

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาและพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นเครือข่ายเฝ้าระวังการ
แพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

DEVELOPMENT OF ELECTRONIC NOSES AS MONITORING
NETWORK FOR DIFFUSION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS



วท.
ค/199ก
2558
เลขหมู่..... 142772
เลขทะเบียน.....
รับเดือนปี 30 พ.ค. 2559

b.12780698
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558

KMITL-2015-NT-M-001-005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF ELECTRONIC NOSES AS MONITORING
NETWORK FOR DIFFUSION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY
COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและพัฒนาจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นเครือข่ายเฝ้าระวังการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

Thesis Title Development of Electronics Nose as Monitoring Network for Diffusion of Volatile Organic Compounds

นักศึกษา นายอนุรักษ์ สีดา

รหัสประจำตัว 53670201

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สิริพัฒน์ ประโทนเทพ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-NT-M-001-005

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร.เบญจพล	ต้นฮู้	
ร.สิริพัฒน์	ประโทนเทพ	
ผ.ประภาช	อุคคกิม่าพันธ์	
ศ.ดร.ดารินี	พรหมโยธิน	
ร.วรวรรณา	เลาวกุล	

สอบ / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2558 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ อาคารวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ห้องประชุม ชั้น 2
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังรับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชิต จารุรวาวัฒน์)

คณบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวันที่ 25 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558 ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาและพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นเครือข่ายเฝ้าระวังการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย
นักศึกษา	นายอนุรักษ์ สีดา
รหัสประจำตัว	5567204
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.สิรพัฒน์ ประโทนเทพ

บทคัดย่อ

ปัญหาการแพร่กระจายของกลิ่นสารเคมีจากอุตสาหกรรมต่างๆได้ส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ จังหวัดระยอง ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วไหลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทำให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นเทคนิคขั้นสูงที่มีความยุ่งยากซับซ้อนต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน และเครื่องมือมีราคาแพง จมูกอิเล็กทรอนิกส์เป็นเครื่องมือตรวจวัดกลิ่นโดยการใช้แก๊สเซ็นเซอร์ที่มีโครงสร้างของพื้นผิววัสดุนาโนหลายชนิดมาประกอบกัน แล้วทำการประมวลผลด้วยการจัดจํารูปแบบการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ต่อสารแต่ละชนิดด้วยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis PCA) ทำให้มีราคาถูกใช้งานง่ายสะดวกและรวดเร็วกว่าเครื่องมือวัดทางด้านสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้เป็นการสร้างจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยแก๊สเซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ที่มีขายในเชิงพาณิชย์ 7 ชนิด โดยมีวัตถุประสงค์ในระยะยาวในการพัฒนาการเฝ้าระวังด้านสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ ที่ใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น ให้เป็นเครือข่ายจมูกอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่สองประเด็นคือ (1) การพัฒนาการตรวจวัดการแพร่ใน มิติของสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ 3 เครื่อง วางในอุโมงค์ที่ระยะ 1 เมตร 3 เมตร 5 เมตร ตามลำดับ แล้วทดสอบการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ อะซิโตน, โทลูอินและอะซิโตนผสม โทลูอิน ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างของอัตราการแพร่กระจายของอะซิโตนเร็วกว่าของโทลูอินเล็กน้อย ส่วนสารผสมระหว่างอะซิโตนกับโทลูอินจมูกอิเล็กทรอนิกส์ยังไม่สามารถแยกด้วยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักได้อย่างชัดเจน (2) การลดขั้นตอนการสอบเทียบให้กับเครือข่ายจมูกอิเล็กทรอนิกส์ใช้ วิธีการเทียบโอนข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายและสารผสม โดยใช้วิธีการแปลงเชิงเส้น ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะสามารถถ่ายโอนฐานข้อมูลได้ถูกต้องจำเป็นต้องทำการวัดการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์เฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สนใจอย่างน้อยหนึ่งครั้งที่ต้องการถ่ายโอนให้กับจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องอื่น การวิจัยครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่นำไปสู่การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีที่ใช้ได้จริงเป็นเครือข่ายจุมุกอเล็กทรอนิกส์เพื่อตอบปัญหาให้กับภาคอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : จุมุกอเล็กทรอนิกส์, สารอินทรีย์ระเหยง่าย, การแพร่, การถ่ายโอนฐานข้อมูลสารเคมี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Development of an electronic nose to the network monitoring for the Diffusion of Volatile Organic Compound.
Student	Mr.Anooruk Seeda
Student ID.	5567204
Degree	MASTER OF SCIENCE
Program	Nanoscience and Nanotechnology
Year	2015
Thesis Advisor	Dr. Sirapat Pratontep

ABSTRACT

The diffusion of odorous chemicals from the industry has an impact on the surrounding community. In Rayong province, for example, this is mostly due to leakages of volatile organic compounds (VOC) in the petrochemical industry, leading to potentials environmental and health problems. The VOC analysis in air is technically advanced with requirements of specialists and expensive tools. An electronic nose (E-nose) is an odor detection system, generally with nanostructured gas sensors of many different types, then data-processed using pattern recognition analysis such as the principal component analysis (PCA). It is low-cost, yet easy to use and capable of rapid analysis. This research has been aimed to construct E-noses consisting of metal oxide semiconductor gas sensors of seven commercially available types, with a long term objective to develop a large scale environmental monitoring of VOC with a network of home-built electronic noses to nose electronic network. This work has focused on two issues. First, the measurement of diffusion of VOCs in one dimension was investigated using three electronic noses located in a tunnel at 1, 3, and 5 meters. The diffusion of various VOCs, including acetone, toluene and acetone mixture of toluene, was studied. The results indicate that the E-nose can demonstrate the higher rate of diffusion of acetone than the toluene. However, a mixture of acetone and toluene cannot be separated clearly by the principal component analysis. Secondly, in order to reduce the work for calibration of a large number E-nose units in the network, a method to transfer VOC calibration data of many different VOCs and their mixtures from one E-nose to another is explored using linear transformation methods. The results indicate that an accurate transfer of the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ด้วยอำนาจหน้าที่ของวารสารวิชาการฯ ไม่สามารถนำออกนอกระบบไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

calibration data requires at least one measurement of the average response of each new gas sensor to each VOC in the set, which will enable a transfer of the rest of the calibration data from the VOC mixtures. With a complete work, this investigation will demonstrate an application of nanotechnology with a network of E-noses to investigate issues of real concerns to the industrial and the environmental sectors.

Keywords: Electronic nose, Volatile organic compounds, Diffusion, Chemical database transfer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ดร.สิรพัฒน์ ประโทนเทพ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ดูแลให้คำแนะนำด้านการในการทำวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและการแก้ไข วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ขึ้น รวมทั้งอาจารย์ที่วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี พระจอมเกล้าลาดกระบังที่ ถ่ายทอดความรู้คำแนะนำ และการแก้ปัญหาต่างๆในงานวิจัยนี้

ขอบคุณดร.วรรณมา เลาวกุล นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้าน สิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ขึ้น

ขอบคุณผศ.โกศล ตราชู และ อ.สุจินต์ ว่างสุขะ ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนะนำ เครื่องมือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาโดยตลอดงานวิจัยนี้

ขอบคุณบริษัท แอดวานซ์ เอ็มเบ็ดเด็ด โซลูชัน จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความที่ทำงานและให้ใช้เครื่องมือ ในการพัฒนาจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอบคุณว่าที่ร้อยตรี ดิเรกฤทธิ์ จันทร์วงษ์ และพี่น้องเจ้าหน้าที่แม่บ้าน ในวิทยาลัยนาโน เทคโนโลยี พระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่คอยดูแลช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอบคุณนส.กนกสุดา เกรียงนรงค์เดช และครอบครัวที่ช่วยเป็นกำลังใจและดูแลด้านต่างๆมาโดย ตลอด

ขอบคุณบิดา มารดา น้องสาว ครอบครัวและญาติพี่น้องที่ให้โอกาส และกำลังใจที่ดีสนับสนุน การทำวิทยานิพนธ์นี้โดยมาตลอด

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์และผู้ทรงคุณวุฒิที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ได้ถ่ายทอด ประสบการณ์ความรู้และทักษะอันมีค่า มาบูรณาการเป็นงานวิจัยจุ่มอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นเครือข่าย เฝ้าระวังการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย หวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะ ก่อให้เกิด ประโยชน์ต่อการศึกษาและต่อยอดความคิดการวิจัยต่อไปในอนาคต

อนุรัักษ์ สีดา

พฤศจิกายน 2558

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 รายละเอียดของงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย(Volatile Organic Compounds).....	5
2.1.1 ผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ต่อสิ่งแวดล้อม.....	6
2.1.2 ผลของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่มีต่อสุขภาพ.....	7
2.2 การแพร่ของแก๊สและกฎการแพร่ของเกรแฮม.....	7
2.2.1 การแพร่ (diffusion)	7
2.2.2 การแพร่ผ่าน (effusion)	7
2.2.3 กฎการแพร่ของเกรแฮม	8
2.2.4 อัตราการแพร่ (Rate of Diffusion)	8
2.3 จมูกอิเล็กทรอนิกส์.....	9
2.3.1 การทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์.....	10
2.4 ทฤษฎีตัวตรวจรู้และแก๊สเซ็นเซอร์	10
2.4.1 คุณสมบัติที่สำคัญประจำตัวเซ็นเซอร์.....	10
2.4.2 เซ็นเซอร์รับกลืน	12
2.4.3 แก๊สเซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์.....	12
2.4.4 โครงสร้างของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์	13
2.4.5 การทำงานของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์	14

สารบัญ

หน้า

2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis).....	15
2.6 การวัดระยะทางแบบยุคลิด.....	17
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา.....	26
3.1 การวิเคราะห์เลือกอุปกรณ์และการออกแบบสร้างจมูกอิเล็กทรอนิกส์.....	27
3.1.1 แก๊สเซ็นเซอร์	27
3.1.2 เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น.....	27
3.1.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ADC.....	28
3.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU)	29
3.1.5 ระบบระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม GPS.....	29
3.1.6 SD Card	30
3.1.7 จอแสดงผลแบบสัมผัส	30
3.1.8 ภาควัดไฟและแบตเตอรี่	31
3.1.9 การออกแบบโครงสร้างห้องเซ็นเซอร์และระบบดูดอากาศ.....	32
3.2 การออกแบบวงจรเซ็นเซอร์	33
3.2.1 วงจรที่มีแรงดัน VC กับ VH (Heater) คงที่	31
3.2.2 วงจรที่มีแรงดัน VC กับ VH (Heater) กระตุ่น.....	33
3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา.....	37
บทที่ 4 การตรวจสอบการแพร่กระจายของสารระเหยอินทรีย์ในหนึ่งมิติด้วยอาร์เรย์จมูกอิเล็กทรอนิกส์.....	40
4.1 ความสำคัญของงานวิจัย.....	40
4.2 อุปกรณ์และสารเคมี	41
4.3 ขั้นตอนการทดลองการเตรียมการทดลองการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่าย.....	43
4.4 ผลการทดลอง.....	44
บทที่ 5 การถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างจมูกอิเล็กทรอนิกส์.....	49
5.1 ความสำคัญของงานวิจัย.....	49
5.2 แนวคิดของการถ่ายโอนฐานข้อมูล.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
5.3 วิธีสร้างการถ่ายโอนฐานข้อมูลให้จุมูกอิเล็กทรอนิกส์.....	51
5.4 อุปกรณ์และสารเคมี.....	53
5.5 ขั้นตอนการทดลอง.....	54
5.6 ผลการทดลอง	56
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	71
เอกสารอ้างอิง.....	73
ภาคผนวก.....	75
ประวัติผู้เขียน	99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 เทคโนโลยีของเซ็นเซอร์รับกลิ่นประเภทต่างๆ.....	12
2-2 แสดงค่าผิดพลาดการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยเครือข่ายประสาทด้วยวิธีต่างๆ.....	23
2-3 แสดงปริมาณของส่วนผสมในสารอินทรีย์ระเหยง่าย	24
2-4 แสดงการกำหนดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายผสม	25
3-1 เซ็นเซอร์สำหรับใช้ในการตรวจวัดคุณภาพอากาศ.....	25
4-1 มวลโมเลกุลและจุดเดือดของอะซิโตนและโทลูอีน.....	43
5-1 แสดงค่า R_2 การตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารอะซิโตน (Ace)	57
5-2 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน (SD Error) จากวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารอะซิโตน (Ace) ซ้ำ 3 ครั้ง.....	57
5-3 แสดงค่า R_2 การตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารโทลูอีน (Tol)	59
5-4 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน (SD Error) จากวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารโทลูอีน (Tol) ซ้ำ 3 ครั้ง.....	59
5-5 แสดงค่า R_2 การตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอร์มาร์ไมด์ 50% (mix)	61
5-6 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน (SD Error) จากวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอร์มาร์ไมด์ 50% (Mix) ซ้ำ 3 ครั้ง.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนผังรายละเอียดของงานวิจัย.....	4
2.3 หลักการทำงานของจุ่มกึ่งตัวนำทรานซิสต์ และการรับรู้กลิ่นของมนุษย์.....	9
2.4 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor รุ่นต่างๆ.....	12
2.4.1 โครงสร้างภายในของแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์.....	13
2.4.2 แบบจำลองอธิบายศักยภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะ.....	13
2.5 แผนภาพลำดับขั้นการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก.....	15
2.7.1 แผนผังแสดงการทดลองการวัดความสดของปลาชาร์ดิน.....	18
2.7.2 การตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ทั้งหกชนิด.....	18
2.7.3 PCA Scores plot ข้อมูลความสดของปลาชาร์ดินจากแก๊สเซ็นเซอร์หกชนิด.....	19
2.7.4 ชุดการทดลองของจุ่มกึ่งตัวนำทรานซิสต์ในการระบุยี่ห้อสุรา.....	19
2.7.5 ผลการจำแนกชนิดสุราด้วยการวิเคราะห์ PCA.....	20
2.7.6 ข้อมูลระดับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่บันทึกได้จากชุดเซ็นเซอร์.....	20
2.7.7 จุ่มกึ่งตัวนำทรานซิสต์แบบพกพาที่สร้างขึ้น.....	21
2.7.8 แผนผังการทดลองกับระบบจุ่มกึ่งตัวนำทรานซิสต์.....	22
2.7.9 ผลการตรวจของตัวอย่างสารฟอร์มาลดีไฮด์.....	22
2.7.10 ผลการตรวจของตัวอย่างสารเบนซีน.....	22
2.7.11 ระบบการทำงานของ ADuC831 สมองกลฝังตัวของจุ่มกึ่งตัวนำทรานซิสต์.....	23
2.7.12 การตอบสนองเซ็นเซอร์ชั่วคราวของสารผสมเอทานอล 60% และเมทานอล 100%.....	24
2.7.13 แสดง PCA Score plot ของ e คือแอลกอฮอล์ผสมน้ำ, m คือเมทานอลผสมน้ำ, em คือแอลกอฮอล์ผสมเมทานอล และตัวเลขค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารผสมกับน้ำ.....	25
3.1 แผนภาพระบบจุ่มกึ่งตัวนำทรานซิสต์แบบพกพา.....	26
3.1.1 แก๊สเซ็นเซอร์ในจุ่มกึ่งตัวนำทรานซิสต์แบบพกพา.....	27
3.1.2 เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น SHT15.....	28
3.1.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล.....	28
3.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และวงจร MCU ARM7 TDMI.....	29
3.1.5 Module GPS และสายอากาศ GPS.....	29
3.1.6 SD Card Module และ SD Card.....	30
3.1.7 จอแสดงผลแบบสัมผัส.....	31
3.1.8 ภาคจ่ายไฟแบบสวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลาย.....	31
3.1.9 แบตเตอรี่ Lithium-Ion (Li-Ion)	31
3.1.10 ห้องเซ็นเซอร์และระบบดูดอากาศ.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.2.1 วงจรของแก๊สเซ็นเซอร์ที่พร้อมใช้งาน.....	33
3.2.2 แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์.....	33
3.2.3 ความต้านทานตอบสนองไอสารเคมีต่างๆต่อความต้านทานในอากาศ Rs/Roของเซ็นเซอร์.....	34
3.2.4 วงจรของแก๊สเซ็นเซอร์ที่มีแรงดัน VC กับ VH (Heater) กระตุ้น.....	34
3.2.5 สัญญาณกระตุ้นของแก๊สเซ็นเซอร์ที่มีแรงดัน VC กับ VH (Heater) กระตุ้น.....	35
3.2.6 แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ รุ่น TGS 2444.....	35
3.2.7 ความต้านทานตอบสนองไอสารเคมีต่างๆต่อความต้านทานในอากาศ Rs/Roของเซ็นเซอร์ TGS 2444.....	36
3.3 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา.....	37
4.2.1 จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา.....	41
4.2.2 อุโมงค์ปลายเปิด 2 ด้าน.....	42
4.2.3 เครื่องชั่ง.....	42
4.2.4 พัดลม.....	42
4.2.5 ตลับเมตร.....	42
4.2.6 สารเคมี อะซีโตน โทลูอิน และสารผสมอะซีโตน50%กับโทลูอิน50%.....	42
4.3 แผนภาพขั้นตอนการทดลองการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่าย.....	43
4.4.1 การตอบสนองอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์ภายในจมูกอิเล็กทรอนิกส์.....	45
4.4.2 การตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ TGS825 กับ อะซีโตน, โทลูอิน และสารผสมอะซีโตน 50% โทลูอิน 50% ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ตำแหน่ง 1 เมตร.....	46
4.4.3 การตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ TGS825 กับ อะซีโตน, โทลูอิน และสารผสมอะซีโตน50% โทลูอิน50% ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ตำแหน่ง 1,3,5 เมตร.....	46
4.4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) จากจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่ตำแหน่ง 1 เมตร โดยมี Background เป็นอากาศรอบๆเป็นอากาศอ้างอิงและมีผลของสารผสมอะซีโตน 50% โทลูอิน 50% เทียบกับ สารอะซีโตน และสารโทลูอินตามเวลา.....	44
5.2.1 แนวคิดของการถ่ายโอนฐานข้อมูลด้วยการสร้างสมการการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Transformation Function of Sensors).....	50
5.2.2 การทดสอบการถ่ายโอนฐานข้อมูลด้วยการสร้างสมการการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Transformation Function of Sensors) และวิเคราะห์แพทเทิร์นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักPrincipal Component Analysis (PCA) score plot.....	51
5.3.1 ขั้นตอนสำหรับการถ่ายโอนฐานข้อมูลจากจมูกอิเล็กทรอนิกส์ PCA ของ (Nose_A) และ (Nose_B).....	52

