูปที่ 4.66 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m² และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

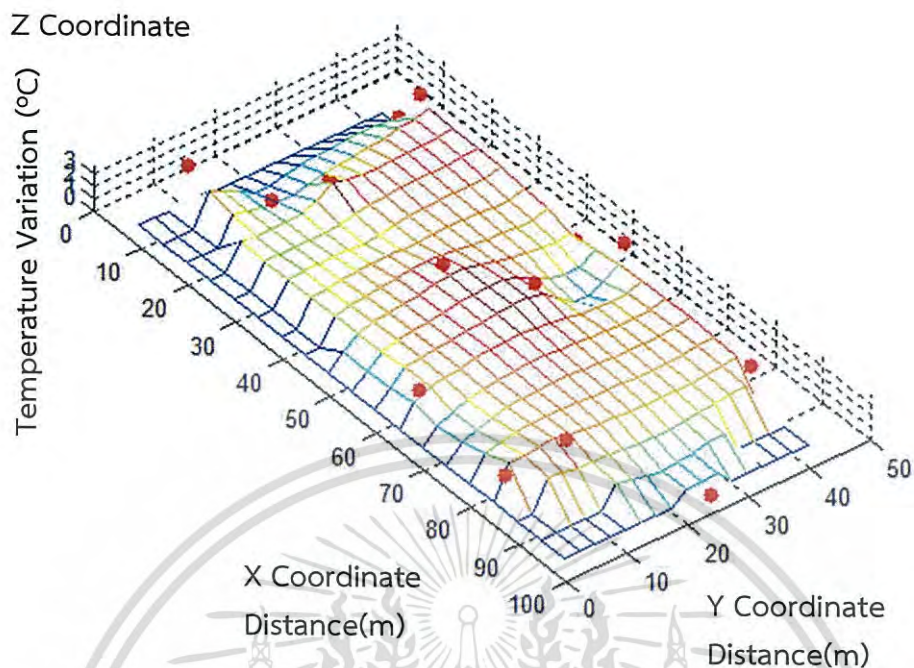


รูปที่ 4.67 ผลการจำลองอุณหภูมิ $T_{PS}(x, y, z)$ กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m^2 และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง



รูปที่ 4.68 ความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่าง $T_{AS}(x, y, z)$ และ $T_{PS}(x, y, z)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กรณีพื้นที่ขนาด 5,000 m^2 และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผังไปประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.69 ความผันแปรของอุณหภูมิ $T_{var}(X_i, Y_i, Z_i)$ กรณีมีพื้นที่ขนาด $5,000 \text{ m}^2$ และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

4.5.5 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

นำผลที่ได้จากการจำลองโดยการจำลองบนพื้นที่ขนาดต่าง ๆ ดังนี้ที่ 800 m^2 , $1,800 \text{ m}^2$, $3,200 \text{ m}^2$ และ $5,000 \text{ m}^2$ โดยนำค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดจากอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามา กับเซนเซอร์หลักของระบบ ที่ตำแหน่งพิกัด x_i และ y_i สามารถวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งในการทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ มีจำนวนเซนเซอร์ในการทดลอง (Observations) $N = 20$ จุด ทุกการทดลอง

ตารางที่ 4.7 สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์การทดลองโดยการจำลองเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลางแผนผัง

ลำดับการทดลอง	R Square	Area (m^2)	Significance F	Coefficients Regression		
				a_0	a_1	a_2
4.5.1	27.28%	800	0.06663	2.86238	0.00293	-0.09310
4.5.2	17.91%	1,800	0.18679	0.72443	0.02856	0.02338
4.5.3	11.71%	3,200	0.34686	1.57711	0.01465	-0.01105
4.5.4	3.63%	5,000	0.73017	2.05279	-0.00428	0.01263

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.6 สรุปผลการวิเคราะห์กรณีเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลาง แผนผัง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเปลี่ยนแปลงขนาดของพื้นที่ และตำแหน่ง PS อยู่ตรงกลาง แผนผัง กำหนดให้จำนวนเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่เพิ่มเข้ามาในพื้นที่ควบคุมมีปริมาณเท่ากันคือ 20 จุดวัด เพื่อวิเคราะห์ความผันแปรของอุณหภูมิ จากการทดลองจะเห็นได้ว่าพื้นที่ปรับอากาศที่มีขนาดเพิ่มขึ้นจะทำให้การรับรู้ปริมาณความร้อนในพื้นที่ไม่ทั่วถึงทั้งพื้นที่ และในการสร้างกราฟพื้นผิวสามมิติของรูปแบบอุณหภูมิที่จำลองในพื้นที่ปรับอากาศได้ไม่ละเอียดสำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิที่พิกัดใด ๆ ซึ่งในการทดลองนี้อุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะอยู่ในรูปแบบของการสุ่ม ดังนั้นผลการทดลองได้แสดงให้เห็นถึง ขนาดของพื้นที่ในการทดลองแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R Square) นั่นคือ ถ้าพื้นที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้วความเหมาะสมของโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสำหรับพยากรณ์ค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ ในพื้นที่จะมีความเหมาะสมลดลง และตำแหน่งใด ๆ สำหรับการวัดอุณหภูมิในพื้นที่ไม่มีผลต่อความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อิงกับการจำลองแบบ Monte Carlo ที่นำเสนอสามารถใช้เป็นอีกหนึ่งทางเลือก สำหรับช่วยในการวิเคราะห์ความผันแปรที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปรับอากาศ ทำให้สามารถมองเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นได้ชัดเจน เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากผลกระทบและข้อจำกัดเดิมสำหรับการปรับปรุงการควบคุมระบบ HVAC ในอาคาร ได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

