การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลข

ESTIMATION OF ODOR SOURCE POSITION BY USING NUMERICAL TECHNIQUE

ปิยะเกียรติ อินโสม
PIYAKIAT INSOM

ปุณยวัตร เสงี่ยมกุลถาวร
POONYAVAT SANGIAMKULTHAVORN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลข

ESTIMATION OF ODOR SOURCE POSITION BY USING NUMERICAL TECHNIQUE

โดย

ปิยะเกียรติ อินโสม

ปุณยวัตร เสงี่ยมกุลถาวร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ยศศิริ อาริยะกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลข

ESTIMATION OF ODOR SOURCE POSITION BY USING NUMERICAL TECHNIQUE

ผู้จัดทำ นายปิยะเกียรติ อินโสม รหัสประจำตัว 56010759

นายปุณยวัตร เสงี่ยมกุลถาวร รหัสประจำตัว 56010767

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ดร.ยศศิริ อาริยะกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลข
นักศึกษา	นายปิยะเกียรติ อินโสม รหัสประจำตัว 56010759
	นายปุณยวัตร เสงี่ยมกุลถาวร รหัสประจำตัว 56010767
ปริญญา	วิศวกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.ยศศิริ อาริยะกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาการคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลข โดยใช้เซ็นเซอร์กลิ่นวัดความเข้มข้นกลิ่น ณ ตำแหน่งต่างๆในห้องปิด ข้อมูลความเข้มข้นที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลด้วยวิธีการเชิงเลขเพื่อหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยใช้โปรแกรม MATLAB และทำการจำลองการคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยทดลองจัดวางเซ็นเซอร์หลายรูปแบบ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมและศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นในพื้นที่ 10 x 20 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Estimation of Odor Source Position by Using Numerical Technique	
Student	Mr. Piyakiat Insom	Student ID 56010759
	Mr. Poonyavat Sangiamkulthavorn	Student ID 56010767
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2016	
Thesis Advisor	Dr. Yossiri Ariyakul	

Abstract

This report introduces the topic of estimation of an odor source position by using numerical technique. In this study, odor sensors were used to measure the concentration of odor in a closed room. The measured data were then calculated by using numerical method to develop an algorithm that can estimate the location of the odor source by using MATLAB. The simulation of and odor source position estimation at various sensor alignments were performed to find the most proper sensor alignment for an odor source estimation and for investigation the possibility to use this technique to estimate the position of and odor source in 10 x 20 m area.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ยศศิริ อาริยะกุล ที่คอยให้ความเชื่อเหลือทั้งด้านคำปรึกษา สถานที่ทำโปรเจค และอุปกรณ์โปรเจคบางส่วนที่อาจารย์สามารถมีให้ได้ และคอยตามงานจนโปรเจคเสร็จสิ้น ขอขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ที่คอยช่วยเหลือในเรื่องค่าใช้จ่าย ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่สาขาทุกๆท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาและให้กำลังใจ ตลอดการทำงานโครงงานในครั้งนี้

ปิยะเกียรติ อินโสม
ปุณยวัตร เสงี่ยมกุลถาวร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

ภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

สารบัญรูป.....VII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1. ที่มาและความสำคัญของโครงงาน.....1

1.2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....1

1.3. สมมติฐานของการศึกษา.....1

1.4. ขอบเขตของโครงงาน.....1

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....1

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....2

2.1 การไหลของอากาศ และ การเคลื่อนที่ของกลิ่น.....2

2.1.1 การแพร่.....2

2.1.2 การไหลแบบปั่นป่วน.....7

2.1.3 การแสดงการไหลของอากาศ.....8

2.2 การกระจายสัญญาณเคมี.....9

2.3 วิธีการหาแหล่งกำเนิดกลิ่น.....10

2.3.1 เซ็นเซอร์ 2 ตัว สำหรับการบอกตำแหน่งแหล่งกำเนิดกลิ่น.....10

2.3.1.1 เซ็นเซอร์ที่รวมทั้งกลิ่นและทิศทางลม.....10

2.3.1.2 อัลกอริธึมแรก – วิธีแบบ Step-by-Step.....11

2.3.1.3 อัลกอริธึมที่สอง – วิธีแบบซิกแซก (Zigzag).....12

2.3.1.4 เซ็นเซอร์แบบ Active Sampling.....13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.2 สรุป.....15
2.4 การประมาณค่าในช่วง (Interpolation).....15
2.4.1 การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น (Linear Interpolation).....17
2.5 การประมาณค่าต่ำสุดด้วยวิธี Unconstrained Optimization ของ Nelder-Mead...19
บทที่ 3 การวัดความเข้มข้นของกลิ่นในทางปฏิบัติและการคำนวณความเข้มข้นของกลิ่นด้วยสมการการกระจายของกลิ่นอย่างง่าย.....22
3.1 ขั้นตอนกาดำเนินงาน.....22
3.2 การวัดค่าความเข้มข้นของกลิ่นในห้องปิด.....22
3.3 การคำนวณค่าความเข้มข้นขอกลิ่น.....27
3.4 เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณได้.....31
บทที่ 4 การทดลองหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลข.....33
4.1 การทดลองคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลขด้วยเซ็นเซอร์ 3 ตัว.....33
4.2 การทดลองคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลขด้วยเซ็นเซอร์ 4 ตัว.....61
4.3 การทดลองคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลขด้วยเซ็นเซอร์ 5 ตัว.....84
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....106
5.1 รูปแบบของการวางตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่เหมาะสม.....106
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง.....106
เอกสารอ้างอิง.....107
ภาคผนวช.....108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ค่าความเข้มข้นของกลิ่นที่วัดได้ที่ตำแหน่งต่างๆ (ppb).....24

3.2 ค่าความเข้มข้นของกลิ่นที่คำนวณได้ที่ตำแหน่งต่างๆ (ppb).....29

3.3 ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นของกลิ่นระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณ (%)..31

4.1 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของเซ็นเซอร์ 3 ตัว.....59

4.2 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของเซ็นเซอร์ 4 ตัว.....83

4.3 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของเซ็นเซอร์ 5 ตัว.....105

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ภาพตัดขวางของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามเวลาจากแหล่งกำเนิดกลิ่นที่ปล่อยกลิ่นแบบทันทีทันใด....3
2.2 ความเข้มข้นแบบสัมพัทธ์ของกลิ่นที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตรจากจุดที่กลิ่นถูกปล่อยออกมาในปริมาณที่คงที่....4
2.3 ภาพตัดขวางของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามเวลาจากแหล่งกำเนิดกลิ่นที่ปล่อยกลิ่นอย่างต่อเนื่อง....5
2.4 ความเข้มข้นของกลิ่นที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดที่ปล่อยอย่างต่อเนื่องและถูกพัดให้ไหลอย่างคงที่....6
2.5 ผลจากการสะท้อนความเข้มข้นของสารเคมี....6
2.6 การไล่ระดับสีความเข้มข้นของสารเคมีและทิศทางลมเซ็นเซอร์ติดตั้งอยู่บนหุ่นยนต์ขนาดเล็ก....11
2.7 หุ่นยนต์ไบร์ทโดยใช้อัลกอริทึม step-by-step....12
2.8 หุ่นยนต์ไบร์ทโดยใช้อัลกอริทึมแบบซิกแซก....13
2.9 เซ็นเซอร์สุ่มตัวอย่าง....14
2.10 ผลลัพท์ของการกำจัดแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยใช้เซ็นเซอร์สุ่มตัวอย่าง....15
2.11 กราฟของเทคนิคการ Interpolation....16
2.12 กราฟของเทคนิค Least Square Regression....17
2.13 กราฟการประมาณค่า $f(x_i)$ ด้วยฟังก์ชั่นพหุนามอันดับหนึ่ง....18
2.14 สามเหลี่ยม BGW จุดกึ่งกลาง M และจุดสะท้อน R....20
2.15 สามเหลี่ยม BGW และจุด E....20
2.16 การหดไปที่จุด C_1 หรือ C_2....21
2.17 การหดสามเหลี่ยมเข้าหาจุด B....21
3.1 ภาพถ่ายบริเวรและตำแหน่งที่กำการทดลองวัดความเข้มข้นของกลิ่น....23
3.2 ตำแหน่งต่างๆที่ทำการวัดความเข้มข้นของกลิ่น....23
3.3 โปรแกรมสำหรับพล็อตกราฟจากข้อมูลในตารางที่ 3.1....24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.4 ความเข้มข้นของกลิ่น ณ แต่ละจุดที่ทำการวัด.....25
3.5 โปรแกรมสำหรับทำการอินเตอร์โพเลทข้อมูลในตารางที่ 3.1 แล้วทำการพล็อตกราฟ.....26
3.6 ความเข้มข้นของกลิ่น ที่ได้จากการทำอินเตอร์โพเลทจากข้อมูล ณ แต่ละจุดที่ทำการวัด.....27
3.7 โปรแกรมสำหรับคำนวณและพล็อตกราฟค่าความเข้มข้นกลิ่นโดยใช้สมการที่ (3.1).....28
3.8 ความเข้มข้นของกลิ่น ณ แต่ละจุดที่ได้จากการคำนวณ.....29
3.9 โปรแกรมสำหรับทำการอินเตอร์โพเลทข้อมูลในตารางที่ 3.2 แล้วทำการพล็อตกราฟเมื่อทำการประมวลผลข้อมูลจะได้กราฟดังรูปที่ 3.10.....30
3.10 ความเข้มข้นของกลิ่น ที่ได้จากการทำอินเตอร์โพเลทจากข้อมูล ณ แต่ละจุดที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ (3.1).....30
3.11 ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นของกลิ่นระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณ (%).....31
3.12 ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นของกลิ่นระหว่างค่าที่ได้จากการอินเตอร์โพเลทค่าที่วัดได้กับว่างค่าที่ได้จากการอินเตอร์โพทค่าที่ได้จากการการคำนวณ (%).....32
4.1 ตัวอย่างการคาดคะเนแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยใช้เซ็นเซอร์ 3 ตัว.....34
4.2 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,400) , (300,200) , (700,200).....36
4.3 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,1300) , (300,1100) , (700,1100) 37
4.4 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,100) , (300,300) , (500,100) 38
4.5 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,100) , (100,500) , (300,300) 39
4.6 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (400,100) , (400,500) , (600,300) 40
4.7 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (700,200) , (300,200) 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.8 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (300,200) , (100,200) 42
4.9 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,600) , (100,400) , (100,200) 43
4.10 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (300,400) , (700,400) 44
4.11 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,400) , (300,600) , (300,200) 45
4.12 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,400) , (300,200) , (700,600) 46
4.13 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,200) , (300,400) , (500,600) 47
4.14 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,600) , (300,400) , (500,200) 48
4.15 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,1300) , (430,1100) , (570,1100) 49
4.16 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (525,1395) , (530,1180) , (660,1230) 50
4.17 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (725,1395) , (730,1180) , (860,1230) 51
4.18 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,900) , (430,700) , (570,700) 52
4.19 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (525,895) , (530,680) , (660,730) 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.20 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (625,895) , (630,680) , (760,730) 54
4.21 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,500) , (430,300) , (570,300) 55
4.22 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (525,595) , (530,380) , (660,430) 56
4.23 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (625,595) , (630,380) , (760,430) 57
4.24 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (825,595) , (830,380) , (960,430) 58
4.25 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (300,200) , (500,200) , (700,200) , (500,400) 62
4.26 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,200) , (300,200) , (500,200) , (300,400) 63
4.27 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (200,200) , (200,400) , (200,600) , (400,400) 64
4.28 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (300,200) , (425,200) , (100,650) , (300,650) 65
4.29 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (300,400) , (700,400) , (500,800) 66
4.30 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (300,200) , (100,400) , (500,400) , (300,800) 67
4.31 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,400) , (300,200) , (300,600) , (700,400) 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.32 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,200) , (300,200) , (500,200) , (700,200) 69
4.33 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (600,200) , (800,200) , (400,200) , (200,200) 70
4.34 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,100) , (500,300) , (500,500) , (500,700) 71
4.35 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (200,100) , (200,300) , (200,500) , (200,700) 72
4.36 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (400,200) , (600,200) , (200,500) , (800,400) 73
4.37 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (50,400) , (250,200) , (450,200) , (650,400) 74
4.38 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (50,200) , (250,400) , (450,400) , (650,200) 75
4.39 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (200,200) , (400,400) , (600,400) , (800,200) 76
4.40 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (500,600) , (300,400) , (700,400) 77
4.41 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (300,200) , (300,600) , (100,400) , (500,400) 78
4.42 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (430,100) , (500,300) , (570,100) , (500,400) 79
4.43 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (370,240) , (370,450) , (500,290) , (330,550) 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.44 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (670,240) , (670,450) , (800,290) , (630,550) 81
4.45 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (770,240) , (770,450) , (900,290) , (730,550) 82
4.46 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (350,200) , (200,200) , (650,500) , (800,500) 85
4.47 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (350,200) , (200,200) , (650,200) , (200,500) 86
4.48 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,200) , (250,200) , (400,200) , (550,200) , (700,200) 87
4.49 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,500) , (350,350) , (200,200) , (650,650) , (800,800) 88
4.50 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (350,200) , (500,350) , (650,500) , (800,650) , (950,800) 89
4.51 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (350,800) , (500,650) , (650,500) , (800,350) , (950,200) 90
4.52 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (650,350) , (350,350) , (800,500) , (200,500) 91
4.53 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (650,400) , (800,350) , (500,350) , (950,500) , (350,500) 92
4.54 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,100) , (250,250) , (400,400) , (250,550) , (100,700) 93
4.55 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,500) , (650,350) , (800,200) , (350,350) , (200,200) 94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.56 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (650,500) , (800,350) , (950,200) , (500,350) , (350,200) 95
4.57 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,400) , (250,250) , (400,100) , (250,550) , (400,700) 96
4.58 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (200,200) , (800,200) , (650,350) , (350,350) 97
4.59 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (650,200) , (350,200) , (950,200) , (800,350) , (500,350) 98
4.60 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,100) , (250,250) , (100,400) , (200,550) , (100,700) 99
4.61 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (800,350) , (500,350) , (200,350) , (350,200) , (650,200) 100
4.62 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (950,350) , (650,350) , (350,350) , (500,200) , (800,200) 101
4.63 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (350,200) , (100,350) , (350,500) , (100,650) , (350,800) 102
4.64 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (350,200) , (500,350) , (500,500) , (500,650) , (650,800) 103
4.65 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (50,200) , (200,350) , (200,500) , (200,650) , (350,800) 104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

แม้ว่าเซ็นเซอร์กลิ่นสามารถใช้วัดความเข้มข้นของกลิ่นได้แต่ไม่สามารถระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นได้ ซึ่งการระบุตำแหน่งนั้นมีความจำเป็นในบางสถานการณ์ เช่น การค้นหาระเบิดหรือวัตถุต้องสงสัย หรือการหาตำแหน่งรั่วไหลของก๊าซในอุตสาหกรรม ดังนั้นการหาวิธีระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่น โดยใช้ข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์กลิ่นจึงเป็นสิ่งจำเป็น

1.2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคการคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่น ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อได้หลากหลาย

1.3. สมมติฐานของการศึกษา

1. วิธีการ Unconstrained Optimization สามารถถูกใช้คาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นได้ จากข้อมูลที่วัดได้จากเซ็นเซอร์กลิ่นหลายตัว

2. โดยการจัดวางเซ็นเซอร์แต่ละตัวในรูปแบบที่เหมาะสม จะสามารถคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

1.4. ขอบเขตการดำเนินงาน

ศึกษาและพัฒนาอัลกอริธึมสำหรับระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลข (Numerical optimization) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในระยะเวลาตั้งแต่ตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2559 จนถึงเดือน เมษายน 2560

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีการหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อนำไปใช้ได้จริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การไหลของอากาศ และ การเคลื่อนที่ของกลิ่น

กลิ่นนั้นนับเป็นสัญญาณทางเคมี (Chemical signal) ที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง คือ อากาศ ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นของกลิ่นที่เคลื่อนที่จะได้รับผลกระทบจากรูปแบบการไหลของอากาศ จึงกล่าวได้ว่ารูปแบบการไหลดังกล่าวมีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์กลิ่นเป็นอย่างมาก ดังนั้นการศึกษาพื้นฐานเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของกลิ่นจึงเป็นประโยชน์ต่อการใช้งานเซ็นเซอร์กลิ่น และต่อการพัฒนาอัลกอริทึม (Algorithm) เพื่อประมวลผลสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์กลิ่น รูปแบบการเคลื่อนที่ของกลิ่นจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งเป็นได้หลายรูปแบบ ดังนี้

2.1.1 การแพร่

หากสารเคมีในของไหลมีการกระจายอย่างไม่เท่ากัน (Unequal distribution) จะมีแนวโน้มที่สารเคมีนั้นจะเกิดการเคลื่อนที่ อันเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุล การเคลื่อนที่ของสารเคมีจากสาเหตุนี้เรียกว่า การแพร่ [5] ที่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศา ทุกๆโมเลกุลจะเคลื่อนที่ดังสมการของฟริก (Fick's law) โดยค่าความเร็วในการเคลื่อนที่แบบ RMS สามารถคำนวณได้จาก

$$RMS\ velocity = \sqrt{\frac{kT}{m}} \tag{2.1}$$

โดย k คือ ค่าคงที่ของโบลทซ์มันน์ (Boltzmann's constant) มีค่าเท่ากับ 1.380×10^{-23} J/deg K

T คือ อุณหภูมิ

m คือ มวลของโมเลกุลหนึ่งโมเลกุล

ณ จุดใดๆอัตราการแพร่กระจายจะเป็นสัดส่วนกับเกรเดียนต์ (Gradient) ของความเข้มข้น ณ จุดนั้น ดังสมการ

$$F_r = -AD\frac{dl}{dr} \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย A คือ พื้นที่หน้าตัด

D คือ ค่าคงที่ของการแพร่ (m^2/s) โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ $2x10^{-5}$ ในอากาศและ $2x10^{-9}$ ในน้ำสำหรับโมเลกุลขนาดเล็ก

F_r คือ ค่าฟลักซ์ในทิศทาง r

I คือ ความเข้มข้นของสารเคมี

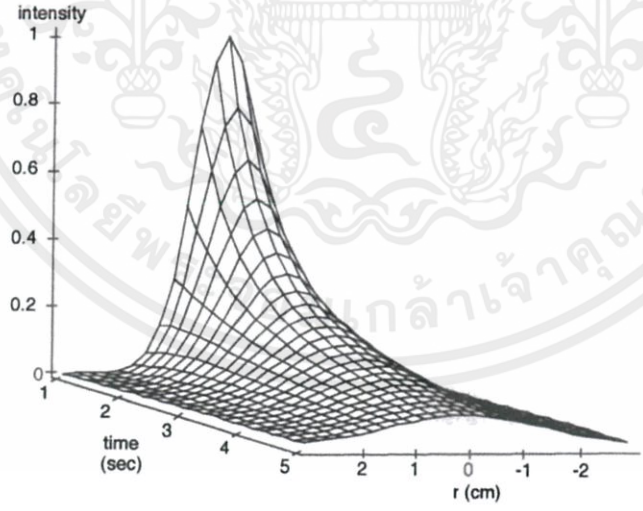
ถ้าสมมติว่ามีกลิ่นที่ถูกปล่อยด้วยปริมาณที่แน่นอน Q อย่างทันทีทันใด จะได้ว่าความเปลี่ยนของความเข้มข้น (Variation of intensity) ที่ห่างจากจุดที่ปล่อยกลิ่น r ที่เวลา t จะมีค่าเท่ากับ

$$I(r,t) = \frac{Q}{(4\pi Dt)^{\frac{d}{2}}} exp(\frac{-r^2}{4Dt}) \quad (2.3)$$

โดย d = 1 สำหรับการแพร่ในหนึ่งมิติ

d = 2 สำหรับการแพร่ในสองมิติ

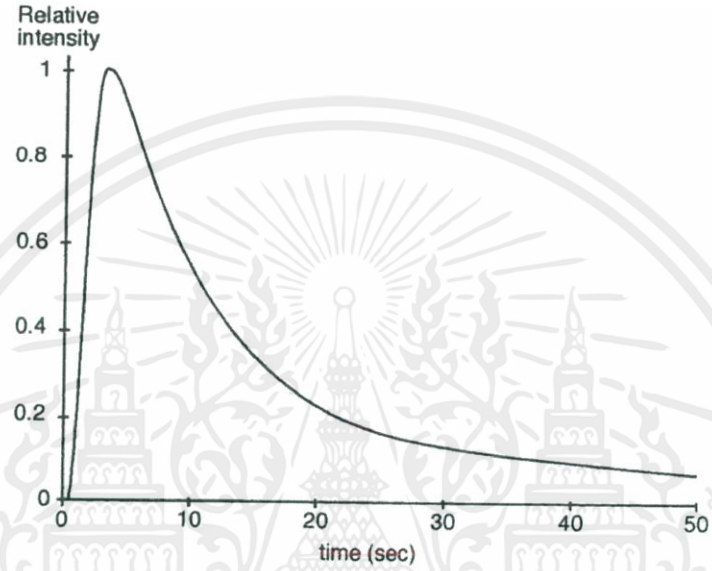
d = 3 สำหรับการแพร่ในสามมิติ



รูปที่ 2.1 ภาพตัดขวางของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามเวลาจากแหล่งกำเนิดกลิ่นที่ปล่อยกลิ่นแบบทันทีทันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพตัดขวางของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามเวลาจากแหล่งกำเนิดกลิ่นที่ปล่อยกลิ่นแบบทันทีทันใดจะมีการกระจายแบบ Gaussian ในลักษณะสมมาตรดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยความเข้มข้นของกลิ่นจะมีค่ามากสุดที่เวลา $t = r^2/6D$ จากนั้นกลิ่นจะค่อยๆจางหายไปตามกราฟที่แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความเข้มข้นแบบสัมพัทธ์ของกลิ่นที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตรจากจุดที่กลิ่นถูกปล่อยออกมาในปริมาณที่คงที่

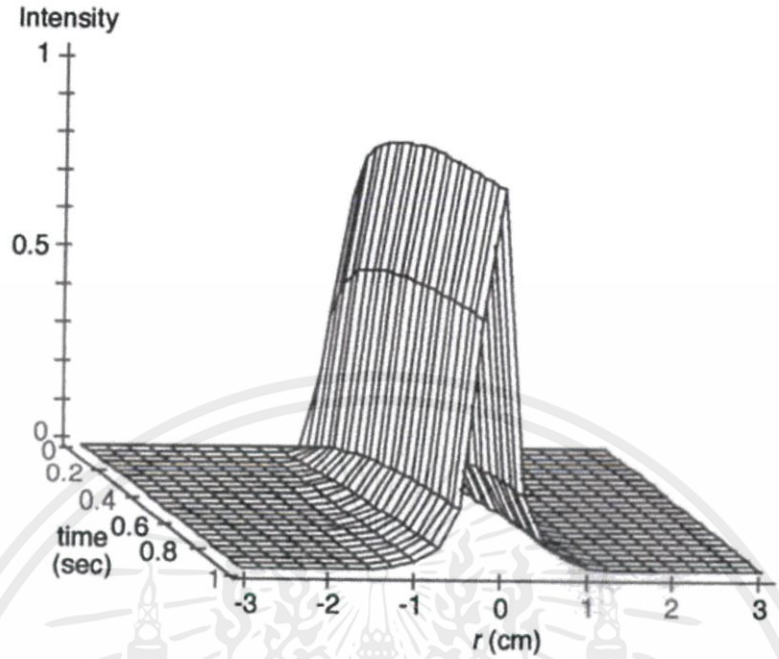
สำหรับกรณีที่แหล่งกำเนิดกลิ่นปล่อยกลิ่นอย่างต่อเนื่อง F เช่น กลิ่นที่รั่วออกจากบรรจุภัณฑ์ จะสามารถคำนวณหาค่าความเข้มข้นได้จาก

$$I(r,t) = \frac{F}{(4\pi Dr)} erfc[\frac{r}{(4Dt)^{\frac{1}{2}}}] \qquad (2.4)$$

รูปที่ 2.3 แสดงถึงค่าความเข้มข้นที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดกลิ่นที่ปล่อยอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการเคลื่อนที่ของของไหลในบริเวณดังกล่าว ความเข้มข้นของกลิ่นจะลดลงตามระยะห่างจากแหล่งกำเนิด ดังสมการ

$$I(r,\infty) = \frac{F}{4\pi Dr} \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามเวลาจากแหล่งกำเนิดกลิ่นที่ปล่อยกลิ่นอย่างต่อเนื่อง

ถ้ามีของไหลไหลผ่านแหล่งกำเนิดกลิ่นที่ปล่อยกลิ่นอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการไหล ด้วยความเร็ว v จะคำนวณค่าความเข้มข้นได้จากสมการ

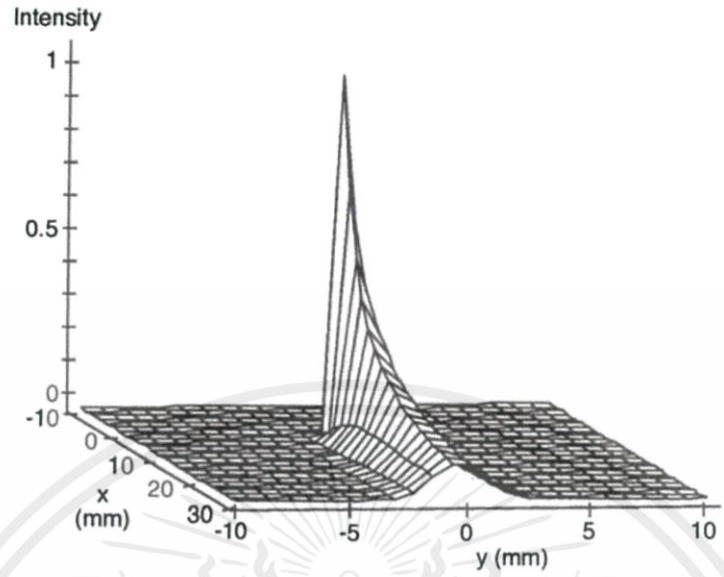
$$I(r,\theta) = \frac{J}{(4\pi rD)} exp[\frac{-(1-\cos(\theta))rv}{2D}] \quad (2.6)$$

โดย r คือ ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดกับจุดที่สนใจ

θ คือ มุมระหว่างจุดที่สนใจกับกับแหล่งกำเนิด

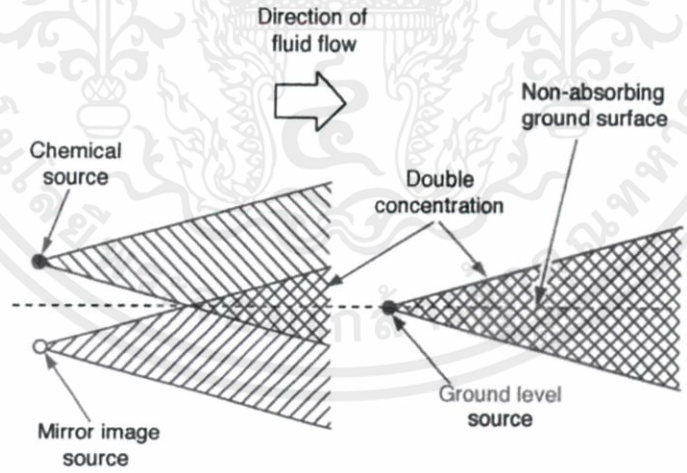
รูปที่ 2.4 แสดงถึงความเข้มข้นของกลิ่นที่ฟุ้งออกมาจากแหล่งกำเนิดที่มีค่าคงที่ ไหลในแนวแกน x ค่าความเข้มข้นจะแปรผกผันกับระยะทางและเป็นอิสระต่อความเร็วการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความเข้มข้นของกลิ่นที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดที่ปล่อยอย่างต่อเนื่องและถูกพัดให้ไหลอย่างคงที่

การไหลของอากาศและการเคลื่อนที่ของกลิ่น



รูปที่ 2.5 ผลจากการสะท้อนความเข้มข้นของสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากแหล่งกำเนิดกลิ่นอยู่ใกล้กับผิวระนาบที่ไม่ดูดซับกลิ่น ผิวระนาบดังกล่าวจะสะท้อนกลิ่นไปยังอีกด้านหนึ่งทำให้ความเข้มข้นฝั่งที่สะท้อนเสมือนเป็นแหล่งกำเนิด ในกรณีที่แหล่งกำเนิดบนระนาบไปทับกับส่วนสะท้อนออกมาจะส่งผลให้ค่าความเข้มข้นกลิ่นจะสูงเป็นสองเท่าดังแสดงในรูปที่ 6.5

อย่างไรก็ตามที่อธิบายมาถึงจุดนี้นั้นจะเป็นการสมมติว่าการเคลื่อนที่ของกลิ่นเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ซึ่งพบได้ยากในสถานการณ์ทั่วไป มักพบในการไหลของของไหลที่มีความหนืดที่ความเร็วต่ำในช่องแคบๆเท่านั้น การไหลของของใหญ่ส่วนใหญ่นั้นจะเป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) [6] ด้วยเหตุนี้ในหัวข้อต่อไปจะอธิบายเกี่ยวกับการไหลแบบปั่นป่วน

2.1.2 การไหลแบบปั่นป่วน

การไหลแบบปั่นป่วนนั้นไวมากและไม่สามารถคาดการณ์ได้ การไหลแบบปั่นป่วนเกิดจากอุปสรรคหรือกลไกวิธีการในการไหล นี่ทำให้เกิดแรงเฉือนที่จะพัฒนาในการไหลที่จะสร้างแรงบิดและมีแนวโน้มที่จะกระแสไหลวน ถ้ามีแรงเหนียวมากพอพลังงานซึ่งเกิดจากกระแสไหลวนจะถูกแปลงเป็นความร้อนและกระแสจะไหลแบบราบเรียบ เมื่อผลกระทบของความหนืดที่มีขนาดเล็ก กระแสไหลวนจะพัฒนาเป็นเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ความสมดุลของผลกระทบที่มีความหนืดและการหมุนเป็นดังเลขของเรนอล (Renold's number)

$$R_e \equiv \frac{vL}{V} \tag{2.8}$$

โดย Re = Renold's number

L = ความยาวของกระแส (m)

v = ความเร็ว (m/s)

V = Kinematic viscosity

เมื่อ Renold's number ต่ำกว่า 2,000 ไหลราบเรียบและถ้าสูงกว่า 10,000 ในพื้นที่ขนาดใหญ่และความเหนียวการไหลปั่นป่วนต่ำ ช่วงกลางระหว่าง 2,000-10,000 อาจเป็นได้ทั้งราบเรียบหรือปั่นป่วน สำหรับการไหลวนขนาดเล็ก แรงหนืดและพลังงานจะเปลี่ยนเป็นความร้อน ขนาดแบบนี้จะเริ่มโดยใช้ Lk the Kolmogorov scale:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_k = (\frac{\upsilon^3}{\varepsilon})^{\frac{1}{4}} \quad (2.9)$$

ε คือ kinetic energy

$$\varepsilon = (\frac{\upsilon^3}{L}) \quad (2.10)$$

โดย L คือการไหลวนขนาดใหญ่ ขนาดขั้นต่ำของกระแสวน สำหรับลม v = 1 m/s และ Re = 2,000 ขนาดคือ 3 cm. ในน้ำอัตราการไหล 0.1 m/s ขนาดคือ 2 cm. ผลลัพธ์ของข้อจำกัดของขนาดที่เล็กที่สุดของกระแสวนคือต้องเป็นชั้นของการไหลของวัตถุแข็งที่ราบเรียบ กลิ่นสามารถผ่านได้อย่างราบเรียบโดยการแพร่เท่านั้น

2.1.3 การแสดงการไหลของอากาศ

เทคนิคการทดลองอย่างง่ายสำหรับการแสดงการไหลของอากาศรอบตัวหุ่นยนต์คือการแนะนำอนุภาคของแข็งหรือของเหลวขนาดเล็กในอากาศ (Pankhurst and Holder, 1952) ความสามารถของอนุภาคเพื่อสะท้อนหรือเกิดแสงทำให้มองเห็นได้ชัดเจน ถ้าอนุภาคกระจายที่มีขนาดเล็กเพียงพอแล้วมวลต่ำช่วยให้อนุภาคเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในทิศทางของการไหลของอากาศ มวลต่ำยังช่วยให้มั่นใจว่าอนุภาคจะไม่ได้รับผลกระทบจากแรงโน้มถ่วง แต่เมื่อตรวจสอบการกระจายระเหยเราไม่ให้ความสนใจมากนักในการติดตามการเคลื่อนไหวของอากาศเป็นสารเคมีที่เป็นเส้นทางที่เป็นสารเคมีที่จะได้นำมาจากสารเคมีพร้อมดำเนินการทางอากาศ สารเคมีเหล่านี้อาจมีลบเป็นกลางหรือบวกและความนึกคิดสื่อสร้างภาพจะมีลักษณะคล้ายกัน ในกรณีที่เหมาะสื่อสร้างภาพจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ปลอดสารพิษและปลอดภัยที่จะใช้
- ไม่สร้างความเสียหายให้กับอุปกรณ์รวมทั้งไม่กัดกร่อน
- ง่ายต่อการผลิตและ
- ไม่แพง

แต่น่าเสียดายที่มากที่สุดชนิดของอนุภาคกระจายตัวในอากาศจะมีผลกระทบบางส่วนสำหรับคนที่มีอาการแพ้เฉพาะที่พวกเขาอาจจะสร้างความเสียหายมากต่อสุขภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทนี้จะได้นำเสนอสรุปครอบคลุมในแง่มุมของการไหลเวียนของอากาศที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบของหุ่นยนต์กลิ่นตรวจจับหรือเซ็นเซอร์ การไหลจะมีผลต่อโลกของ microrobots ที่ทำงานในสถานที่คับแคบมากและการไหลของอากาศผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก สำหรับหุ่นยนต์ขนาดใหญ่การไหลเวียนของอากาศส่วนใหญ่จะปั่นป่วนและขั้นตอนวิธีที่ตีความข้อมูลเซ็นเซอร์จะต้องคำนึงถึงจุดนี้ การใช้ค่าเฉลี่ยจากการพยายามที่จะเอาชนะความผันผวนของการอ่านเซ็นเซอร์ที่เกิดจากความวุ่นวายไม่เหมาะสม เพราะธรรมชาติของเศษส่วนของความวุ่นวายมักจะมีความผันผวนในค่าเฉลี่ย ภายใต้สภาวะปกติไหลของอากาศและการเคลื่อนไหวของกลิ่นไม่สามารถมองเห็นได้ นอกจากนี้ยังเป็นความจริงที่ว่าตัวตนของกลิ่นที่แตกต่างกันไม่สามารถกำหนดได้ด้วยสายตา นี่คือเหตุผลที่ว่าทำไมมีการใช้งานเซ็นเซอร์กลิ่นมีความสำคัญซึ่งสามารถระบุและช่วยติดตามกลิ่นได้ ในระหว่างการพัฒนาระบบเซ็นเซอร์เหล่านี้มักจะเป็นประโยชน์ที่จะเห็นภาพสารเคมีระเหยเพื่อยืนยันเส้นทางของกลิ่นและทราบว่าเซ็นเซอร์ทำงานได้อย่างถูกต้อง ในพื้นที่จำกัดการสร้างภาพโดยตรงเป็นเรื่องยากและการจำลองการไหลของของไหลอาจจะต้องใช้บริษัทจัดการให้ การจำลองการไหลของของไหลได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบของเซ็นเซอร์กลิ่นสำหรับการใช้งานหุ่นยนต์ [7]

2.2 การกระจายสัญญาณเคมี

กลุ่มควันสารเคมีที่ถูกปล่อยสู่สภาพแวดล้อมสามารถเป็นเหมือนประภาคารดึงดูดความสนใจเข้าสู่แหล่งกำเนิด และกระจายการแสดงความต้องการการกระทำบางอย่าง ในหลายครั้งการกระทำนั้นมักจะเป็นการแสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิด ตัวอย่างในเชิงชีวภาพของการแสดงแหล่งกำเนิดกลิ่นในบทที่ 3 อธิบายว่าตัวไหมใช้การกระจายสัญญาณเคมีเพื่อทำให้ตัวผู้สามารถหาตำแหน่งของตัวเมียได้ ในระหว่างการสืบพันธุ์ Allomyces (โมลด์น้ำชนิดหนึ่ง) จะปล่อยสัญญาณเคมีในรูปแบบคล้ายกันเพื่อช่วยรวบรวมอวัยวะสืบพันธุ์ของทั้งตัวผู้และตัวเมีย

ในการประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์ เทคนิกการแสดงตำแหน่งเหล่านี้สามารถนำไปใช้ค้นหาสารเคมีอันตรายหรือสารกัมมันตรังสีที่รั่วไหลได้ จะไม่มีปัญหาทางจริยธรรมในการส่งหุ่นยนตเข้าไปในสถาณการณ์ที่อันตราย ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถสร้างหุ่นยนต์ที่เอาตัวรอดในรังสีหรือสารพิษความเข้มข้นสูงได้ ซึ่งการป้องกันให้นักสำรวจที่เป็นมนุษย์ในสภาพการณ์ร้ายแรงนั่นจะทำได้ยากกว่า

หลังจากผึ้งตัวหนึ่งตาย ร่างกายของมันจะปล่อยกรดไขมัน (กรดโอเลอิค) ในขณะที่มันเน่า สารเคมีชนิดนี้จะเป็นสัญญาณให้ผึ้งงานกำจัดร่างของมันออกจากรัง การกระทำนี้เป็นการร่วมแรงกัน โดยเมื่อพวกมันตรวจเจอกรดโอเลอิค ผึ้งงานแต่ละตัวจะย้ายศพในระยะสั้นๆไปสู่ทางเข้ารัง ผลสุดท้ายคือผึ้งที่ตายจะถูกผลักออกมาจากรัง ปฏิกริยานี้ช่วยลดการแพร่เชื้อจากศพได้เป็นอย่างดี มัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง่ายที่จะจินตนาการถึงการปล่อยฟีโรโมนโดยระบบหุ่นยนต์ในรูปแบบสัญญาณคล้ายกัน หุ่นยนต์ที่ได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง เช่น พลังงานหมด สามารถเรียกหาความช่วยเหลือด้วยการปล่อยสารระเหยออกมา ในการทำงานปกติ พลังงานจากแบตเตอรี่จะคุมให้แคปซูลของสารเคมีปิดอยู่ เมื่อพลังงานจากแบตเตอรี่หมด แคปซูลจะเปิดโดยอัตโนมัติ โดยสารเคมีจะถูกลำเลียงด้วยอากาศไปถึงหุ่นยนต์สำหรับกู้ชีพและซ่อมแซม หุ่นยนต์เหล่านี้จะตรวจจับสารเคมีได้จากระยะไกล และในสถาณการณ์ที่จำกัด ซึ่งการกระจายสัญญาณวิทยุใช้ไม่ได้ผล การตามกลุ่มเมฆเคมีจะนำทางไปสู่หุ่นยนต์ที่ได้รับความเสียหาย

2.3 วิธีการหาแหล่งกำเนิดกลิ่น

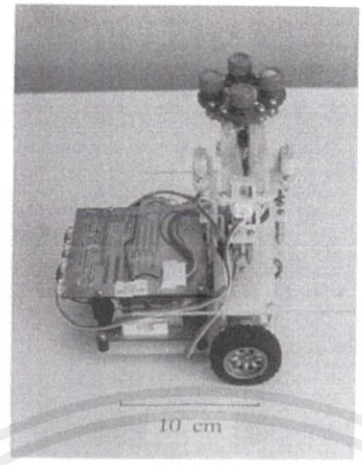
2.3.1 เซ็นเซอร์ 2 ตัว สำหรับการบอกตำแหน่งแหล่งกำเนิดกลิ่น

2 ระบบเซ็นเซอร์ที่คิดขึ้นใหม่สำหรับการบอกตำแหน่งแหล่งกำเนิดกลิ่นได้ถูกพัฒนาโดย Hiroshi Ishida และเพื่อนร่วมงานที่ Tokyo Institute of Technology พวกเขายังได้คิดอัลกอริธึมมากมายที่ใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์เพื่อนำทางหุ่นยนต์ไปสู่แหล่งกำเนิดของสารระเหย แรงบันดาลใจสำหรับเซ็นเซอร์และอัลกอริธึมมาจากการตามฟีโรโมนของตัวไหม พวกเขารายงานว่างานก่อนหน้านี้ใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์แก๊ส 2 ตัว เพื่อนำทางหุ่นยนต์โดยไม่วัดทิศทางลมและให้ผลการทดลองที่ไม่ดี มันจึงถูกสรุปว่าข้อมูลเกี่ยวกับลมนั้นมีความสำคัญเท่าๆกับความเข้มข้นของกลิ่นเพื่อการบอกตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่น

2.3.1.1 เซ็นเซอร์ที่รวมทั้งกลิ่นและทิศทางลม

เพื่อรวมการตรวจจับกลิ่นและทิศทางลม ผู้เขียนได้สร้างอาร์เรย์ของเซ็นเซอร์โดยใช้ เซ็นเซอร์ลม F6201-1 4 ตัว ผลิตโดย Shibaura Electronics Co. Ltd. และ เซ็นเซอร์แก๊ส TGS822 [8] แผนภาพส่วนประกอบหลักของระบบเซ็นเซอร์นี้แสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



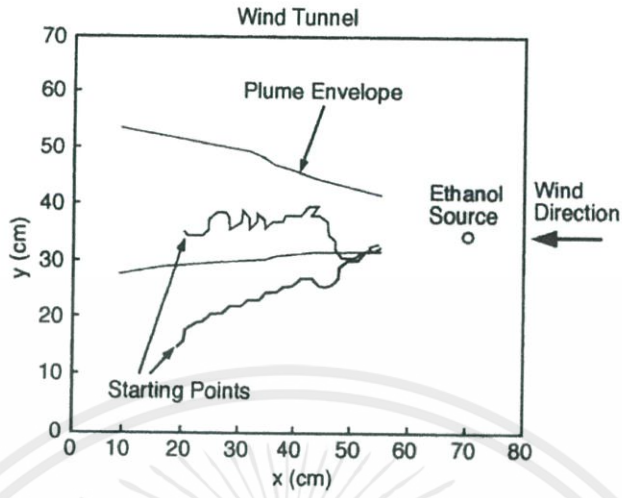
รูปที่ 2.6 การไล่ระดับสีความเข้มข้นของสารเคมีและทิศทางลมเซ็นเซอร์ติดตั้งอยู่บนหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

เซ็นเซอร์ลมติดอยู่กับเสากลาง และด้วยเหตุนี้ทำให้เซ็นเซอร์ที่อยู่ในตำแหน่งใต้ลมจะวัดค่าความเร็วลมได้ต่ำที่สุด ผลกระทบนี้ใช้วัดทิษทางลมได้ 90 องศา เพื่อการแสดงผลการไหลของอากาศที่แม่นยำขึ้น ทิศทางลมได้ถูกปรับเพิ่มขึ้น 45 องศา ผลของค่าที่อ่านจากเซ็นเซอร์ลมถูก normalize และบันทึก ทิศทางลมสามารถพิจารณาให้อยู่ใน 45 องศาได้ด้วยการหาคู่ที่เหมาะสมระหว่างค่าจริงกับค่าที่เก็บไว้ โดยดูจากระยะทางยูคลีเดียนที่น้อยที่สุด ในรูปที่ 2.6 แสดงการรวมของเซ็นเซอร์กลิ่นและทิศทางลมที่ติดตั้งบนหุ่นยนต์ เมื่อทิศทางลมได้ถูกตัดสิน ดังนั้นกราเดียนท์ความเข้มข้นของสารเคมีตั้งฉากกับทิษทางลมสามารถถูกประมาณได้ กราเดียนท์ความเข้มข้นนี้หาได้โดยหาผลต่างของข้อมูลจากเซ็นเซอร์แก๊ส 2 ตัว ที่อยู่ในทิศทางลมที่ถูกต้อง การใช้ข้อมูลการไหลของอากาศและกราเดียนท์ของสารเคมทำให้เกิด 2 อัลกอริธึมเพื่อนำทางไปสู่แหล่งกำเนิดสารเคมี

2.3.1.2 อัลกอริธึมแรก – วิธีแบบ Step-by-Step

ใจความของอัลกอริธึมนี้คือ หุ่นยนต์เลือกมุ่งไปทางเหนือลมที่ถูกแสดงด้วยเซ็นเซอร์ลม และตรงไปหากึ่งกลางของกลุ่มเมฆสารเคมีที่ถูกแสดงด้วยการอ่านค่ากราเดียนท์จากเซ็นเซอร์แก๊ส เมื่อตัดสินใจได้แล้วจึงเคลื่อนที่ไป 2 ซม. ในทิศทางนี้ เส้นทางของหุ่นยนต์ประกอบด้วยลำดับของการตรวจจับ-เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 หุ่นยนต์ไบร์ทโดยใช้อัลกอริทึม step-by-step

ความเชี่ยวของลมทำให้กลุ่มเมฆสารเคมีแปรปรวน และทำให้ยากต่อการแสดงกราเดียนท์ของสารเคมีที่เชื่อถือได้ที่ความเข้มข้นต่ำ เมื่อค่าความเข้มข้นที่อ่านได้ลดต่ำกว่าค่า threshold หุ่นยนต์จะหยุดและรอจนกว่าจะอ่านค่าที่สูงกว่าได้ การควบคุมนี้ถูกทดสอบที่ความเร็วลม 20 ซม/วิฯ และอากาศอิ่มตัวด้วยไอเอธานอลที่ถูกปล่อยด้วยอัตรา 150 มล./นาที ภายใต้สภาวะเหล่านี้ แหล่งกำเนิดเอธานอลถูกจำกัดในรัศมีประมาณ 0.5 เมตร ผลการทดลอง 2 ครั้ง ที่ใช้อัลกอริธึมแบบ Step-by-Step ถูกแสดงในรูปที่ 2.7 ถ้าความเร็วลมหรืออัตราการปล่อยแก๊สถูกลดลง จะทำให้เกิดการนำทางผิดพลาดมากขึ้น

2.3.1.3 อัลกอริธึมที่สอง – วิธีแบบซิกแซก (Zigzag)

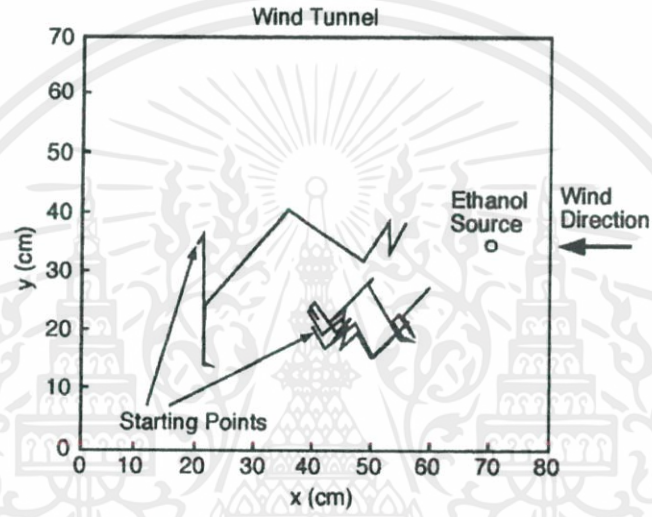
สำหรับอัลกอริธึมนี้ หุ่นยนต์ถูกโปรแกรมให้วิ่งเฉียงเต็มความกว้างของกลุ่มเมฆเคมี เมื่อไปถึงขอบด้านไกล หุ่นยนต์จะเปลี่ยนทิศทางเพื่อตัดไปที่ขอบตรงข้าม ในการกวาดแต่ละครั้ง เส้นทางเฉียงจะทำมุมไปทางเหนือลม เพื่อให้หุ่นยนต์มุ่งไปสู่แหล่งกำเนิดกลิ่น ถ้าหุ่นยนต์หลงจากกลุ่มเมฆ มันจะถอยหลังจนตรวจจับสารเคมีได้อีกครั้ง ความเร็วลมที่ 12 ซม./วิฯ และอัตราการปล่อยเอธานอลที่ 75 มล./นาที ถูกใช้ระหว่างการทดสอบวิธีซิกแซก อัลกอริธึมนี้ทำงานถูกต้องเมื่อหุ่นยนต์เริ่มต้นที่ตำแหน่งภายในกลุ่มเมฆ และเส้นทางของกลุ่มเมฆไม่มีการแปรปรวนมากนัก รูปที่ 2.8 แสดง 2 เส้นทาง ที่หุ่นยนต์ตามกลุ่มเมฆไปได้สำเร็จเมื่อใช้อัลกอริธึมซิกแซก