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
5.4.1 ระบบในการถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างจุ่มอิเล็กทรอนิกส์.....	53
5.5 แผนภาพขั้นตอนการทดลองการถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างจุ่ม.....	54
5.5.1 กราฟการตอบสนองของชุดแก๊สเซ็นเซอร์ในแต่ละรอบการวัด.....	55
5.6.1 ผลการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ TGS 2610 กับสารอินทรีย์ระเหยง่ายของจุ่มอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) และเครื่องที่ถ่ายโอน (Nose_B) อะซีโตน (Ace), เบนซิน (Ben), ไดคลอโรมีเทน (DCM), ไดเมทิลฟอร์มาไรด์ (DMF), เอทานอล (Etn), สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% ไดเมทิลฟอร์มาไรด์ 50% (Mix), โทลูอิน (Tol).....	51
5.6.2 ผลการตอบสนองของจุ่มอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารอะซีโตนทั้ง 3 ครั้ง.....	58
5.6.3 ผลการตอบสนองของจุ่มอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารโทลูอินทั้ง 3 ครั้ง.....	60
5.6.4 ผลการตอบสนองของจุ่มอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอร์มาไรด์ 50% ทั้ง 3 ครั้ง.....	62
5.6.5 ผลการตอบสนองของก๊าซเซ็นเซอร์ TGS 2610 ของจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ (Nose_B) ด้วยการถ่ายโอนวิธี Ratio-adjusted (Nose_B_R), linear scaling (Nose_B_Ls) และ Specific mean-adjusted (Nose_B_m-a) กับสารอินทรีย์ระเหยง่าย อะซีโตน (Ace), เบนซิน (Ben), ไดคลอโรมีเทน (DCM), ไดเมทิลฟอร์มาไรด์ (DMF), เอทานอล (Etn), สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% ไดเมทิลฟอร์มาไรด์ 50% (Mix), โทลูอิน (Tol).....	63
5.6.6 PCA, วิธี ไม่ได้ทำการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Uncalibrated).....	64
5.6.7 PCA, วิธีการปรับอัตราการตอบสนอง (Response Ratio adjusted).....	65
5.6.8 PCA, วิธีการปรับเปลี่ยนเชิงเส้น (Linear Scaling).....	66
5.6.9 PCA, วิธีปรับค่าเฉลี่ยจำเพาะสาร (Specific Mean – adjusted).....	67
5.6.10 ผลการถ่ายโอนเมตริกสารอินทรีย์ระเหยง่ายจาก Nose_A บนกราฟ PCA score plot กับ Nose_B ด้วยวิธี ไม่ปรับค่าถ่ายโอน (Uncalibrated data), วิธีการปรับอัตราการตอบสนอง (Response Ratio adjusted), การปรับเปลี่ยนเชิงเส้น (Linear scaling), การปรับค่าเฉลี่ยเฉพาะสาร (Specific mean-adjusted).....	68
5.6.11 ผลการตอบสนองของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อแก๊สเซ็นเซอร์ TGS 2610 ของจุ่มอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) เทียบกับเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B) ไดคลอโรมีเทน (DCM), ไดเมทิลฟอร์มาไรด์ (DMF), สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% ไดเมทิลฟอร์มาไรด์ 50% (Mix).....	69
5.6.12 การวัดระยะทางแบบบุคคลระหว่างเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายโอนฐานข้อมูลของจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธี : Uncalibrated, Ratio – adjusted, Linear scaling และ Specific mean-adjusted.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัญหากลิ่นเหม็นและปัญหามลพิษเป็นปัญหาได้รับการร้องเรียนมากที่สุด จากสถิติการร้องเรียนปัญหามลพิษไปยังกรมควบคุมมลพิษปี 2551-2556 พบว่าปัญหากลิ่นเหม็นได้รับการร้องเรียนเป็นอันดับหนึ่งทั้ง 5 ปี และในปี พ.ศ 2552 พบว่าการดำเนินการที่ก่อให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นมากที่สุดคือกิจการเกี่ยวกับปิโตรเลียม เช่นการกลั่นน้ำมัน ผลิตพลาสติก โรงงานพ่นสี สารกำจัดศัตรูพืช สารเคมีประเภทกรด ต่าง สารออกซิไดส์หรือสารตัวทำลาย เป็นต้น [1,16]

สาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นมีหลายชนิดแต่ส่วนใหญ่มักเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย กลิ่นหรือมลพิษทางอากาศที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรมแต่ละประเภทจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันออกไป การรับรู้กลิ่นและการตอบสนองของแต่ละบุคคลจะขึ้นอยู่กับความไวต่อการรับรู้กลิ่น ในการตรวจวัดกลิ่นมี 3 วิธี ได้แก่ (1) ตรวจวัดโดยวิธีทางเคมี ด้วยการเก็บตัวอย่างอากาศและนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาชนิดของสารเคมี (2) ตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดในภาคสนาม เช่น เครื่องวัดไอสารอินทรีย์ระเหยแบบพกพา เครื่อง Portable GC และ GC/MS เป็นต้น (3) ตรวจวัดโดยวิธีการดมกลิ่น อย่างไรก็ตาม สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจวัดโดยวิธีทางเคมีและเครื่องมือวัดในภาคสนามทุกตัวไม่ได้ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นเสมอไปจำเป็นต้องมีการจำแนกชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ทำให้เกิดกลิ่นซึ่งต้องใช้เทคนิคขั้นสูงซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อน ใช้เวลาในการวิเคราะห์ค่อนข้างนานและเครื่องมือมีราคาแพง ส่วนการตรวจวัดโดยวิธีการดมกลิ่น มีข้อจำกัดในเรื่องจมูกของแต่ละบุคคลมีความไวต่อการรับรู้กลิ่นแตกต่างกันความสามารถในการบ่งบอกชนิดของกลิ่นไม่คงที่และการเลือกคุณสมบัติของคนทดสอบที่จะตัดสินว่าได้รับกลิ่นหรือไม่ จะต้องเป็นคนที่มีความสามารถดมกลิ่นเป็นปกติ จะต้องไม่เป็นคนที่มีความไวต่อกลิ่นเป็นพิเศษหรือขาดความสามารถในการดมกลิ่น สุขภาพของผู้ทดสอบจะต้องแข็งแรงไม่เป็นภูมิแพ้หรือไม่มีปัญหาเรื่องระบบทางเดินหายใจ ต้องไม่สูบบุหรี่ด้วยเข็มพุที่มีกลิ่นแรง ต้องไม่ใช้น้ำหอม แป้งที่มีกลิ่น หรือเครื่องประดับที่มีกลิ่นหอม ต้องไม่สูบบุหรี่ในขณะที่ทดสอบกลิ่น ต้องไม่รับประทานอาหารที่มีรสจัด ต้องไม่สวมใส่เสื้อผ้าทำจากวัสดุที่มีกลิ่น เช่น หนังสัตว์ เป็นต้น และมีข้อจำกัดจากปัจจัยกระตุ้นภายนอก เช่น สภาพอากาศ อารมณ์ของผู้ทดสอบ เนื่องจากปัญหากลิ่นเหม็นเป็นปัญหาที่สำคัญ จำเป็นต้องมีการตรวจวัดกลิ่นทั้งในเชิงคุณภาพและเปรียบเทียบศักยภาพการเทียบผลเชิงปริมาณ [2]

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose) ได้ถูกพัฒนาเพื่อตรวจสอบและจดจำกลิ่นหรือแก๊สต่างๆ โดยอาศัยหลักการทำงานที่คล้ายการเรียนรู้และจดจำกลิ่นของจมูกมนุษย์ จมูกอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่นการพัฒนาเซ็นเซอร์ การปรับปรุงวัสดุที่ใช้ทำเซ็นเซอร์ การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมผลิตน้ำหอม อุตสาหกรรมเครื่องหนัง อุตสาหกรรมปิโตรเคมี นอกจากนี้นำไปใช้ทางด้านเกษตร ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร และด้านสิ่งแวดล้อม [3] จุดเด่นของการใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการคือการคำนวณง่าย รวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้เฉพาะทางในการดำเนินการ และไม่จำเป็นต้องใช้เวลานาน อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอนข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายข้ามเครื่องกันได้ โดยใช้จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์เก็บฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เป็นชุดเรียนรู้ให้จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์เครื่องอื่น จากนั้นใช้การสร้างสมการถ่ายโอนข้อมูลเชิงเส้นให้กับเครือข่ายจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ต่อไป

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาระบบเครือข่ายจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจสอบการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยการพัฒนาความสามารถของจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์หนึ่งเครื่องเพื่อสร้างเป็นเครือข่ายจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ที่มีความชาญฉลาดมากขึ้น ได้เน้นการพัฒนาใช้จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ตรวจสอบการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายใน 1 มิติ และศึกษาการถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างเครื่องจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์

การพัฒนาใช้จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ตรวจสอบการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายใน 1 มิติ โดยการวางจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ 3 เครื่องในแนวตรงตามระยะ 1 เมตร 3 เมตร 5 เมตรตามลำดับ ภายในอุโมงค์ขนาด (0.4 x 0.4 x 5.5 เมตร) แล้วจำลองการแพร่ของสารอะซิโตน โทลูอิน และสารผสมอะซิโตน 50% กับโทลูอิน 50% ด้วยการเปิดขวดสารและชั่งน้ำหนักที่หายไปของสารดังกล่าว จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลของจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แต่ละเครื่องตามการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ตามเวลา และวิเคราะห์ผลของจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักการศึกษากการถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างเครื่องจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์โดยใช้จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์สองเครื่องวัดทดสอบสารชุดอบรม (สารผสมระหว่างไดคลอโรมีเทนและไดเมทิลฟอรั่มาร์ไมด์) ในห้องทดสอบ จากนั้นทำการปรับค่าการตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ด้วยวิธี (1) การปรับอัตราการตอบสนอง (Response Ratio adjusted) (2) การปรับเปลี่ยนเชิงเส้น (Linear Scaling transformation) เพื่อเป็นสมการถ่ายโอน แล้วทำการเก็บรวบรวมฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิด (เอทานอล, อะซิโตน, เบนซิน, โทลูอิน, ไดคลอโรมีเทน, ไดเมทิลฟอรั่มาร์ไมด์) ชนิดละ 3 ความเข้มข้น แล้วแปลงข้อมูลสารแต่ละชนิดจากสมการการถ่ายโอนทั้ง 2 วิธี จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อดูรูปแบบแผนผังของสารเคมีด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก สุดท้ายทำการสรุปและเลือกผลของวิธีการถ่ายโอนข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้เป็นระบบเครือข่ายจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงแนวทางการใช้จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ในการแยกกลิ่นและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

1.5.2 ทราบถึงความสามารถในการใช้จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ในการแยกกลิ่นและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ผสมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3 ทราบถึงความเป็นไปได้ที่จะใช้การถ่ายโอนฐานข้อมูลสารเคมีระหว่างเครื่องจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์

1.5.4 สามารถนำเครือข่ายจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้ใฝ่าระวังสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่อุตสาหกรรมปิโตเคมีได้

1.6 รายละเอียดของงานวิจัย

โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทโดยในแต่ละบทแสดงดังแผนผังในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังรายละเอียดของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

งานวิจัยนี้ศึกษาการทำงานและออกแบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ตรวจสอบการแพร่กระจายในหนึ่งมิติและการถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ โดยอาศัยการทำงานของแก๊สเซ็นเซอร์หลายชนิดมาต่อร่วมกันแบบอาร์เรย์ ซึ่งมีความจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับการทำงานของแก๊สเซ็นเซอร์และเทคนิคการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์อีกทั้งต้องศึกษางานวิจัยที่มีผู้ค้นคว้าไว้แล้วมาช่วยในการพัฒนางานวิจัย ซึ่งจะทำได้ผลการวิจัยที่มีประสิทธิภาพและสามารถนำเสนอสร้างจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แบบเครือข่ายต่อไป

2.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds : VOC)