จากการทดลองทั้งสี่เหตุการณ์ที่ได้จำลองขึ้นมา จะเห็นว่าโมเดลที่นำเสนอสามารถสร้างกราฟพื้นผิวสามมิติความผันแปรของอุณหภูมิ เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้งานของสมการจากความผิดพลาดในการประมาณค่าของสมการที่ได้จากการจำลองกับการคำนวณ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. หากในพื้นที่ที่มีจุดวัดอุณหภูมิจำนวนมาก จะทำให้สามารถรับรู้ถึงปริมาณอุณหภูมิในพื้นที่ได้ทั่วทั้งพื้นที่และกราฟสามมิติที่ถูกสร้างจากโมเดลที่นำเสนอจะสามารถแสดงช่วงอุณหภูมิที่พยากรณ์ได้ละเอียดขึ้น แต่ความเหมาะสมในการนำสมการพยากรณ์มาใช้งานกลับลดลง

2. หากพื้นที่ในการปรับอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ความละเอียดการรับรู้ถึงปริมาณอุณหภูมิในพื้นที่ลดลงและกราฟสามมิติที่ถูกสร้างจากโมเดลที่นำเสนอจะแสดงช่วงอุณหภูมิที่พยากรณ์ออกมาไม่ละเอียด และความเหมาะสมในการนำสมการพยากรณ์มาใช้งานจะลดลงเช่นกัน

3. ไม่ว่าพิกัดจุดต่ำสุดของอุณหภูมิที่ได้จากเซนเซอร์หลักของ AHU จะอยู่ตำแหน่งใดในพื้นที่ทดลอง ผลที่ออกมาจะเป็นรูปแบบใกล้เคียงกัน ซึ่งโมเดลที่นำเสนอเป็นการจำลองแบบสุ่ม

4. ตำแหน่งใด ๆ สำหรับการวัดอุณหภูมิในพื้นที่ที่ไม่มีผลต่อค่าความผันแปรของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่ของการทดลองดูได้จากค่า (Significance $F > 0.05$)

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย

จากการทำงานวิจัยยังมีข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนา 2 ส่วนคือ การพัฒนาส่วนของอุปกรณ์ปฏิบัติการ และการพัฒนาส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การพัฒนาส่วนของอุปกรณ์ปฏิบัติการ คือ การพัฒนาเพื่อขยายความสามารถในการใช้งานของอุปกรณ์จากโครงสร้างระบบที่ได้นำเสนอไปเพื่อสร้างสรรค์เทคโนโลยีใหม่ เช่น

1.1 การดึงข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในสมาร์ตโฟนมาให้กับ BAS จำเป็นต้องมีการส่งและภาครับข้อมูล โดยภาคส่งคือแอปพลิเคชันที่ถูกติดตั้งในสมาร์ตโฟน ซึ่งแอปพลิเคชันนี้จะทำหน้าที่เข้าถึงการอ่านข้อมูลของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในสมาร์ตโฟน เพื่อส่งข้อมูลออกมายังภาครับ โดยภาครับจะเป็นโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นมาติดตั้งบนชุดคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง หรือบนอุปกรณ์ควบคุมที่มี CPU หน่วยความจำ และความสามารถในการเชื่อมต่อด้วย TCP/IP หรือ RS 485 เป็นต้น เพื่อเป็นที่อยู่ปลายทางให้กับแอปพลิเคชัน โดยจะใช้ภาษาสื่อสารเป็นโปรโตคอล BACnet ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับ BAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การเพิ่มชนิดของข้อมูลที่ส่งให้กับ BAS คือ ข้อมูลการแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์บนพื้นที่ในแผนผังชั้นที่มีการใช้งานของอุปกรณ์นั้นอยู่ อาจจะใช้เป็นการแสดงค่าระยะห่างจาก Router Wi-Fi ที่ได้เชื่อมต่อ ทำให้สามารถรับรู้ถึงพิกัดตำแหน่งที่เกิดการวัดอุณหภูมิ เป็นการช่วยในการวิเคราะห์ความผันแปรของอุณหภูมิเพื่อให้เกิดความแม่นยำยิ่งขึ้น อีกทั้งความสามารถนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ด้านอื่น ๆ ในอนาคตได้อีกด้วย

2. การพัฒนาส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล คือ การออกแบบสำหรับสร้างวิธีที่จะนำข้อมูลไปใช้ให้ตรงกับความต้องการและเกิดความสมจริงมากที่สุด ดังนี้

2.1 การออกแบบโมเดลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลของอุณหภูมิในพื้นที่ใหม่ให้เกิดความสมจริงยิ่งขึ้นมีด้วยกัน 2 ส่วนคือ การสร้างโมเดลของ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ และโมเดลของ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$

- การสร้างโมเดลของ $T_{AS}(X_i, Y_i, Z_i)$ หรือโมเดลของอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เพิ่มเข้ามาในระบบ HVAC จากสมการที่ 3.2 โดยใส่เงื่อนไขเพื่อให้เกิดความสมจริงมากขึ้นซึ่งอาจจะใช้ค่าของอุณหภูมิที่ได้จากเซนเซอร์ในสมาร์ตโฟนจริงที่เกิดขึ้นยังตำแหน่งต่าง ๆ ในพื้นที่ทั้งหมดนี้เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลดิบและผู้ที่ให้นำข้อมูลดิบไปใช้จะได้มีความถูกต้องมากขึ้น