มีรายงานว่าด้วงขี้ควาย (Dung beetle, Geotrupes stercorarius) ใช้อัลกอริธึมคล้ายกันในระยะสุดท้ายที่มันหามูลวัว (Burkhardt, et al., 1967) เมื่อพยายามจะหากลุ่มเมฆของกลิ่นจากมูลวัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สด มันจะบินฝ่าลมในเส้นทางวน เมื่อตรวจพบกลิ่นนั้น มันจะซิกแซกเฉียงไปตามกลุ่มเมฆ เลี้ยวกลับทุกครั้งที่มันเลยจากขอบของกลุ่มเมฆ เมื่อกลุ่มเมฆหมดลงมันจะอยู่เหนือกองมูลพอดี เมื่อเมฆกลิ่นแคบลง ความถี่ของการเลี้ยวเพิ่มขึ้นจะเตือนว่ามันเข้าใกล้เป้าหมายแล้ว

ทั้งอัลกอริธึม Step-by-Step และซิกแซกจะทำงานได้ไม่ดีที่ความเร็วลมต่ำกว่า 2-3 ซม./วิฯ เหตุผลหลักคือเซ็นเซอร์ลมจะไม่ให้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือที่ความเร็วลมต่ำ จากสถาณการณ์นี้ เซ็นเซอร์แบบ Active Sampling จึงถูกคิดค้นขึ้น



รูปที่ 2.8 หุ่นยนต์ไบร์ทโดยใช้อัลกอริทึมแบบซิกแซก

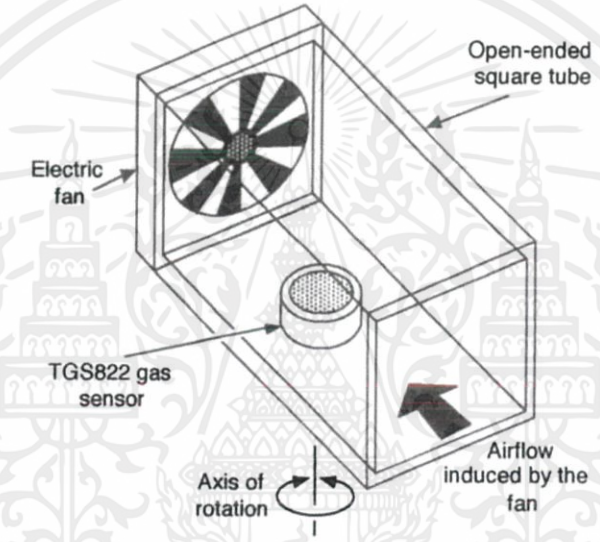
2.3.1.4 เซ็นเซอร์แบบ Active Sampling

มีการสำรวจว่าตัวไหมตัวผู้กระพือปีกเมื่อถูกกระตุ้นด้วยฟีโรโมนของตัวเมีย (Bombykol) การกระพือปีกจะพาลมเข้าสู่หนวดของมันและผ่านไปด้านหลัง จึงมีความคิดว่าการกระพือปีกนี้ช่วยให้มันรู้ทิศทางไปสู่แหล่งกำเนิดฟีโรโมน เมื่อมันกำลังมุ่งหน้าสู่แหล่งกำเนิด การกระพือปีกจะทำให้มันตรวจพบฟีโรโมนมากขึ้น หากมันกำลังมุ่งหน้าไปทางอื่น การกระพือปีกจะพัดฟีโรโมนออกไป ทำให้มันตรวจพบน้อยลง ในการที่จะตรวจสอบการหาทิศทางด้วยการกระพือปีก Hiroshi Ishida และเพื่อนร่วมงาม (1996) ได้ออกแบบเซ็นเซอร์แบบ Active Sampling โดยใช้พื้นฐานจากเรื่องนี้ ในเซ็นเซอร์มีพัดลมเพื่อสร้างการไหลของอากาศ และเซ็นเซอร์แก๊ส TGS822 ใช้กลิ่นเอธานอลเป็นเป้าหมายในการทดลอง โครงร่างของเซ็นเซอร์ถูกแสดงในรูปที่ 2.9 การตอบสนองของเซ็นเซอร์แสดงถึงการลดลงอย่างมีนัยเมื่อเซ็นเซอร์ชี้ไปในทิศออกจากแหล่งกำเนิด คุณสมบัตินี้ถูกใช้เป็นพื้นฐานของอัลกอริธึมตามแหล่งกำเนิดกลิ่นอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริธึม:

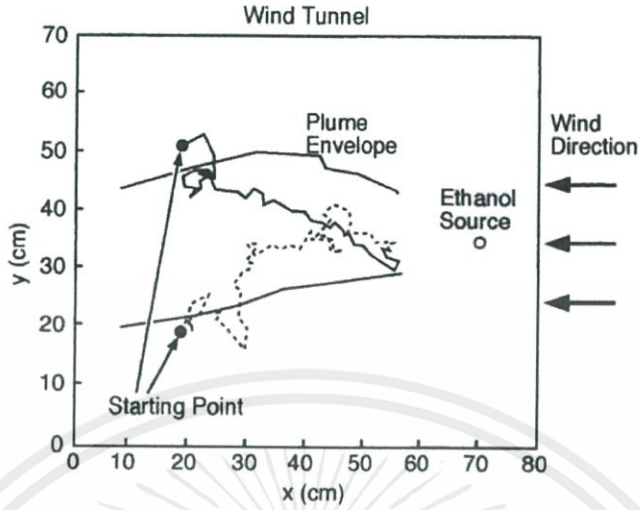
- หมุนเซ็นเซอร์ 360 องศา ด้วยอัตรา 30 องศา/วิฯ ในขณะที่เก็บค่าจากแก๊สเซ็นเซอร์
- เคลื่อนที่หุ่นยนต์ 2 ซม. ในทิศที่แก๊สเซ็นเซอร์วัดค่าได้มากที่สุด ด้วยความเร็ว 1 ซม./วิฯ
- ทำซ้ำ



รูปที่ 2.9 เซ็นเซอร์สุ่มตัวอย่าง

หุ่นยนต์ที่ใช้เซ็นเซอร์ Active Sampling ประสบความสำเร็จในการตามหาแหล่งกำเนิดเอธานอลโดยใช้อัลกอริธึมนี้ ผลการทดลอง 2 ครั้ง ถูกแสดงในรูปที่ 2.10 อย่างไรก็ตาม เพราะเวลาที่นานในการตรวจสอบแบบ 360 องศา ทำให้ความเร็วของหุ่นยนต์ค่อนข้างช้า (14 วิฯ ต่อรอบการตรวจจับและเคลื่อนที่) ยังพบอีกว่าการตอบสนองแบบมีทิศทางของเซ็นเซอร์มีความแคบ แสดงให้เห็นว่าเอาท์พุตของระบบเซ็นเซอร์จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างตามแนวตั้งของกลุ่มเมฆ เพื่อลดความไม่มีอิสระนี้บนโครงสร้าง 3 มิติของกลุ่มเมฆ เซ็นเซอร์ Active Sampling ที่รับมุมได้กว้างขึ้นถูกพัฒนาโดยใช้พัดลมหลายตัว [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ผลลัพท์ของการกำจัดแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยใช้เซ็นเซอร์สุ่มตัวอย่าง

2.3.2 สรุป

หัวข้อของบทนี้คือการกระจายสัญญาณเคมีที่ถูกพาจากแหล่งกำเนิดด้วยการแพร่ และ/หรือ การไหลของของเหลวรอบๆ แม้ว่าสัญญาณแบบนั้นสามารถสื่อความหมายได้หลายแบบ เช่น เป็นสัญญาณเตือนเพื่อเรียกหาการช่วยเหลือ หรือเพื่อให้ระวังอันตราย (Agosta, 1992) การใช้งานที่แพร่หลายที่สุดคือเป็นเหมือนประภาคารเพื่อดึงดูดให้เข้าหา การกระทำของแหล่งกำเนิดสารเคมีไม่ว่าจะเป็นความตั้งใจหรือไม่นั้นดึงดูดให้สิ่งมีชีวิตรอบๆเข้าหามัน การหาแหล่งกำเนิดของการกระจายสารเคมีเป็นหัวข้อการวิจัยที่ได้รับความนิยมสูงสุดในเรื่องของการตรวจจับสารเคมีด้วยระบบหุ่นยนต์ และทุกระบบหุ่นยนต์ในบทนี้ถูกออกแบบมาเพื่อการนั้น มีการประยุกต์ใช้เทคโรโลยีนี้ในทางปฏิบัติหลายแบบ รวมถึงการค้นหายา , อาหารผิดกฎหมาย, ระเบิด และเหยื่อจากแผ่นดินไหว, การเลื่อนของเปลือกโลก, ฯลฯ ปัจจุบัน สัตว์โดยเฉพาะสุนัขได้ถูกใช้ในงานเหล่านี้ ด้วยการพัฒนาระบบหุ่นยนต์ที่มากพอ จะสามารถทำงานเหล่านั้นได้โดยที่ไม่ต้องฝึกสัตว์ และไม่ต้องใช้ผู้ควบคุมที่มากประสบการณ์

2.4 การประมาณค่าในช่วง (Interpolation)

เมื่อพิจารณาปัญหาทางวิศวกรรม รวมถึงการทดลองทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ เราจะพบว่าข้อมูลที่เราได้ โดยส่วนใหญ่จะเป็นจุดไม่ต่อเนื่อง (discrete points) เราอาจมีความต้องการที่จะวาดเส้นกราฟที่ต่อเนื่องผ่านจุด เหล่านั้น (to fit a curve over those data points) เพื่อเป็นการอธิบาย

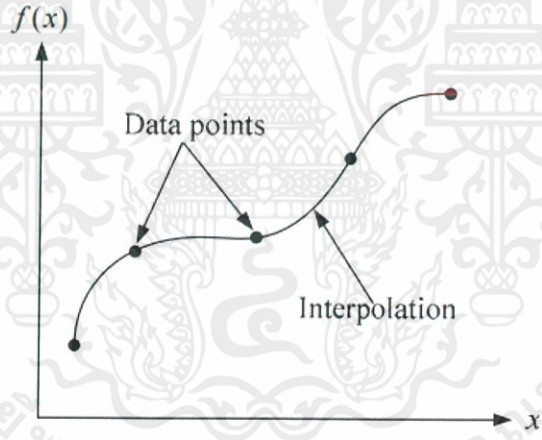
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูล หรือต้องการทราบค่าที่อยู่ระหว่างจุด ของข้อมูลที่เรามีในทางวิศวกรรมจะอาศัยเทคนิคที่เรียกว่า curve fitting ซึ่งสามารถกระทำได้ 2 แนวทางคือ

1. Interpolation
2. Regression

(1) วิธีการ Interpolationเราจะลากเส้นกราฟ (ซึ่งก็คือ ฟังก์ชั่น) ผ่านจุดทุกจุดของข้อมูลที่มี (ดูรูปที่ 2.11 ประกอบ) เทคนิคนี้เหมาะสำหรับจุดข้อมูลที่เราทราบ หรือแน่ใจว่ามีความถูกต้องสูง เช่น ข้อมูลที่ได้จากการ คำนวณที่ซับซ้อน หรือได้การทำการทดลองตามวิธีมาตรฐานด้วยเครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องสูง (ซึ่งมีค่าใช้จ่าย ในการวัดสูงด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่ง ที่ไม่สามารถวัดออกมาได้หลายๆ จุด) เป็นต้น ในบทนี้เราจะกล่าวถึง เทคนิคการ Interpolation 3 วิธีต่อไปนี้

- Newton's Interpolating Polynomials
- Lagrange Interpolating Polynomials
- Splines



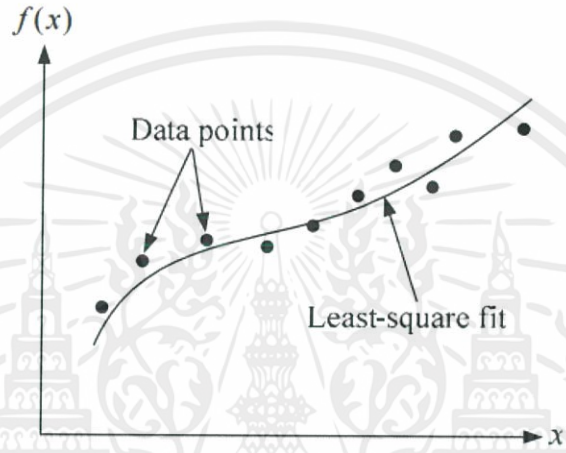
รูปที่ 2.11 กราฟของเทคนิคการ Interpolation

(2) วิธีการ Regressionเราจะสร้างเส้นกราฟ หรือลาก curve ให้ผ่านจุดข้อมูลที่เรามีให้มากที่สุดโดย เส้นกราฟ ที่สร้างขึ้นจะเป็นตัวแทนของข้อมูล บอกว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันแบบใดหรือมีแนวโน้มจะเปลี่ยนแปลงไป อย่างไรเมื่อปริมาณในแกนหนึ่งเพิ่มขึ้น เทคนิคนี้จะเหมาะกับ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (experimental data) โดยเฉพาะข้อมูลจากการทดลองภาคสนาม (ซึ่งมีความแปรปรวนได้มาก) เราอาจรู้จักเทคนิคนี้ในชื่อ Least Square Regression เทคนิคนี้ยังแบ่งย่อย ออกเป็นหลายวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น

- Linear Regression
- Nonlinear Regression
- Polynomial Regression
- Multiple Regression



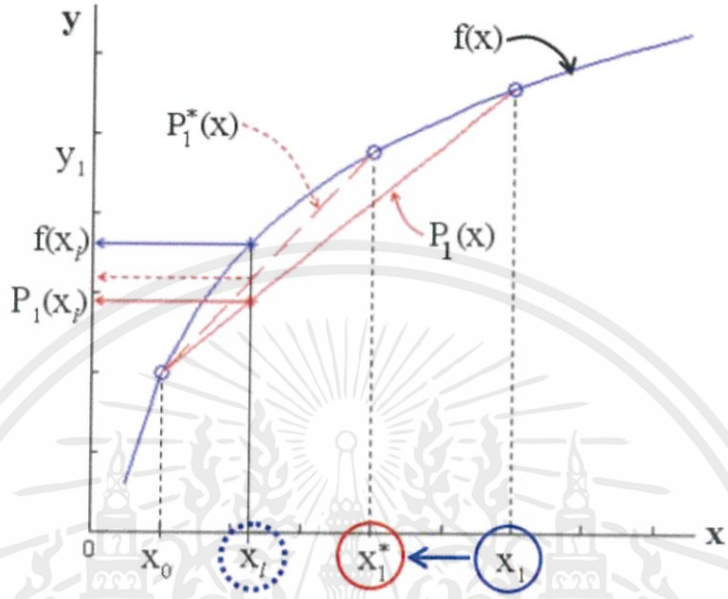
รูปที่ 2.12 กราฟของเทคนิค Least Square Regression

2.4.1 การประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น (Linear Interpolation)

จากกราฟรูปที่ 2.13 มีความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปริมาณ (x กับ y) ตามธรรมชาติที่ต้องการทราบ กำหนดให้เป็น ฟังก์ชั่น f(x) แต่เนื่องจากข้อมูลจากการศึกษาและทดลองของมีจำกัด จึงอาจทราบข้อมูลเพียง 2 จุดเท่านั้น คือจุด (x_0 , y_0) กับ จุด (x_1 , y_1) สามารถสร้างสมการ เส้นตรงที่ unique ผ่านจุดทั้งสองนี้สมการเส้นตรงที่หาได้กำหนดให้เป็นสมการ $y = P_1 (x)$ ที่นิยามในช่วง $X \in [x_0 , x_1]$ หากต้องการทราบค่าของฟังก์ชั่น $f(x_i)$ ที่ตำแหน่ง x ใดๆ กำหนดให้เป็น x_i ดังรูปที่ 2.13 ในที่นี่ จะพบว่าจุดต่างๆ บนแกน x เรียงตัวกันดังนี้คือ $x_0 < x_i < x_1^* < x_1$ เนื่องจากไม่ทราบ f(x) ในธรรมชาติ เพียงแค่มีจุดข้อมูล 2 จุดและสมการเส้นตรงที่ผ่าน 2 จุดนั้น จึงทำการประมาณฟังก์ชั่นจริงในธรรมชาติด้วย ฟังก์ชั่นหรือสมการเส้นตรงที่สร้างขึ้น $f(x) \approx P_1(x)$ ฉะนั้นค่าของฟังก์ชั่นที่สนใจ $f(x_i)$ ก็จะประมาณได้ ด้วย $P_1 (x_i)$ นั่นเอง สมการหลัก (key function) ที่ใช้อธิบายกราฟเส้นตรงผ่านจุด 2 จุดคือ สมการเส้นตรง หรือสมการ Polynomial อันดับหนึ่ง เขียนได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) \approx P_1 x = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}(x - x_0) \qquad (2.11)$$



รูปที่ 2.13 กราฟการประมาณค่า $f(x_i)$ ด้วยฟังก์ชั่นพหุนามอันดับหนึ่ง

รูปที่ 2.13 สนใจค่าของฟังก์ชั่นที่ตำแหน่ง x_i ซึ่งอยู่ระหว่าง x_0 กับ x_1 เมื่อคำนวณหาสมการเส้นตรงตาม สมการ (2.11) จะได้สมการ $P_1(x)$ ค่าฟังก์ชั่นในตำแหน่งที่สนใจจะมีค่า $f(x_i) \approx P_1(x_i)$ หากกำหนดช่วง ข้อมูลที่ศึกษาให้แคบลงจาก x_1 เป็น x_1^* เมื่อคำนวณหาสมการเส้นตรงในช่วง $x \in [x_0, x_1^*]$ จะได้ สมการ $P_1^*(x)$ และได้ค่าฟังก์ชั่นเท่ากับ $f(x_i) \in P_1^*(x_i)$ ซึ่งจะเข้าใกล้ค่าจริง $f(x_i)$ มากกว่า จะเห็นได้ว่าช่วงข้อมูล (interval) ที่มีความยาวต่างกัน ก็จะมีผลต่อความถูกต้องในการคำนวณหรือประมาณค่าฟังก์ชั่นที่ตำแหน่ง x_i แตกต่างกันไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การประมาณค่าต่ำสุดด้วยวิธี Unconstrained Optimization ของ Nelder-Mead

วิธีการ Nelder-Mead คือวิธีการเชิงเลขที่ถูกใช้อย่างแพร่หลาย เช่นสำหรับโปรแกรม MATLAB สามารถเรียกใช้ได้ด้วยฟังก์ชัน fminsearch เพื่อหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของฟังก์ชันในหลายมิติ (multidimensional space) ใช้ได้กับการ Optimize แบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear optimization) ซึ่งไม่สามารถหาการอนุพันธ์ได้ ถูกคิดค้นโดย John Nelder และ Roger Mead ในปี 1965

วิธีการนี้ใช้หลักการของซิมเพล็กซ์ สำหรับสมการ 2 ตัวแปร รูปแบบของซิมเพล็กซ์จะเป็นสามเหลี่ยม โดยใช้การเปรียบเทียบค่าของฟังก์ชันกับจุดยอดของสามเหลี่ยมนั้น ซึ่งจุดยอดที่มีค่ามากที่สุดจะถูกกำจัดและแทนที่ด้วยค่าที่น้อยกว่า ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างสามเหลี่ยมเริ่มต้น (BGW)

   ให้ f(x,y) เป็นฟังก์ชันที่จะหาค่าต่ำสุด และเลือกจุด 3 จุดเพื่อเป็นจุดยอดของสามเหลี่ยม จากนั้นหาค่าจากฟังก์ชัน 3 ค่า จากจุดเหล่านั้น โดยกำหนดให้

   $z_k = f(x_k,y_k)$ เมื่อ $k = 1, 2, 3$ และ $z_1 \le z_2 \le z_3$

   จุดยอดของสามเหลี่ยมคือ $B = (x_1,y_1)$, $G = (x_2,y_2)$ และ $W = (x_3,y_3)$

2. หากึ่งกลางของด้านที่ดี (M)

   จุดที่ดีที่สุด 2 จุด คือ B และ G ซึ่งจะให้ค่าฟังก์ชันที่น้อยที่สุด 2 ค่า โดยที่

$$M = \frac{B+G}{2} = \left(\frac{x_1+x_2}{2}, \frac{y_1+y_2}{2}\right) \tag{2.12}$$

3. การสะท้อนด้วยจุด R

   ค่าของฟังก์ชันจะลดลงจากจุด W ไปทางจุด B และ G ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ค่าของฟังก์ชันจะลดลงเมื่ออีกเมื่อข้ามเส้นตรง BG โดยที่

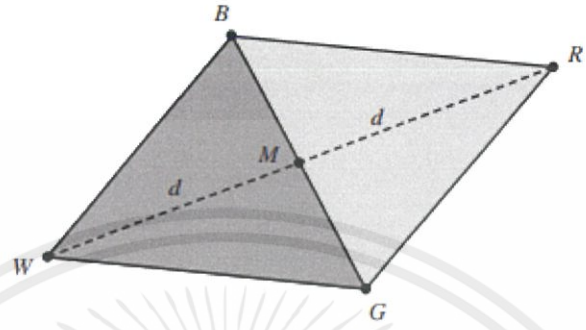
$$R = M + (M - W) \tag{2.13}$$

4. การขยายด้วยจุด E

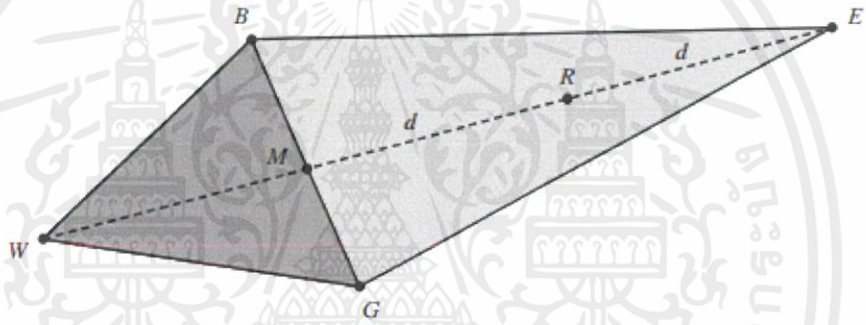
   หากค่าของฟังก์ชันที่จุด R น้อยกว่าค่าของฟังก์ชันที่จุด W จะสามารถเลื่อนไปได้ถึงจุด E โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = R + (R - M) \tag{2.14}$$



รูปที่ 2.14 สามเหลี่ยม BGW จุดกึ่งกลาง M และจุดสะท้อน R



รูปที่ 2.15 สามเหลี่ยม BGW และจุด E

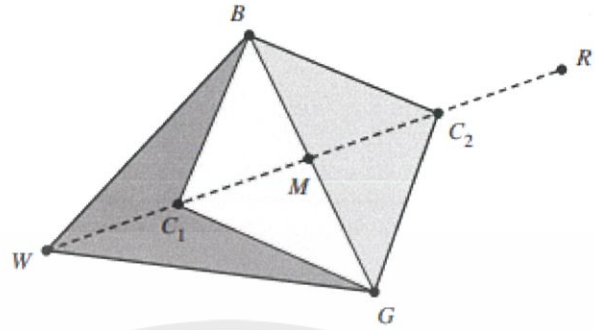
5. การหดไปที่จุด C

   หากค่าของฟังก์ชันที่จุด R เท่ากับค่าของฟังก์ชันที่จุด W จะต้องทดสอบที่จุดอื่นแทน โดยเราสามารถเลื่อนไปที่จุด C_1 หรือ C_2 ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของเส้นตรง WM และ MR ตามลำดับ

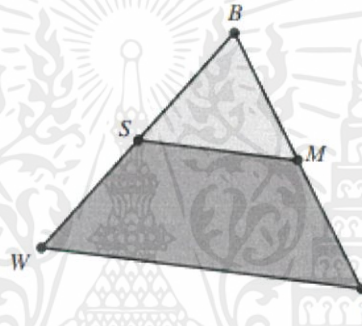
6. หดไปที่จุด B

   หากค่าของฟังก์ชันที่จุด C ไม่น้อยกว่าค่าของฟังก์ชันที่จุด W ดังนั้นจุด G และ W ต้องถูกหดเข้าหาจุด B โดยแทนจุด G ด้วยจุด M และแทนที่จุด W ด้วยจุด S ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของเส้นตรง BW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การหดไปที่จุด C_1 หรือ C_2



รูปที่ 2.17 การหดสามเหลี่ยมเข้าหาจุด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวัดความเข้มข้นของกลิ่นในทางปฏิบัติและการคำนวณความเข้มข้นของกลิ่นด้วยสมการการกระจายของกลิ่นอย่างง่าย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

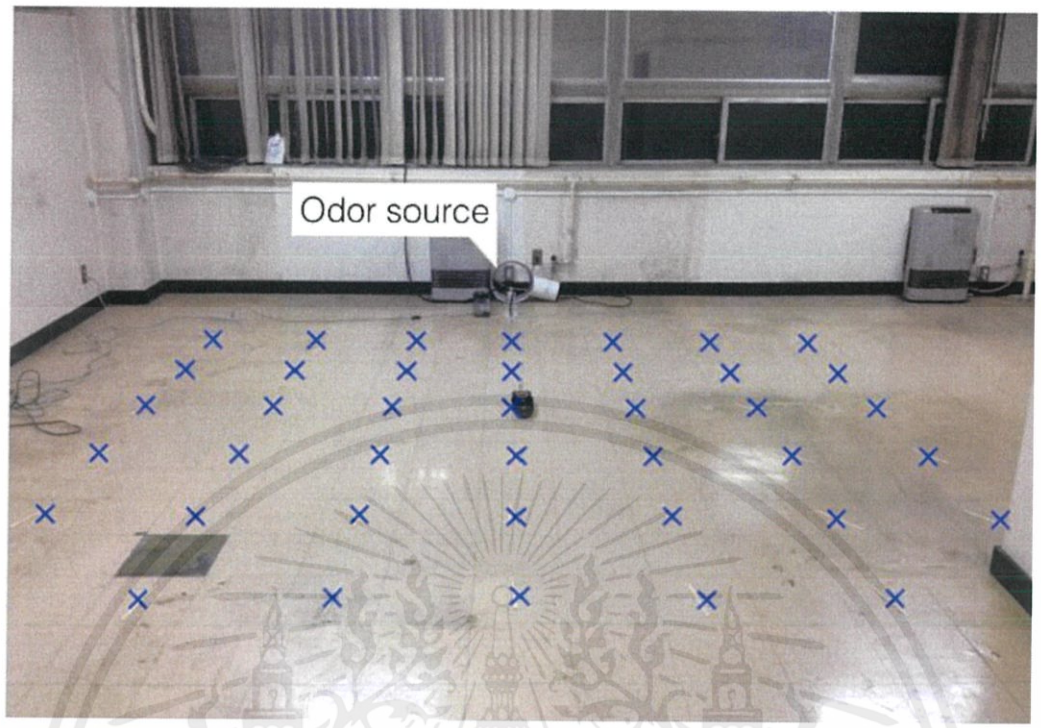
โครงงานนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มตั้งแต่การทำการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของกลิ่น ณ ตำแหน่งต่างๆในห้องปิดโดยใช้เครื่องตรวจวัดไอระเหย (หัวข้อ3.2) จากนั้นทำการคำนวณค่าความเข้มข้นของกลิ่น ณ ตำแหน่งต่างๆภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยใช้สมการการกระจายของกลิ่นอย่างง่ายที่ได้อธิบายไปในหัวข้อ 2.1.1 (หัวข้อ3.3) ข้อมูลที่วัดได้กับข้อมูลที่คำนวณได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อตรวจสอบว่าสมการการกระจายของกลิ่นอย่างง่ายที่ใช้นั้นจะให้ผลลัพท์ใกล้เคียงหรือต่างกับค่าที่วัดได้จริงอย่างไร (หัวข้อ3.4)

3.2 การวัดค่าความเข้มข้นของกลิ่นในห้องปิด

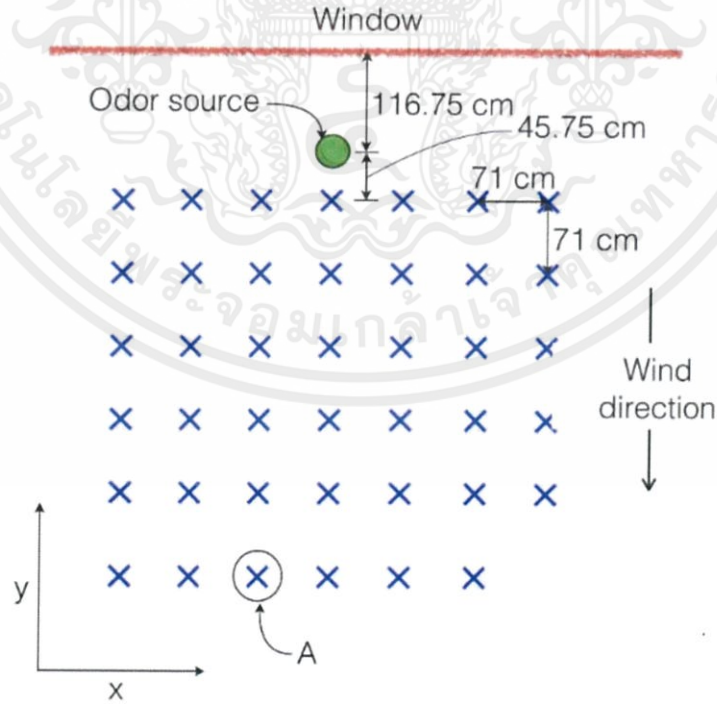
ในโครงงานนี้จะนำค่าความเข้มข้นของกลิ่นที่ ดร.ยศศิริ อาริยะกุล ทำการวัดและตีพิมพ์ในเอกสารการประชุมวิชาการเรื่อง "Simulation of Sensor Network for Odor Source Localization Using Numerical Optimization Technique" โดยใช้เครื่องตรวจวัดไอระเหยของสารอินทรีย์ชนิดโฟโตไอออนไนเซชั่น (Photoionization Detector : PID detector) รุ่น ppbRAE 3000 ของบริษัท RAE System ทำการวัดความเข้มข้นกลิ่นทั้งหมด 41 จุด ในห้องปิด โดยมีตำแหน่งการวัดแสดงดังรูปที่ 3.1

สำหรับแหล่งกำเนิดกลิ่นนั้นใช้เป็นเอทานอลความเข้มข้น 99.5% บรรจุขวดโดยมีปากขวดอยู่ชิดกับพัดลมที่ตั้งความเร็วลมไว้ที่ 9 ลิตรต่อวินาที ทำการวัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) รุ่น ISA-12 ของบริษัท Sibata โดยทำการปล่อยกลิ่นทิ้งไว้เป็นเวลา 2 นาทีก่อนเริ่มทำการวัดค่าความเข้มข้น โดยใช้เวลาวัดค่าความเข้มข้นของกลิ่นที่แต่ละจุดจุดละ 10 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายบริเวรและตำแหน่งที่กำการทดลองวัดความเข้มข้นของกลิ่น



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งต่างๆที่ทำการวัดความเข้มข้นของกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเข้มข้นที่วัดได้ในหน่วย ppb มีค่าแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าความเข้มข้นของกลิ่นที่วัดได้ที่ตำแหน่งต่างๆ (ppb)

ตำแหน่ง	X (cm)						
Y (cm)	0	71	142	213	284	355	426
355	6020	4610	3510	131180	4690	4890	4560
284	8740	9560	7380	62590	6510	9450	7730
213	11540	11410	18530	28880	9280	10720	12910
142	15910	14250	34090	25140	12180	13660	15190
71	16810	16300	29440	26720	15430	17360	17450
0	21250	24470	29470	27270	16840	16780	16800

จากนั้นทำการพล็อตกราฟจากข้อมูลที่วัดได้ดังกล่าว โดยเขียนเป็นโปรแกรมบน MATLAB ดังแสดงในรูปที่ 3.3

Editor - E:\โปรเจคปี4เทอม1\ทำเอง\elec4c01.m

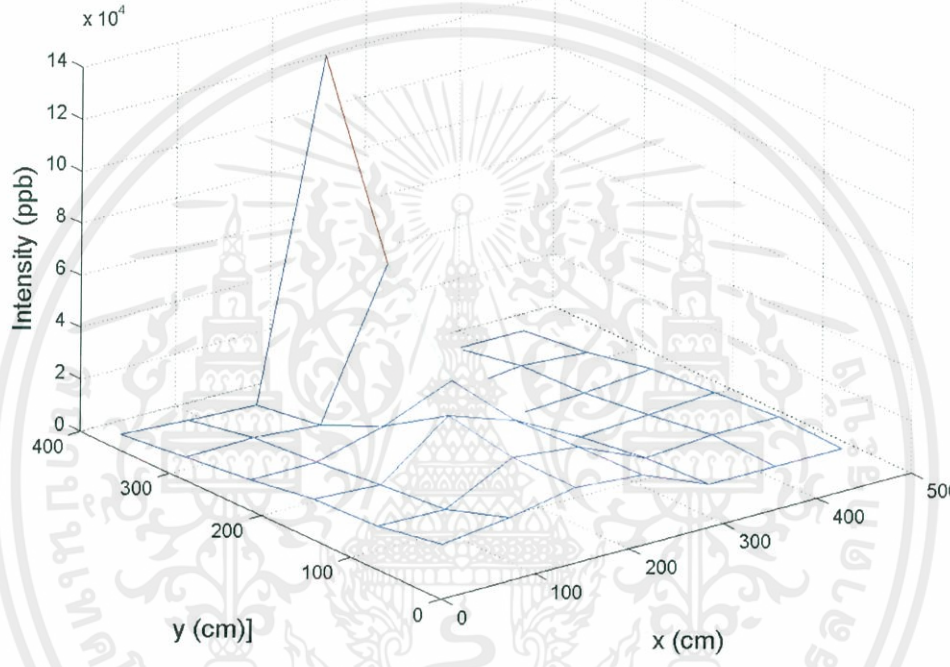
elec4c01.m

```
1 -  tic;
2
3    % กราฟข้อมูลที่ได้จากการวัด ที่ระยะห่าง 71cm
4    % MeasuredIntensity คือข้อมูลที่วัดที่ระยะห่าง 71cm
5 -  MeasuredIntensity = ...
6    [6020,4610,3510,131180,4690,4890,4560;
7    8740,9560,7380,62590,6510,9450,7730;
8    11540,11410,18530,28880,9280,10720,12910;
9    15910,14250,34090,25140,12180,13660,15190;
10   16810,16300,29440,26720,15430,17360,17450;
11   21250,24470,29470,27270,16840,16780,16800];
12
13   % Create x-y axis
14 - [xx,yy] = meshgrid(0:71:426,0:71:355);
15
16   % Graphing
17   % ทำการ flip y ก่อนวาดกราฟเพราะข้อมูลที่วัดมากับการพล็อตโปรแกรมสลับกัน
18 - mesh(xx,flipud(yy),MeasuredIntensity)
19 - xlabel('x (cm)','FontSize',14)
20 - ylabel('y (cm)]','FontSize',14)
21 - zlabel('Intensity (ppb)','FontSize',14)
22
23 - clearvars -except MeasuredIntensity
24
25 - toc
```

รูปที่ 3.3 โปรแกรมสำหรับพล็อตกราฟจากข้อมูลในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลแล้วจะได้กราฟดังรูปที่ 3.4 ซึ่งกราฟค่อนข้างหยาบเนื่องจากจุดที่ใช้วัดมีน้อยเกินไป ดังนั้นจึงทำการอินเตอร์โพเลท (Interpolate) ข้อมูลที่วัดได้ในตารางที่ 4.1 เพื่อลดระยะห่างระหว่างแต่ละจุดจาก 71 cm ให้เหลือ 1 cm แล้วจึงทำการพล็อตกราฟ เพื่อให้กราฟมีความต่อเนื่องมากขึ้น โปรแกรมในส่วนนี้แสดงดังในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ความเข้มข้นของกลิ่น ณ แต่ละจุดที่ทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Editor - E:\โปรเจคปี4เทอม1\ทำเอง\elec4c02.m*

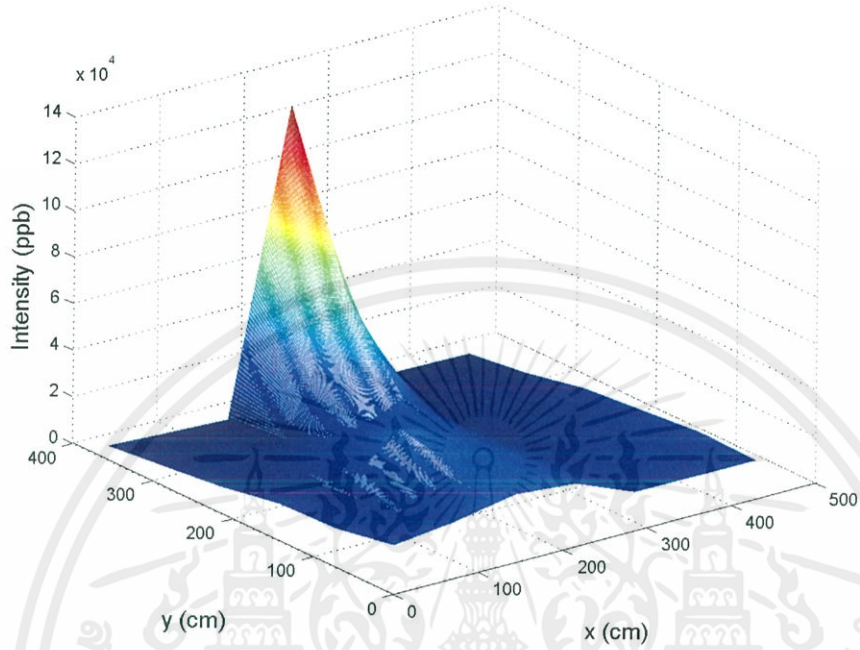
elec4c01.m | elec4c02.m* | +

```
tic;

% นี่เป็นโค้ดสำหรับ Interpolate ข้อมูลที่ได้จากการวัด
% ผลลัพธ์คือการที่ระยะห่างของข้อมูลลดจาก 71cm เป็น 1cm
MeasuredIntensity = ...
[6020,4610,3510,131180,4690,4890,4560;
8740,9560,7380,62590,6510,9450,7730;
11540,11410,18530,28880,9280,10720,12910;
15910,14250,34090,25140,12180,13660,15190;
16810,16300,29440,26720,15430,17360,17450;
21250,24470,29470,27270,16840,16780,16800];

% Create x-y axis
[xx,yy] = meshgrid(0:71:426,0:71:355);

% Create refined x-y axis for interpolation
[xxx,yyy] = meshgrid(0:1:426,0:1:355);

% Interpolation
InterpMeasuredIntensity = interp2(xx,yy,MeasuredIntensity,xxx,yyy);

% Graphing
mesh(xxx,flipud(yyy),InterpMeasuredIntensity)
xlabel('x (cm)','FontSize',14)
ylabel('y (cm)','FontSize',14)
zlabel('Intensity (ppb)','FontSize',14)

clearvars -except MeasuredIntensity InterpMeasuredIntensity

toc
```

รูปที่ 3.5 โปรแกรมสำหรับทำการอินเตอร์โพเลทข้อมูลในตารางที่ 3.1 แล้วทำการพล็อตกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ความเข้มข้นของกลิ่น ที่ได้จากการทำอินเตอร์โพเลทจากข้อมูล ณ แต่ละจุดที่ทำการวัด

3.3 การคำนวณค่าความเข้มข้นของกลิ่น

ในขั้นตอนนี้จะทำการพิสูจน์ว่าสมการการกระจายของกลิ่น คือ

$$C_o(x,y) = \frac{2q}{4\pi K d_s} e^{[-\frac{U}{2K}(d_s - \Delta x)]} \qquad (3.1)$$

มีความถูกต้องหรือไม่ จึงทำการคำนวณความเข้มข้นของกลิ่น ณ ตำแหน่งต่างๆที่สอดคล้องกับตำแหน่งในห้องปิดในหัวข้อ 3.2 โดยกำหนดให้ต้นกำเนิดกลิ่นอยู่บริเวณกลางห้องด้านบน จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

โดยในการคำนวณในส่วนนี้ จะใช้สมการ (2.7) คำนวณค่าความเข้มข้นของกลิ่นในพื้นที่ 355 x 426 cm โดยกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- อัตราการปล่อยกลิ่น (q) = 0.625 cm^3/s
- ความเร็วลม (U) = 11.26 cm/s
- Diffusion coefficient (K) = 15.2 cm^2/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มุมของทิศทางลมเทียบกับแกนนอน (θ) = 90°
- ระยะห่างระหว่างจุด = 71 cm

โดยเขียนเป็นโปรแกรมบน MATLAB ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ทั้งนี้การกำหนดค่าตัวแปร K และ Q จะอ้างอิงจากผลงานวิจัยเรื่อง "Remote sensing of gas/odor source location and concentration distribution using mobile system" ของ Hiroshi Ishida [2]

Editor - E:\โปรเจคปี4เทอม1\ทำเอง\elec4c03.m

elec4c03.m

```
tic;
% คำนวณค่า Intensity ที่ระยะห่าง 71cm
% q, K, U, Theta จากวิทยานิพนธ์ อ.อิชิดะ
q = 37.5/60; %[cm^3/s]
K = 15.2; %[cm^2/s]
% Data from experiment
U = 11.26; %[cm/s]
Theta = 90;
% Define position of the odor source
Xs = 213;
Ys = 400.75;
% Create x-y axis
[xx,yy] = meshgrid(0:71:426,0:71:355);
% Prepare a matrix for the answer
CalculatedIntensity = zeros(6,7);
num_rows = size(CalculatedIntensity,1);
num_cols = size(CalculatedIntensity,2);
% Calculation
for i=1:1:num_rows
    for j=1:1:num_cols

        CalculatedIntensity(i,j) = ((2*q/(4*pi*K))/sqrt((Xs-xx(i,j))^2 ...
        + (Ys-yy(i,j))^2))*exp(-(U/(2*K))*(sqrt((Xs-xx(i,j))^2 ...
        + (Ys-yy(i,j))^2) - ((Xs - xx(i,j))*cosd(Theta) ...
        + (Ys - yy(i,j))*sind(Theta))));

    end
end
% Graphing
% ไม่ต้อง flipud(yy) เพราะการระบุตำแหน่งของ Xs,Ys ที่ 213,400.75 ไปแล้ว
mesh(xx,yy,CalculatedIntensity)
xlabel('x (cm)','FontSize',14)
ylabel('y (cm)','FontSize',14)
zlabel('Intensity (Arbitrary unit)','FontSize',14)
clearvars -except CalculatedIntensity
toc
```

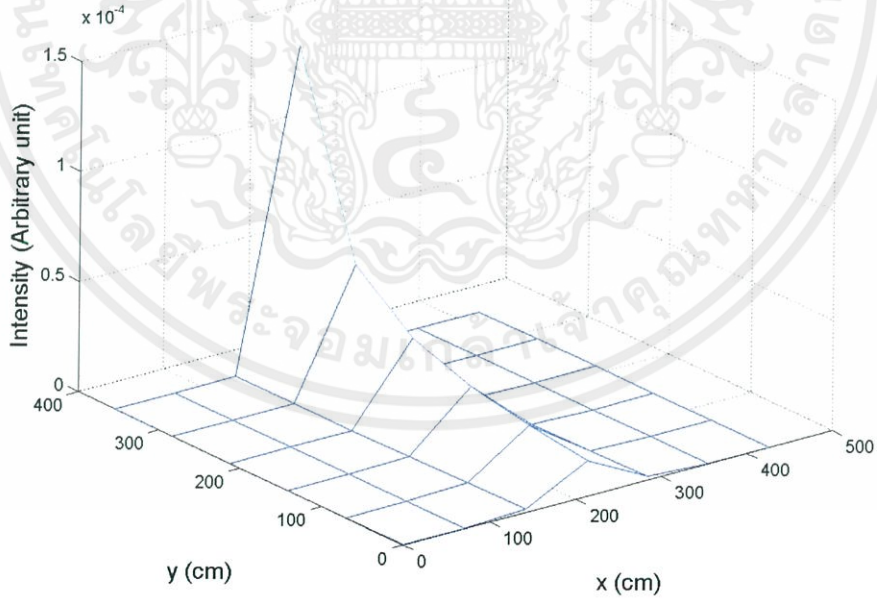
รูปที่ 3.7 โปรแกรมสำหรับคำนวณและพล็อตกราฟค่าความเข้มข้นกลิ่นโดยใช้สมการที่ (3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลจะได้กราฟดังรูปที่ 3.8

ตารางที่ 3.2 ค่าความเข้มข้นของกลิ่นที่คำนวณได้ที่ตำแหน่งต่างๆ (ppb)

ตำแหน่ง	X (cm)						
Y (cm)	0	71	142	213	284	355	426
355	6.20^{-24}	1.00^{-12}	4.59^{-2}	143040	4.59^{-2}	1.00^{-12}	6.20^{-24}
284	1.37^{-16}	5.76^{-7}	30.21	56053	30.21	5.76^{-7}	1.37^{-16}
213	7.77^{-12}	6.01^{-4}	266.61	34856	266.61	6.01^{-4}	7.77^{-12}
142	1.00^{-8}	3.09^{-2}	705.82	25292	705.82	3.09^{-2}	1.00^{-8}
71	1.31^{-6}	3.56^{-1}	1180.90	19846	1180.90	3.56^{-1}	1.31^{-6}
0	4.16^{-5}	1.82	1593.50	16330	1593.50	1.82	4.16^{-5}



รูปที่ 3.8 ความเข้มข้นของกลิ่น ณ แต่ละจุดที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการอินเตอร์โพเลทข้อมูลที่คำนวณได้ในตารางที่ 3.2 ได้เพื่อลดระยะห่างระหว่างแต่ละจุดจาก 71 cm ให้เหลือ 1 cm แล้วจึงทำการพล็อตกราฟ เพื่อให้กราฟมีความต่อเนื่องมากขึ้น โปรแกรมในส่วนนี้แสดงดังในรูปที่ 3.9