-- สารอินทรีย์ระเหยง่าย หมายถึงกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย กระจายตัวไปในอากาศได้ในอุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักของสาร ได้แก่ อะตอมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ออกซิเจน ฟลูออไรด์ คลอไรด์ โบรไมด์ ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน ซึ่งในชีวิตประจำวันเราได้รับสารชนิดนี้จากผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น สีทาบ้าน ควันบุหรี่ น้ำยาฟอกสี สารตัวทำละลายในการพิมพ์อู่พ่นสีรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาซักแห้ง น้ำยาสำหรับการย้อมผม การตัดผม สารกำจัดศัตรูพืช รวมทั้งสารอินทรีย์ระเหยง่าย ในบรรยากาศจากการเผาไหม้ การปนเปื้อนในอากาศ น้ำดื่ม อาหารและเครื่องดื่มถูกจัดเป็นมลพิษทางอากาศ [5] การแบ่งกลุ่มสาร VOCs สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ ๆ ตามลักษณะของโมเลกุลของสารคือ

1. กลุ่ม Non-chlorinated VOCs หรือ Non-halogenated Hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีอะตอมของฮาโลเจนในโมเลกุล สารกลุ่มนี้มาจากสิ่งแวดล้อม การเผาไหม้ กองขยะ พลาสติก วัสดุ สารตัวทำละลายสีทาวัสดุ ซึ่งทำให้มีผลเสียต่อสุขภาพของผู้ได้รับคือทำให้ป่วยเป็นโรคทางเดินหายใจตัวอย่างกลุ่มสารนี้ ได้แก่

- กลุ่มสาร AliphaticHydrocarbons เช่น Fuel oils, IndustrialSolvents, Propane, 1,3-Butadiene, Gasoline, Hexane

- กลุ่มสาร Alcohols, Aldehyde, Ketone เช่น EthylAlcohol, MethylAlcohol, Formaldehyde

- กลุ่มสาร Aromatic Hydrocarbons เช่น Toluene, Xylene, Benzene, Naphthalene, Styrene, Phenol

2. กลุ่ม Chlorinated VOCs หรือ Halogenated Hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีอะตอมของฮาโลเจนในโมเลกุลได้แก่สารเคมีที่ใช้สังเคราะห์ในอุตสาหกรรมสารกลุ่มนี้มีความเป็นพิษมากกว่าและเสถียรในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารในกลุ่มสาร Non-chlorinated VOCs นั่นคือไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลายตัวได้ยากในธรรมชาติและในทางเคมีจะมีความคงตัวสูง สะสมได้นานรบกวนการทำงานของสารพันธุกรรมยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์มีฤทธิ์ในการก่อมะเร็งหรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ สารในกลุ่มนี้มีรายชื่อดังต่อไปนี้ตัวอย่างของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายชนิด Halogenated VOCs

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| - 1,1,1,2-Tetrachloroethane | - Bromoform | - Glycerol trichlorohydrin |
| - 1,1,1-Trichloroethane | - Bromomethane | - Hexachlorobutadiene |
| - 1,1,2,2,-Tetrachloroethane | - Carbon tetrachloride | - Hexachlorocyclopentadiene |
| - 1,1,2-Tetrachloroethane | - Chlorodibromomethane | - Hexachloroethane |
| - 1,1-Dichloroethane | - Chloroethane | - Methylene chloride |
| - 1,1-Dichloroethylene | - Chloroform | - Neoprene |
| - 1,2,2-Trifluoroethane(Freon 113) | - Chloromethane | - Pentachloroethane |
| - 1,2-Dichloroethane | - Chloropropane | - Perchloroethylene |
| - 1,2-Trans-Dichloroethylene | - Cis-1,3-dichloropropane | - Trichlorotrifluoroethane |
| - 1,3-cis-dichlor-1-propane | - Dibromochloropropane | - Monochlorobenzene |
| - 1-Chloro-2-propene | - Dibromomethane | - Tetrachloroethylene |
| - 2-butylene dichloride | - Dichlorobromomethane | - Trichloroethylene(TCE) |
| - Acetylene tetrachloride | - Dichloromethane(DCM) | - Vinyl chloride |
| - Bromodichloromethane | - Ethylene dibromide | - Vinyl trichloride |
| - 1,3-trans-dichloropropene | - Fluorotrichloromethane(Freon11) | - Vinylidene chloride |

2.1.1 ผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสิ่งแวดล้อม

สาร VOCs มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคือมีผลต่อชั้นของโอโซนของโลก โดยปกติโอโซนจะอยู่ในชั้นบรรยากาศสูง ทำหน้าที่กรองแสงอุตราไวโอเล็ต (UV) แต่สาร VOCs มีผลทำให้โอโซนบนชั้นบรรยากาศสูงเข้ามาอยู่ในชั้นบรรยากาศใกล้โลกและโอโซนนี้จะทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ เช่น การหายใจไม่สะดวก ระคายเคืองตา แก้วตา จมูก คอ ทรวงอก ไอปวดศีรษะ นอกจากนี้โอโซนยังเป็นตัวทำให้อาคารสร้างชำรุด ผลผลิตทางการเกษตรตกต่ำ

2.1.2 ผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีต่อสุขภาพ

สาร VOCs สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ การหายใจ การกิน-ดื่มทางปากและการสัมผัสทางผิวหนัง เมื่อสาร VOCs เข้าสู่ร่างกายแล้วจะผ่านเข้าสู่ตับ ซึ่งจะมีเอนไซม์และวิถีทางเมตาบอลิซึม (metabolism) หลากหลายแตกต่างกัน สารพิษถูกเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึมในตับในระยะแรก โดยอาศัยเอนไซม์ในระบบ ชนิดของเอนไซม์ที่จะใช้แตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของสาร VOCs ที่ได้รับ และในขั้นตอนสุดท้ายจะถูกขับทิ้งทางปัสสาวะในรูปของกรด เช่น สารไตรคลอโรเอทิลีน เมื่อถูกขับออกมาในขั้นตอนสุดท้าย จะออกมาในรูปของ กรดไตรคลอโรอะซีติก ซึ่งผลกระทบของสาร VOCs ต่อระบบต่าง ๆ

ในร่างกาย มีดังนี้ สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลกระทบต่อด้านภูมิคุ้มกัน สาร VOCs หลายชนิดทำให้ระบบภูมิคุ้มกันถูกรบกวนหรือทำลาย ศักยภาพการป้องกันโรคการติดเชื้อจะลดลงเช่น จากการศึกษาประชากรโดยการตรวจเลือดและผิวหนังในคนที่อยู่ใกล้ที่ทิ้งขยะสารเคมีมีพิษ (pesticide dump sites) พบว่ามีสาร Dichloroethane (DCE) ในเลือดมากกว่าผู้ที่อยู่ห่างไกลกว่ายิ่งอยู่ในบริเวณนั้นนาน ๆ ยิ่งได้รับมากขึ้นแตกต่างกันอย่างชัดเจน นอกจากนี้เม็ดเลือดขาวของประชากรที่อยู่ใกล้ขยะมีพิษมากกว่าจะมีเม็ดเลือดขาวต่ำกว่าในกลุ่มประชากรที่อยู่ห่างไกลออกไป

2. ผลกระทบต่อระบบประสาท การได้รับสาร VOCs จะทำให้เกิดอาการทางการกดประสาทหลายอย่าง เช่น การง่วงนอน วิงเวียนศีรษะ ซึมเศร้าหรือหมดสติได้ ยิ่งได้รับนานๆจะยิ่งทำให้มีผลมากขึ้น

3. ผลกระทบเสียหายต่อสุขภาพด้านอื่น ๆ สาร VOCs อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพระบบอื่นๆ ได้แก่ ระบบพันธุกรรม ระบบฮอร์โมนระบบสืบพันธุ์ อาจทำให้เกิดโรคมะเร็งบางชนิดได้ และโรคทางระบบสืบพันธุ์ เช่น เป็นหมัน ความพิการของเด็กมีการกลายเพศ เป็นต้น ซึ่งในการแก้ไขปัญหา สารอินทรีย์ระเหยง่าย อาจทำได้โดยการทำลายสาร VOCs เช่น ทางเคมีโดยการใช้แก๊สโอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารออกซิไดซ์อื่น ๆ หรือในทางชีวภาพให้ใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ สำหรับการรักษาผู้ป่วยนั้นมีความลำบากยุ่งยากมาก ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดคือการป้องกันและควบคุม

2.2 การแพร่ของแก๊ส

การแพร่ของแก๊ส คือ ปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่จากบริเวณหนึ่งไปยังบริเวณอื่นๆ เมื่ออุณหภูมิคงที่แก๊สต่างๆจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเฉลี่ยคงที่ การเคลื่อนที่ของแก๊สจะไม่มีทิศทางที่แน่นอน จึงอาจชนกันเองหรือชนผนังภาชนะ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ได้

2.2.1 การแพร่ (diffusion)

การแพร่เป็นกระบวนการที่แก๊สแพร่จากส่วนที่มีความดันสูง ไปสู่ที่มีความดันต่ำ โดยที่โมเลกุลของแก๊สจะเคลื่อนที่อย่างเป็นกลุ่มก้อนผ่านช่องเล็ก ๆ ในขณะที่เคลื่อนที่อาจจะมีการชนกันเองบ้าง ชนกับผนังภาชนะบ้าง ลักษณะการแพร่ดังกล่าวนี้จัดว่าเป็นการแพร่ที่เกิดขึ้นตามความเป็นจริง

2.2.2 การแพร่ผ่าน (effusion)

การแพร่ผ่านเป็นกระบวนการที่แก๊สแพร่จากส่วนที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่ส่วนที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยที่โมเลกุลของแก๊สจะเคลื่อนที่ผ่านช่องเล็กๆที่ละโมเลกุลไม่มีการชนกันเองระหว่างโมเลกุลที่กำลังเคลื่อนที่ และไม่มีการชนกับผนังภาชนะ ลักษณะการแพร่ดังกล่าวนี้จึงเป็นเพียงการแพร่ตามอุดมคติไม่ได้เกิดขึ้นจริงเนื่องจากการแพร่และการแพร่ผ่านมีความหมายใกล้เคียงกัน ดังนั้นจะใช้การแพร่แทนทั้งการแพร่ผ่านและการแพร่ การแพร่เป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติของแก๊สหรือไอที่แพร่กระจายออกไปจากภาชนะที่บรรจุซึ่งจะพบได้เสมอๆ ในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น การแพร่ของสารที่มีกลิ่นหอม เช่น น้ำหอม อาหาร หรือ สารเคมี เป็นต้น โมเลกุลของสารต่าง ๆ เหล่านั้น จะแพร่ผ่านอากาศมากระทบกับจมูก ในบางครั้งจะต้องอยู่ใกล้ๆ กับสารเหล่านั้นจึงจะได้กลิ่น แต่บางครั้งถึงแม้จะอยู่ไกลออกไปยังคงได้กลิ่น ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลิ่นของสารนั้นๆ บางครั้งเมื่อเปิดขวดน้ำหอมจะได้กลิ่นน้ำหอมภายในเวลาไม่กี่วินาที แต่บางครั้งก็อาจจะใช้เวลานานๆจึงจะได้กลิ่น การที่เป็นเช่นนั้น เนื่องจากสารที่มีกลิ่นเหล่านั้น มีมวลโมเลกุลหรือความหนาแน่นไม่เท่ากัน ทำให้ความสามารถในการแพร่ไม่เท่ากัน

2.2.3 กฎการแพร่ของเกรแฮม

ทอมัส เกรแฮม (Thomas Graham) [6] ได้ทำการทดลองในเรื่องนี้ และพยายามวัดอัตราการแพร่ของแก๊สต่างๆเทียบกับพบว่า “เมื่ออุณหภูมิคงที่ อัตราการแพร่ของแก๊สแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมเลกุลหรือความหนาแน่นของแก๊ส” ข้อความนี้เรียกว่า กฎการแพร่ของเกรแฮม ดังสมการที่ 2.2.1

$$R \propto \frac{1}{\sqrt{M}} \quad 2.2.1$$

เมื่อ R = อัตราการแพร่ของแก๊ส

M = น้ำหนักเชิงโมเลกุล

สมการอาจเขียนในรูปสำหรับใช้ในการคำนวณได้ดังสมการที่ 2.2.2

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}} \quad 2.2.2$$

R_1 และ R_2 เป็นอัตราการแพร่ของแก๊สที่ 1 และของแก๊สที่ 2

M_1 และ M_2 เป็นน้ำหนักเชิงโมเลกุลของแก๊สที่ 1 และของแก๊สที่ 2

2.2.4 อัตราการแพร่ (Rate of Diffusion)

อัตราการแพร่ของอะตอมสามารถวัดได้เป็น (flux : J) ซึ่งหมายถึงอัตราการถ่ายโอนของอะตอมจากที่มีความเข้มข้นสูงไปยังที่มีความเข้มข้นต่ำโดยออกมาเป็นจำนวนอะตอมที่แพร่ผ่านระบบเป็นหน่วยพื้นที่ตามกฎข้อแรกของฟิค (Fick's first law) [6] ดังสมการที่ 2.2.3

$$J = -D \frac{\partial n}{\partial x} \quad 2.2.3$$

เมื่อ J คือฟลักซ์ (Atom/cm².sec)

D คือสัมประสิทธิ์การแพร่ (cm²/sec)

$\frac{\partial n}{\partial x}$ คือเกรเดียนต์ของความเข้มข้น (Concentration gradient Atom/cm².sec)

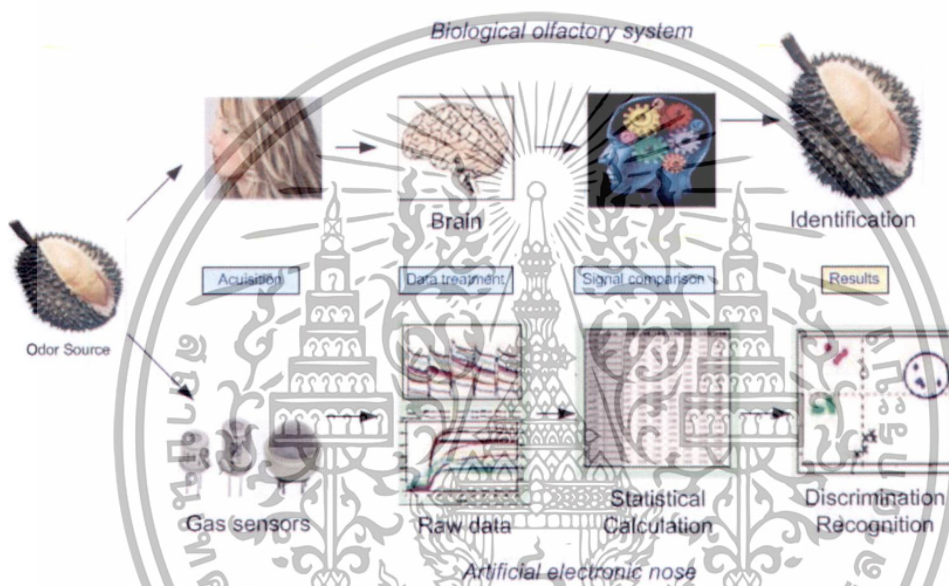
ทฤษฎีของแชปแมน (Chapman-Enskog theory) สารผสมหนึ่งชนิดที่มีความเข้มข้นต่ำ (<10%) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ D จะขึ้นกับมวลโมเลกุลของแก๊ส M_1 และ M_2 ตามลำดับ [6] ดังสมการที่ 2.2.4

$$D \propto \sqrt{\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}} \quad 2.2.4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 จมูกอิเล็กทรอนิกส์