- การสร้างโมเดลของ $T_{PS}(X_j, Y_j, Z_j)$ หรือโมเดลของอุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์หลักของระบบ HVAC เดิม จากสมการที่ 3.3 โดยใส่เงื่อนไขเพื่อให้เกิดความสมจริงมากขึ้นเนื่องจากในความเป็นจริงจุดต่ำสุดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปรับอากาศ 1 โซนอาจจะมีมากกว่า 1 จุด แสดงว่าโมเดลจากสมการที่ 3.3 สามารถสร้างใหม่ได้โดยมี Elliptic Paraboloid อยู่ในพื้นที่เดียวกันหลายรูป ตามปริมาณจุดต่ำสุดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงหรือจำนวนช่องจ่ายลมเย็นในพื้นที่ทั้งหมดนี้เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลดิบและผู้ที่ให้นำข้อมูลดิบไปใช้จะได้มีความถูกต้องมากขึ้น

2.2 การคัดกรองข้อมูลก่อนจะนำข้อมูลไปใช้ คือ การนำข้อมูลดิบไปพัฒนาต่อ เช่น ต้องการข้อมูลของอุณหภูมิในพื้นที่ (Ambient Temperature) โดยการสร้างอัลกอริทึม เพื่อคัดกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการหรือข้อมูลขยะออก เช่น การตรวจสอบการทำงานของโหมดปิดหน้าจอ หากสมาร์ตโฟนอุปกรณ์นั้นอยู่ในโหมดปิดหน้าจอโปรแกรมจะไม่ทำการส่งข้อมูลออกมาให้กับ BAS เพราะข้อมูลนั้นอาจจะเป็นข้อมูลความร้อนที่มาจากร่างกายของผู้ใช้ที่เก็บสมาร์ตโฟนไว้ในกระเป๋าหรือไว้กับตัวนั่นเอง และคัดกรองข้อมูลของอุณหภูมิหากข้อมูลที่ได้มีค่าสูงกว่า 32 °C โปรแกรมจะไม่ทำการส่งข้อมูลออกมาให้กับ BAS เพราะข้อมูลชุดนั้นอาจเป็นความร้อนที่เป็นผลกระทบมาจากการทำงานหนักของอุปกรณ์สมาร์ตโฟนเอง เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Kastner, G. Neugschwandtner, S. Soucek and H.M. Newman. “Communication systems for building automation and control” **Proceeding of The IEEE**, vol.93, no. 6, 2005, pp. 1178-1203.
- [2] T. Sauter. “The three generations of field-level networks – evolution and compatibility issues” **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, vol. 57, no. 11, 2010, pp. 3585-3593.
- [3] H. Merz, T. Hansemann and C. Hubner. **Building automation – communication systems with EIB/KNX, LON, and BACnet**, Springer, 2009.
- [4] F. Belic, Z. Hocenski and D. Sliskovic. “HVAC control methods – A review” **Proceeding of the 19th International Conference on System Theory, Control and Computing**, 2015, pp.679-686.
- [5] S. Purdon, B. Kusy, R. Jurdak and G. Challen. “Model-free HVAC control using occupant feedback” **Proceeding of the Second IEEE International Workshop on Global Trends in Smart Cityies**, 2013, pp. 84-92.
- [6] Y. Fu, M. Sha, C. Wu, A. Kutta, A. Leavey, C. Lu, H. Gonzalez, W. Wang, B. Drake, Y. Chen and P. Biswas. “Thermal modeling for HVAC controlled real-life auditorium” **Proceeding of the 34th International Conference on Distributed Computing Systems**, 2014, pp. 73-82.
- [7] D. P. Kroese, T. Brereton, T. Taimre and Z. I. Botev. “Why the Monte Carlo method is so important today”, **WIREs Comput Stat.** 6, 2014, pp. 386–392.
- [8] B. Zhang, Y. Shen and L. Zhang. “Inferring building occupancy based on statistical modeling of multi-sensor data” **Proceeding of IEEE International Conference on Automation Science and Engineering**, 2016, pp. 809-814.
- [9] Y. Jaoskul and T. Thepmanee. “A mathematical model evaluation for the standard uncertainty of temperature uniformity” **Proceeding of International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology**, 2016, pp. 1-5.
- [10] H. Nakahama. “Estimation method for temperature uncertainty of temperature chambers (JTM K 08)” **Espec test center corp**, 2008, pp. 1- 14.
- [11] Sigma Systems Incorporated, “Thermal test chamber construction, considerations and constraints” **Sandiago USA**, 2006, pp. 1-13.
- [12] Y. A. Abdelaziz. “Guidelines for assessment of temperature uniformity and investigation the measurement uncertainty within laboratory oven” **Proceeding of the XVII IMEKO World Congress**, 2003, pp. 1675-1677.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] W. Prach, J. Amphawan and T. Theerawat. “Temperature Variation Modeling for Improving Building HVAC Control Using Built-in Temperature Sensor in Smartphones” **Proceeding of International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology**, 2017, pp. 804-807.
- [14] D. C. Montgomery and G. C. Runger. **Applied Statistics and Probability for Engineers (The Fifth Edition)**, Wiley Global Education, 2010