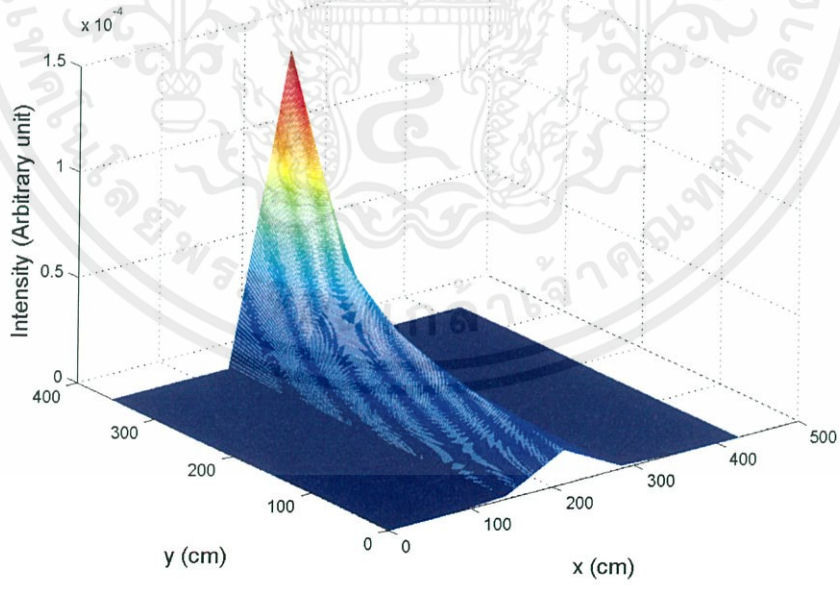
Variables - CalculatedIntensity | Editor - elec4c04.m

elec4c04.m

```
1 -  tic;
2    % Interpolate ข้อมูลที่คำนวณจาก PreCalculation
3    % ระยะห่างของข้อมูลลดจาก 71cm เป็น 1cm
4 -  CalculatedIntensity = [4.15993539394673e-14,1.81982107980021e-09,1.59354472294738e-06,1.63298813790647e-05
5    % Create x-y axis
6 -  [xx,yy] = meshgrid(0:71:426,0:71:355);
7    % Create refined x-y axis for interpolation
8 -  [xxx,yyy] = meshgrid(0:1:426,0:1:355);
9    % Interpolation
10 - InterpCalculatedIntensity = interp2(xx,yy,CalculatedIntensity,xxx,yyy);
11   % Graphing
12 - mesh(xxx,yyy,InterpCalculatedIntensity)
13 - xlabel('x (cm)','FontSize',14)
14 - ylabel('y (cm)','FontSize',14)
15 - zlabel('Intensity (Arbitrary unit)','FontSize',14)
16 - clearvars -except CalculatedIntensity InterpCalculatedIntensity
17 - toc
```

รูปที่ 3.9 โปรแกรมสำหรับทำการอินเตอร์โพเลทข้อมูลในตารางที่ 3.2 แล้วทำการพล็อตกราฟ

เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลจะได้กราฟดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ความเข้มข้นของกลิ่น ที่ได้จากการทำอินเตอร์โพเลทจากข้อมูล ณ แต่ละจุดที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการที่ (3.1)

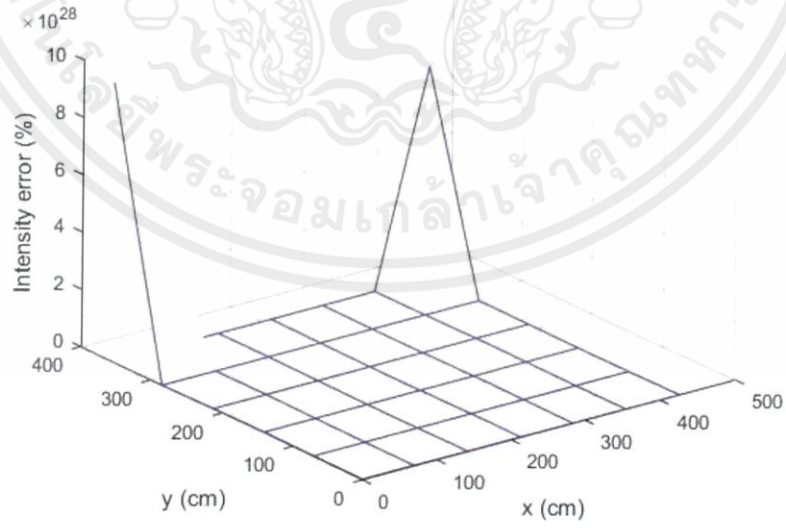
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณได้

ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดในตารางที่ 3.1 กับค่าที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 3.2 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.3 และพล็อตเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 3.11 และทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการอินเตอร์โพเลทค่าที่ได้จากการวัดในรูปที่ 3.6 กับค่าที่ได้จากการอินเตอร์โพเลทค่าที่ได้จากการคำนวณในรูปที่ 3.10 ได้ผลแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 3.12

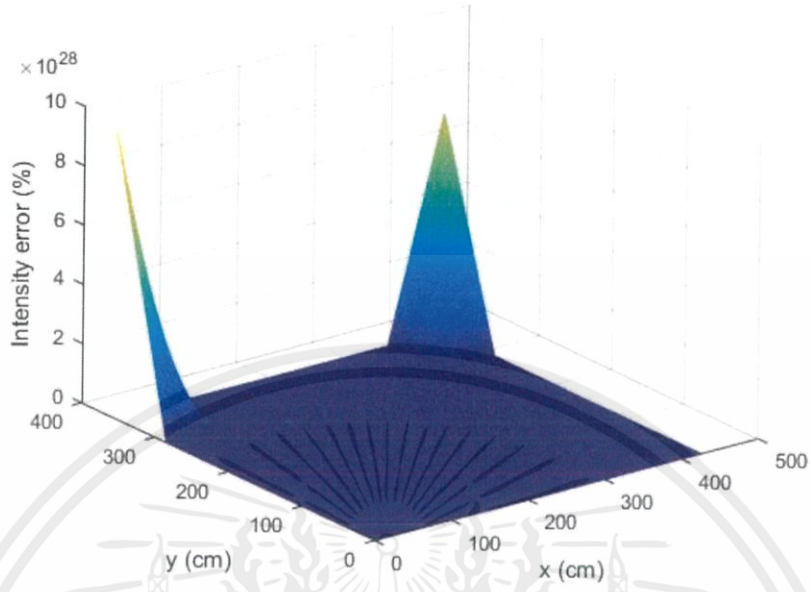
ตารางที่ 3.3 ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นของกลิ่นระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณ (%)

ตำแหน่ง	X (cm)						
Y (cm)	0	71	142	213	284	355	426
355	9.71^{28}	4.58^{17}	7.65^{6}	-8.23	1.02^{7}	4.86^{17}	7.36^{28}
284	6.36^{21}	1.66^{12}	2.43^{4}	11.66	2.14^{4}	1.64^{12}	5.62^{21}
213	1.48^{17}	1.90^{9}	6.85^{3}	-17.14	3.38^{3}	1.78^{9}	1.66^{17}
142	1.58^{14}	4.61^{7}	4.73^{3}	-0.60	1.62^{3}	4.42^{7}	1.51^{14}
71	1.28^{12}	4.58^{6}	2.39^{3}	34.64	1.21^{3}	4.88^{6}	1.33^{12}
0	5.11^{10}	1.34^{6}	1.75^{3}	66.99	956.76	9.22^{5}	4.04^{10}



รูปที่ 3.11 ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นของกลิ่นระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณ (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นของกลิ่นระหว่างค่าที่ได้จากการอินเตอร์โพเลทค่าที่วัดได้กับว่างค่าที่ได้จากการอินเตอร์โพทค่าที่ได้จากการการคำนวณ (%)

จากตารางที่ 3.3 รูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 พบว่าช่วงบริเวณกลางห้องการค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลที่ได้จากการวัดกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยมาก แต่บริเวณมุมห้องด้านซ้ายบนและขวาบนมีความคลาดเคลื่อนที่สูง ที่เป็นเหตุนี้คาดว่าเป็นเพราะเมื่อกลิ่นได้แพร่กระจายทั่วห้องที่ทำการทดลองแล้ว บริเวณมุมห้องด้านซ้ายบนและขวาบนจะมีกลิ่นเข้มข้นมากกว่าค่าที่คำนวณได้ เพราะกลิ่นที่แพร่กระจายออกเกิดการตกค้างและสะสมเนื่องจากผนังห้องต่างกับในสมการที่เป็นสมการแบบไม่มีขอบเขต (No boundary condition)

เนื่องจากผลที่ได้จากการคำนวณมีความคลาดเคลื่อนโดยรวมไม่ต่างจากผลที่ได้จากการวัดการทดลองตั้งแต่บทที่ 4 เป็นต้นไปจะใช้การคำนวณเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองหาตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลข

4.1 การทดลองคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลขด้วยเซ็นเซอร์ 3 ตัว

ในปริญญานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการคาดคะเนแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลข [3] ซึ่งอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

(ก) คำนวณค่าความเข้มข้นของกลิ่นที่ตำแหน่งทุกตำแหน่งจากแหล่งกำเนิดกลิ่นจริงบนพื้นที่ที่กำหนด โดยใช้สมการ (3.1)

(ข) กำหนดตำแหน่งของเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มข้นของกลิ่น โดยใช้เซ็นเซอร์ 3 ตัว และเก็บค่าความเข้มข้นกลิ่นที่เซ็นเซอร์แต่ละตัววัดได้ โดยใช้ค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ (ก) จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าความเข้มข้น 3 ค่า

(ค) สร้างแหล่งกำเนิดกลิ่นจำลองขึ้น และคำนวณค่าความเข้มข้นที่เซ็นเซอร์แต่ละตัววัดได้จากแหล่งกำเนิดกลิ่นจำลอง จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าความเข้มข้นอีก 3 ค่า

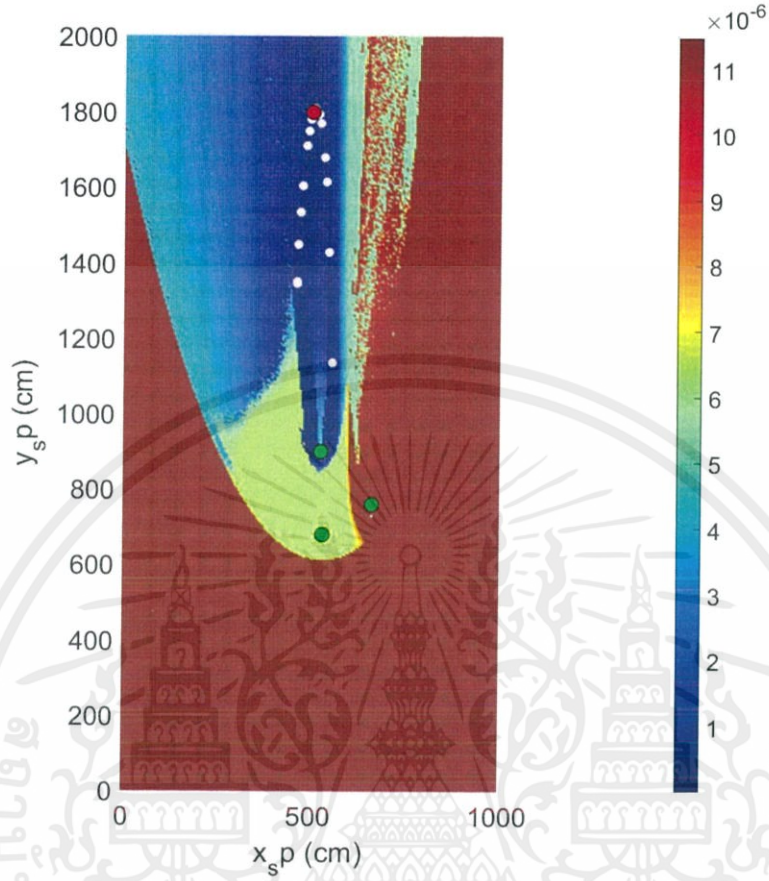
(ง) หาค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดระหว่างความเข้มข้นที่ได้จากขั้นตอนที่ (ข) และขั้นตอนที่ (ค) โดยใช้วิธี Optimization ดังสมการที่ (4.1) จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าความคลาดเคลื่อน 1 ค่า ต่อตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นจำลอง 1 ชุด

$$\Delta C = \sum_{i=1}^{n} |C_0(x_i, y_i, x_s y_s; \mathrm{q}, \mathrm{K}) - C_i(x_i, y_i, \hat{x}_s \hat{y}_s; q_a, K_a)| \tag{4.1}$$

(จ) ทำซ้ำขั้นตอนที่ (ค) - (ง) โดยเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นจำลองจนทั่วพื้นที่ที่ทดลอง และนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากขั้นตอนที่ (ง) ไปพล็อตลงในกราฟที่ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นจำลองที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนนั้น

ตัวอย่างกราฟที่ได้จากกระบวนการข้างต้นแสดงดังในรูปที่ 4.1 โดยวงกลมสีแดงแสดงตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นจริง วงกลมสีเขียวแสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์ และบริเวณที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยคือบริเวณที่มีแนวโน้มที่จะมีแหล่งกำเนิดกลิ่นจริงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการคาดคะเนแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยใช้เซ็นเซอร์ 3 ตัว

จะใช้สีที่บ่งบอกช่วงของค่าความคลาดเคลื่อน โดยค่าสีจะขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดและน้อยที่สุดในแต่ละรูป ดังนี้

- สีขาว มีค่าความเคลื่อนในช่วง

$$\frac{Intensity\ Error(x,y) - MIN(Intensity\ Error)}{MIN(Intensity\ Error)} \leq 10^3$$

- สีน้ำเงินเข้มมีค่าความเคลื่อนในช่วง

$$\frac{Intensity\ Error(x,y) - MIN(Intensity\ Error)}{MIN(Intensity\ Error)} > 10^3$$

และ

$$Intensity\ Error(x,y) \leq \frac{MAX(Intensity\ Error)}{4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สีฟ้าอ่อนเข้มมีค่าความเคลื่อนในช่วง

$$\frac{MAX(Intensity\ Error)}{4} < Intensity\ Error(x,y) \leq \frac{MAX(Intensity\ Error)}{3}$$

- สีเขียวเข้มมีค่าความเคลื่อนในช่วง

$$\frac{MAX(Intensity\ Error)}{3} < Intensity\ Error(x,y) \leq \frac{MAX(Intensity\ Error)}{2}$$

เซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตัวจะถูกปรับเปลี่ยนตำแหน่งในหลายๆรูปแบบ เพื่อหารูปแบบการเรียงตัวของเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมที่สุด โดยจะพิจารณาจากพื้นที่สีขาวในกราฟ ซึ่งคือพื้นที่ที่มีโอกาสที่จะมีแหล่งกำเนิดกลิ่นอยู่ โดยจุด 1 จุด มีพื้นที่ 0.0025 ตารางเมตร ที่รูปแบบการเรียงตัวของเซ็นเซอร์ที่ให้ให้พื้นที่สีขาวยิ่งน้อยหมายความว่าจะยิ่งบอกบริเวณที่มีต้นกำเนิดกลิ่นได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้จะหาค่าเฉลี่ยของระยะทางแบบยูคลิด (Euclidian distance) ระหว่างจุดสีขาวแต่ละจุดกับต้นกำเนิดกลิ่นจริงด้วย ดังสมการที่ (4.2)

$$d = \sum_{i=1}^{n} \frac{\sqrt{(x_s - x_{ei})^2 + (y_s - y_{ei})^2}}{n} \qquad (4.2)$$

เมื่อ x_s และ y_s คือ ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นจริง

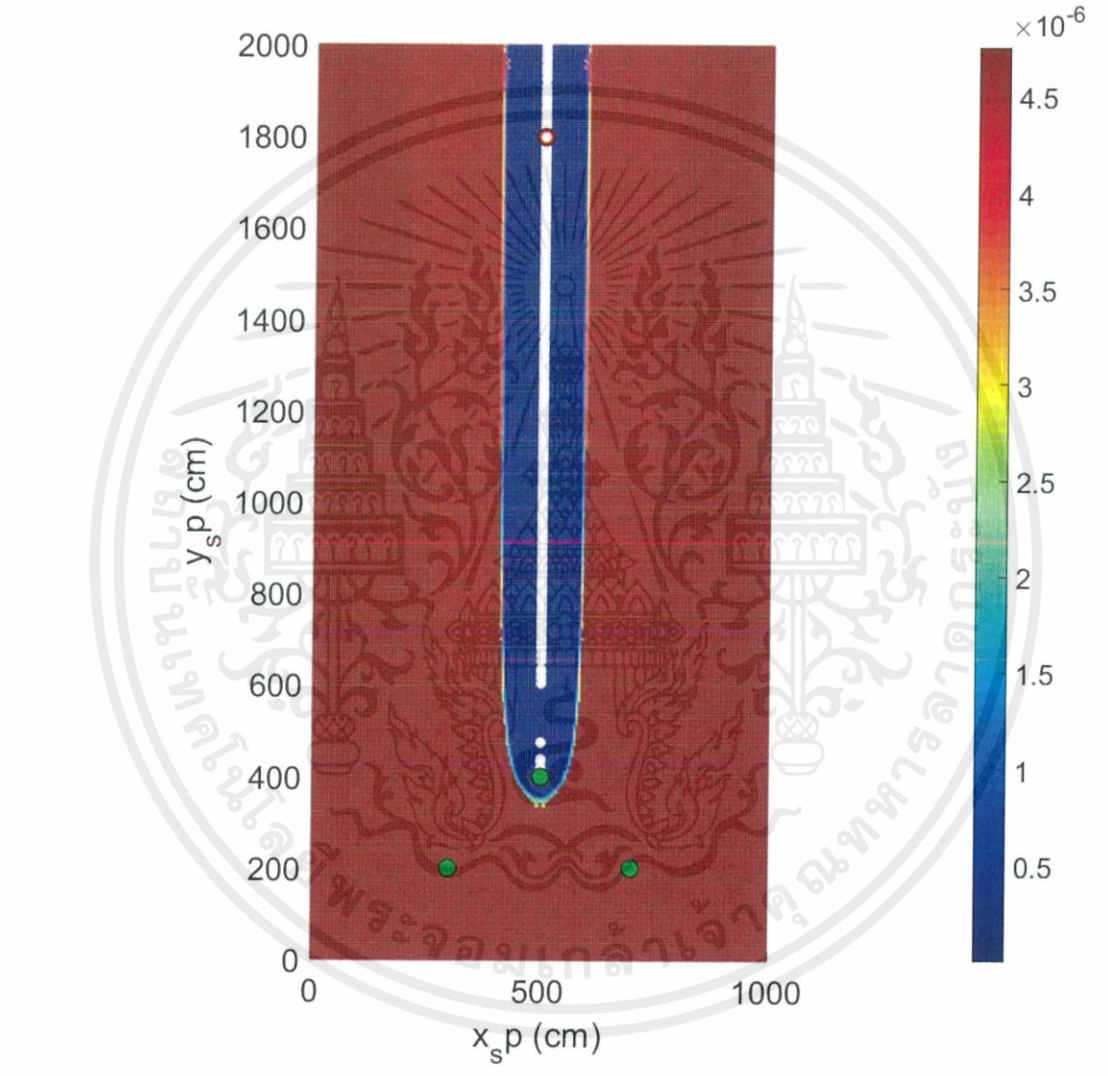
x_{ei} และ y_{ei} คือ ตำแหน่งของจุดสีขาวจุดที่ i

n คือ จำนวนของจุดสีขาวทั้งหมด

โดยได้ทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตัว ทั้งสิ้น 23 รูปแบบดังนี้ และสังเกตค่าพื้นที่สีขาว และระยะทางยูคลิดดังกล่าว โดยค่าทั้งสองค่านั้นยิ่งมีค่าน้อยยิ่งบ่งบอกว่าการจัดเรียงเซ็นเซอร์ในรูปแบบดังกล่าวสามารถระบุบริเวณที่มีต้นกำเนิดกลิ่นได้อย่างแม่นยำและถูกต้องตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,400)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (700,200)
   พื้นที่สีขาว 0.32 % (0.64 m^2)



รูปที่ 4.2 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,400) , (300,200) , (700,200)

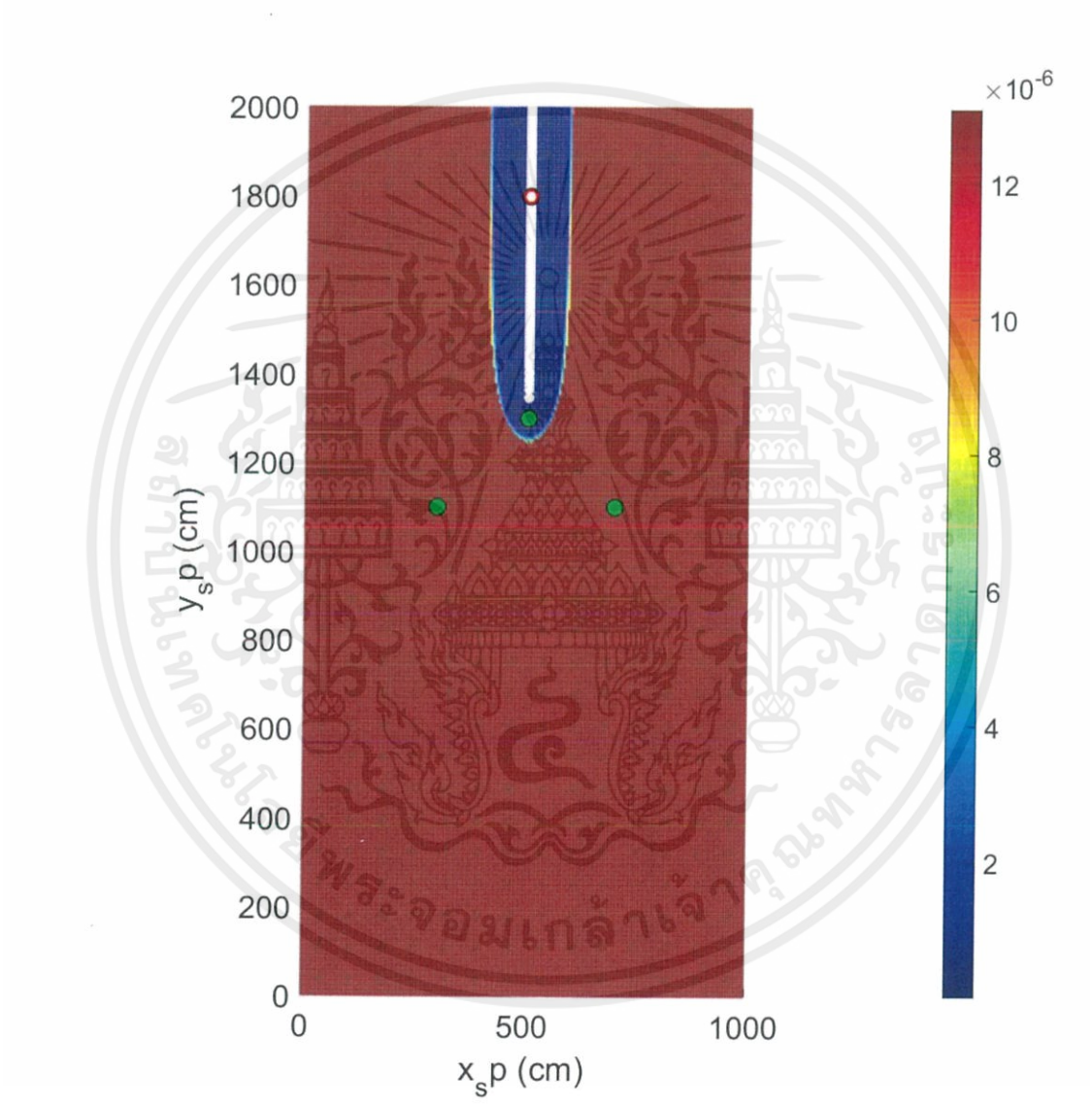
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,1300)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,1100)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (700,1100)

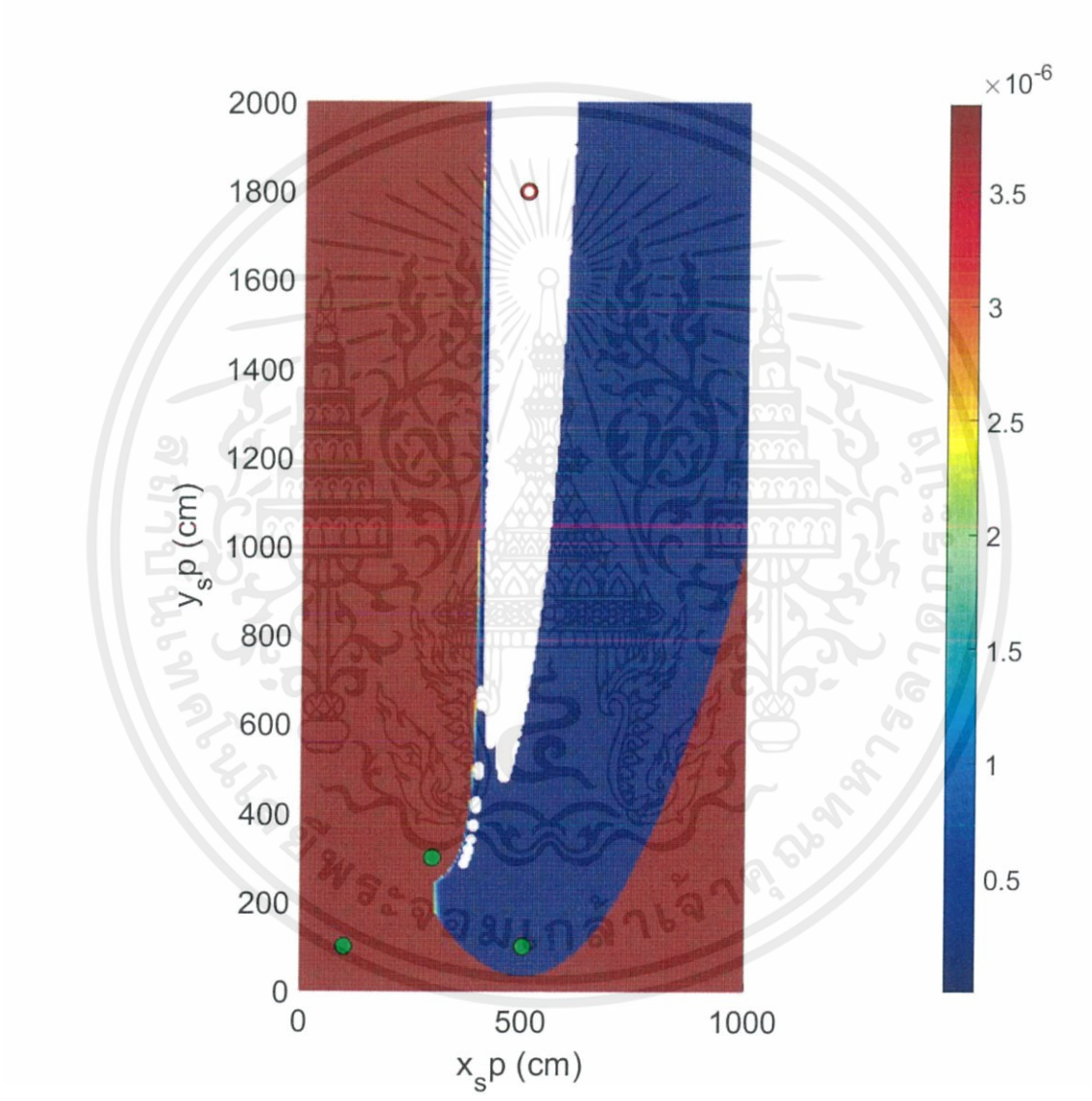
พื้นที่สีขาว 0.16 % (0.31 m^2)



รูปที่ 4.3 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,1300) , (300,1100) , (700,1100)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

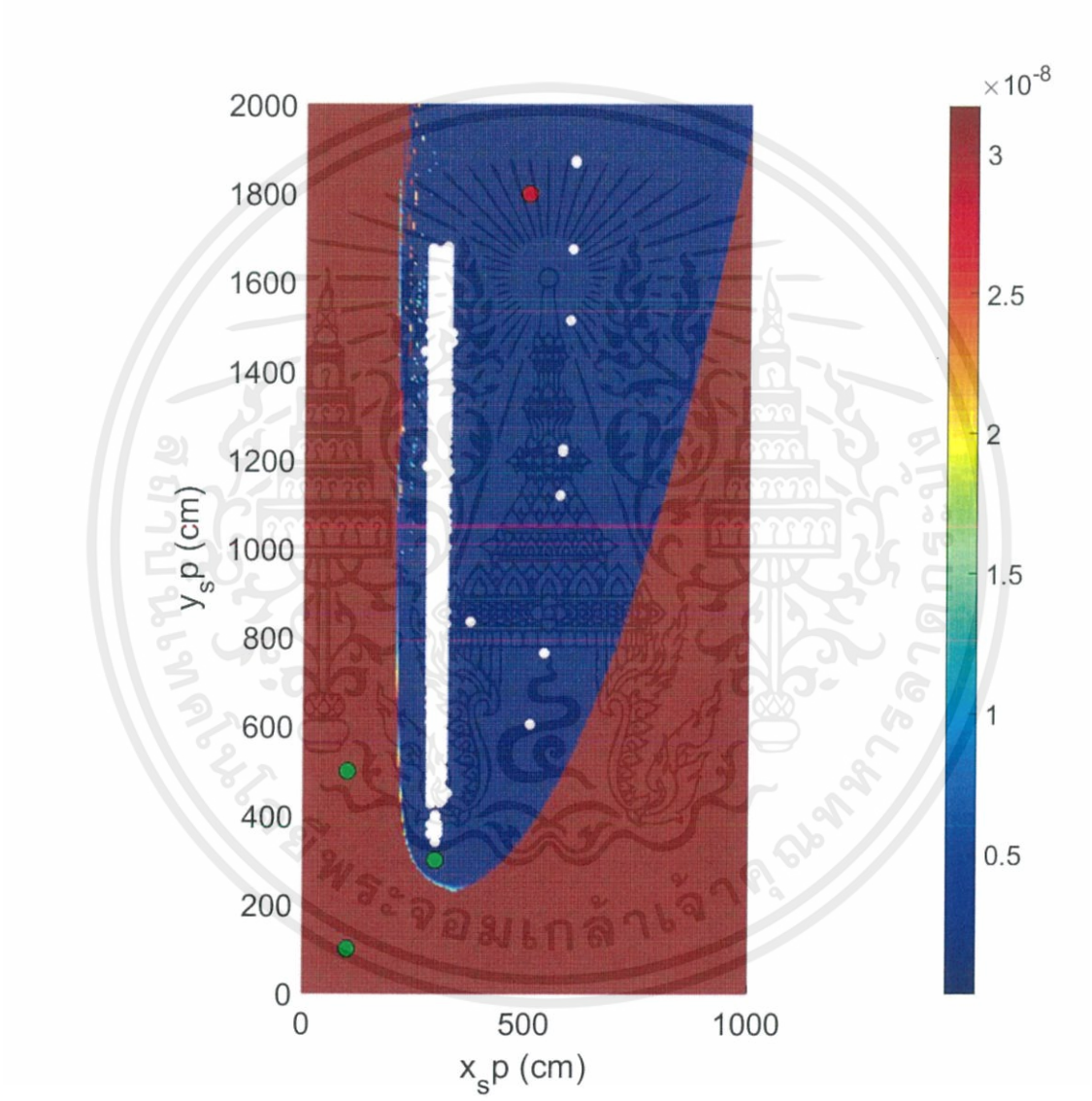
3. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,100)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,300)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (500,100)
   พื้นที่สีขาว 9.98 % (20.12 m^2)



รูปที่ 4.4 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,100) , (300,300) , (500,100)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

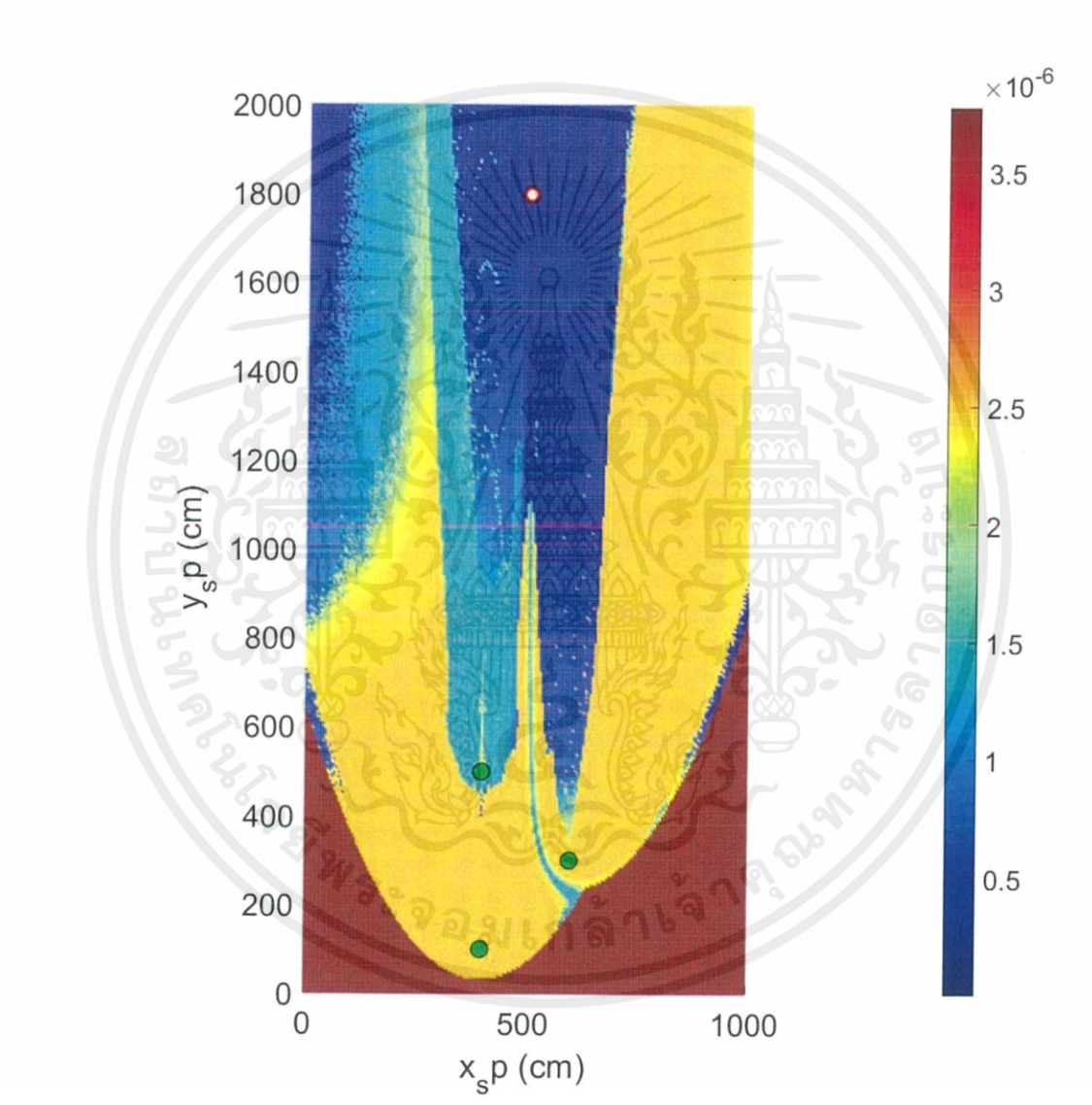
4. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,100)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (100,500)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (300,300)
   พื้นที่สีขาว 2.05 % (4.12 m^2)



รูปที่ 4.5 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,100) , (100,500) , (300,300)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

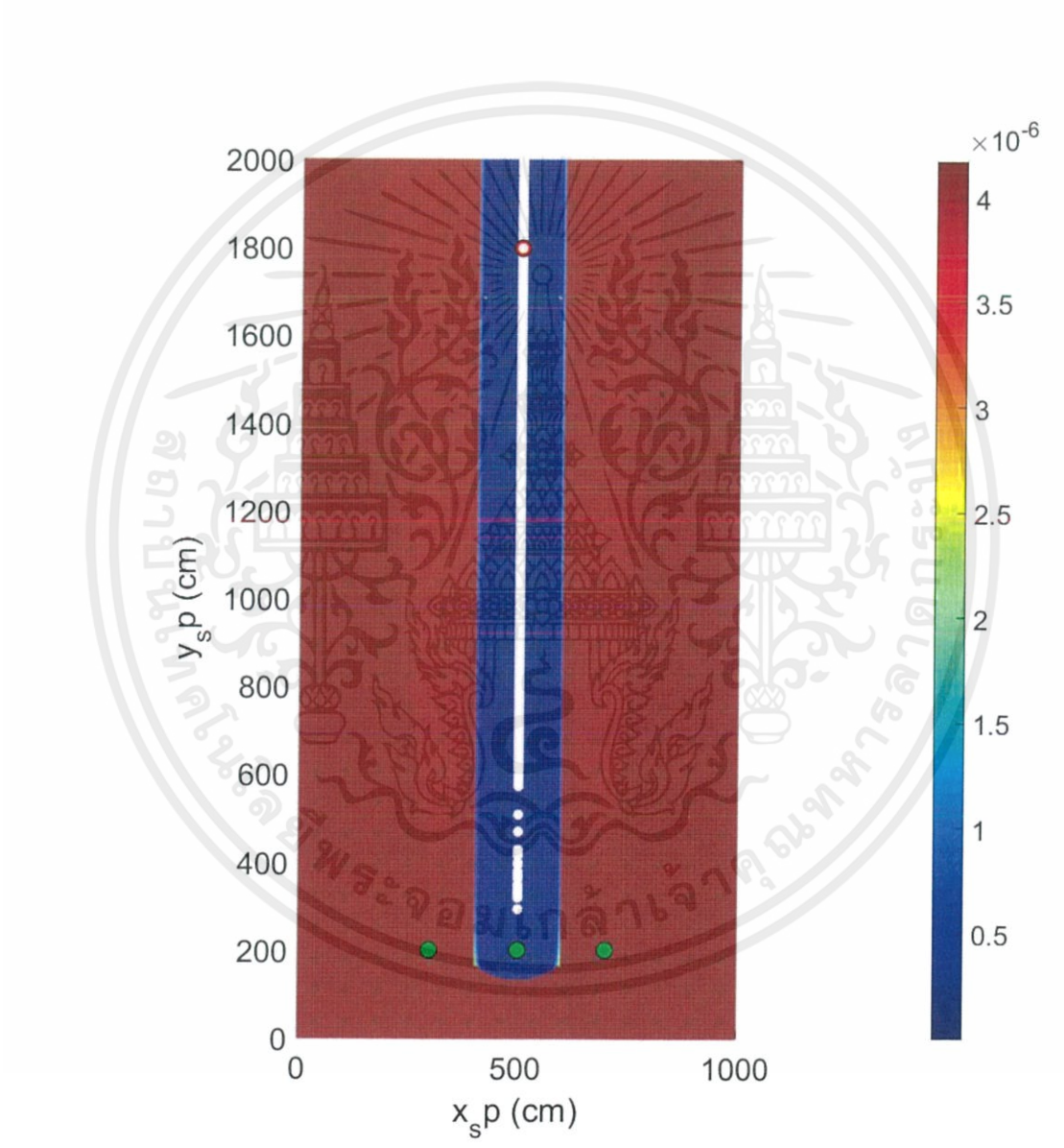
5. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (400,100)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (400,500)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (600,300)
   พื้นที่สีขาว 0.01 % (0 m^2)



รูปที่ 4.6 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (400,100) , (400,500) , (600,300)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (700,200)
   พื้นที่สีขาว 0.37 % (0.75 m^2)



รูปที่ 4.7 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (700,200) , (300,200)

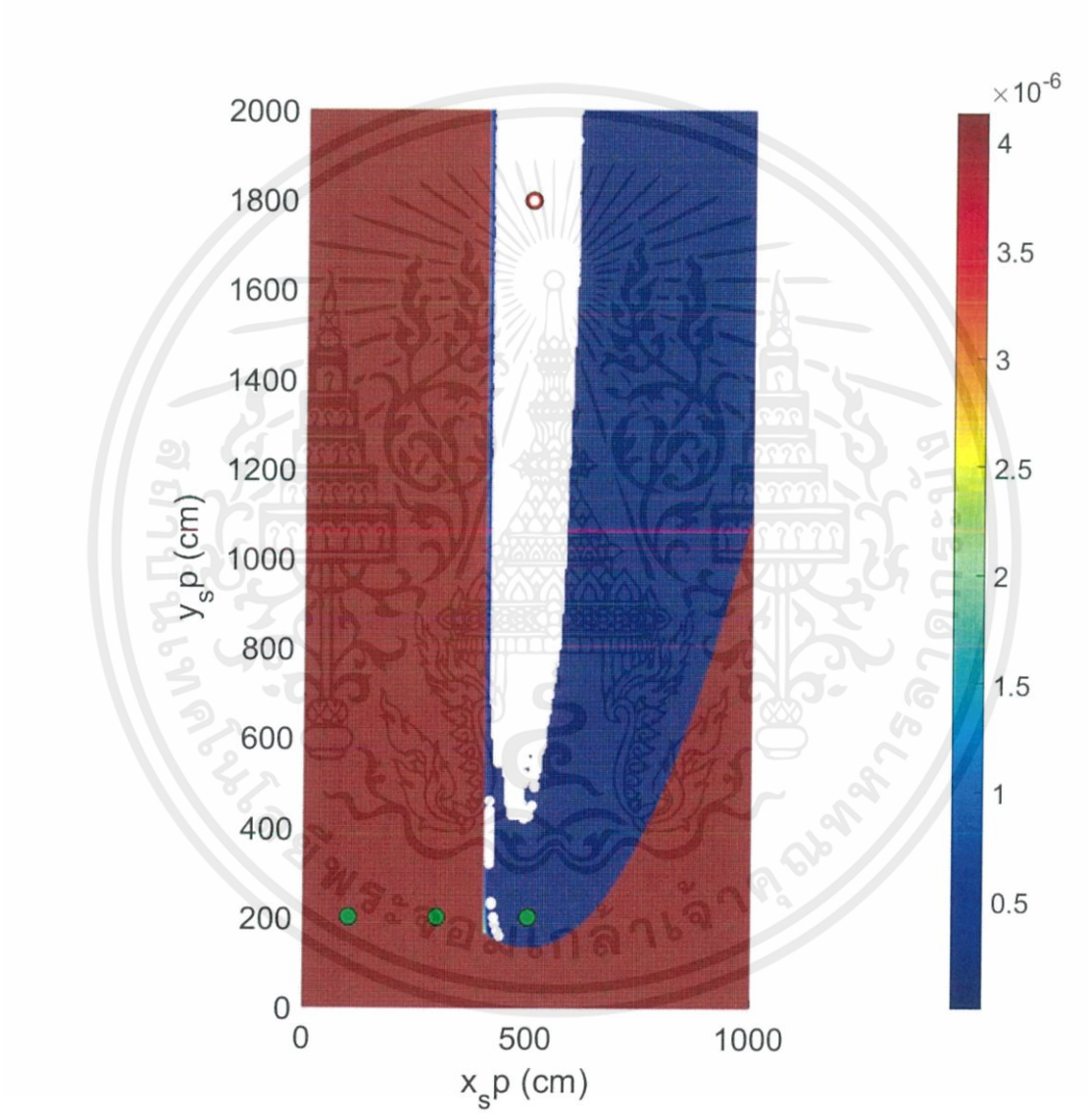
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (100,200)

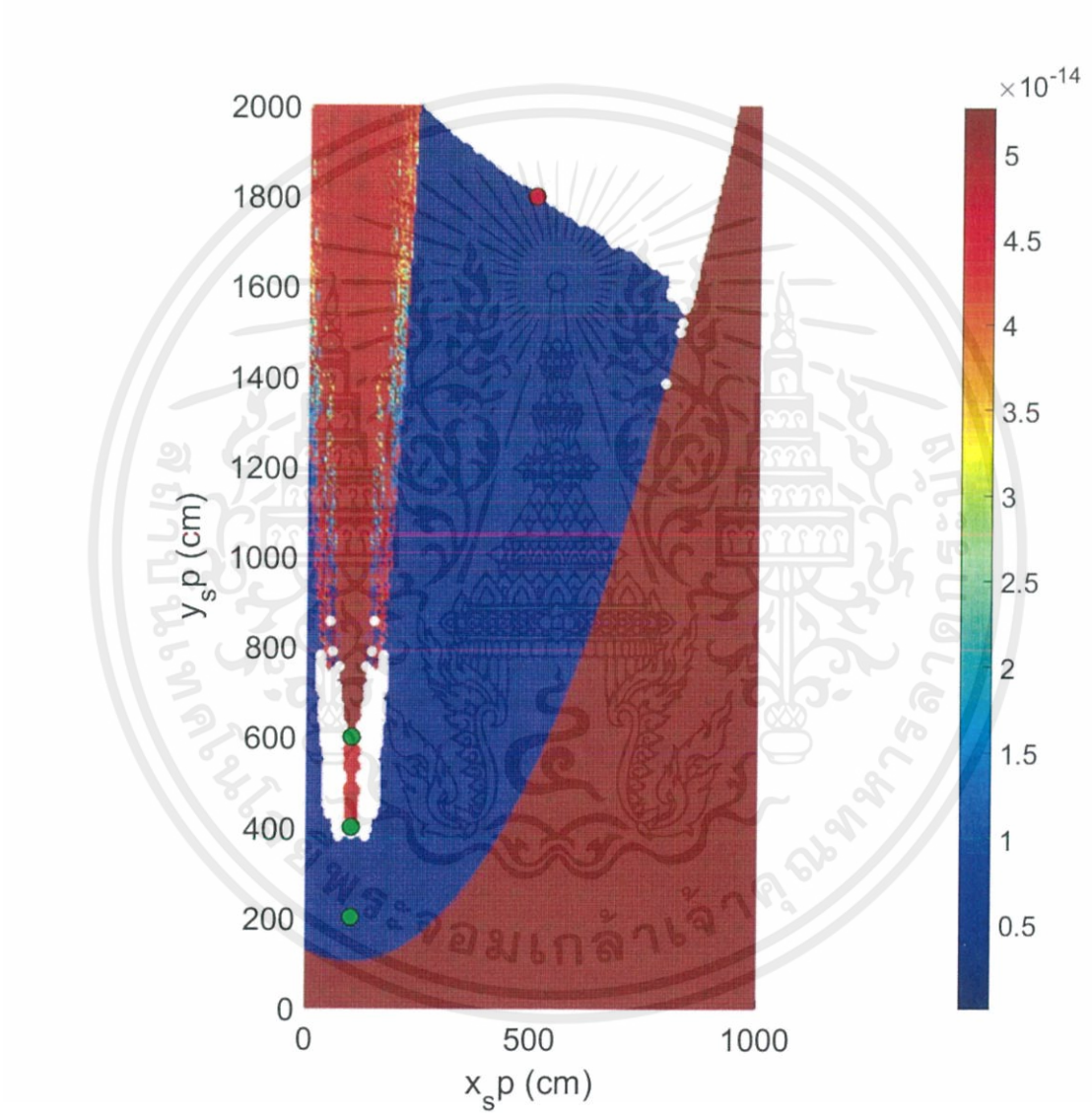
พื้นที่สีขาว 11.04 % (22.25 m^2)



รูปที่ 4.8 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (300,200) , (100,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,600)
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (100,400)
เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (100,200)
พื้นที่สีขาว 8.07 % (16.25 m^2)



รูปที่ 4.9 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,600) , (100,400) , (100,200)