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic nose) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจสอบและจดจำกลิ่นแทนการสูดดมด้วยมนุษย์ที่มีข้อจำกัดด้านการรับรู้กลิ่นที่ไม่เหมือนกัน รวมถึงความเหนื่อยล้าทางสมองจึงทำเป็นสาเหตุของความผิดพลาดได้ง่าย อีกทั้งการสูดดมสารเคมีที่มีกลิ่นก็เป็นอันตรายต่อผู้ทดสอบ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาแทนที่การทำงานในส่วนนี้ ลักษณะการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะมีโครงสร้างคล้ายกับการทำงานของจมูกมนุษย์ โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ และการรับรู้กลิ่นของมนุษย์ [8]

จมูกอิเล็กทรอนิกส์จะมีลักษณะคล้ายกับการทำงานของจมูกมนุษย์ในแทบทุกด้าน ยกตัวอย่างเมื่อเราดมกลิ่นอะไรนานๆ จะเกิดความคุ้นชินกับกลิ่นและอาจไม่รู้สึกรับรู้ถึงกลิ่นนั้นๆ ในระยะเวลาหนึ่ง เช่น ถ้าเราเดินเข้าไปในห้องที่มีกลิ่นน้ำหอมแล้วนั่งอยู่สักพัก เราก็จะเริ่มไม่ได้อกลิ่นน้ำหอม แต่ถ้าเราเดินออกมาสูดอากาศข้างนอกสักพักแล้วเดินกลับเข้าไปใหม่เราก็จะได้กลิ่นน้ำหอมอีก จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกัน ถ้าเราเอามันมาดมกลิ่นทุเรียนแล้วเอาไปดมกลิ่นกาแฟทันที ก็จะอาจจะไม่สามารถรับรู้กลิ่นกาแฟได้ดีเนื่องจากโมเลกุลกลิ่นทุเรียนได้เข้าไปจับตัวเซ็นเซอร์ทำให้เซ็นเซอร์ไม่สามารถจับกับโมเลกุลกลิ่นอื่นๆ ที่เข้ามาใหม่ได้ จึงต้องมีการไล่กลิ่นเดิมออกไปด้วยการเป่าอากาศเข้าที่ตัวเซ็นเซอร์และจมูกอิเล็กทรอนิกส์คล้ายกับจมูกมนุษย์ที่ต้องมีการเรียนรู้จำรูปแบบกลิ่น และเมื่อได้กลิ่นนั้นอีกครั้งก็จะทำระบุได้ว่าเป็นกลิ่นนั้นได้ และหากเป็นกลิ่นใหม่ก็จะจดจำรูปแบบและบันทึกเป็นกลิ่นใหม่ต่อไป ตัวอย่างเช่น ตอนที่เรากัดมานั้นเราแทบไม่มีข้อมูลของกลิ่นอยู่เลยในสมองของเรา เราต้องเรียนรู้ตั้งแต่เด็กว่าทุเรียนมีกลิ่นอย่างไร สตรอเบอร์รี่มีกลิ่นอย่างไร จมูกอิเล็กทรอนิกส์ก็เช่นเดียวกันที่ต้องการการฝึกฝนเพื่อให้สามารถจดจำแยกแยะกลิ่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การทำงานของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์

การรับรู้คลื่นของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์เริ่มจากการดูดซับการระเหยของสารเคมีด้วยแก๊สเซ็นเซอร์ที่แปรผลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า จากนั้นก็จะถูกแปลงจากสัญญาณแอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิทัล (ADC: Analog to Digital Converter) แล้วนำข้อมูลนี้ไปประมวลผลเปรียบเทียบทางสถิติกับฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิม เพื่อจำแนกหรือบอกชนิดของกลิ่นหากเป็นกลิ่นใหม่ก็จะบันทึกจดจำเป็นฐานข้อมูลเพิ่มเติมต่อไป

2.4 ทฤษฎีตัวตรวจรู้และแก๊สเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์ คือ อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณหรือปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น แสง สี เสียง อุณหภูมิ ความชื้น แรง อัตราเร็ว ความเร็ว ความเร่ง ความดันบรรยากาศ ระดับของของเหลว อัตราการไหล แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณออก หรือปริมาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ [9] โดยทั่วไปได้ถูกนำไปเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ 2 ลักษณะคือ

1. ใช้ตรวจสอบสถานะของกระบวนการในระบบควบคุม
2. ใช้ตรวจวัดปริมาณทางฟิสิกส์เพื่อนำไปแสดงผลการตรวจหรือจัดเก็บบันทึกข้อมูลการวัด

2.4.1 คุณสมบัติที่สำคัญประจำตัวเซ็นเซอร์

การเลือกเซ็นเซอร์ไปประยุกต์ใช้งานในระบบการวัดหรือระบบควบคุมต่างๆ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเหมาะสมกับการใช้งานกับราคา สภาพแวดล้อม แต่ปัจจัยที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งในการเลือกเซ็นเซอร์คือคุณสมบัติของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานต่อข้อกำหนดและคุณสมบัติต่างๆ ที่สำคัญประจำตัวเซ็นเซอร์ที่เลือกใช้จึงเป็นเรื่องที่ควรทราบดังต่อไปนี้

1. ความแม่นยำ (Accuracy) เป็นค่าบ่งชี้ของเซ็นเซอร์ในการแสดงค่าเอาต์พุตว่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงของปริมาณที่ทำการวัดว่ามากน้อยแค่ไหน ในทางปฏิบัติแล้วอุปกรณ์การวัดจะเกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดขึ้นเสมอ แต่จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแม่นยำของอุปกรณ์วัดนั้น ในบางครั้งค่าความแม่นยำนี้อาจใช้บ่งชี้ถึงค่าความคลาดเคลื่อนของยานการวัดของอุปกรณ์วัดตัวนั้นๆ อีกด้วย
2. ความแน่นอน (Precision) คือค่าบ่งชี้ถึงความสามารถของเซ็นเซอร์ในการแสดงค่าเอาต์พุตเหมือนเดิมทุกครั้งเมื่อทำการวัดสัญญาณอินพุตค่าเดิมซ้ำกันหลายๆ ครั้ง โดยทั่วไปมักเข้าใจสับสนว่าความแน่นอนกับความแม่นยำนั้นเป็นข้อเดียวกันเนื่องจากทั้งสองข้อมีความหมายคล้ายกันมาก แต่ในระบบการวัดแล้วจะมีความหมายต่างกันคือ เซ็นเซอร์ตัวใดที่มีค่าความแน่นอนสูง หมายความว่าเซ็นเซอร์ตัวนั้นสามารถแสดงค่าเอาต์พุตได้เหมือนเดิมทุกครั้งในการวัดสัญญาณอินพุตค่าเดิมซ้ำกันหลายๆ ครั้ง แต่ไม่ได้หมายความว่าเซ็นเซอร์ตัวนี้จะมีความแม่นยำสูง หากค่าเอาต์พุตที่ได้จากเซ็นเซอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันไปจากค่าที่เป็นจริงสูง

3. ความคลาดเคลื่อน (Error) คือผลต่างที่วัดได้กับค่าแท้จริง โดยทั่วไปความคลาดเคลื่อนนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ และยังเป็นค่าบ่งชี้ถึงความแม่นยำของระบบการวัดนี้ด้วย

4. การปรับเทียบ (Calibration) คือการเปรียบเทียบหน่วยของสเกลในการแสดงผลของเซ็นเซอร์อธิบายอย่างง่ายดังนี้ เช่นเซ็นเซอร์ตรวจจับความเร็วรถยนต์บางชนิดให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาอยู่ในรูปของ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้ามีค่าแปรผันตามความเร็วของรถยนต์ จากนั้นเซ็นเซอร์ชี้วัดความเร็วก็แสดงผลเบี่ยงเบนเป็นสัดส่วนไปตามแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซ็นเซอร์จะเห็นได้ว่าในกรณีสเกลในการแสดงผลของมิเตอร์ต้องมีหน่วยเป็นความเร็วไมใช่แรงดันไฟฟ้า ซึ่งลักษณะการอ่านค่าที่ได้จากหน่วยของปริมาณหนึ่งมาเป็นหน่วยของอีกปริมาณหนึ่งโดยการเปรียบเทียบนี้จึงเรียกว่าการเปรียบเทียบ

5. การหน่วงของสัญญาณ (Lag) คือการล่าช้าของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเซ็นเซอร์เมื่อเทียบการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตที่วัดได้ ในงานระบบควบคุมกระบวนการ การหน่วงสัญญาณเป็นข้อกำหนดสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเนื่องจากมีผลต่อสมรรถนะของระบบเป็นอย่างมาก

6. อายุการใช้งาน (Operating life, Reliability) อายุการใช้งานของเซ็นเซอร์ เป็นค่าแสดงถึงอายุการใช้งานของเซ็นเซอร์ที่ยังคงให้คุณสมบัติในการทำงานเป็นไปตามข้อกำหนดประจำตัวต่างๆ ที่ระบุมาให้โดยทั่วไปอาจจะบอกมาในรูปแบบของ ระยะเวลา หรือจำนวนครั้งในการใช้งาน -

7. ผลตอบสนอง (Response) ผลตอบสนองของอุปกรณ์ คือช่วงเวลาที่อุปกรณ์นั้นใช้เวลาในการตอบสนองสัญญาณเอาต์พุตให้มีค่าเท่ากับเอาต์พุตสุดท้าย ทั่วไปมีหน่วยเป็น วินาที , เศษส่วนของวินาที หรือบางครั้งบางครั้งจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของเอาต์พุตสุดท้ายก็ได้

8. เสถียรภาพ (Stability) เสถียรภาพ บ่งชี้ถึงสัญญาณเอาต์พุตของอุปกรณ์หรือระบบว่ามีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยแค่ไหน เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเป็นเวลานานๆ ภายใต้เงื่อนไขที่ไม่เปลี่ยนแปลง หากอุปกรณ์หรือระบบมีความเป็นเสถียรภาพแล้วสัญญาณเอาต์พุตควรมีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

2.4.2 เซ็นเซอร์รับกลืน

เซ็นเซอร์รับกลืนของจุ่มกอิเล็คทรอนิกส์มีหลักการคือเมื่อมีโมเลกุลกลืนมาเกาะที่พื้นผิวเซ็นเซอร์รับกลืน เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าหรือสมบัติทางแสง ปัจจุบันมีการค้นคว้าวิจัยเซ็นเซอร์รับกลืนประเภทต่างๆ ขึ้นมามากมาย สรุปได้ดังตารางที่ 2-1 [10]

ตารางที่ 2-1 แสดงเทคโนโลยีของเซ็นเซอร์รับกลืนประเภทต่างๆ

หลักการทำงาน	วัสดุเซ็นเซอร์	ระดับการพัฒนาในปัจจุบัน	ข้อดี	ข้อเสีย
วัดความต้านทาน	สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว	ราคาถูก	ใช้พลังงานสูง
วัดความต้านทาน	โพลิเมอร์นำไฟฟ้า	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว	ทำงานที่อุณหภูมิห้อง	มีปัญหากับความชื้น
วัดความจุไฟฟ้า	โพลิเมอร์	ยังวิจัยอยู่	ทำเป็นชิพได้	มีปัญหากับความชื้น
วัดมวล	การสั่นของผลึกควอตซ์ (Quartz Crystal Microbalance)	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว	ความไวสูง	ราคายังสูงอยู่
วัดแสง	กำทอนของคลื่นพลาสมอน (Surface Plasmon Resonance)	ยังวิจัยอยู่	ความไวสูง สัญญาณรบกวนต่ำ	ราคาสูง
วัดกระแส	สารผสมอินทรีย์หรืออินทรีย์	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว	ราคาถูก	มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์รับกลิ่นที่ได้รับความนิยมสูงที่สุดจะเป็นเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor ; MOS) เพราะมีราคาถูก มีขนาดเล็ก และการออกแบบวงจรใช้งานไม่ซับซ้อน ซึ่งมีการนำมาใช้เชิงพาณิชย์เป็นเวลานานมากกว่าสิบปีแล้ว

2.4.3 แก๊สเซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์

เนื่องจากเซ็นเซอร์รับกลิ่นแบบสารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์หรือเรียกสั้นๆว่าเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.4 เซ็นเซอร์แบบนี้เป็นเซ็นเซอร์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเซ็นเซอร์ชนิดนี้มาหลายๆแบบตามแต่ความต้องการ วัสดุที่สร้างเซ็นเซอร์สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ (MOS Gassensor) มีลักษณะผลึกเล็กๆระดับนาเมตรจำนวนมากที่มีผิวสัมผัสต่อกัน โดยการนำไฟฟ้าที่นั่น อิเล็กตรอนก็จะต้องวิ่งเข้าไปมาระหว่างผิวสัมผัสเหล่านั้นซึ่งมักจะถูกเคลือบบางๆด้วยชั้นของแก๊สออกซิเจนซึ่งก็จะทำให้เกิดแรงต้านทานไฟฟ้าที่ทำให้อิเล็กตรอนข้ามไปมาได้ลำบากยิ่งขึ้น แต่เมื่อมีแก๊สซึ่งที่มีคุณสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 400 องศาเซลเซียส ก็จะทำให้ชั้นของออกซิเจนที่เคลือบอยู่นั้นลดลงไป ทำให้วัสดุนี้นำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ซึ่งสมบัติเช่นนี้เองที่เราใช้ในการตรวจหากลิ่นที่มีสมบัติทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง

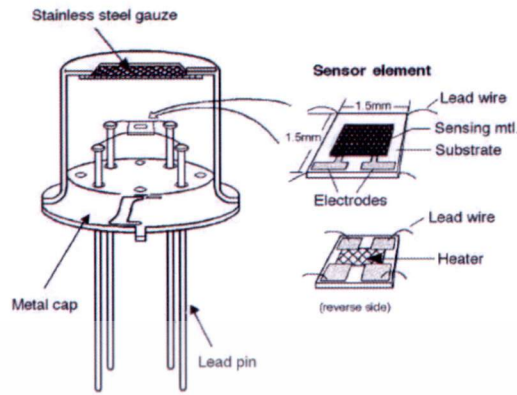
รูปที่ 2.4 เซ็นเซอร์แบบ Metal Oxide Semiconductor รุ่นต่างๆ[11]

เซ็นเซอร์ชนิดนี้จะใช้พลังงานสร้างอุณหภูมิที่เหมาะสม ชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ n-type semiconductors (Zinc, iron oxide) ใช้ในปฏิกิริยา Reducing compound อีกชนิดคือ p-type semiconductors (Nickel, Cobaltoxide) ใช้กับปฏิกิริยา Oxidizing compound งานวิจัยและพัฒนาเซ็นเซอร์ประเภทนี้ยังคงดำเนินต่อไปโดยเฉพาะในมหาวิทยาลัย ในประเทศไทยเองก็มีการวิจัยเซ็นเซอร์ MOS ที่ศูนย์โลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

2.4.4 โครงสร้างของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

โครงสร้างของแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ [11] แสดงดังรูปที่ 2.4.1 มี Active material ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่เป็นโลหะออกไซด์วางอยู่บน Substrate ต่ออยู่กับขั้ว Electrode ตัวออกไซด์โลหะตัวเช่นดีบุกออกไซด์ (SnO_2) สังกะสีออกไซด์ (ZnO) ทังสเตนออกไซด์ (WO_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