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

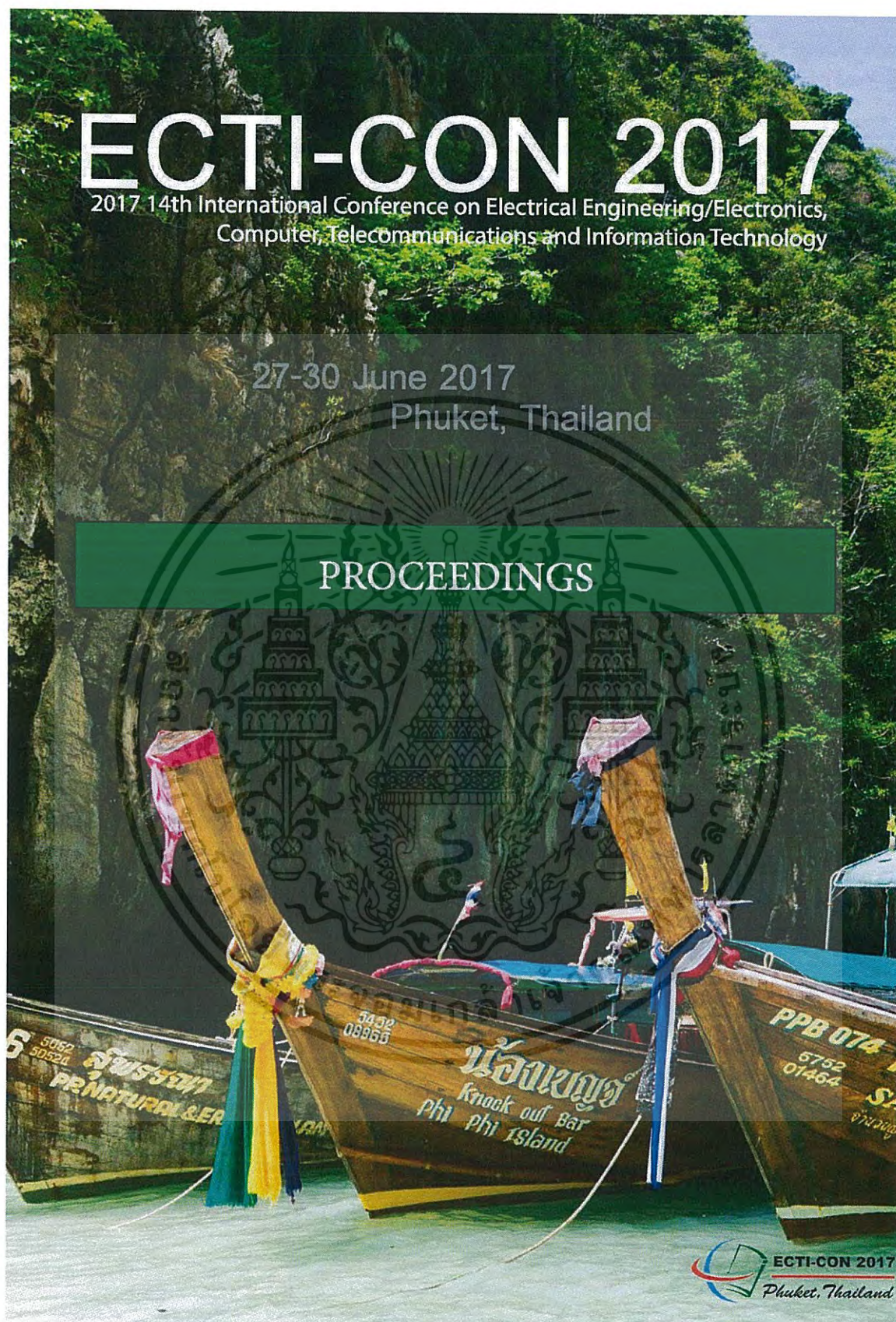
ภาคผนวก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- [1] W. Prach, J. Amphawan and T. Theerawat. “Temperature Variation Modeling for Improving Building HVAC Control Using Built-in Temperature Sensor in Smartphones” *Proceeding of International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 2017, pp. 804-807.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Temperature Variation Modeling for Improving Building HVAC Control Using Built-in Temperature Sensors in Smartphones

Prach Wijukkana, Amphawan Julsereewong, Teerawat Thepmanee
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

Abstract—Uniformity of temperature is important to comfortable indoor environment in building automation system (BAS). Usually, only a single temperature sensor is placed in the conditioned space for controlling an air handling unit (AHU) operation by using a direct digital controller (DDC) to maintain thermal comfort conditions. In order to improve an efficiency of heating, ventilating, and air conditioning (HVAC) control, a concept to integrate built-in temperature sensors in customers' smartphones into a traditional BAS for a multi-zone commercial building is introduced in this paper. Temperature variation modeling based on Monte Carlo simulation between the measured values from the primary temperature sensor and the built-in temperature sensors in smartphones in each zone is presented. Results obtained from the proposed modeling can be applied for multiple-sensor control strategy of HVAC system.