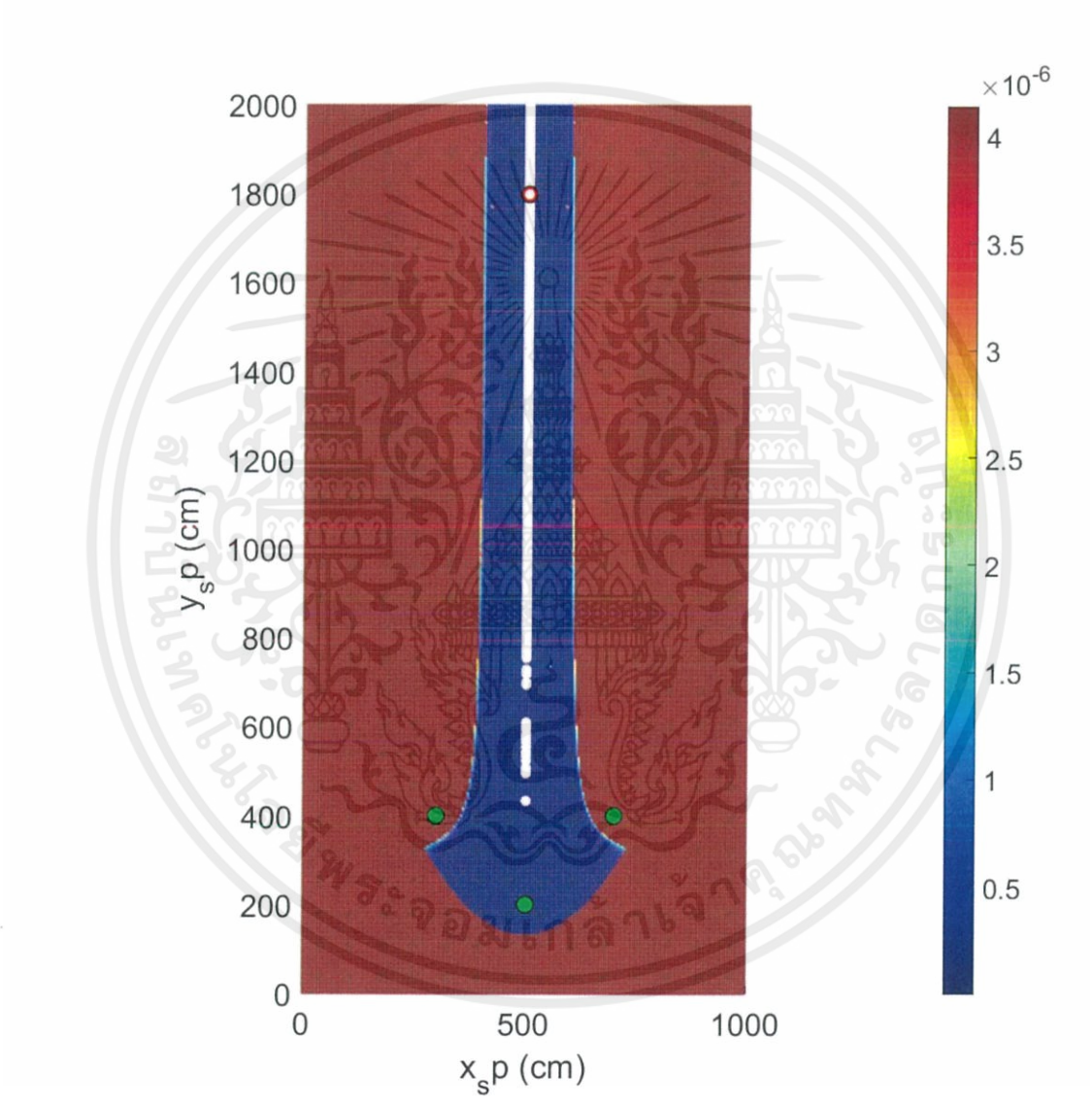
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (700,400)

พื้นที่สีขาว 0.34 % (0.68 m^2)



รูปที่ 4.10 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (300,400) , (700,400)

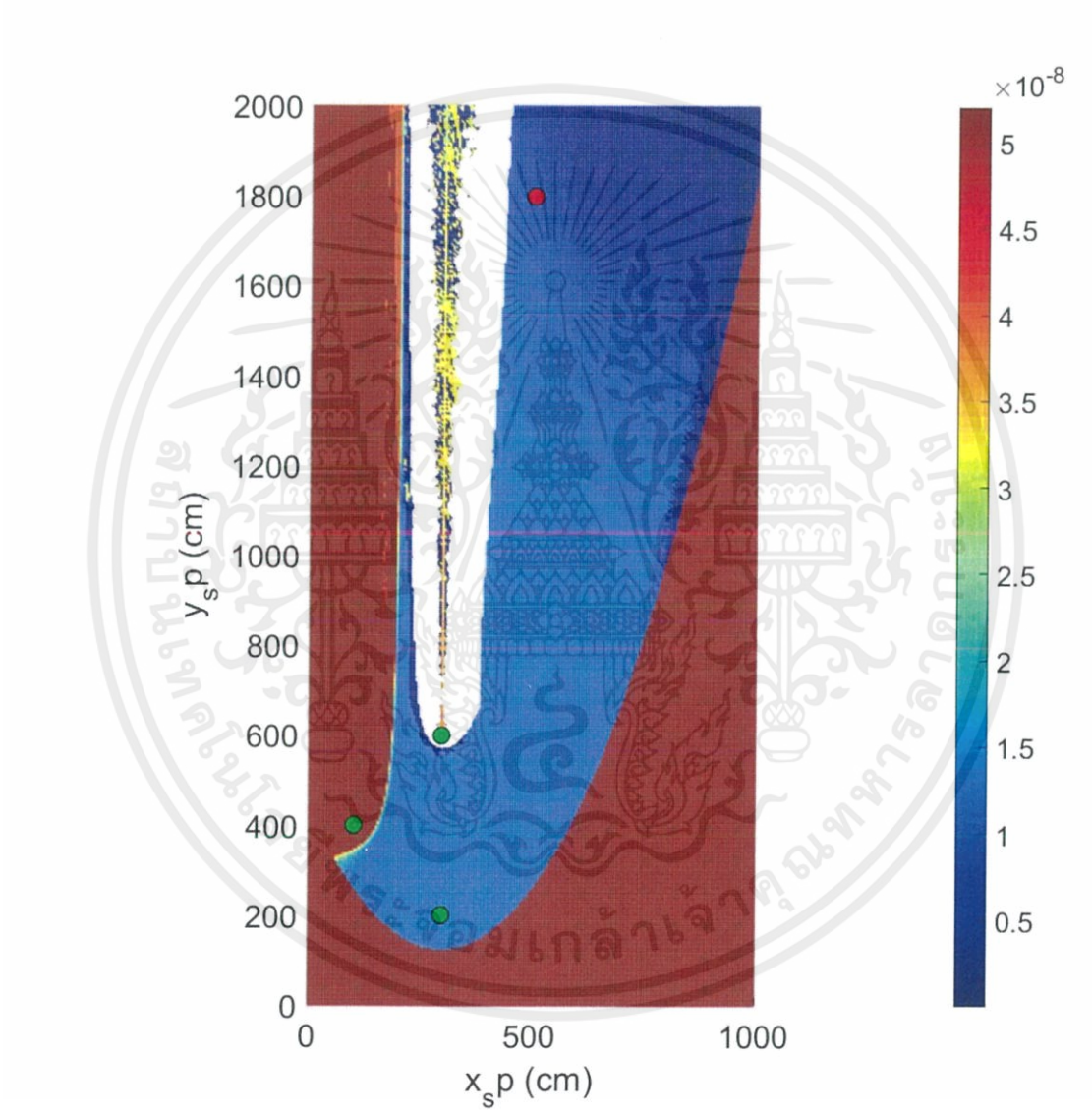
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,600)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (300,200)

พื้นที่สีขาว 5.77 % (11.62 m^2)



รูปที่ 4.11 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,400) , (300,600) , (300,200)

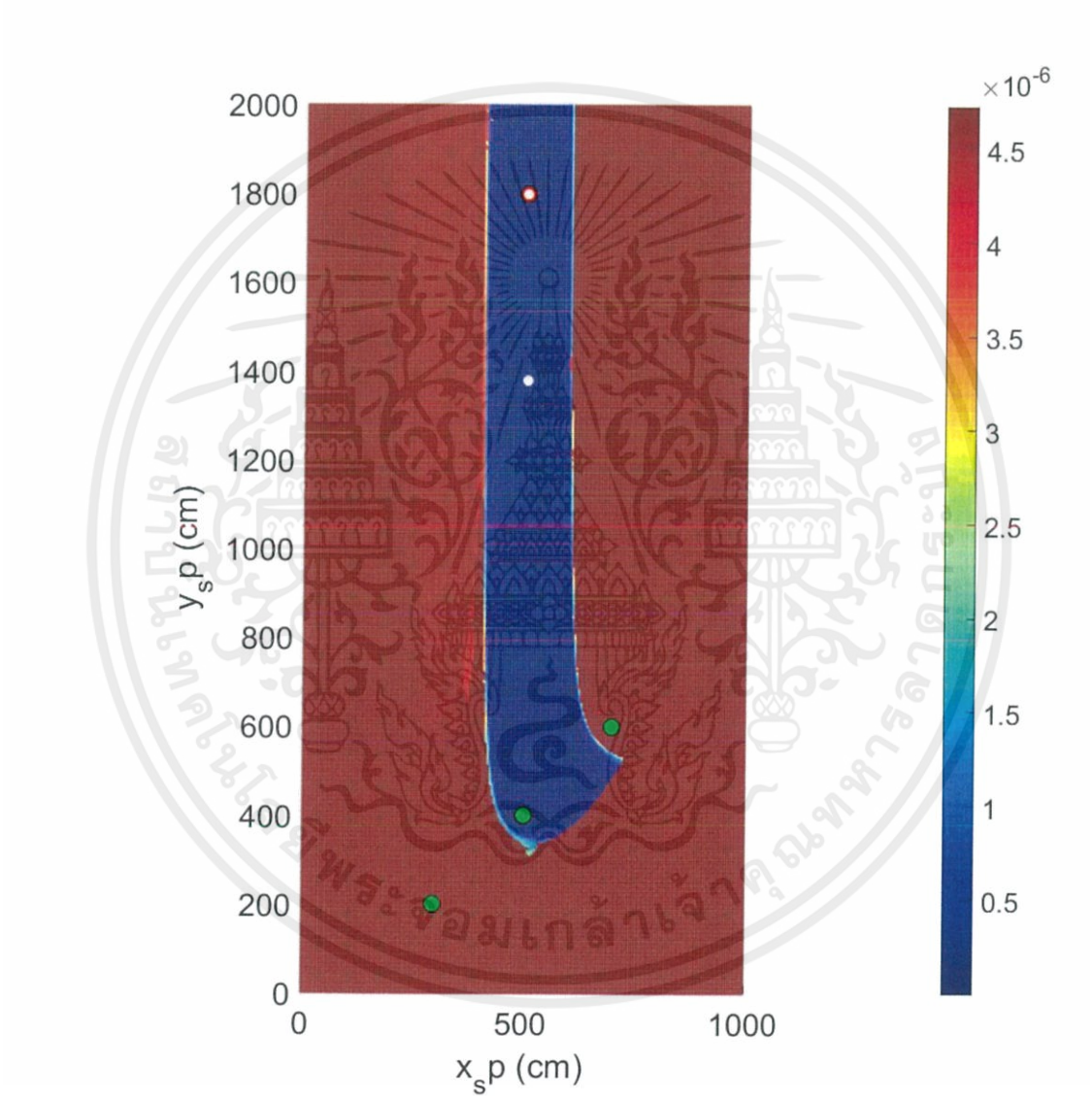
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (700,600)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.01 m^2)



รูปที่ 4.12 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,400) , (300,200) , (700,600)

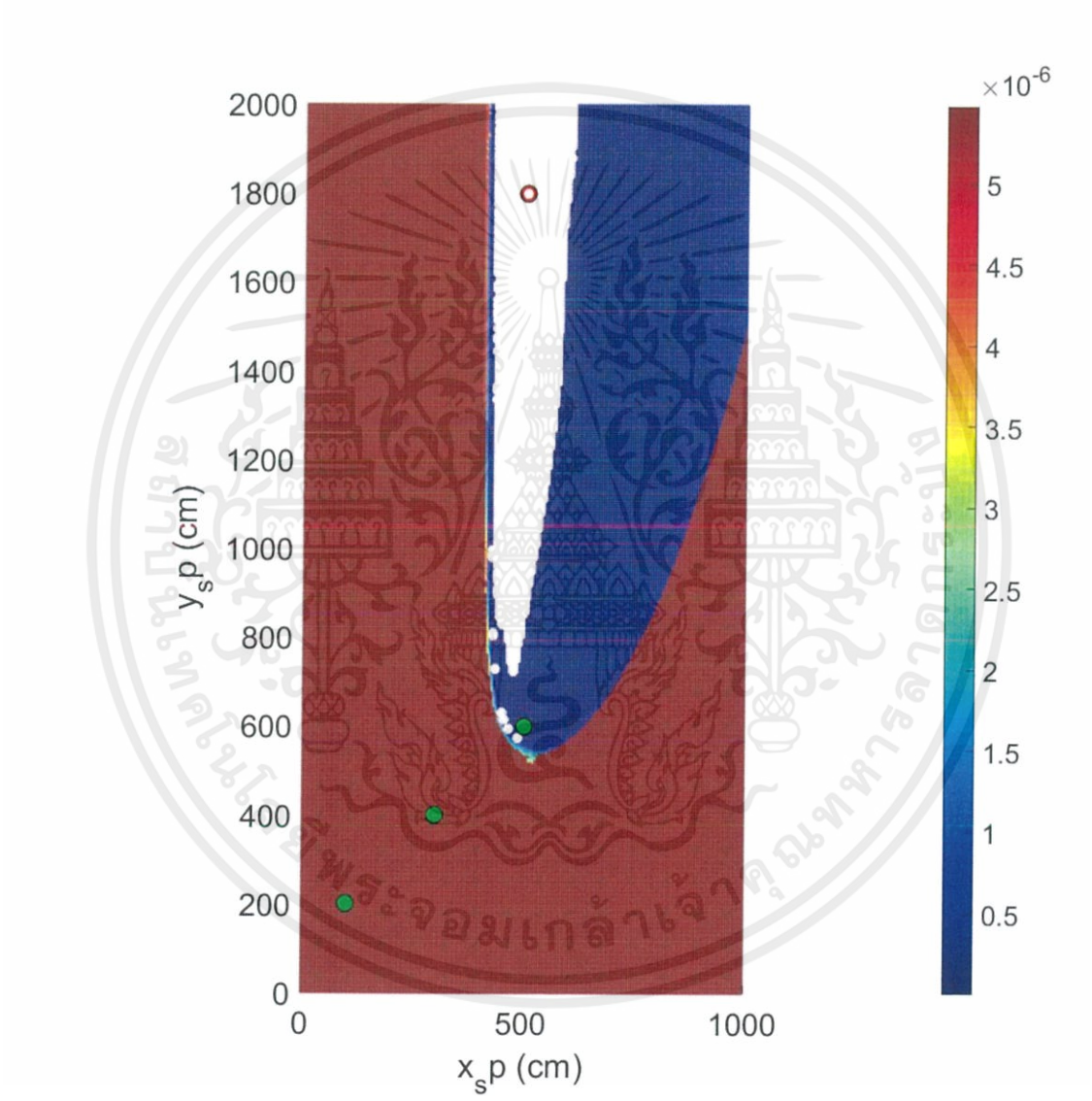
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (500,600)

พื้นที่สีขาว 7.41 % (14.94 m^2)



รูปที่ 4.13 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,200) , (300,400) , (500,600)

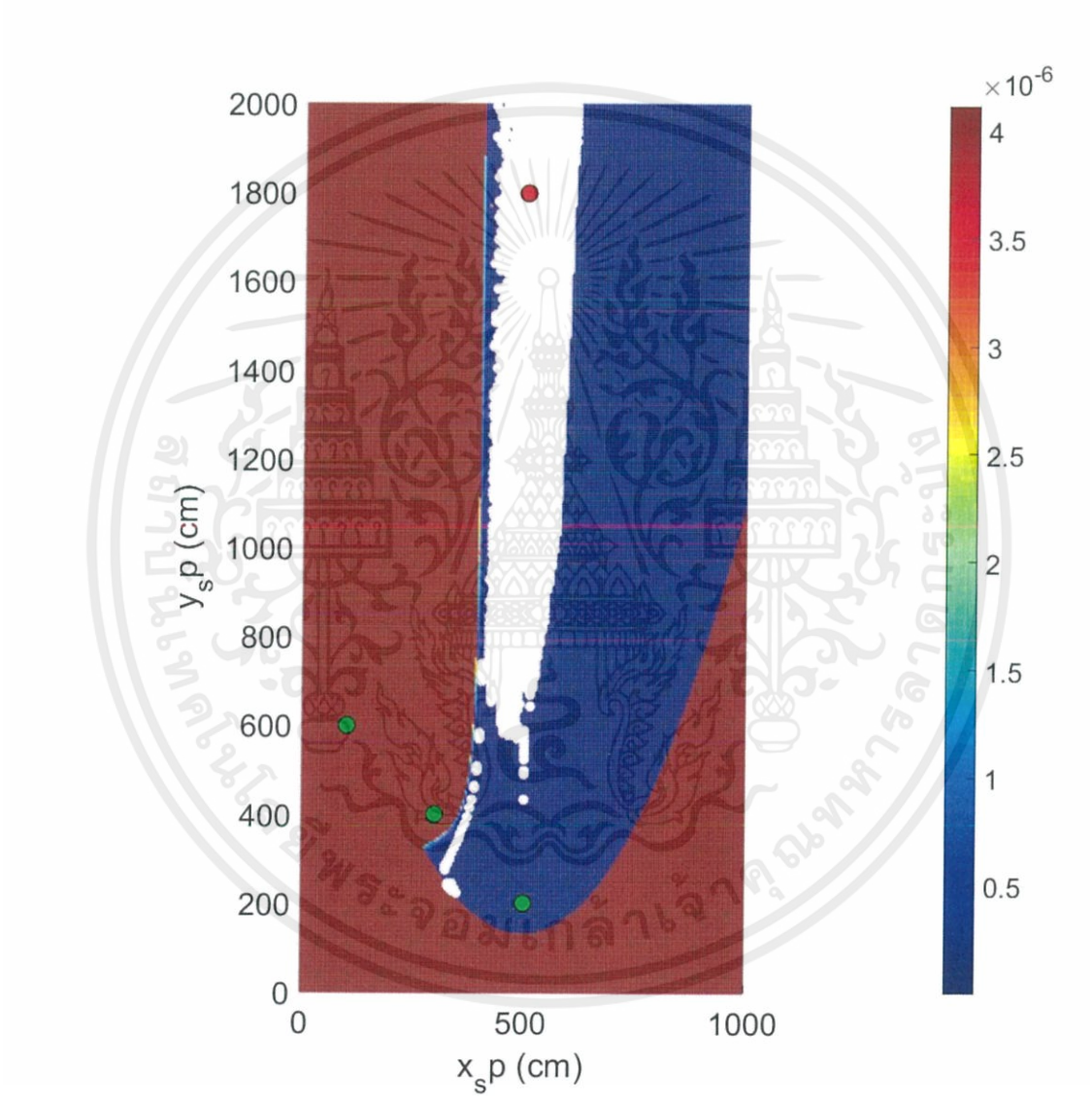
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,600)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (500,200)

พื้นที่สีขาว 8.35 % (16.82 m^2)



รูปที่ 4.14 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,600) , (300,400) , (500,200)

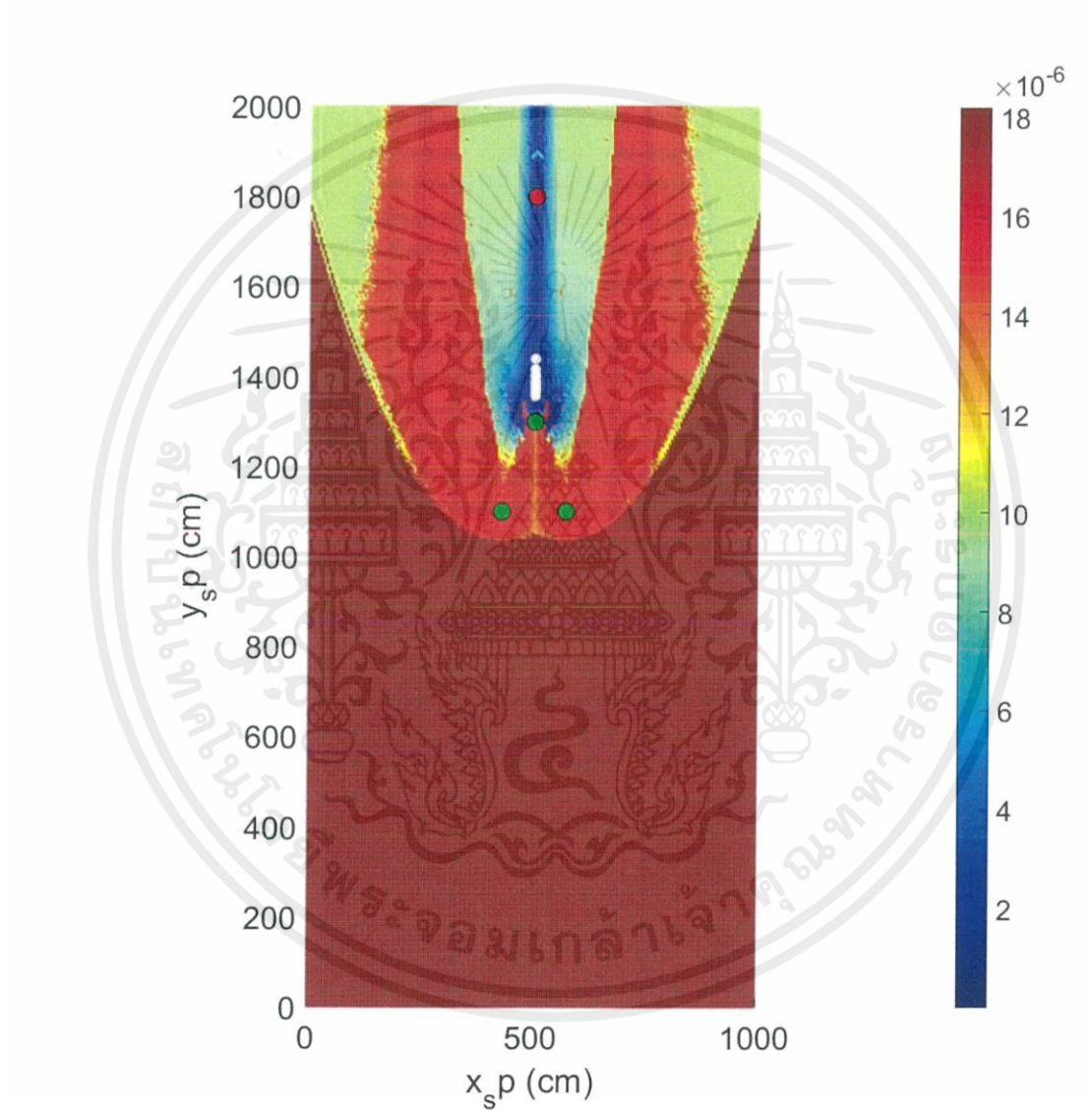
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,1300)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (430,1100)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (570,1100)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.03 m^2)



รูปที่ 4.15 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,1300) , (430,1100) , (570,1100)

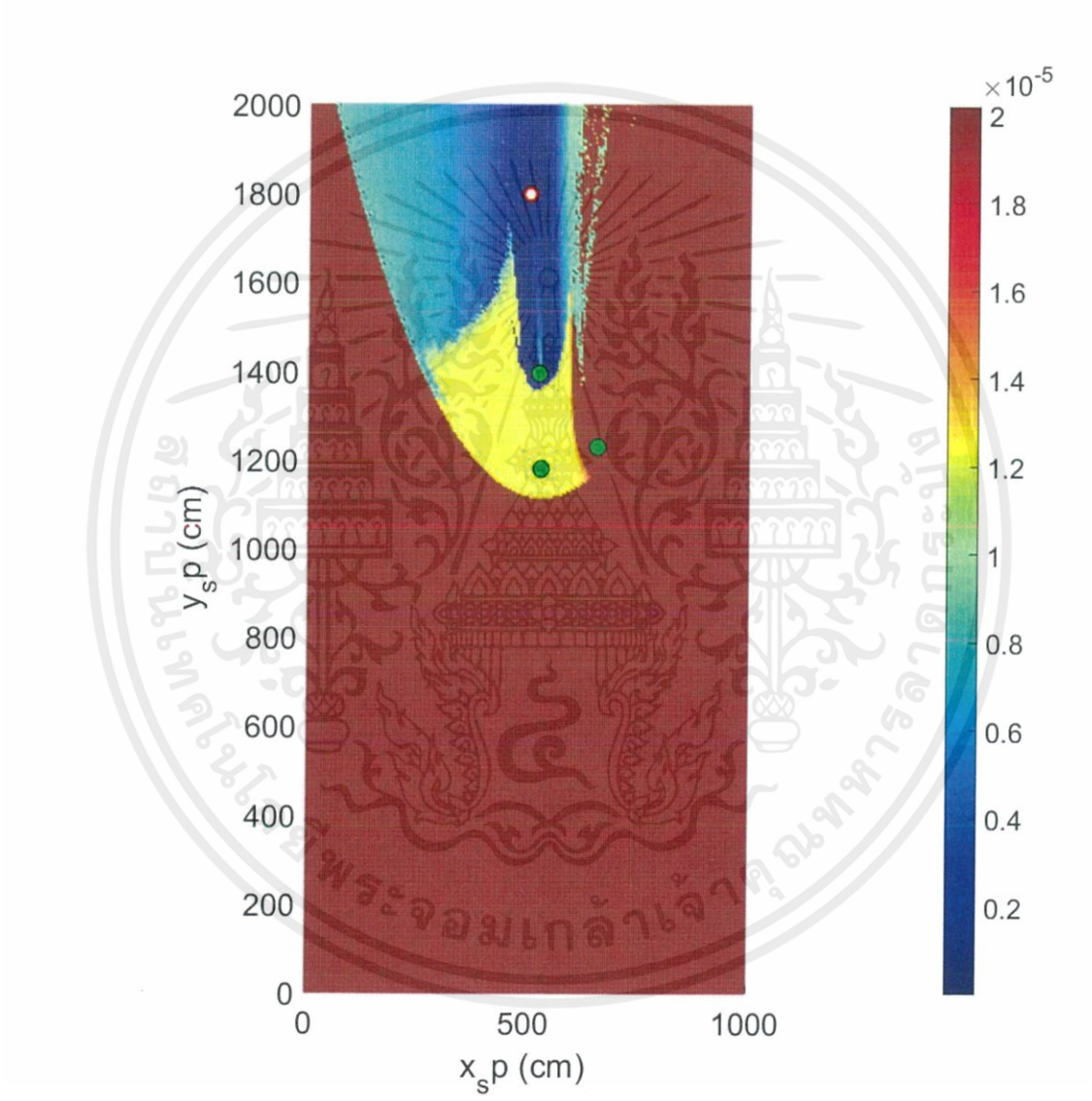
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (525,1395)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (530,1180)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (660,1230)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.00 m^2)



รูปที่ 4.16 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (525,1395) , (530,1180) , (660,1230)

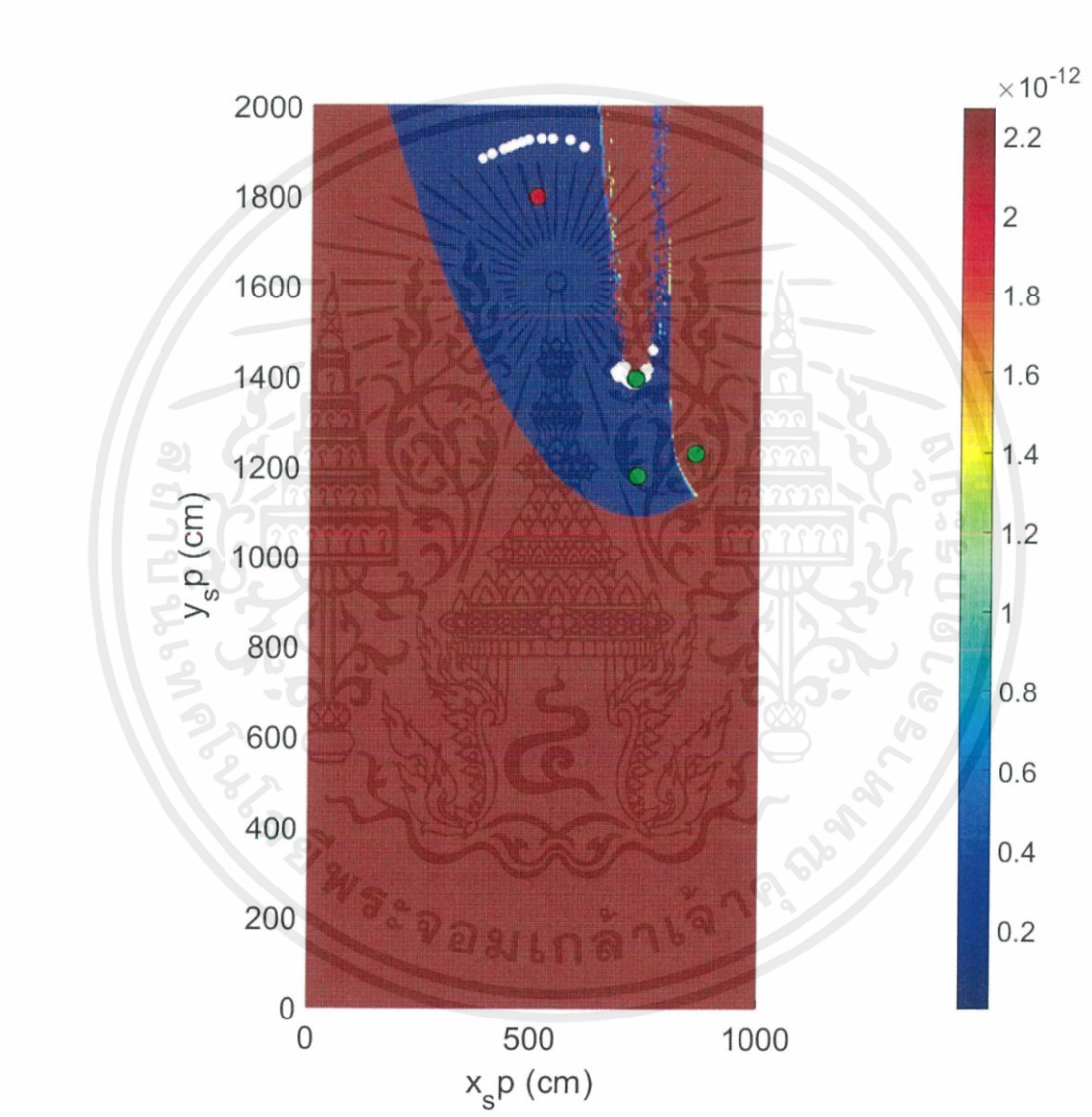
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (725,1395)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (730,1180)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (860,1230)

พื้นที่สีขาว 0.04 % (0.08 m^2)



รูปที่ 4.17 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (725,1395) , (730,1180) , (860,1230)

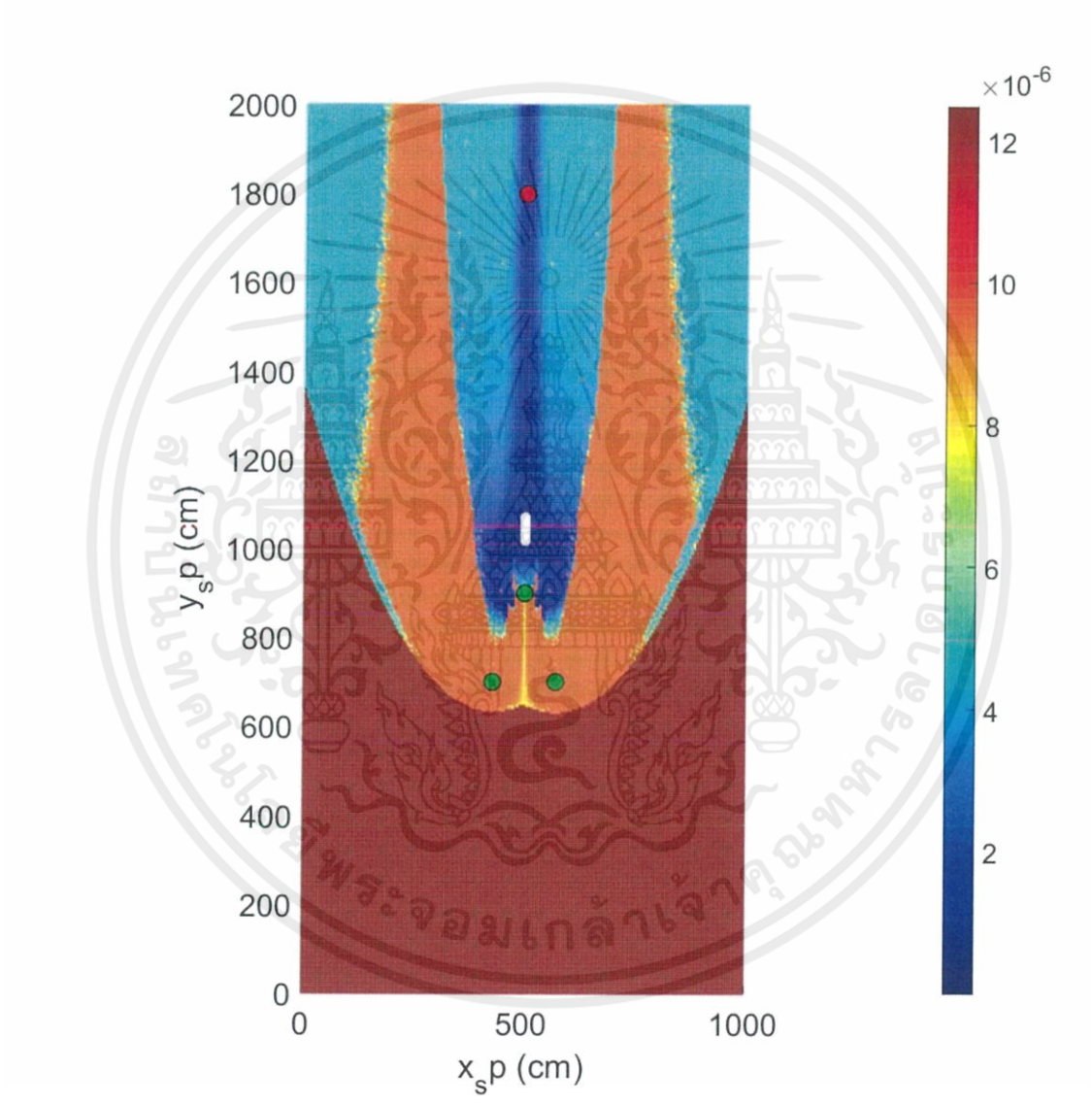
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,900)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (430,700)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (570,700)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.03 m^2)



รูปที่ 4.18 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,900) , (430,700) , (570,700)

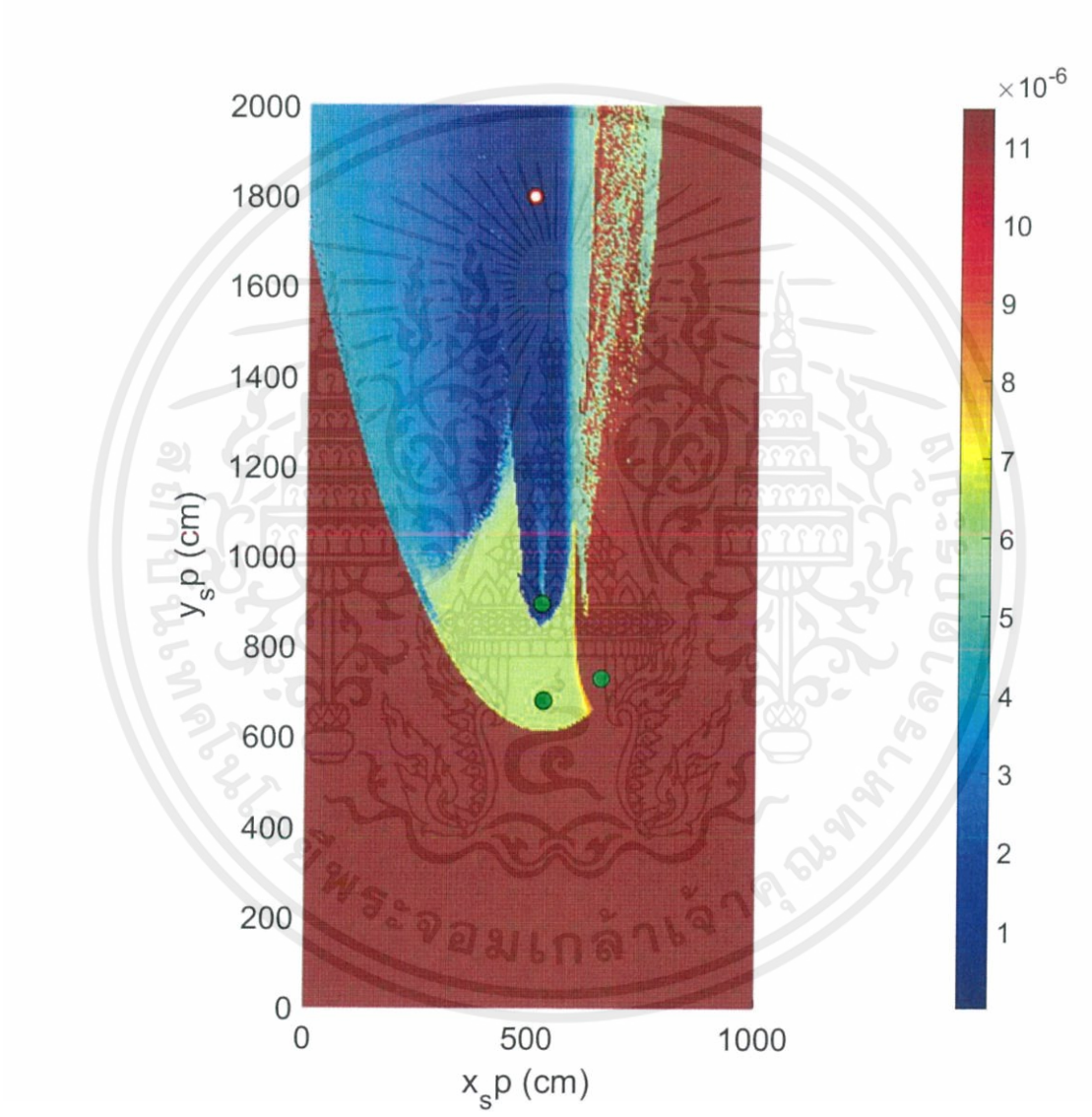
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (525,895)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (530,680)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (660,730)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.00 m^2)



รูปที่ 4.19 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอที่ตำแหน่ง (525,895) , (530,680) , (660,730)

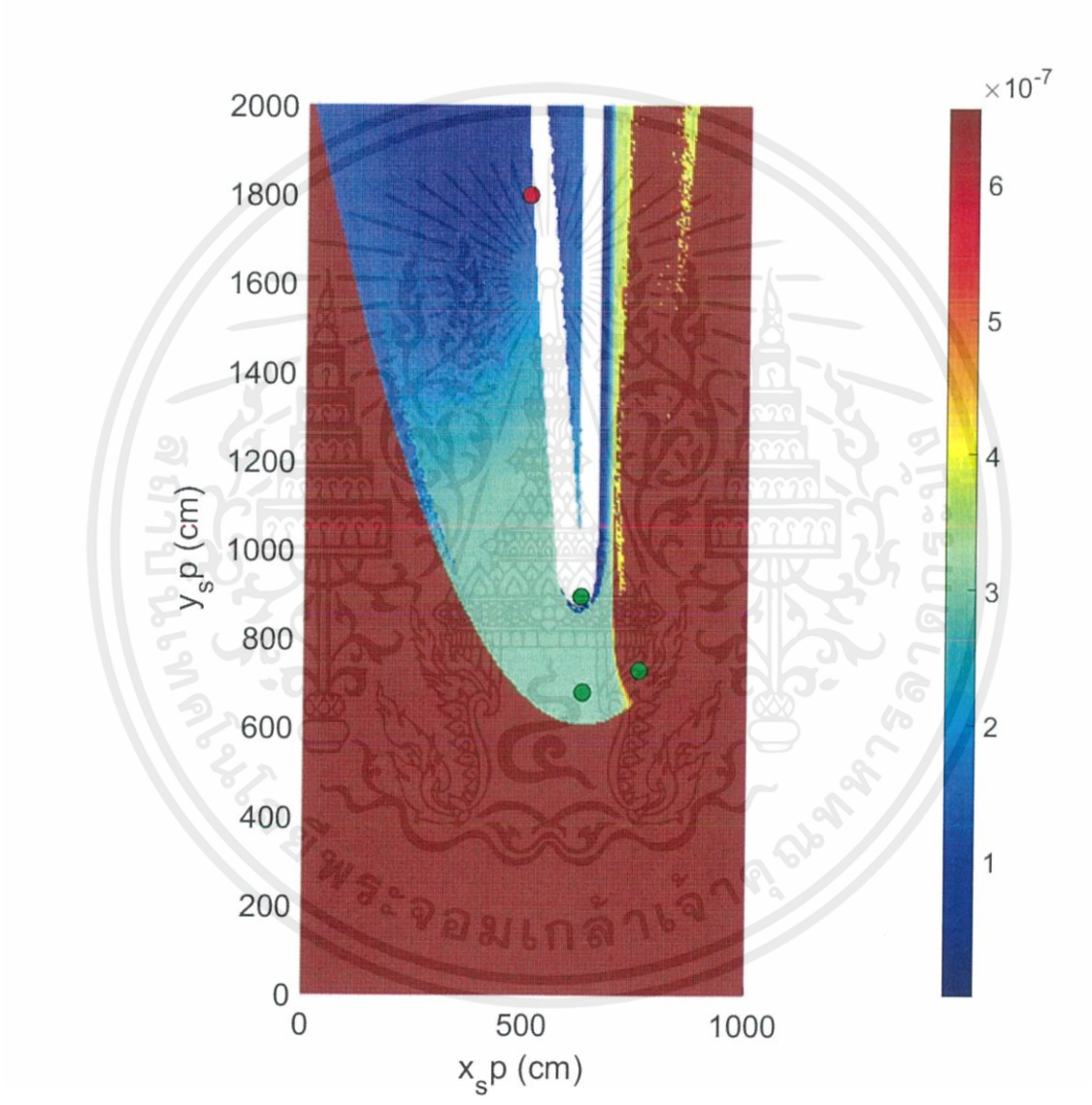
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (625,895)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (630,680)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (760,730)

พื้นที่สีขาว 3.33 % (6.71 m^2)



รูปที่ 4.20 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (625,895) , (630,680) , (760,730)

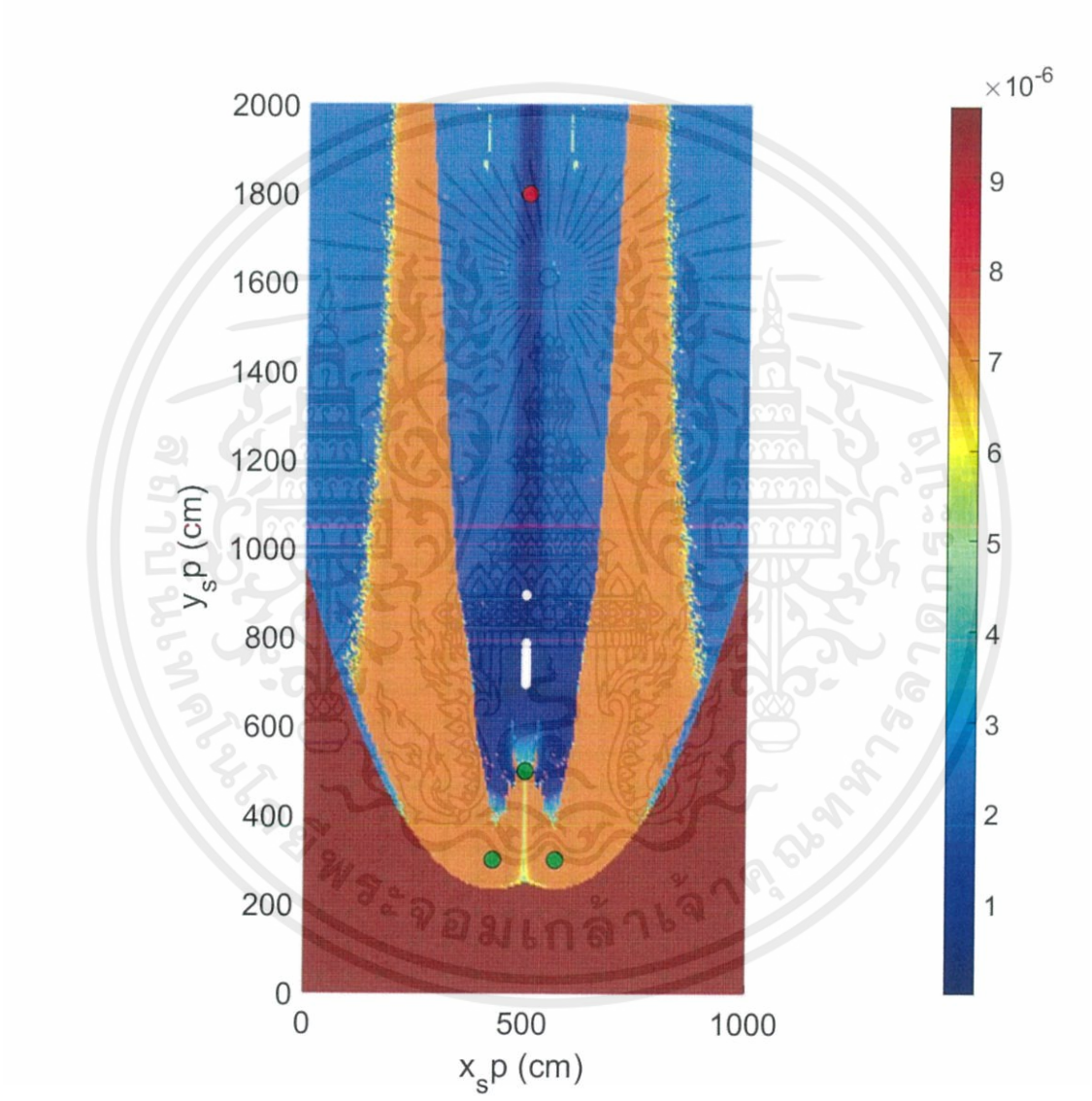
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,500)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (430,300)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (570,300)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.03 m^2)



รูปที่ 4.21 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,500) , (430,300) , (570,300)

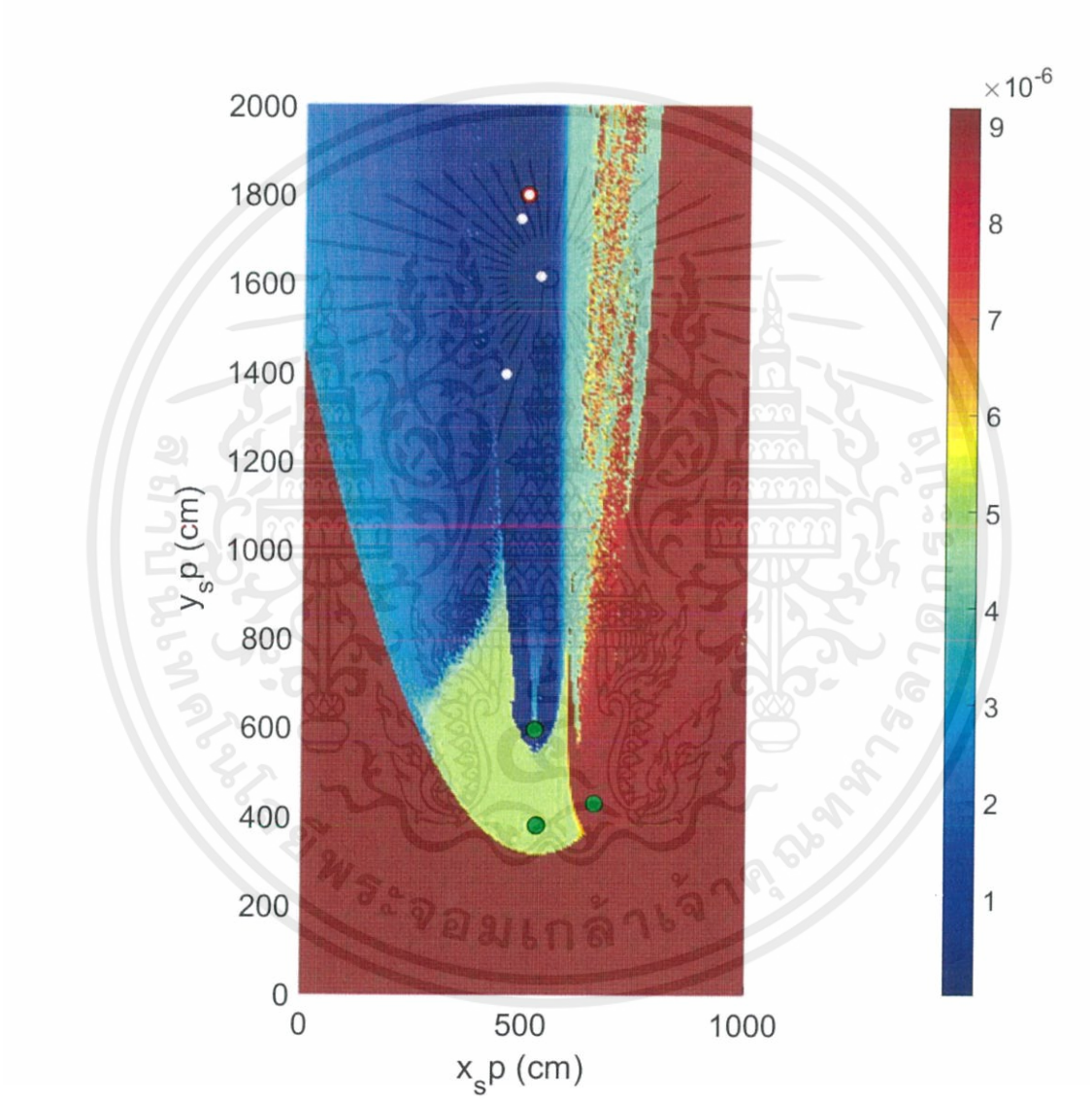
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (525,595)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (530,380)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (660,430)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.01 m^2)