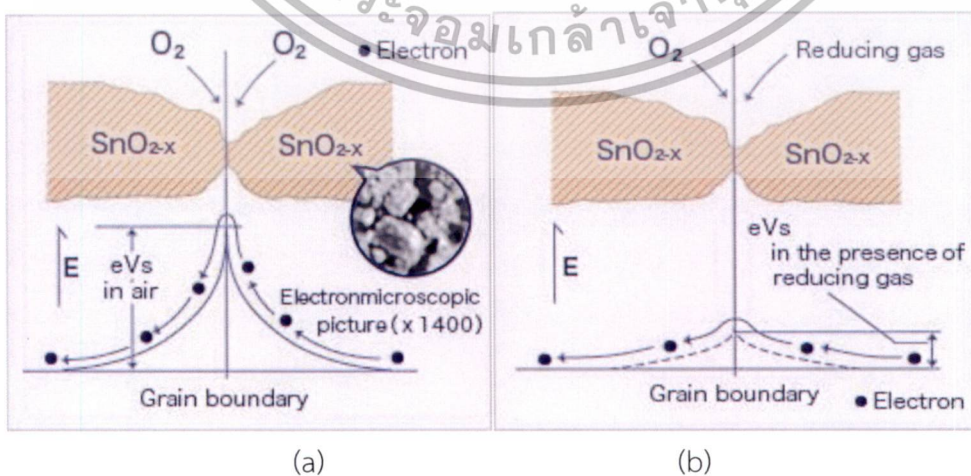
เป็นต้น ซึ่งจะถูกให้ความร้อนด้วย Heater เพื่อควบคุมอุณหภูมิและเป็นตัวช่วยในการทำ Deoxidizing



รูปที่ 2.4.1 โครงสร้างภายในของแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์[11]

2.4.5 การทำงานของเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์

แก๊สเซ็นเซอร์ที่ใช้เป็นตัวตรวจวัดแก๊สที่สร้างจากออกไซด์ของโลหะ เช่น ออกไซด์ของโลหะดีบุก (SnO_2) เมื่อผลึกออกไซด์ระดับนาโนเมตรถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของออกซิเจนจะไปเกาะตัวที่พื้นผิวของผลึกออกไซด์โลหะด้วยประจุที่เป็นลบ (Negative charge) ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่พื้นผิวและประจุบวกอยู่ภายนอกดังแสดงแบบจำลองในรูปที่ 2.4.2 (a) โมเลกุลของออกซิเจนสร้างกำแพงศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างผลึกออกไซด์โลหะซึ่งกีดขวางการไหลของอิเล็กตรอน จึงทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์เพิ่มขึ้น เมื่อมีตัวอย่างแก๊สที่ต้องการวัดผ่านเข้ามาทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง หรือทำให้เกิดการ Deoxidizing ขึ้น ทำให้เกิดการดึงออกซิเจนออกจากพื้นผิวของผลึกออกไซด์โลหะทำให้ความหนาแน่นประจุลบที่พื้นผิวผลึกออกไซด์โลหะลดลง และทำให้กำแพงศักย์ไฟฟ้าซึ่งขวางการไหลของอิเล็กตรอนลดลงด้วย เป็นผลให้ความต้านทานทางไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.4.2 (b)



รูปที่ 2.4.2 (a) แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะทำงานปกติ

(b) แบบจำลองอธิบายศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของออกไซด์โลหะขณะวัดแก๊ส [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะปกติออกซิเจนหนึ่งอะตอมจะจับอิเล็กตรอนเป็นสมการเคมีอธิบายการทำงานของ เซ็นเซอร์ขณะเซ็นเซอร์ที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ดังสมการที่ 2.4.1 (กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเซ็นเซอร์) เกิดเป็น O^- ซึ่งจะขบวนการไหลของกระแสไฟฟ้า เป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อยลงหรืออีกนัย หนึ่งคือความต้านทานของเซ็นเซอร์สูงขึ้น



เมื่อมีแก๊สตัวอย่างใดๆ $R(g)$ ผ่านเข้ามาจะจับกับออกซิเจนเป็นผลให้มีการดึงออกซิเจนออกจาก ตัวเซ็นเซอร์ดังสมการที่ 2.4.2 จึงเป็นเหตุให้ O^- ที่ขบวนการไหลของกระแสไฟฟ้าลดลงเป็นเหตุให้ กระแสไฟฟ้าไหลได้สูงขึ้นหรืออีกนัยหนึ่งคือทำให้ความต้านทานของเซ็นเซอร์ลดลง



ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ และความเข้มข้นของ Deoxidizing gas แสดง ดังสมการที่ 2.4.3

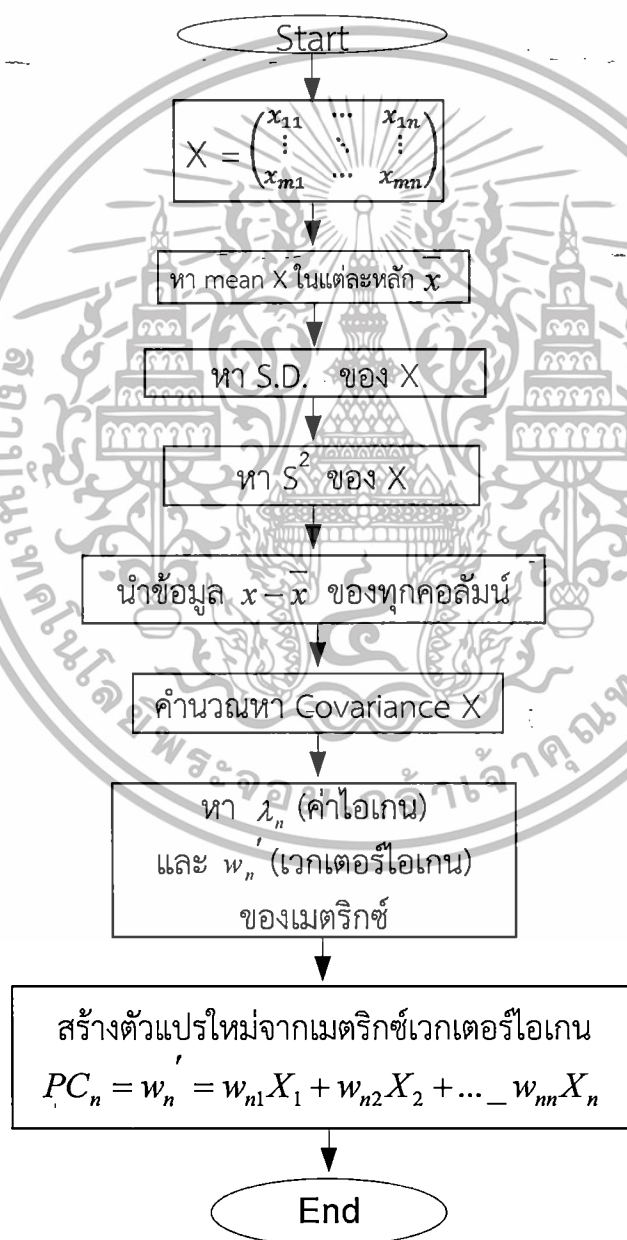
$$R_s = A(C)^{-\alpha} \quad 2.4.3$$

โดยที่ R_s คือค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ A คือค่าคงที่ (C) คือค่าความเข้มข้นของแก๊ส และ α คือความชันของกราฟความต้านทาน R_s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA) เป็นวิธีการทางสถิติหนึ่งที่นิยมใช้มากที่สุดในการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น (exploration) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปรโดยไม่มีการแบ่งกลุ่มตัวแปรว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรตามหรือตัวแปรอิสระ สนใจเพียงต้องการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เหล่านั้น โดยจะสร้างตัวแปรใหม่ซึ่งประกอบขึ้นด้วยความแปรผันหรือความแปรปรวนของตัวแปรเดิม จึงนิยมใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้เพื่อลดขนาดเมตริกซ์ของตัวแปรให้เล็กลงหรือใช้หาความสัมพันธ์ของข้อมูล [ภาคผนวก ก] โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภาพลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก PCA จากเมตริกซ์ข้อมูล โดยการหาค่าแปรปรวนร่วมเมตริกซ์ (Covariance matrix) จากการค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมตริกซ์ในแต่ละหลัก, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเมตริกซ์ข้อมูล, ค่าความแปรปรวนเมตริกซ์ ด้วยสมการที่ 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3 และ 2.5.4 ตามลำดับ

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_i^{(k)} \quad i=1,2,\dots,m. \quad 2.5.1$$

$$x^{(j)} \leftarrow x^{(j)} - \bar{x} \quad i=1,2,\dots,n. \quad 2.5.2$$

$$x_i^{(k)} \quad k=1,2,\dots,n. \quad \text{and} \quad x_j^{(k)} \quad k=1,2,\dots,n. \quad 2.5.3$$

$$s_{ij} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n x_i^{(k)} x_j^{(k)} \quad 2.5.4$$

โดยที่ \bar{x}_i แทน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเมตริกซ์ X ในแต่ละหลัก
 $x^{(j)}$ แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเมตริกซ์ข้อมูล
 s_{ij} แทน เมตริกซ์ของความแปรปรวน

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ลบด้วยค่าเฉลี่ยของทุกคอลัมน์ เมื่อจัดรูปแบบข้อมูลแล้วคำนวณหา Covariance เมตริกซ์ด้วยสมการที่ 2.5.5, 2.5.6

$$S(X) = \frac{1}{n-1} xx^T \quad 2.5.5$$

$$XX^T = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x^{(k)} - \bar{x})(x^{(k)} - \bar{x})^T \quad 2.5.6$$

ขั้นตอนต่อมาหาค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกนของเมตริกซ์ความแปรปรวนที่ได้จากสมการที่ 2.5.7 ซึ่งค่าเมตริกซ์เวกเตอร์ไอเกนที่ได้จะนำไปสร้างตัวแปรใหม่ ดังนี้

$$\begin{aligned} PC_1 &= w_1' = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1n}X_n \\ PC_2 &= w_2' = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2n}X_n \\ PC_n &= w_n' = w_{n1}X_1 + w_{n2}X_2 + \dots + w_{nn}X_n \end{aligned} \quad 2.5.7$$

ตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมีจำนวนสูงสุดเท่ากับจำนวนขนาดของเมตริกซ์ความแปรปรวน โดยจะสามารถดึงความสัมพันธ์ของตัวแปรเดิมเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ซึ่งพิจารณาจากค่าไอเกนที่ได้ของเมตริกซ์ความแปรปรวนซึ่งจะเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย โดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากร้อยละของค่าไอเกนสะสมของตัวประกอบหลัก ผลลัพธ์จากเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะได้ค่าไอเกนและเวกเตอร์ไอเกน โดยข้อมูลทั้งสองมีความสมนัยซึ่งกันและกัน ขั้นตอนสุดท้ายคือการแปลงเพื่อแสดงเป็นภาพฉายโดยจะเลือกแกนจากเวกเตอร์ไอเกนที่มีการกระจายสูงสุดและมีค่าอธิบายความสัมพันธ์ได้มากกว่า ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นตัวแปรใหม่ PC_1 , PC_2 และ PC_n ทั้งตัวแปรสามารถแสดงเป็นภาพฉายได้ในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับชุดข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การวัดระยะทางแบบยูคลิด

การวัดระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean distance) [7] คือระยะทางปกติระหว่างจุดสองจุดในแนวเส้นตรง ซึ่งจุดที่จะวัดนั้นมีเงื่อนไขมีหลายค่าจากหลายมิติหรือขนาดขึ้นกับรูปแบบ ซึ่งสามารถพิสูจน์หาค่าได้ด้วยทฤษฎีบทพีทาโกรัส เมื่อมีการใช้สูตรเพื่อหาระยะทาง ขนาดของยูคลิดจะเป็นเซตของเวกเตอร์ยูคลิด ระยะทางระหว่างจุด $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ และ $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ ใน ยูคลิดหลายขนาด ระบุได้ดังสมการที่ 2.6.1

$$\sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad 2.6.1$$

ระยะทางในขนาด 1 มิติ

การหาระยะทางระหว่าง 2 จุดในขนาด 1 มิติ $P = (p_x)$ และ $Q = (q_x)$ หาระยะทางได้ดังสมการที่ 2.6.2

$$\sqrt{(p_x - q_x)^2} = |p_x - q_x| \quad 2.6.2$$

ระยะทางในขนาด 2 มิติ

การหาระยะทางระหว่าง 2 จุดในขนาด 2 มิติ $P = (p_x, p_y)$ และ $Q = (q_x, q_y)$ หาระยะทางได้ดังสมการ 2.6.3

$$\sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2} \quad 2.6.3$$

ดัดแปลงในรูประบบพิกัดเชิงขั้วใช้ $P = (r_1, \theta_1)$ และ $Q = (r_2, \theta_2)$ หาระยะทางได้ดังสมการ 2.6.4

$$\sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos(\theta_1 - \theta_2)} \quad 2.6.4$$

ระยะทางในขนาด 3 มิติ

หาระยะทางระหว่าง 2 จุดในขนาด 3 มิติ $P = (p_x, p_y, p_z)$ และ $Q = (q_x, q_y, q_z)$ หาระยะทางได้ดังสมการ 2.6.5

$$\sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2 + (p_z - q_z)^2} \quad 2.6.5$$

ระยะทางในขนาดหลายมิติ

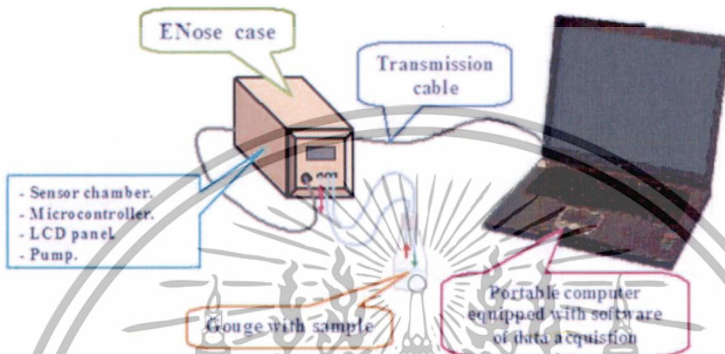
การหาระยะทางระหว่าง 2 จุดในขนาดหลายมิติ $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ และ $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ หาระยะทางได้ดังสมการ 2.6.6

$$\sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} \quad 2.6.6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

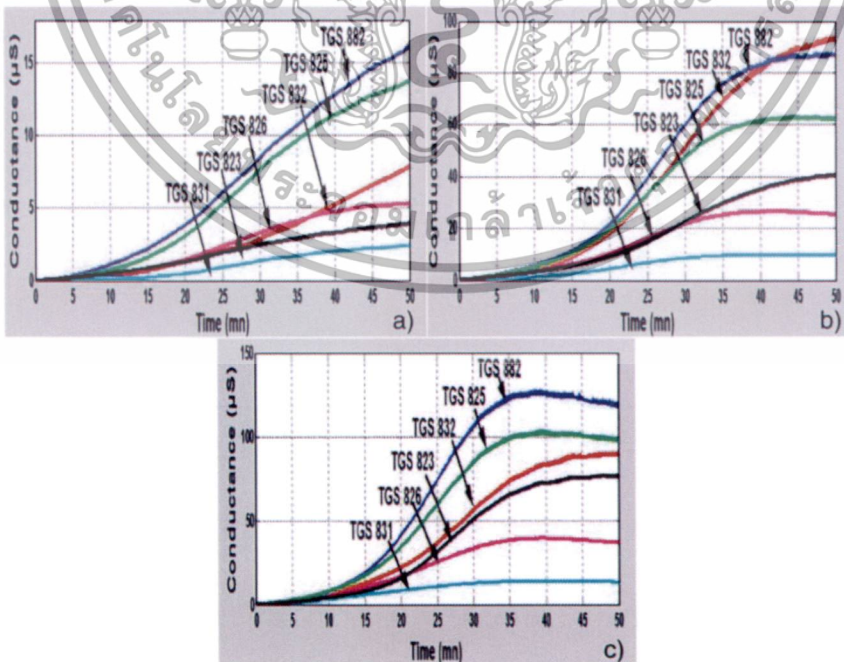
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ตรวจสอบคุณภาพความสดของปลาปลาชาร์ดินโมรอกโค[12] ประกอบด้วยแก๊สเซ็นเซอร์ 6 ชนิดด้วยวงจรแปลงสัญญาณ ADC 10 – bit และเซ็นเซอร์อุณหภูมิความชื้น โดยใช้การควบคุมไมโครคอนโทรเลอร์ (Pic 16F877) เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยการสื่อสารแบบอนุกรม RS 232 ทำหน้าที่ประมวลผลด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis : PCA) และ (support vector machines : SVMs) ดังรูปที่ 2.7.1