Keywords—Monte Carlo simulation; temperature variation; modeling; multi-sensor; HVAC; commercial building; BAS

I. INTRODUCTION

Automation in commercial buildings like shopping centers, airport terminals, and railway stations aims to ensure the operational performance of facilities as well as the comfort, safety, and security of building occupants. A building automation system (BAS) involves connecting and coordinating all individual operational systems in a building such as heating, ventilating, and air conditioning (HVAC), lighting and window shading, security and access control, central fire alarm, and so on. A typical BAS architecture as shown in Fig. 1 can be divided into three levels according to system functionality: field level, automation level, and management level [1-2]. At the field level, field devices including sensors and actuators are installed to perform metering, measuring, positioning, and switching functions. The field devices communicate either with each other or with control and regulation devices at the automation level via analog data transmissions or digital fieldbus systems. In the automation level, there are two types of controllers used for measurement, control, and regulation processes; field-level controller and system-level controller. Field-level controllers such as direct digital controllers (DDC) are often used to control and regulate the building heating, cooling, ventilation, lighting, and shading systems, while system-level supervisory controllers are typically employed to provide coordination to automate building control operations of all downstream DDCs. In addition, the supervisory controllers can operate as

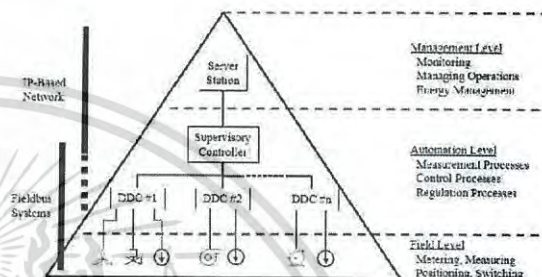


Figure 1. Typical architecture for building automation system

standalone units, if the communication is lost to a server station at the management level. The server station not only provides network integration and supervisory capabilities for all connected supervisory controllers but also forms as a central storage for large amounts of histories, events, and alarms. Moreover, the management level consists of operator workstations as well as facility management systems to offer various functions such as system operation programming, system information reporting, and system scheduling.

Different building types have different requirements of building service domains to be automated [3]. In the case of commercial buildings, an efficient HVAC control for balancing both energy saving and occupant comfort is a challenge problem to be solved [4-7]. Since the human comfort parameters vary significantly with the number of people present in the space to be conditioned. A review of various HVAC control methods has been introduced [4]. In addition, an adaptive HVAC control using occupants' smartphone feedback to estimate thermal comfort in real time has been suggested [5]. Alternatively, a data-driven approach of thermal modeling for HVAC-controlled auditorium using multiple types of sensors has been proposed [6]. An indirect method to estimate occupancy levels based on the use of statistical modeling of environmental and energy data obtained from existing building sensing systems has been also presented [7].

This paper deals with a concept to integrate built-in temperature sensors in occupants' smartphones into a single-sensor HVAC control in multi-zone commercial building. In order to understand the temperature uniformity throughout a

single zone to be conditioned by the multiple temperature sensors for more effective HVAC control, a technique based on Monte Carlo simulations to build the temperature variation models is then presented. Since the temperature should not vary in a single zone, especially in large space, to provide occupant comfort in the building.

II. CONCEPT OF INTEGRATION FOR IMPLEMENTING MULTIPLE-TEMPERATURE-SENSOR HVAC CONTROL

Usually, the large space in commercial buildings is conditioned by multi-zone approach. The human comfort parameters of individual zones are often controlled by the DDC, sensors, and actuators. An air handling unit (AHU) is an appliance as part of the HVAC system to regulate and circulate air for controlling the temperature, humidity, air movement, and air cleanliness. In general, the zone temperature is controlled by the temperature sensor, DDC, and AHU. The temperature sensor output is sent to the DDC. Based on the deviation between the measured temperature and the desired setpoint, the DDC commands to a cooling coil valve of the AHU. In order to implement multiple-sensor control strategy for providing thermal comfort in each zone, built-in temperature sensors in occupant smartphones can be used in combination with the primary temperature sensor as illustrated in Fig. 2. Fig. 3 shows an overall structure for integration of built-in sensors into the traditional HVAC control of multi-zone commercial buildings. The integration concept is based on free Wi-Fi accesses of occupants. A development of smartphone application for sending the measurement data for participations as well as operational data collection for HVAC control improvement is our future work.

III. PROPOSED TEMPERATURE VARIATION MODELING BASED ON MONTE CARLO SIMULATION

A. Temperature variation modeling in individual zones

Thermal comfort in an occupied space is commonly modeled through the measured space temperature data. For individual zones to be conditioned in commercial buildings, uniformity of temperature throughout the zone is directly dependent on the design and installation of HVAC control

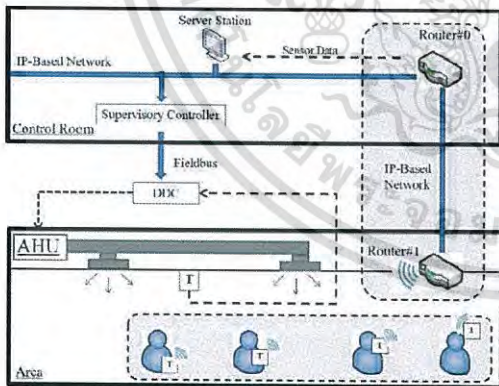


Figure 2. Concept of using built-in sensors in smartphones in combination with the primary temperature sensor in the single zone

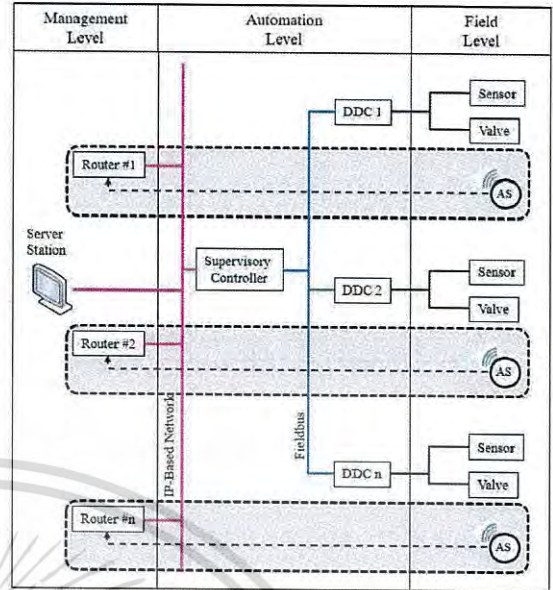


Figure 3. Overall system architecture for integration of built-in sensors in smartphones into HVAC control of multi-zone commercial building