รูปที่ 4.22 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (525,595) , (530,380) , (660,430)

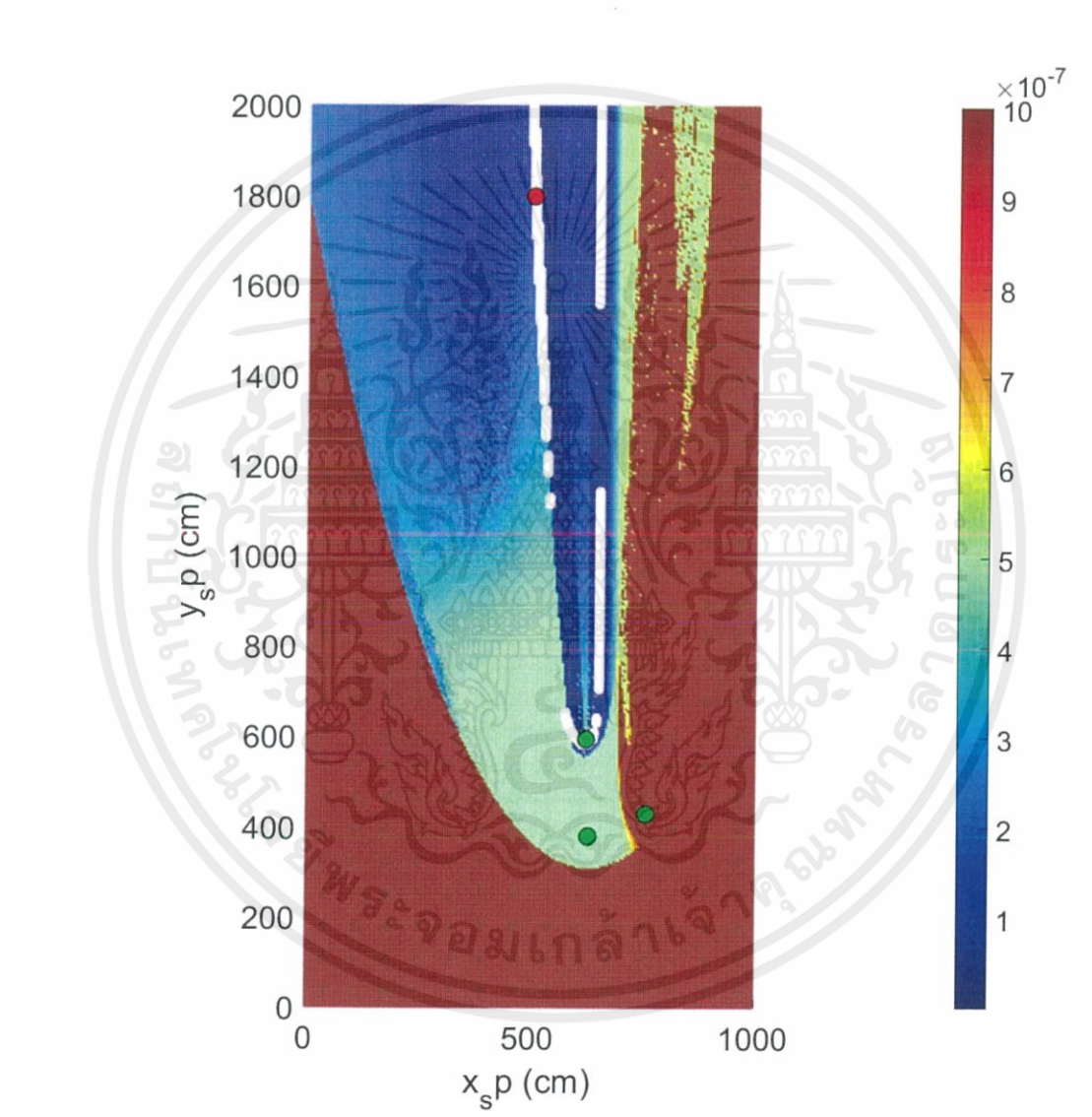
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (625,595)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (630,380)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (760,430)

พื้นที่สีขาว 0.48 % (0.97 m^2)



รูปที่ 4.23 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (625,595) , (630,380) , (760,430)

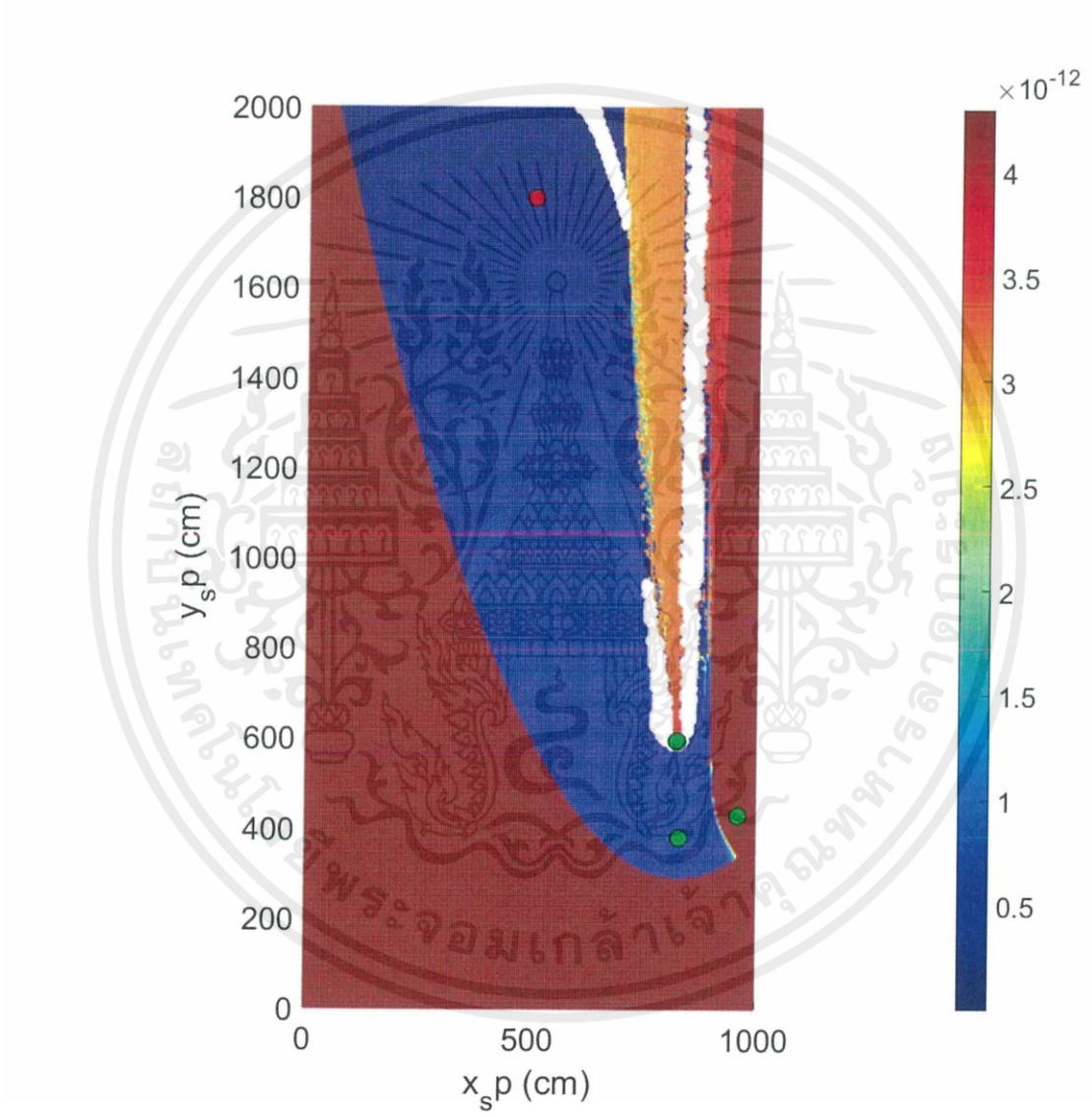
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (825,595)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (830,380)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (960,430)

พื้นที่สีขาว 1.44 % (2.91 m^2)



รูปที่ 4.24 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (825,595) , (830,380) , (960,430)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองในรูปที่ 4.2 - 4.24 สรุปรวมได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของเซ็นเซอร์ 3 ตัว

ครั้งที่	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 1	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 2	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 3	พื้นที่สีขาว				เวลาที่ใช้คำนวณ (s)
				จำนวนจุด	%	พื้นที่ (m^2)	ระยะทางคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (m)	
1	(500,400)	(300,200)	(700,200)	256	0.32%	0.64	5.46	346.91
2	(500,1300)	(300,1100)	(700,1100)	125	0.16%	0.31	1.76	303.76
3	(100,100)	(300,300)	(500,100)	8047	9.98%	20.12	4.75	352.04
4	(100,100)	(100,500)	(300,300)	1649	2.05%	4.12	7.38	376.38
5	(400,100)	(400,500)	(600,300)	1	0.00%	0.00	0.00	421.68
6	(500,200)	(300,200)	(700,200)	299	0.37%	0.75	5.98	383.21
7	(500,200)	(300,200)	(100,200)	8899	11.04%	22.25	5.18	368.30
8	(100,600)	(100,400)	(100,200)	6501	8.07%	16.25	3.35	255.48
9	(500,200)	(300,400)	(700,400)	272	0.34%	0.68	5.18	371.79
10	(100,400)	(300,600)	(300,200)	4647	5.77%	11.62	6.01	241.26
11	(500,400)	(300,200)	(700,600)	4	0.00%	0.01	1.08	417.66
12	(100,200)	(300,400)	(500,600)	5976	7.41%	14.94	3.63	397.13
13	(100,600)	(300,400)	(500,200)	6728	8.35%	16.82	5.00	385.52
14	(500,1300)	(430,1100)	(570,1100)	12	0.01%	0.03	4.13	281.83
15	(525,1395)	(530,1180)	(660,1230)	1	0.00%	0.00	0.00	213.31
16	(725,1395)	(730,1180)	(860,1230)	31	0.04%	0.08	3.35	189.01
17	(500,900)	(430,700)	(570,700)	11	0.01%	0.03	7.55	357.18
18	(525,895)	(530,680)	(660,730)	1	0.00%	0.00	0.00	326.02
19	(625,895)	(630,680)	(760,730)	2685	3.33%	6.71	4.17	298.53
20	(500,500)	(430,300)	(570,300)	11	0.01%	0.03	10.57	443.18
21	(525,595)	(530,380)	(660,430)	4	0.00%	0.01	1.63	393.21
22	(625,595)	(630,380)	(760,430)	389	0.48%	0.97	4.30	363.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 1	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 2	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 3	พื้นที่สีขาว				เวลาที่ใช้คำนวณ (s)
				จำนวนจุด	%	พื้นที่ (m^2)	ระยะทางคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (m)	
23	(825,595)	(830,380)	(960,430)	1164	1.44%	2.91	6.91	318.23
เวลาที่ใช้ในการคำนวณเฉลี่ย = 339.3491304 s								

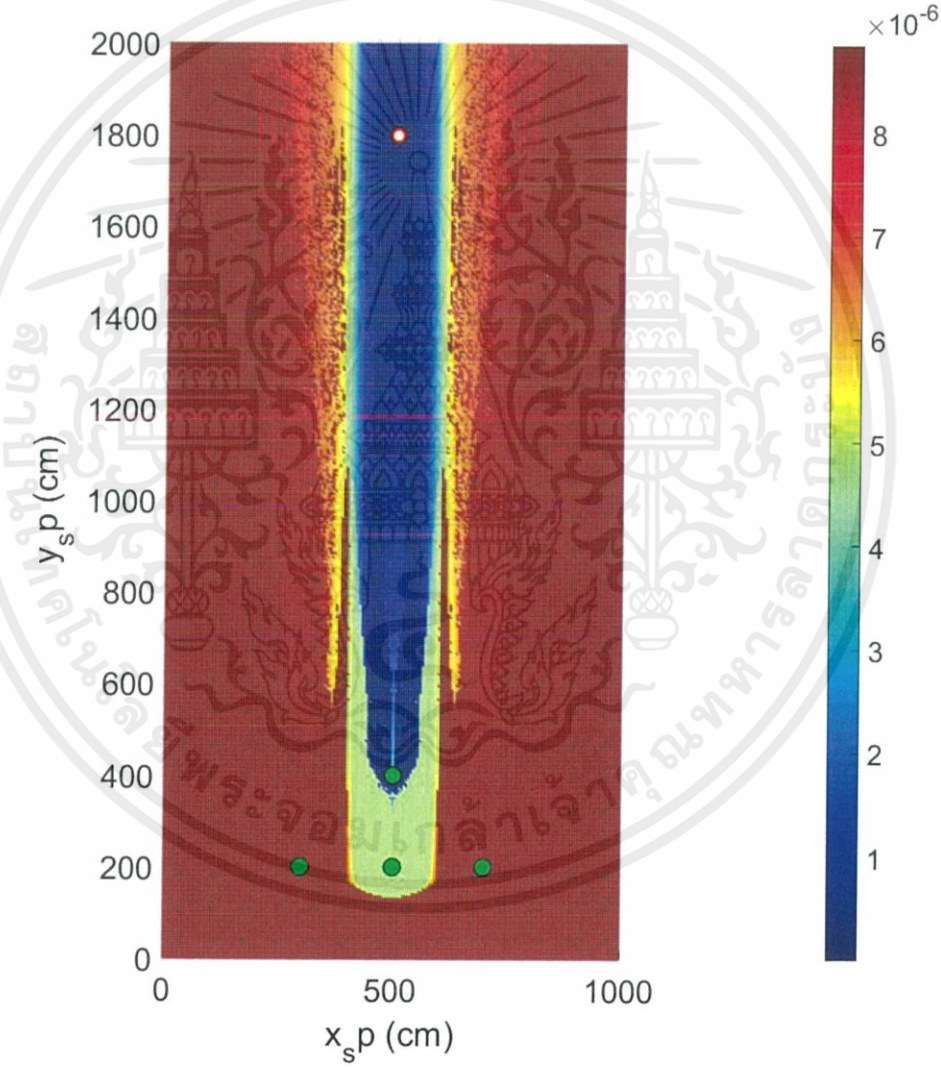
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลขด้วยเซ็นเซอร์ 4 ตัว

ในส่วนนี้จะทำการทดลองเช่นเดียวกับในหัวข้อ 4.1 โดยเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์เป็น 4 ตัว โดยปรับเปรียบรูปแบบการวางเซ็นเซอร์ทั้งสิ้น 21 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (300,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (500,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (700,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (500,400)
   พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.00 m^2)



รูปที่ 4.25 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (300,200) , (500,200) , (700,200) , (500,400)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

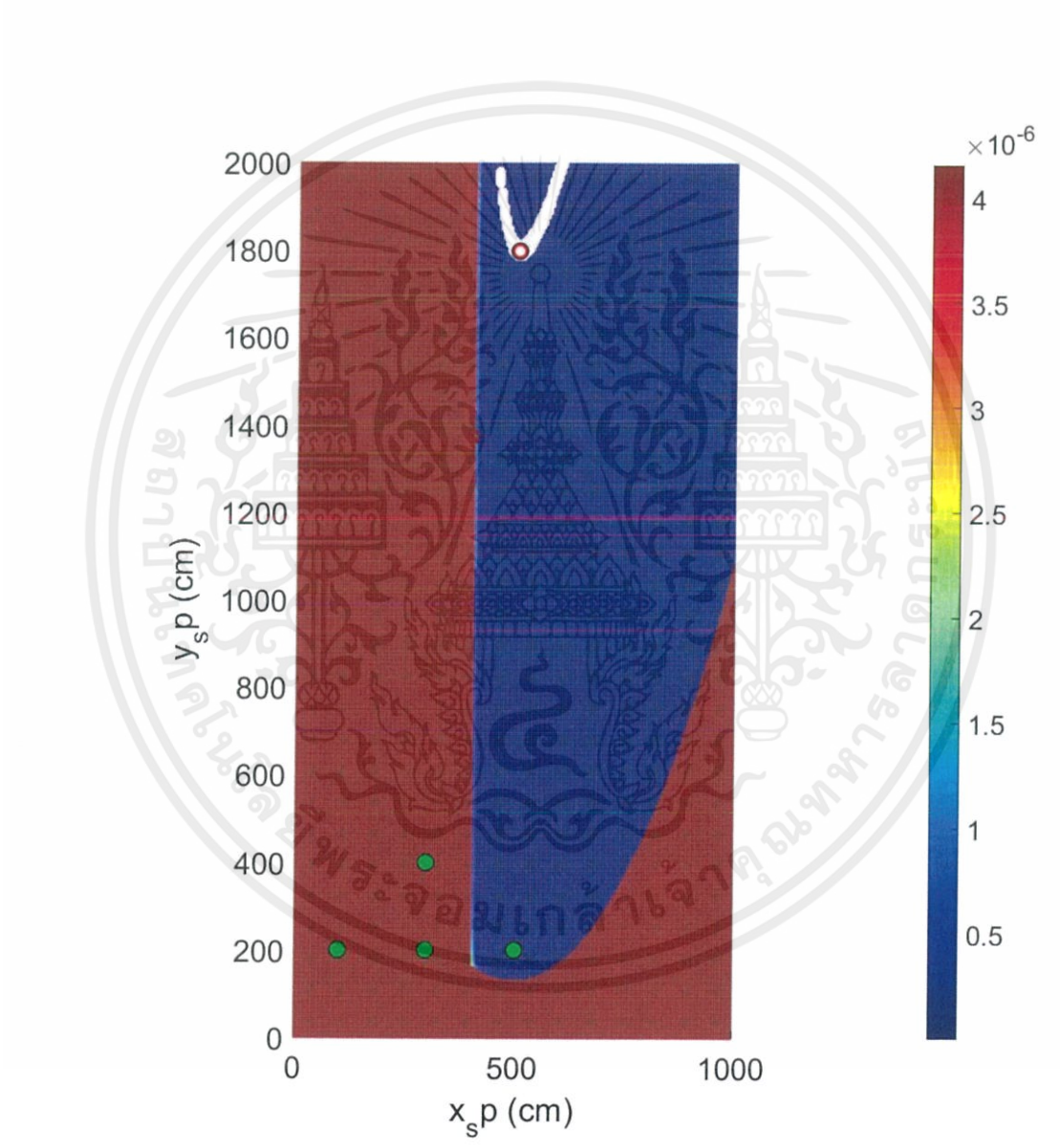
2. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (500,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (300,400)

พื้นที่สีขาว 0.21 % (0.42 m^2)



รูปที่ 4.26 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,200) , (300,200) , (500,200) , (300,400)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

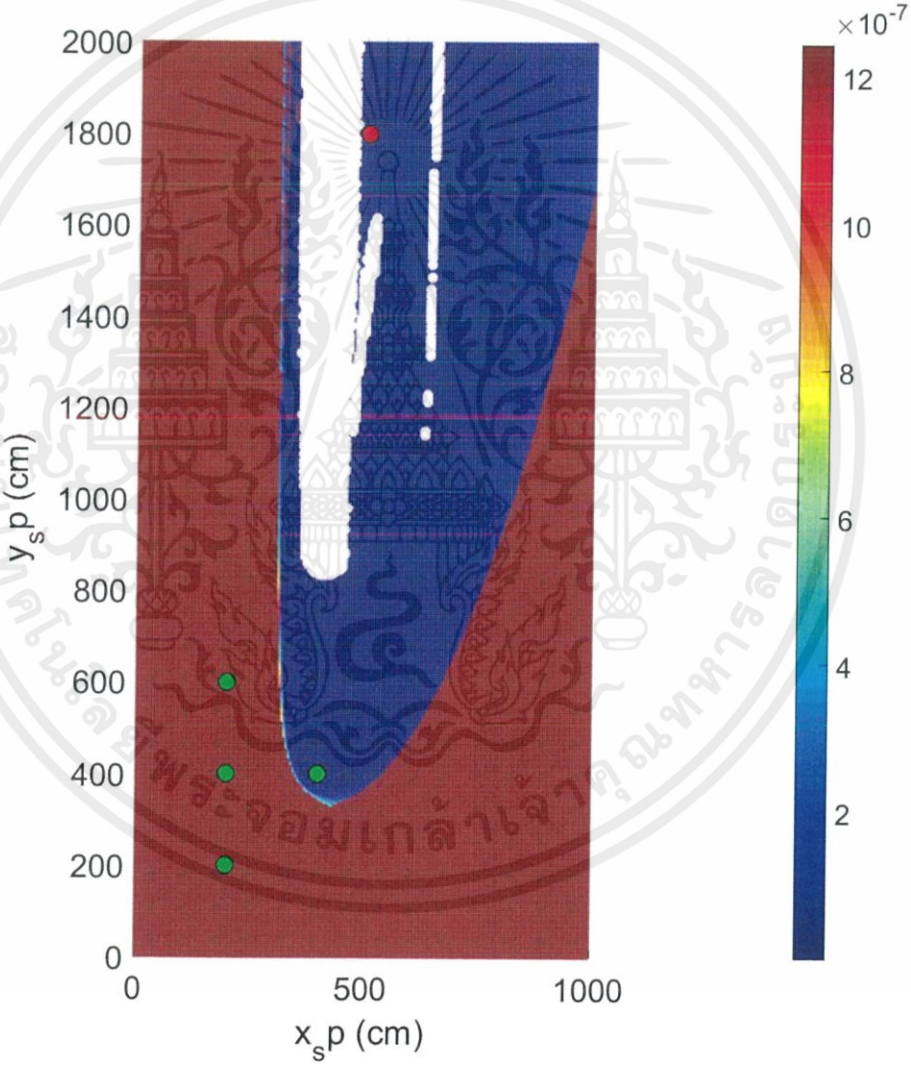
3. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (200,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (200,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (200,600)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (400,400)

พื้นที่สีขาว 6.06 % (12.20 m^2)



รูปที่ 4.27 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (200,200) , (200,400) , (200,600) , (400,400)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

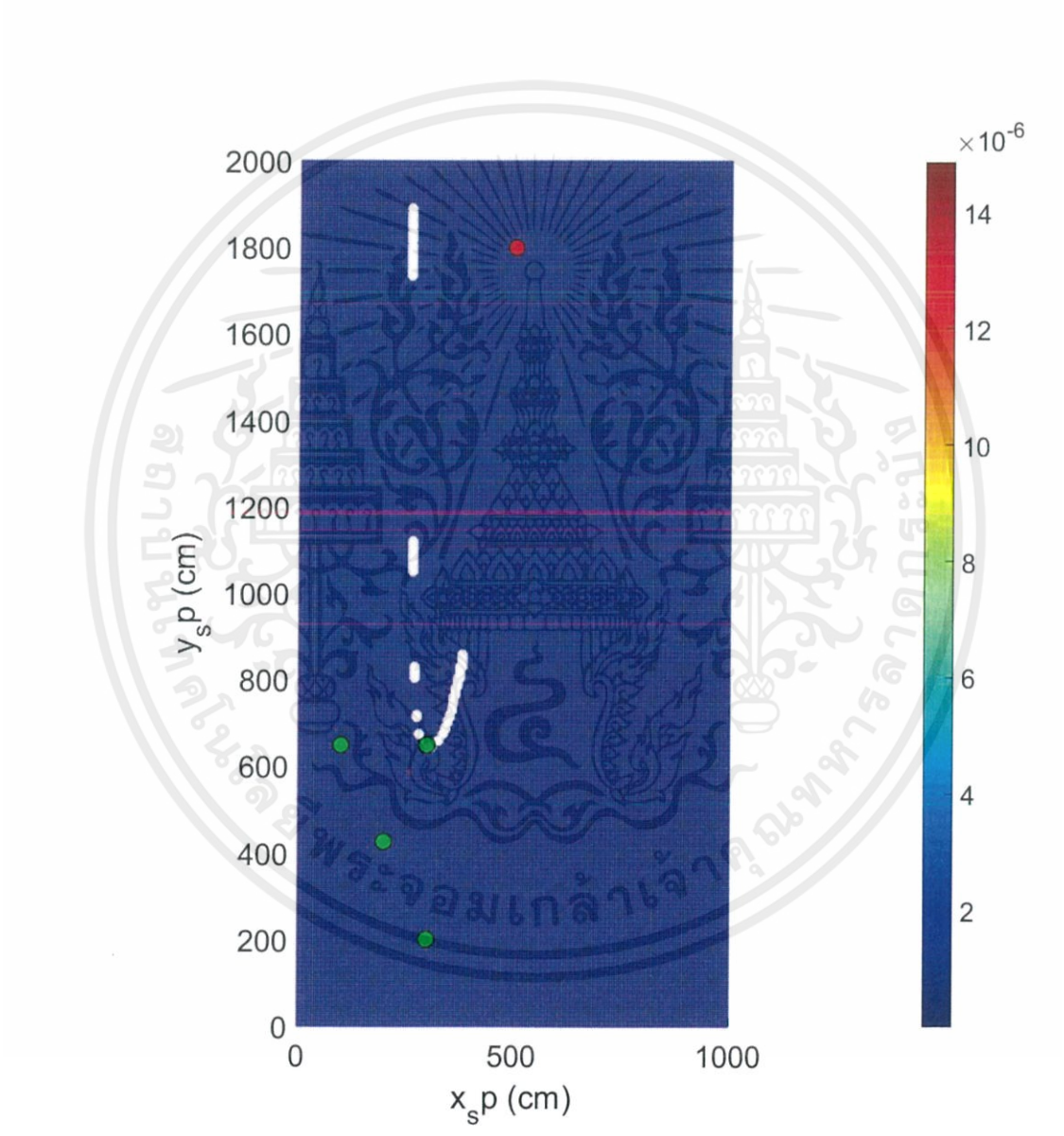
4. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (300,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (425,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (100,650)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (300,650)

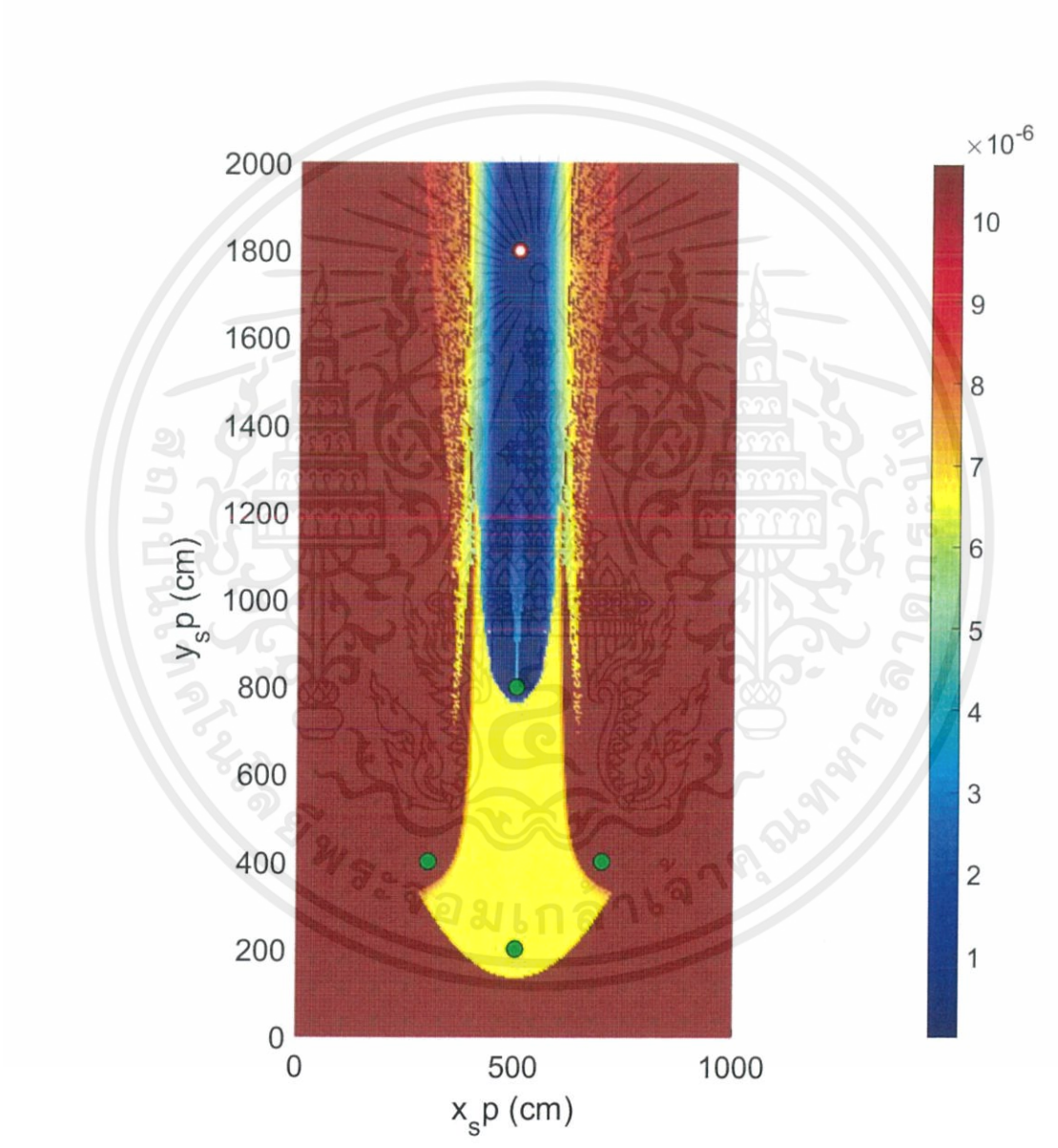
พื้นที่สีขาว 0.11 % (0.23 m^2)



รูปที่ 4.28 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (300,200) , (425,200) , (100,650) , (300,650)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

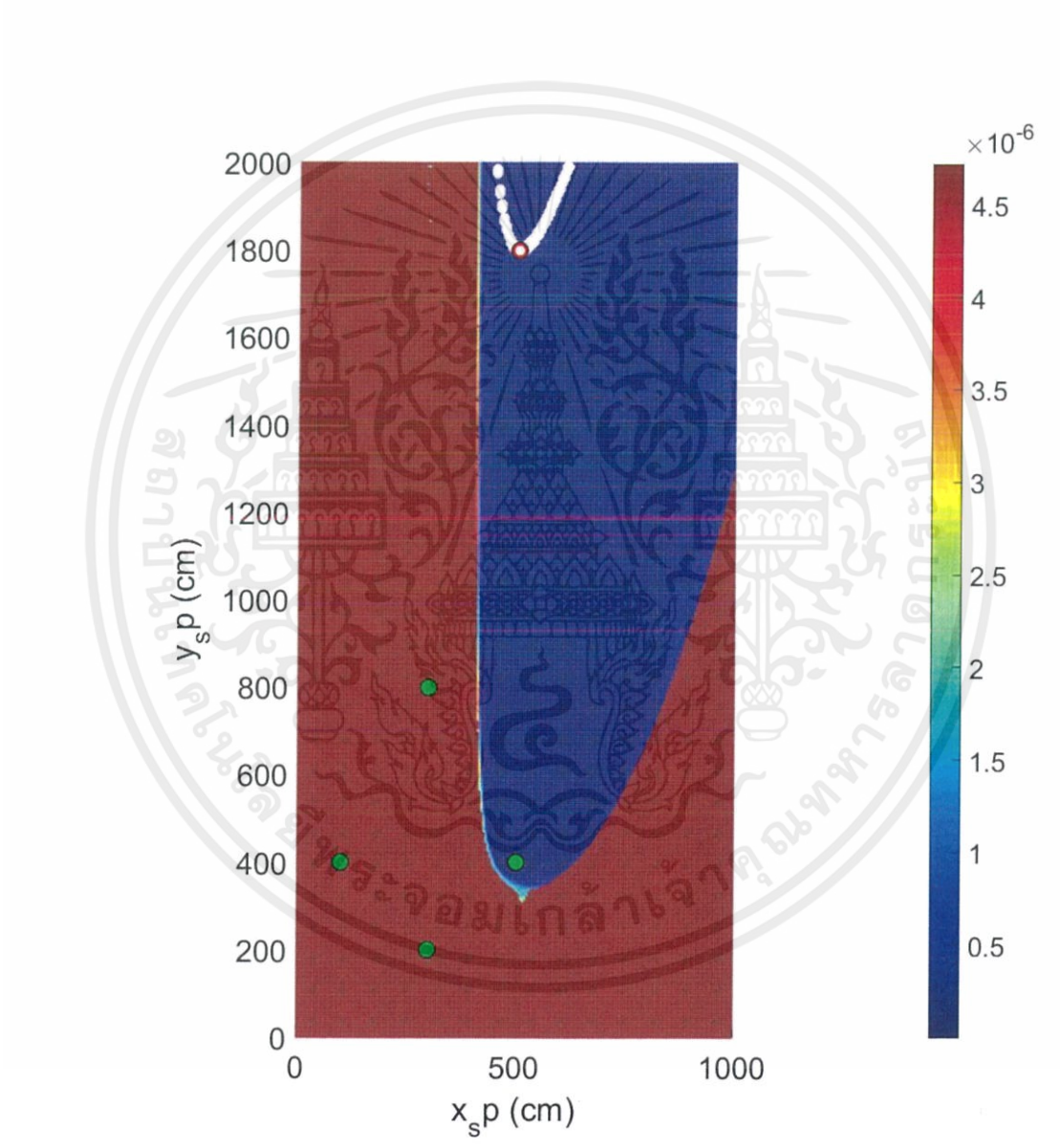
5. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,400)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (700,400)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (500,800)
   พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.00 m^2)



รูปที่ 4.29 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (300,400) , (700,400) , (500,800)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (300,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (100,400)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (500,400)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (300,800)
   พื้นที่สีขาว 0.12 % (0.25 m^2)



รูปที่ 4.30 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (300,200) , (100,400) , (500,400) , (300,800)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

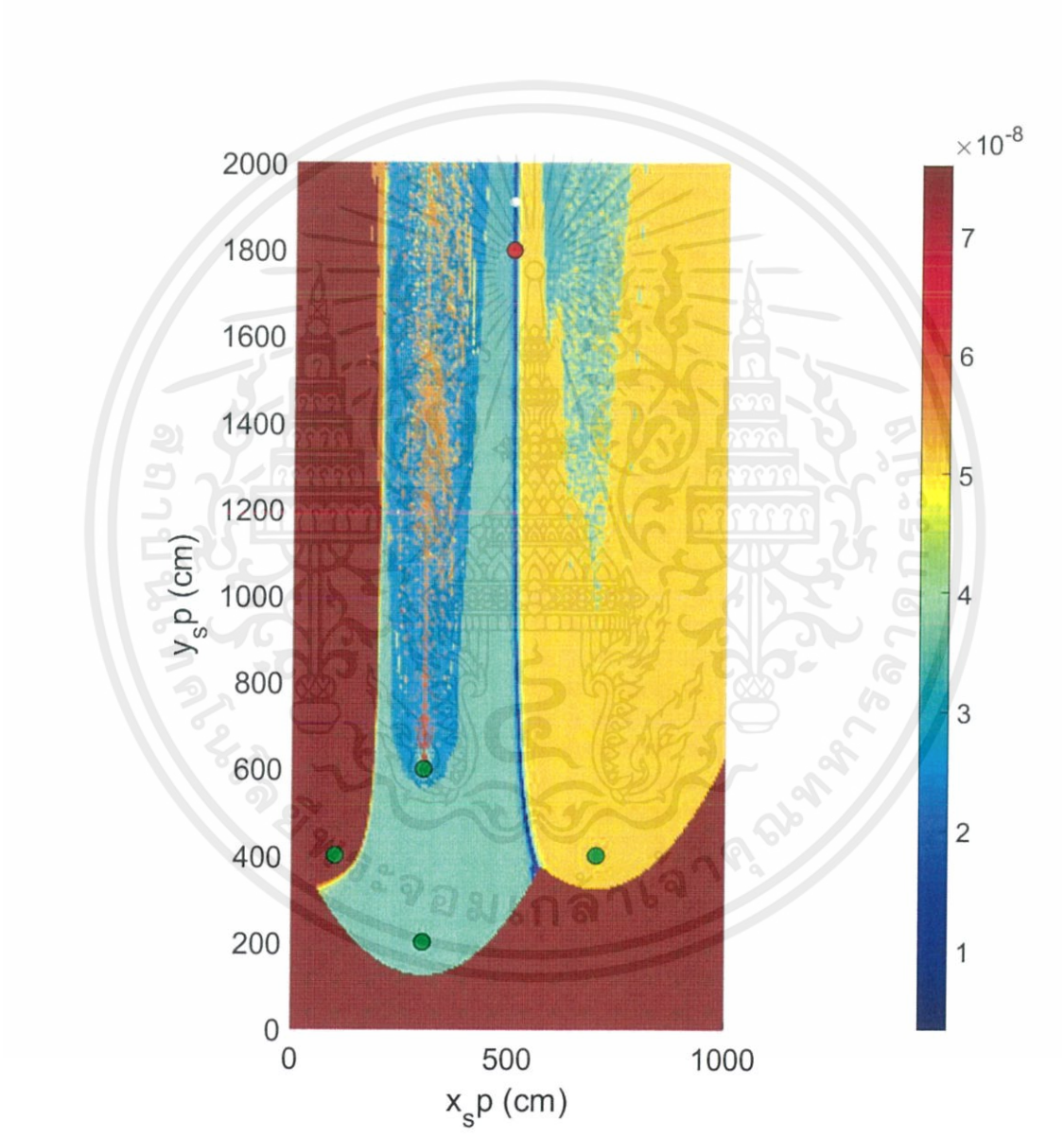
7. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (300,600)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (700,400)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.00 m^2)



รูปที่ 4.31 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,400) , (300,200) , (300,600) , (700,400)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

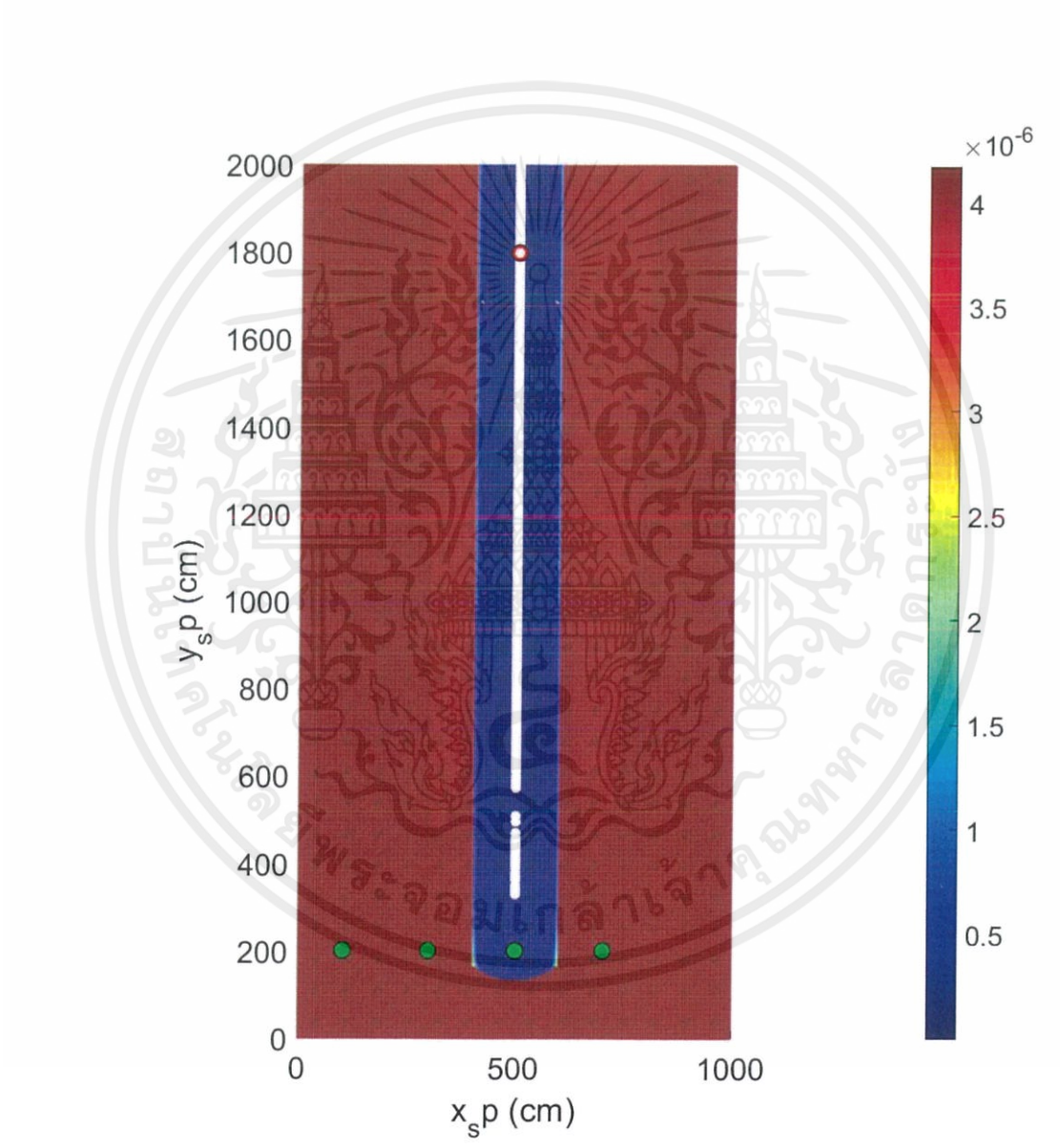
8. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (500,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (700,200)

พื้นที่สีขาว 0.38 % (0.77 m^2)



รูปที่ 4.32 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,200) , (300,200) , (500,200) , (700,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

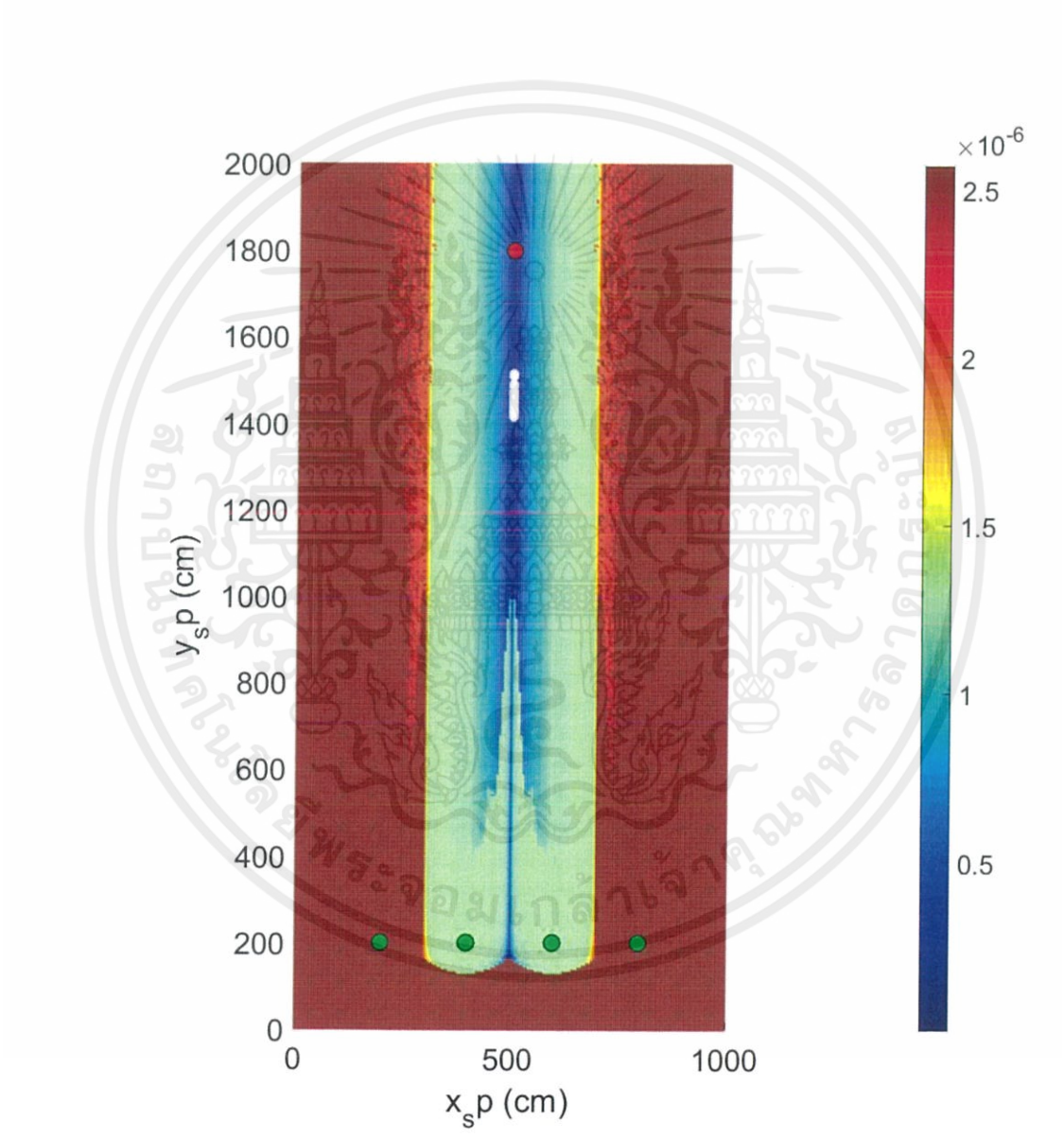
9. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (600,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (800,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (400,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (200,200)

พื้นที่สีขาว 0.02 % (0.04 m^2)



รูปที่ 4.33 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (600,200) , (800,200) , (400,200) , (200,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