รูปที่ 2.7.1 แผนผังแสดงการทดลองการวัดความสดของปลาชาร์ดิน

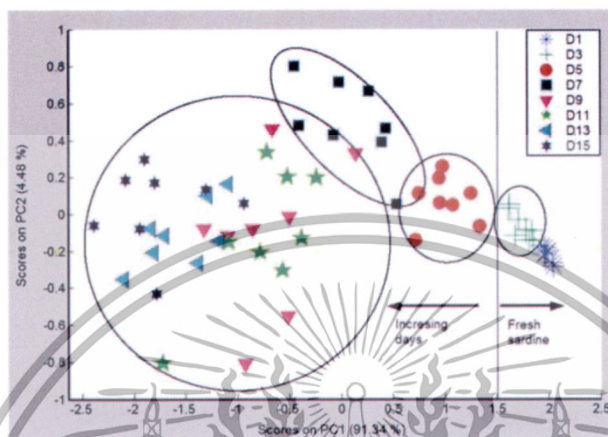
รูปที่ 2.7.2 แสดงการตอบสนองของค่าการนำไฟฟ้าของแก๊สเซ็นเซอร์ทั้ง 6 ชนิดที่ตรวจสอบความสดของปลาชาร์ดินที่จัดเก็บไว้วันที่ 3 วันที่ 7 และวันที่ 13 โดยค่าความนำ 20 μs ,100 μs และ 150 μs ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับความสดของปลาชาร์ดินเมื่อเก็บไว้นานจะมีกลิ่นที่แรงขึ้น



รูปที่ 2.7.2 การตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ทั้งหกชนิด วันที่ 3 (a), วันที่ 7 (b), วันที่ 13 (c) [11]

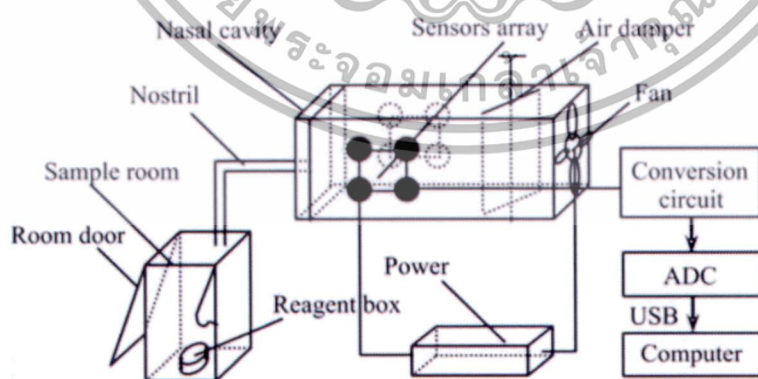
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความสดของปลาซาร์ดีนที่เก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียสด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) จากการเก็บค่าเฉลี่ยจากการสุ่มตัวอย่าง 8 ครั้ง โดยแกนนอนแสดงถึงค่าความแปรปรวนของข้อมูล 91.34% (ค่าความสดของปลาซาร์ดีนที่เก็บ) และแกนตั้งแสดงถึงค่าความแปรปรวนของข้อมูล 4.48% (ความสอดคล้องของชนิดเซ็นเซอร์) ดังรูปที่ 2.7.3 แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของการวัดโดยสามารถระบุได้ 5 กลุ่มตัวอย่างปลาซาร์ดีนที่สอดคล้อง 1, 3, 5, 7 และ 9-15 วันของการเก็บรักษา



รูปที่ 2.7.3 PCA Scores plot ข้อมูลความสดของปลาซาร์ดีนจากแก๊สเซ็นเซอร์หกชนิด[12]

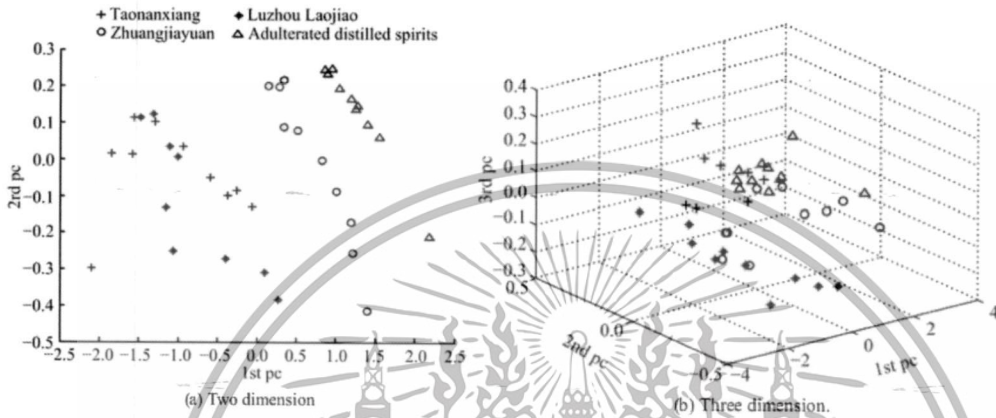
การใช้จมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการระบุยี่ห้อสุราด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและโครงข่ายประสาทเทียม[13] โดยมีระบบดังรูปที่ 2.7.4 ประกอบด้วยแปดเซ็นเซอร์แก๊ส(TGS812,TGS813,TGS821,TGS822, TGS824, TGS822TF, TGS825,TGS880) ผลิตโดยบริษัท ฟิกัวโร และมีระบบดูดอากาศด้วยพัดลมจากห้องตัวอย่างกลิ่น(Sample room)เข้ามาในห้องโพรงจมูก (Nasal cavity) กลิ่นตัวอย่างจะถูกแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าและส่งให้วงจร (ADC) ผ่านทางพอร์ต USB แล้วใช้การประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม MATLAB ต่อไป



รูปที่ 2.7.4 ชุดการทดลองของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการระบุยี่ห้อสุรา

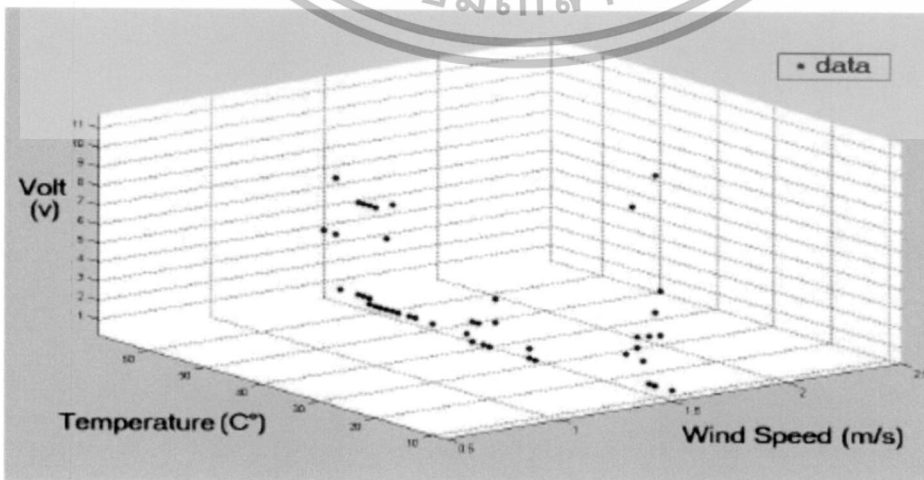
การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) ที่รวบรวมกลุ่มข้อมูลเมทริกซ์ชนิดของยี่ห้อสุรา 40 กลุ่มข้อมูล โดยแกนนอน (1st pc) แสดงถึงค่าความแปรปรวนของข้อมูล 95.86% (ชนิดของยี่ห้อสุรา) และแกนตั้ง (2nd pc) แสดงถึงค่าความแปรปรวนของข้อมูล 2.53% (ค่าความสอดคล้องของเซ็นเซอร์) อย่างไรก็ตาม การคำนวณ PCA นี้ใช้เวลานานมาก และต้องปรับแก้ค่าพารามิเตอร์การคำนวณซ้ำๆ ไม่เว้นการแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดคล้องของชนิดเซ็นเซอร์) ดังรูปที่ 2.7.5 (a) ทดสอบ Tao Nan Xiang 42% (V/V) : “+”, Luzhou Laojiao 45% (V/V) : “◆”, Zhuangjiayuan 42% (V/V) : “o”, Adul-terated distilled spirits 40% (V/V) : “△” (โดยการผสมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์กับน้ำ 95%) ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักแบบ 2 มิติ สามารถจำแนกสุร่ายี่ห้อสุร่า และรูปที่ 2.7.5 (b) เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักแบบ 3 มิติ สามารถจำแนกสุร่ายี่ห้อสุร่าได้บางส่วนแต่ยังไม่สมบูรณ์



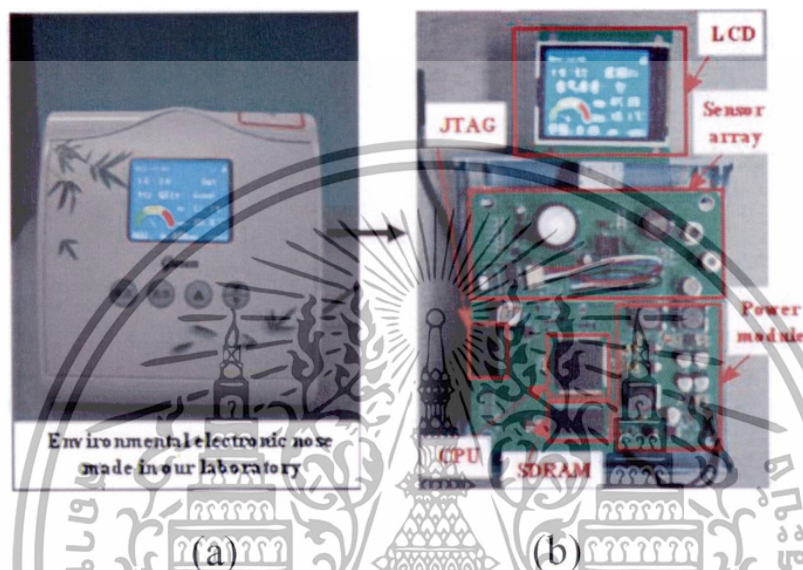
รูปที่ 2.7.5 ผลการจำแนกชนิดสุร่าด้วยการวิเคราะห์ PCA. (a) 2 มิติ (b) 3 มิติ [14]

จุ่มอิเล็กทรอเนกส์เพื่อพิจารณาถึงมลพิษทางสิ่งแวดล้อมและสร้างแบบจำลองการย้อนกลับ[4] สำหรับการตรวจสอบการใช้งานระบบกริดเซ็นเซอร์ในการตรวจสอบตรวจสอบแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO, CO₂) โดยใช้จุ่มอิเล็กทรอเนกส์ที่ประกอบด้วยแก๊สเซ็นเซอร์ TGS822, TGS2442, TGS813, TGS4160, TGS2600 เซ็นเซอร์อุณหภูมิเซ็นเซอร์ความชื้นและความเร็วลมเซ็นเซอร์ ทั้งหมดจะถูกเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Pic16F628A) และเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MatLab มาวิเคราะห์ทางสถิติ และอิทธิพลของอุณหภูมิด้วย Mean Square Error (MSE) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในลำดับสุดท้ายดังรูปที่ 2.7.6



เอกสารนี้รูปที่ 2.7.6 ข้อมูลระดับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่บันทึกได้จากชุดเซ็นเซอร์ [4] ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบประสาทเทียมให้กับจุมูกอิลีเกททรอนิกส์แบบพกพาสำหรับการประเมินความเข้มข้นสารฟอร์มัลดีไฮด์และเบนซินในที่อยู่อาศัย [14] โดยจุมูกอิลีเกททรอนิกส์แบบพกพาที่สร้างขึ้นประกอบด้วยแก๊สเซ็นเซอร์ TGS2602, TGS2620 และ TGS2201A TGS2201B นอกจากนี้ยังมีเซ็นเซอร์อุณหภูมิความชื้น SHT2230 ติดตั้งอยู่บนแผงวงจร (PCB) ใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล TLC2543 เชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผล (FPGA) มีวงจรเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทาง (JTAG) พอร์ตซึ่งสามารถนำมาใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลและโปรแกรมการดังรูปที่ 2.7.7



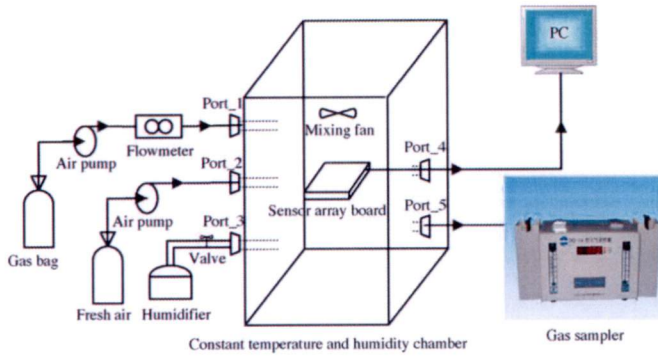
รูปที่ 2.7.7 จุมูกอิลีเกททรอนิกส์แบบพกพาที่สร้างขึ้น

(a) จุมูกอิลีเกททรอนิกส์ที่ออกแบบเองสำหรับคุณภาพอากาศภายในอาคาร

(b) เป็น PCB วงจรภายในและส่วนประกอบต่างๆ

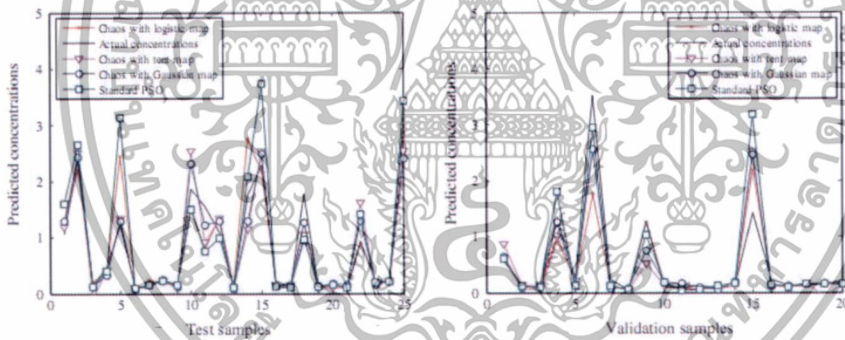
ในการตรวจสอบของสารฟอร์มัลดีไฮด์และความเข้มข้นของเบนซินที่ช่วงความเข้มข้น 0-10 ppm ที่อุณหภูมิ 15, 25, 30, 35 องศาเซลเซียสและความชื้น 40%, 60%, 80% RH (ความชื้นสัมพัทธ์) เพื่อที่จะเลียนแบบสภาพแวดล้อมจริง สำหรับรอบการวัดในแต่ละครั้งกำหนดให้รอบละ 20 นาที 2 นาที เก็บอากาศอ้างอิง, 8 นาทีสำหรับการสู่มตัวอย่างแก๊ส และ 10 นาทีสำหรับการทำความสะอาดห้องทดสอบโดยให้พอร์ตที่ 1 ใช้สำหรับฉีดสารปนเปื้อน พอร์ตที่ 2 ใช้ในการทำความสะอาดห้องทดสอบด้วยการฉีดอากาศบริสุทธิ์เข้าไปในระบบ พอร์ตที่ 3 มีการตั้งค่าการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ พอร์ตที่ 4 ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลกับอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์ผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยพอร์ต JTAG และพอร์ตที่ 5 มีการสู่มตัวอย่างโดยเก็บตัวอย่างแก๊สสำหรับการวิเคราะห์ความเข้มข้นของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ spectrophotometer และ GC ดังระบบในรูปที่ 2.7.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