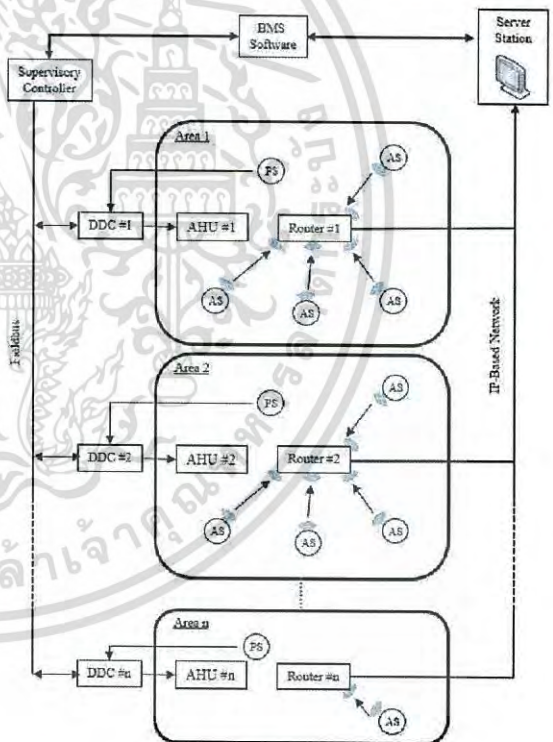


Figure 4. System structure for temperature variation modeling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

system. One way to evaluate temperature uniformity is a representation of temperature variation in space based on the center of the working space [8-11]. Based on the integration of temperature sensors as discussed in section II, the additional temperature sensor (AS) and the primary temperature sensor (PS) denote the built-in sensor in smartphone and the existing sensor used in traditional HVAC control, respectively (see Fig. 4). The temperature variation at the position of any point in three-dimensional space ($T_{var(x_i, y_i, z_i)}$) can be given by

$$T_{var(x_i, y_i, z_i)} = T_{AS(x_i, y_i, z_i)} - T_{PS(x_j, y_j, z_j)} \quad (1)$$

where $T_{AS(x_i, y_i, z_i)}$ and $T_{PS(x_j, y_j, z_j)}$ are the measured temperatures from the additional sensor and from the primary sensor, respectively.

B. Monte Carlo Simulation

From (1), the results obtained from Monte Carlo simulation of the temperatures of the additional built-in sensor in smartphone (AS) and the primary temperature sensor used in the HVAC control (PS) at any point in three-dimensional space, respectively, can be stated as

$$T_{AS(x_i, y_i, z_i)} = SP + TS \times (\text{rand}(N, 1) - 0.5) \quad \forall i \quad (2)$$

$$T_{PS(x_j, y_j, z_j)} = SP + TS \times \left(\frac{T_a}{\max(T_a)} - 0.5 \right) \quad \forall j \quad (3)$$

with

$$T_a = (X - \max(X) \times CP_x \%)^2 + (Y - \max(Y) \times CP_y \%)^2 \quad (4)$$

where SP , TS , and N denote the setpoint of zone temperature, the span of tolerance range, and the number of Monte Carlo simulation, respectively. The created elliptic paraboloid model as shown in (4) was used for simulating the measured temperature from the primary sensor used for the HVAC control in each zone. This model, shaped like an oval cup, has a minimum point at the CP_x and CP_y coordinate, and the X and Y values are random numbers generated by $\text{rand}(N, 1)$ function.

IV. MODEL VALIDATION AND DISCUSSION

In order to confirm the validity of the proposed modeling, a floor plan of 6,500 square meters of a shopping center in Thailand as shown in Fig. 5 is used as a sample case study. The space to be conditioned by the HVAC system is divided into six individual zones. The red dot and yellow star symbols in the studied floor plan are the built-in temperature sensor in smartphone (AS) and the existing temperature sensor in HVAC control (PS), respectively.

From (1)-(4), the simulation results by using MATLAB software for the Zone 5 in the studied floor plan of Fig. 5 are shown in Figs. 6-9, where $SP = 24^\circ\text{C}$ and $TS = \pm 2^\circ\text{C}$ were chosen. Fig. 6 shows the three-dimension surface graph of simulated temperatures from twenty built-in sensors in smartphones accessed in Zone 5 area. The red dot pairs are the boundaries for estimating the temperatures between AS pairs. Fig. 7 displays three-dimension surface



Figure 5. Studied floor plan of a shopping center in Thailand

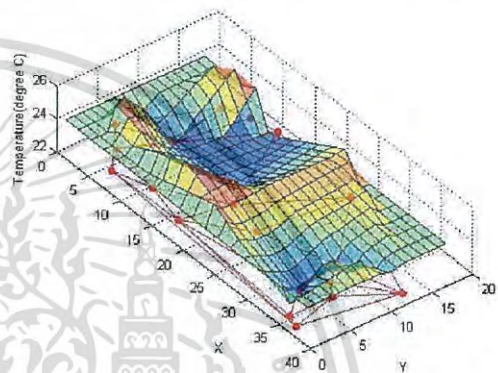


Figure 6. Simulated temperatures from twenty built-in temperature sensors in smartphones accessed in Zone 5 in the studied floor plan of Fig. 5