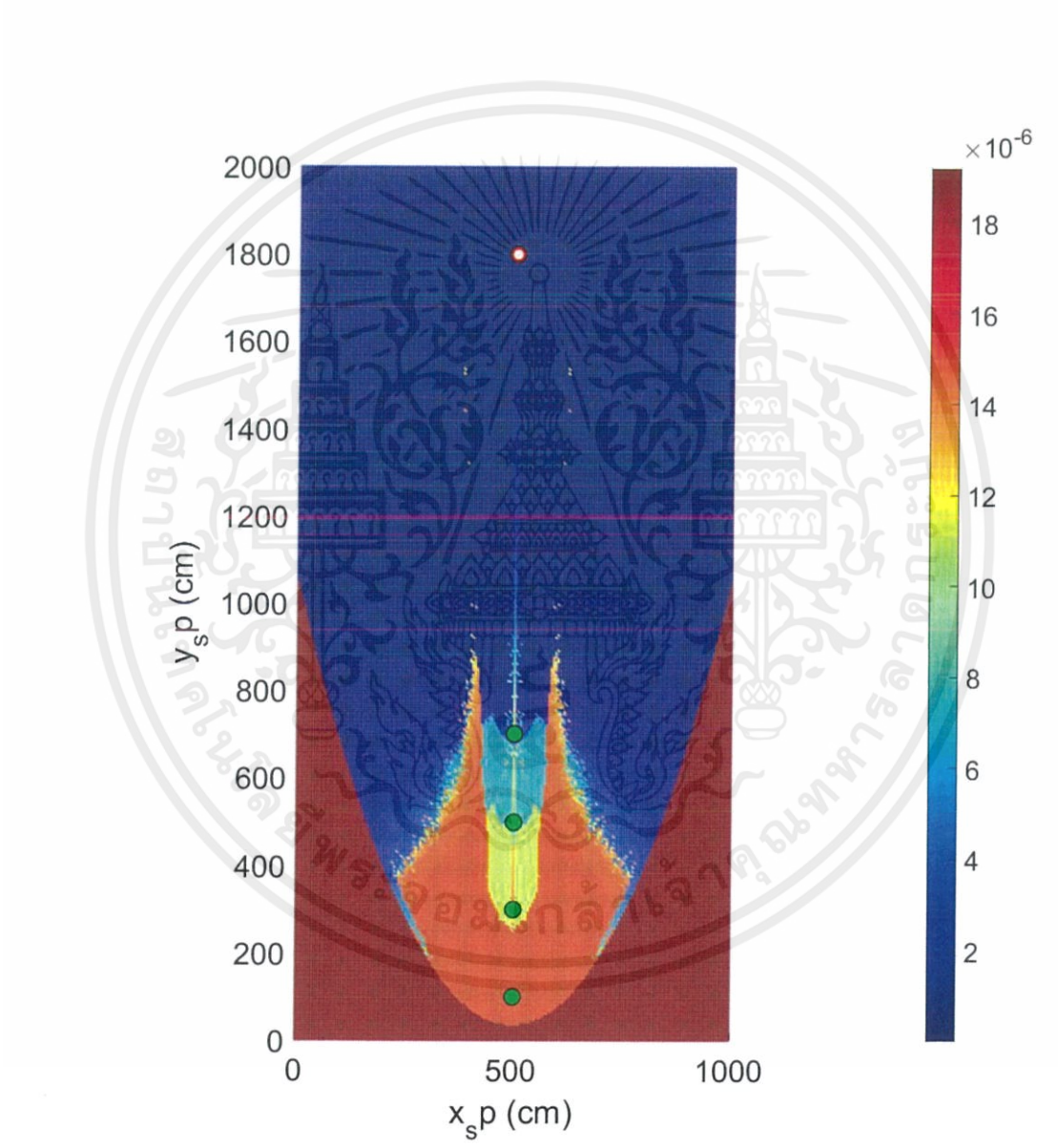
10. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,100)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (500,300)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (500,500)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (500,700)

พื้นที่สีขาว 0.12 % (0.00 m^2)



รูปที่ 4.34 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,100) , (500,300) , (500,500) , (500,700)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

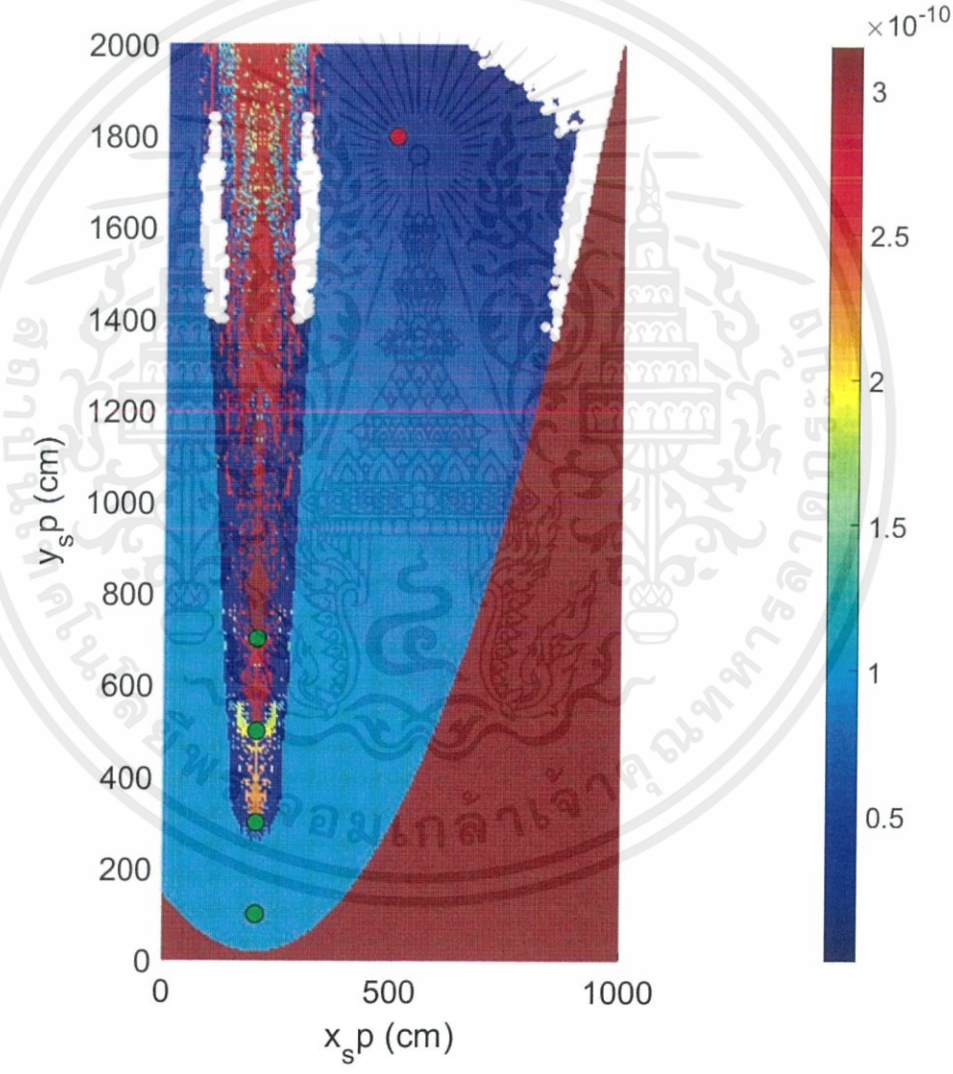
11. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (200,100)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (200,300)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (200,500)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (200,700)

พื้นที่สีขาว 2.27 % (4.58 m^2)



รูปที่ 4.35 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (200,100) , (200,300) , (200,500) , (200,700)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

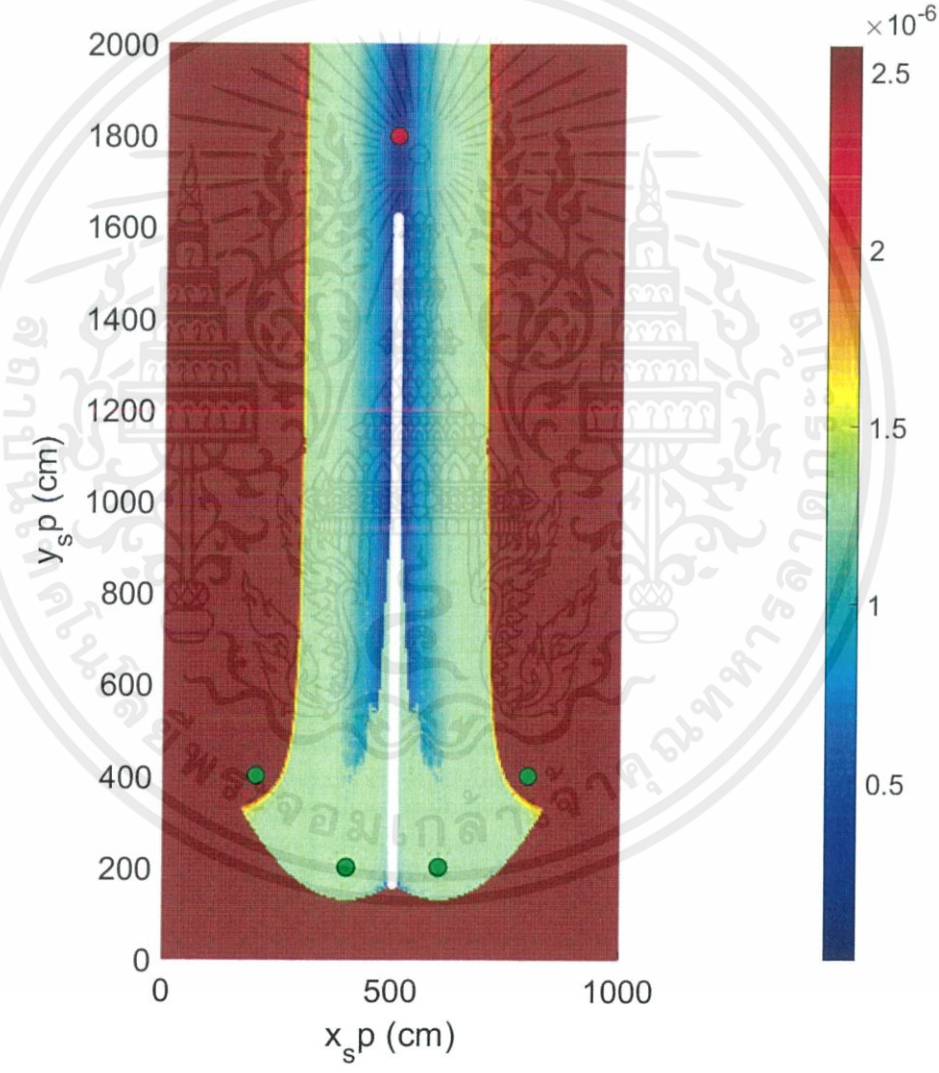
12. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (400,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (600,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (200,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (800,400)

พื้นที่สีขาว 0.36 % (0.72 m^2)



รูปที่ 4.36 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (400,200) , (600,200) , (200,500) , (800,400)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

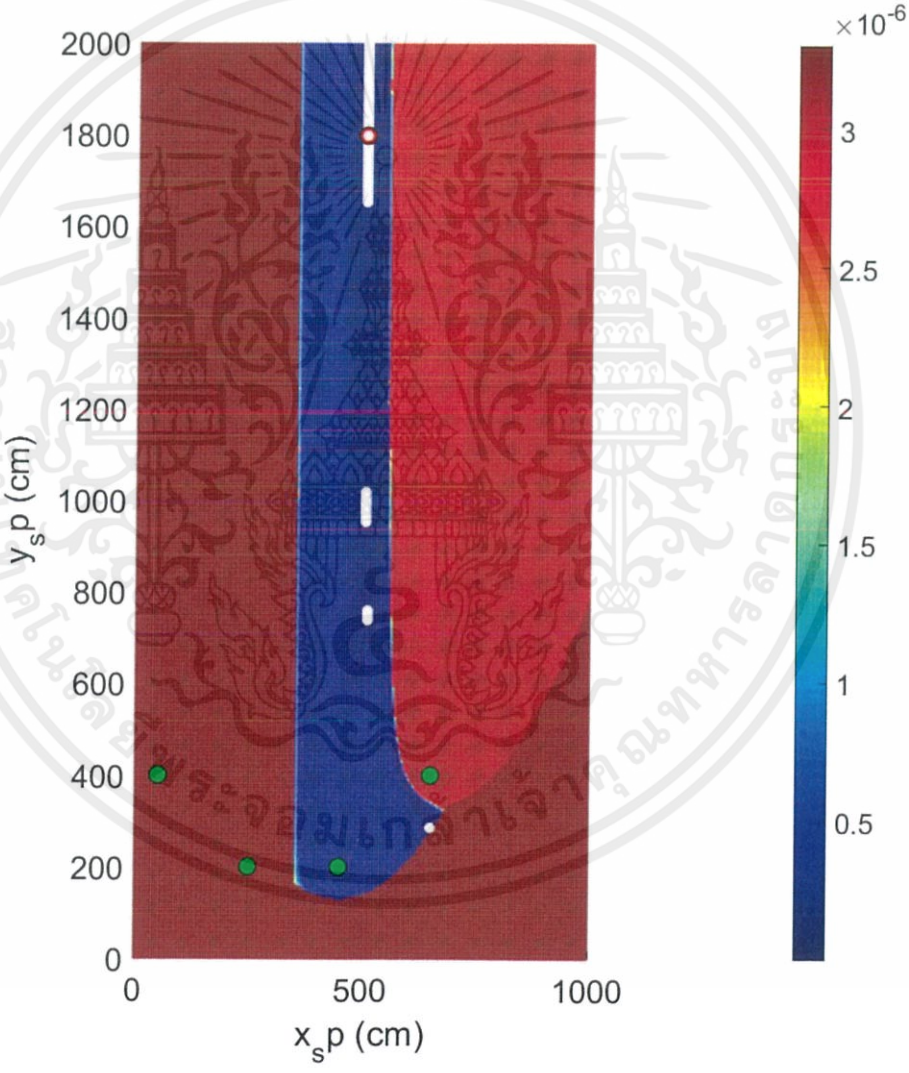
13. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (50,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (250,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (450,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (650,400)

พื้นที่สีขาว 0.11 % (0.23 m^2)



รูปที่ 4.37 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (50,400) , (250,200) , (450,200) , (650,400)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

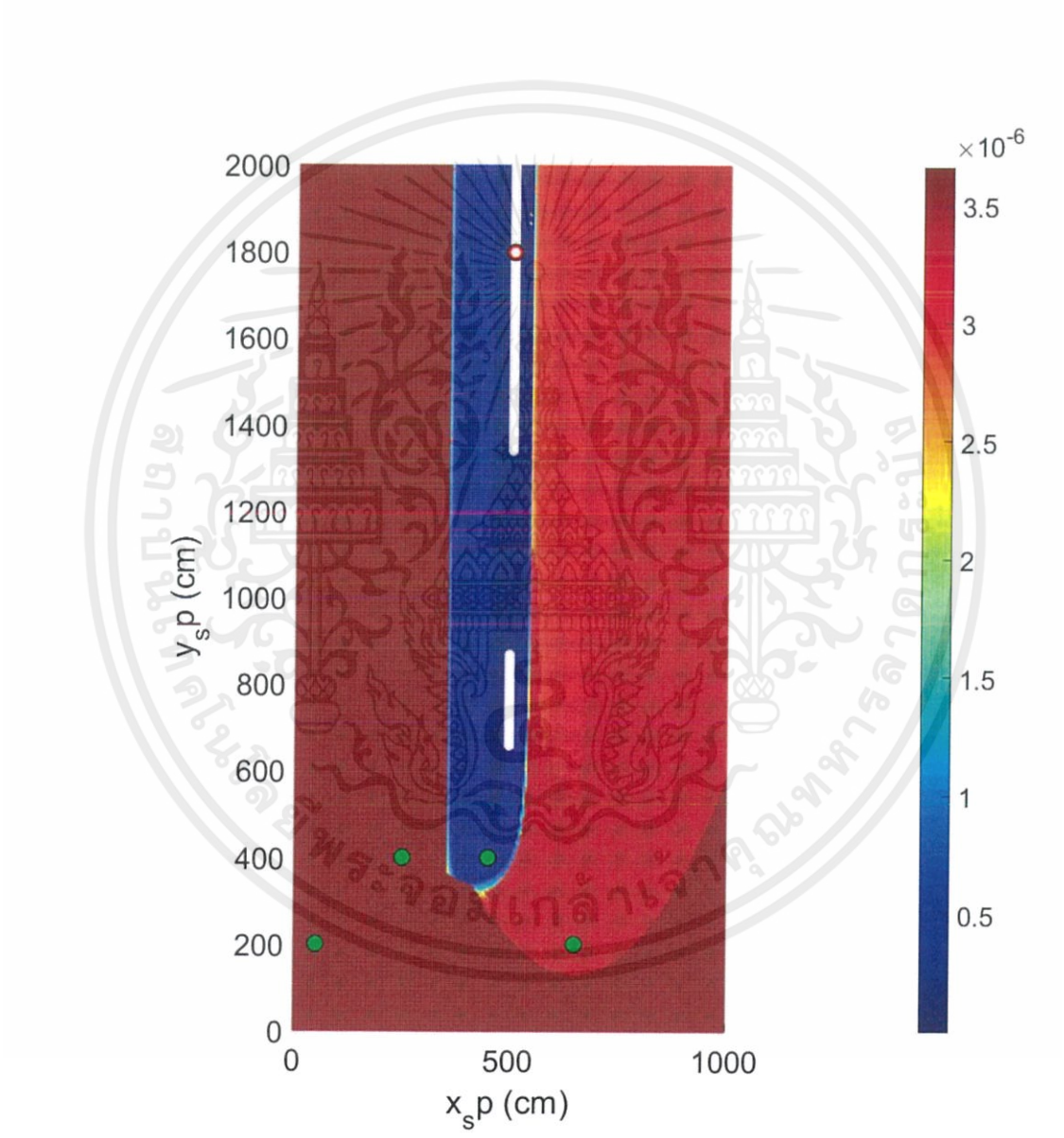
14. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (50,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (250,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (450,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (650,200)

พื้นที่สีขาว 0.22 % (0.44 m^2)



รูปที่ 4.38 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (50,200) , (250,400) , (450,400) , (650,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

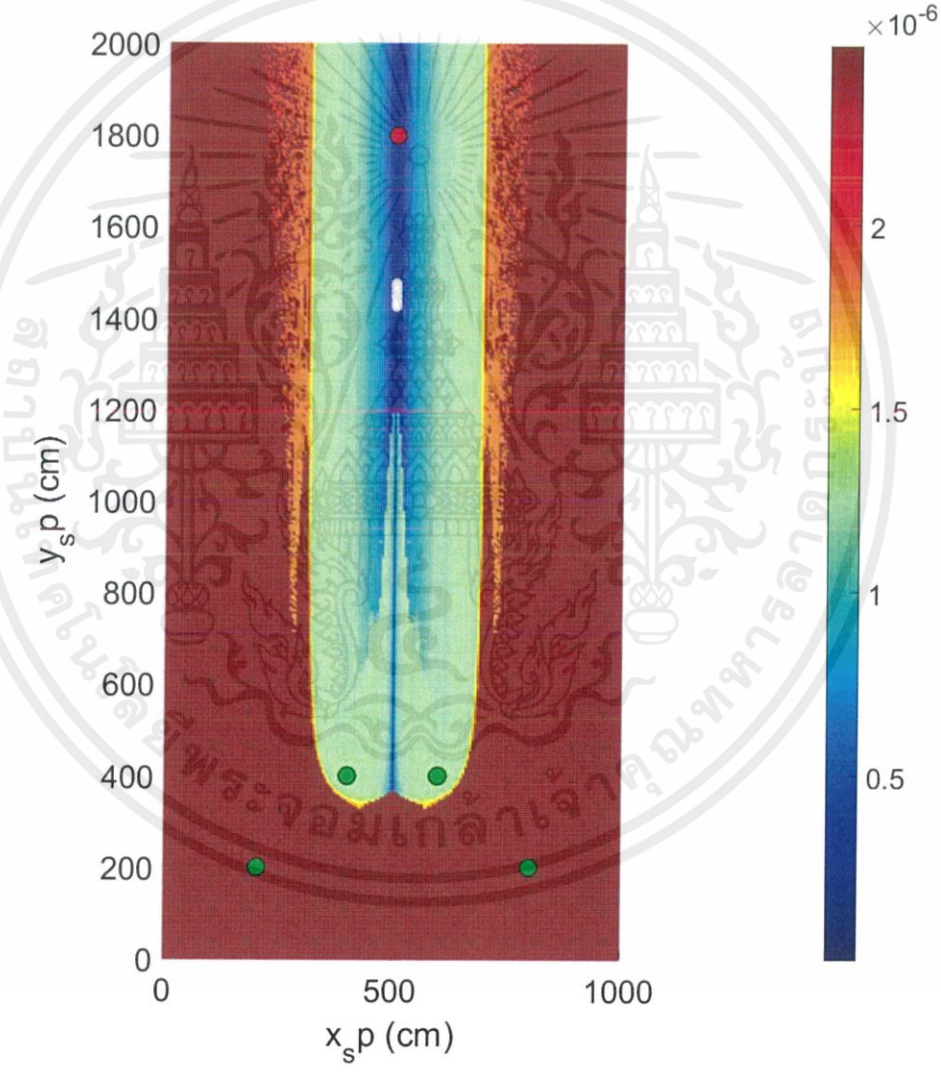
15. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (200,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (400,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (600,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (800,200)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.02 m^2)



รูปที่ 4.39 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (200,200) , (400,400) , (600,400) , (800,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

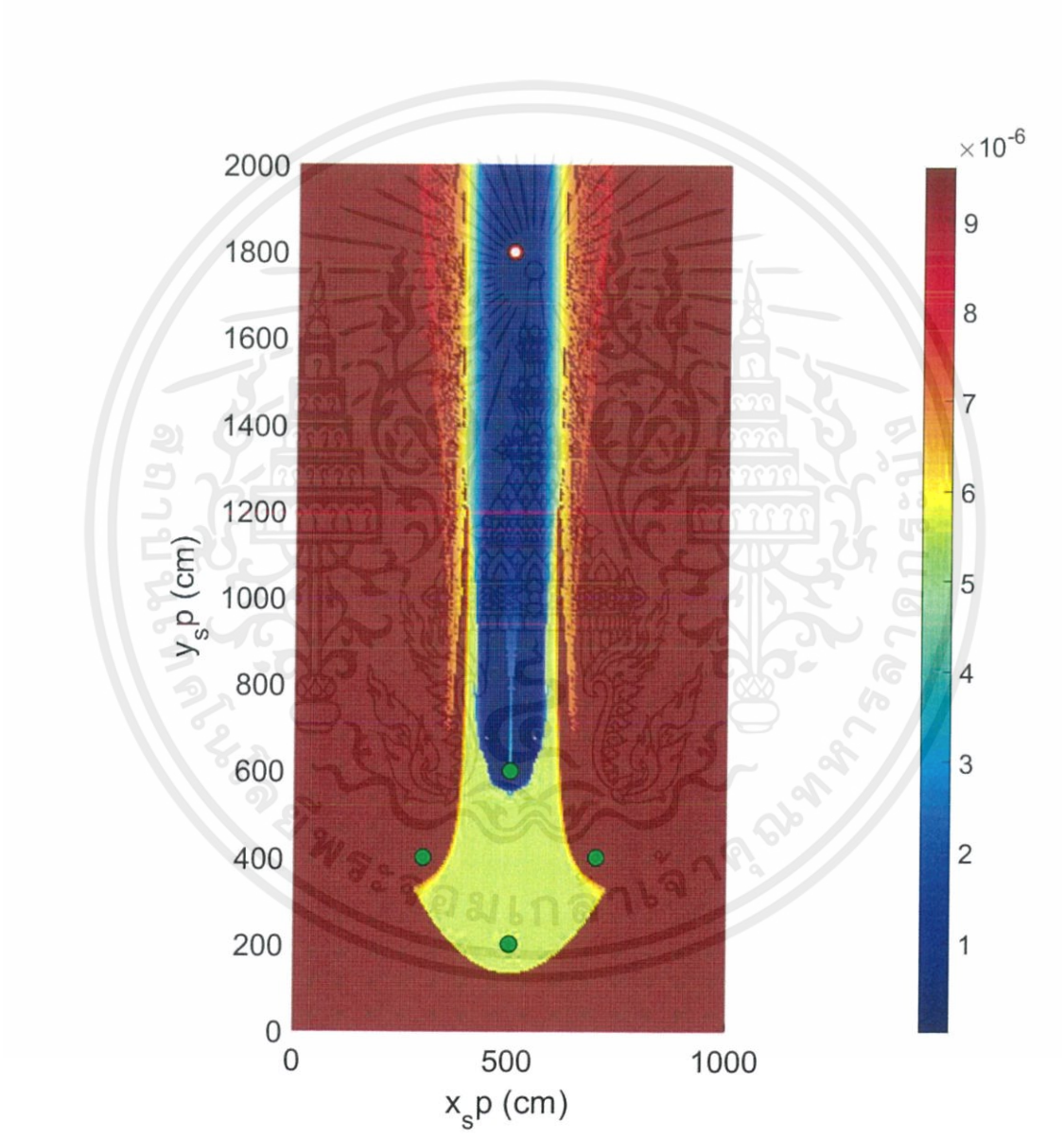
16. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (500,600)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (300,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (700,400)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.00 m^2)



รูปที่ 4.40 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (500,600) , (300,400) , (700,400)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

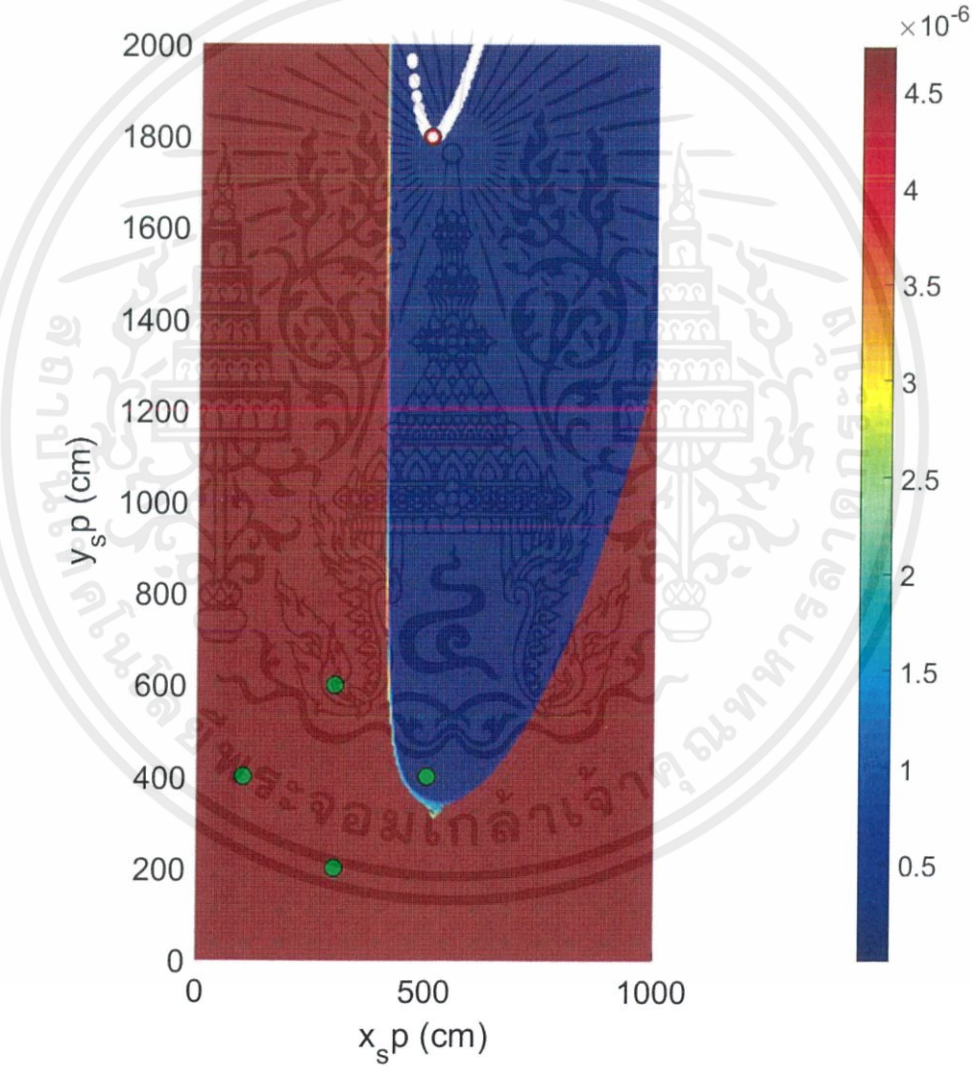
17. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (300,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (300,600)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (100,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (500,400)

พื้นที่สีขาว 0.11 % (0.21 m^2)



รูปที่ 4.41 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (300,200) , (300,600) , (100,400) , (500,400)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

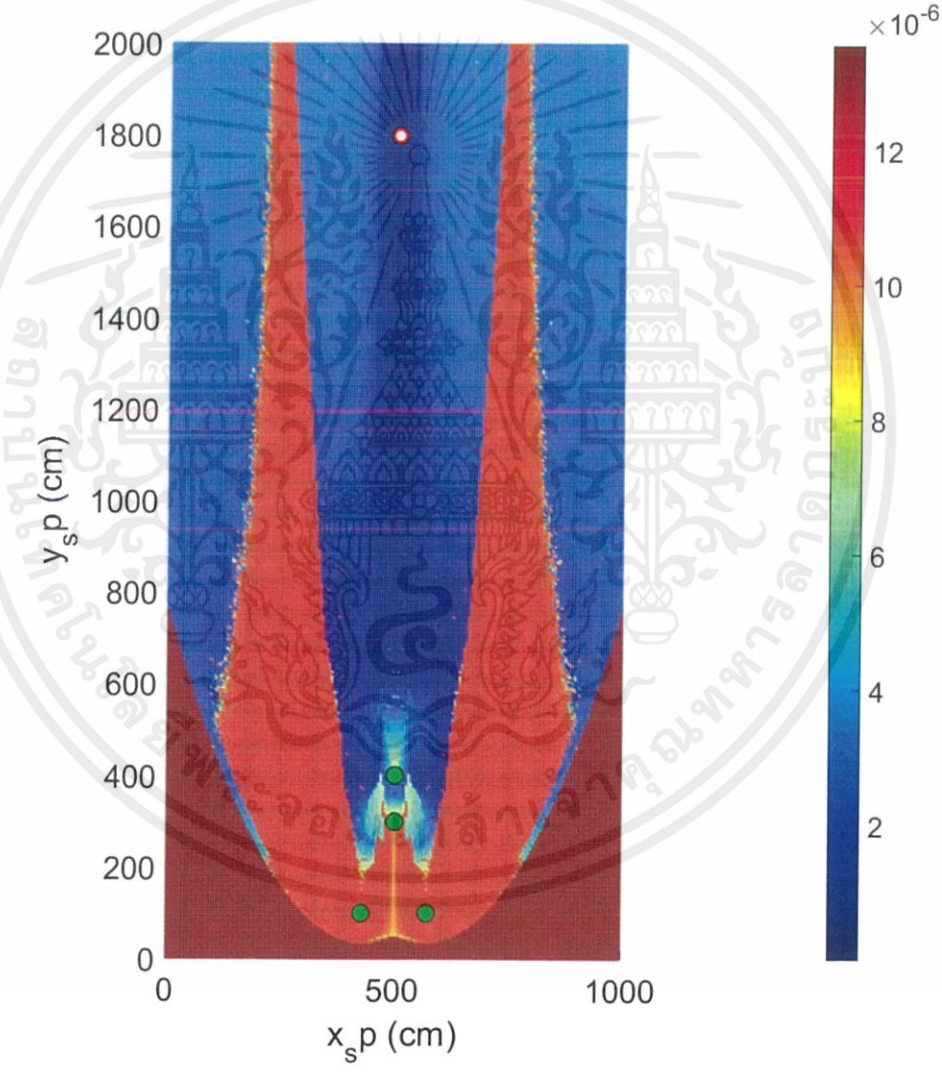
18. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (430,100)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (500,300)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (570,100)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (500,400)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.01 m^2)



รูปที่ 4.42 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (430,100) , (500,300) , (570,100) , (500,400)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

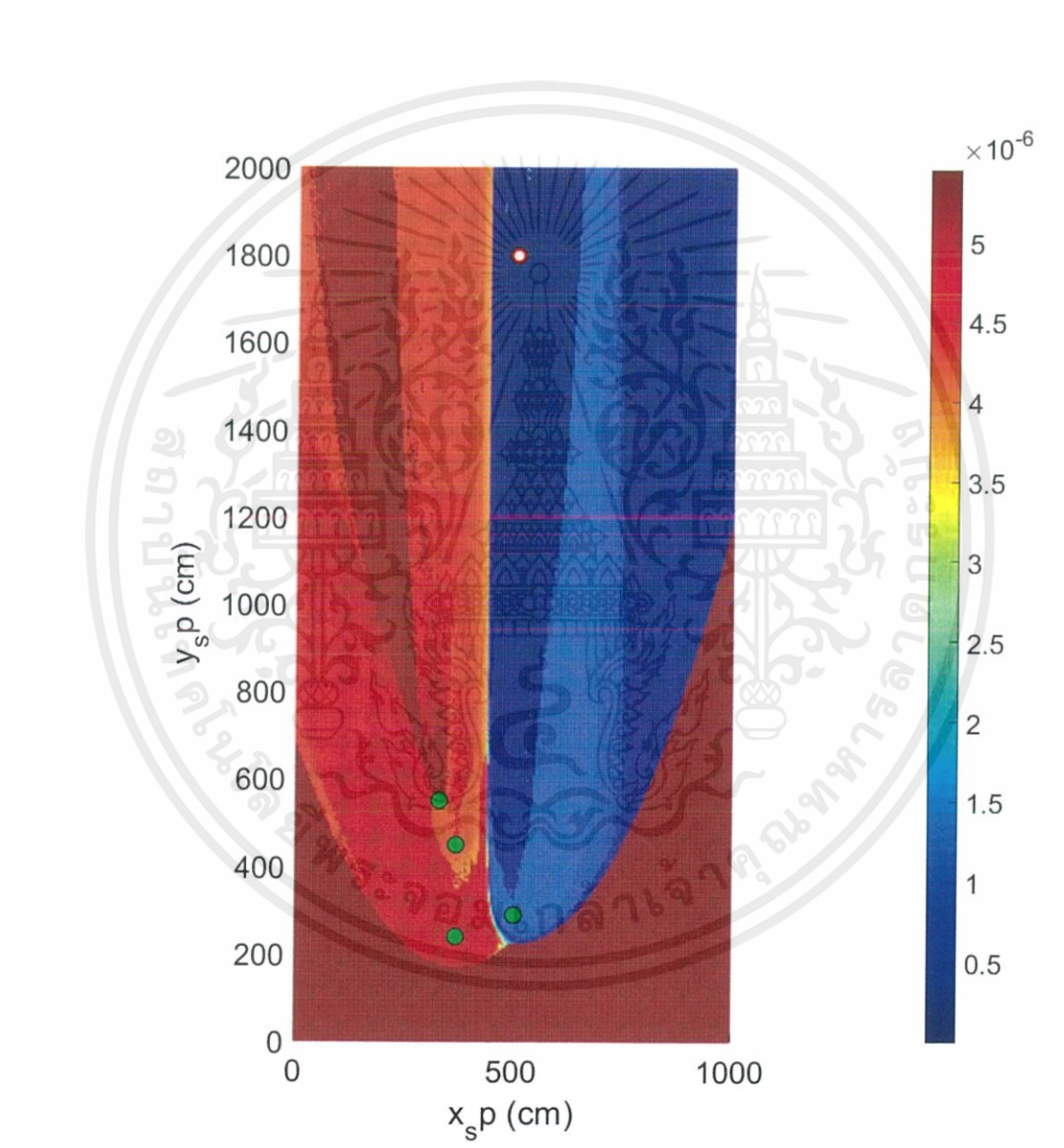
19. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (370,240)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (370,450)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (500,290)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (330,550)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.01 m^2)



รูปที่ 4.43 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (370,240) , (370,450) , (500,290) , (330,550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

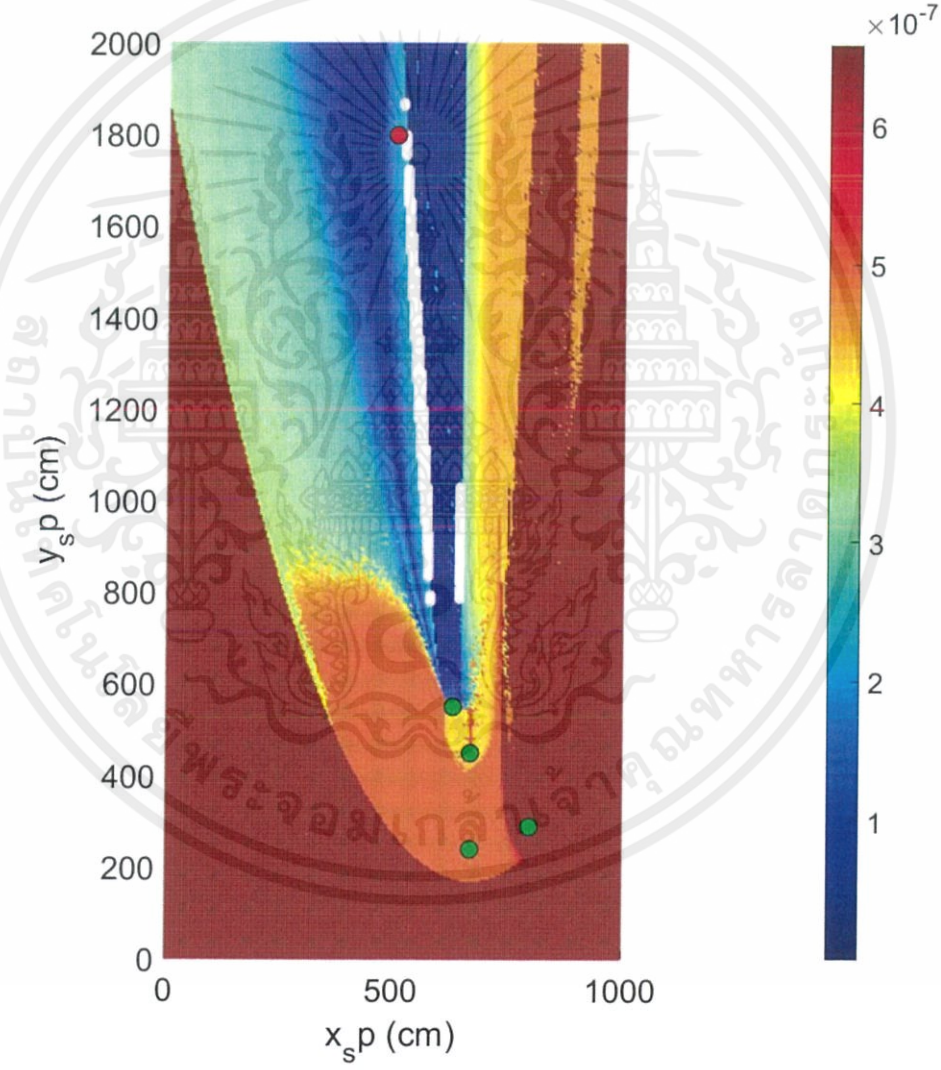
20. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (670,240)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (670,450)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (800,290)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (630,550)

พื้นที่สีขาว 0.48 % (0.97 m^2)



รูปที่ 4.44 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (670,240) , (670,450) , (800,290) , (630,550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

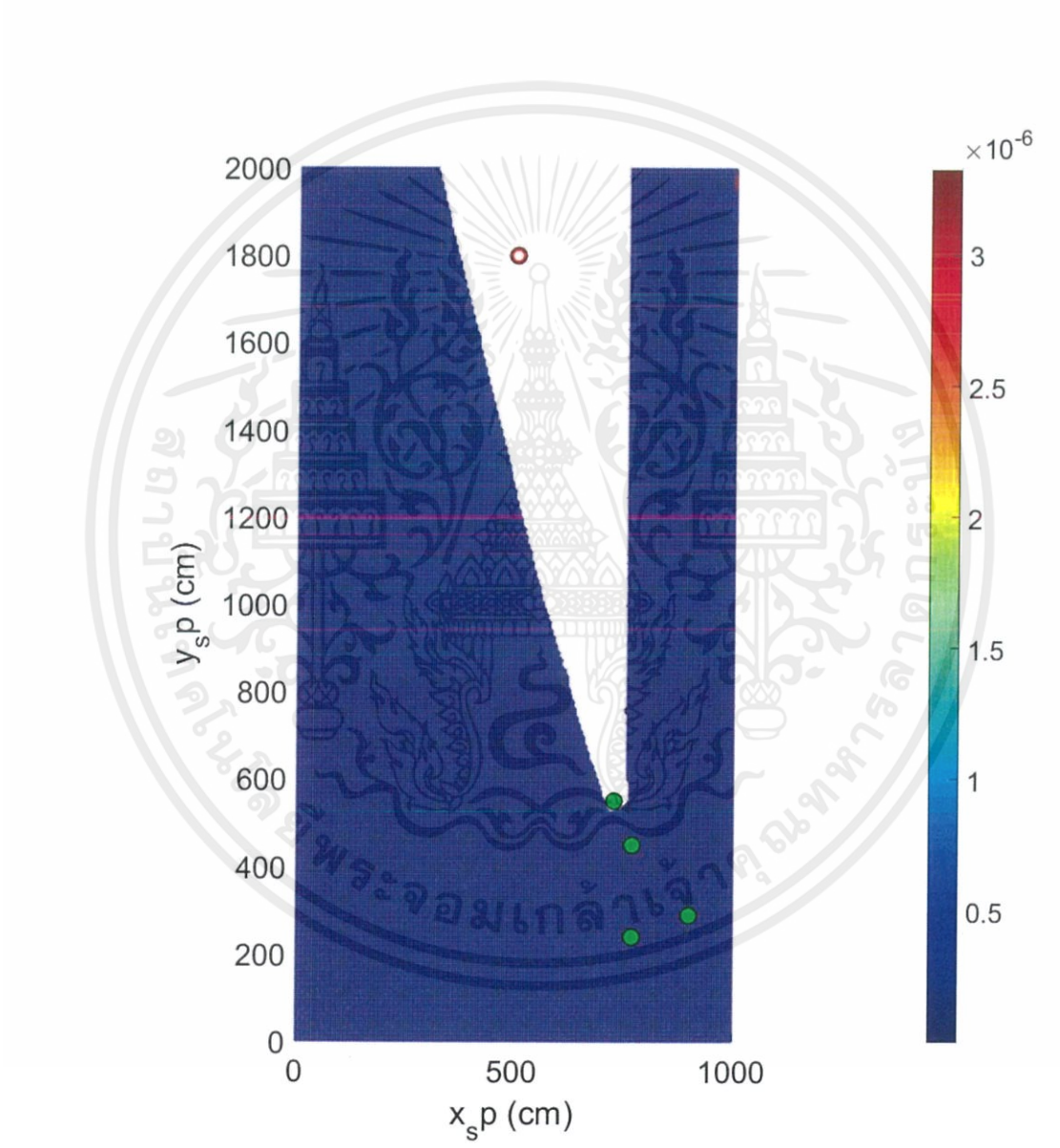
21. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (770,240)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (770,450)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (900,290)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (730,550)

พื้นที่สีขาว 16.64 % (33.54 m^2)



รูปที่ 4.45 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (770,240) , (770,450) , (900,290) , (730,550)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองในรูปที่ 4.25 - 4.45 สรุปรวมได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของเซ็นเซอร์ 4 ตัว

ครั้งที่	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 1	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 2	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 3	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 4	พื้นที่สีขาว				เวลาที่ใช้คำนวณ (s)
					จำนวนจุด	%	พื้นที่ (m^2)	ระยะทางคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (m)	
1	(300,200)	(500,200)	(700,200)	(500,400)	1	0.00%	0.00	0.00	448.46
2	(100,200)	(300,200)	(500,200)	(300,400)	169	0.21%	0.42	0.85	420.10
3	(200,200)	(200,400)	(200,600)	(400,400)	4881	6.06%	12.20	3.99	485.63
4	(300,200)	(425,200)	(100,650)	(300,650)	90	0.11%	0.23	7.35	453.17
5	(500,200)	(300,400)	(700,400)	(500,800)	1	0.00%	0.00	0.00	421.94
6	(300,200)	(100,400)	(500,400)	(300,800)	100	0.12%	0.25	0.86	469.23
7	(100,400)	(300,200)	(300,600)	(700,400)	1	0.00%	0.00	1.10	489.28
8	(100,200)	(300,200)	(500,200)	(700,200)	309	0.38%	0.77	6.10	429.56
9	(600,200)	(800,200)	(400,200)	(200,200)	17	0.02%	0.04	3.42	442.31
10	(500,100)	(500,300)	(500,500)	(500,700)	1	0.00%	0.00	0.00	407.79
11	(200,100)	(200,300)	(200,500)	(200,700)	1833	2.27%	4.58	4.06	495.12
12	(400,200)	(600,200)	(200,400)	(800,400)	289	0.36%	0.72	9.15	474.24
13	(50,400)	(250,200)	(450,200)	(650,400)	90	0.11%	0.23	2.71	468.36
14	(50,200)	(250,400)	(450,400)	(650,200)	176	0.22%	0.44	3.98	467.84
15	(200,200)	(400,400)	(600,400)	(800,200)	8	0.01%	0.02	3.47	425.51
16	(500,200)	(500,600)	(300,400)	(700,400)	1	0.00%	0.00	0.00	461.47
17	(300,200)	(300,600)	(100,400)	(500,400)	85	0.11%	0.21	0.85	417.98
18	(430,100)	(500,300)	(570,100)	(500,400)	3	0.00%	0.01	0.03	400.57
19	(370,240)	(370,450)	(500,290)	(330,550)	3	0.00%	0.01	0.03	435.23
20	(670,240)	(670,450)	(800,290)	(630,550)	386	0.48%	0.97	5.81	406.93
21	(770,240)	(770,450)	(900,290)	(730,550)	13416	16.64%	33.54	4.09	502.28
เวลาที่ใช้ในการคำนวณเฉลี่ย = 448.7142857 s									

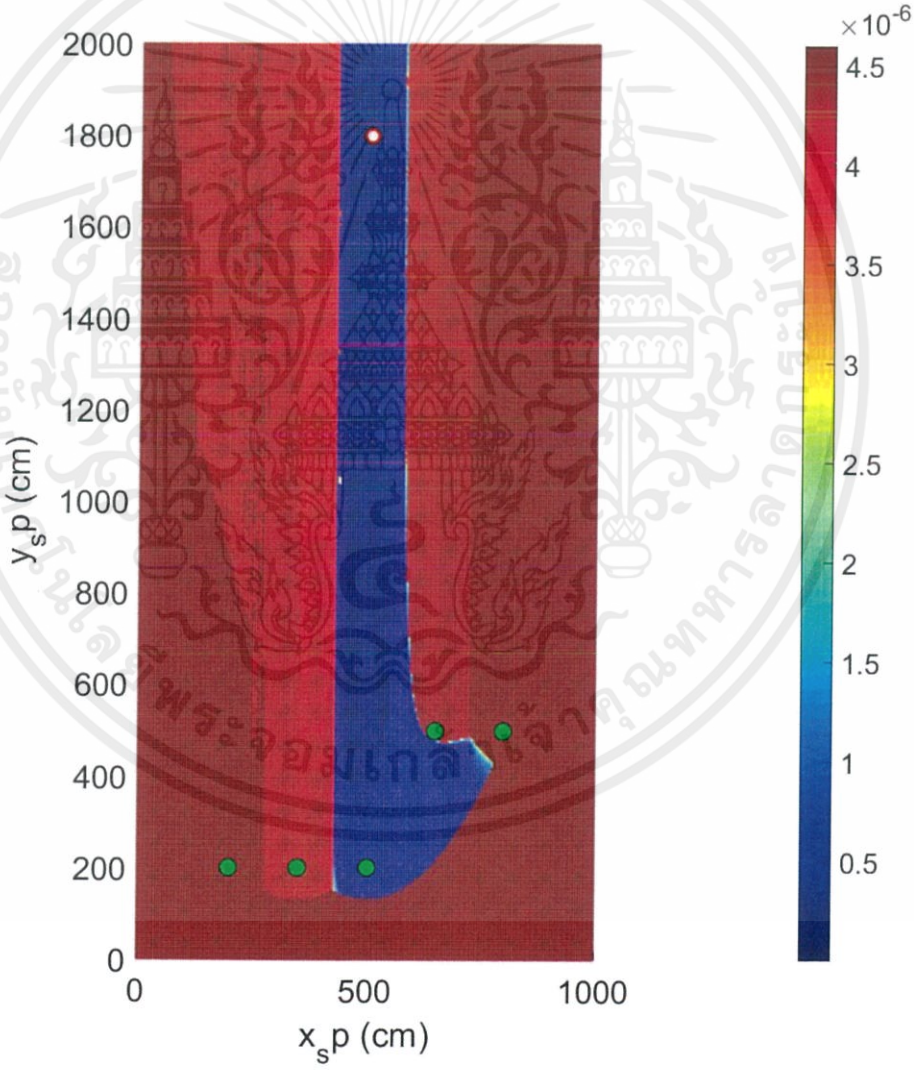
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นด้วยวิธีการเชิงเลขด้วยเซ็นเซอร์ 5 ตัว