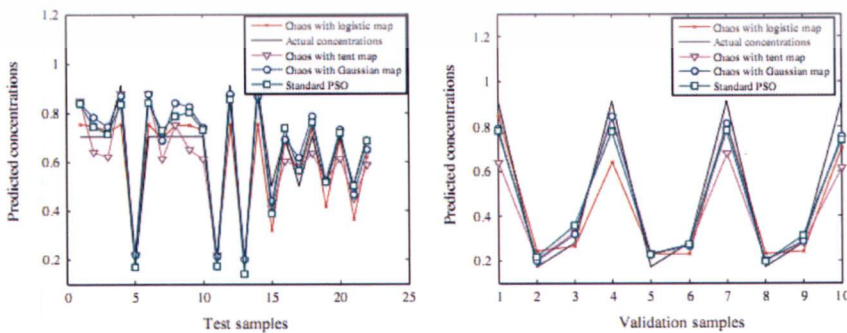
รูปที่ 2.7.8 แผนผังการทดลองกับระบบจุ่มก๊อกลีเกททรอนิกส์

ผลการประมาณค่าสารฟอร์มาลดีไฮด์และเบนซีนในการทดลองนี้ใช้การวิเคราะห์ด้วยระบบเครือข่ายประสาท เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจับกลุ่มอนุภาคมาตรฐานเครือข่ายประสาท (Particle Swarm Optimization : PSO Neural network) ในการทดสอบโดยมีการจัดชุดฝึกทดสอบ (training samples) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้โมเดลถูกต้องที่สุด รูปที่ 2.7.9 แสดงให้เห็นการตรวจสอบสารฟอร์มาลดีไฮด์และการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย PSO Neural network และ รูปที่ 2.7.10 แสดงให้เห็นการตรวจสอบสารเบนซีนและการเพิ่มประสิทธิภาพด้วย PSO Neural network



(a) ตัวอย่างการตรวจสอบ (b) เพิ่มประสิทธิภาพ PSO Neural network

รูปที่ 2.7.9 ผลการตรวจของตัวอย่างสารฟอร์มาลดีไฮด์ [14]



(a) ตัวอย่างการตรวจสอบ (b) เพิ่มประสิทธิภาพ PSO Neural network

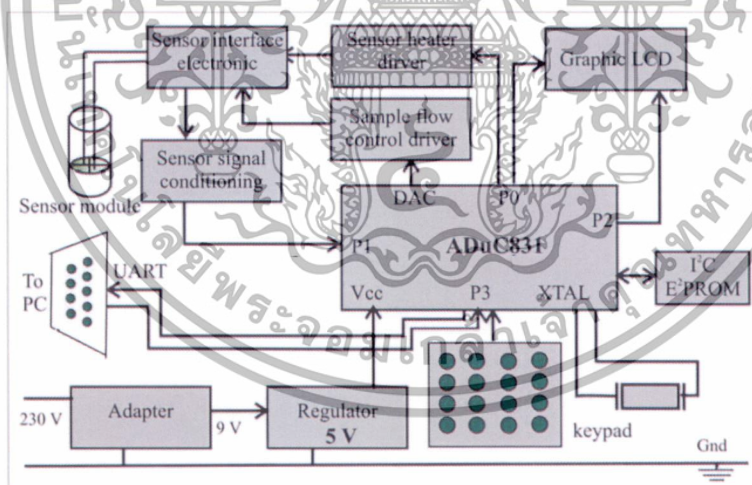
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยรูปที่ 2.7.10 ผลการตรวจของตัวอย่างสารเบนซีน [14] ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 - 2 แสดงค่าผิดพลาดการเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายโดยเครือข่ายประสาทด้วยวิธีต่างๆ [14]

Estimation models	Relative prediction error (%)					
	Formaldehyde			Benzene		
	Train	Test	Validation	Train	Test	Validation
Single BP	46.55	40.38	58.37	27.18	16.53	29.71
Logistic map-BP	28.35	28.89	32.34	16.57	12.15	17.96
Tent map-BP	29.78	30.27	49.49	8.910	13.12	19.16
Gaussian map-BP	30.06	23.06	50.64	11.62	11.73	13.31
Standard PSO-BP	29.94	29.56	47.06	12.49	12.21	16.08

จากตารางที่ 2 - 2 แสดงค่าผิดพลาดของการเพิ่มประสิทธิภาพทั้งสี่วิธี พบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธี Logistic map - BP มีค่าผิดพลาดการทำนายต่ำสุด 32.34% ของกลุ่มการตรวจสอบตัวอย่างสารฟอร์มัลดีไฮด์ โดยลดลงจากวิธี Single BP 26.03% และวิธี Gaussian map - BP มีข้อผิดพลาดการทำนายต่ำสุด 13.31% ของกลุ่มการตรวจสอบตัวอย่างสารเบนซีน โดยลดลงจากวิธี Single BP 16.14% เนื่องจากระบบเครือข่ายประสาทได้รับการฝึกทดสอบแยกแต่ละแก๊สดังนั้นการประยุกต์ใช้งานจริงวิธีการประมาณค่าการทำนายที่มีค่าความผิดพลาดต่ำในการตรวจสอบแก๊ส

จุมุกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับกรวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายผสม [15] โดยมีระบบดังรูปที่ 2.7.11 ประกอบด้วยอาร์เรย์เซ็นเซอร์ โลหะออกไซด์เซ็นเซอร์เซมิคอนดักเตอร์ TGS2620, TGS2610, TGS2600. มี ADuC 831 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS232 มีหน้าจอแสดงผล Graphic LCD และ Keypad รับคำสั่ง มีหน่วยความจำ I2C E2Prom



รูปที่ 2.7.11 ระบบการทำงานของ ADuC831 สมองกลฝังตัวของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์

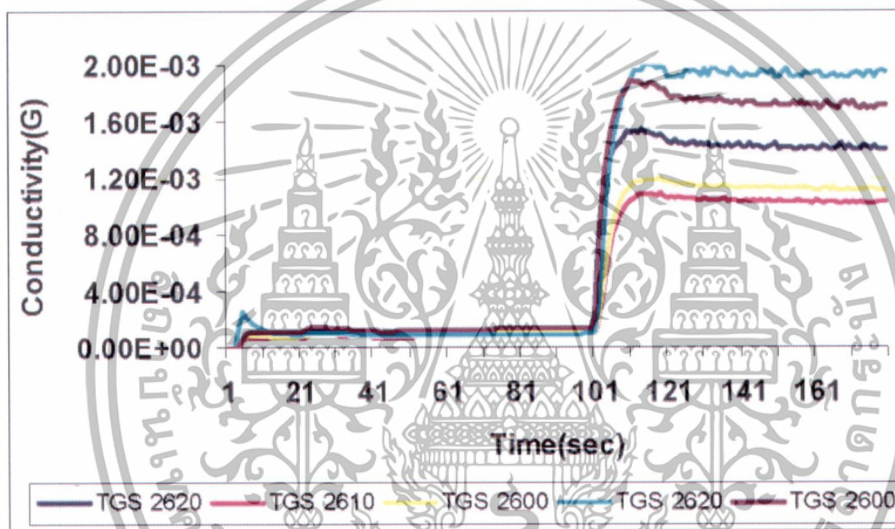
การทดลองดำเนินการโดยจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ประมาณอัตราร้อยละของความเข้มข้นในสารอินทรีย์ระเหยง่ายผสม: VOCs Mixture เช่น (เอทานอล + น้ำ), (เมทานอล + น้ำ) และ (เอทานอล + เมทานอล) ดังตารางที่ 2 - 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 – 3 แสดงปริมาณของส่วนผสมในสารอินทรีย์ระเหยง่าย [15]

VOC mixture in %	mixture in ml
20 - 100	2 - 10
40 - 100	4 - 10
60 - 100	6 - 10
80 - 100	8 - 10
100 - 100	10 - 10

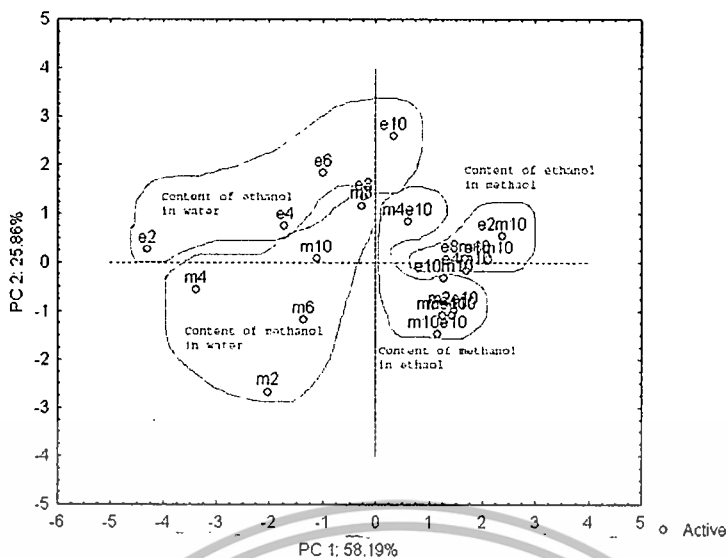
ระบบในการตรวจวัด ใช้เวลาในการอุ่นเซ็นเซอร์ (sensing element preheating time) 20 วินาทีและเก็บค่าอากาศแวดล้อม 1 นาที และเก็บค่าโดยการฉีดตัวอย่างแอลกอฮอล์ที่ผสมน้ำเข้าไปในระบบ 250 ppm ในหนึ่งรอบการวัดใช้เวลา 20 วินาทีเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและบันทึกข้อมูล 1 นาที ดังรูปที่ 2.7.12



รูปที่ 2.7.12 การตอบสนองเซ็นเซอร์ช่วงขณะของสารผสมเอทานอล 60% และเมทานอล 100%

การวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ดังรูปที่ 2.7.13 โดยแกนนอน (PC1:58.19%) แสดงถึงค่าความแปรปรวนความเข้มข้นของสารผสม และแกนตั้ง(PC2 25.68%)แสดงถึงค่าความแปรปรวนความสอดคล้องของชนิดเซ็นเซอร์ สามารถจำแนก แอลกอฮอล์ผสมกับน้ำ, เมทานอลผสมกับน้ำ และแอลกอฮอล์ผสมเมทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7.13 แสดง PCA Score plot ของ e คือแอลกอฮอล์ผสมน้ำ, m คือเมทานอลผสมน้ำ, em คือแอลกอฮอล์ผสมเมทานอล และตัวเลขค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารผสมกับน้ำ [15]

ตารางที่ 2 - 4 แสดงการกำหนดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายผสม [15]

VOC mixture in %	Ethanol + Water		Methanol + Water		Ethanol + Methanol	
	Mean	RMS (Er +/-)	Mean	RMS (Er +/-)	Mean	RMS (Er +/-)
20 - 100	20.62 - 99.90	2.61 - 1.97	21 - 99.67	1.19 - 1.21	20.5 - 99.5	1.77 - 1.64
40 - 100	39.00 - 99.87	1.85 - 1.72	40.25 - 100.1	1.03 - 1.14	40.75 - 100.23	1.16 - 1.15
60 - 100	60.50 - 100.00	1.06 - 1.26	60.5 - 100.00	0.75 - 0.89	59.87 - 99.89	1.24 - 1.10
80 - 100	80.00 - 99.89	1.19 - 1.15	79.62 - 100.00	0.51 - 0.47	79.5 - 100.11	0.53 - 0.64
100 - 100	99.89 - 100.10	0.90 - 0.78	99.79 - 100.12	0.40 - 0.36	99.5 - 100.05	0.37 - 0.28

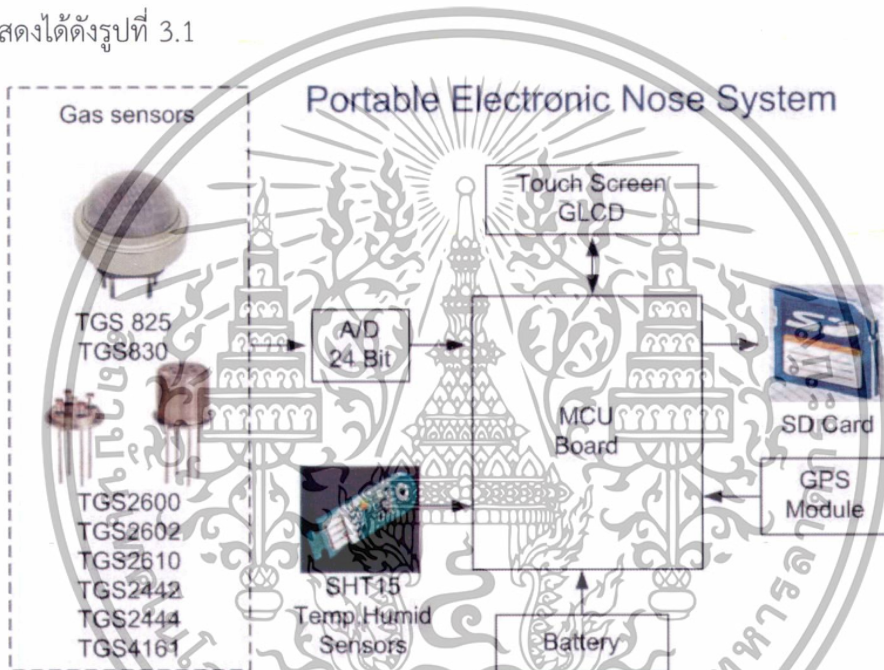
จากตารางที่ 2 - 4 แสดงการประมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายผสมโดยการวัดด้วยจุ่มกิโลอิเล็กโทรนิกส์และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Multilayer Perceptron Neural Network (MLP-NN) แสดงค่าความเข้มข้นเฉลี่ยจากการประมาณค่าพร้อมกับค่าความคลาดเคลื่อน โดยความคลาดเคลื่อนข้างสูงที่ระดับต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา

การออกแบบเพื่อจะสร้างเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ให้ตอบสนองถึงความต้องการ จำเป็นที่จะต้องมีความสามารถในการทำงานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การวัดกลิ่นแต่ละชนิด วิธีการบันทึกผลข้อมูลที่ได้จากการวัด รูปแบบการแสดงผลที่ดูชัดเจนและง่ายต่อการใช้งานอย่างเช่น รูปแบบของจอสัมผัส สามารถเก็บข้อมูลของตำแหน่งจากการตรวจวัดในแต่ละครั้งได้ มีขนาดเหมาะสมง่ายต่อการพกพา และสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องยาวนาน หลักการทำงานของภาพรวมของเครื่องมือวัดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