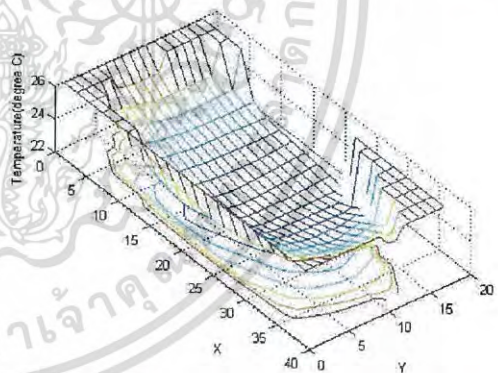


Figure 7. Simulated temperatures from the primary sensor at any installation point in Zone 5 in the studied floor plan of Fig. 5

graph of the simulated temperatures from the primary sensor at any installation point in Zone 5. These simulated values are the hypotheses of measured temperatures at the AHU installation

points. From (3), the lowest measured temperature is obtained at the end of AHU pipe, which is the minimum point at CPx and CPy coordinate. Changing the coordinate values from the minimum point increases the measured temperature. Fig. 8 shows the results from overlapping the simulated temperatures of Figs. 6 and 7 to illustrate the temperature differences. It is seen that the temperature variation between the measured temperatures from the PS and AS at any point in the interested space is different. Fig. 9 shows the three-dimension surface graph of the temperature variations simulated from the proposed model in (1), where the red dot represents the coordinate of the temperature variation, and the difference between the red dot and the surface is the residual error of temperature estimation.

In addition, the regression analysis can be applied to estimate the values of temperature variation from the specific point of the coordinate x and y in the conditioned zone [8]. From the proposed model in (1), a multiple linear regression model can be written as

$$T_{var}(x, y, z) = a_0 + a_1x_i + a_2y_i \quad (5)$$

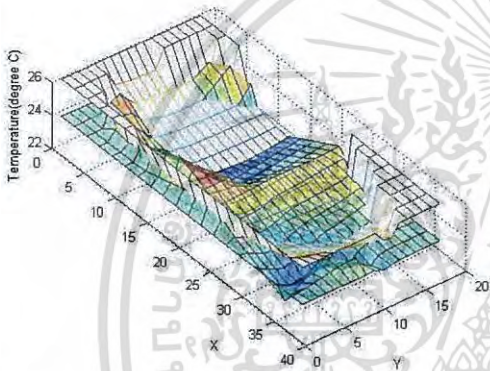


Figure 8. Temperature differences between simulated results of Figs. 6 and 7

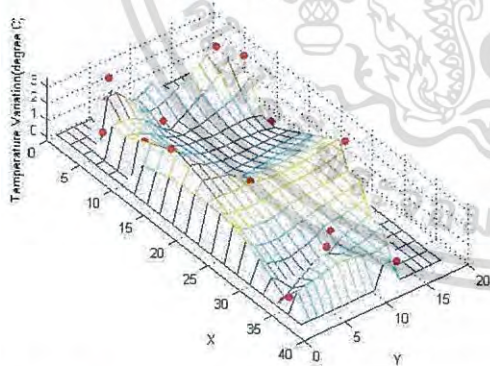


Figure 9. Temperature variations from the proposed model in (1)

where a_0 , a_1 , and a_2 are regression coefficients, which can be determined by

$$\begin{bmatrix} T_{var}(x_1, y_1) \\ T_{var}(x_2, y_2) \\ \vdots \\ T_{var}(x_i, y_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 + a_1x_1 + a_2y_1 \\ a_0 + a_1x_2 + a_2y_2 \\ \vdots \\ a_0 + a_1x_i + a_2y_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

It should be noted that the temperature sensor in smartphone in use only is considered as the AS in this paper. To avoid for collecting the customers' body temperatures, the smartphones being keeping in customers' pockets will not be considered.