ในส่วนนี้จะทำการทดลองเช่นเดียวกับในหัวข้อ 4.1 และ 4.2 โดยเพิ่มจำนวนเซ็นเซอร์เป็น ตัว โดยปรับเปรียบรูปแบบการวางเซ็นเซอร์ทั้งสิ้น 20 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (350,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (200,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (650,500)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (800,500)
   พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.01 m^2)



รูปที่ 4.46 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (350,200) , (200,200) , (650,500) , (800,500)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,200)

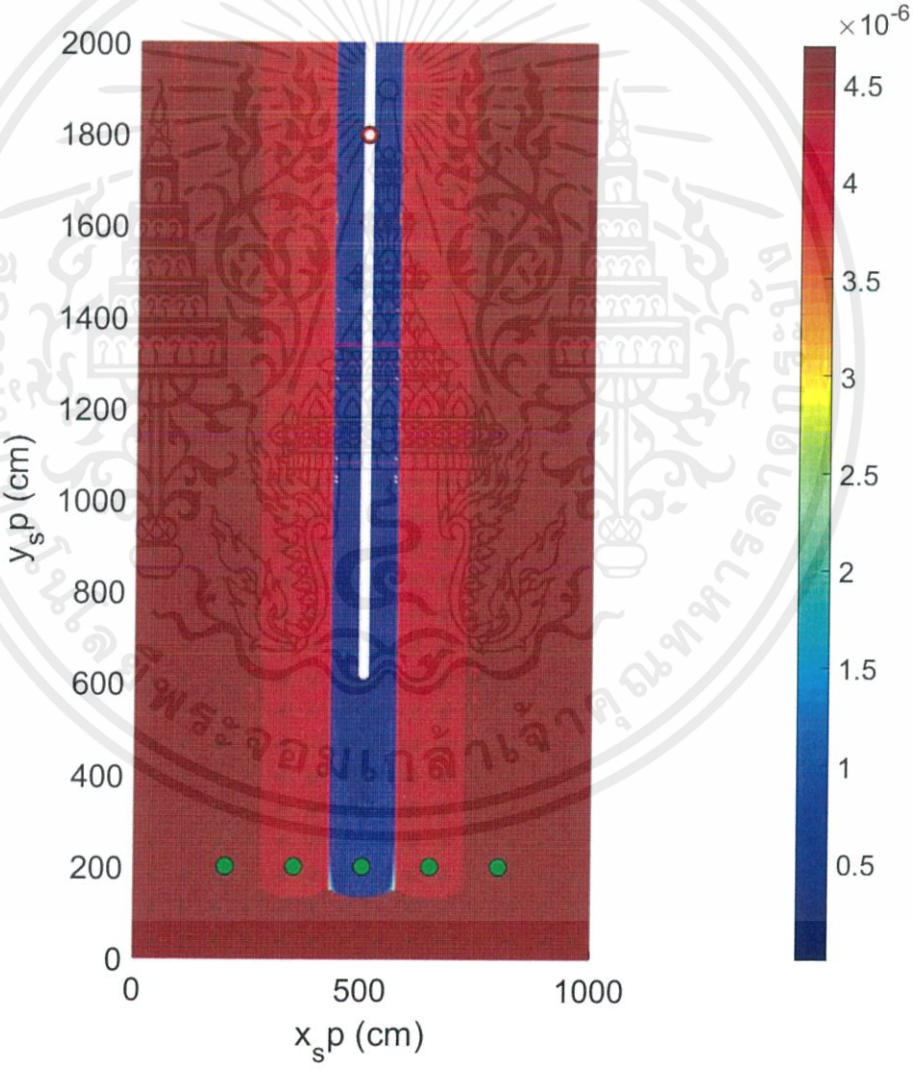
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (350,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (200,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (650,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (800,200)

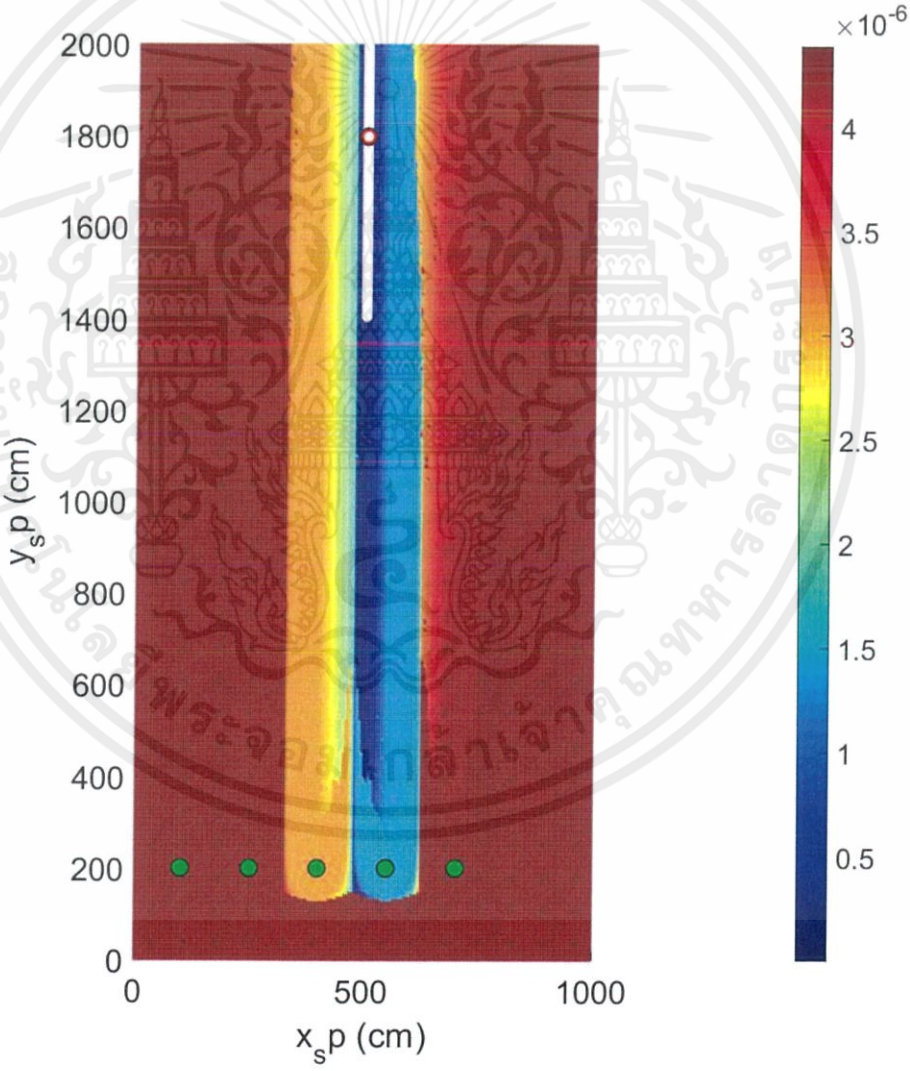
พื้นที่สีขาว 0.34 % (0.69 m^2)



รูปที่ 4.47 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (350,200) , (200,200) , (650,200) , (200,500)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

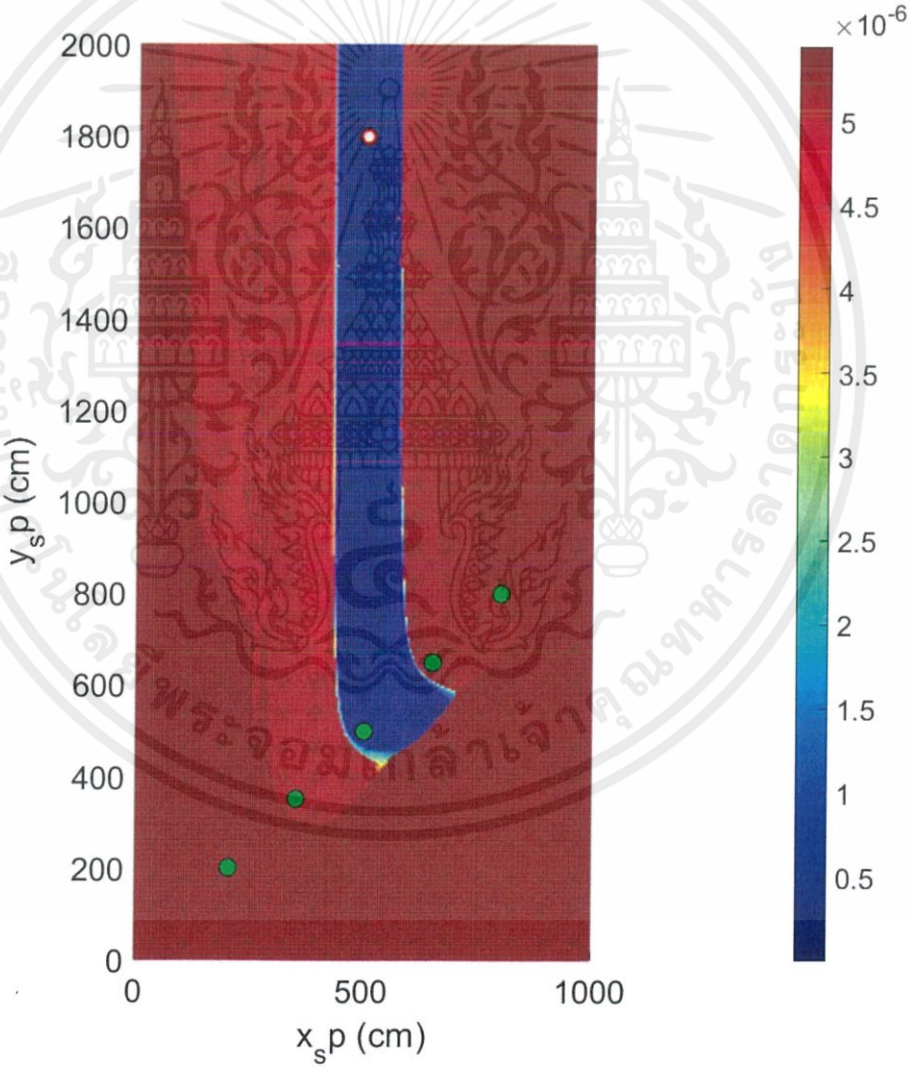
3. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (250,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (400,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (550,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (700,200)
   พื้นที่สีขาว 0.15 % (0.30 m^2)



รูปที่ 4.48 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,200) , (250,200) , (400,200) , (550,200) , (700,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

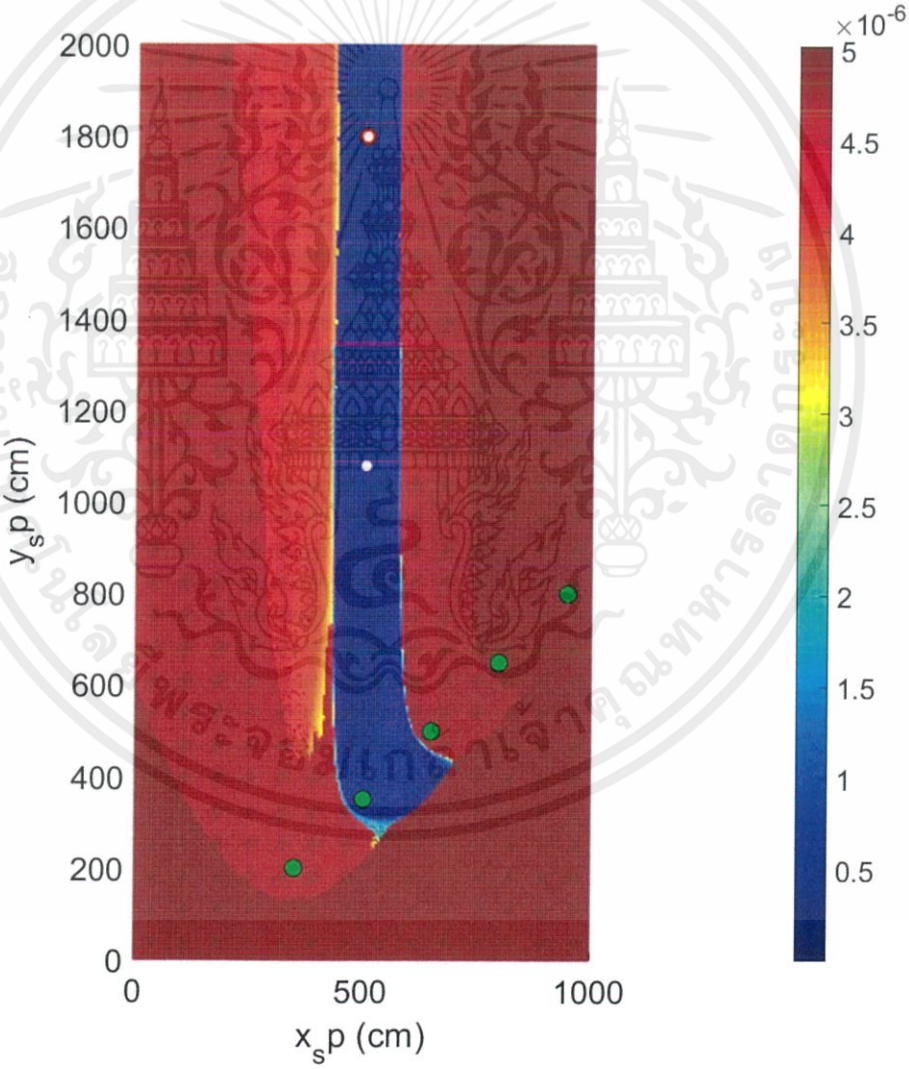
4. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,500)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (350,350)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (200,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (650,350)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (800,800)
   พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.01 m^2)



รูปที่ 4.49 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,500) , (350,350) , (200,200) , (650,650) , (800,800)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (350,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (500,350)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (650,500)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (800,650)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (950,800)
   พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.01 m^2)



รูปที่ 4.50 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (350,200) , (500,350) , (650,500) , (800,650) , (950,800)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (350,800)

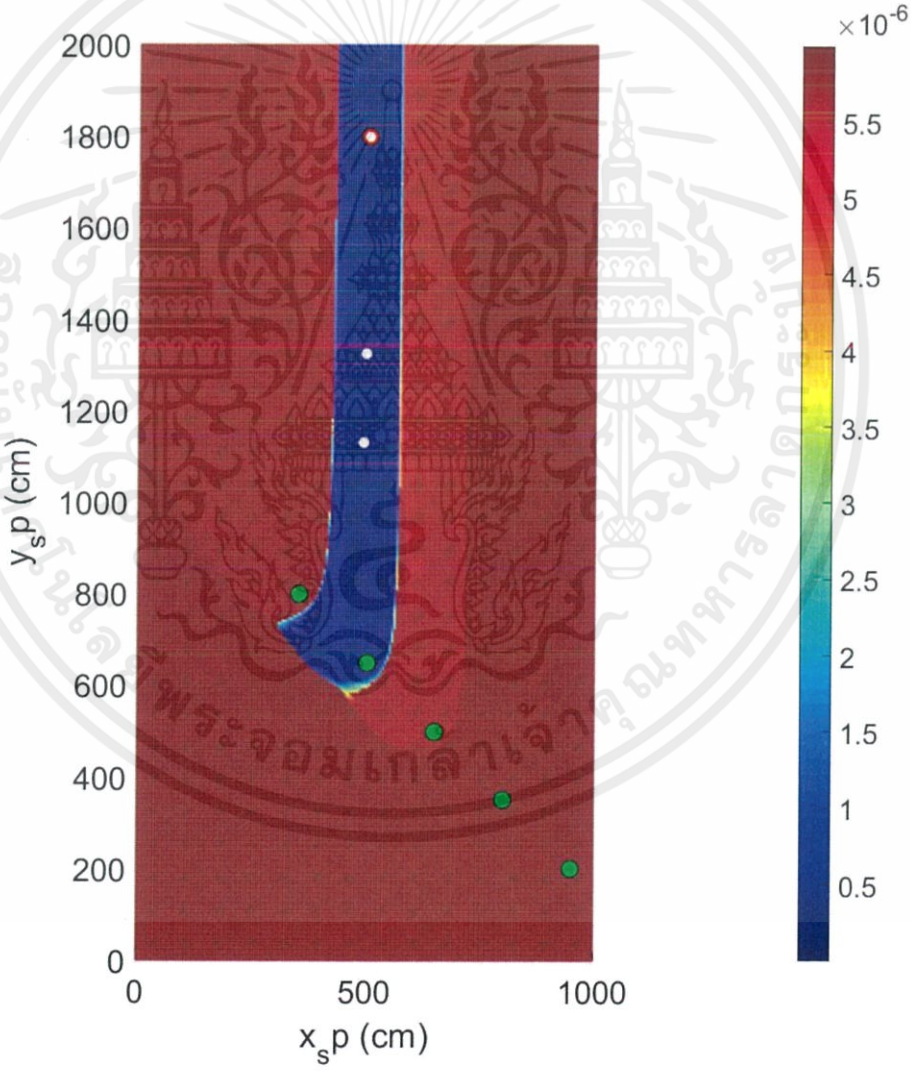
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (500,650)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (650,500)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (800,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (950,200)

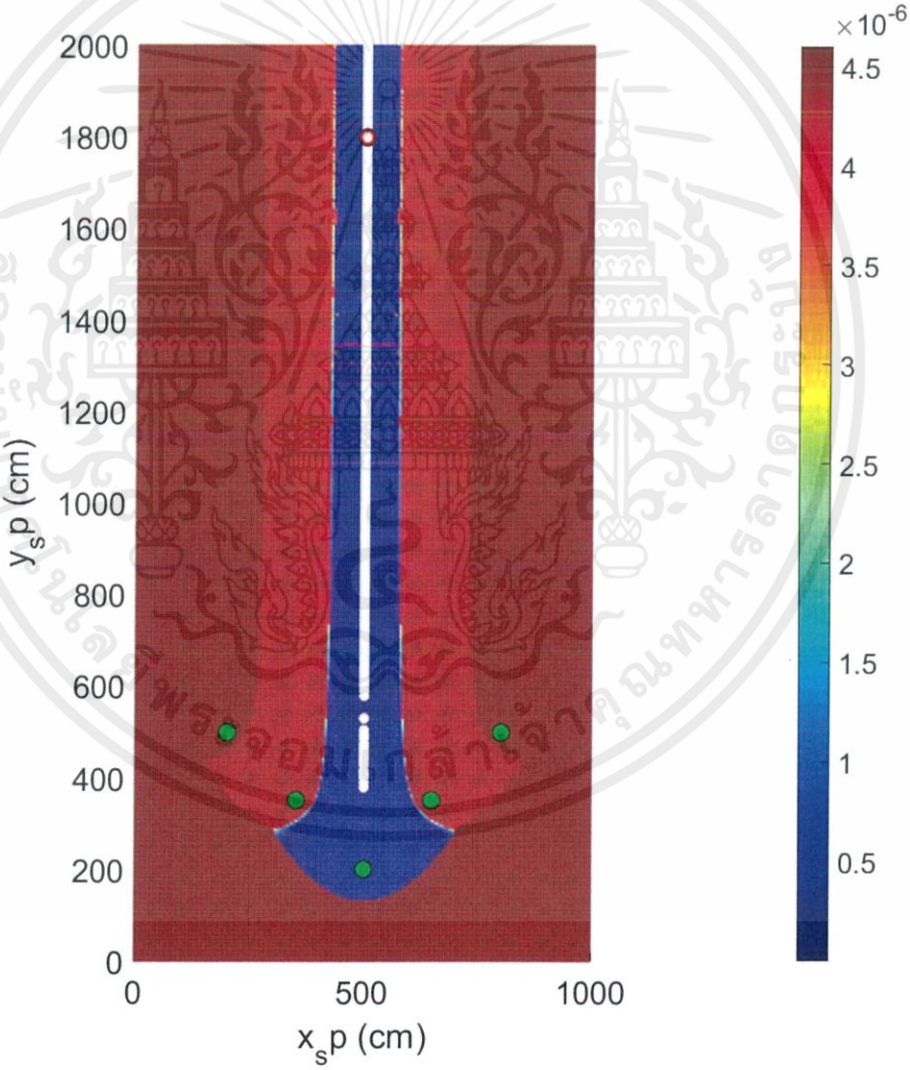
พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.01 m^2)



รูปที่ 4.51 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (350,800) , (500,650) , (650,500) , (800,350) , (950,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,200)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (650,350)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (350,350)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (800,500)
   เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (200,500)
   พื้นที่สีขาว 0.38 % (0.76 m^2)



รูปที่ 4.52 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (650,350) , (350,350) , (800,500) , (200,500)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (650,400)

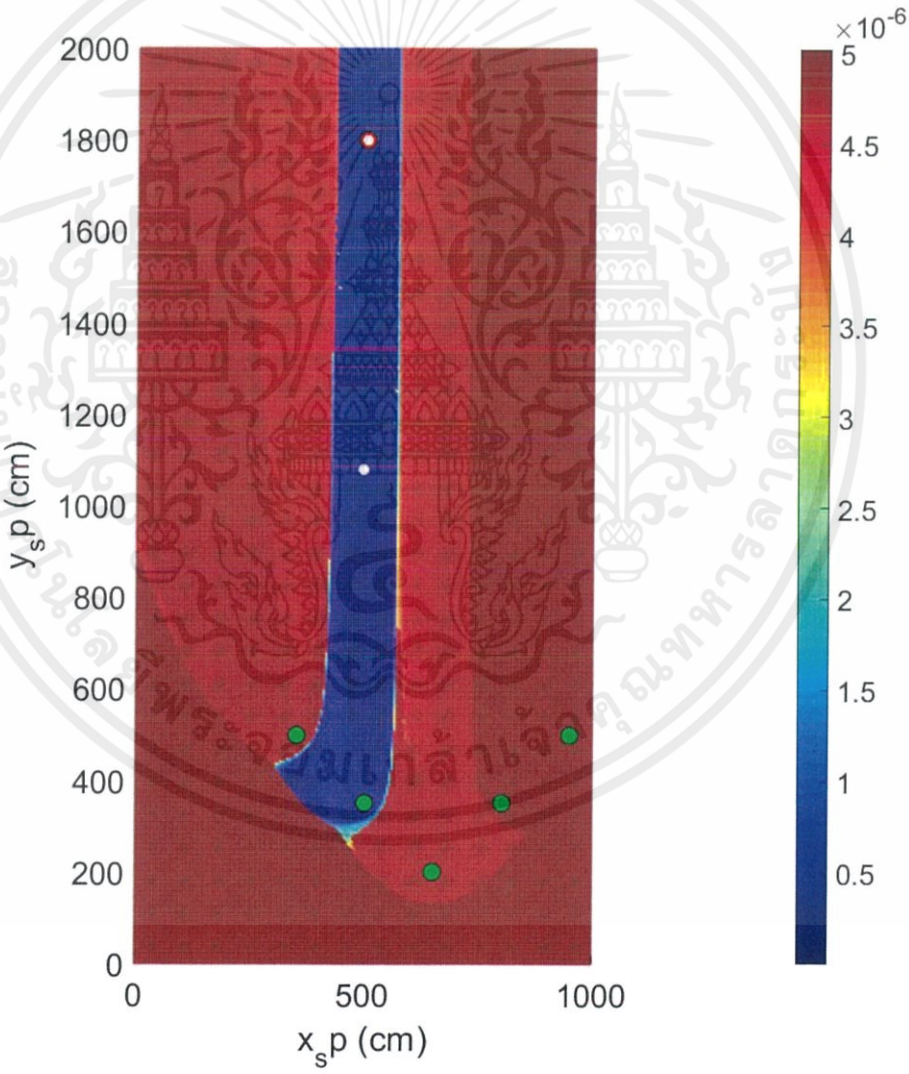
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (800,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (500,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (950,500)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (350,500)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.01 m^2)



รูปที่ 4.53 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (650,400) , (800,350) , (500,350) , (950,500) , (350,500)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,100)

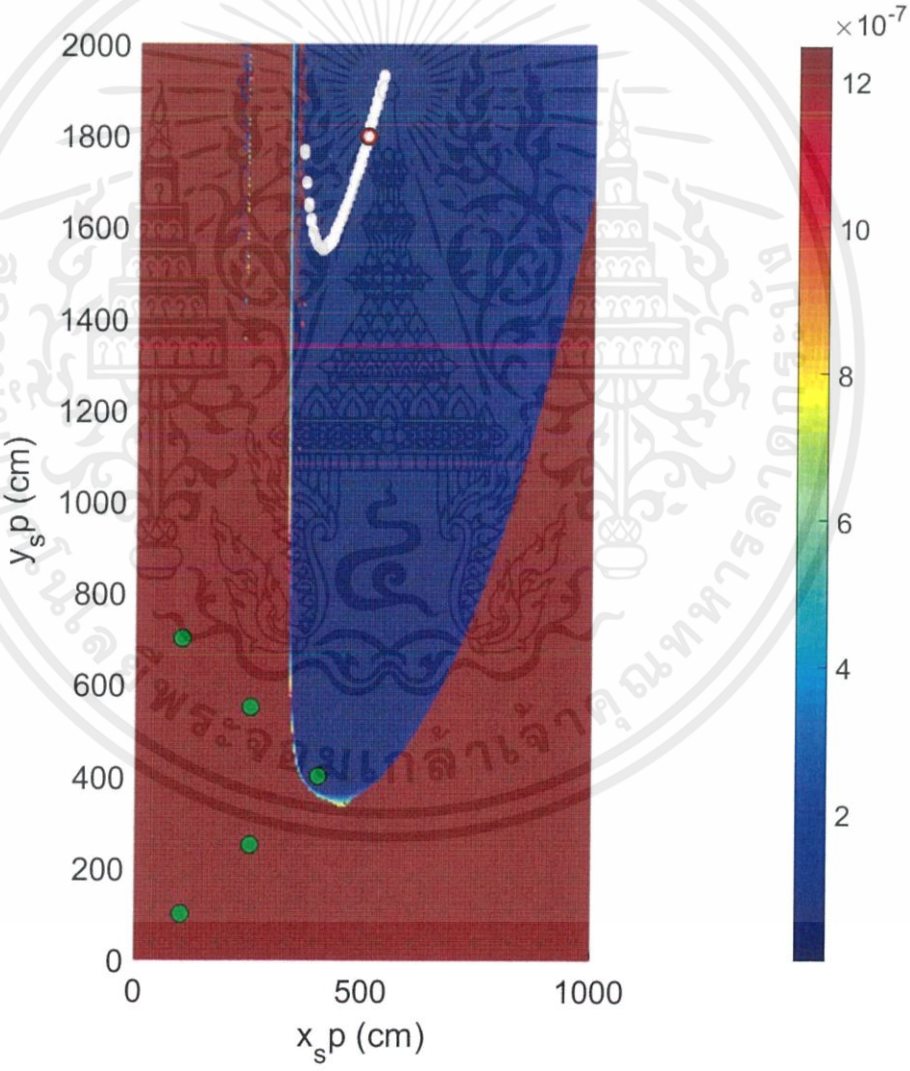
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (250,250)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (400,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (250,550)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (100,700)

พื้นที่สีขาว 0.13 % (0.27 m^2)



รูปที่ 4.54 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,100) , (250,250) , (400,400) , (250,550) , (100,700)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,500)

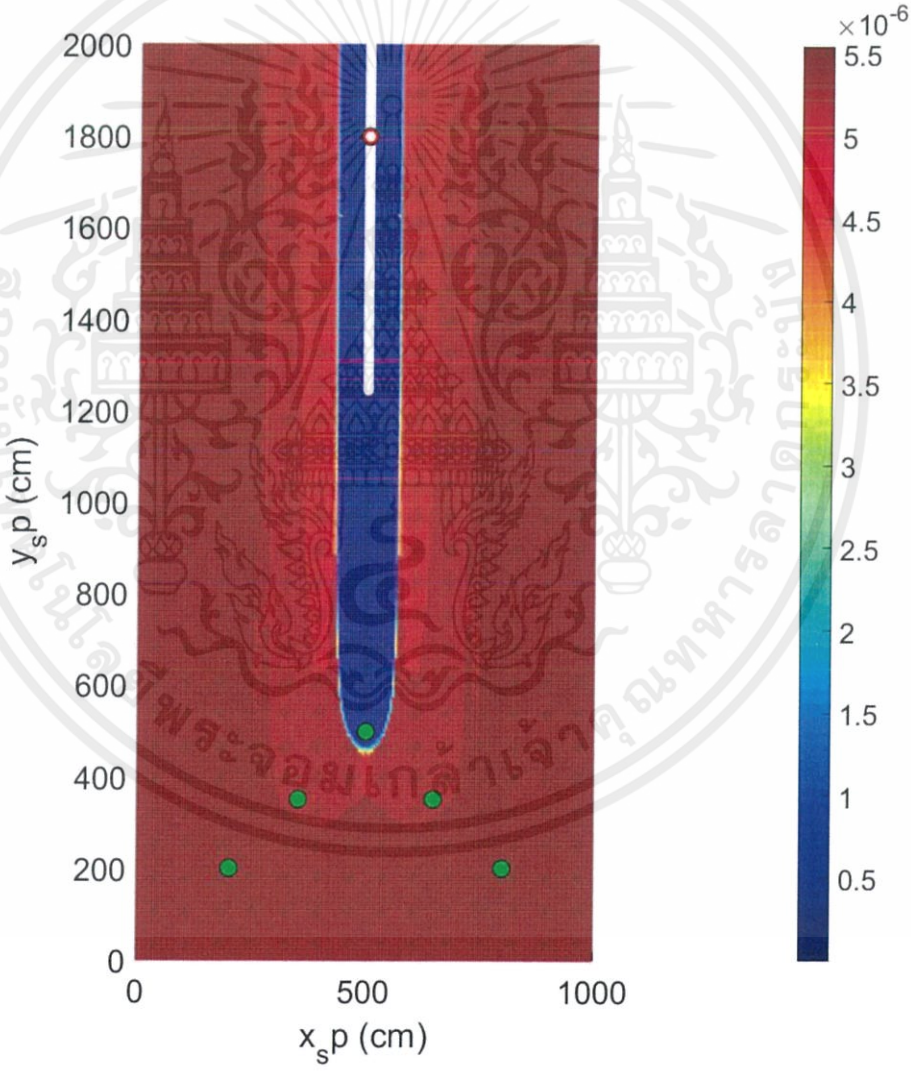
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (650,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (800,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (350,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (200,200)

พื้นที่สีขาว 0.19 % (0.38 m^2)



รูปที่ 4.55 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,500) , (650,350) , (800,200) , (350,350) , (200,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (650,500)

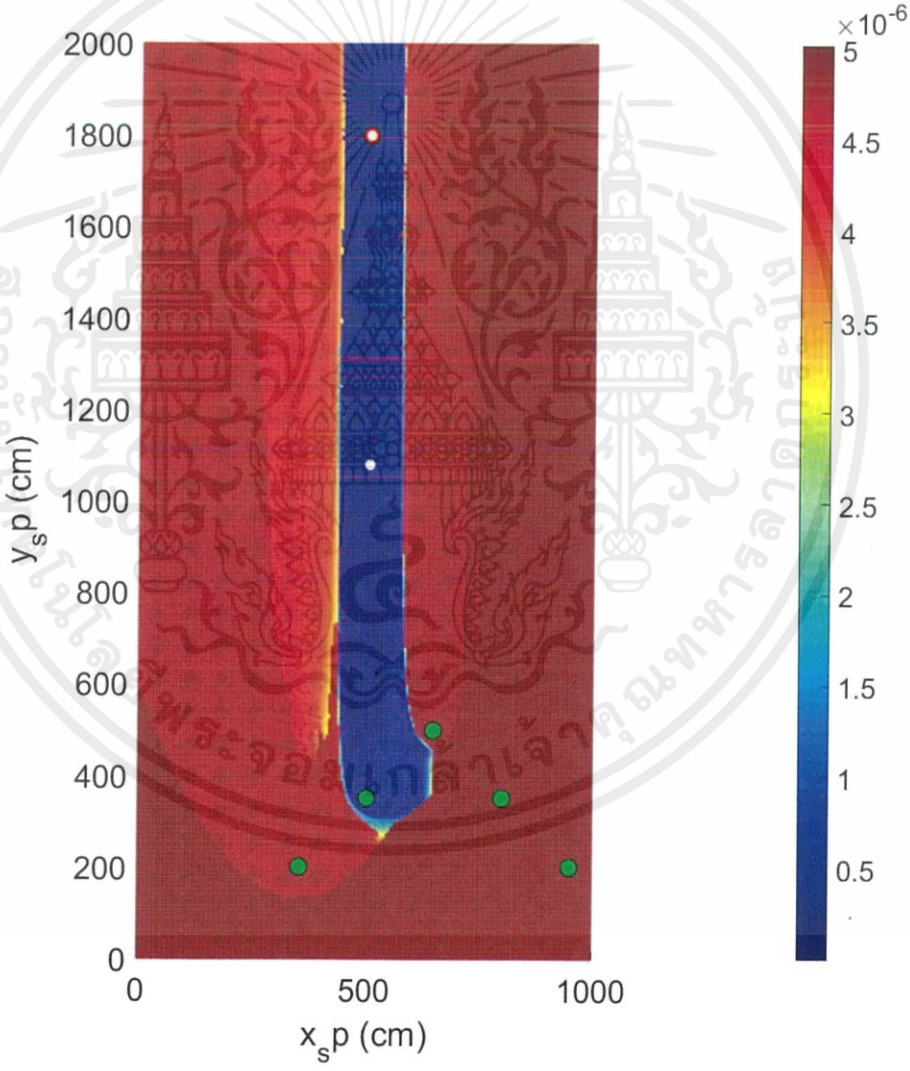
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (800,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (950,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (500,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (350,200)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.01 m^2)



รูปที่ 4.56 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (650,500) , (800,350) , (950,200) , (500,350) , (350,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,400)

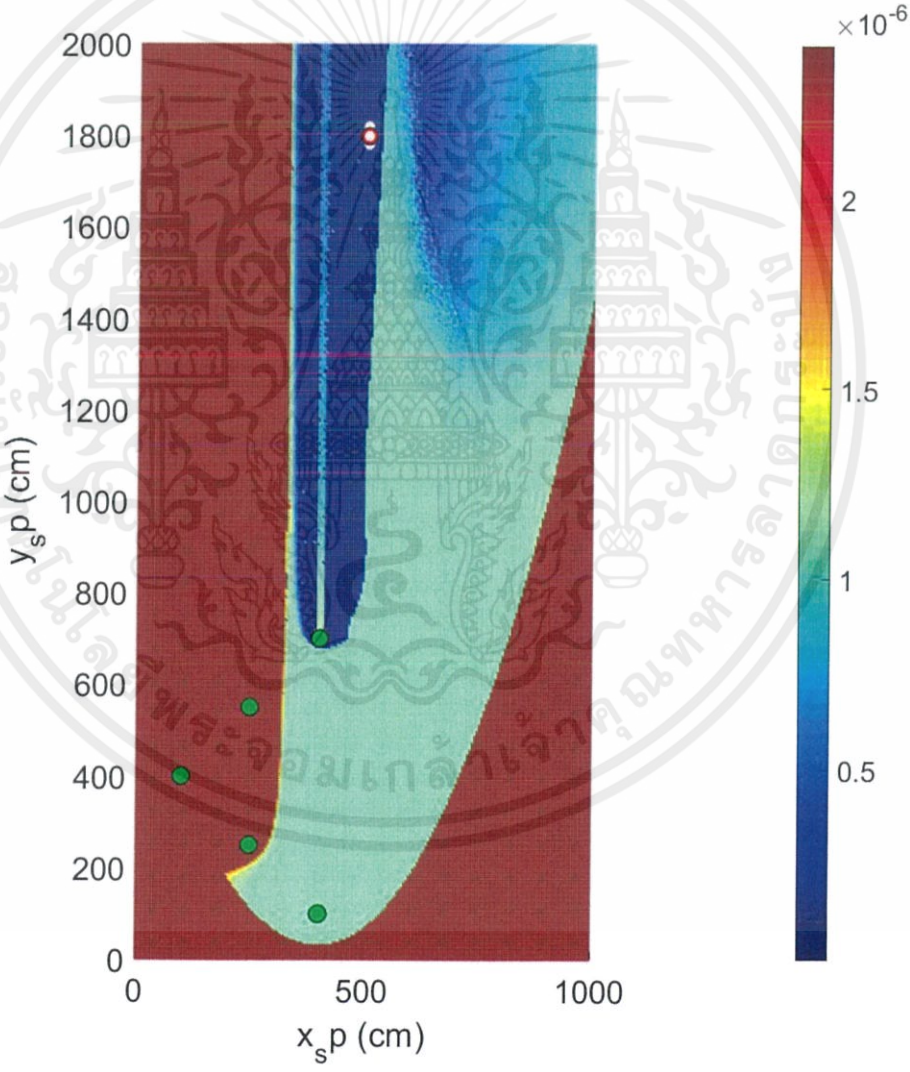
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (250,250)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (400,100)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (250,550)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (400,700)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.02 m^2)



รูปที่ 4.57 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,400) , (250,250) , (400,100) , (250,550) , (400,700)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (500,200)

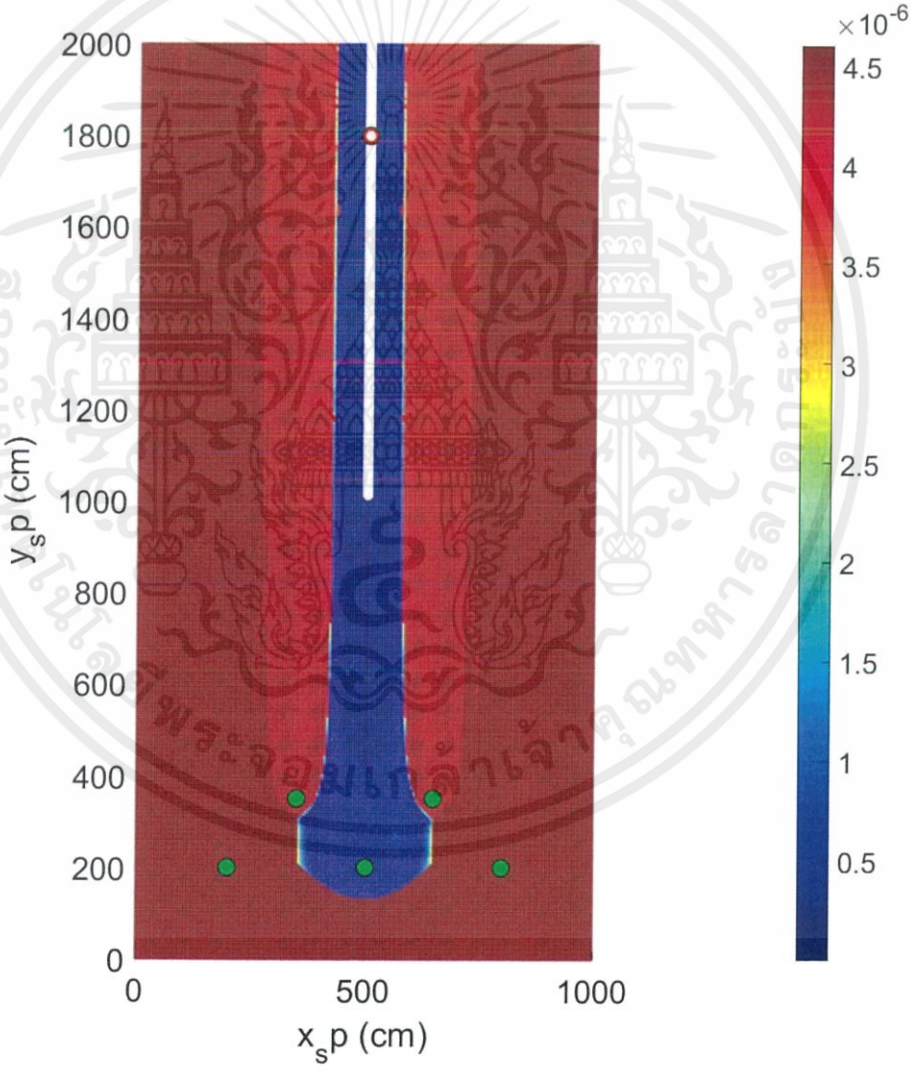
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (200,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (800,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (650,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (350,350)

พื้นที่สีขาว 0.25 % (0.50 m^2)



รูปที่ 4.58 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (500,200) , (200,200) , (800,200) , (650,350) , (350,350)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (650,200)

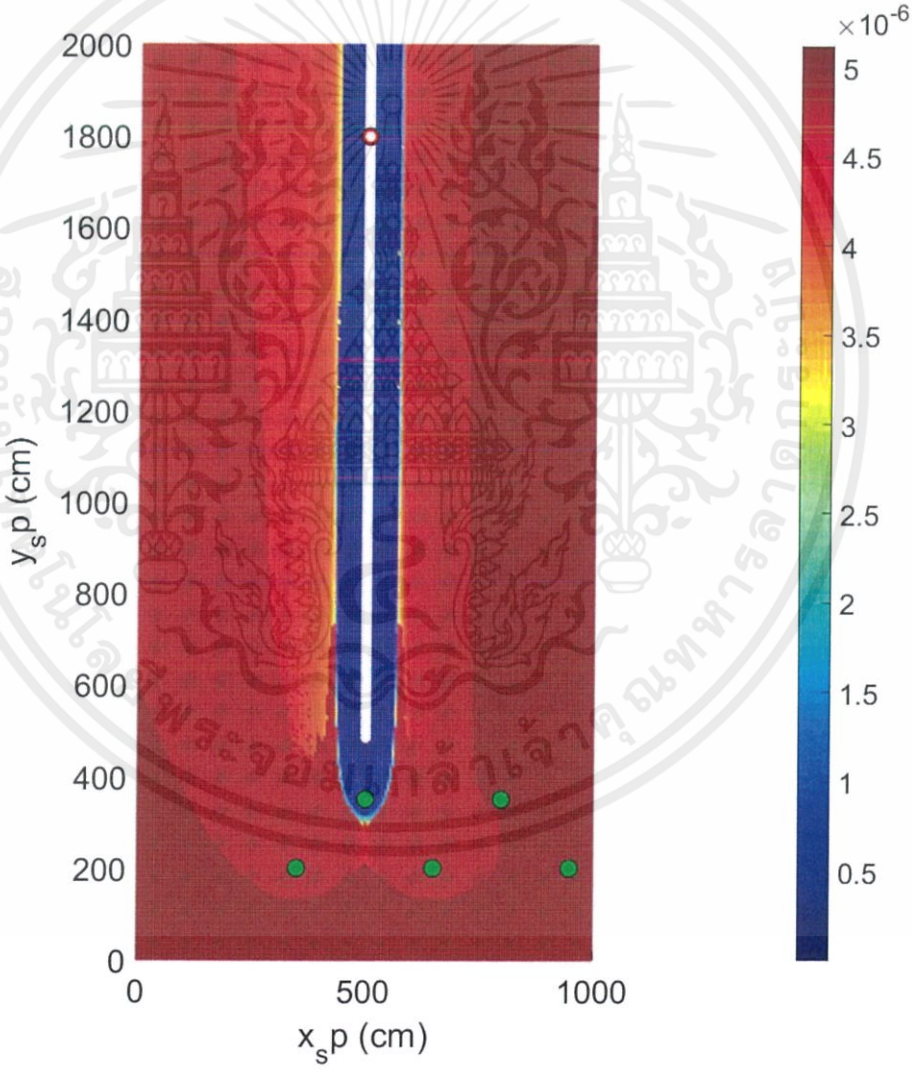
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (350,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (950,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (800,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (500,350)

พื้นที่สีขาว 0.37 % (0.75 m^2)



รูปที่ 4.59 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (650,200) , (350,200) , (950,200) , (800,350) , (500,350)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (100,100)

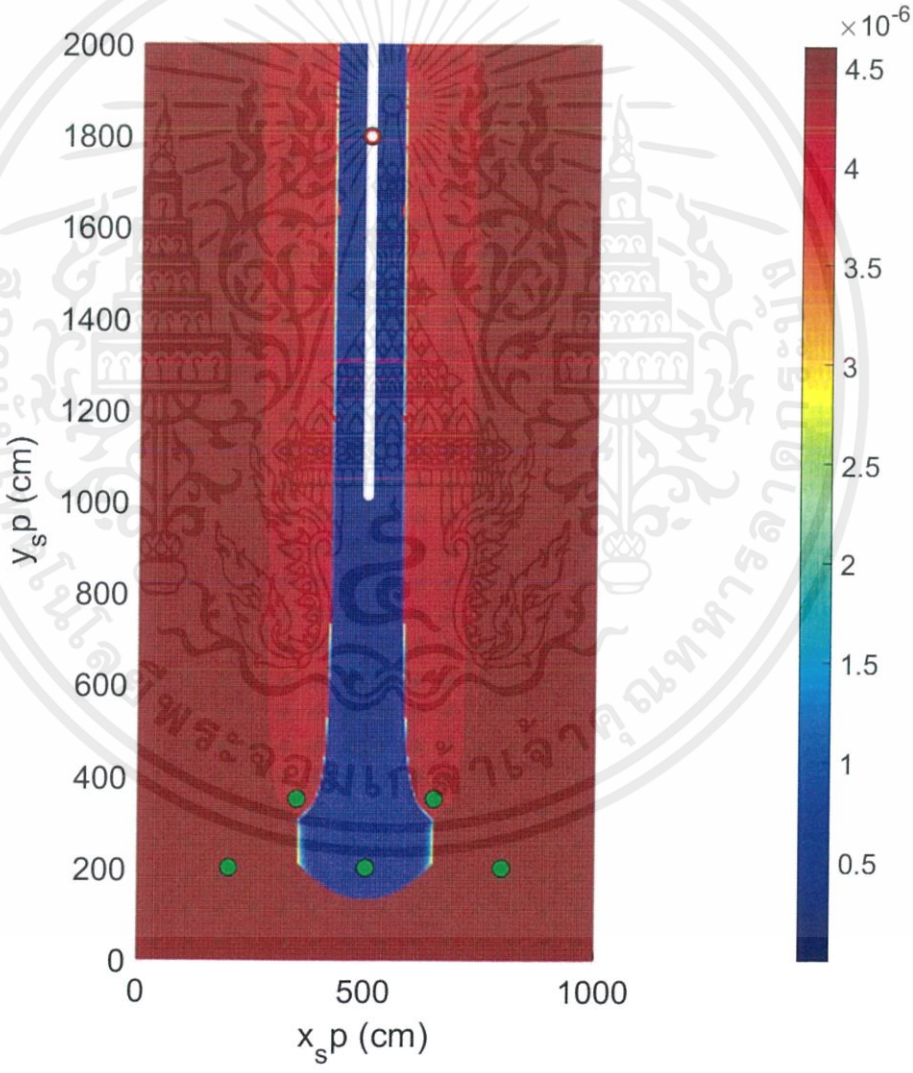
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (250,250)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (100,400)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (200,550)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (100,700)