V. CONCLUSION

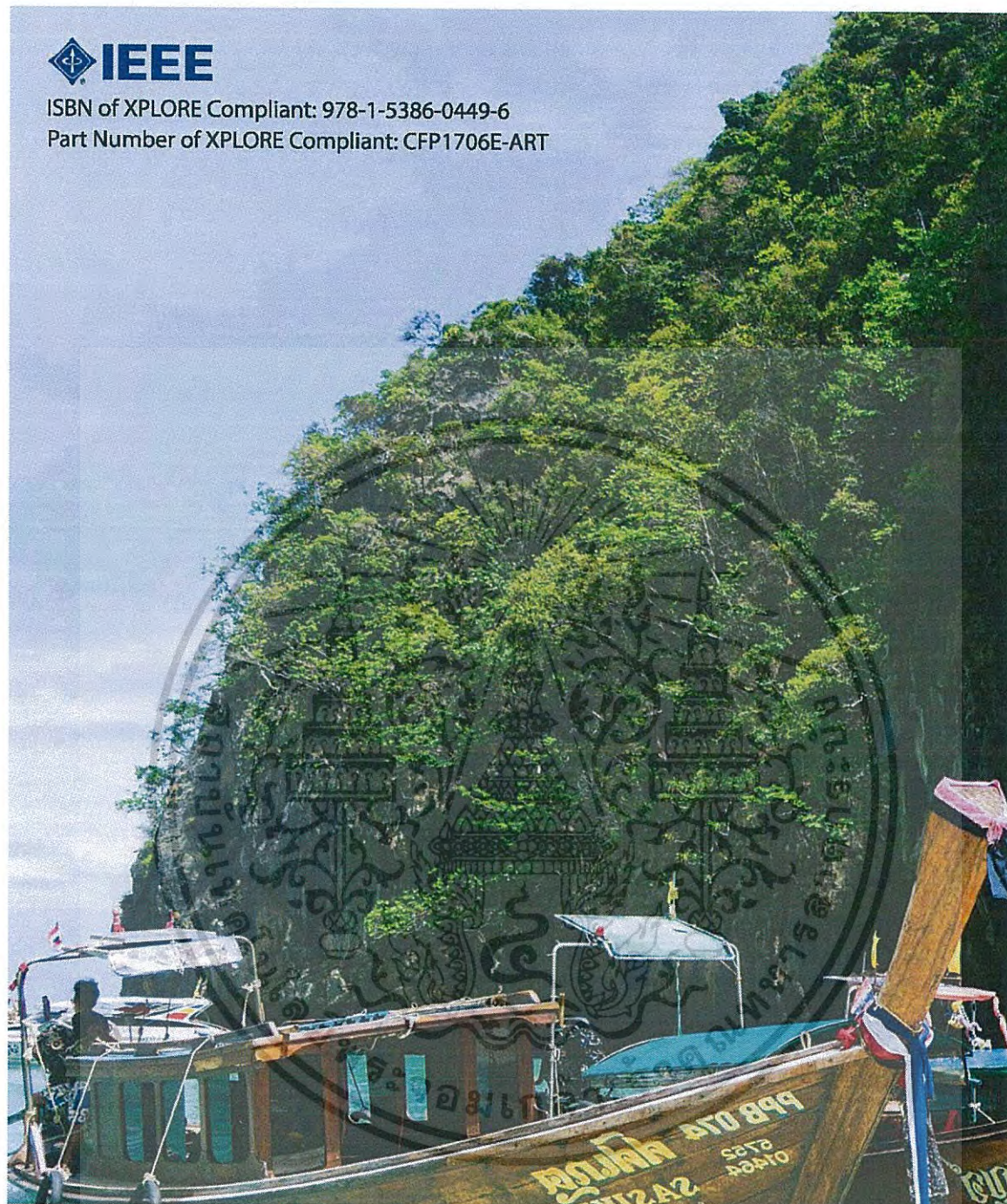
A mathematical modeling based on Monte Carlo simulation for temperature variations of between the primary sensor and the additional sensors of multiple-sensor HVAC system has been presented. The additional sensors are built-in temperature sensors in smartphones of the building occupants, while the primary sensor is the existing temperature sensor used in the traditional HVAC control. The proposed modeling can be applied for furthermore improvement of the building HVAC control.

REFERENCES

- [1] W. Kastner, G. Neugschwandtner, S. Soucek, and H.M. Newman, "Communication systems for building automation and control", *Proceeding of The IEEE*, vol. 93, no. 6, 2005, pp. 1178-1203.
- [2] T. Sauter, "The three generations of field-level networks – evolution and compatibility issues", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 11, 2010, pp.3585-3593.
- [3] H. Merz, T. Hanemann, and C. Hubner, *Building automation – communication systems with EIB/KNX, LON, and BACnet*, Springer, 2009.
- [4] F. Belic, Z. Hocenski, and D. Sliskovic, "HVAC control methods – A review", *Proceeding of the 19th International Conference on System Theory, Control and Computing*, 2015, pp.679-686.
- [5] S. Purdon, B. Kusy, R. Jurdak, and G. Challen, "Model-free HVAC control using occupant feedback", *Proceeding of the Second IEEE International Workshop on Global Trends in Smart Cities*, 2013, pp.84-92.
- [6] Y. Fu, M. Sha, C. Wu, A. Kuita, A. Leavey, C. Lu, H. Gonzalez, W. Wang, B. Drake, Y. Chen, and P. Biswas, "Thermal modeling for HVAC controlled real-life auditorium", *Proceeding of the 34th International Conference on Distributed Computing Systems*, 2014, pp.73-82.
- [7] B. Zhang, Y. Shen, and L. Zhang, "Inferring building occupancy based on statistical modeling of multi-sensor data", *Proceeding of IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 2016, pp.809-814.
- [8] Y. Jaoskul and T. Thepmanee, "A mathematical model evaluation for the standard uncertainty of temperature uniformity", *Proceeding of International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 2016, pp.1-5.
- [9] H. Nakahama, "Estimation method for temperature uncertainty of temperature chambers (JTM K 08)", *Especc test center corp*, 2008, pp.1-14.
- [10] Sigma Systems Incorporated, "Thermal test chamber construction, considerations and constraints", *Sandiego USA*, 2006, pp.1-13.
- [11] Y. A. Abdelaziz, "Guidelines for assessment of temperature uniformity and investigation the measurement uncertainty within laboratory oven" *Proceeding of the XVII IMEKO World Congress*, 2003, pp.1675-1677.



ISBN of XPLORE Compliant: 978-1-5386-0449-6
Part Number of XPLORE Compliant: CFP1706E-ART



2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics,
Computer, Telecommunications and Information Technology
27-30 June 2017, Phuket, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายปรัชญ์ วิจักขณา
วัน-เดือน-ปีเกิด	วันที่ 30 ตุลาคม 2529
ที่อยู่	285/45 ถ.นิมิตใหม่ ทราชกอดิน คลองสามวา กรุงเทพฯ 10510 โทร. 086-337-6247
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2551 และในปีการศึกษา 2555 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้