พื้นที่สีขาว 3.71 % (7.48 m^2)



รูปที่ 4.60 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (100,100) , (250,250) , (100,400) , (200,550) , (100,700)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (800,350)

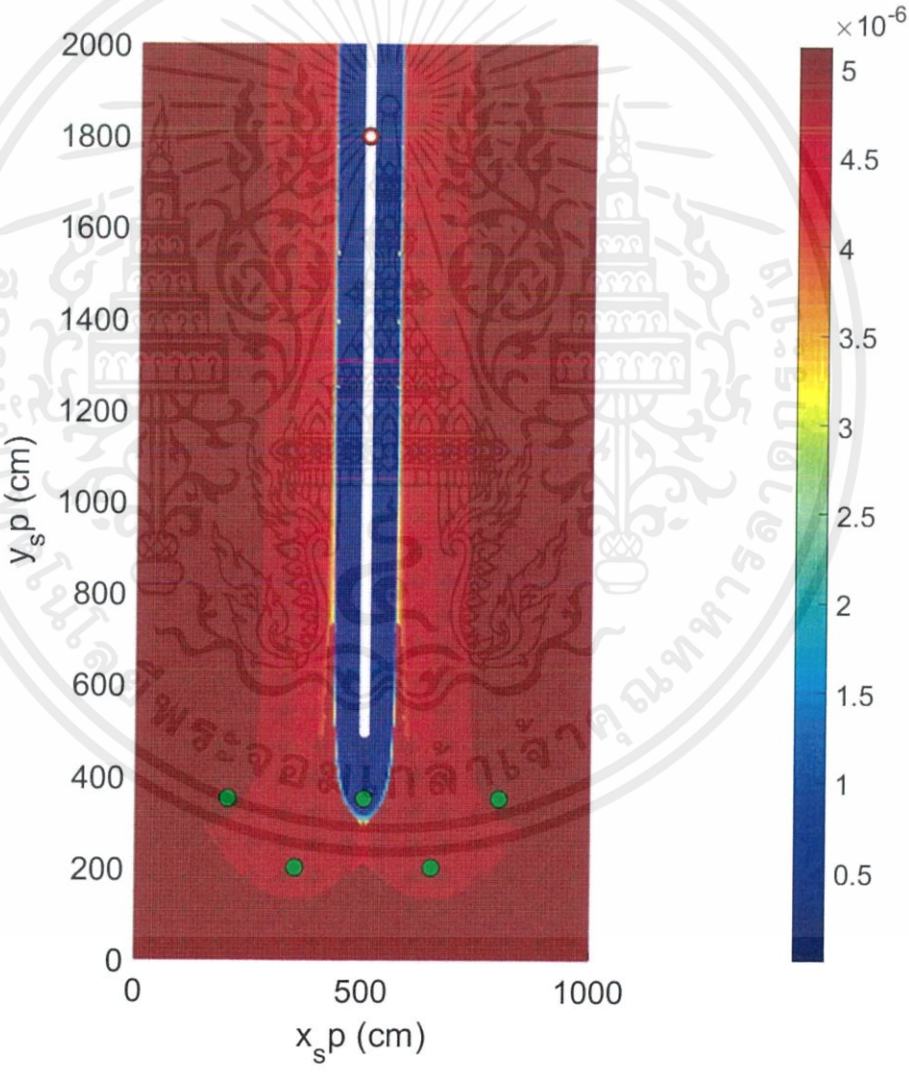
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (500,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (200,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (350,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (650,200)

พื้นที่สีขาว 0.37 % (0.75 m^2)



รูปที่ 4.61 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (800,350) , (500,350) , (200,350) , (350,200) , (650,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (950,350)

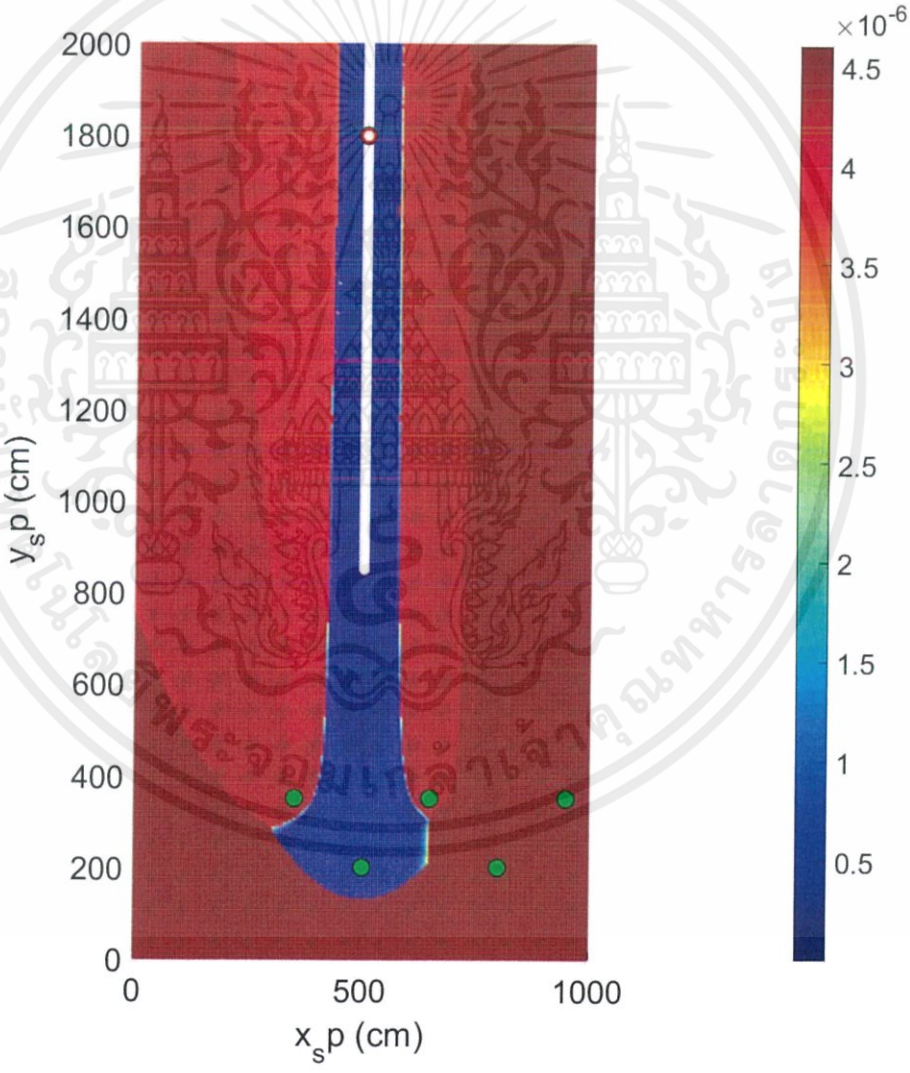
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (650,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (350,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (500,200)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (800,200)

พื้นที่สีขาว 0.29 % (0.58 m^2)



รูปที่ 4.62 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (950,350) , (650,350) , (350,350) , (500,200) , (800,200)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (350,200)

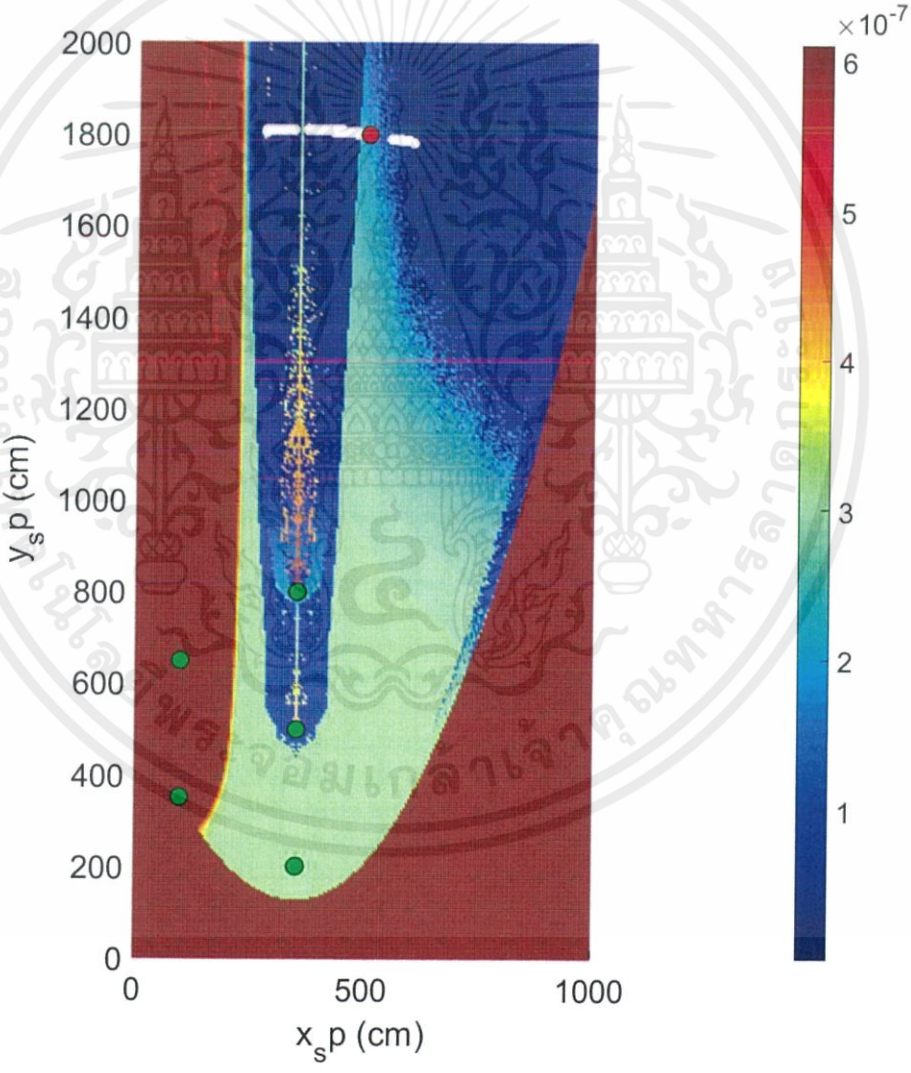
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (100,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (350,500)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (100,650)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (350,800)

พื้นที่สีขาว 0.06 % (0.13 m^2)



รูปที่ 4.63 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (350,200) , (100,350) , (350,500) , (100,650) , (350,800)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (350,200)

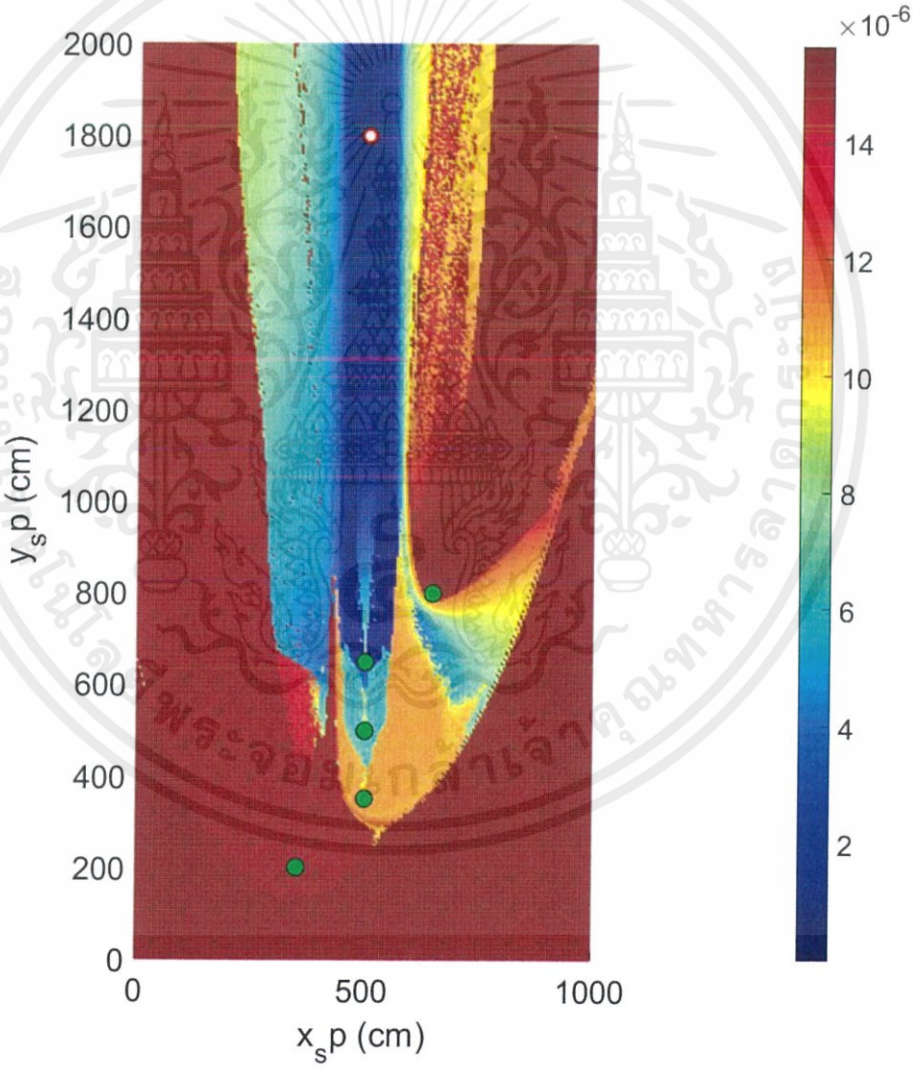
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (500,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (500,500)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (500,650)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (650,800)

พื้นที่สีขาว 0.01 % (0.00 m^2)



รูปที่ 4.64 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (350,200) , (500,350) , (500,500) , (500,650) , (650,800)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ตำแหน่ง (50,200)

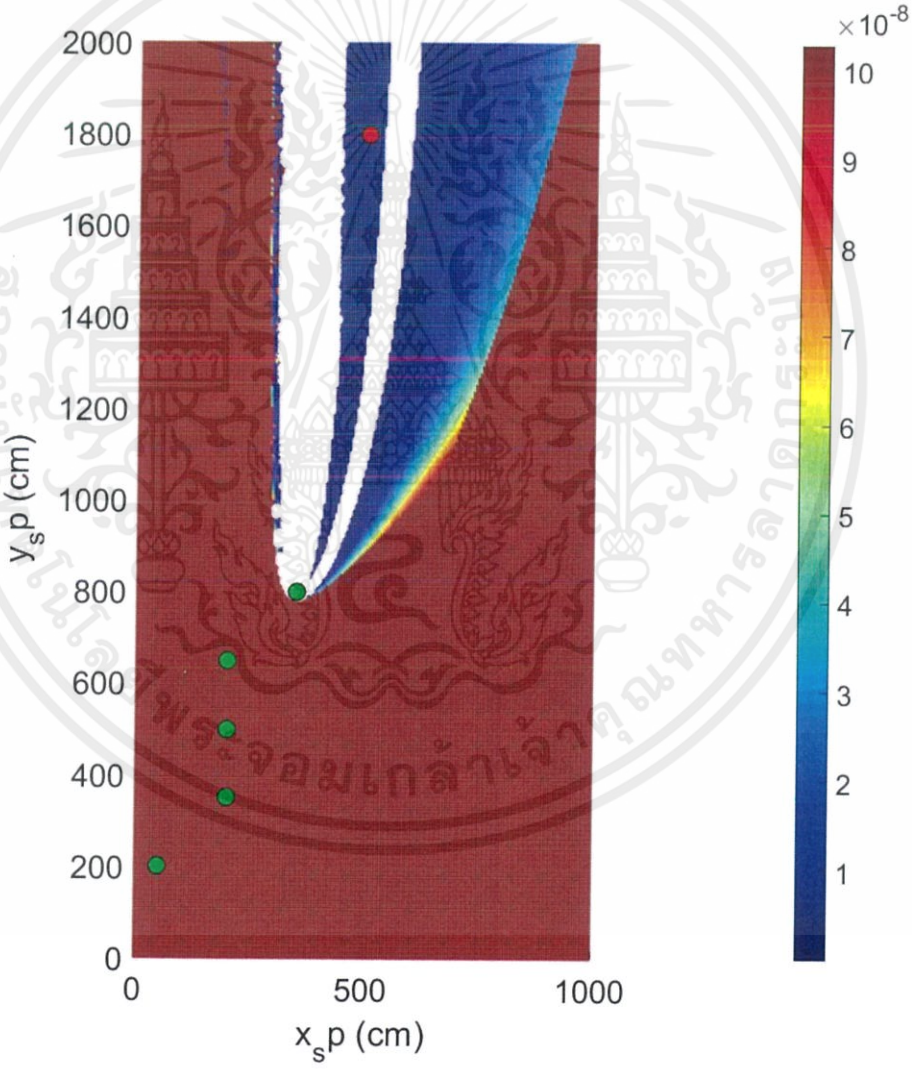
เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตำแหน่ง (200,350)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 3 ตำแหน่ง (200,500)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 4 ตำแหน่ง (200,650)

เซ็นเซอร์ตัวที่ 5 ตำแหน่ง (350,800)

พื้นที่สีขาว 7.71 % (15.53 m^2)



รูปที่ 4.65 การคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นเมื่อวางเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่ง (50,200) , (200,350) , (200,500) , (200,650) , (350,800)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองในรูปที่ 4.46 - 4.65 สรุปรวมได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของเซ็นเซอร์ 5 ตัว

ครั้งที่	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 1	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 2	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 3	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 4	ตำแหน่งเซ็นเซอร์ 5	พื้นที่สีขาว				เวลาที่ใช้คำนวณ (s)
						จำนวนจุด	%	พื้นที่ (m^2)	ระยะทางคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (m)	
1	(500,200)	(350,200)	(200,200)	(650,500)	(800,500)	3	0.00%	0.01	0.03	462.73
2	(500,200)	(350,200)	(200,200)	(650,200)	(800,200)	277	0.34%	0.69	5.20	549.96
3	(100,200)	(250,200)	(400,200)	(550,200)	(700,200)	120	0.15%	0.30	1.66	467.30
4	(500,500)	(350,350)	(200,200)	(650,650)	(800,800)	3	0.00%	0.01	0.03	458.12
5	(350,200)	(500,350)	(650,500)	(800,650)	(950,800)	4	0.00%	0.01	1.83	406.97
6	(350,800)	(500,650)	(650,500)	(800,350)	(950,200)	5	0.01%	0.01	2.31	457.60
7	(500,200)	(650,350)	(350,350)	(800,500)	(200,500)	305	0.38%	0.76	5.92	437.92
8	(650,400)	(800,350)	(500,350)	(950,500)	(350,500)	4	0.00%	0.01	1.83	444.97
9	(100,100)	(250,250)	(400,400)	(250,550)	(100,700)	106	0.13%	0.27	1.48	411.48
10	(500,500)	(650,350)	(800,200)	(350,350)	(200,200)	152	0.19%	0.38	2.31	503.07
11	(650,500)	(800,350)	(950,200)	(500,350)	(350,200)	4	0.00%	0.01	1.83	443.90
12	(100,400)	(250,250)	(400,100)	(250,550)	(400,700)	9	0.01%	0.02	0.11	504.33
13	(500,200)	(200,200)	(800,200)	(650,350)	(350,350)	198	0.25%	0.50	3.34	503.02
14	(650,200)	(350,200)	(950,200)	(800,350)	(500,350)	299	0.37%	0.75	5.73	528.54
15	(100,100)	(250,250)	(100,400)	(250,550)	(100,700)	2993	3.71%	7.48	8.09	407.26
16	(800,350)	(500,350)	(200,350)	(350,200)	(650,200)	298	0.37%	0.75	5.71	455.85
17	(950,350)	(650,350)	(350,350)	(500,200)	(800,200)	231	0.29%	0.58	4.10	458.00
18	(350,200)	(100,350)	(350,500)	(100,650)	(350,800)	51	0.06%	0.13	1.10	509.77
19	(350,200)	(500,350)	(500,500)	(500,650)	(650,800)	1	0.00%	0.00	0.00	428.70
20	(50,200)	(200,350)	(200,500)	(200,650)	(350,800)	6211	7.71%	15.53	3.89	427.38
เวลาที่ใช้ในการคำนวณเฉลี่ย = 463.34 s										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 รูปแบบการวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์ที่เหมาะสม

จากการทดลองที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 พบว่า เมื่อวางเซ็นเซอร์ในตำแหน่งที่เหมาะสม จะทำให้อัลกอริธึมที่พัฒนาขึ้นสามารถระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นได้ โดยรูปแบบการวางเซ็นเซอร์ที่สามารถคาดคะเนแหล่งกำเนิดกลิ่นได้แม่นยำที่สุดคือรูปแบบสามเหลี่ยมหน้าจั่ว

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.21, รูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.1 พบว่าการเรียงให้จุดยอดของสามเหลี่ยมหน้าจั่วหันเข้าหาแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยทำมุมเอียงกับทิศทางลมเล็กน้อย จะทำให้สามารถคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นได้แม่นยำมากกว่าการหันเข้าหาทิศทางลมโดยตรง โดยพิจารณาจากตารางที่ 4.1 จะพบว่าการหันจุดยอดของสามเหลี่ยมหน้าเข้าหาแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยทำมุมเอียงกับทิศทางลมเล็กน้อย จะให้ค่าระยะทางคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่น้อยกว่า

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจำนวนเซ็นเซอร์ที่ใช้ พบว่าการเพิ่มเซ็นเซอร์ที่ใช้จาก 3 ตัวเป็น 4 ตัวจะทำให้สามารถระบุตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ในขณะที่การเพิ่มเซ็นเซอร์ที่ใช้เป็น 5 ตัวจะทำให้ความถูกต้องและแม่นยำเพิ่มมากขึ้นจากกรณีใช้เซ็นเซอร์ 4 ตัวเล็กน้อย สำหรับเวลาที่ใช้ประมวลผลนั้น กรณีที่ใช้เซ็นเซอร์ 4 ตัวมีการใช้เวลาเพิ่มจากกรณีที่ใช้เซ็นเซอร์ 3 ตัวพอสมควร แต่กรณีที่ใช้เซ็นเซอร์ 5 ตัวมีการใช้เวลาเพิ่มจากกรณีที่ใช้เซ็นเซอร์ 4 ตัวไม่มากนัก

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. สมการการแพร่กระจายของกลิ่นที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นสมการอย่างง่ายที่สมมติว่า อัตราการปล่อยกลิ่น (q) , ความเร็วลม (U) , และ Diffusion coefficient (K) เป็นค่าคงที่ ทั้งนี้การประมวลผลด้วยสมการที่ซับซ้อนแต่มีความใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงมากขึ้นนั้นจำเป็นจะต้องทำการศึกษาต่อไป

2. การทดลองในโครงงานนี้แม้จะทำการทดลองถึง 64 รูปแบบแต่ผลที่ได้ระบุได้เพียงว่าการวางเซ็นเซอร์รูปแบบใดดีที่สุดในบรรดาที่ทดลองเท่านั้น ยังไม่สามารถหารูปแบบทั่วไป (General approach) สำหรับการหาแหล่งกำเนิดกลิ่นได้ ซึ่งกระบวนการวิจัยเพื่อหารูปแบบทั่วไปดังกล่าวนั้นเป็นสิ่งที่จะต้องดำเนินการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Y. Ariyakul et al., Simulation of Sensor Network For Odor Source Localization Using Numerical Optimization Technique, IEEJ Sensors and Micromachines (E) 2014, Tokyo, Japan, May 2014.

[2] Hiroshi Ishida , Takamichi Nakamoto, and Toyosaka Moriizumi : "Remote sensing of gas/odor source location and concentration distribution using mobile system", Sensors and Actuators, 49, p.52-57 (1998)

[3] J.O Hinze : "Turbulence", McGraw-Hill, New York (1975)

[4] R. Andrew Russell : "Odour detection by mobile robots" ,World scientific series in robotics and intelligent systems, p.69-116 (1999)

[5] Dusenbery, D.B., Sensory Ecology: How Organisms Acquire and Respond to Information, W.H. Freeman and Company, N.Y., 1992.

[6] Scorer, R.S., Environmental Aerodynamics, Ellis Horwood Ltd. Publisher, Chichester, 1978.

[7] Russell, R.A., "Laying and sensing ordor markings as a strategy for assisting mobile robot navigation tasks", IEEE Robotics & Automation Magazine, September 1995, pp. 3-9

[8] Ishida, H., Suetsugu, K., Nakamoto, T. and Moriizumi, T., "Study of automous mobile sensing system for localization of odor source using gas sensors and anemometric sensor", Sensors and Actuators A,Vol. 45, 1994, pp. 153-157.

[9] Ishida, H., Hayashi, K., Takakusaki, M., Nakomoto, T., Moriizumi, T., an Kanzaki, R., "Odour-source localization system mimicking behaviour of silkworrmoth", Sensors and Actuators A, Vol. 51, 1996, pp. 225-230.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับพล็อตกราฟจากค่าความเข้มข้นกลิ่นที่วัดได้

```
MeasuredIntensity = ...
[6020,4610,3510,131180,4690,4890,4560;
8740,9560,7380,62590,6510,9450,7730;
11540,11410,18530,28880,9280,10720,12910;
15910,14250,34090,25140,12180,13660,15190;
16810,16300,29440,26720,15430,17360,17450;
21250,24470,29470,27270,16840,16780,16800];
% Create x-y axis
[xx,yy] = meshgrid(0:71:426,0:71:355);
% Graphing
% คือปกติในการพลอตกราฟ ค่าในแกน y จะเพิ่มค่าของ row ใน matrix
% แต่ข้อมูลนี้ตรงกันข้าม เพราะต้องการพลอตโมเดลที่มีทิศทางการหันหน้า
% ตรงกับลักษณะของห้องจริงที่ไปวัด
% (คือต้องการให้ทิศทางของแกน y เพิ่มไปในทางที่ row ของ matrix ลด)
% จึงต้องทำการ flip y ก่อนวาดกราฟ
mesh(xx,flipud(yy),MeasuredIntensity)
xlabel('x (cm)','FontSize',14)
ylabel('y (cm)]','FontSize',14)
zlabel('Intensity (ppb)','FontSize',14)
clearvars -except MeasuredIntensity
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับอินเทอร์โพเลทค่าความเข้มข้นกลิ่นที่วัดได้แล้วทำการพล็อตกราฟ

```
MeasuredIntensity = ...
[6020,4610,3510,131180,4690,4890,4560;
8740,9560,7380,62590,6510,9450,7730;
11540,11410,18530,28880,9280,10720,12910;
15910,14250,34090,25140,12180,13660,15190;
16810,16300,29440,26720,15430,17360,17450;
21250,24470,29470,27270,16840,16780,16800];
% Create x-y axis
[xx,yy] = meshgrid(0:71:426,0:71:355);
% Create refined x-y axis for interpolation
[xxx,yyy] = meshgrid(0:1:426,0:1:355);
% Interpolation
InterpMeasuredIntensity = interp2(xx,yy,MeasuredIntensity,xxx,yyy);
% Graphing
mesh(xxx,flipud(yyy),InterpMeasuredIntensity)
xlabel('x (cm)','FontSize',14)
ylabel('y (cm)','FontSize',14)
zlabel('Intensity (ppb)','FontSize',14)
clearvars -except MeasuredIntensity InterpMeasuredIntensity
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับคำนวณค่าความเข้มข้นกลิ่นแล้วทำการพล็อตกราฟ

```
% q and K values from Ishida Sensei's thesis
q = 37.5/60; %[cm^3/s]
K = 15.2; %[cm^2/s]
% Data from experiment
U = 11.26; %[cm/s]
Theta = 90;
% Define position of the odor source
Xs = 213;
Ys = 400.75;
% Create x-y axis
[xx,yy] = meshgrid(0:71:426,0:71:355);
% Prepare a matrix for the answer
CalculatedIntensity = zeros(6,7);
num_rows = size(CalculatedIntensity,1);
num_cols = size(CalculatedIntensity,2);
% Calculation
for i=1:1:num_rows
    for j=1:1:num_cols
        CalculatedIntensity(i,j) = ((2*q/(4*pi*K))/sqrt((Xs-xx(i,j))^2 ...
        + (Ys-yy(i,j))^2))*exp(-(U/(2*K))*(sqrt((Xs-xx(i,j))^2 ...
        + (Ys-yy(i,j))^2) - ((Xs - xx(i,j))*cosd(Theta) ...
        + (Ys - yy(i,j))*sind(Theta))));
    end
end
% Graphing
mesh(xx,yy,CalculatedIntensity)
xlabel('x (cm)','FontSize',14)
ylabel('y (cm)','FontSize',14)
zlabel('Intensity (Arbitrary unit)','FontSize',14)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับอินเทอร์โพเลทค่าความเข้มข้นกลิ่นที่คำนวณได้แล้วทำการพล็อตกราฟ

```
CalculatedIntensity = [4.15993539394673e-14,1.81982107980021e-
09,1.59354472294738e-06,1.63298813790647e-05,1.59354472294738e-
06,1.81982107980021e-09,4.15993539394673e-14;1.31269296065975e-
15,3.56056314279816e-10,1.18085659402947e-06,1.98459437836548e-
05,1.18085659402947e-06,3.56056314279816e-10,1.31269296065975e-
15;1.00480880413142e-17,3.08982989563571e-11,7.05823377990695e-
07,2.52915940585900e-05,7.05823377990695e-07,3.08982989563571e-
11,1.00480880413142e-17;7.76760618344266e-21,6.00814778084721e-
13,2.66608205722370e-07,3.48559252338757e-05,2.66608205722370e-
07,6.00814778084721e-13,7.76760618344266e-21;1.37459434743676e-
25,5.76022820950058e-16,3.02079695935592e-08,5.60531046052263e-
05,3.02079695935592e-08,5.76022820950058e-16,1.37459434743676e-
25;6.19926292379298e-33,1.00703341474520e-21,4.58921861175951e-
11,0.000143042622134649,4.58921861175951e-11,1.00703341474520e-
21,6.19926292379298e-33];
% Create x-y axis
[xx,yy] = meshgrid(0:71:426,0:71:355);
% Create refined x-y axis for interpolation
[xxx,yyy] = meshgrid(0:1:426,0:1:355);
% Interpolation
InterpCalculatedIntensity = interp2(xx,yy,CalculatedIntensity,xxx,yyy);
% Graphing
mesh(xxx,yyy,InterpCalculatedIntensity)
xlabel('x (cm)','FontSize',14)
ylabel('y (cm)','FontSize',14)
zlabel('Intensity (Arbitrary unit)','FontSize',14)
clearvars -except CalculatedIntensity InterpCalculatedIntensity
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยใช้เซ็นเซอร์ 3 ตัว

```
tic;
% Constant taken from Ishida Sensei's thesis
q = 37.5/60; %[cm^3/s]
K = 15.2; %[cm^2/s]
U = 11.26; %[cm/s]
Theta = 90;
% Define the REAL position of the odor source
Xs = 500;
Ys = 1800;
% Define the initial odor source position
qi = 36;
Ki = 17;
% Define the location of Sensors used
S1_i = (100/5)+1;
S1_j = (400/5)+1;
S2_i = (500/5)+1;
S2_j = (400/5)+1;
S3_i = (300/5)+1;
S3_j = (600/5)+1;
% Create x-y axis (1cm scale)
[xxx,yyy] = meshgrid(0:5:1000,0:5:2000);
% create xs-ys axis for trying varying positions of Xs and Ys
[XXXs,YYYs] = meshgrid(0:5:1000,0:5:2000);
% Prepare a matrix for the answer
num_rows = size(yyy,1);
num_cols = size(xxx,2);
CalculatedIntensity = zeros(num_rows,num_cols);
IntensityError = zeros(num_rows,num_cols);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%The number of color spots in graph
%DeepBlueSpot = 0;
BlueSpot = 0;
SkySpot = 0;
GreenSpot = 0;
%Euclid error of Deep blue spots
ErrorAt = 0;
CumulativeError = 0;
AverageError = 0;
% Calculation of odor intensity at point (i,j) when odor source is
% placed at point (Xs,Ys)
for i=1:1:num_rows
    for j=1:1:num_cols
        d = sqrt((Xs-xxx(i,j))^2 + (Ys-yyy(i,j))^2);
        dx = (Xs-xxx(i,j))*cosd(Theta) + (Ys-yyy(i,j))*sind(Theta);
        CalculatedIntensity(i,j) = ((2*q/(4*pi*K))*exp(-(U/(2*K))*(d-dx)))/d;
    end
end
% Calculate Intensity Error
for is=1:1:num_rows
    for js=1:1:num_cols
% Specify number of Sensors used
        MainEquation = @(predict) ...
          abs(-1*CalculatedIntensity(S1_i,S1_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S1_i,S1_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S1_i,S1_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S1_i,S1_j))^2 +
(YYYs(is,js)-yyy(S1_i,S1_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S1_i,S1_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S1_i,S1_j))*sind(Theta))))) ...
        + abs(-1*CalculatedIntensity(S2_i,S2_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S2_i,S2_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S2_i,S2_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S2_i,S2_j))^2 +
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
(YYYs(is,js)-yyy(S2_i,S2_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S2_i,S2_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S2_i,S2_j))*sind(Theta))))) ...
        + abs(-1*CalculatedIntensity(S3_i,S3_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S3_i,S3_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S3_i,S3_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S3_i,S3_j))^2 +
(YYYs(is,js)-yyy(S3_i,S3_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S3_i,S3_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S3_i,S3_j))*sind(Theta))));
% Perform fminsearch
        [predict,fval] = fminsearch(MainEquation,[qi,Ki]);
        IntensityError(is,js) = fval;
    end
end
% Graphing
mesh(xxx,yyy,IntensityError)
hold on;
xlabel('x_sp (cm)','FontSize',20)
ylabel('y_sp (cm)','FontSize',20)
zlabel('Intensity Error (Arbitrary unit)','FontSize',12),
hold on;
plot3(XXXs(S1_i,S1_j),YYYs(S1_i,S1_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S2_i,S2_j),YYYs(S2_i,S2_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S3_i,S3_j),YYYs(S3_i,S3_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(Xs,Ys,0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',11)
hold on;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plot3(XXXs(S1_i,S1_j),YYYs(S1_i,S1_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S2_i,S2_j),YYYs(S2_i,S2_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S3_i,S3_j),YYYs(S3_i,S3_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(Xs,Ys,0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',11)
%Selecting acceptable spots
MinError = min(min(IntensityError));
MaxError = max(IntensityError(isfinite(IntensityError)));
Accept = sqrt(MinError);
AcceptSpot = 0;
   for is=1:1:num_rows
   for js=1:1:num_cols
%Selecting white spots
       if (((IntensityError(is,js) - MinError)/MinError) <= 1e3)
           AcceptSpot = AcceptSpot + 1;
           ErrorAt = sqrt(((Xs-XXXs(is,js))^2)+(((Ys-YYYs(is,js)))^2));
           CumulativeError = CumulativeError + ErrorAt;
           plot3(XXXs(is,js),YYYs(is,js),1e-5,'wo','MarkerFaceColor','white')
           hold on;
%Selecting blue spots
       elseif (((IntensityError(is,js) - MinError)/MinError) > 1e3 & IntensityError(is,js) <=
(MaxError/4))
           BlueSpot = BlueSpot + 1;
%Selecting light blue spots
       elseif (IntensityError(is,js) > (MaxError/4)) & (IntensityError(is,js) <= (MaxError/3))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            SkySpot = SkySpot + 1;
%Selecting green spots
        elseif (IntensityError(is,js) > (MaxError/3)) & (IntensityError(is,js) <= (MaxError/2))
            GreenSpot = GreenSpot + 1;
        end
    end
    end
%Average Euclid Error
AverageError = CumulativeError/AcceptSpot;
timeused = toc
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยใช้เซ็นเซอร์ 4 ตัว

```
tic;
% Constant taken from Ishida Sensei's thesis
q = 37.5/60; %[cm^3/s]
K = 15.2; %[cm^2/s]
U = 11.26; %[cm/s]
Theta = 90;
% Define the REAL position of the odor source
Xs = 500;
Ys = 1800;
% Define the initial odor source position
qi = 36;
Ki = 17;
% Define the location of Sensors used
S1_i = (200/5)+1;
S1_j = (300/5)+1;
S2_i = (200/5)+1;
S2_j = (500/5)+1;
S3_i = (200/5)+1;
S3_j = (700/5)+1;
S4_i = (400/5)+1;
S4_j = (500/5)+1;
% Create x-y axis (1cm scale)
[xxx,yyy] = meshgrid(0:5:1000,0:5:2000);
% create xs-ys axis for trying varying positions of Xs and Ys
[XXXs,YYYs] = meshgrid(0:5:1000,0:5:2000);
% Prepare a matrix for the answer
num_rows = size(yyy,1);
num_cols = size(xxx,2);
CalculatedIntensity = zeros(num_rows,num_cols);
IntensityError = zeros(num_rows,num_cols);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%The number of color spots in graph
%DeepBlueSpot = 0;
BlueSpot = 0;
GreenSpot = 0;
SkySpot = 0;
%Define DeepBluespot
Xn = max(max(xxx));
Yn = max(max(yyy));
%Euclid error of Deep blue spots
ErrorAt = 0;
CumulativeError = 0;
AverageError = 0;
% Calculation of odor intensity at point (i,j) when odor source is
% placed at point (Xs,Ys)
for i=1:1:num_rows
    for j=1:1:num_cols
        d = sqrt((Xs-xxx(i,j))^2 + (Ys-yyy(i,j))^2);
        dx = (Xs-xxx(i,j))*cosd(Theta) + (Ys-yyy(i,j))*sind(Theta);
        CalculatedIntensity(i,j) = ((2*q/(4*pi*K))*exp(-(U/(2*K))*(d-dx)))/d;
    end
end
% Calculate Intensity Error
for is=1:1:num_rows
    for js=1:1:num_cols
% Specify number of Sensors used
        MainEquation = @(predict) ...
          abs(-1*CalculatedIntensity(S1_i,S1_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S1_i,S1_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S1_i,S1_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S1_i,S1_j))^2 +
(YYYs(is,js)-yyy(S1_i,S1_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S1_i,S1_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S1_i,S1_j))*sind(Theta))))) ...
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        + abs(-1*CalculatedIntensity(S2_i,S2_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S2_i,S2_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S2_i,S2_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S2_i,S2_j))^2 +
(YYYs(is,js)-yyy(S2_i,S2_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S2_i,S2_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S2_i,S2_j))*sind(Theta))))) ...
        + abs(-1*CalculatedIntensity(S3_i,S3_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S3_i,S3_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S3_i,S3_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S3_i,S3_j))^2 +
(YYYs(is,js)-yyy(S3_i,S3_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S3_i,S3_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S3_i,S3_j))*sind(Theta))))) ...
        + abs(-1*CalculatedIntensity(S4_i,S4_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S4_i,S4_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S4_i,S4_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S4_i,S4_j))^2 +
(YYYs(is,js)-yyy(S4_i,S4_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S4_i,S4_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S4_i,S4_j))*sind(Theta))));
% Perform fminsearch
        [predict,fval] = fminsearch(MainEquation,[qi,Ki]);
        IntensityError(is,js) = fval;
    end
end
% Graphing
mesh(xxx,yyy,IntensityError)
hold on;
xlabel('x_sp (cm)','FontSize',20)
ylabel('y_sp (cm)','FontSize',20)
zlabel('Intensity Error (Arbitrary unit)','FontSize',12),
hold on;
plot3(XXXs(S1_i,S1_j),YYYs(S1_i,S1_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plot3(XXXs(S2_i,S2_j),YYYs(S2_i,S2_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S3_i,S3_j),YYYs(S3_i,S3_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S4_i,S4_j),YYYs(S3_i,S3_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(Xs,Ys,0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S1_i,S1_j),YYYs(S1_i,S1_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S2_i,S2_j),YYYs(S2_i,S2_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S3_i,S3_j),YYYs(S3_i,S3_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S4_i,S4_j),YYYs(S4_i,S4_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(Xs,Ys,0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',11)
%Selecting acceptable spots
MinError = min(min(IntensityError));
MaxError = max(IntensityError(isfinite(IntensityError)));
AcceptSpot = 0;
   for is=1:1:num_rows
   for js=1:1:num_cols
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%Selecting white spots
        if (((IntensityError(is,js) - MinError)/MinError) <= 1e3)
            AcceptSpot = AcceptSpot + 1;
            ErrorAt = sqrt(((Xs-XXXs(is,js))^2)+(((Ys-YYYs(is,js)))^2));
            CumulativeError = CumulativeError + ErrorAt;
            plot3(XXXs(is,js),YYYs(is,js),1e-5,'wo','MarkerFaceColor','white')
            hold on;
%Selecting blue spots
        elseif (((IntensityError(is,js) - MinError)/MinError) > 1e3 & IntensityError(is,js) <=
(MaxError/4))
            BlueSpot = BlueSpot + 1;
%Selecting light blue spots
        elseif (IntensityError(is,js) > (MaxError/4)) & (IntensityError(is,js) <= (MaxError/3))
            SkySpot = SkySpot + 1;
%Selecting green spots
SkySpot = SkySpot + 1;
        elseif (IntensityError(is,js) > (MaxError/3)) & (IntensityError(is,js) <= (MaxError/2))
            GreenSpot = GreenSpot + 1;
        end
    end
    end
%Average Euclid Error
AverageError = CumulativeError/AcceptSpot;
timeused = toc
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสำหรับคาดคะเนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดกลิ่นโดยใช้เซ็นเซอร์ 5 ตัว

```
tic;
% Constant taken from Ishida Sensei's thesis
q = 37.5/60; %[cm^3/s]
K = 15.2; %[cm^2/s]
U = 11.26; %[cm/s]
Theta = 90;
% Define the REAL position of the odor source
Xs = 500;
Ys = 1800;
% Define the initial odor source position
qi = 36;
Ki = 17;
% Define the location of Sensors used
S1_i = (200/5)+1;
S1_j = (500/5)+1;
S2_i = (200/5)+1;
S2_j = (350/5)+1;
S3_i = (200/5)+1;
S3_j = (200/5)+1;
S4_i = (500/5)+1;
S4_j = (650/5)+1;
S5_i = (500/5)+1;
S5_j = (800/5)+1;
% Create x-y axis (1cm scale)
[xxx,yyy] = meshgrid(0:5:1000,0:5:2000);
% create xs-ys axis for trying varying positions of Xs and Ys
[XXXs,YYYs] = meshgrid(0:5:1000,0:5:2000);
% Prepare a matrix for the answer
num_rows = size(yyy,1);
num_cols = size(xxx,2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
CalculatedIntensity = zeros(num_rows,num_cols);
IntensityError = zeros(num_rows,num_cols);
%The number of color spots in graph
%DeepBlueSpot = 0;
BlueSpot = 0;
GreenSpot = 0;
SkySpot = 0;
%Define DeepBluespot
Xn = max(max(xxx));
Yn = max(max(yyy));
%Euclid error of Deep blue spots
ErrorAt = 0;
CumulativeError = 0;
AverageError = 0;
% Calculation of odor intensity at point (i,j) when odor source is
% placed at point (Xs,Ys)
for i=1:1:num_rows
    for j=1:1:num_cols
        d = sqrt((Xs-xxx(i,j))^2 + (Ys-yyy(i,j))^2);
        dx = (Xs-xxx(i,j))*cosd(Theta) + (Ys-yyy(i,j))*sind(Theta);
        CalculatedIntensity(i,j) = ((2*q/(4*pi*K))*exp(-(U/(2*K))*(d-dx)))/d;
    end
end
% Calculate Intensity Error
for is=1:1:num_rows
    for js=1:1:num_cols
% Specify number of Sensors used
        MainEquation = @(predict) ...
          abs(-1*CalculatedIntensity(S1_i,S1_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S1_i,S1_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S1_i,S1_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S1_i,S1_j))^2 +
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
(YYYs(is,js)-yyy(S1_i,S1_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S1_i,S1_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S1_i,S1_j))*sind(Theta))))) ...
        + abs(-1*CalculatedIntensity(S2_i,S2_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S2_i,S2_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S2_i,S2_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S2_i,S2_j))^2 +
(YYYs(is,js)-yyy(S2_i,S2_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S2_i,S2_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S2_i,S2_j))*sind(Theta))))) ...
        + abs(-1*CalculatedIntensity(S3_i,S3_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S3_i,S3_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S3_i,S3_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S3_i,S3_j))^2 +
(YYYs(is,js)-yyy(S3_i,S3_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S3_i,S3_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S3_i,S3_j))*sind(Theta))))) ...
        + abs(-1*CalculatedIntensity(S4_i,S4_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S4_i,S4_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S4_i,S4_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S4_i,S4_j))^2 +
(YYYs(is,js)-yyy(S4_i,S4_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S4_i,S4_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S4_i,S4_j))*sind(Theta))))) ...
        + abs(-1*CalculatedIntensity(S5_i,S5_j) +
((2*predict(1)/(4*pi*predict(2)))/sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S5_i,S5_j))^2 + (YYYs(is,js)-
yyy(S5_i,S5_j))^2))*exp(-(U/(2*predict(2)))*(sqrt((XXXs(is,js)-xxx(S5_i,S5_j))^2 +
(YYYs(is,js)-yyy(S5_i,S5_j))^2) - ((XXXs(is,js) - xxx(S5_i,S5_j))*cosd(Theta) + (YYYs(is,js) -
yyy(S5_i,S5_j))*sind(Theta)))));
% Perform fminsearch
        [predict,fval] = fminsearch(MainEquation,[qi,Ki]);
        IntensityError(is,js) = fval;
    end
end
% Graphing
mesh(xxx,yyy,IntensityError)
hold on;
xlabel('x_sp (cm)','FontSize',20)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ylabel('y_sp (cm)','FontSize',20)
zlabel('Intensity Error (Arbitrary unit)','FontSize',12),
hold on;
plot3(XXXs(S1_i,S1_j),YYYs(S1_i,S1_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S2_i,S2_j),YYYs(S2_i,S2_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S3_i,S3_j),YYYs(S3_i,S3_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S4_i,S4_j),YYYs(S4_i,S4_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S5_i,S5_j),YYYs(S5_i,S5_j),0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFac
eColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(Xs,Ys,0,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S1_i,S1_j),YYYs(S1_i,S1_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S2_i,S2_j),YYYs(S2_i,S2_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S3_i,S3_j),YYYs(S3_i,S3_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(XXXs(S4_i,S4_j),YYYs(S4_i,S4_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
hold on;
plot3(XXXs(S5_i,S5_j),YYYs(S5_i,S5_j),0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','green','MarkerSize',11)
hold on;
plot3(Xs,Ys,0.5*10^-
4,'o','LineWidth',1,'MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',11)
%Selecting acceptable spots
MinError = min(min(IntensityError));
MaxError = max(IntensityError(isfinite(IntensityError)));
AcceptSpot = 0;
   for is=1:1:num_rows
   for js=1:1:num_cols
%Selecting white spots
       if (((IntensityError(is,js) - MinError)/MinError) <= 1e3)
          AcceptSpot = AcceptSpot + 1;
          ErrorAt = sqrt(((Xs-XXXs(is,js))^2)+(((Ys-YYYs(is,js)))^2));
          CumulativeError = CumulativeError + ErrorAt;
          plot3(XXXs(is,js),YYYs(is,js),1e-5,'wo','MarkerFaceColor','white')
          hold on;
%Selecting blue spots
       elseif (((IntensityError(is,js) - MinError)/MinError) > 1e3 & IntensityError(is,js) <=
(MaxError/4))
          BlueSpot = BlueSpot + 1;
%Selecting light blue spots
       elseif (IntensityError(is,js) > (MaxError/4)) & (IntensityError(is,js) <= (MaxError/3))
          SkySpot = SkySpot + 1;
%Selecting green spots
       elseif (IntensityError(is,js) > (MaxError/3)) & (IntensityError(is,js) <= (MaxError/2))
          GreenSpot = GreenSpot + 1;
       end
   end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    end
%Average Euclid Error
AverageError = CumulativeError/AcceptSpot;
timeused = toc
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้