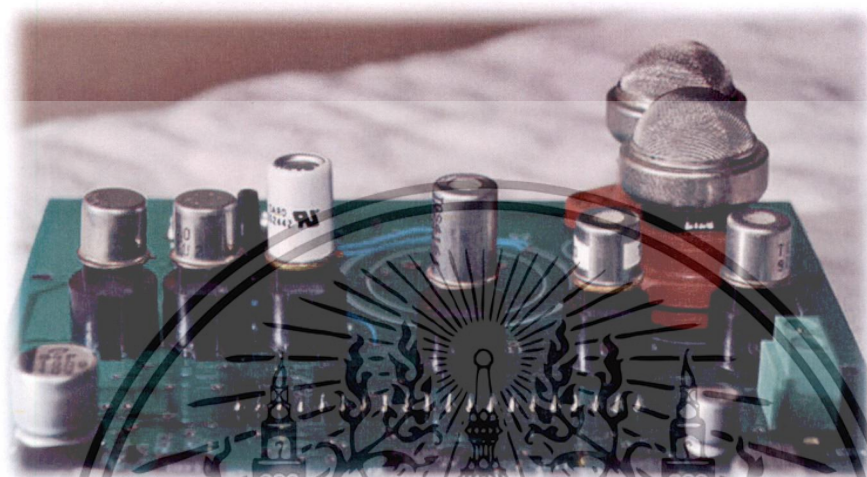
รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา

โดยหลักการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์จะเปลี่ยนกลิ่นหรือไอระเหยของสารเคมีเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าด้วยแก๊สเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ชนิดสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณด้วยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (A/D 24 Bit) และข้อมูลอุณหภูมิความชื้นถูกอ่านค่าด้วยเซ็นเซอร์ (SHT15) แล้วแปลงเป็นสัญญาณข้อมูลดิจิทัล ถูกส่งเข้าไปประมวลผลที่หน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) จะรับค่าสัญญาณนาฬิกาและตำแหน่งจากโมดูลจีพีเอส (GPS Module) มารับตำแหน่งและเวลามาบันทึกลง SD Card และหน่วยประมวลผล (MCU) จะอ่านค่า Covariance ของเมตริกซ์และค่า PC1,PC2,PC3 จากหน่วยความจำ SD Card เพื่อนำประมวลผลร่วมกับค่าจากเมตริกซ์แก๊สเซ็นเซอร์และแสดงผลที่หน้าจอสัมผัส (Touch Screen GLCD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การวิเคราะห์เลือกอุปกรณ์และการออกแบบสร้างจมูกอิเล็กทรอนิกส์

3.1.1 แก๊สเซ็นเซอร์ คือส่วนของการตัวตรวจสอบกลิ่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีความหลากหลายต่อกลิ่นสารเคมีที่จะตรวจสอบจึงได้มีการเลือกใช้แก๊สเซ็นเซอร์หลายชนิดแก๊สเซ็นเซอร์มาประกอบกันบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ดังรูปที่ 3.1.1 โดยคุณสมบัติของการแยกชนิดสารเคมีต่างๆด้วยกัน 7 ชนิดดังตารางที่ 3-1



รูปที่ 3.1.1 แก๊สเซ็นเซอร์ในจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา

ตารางที่ 3-1 ชนิดแก๊สเซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับออกแบบสร้างจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา

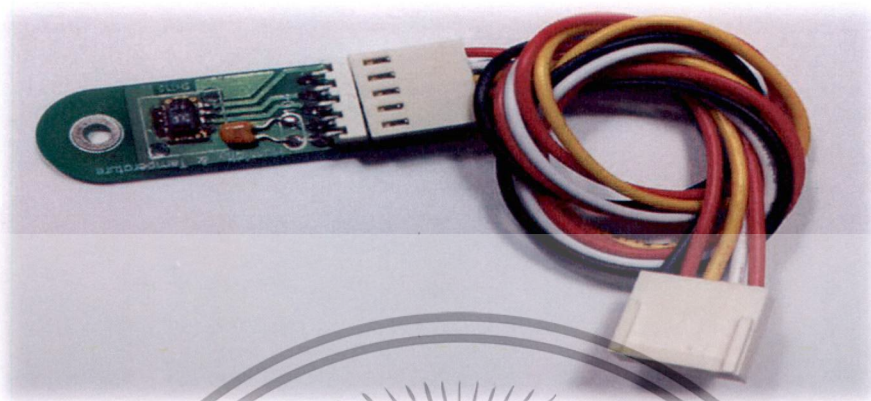
เซ็นเซอร์	ชนิด	สารที่ตรวจวัดได้	ความละเอียด
TGS825	H ₂ S	Hydrogen sulfide	5ppm.
TGS830	CFCs	CFCs	100ppm.
TGS2600	Air contaminants	VOCs, hydrogen, ethanol, iso-butane	1 ppm
TGS2610	LPG	Iso-butane/Propane, Methane, Hydrogen	100 ppm
TGS2602	Air contaminants	VOCs, Toluene, Hydrogen sulfide	0.1ppm.
TGS2444	NH ₃	Ammonia	0.5ppm.
TGS4161	CO ₂	Specific to carbon dioxide	350ppm.

3.1.2 เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น จากการใช้งานจมูกอิเล็กทรอนิกส์ด้านการตรวจวัดกลิ่นทางสิ่งแวดล้อม มีสภาพอากาศในจุดตรวจวัดไม่เหมือนกัน จึงเลือกใช้เซ็นเซอร์อุณหภูมิและเซ็นเซอร์ความชื้นมาใช้ตรวจสอบร่วมกับแก๊สเซ็นเซอร์ ทางผู้วิจัยเลือกใช้เซ็นเซอร์ SHT15 ดังรูปที่ 3.1.2 เป็นโมดูลวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ แบบให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งมีคุณสมบัติคือ

- ใช้มาตรฐานการสื่อสารแบบ I2C ทำให้ประหยัด port เพราะมีขาสัญญาณเพียง 2 เส้น

- สามารถใช้วัดได้ทั้งความชื้นและอุณหภูมิในตัวเดียวกันขนาดเล็ก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

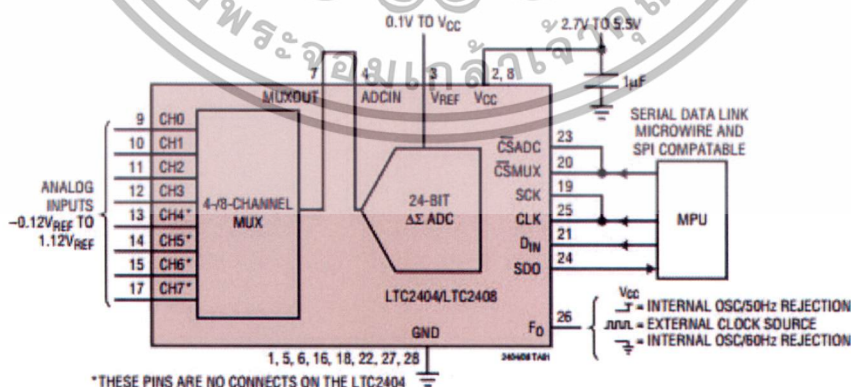
- สามารถกำหนดความละเอียดของย่านการวัดได้มีขนาดเล็กและกินพลังงานต่ำทำงานในย่านแรงดันไฟเลี้ยง +2.4 ถึง +5.5V เซ็นเซอร์นี้มีความละเอียดสูงเพียงพอต่อการคำนวณ
- มีเสถียรภาพในการทำงานสูง ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานมาแล้ว



รูปที่ 3.1.2 เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น SHT15

3.1.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิทัล ADC เนื่องจากสัญญาณที่ส่งออกจากแก๊ส เซ็นเซอร์ เป็นสัญญาณแอนาล็อกแต่การประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นสัญญาณที่เป็นดิจิทัลฉะนั้นจึงจำเป็นต้องแปลง สัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยผู้จัดวิจัยได้เลือกใช้ IC LTC2408 ดังรูปที่ 3.1.3 ซึ่งมีคุณสมบัติคือ

- เชื่อมต่อระบบด้วยมาตรฐานการสื่อสาร SPI ซึ่งมีขาเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพียง 4 เส้น
- มีความละเอียดสูงถึง 24 bit สามารถต่อสัญญาณอินพุตได้ 8 ช่องสัญญาณความเร็วในการสลับช่องสัญญาณ 250 ms ต่อครั้ง

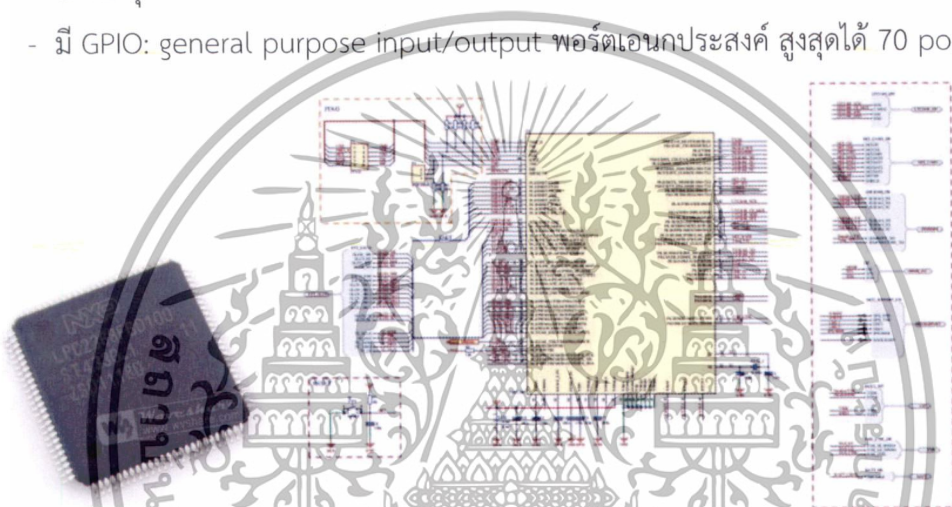


รูปที่ 3.1.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนาล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU)เลือกใช้ MCU 16 / 32 bit ตระกูล ARM 7 TDMI – s Core LTC2368 มีความเร็วในการประมวลผลสูง ใช้พลังงานต่ำและสามารถทำงานแบบ multi tasking ได้ด้วย RTOS ดังรูปที่ 3.1.4 ซึ่งมีคุณสมบัติคือ

- MCU มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash ขนาด 512KB, Static RAM ขนาด 58KB
- MCU สามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 72 MHz
- มีวงจรรีโมต RS232 4 ชุด
- มี A/D 3.3 V. 10bit 6 ช่อง
- I2C 3 ชุด
- SPI 2 ชุด
- มี GPIO: general purpose input/output พอร์ตเอนกประสงค์ สูงสุดได้ 70 port

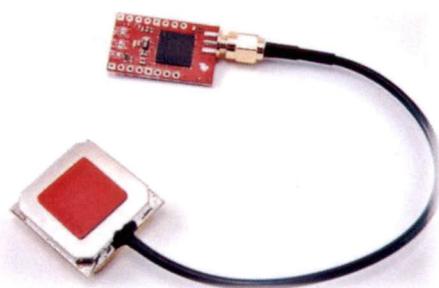


รูปที่ 3.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และวงจร MCU ARM7 TDMI

3.1.5 ระบบระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม GPS ใช้โมดูล Venus GPS รับสัญญาณดาวเทียม GPS เพื่อการบอกตำแหน่งพิกัด ณ จุดใด ๆ และเวลามาตรฐานโลก ดังรูปที่ 3.1.5 ซึ่งมีคุณสมบัติคือ

- รับสัญญาณจากดาวเทียมได้ 20 ดวง มีความแม่นยำสูงถึง 2.5 m
- มีแบตเตอรี่ 3v. เพื่อจัดจําตำแหน่งสุดท้ายและนาฬิกาจากดาวเทียม
- ส่งข้อมูลออกทาง RS232 ความเร็วในการสื่อสาร Baud rate = 9600 ,Data bits : 8,

Parity = None ,Stop bit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.1.5 Module GPS และสายอากาศ GPS
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 SD Card Module และ SD Card หรือ Secure Digital Card คือ สื่อจัดเก็บข้อมูลแบบ nand flash memory ที่ถูกพัฒนาขึ้นจากสื่อเก็บข้อมูลแบบ MMC card เพื่อเป็นหน่วยเก็บข้อมูลขนาดกลาง สำหรับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ซึ่งมีคุณสมบัติคือ

- สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แบบพกพาได้ทันที เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ และสร้างฐานข้อมูลลึกลงให้กับจูนิกซ์แบบพกพา
- ราคาถูก เก็บข้อมูลได้มากซึ่งมีความจุหลาย เช่น 2 GB 4GB 8 GB 16 GB 32 GB 64 GB
- หาซื้อได้ง่ายตามร้านอุปกรณ์มือถือ และร้านอุปกรณ์ IT



รูปที่ 3.1.6 SD Card Module และ SD Card

3.1.7 จอแสดงผลแบบสัมผัส ETT ET-TFT240320TP-3.2 REV.C ซึ่งมีคุณสมบัติคือ

- เป็น Display Module TFT LCD Color + Touch Screen ขนาด 240x320 Pixel ขนาดของหน้าจอ TFT 3.2"
- ความละเอียดของสีแสดงได้ 65536 สี (RGB = R:5bit-G:6bit-B:5bit)
- เลือกรูปการ Interface GLCD ผ่าน DIP SW2. MODE ได้ 3 Mode คือ Parallel Mode 8-bit ,16-bit และ SPI
- ในส่วนของการควบคุม Touch Screen สามารถเลือก Interface ได้ 2 แบบ คือแบบ SPI หรือ Interface โดยใช้เวลา X-,X+,Y-Y+
- ในการใช้งาน ถ้าไม่ต้องการใช้ Touch Screen สามารถ Control เฉพาะในส่วนของของตัว LCD อย่างเดียวก็ได้
- สามารถต่อ Interface ได้ทั้ง MCU ที่ใช้ไฟเลี้ยง 5V และ 3.3V
- ไฟเลี้ยงบอร์ด DC +5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

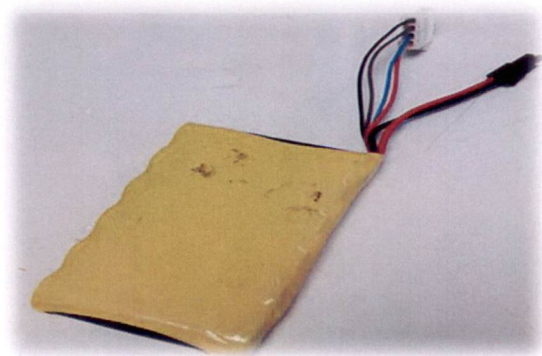


รูปที่ 3.1.7 จอแสดงผลแบบสัมผัส

3.1.8 ภาควัดจ่ายไฟและแบตเตอรี่ เพื่อให้จุมุกอิเล็กทรอนิกส์สามารถใช้งานได้เป็นเวลานาน และมีน้ำหนักเบาและเนื่องจากแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้นใช้หม้อแปลงความถี่ต่ำจึงมีขนาดใหญ่ และน้ำหนักมาก กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนจะมีค่าสูงและต้องใช้แผ่นระบายความร้อนขนาดใหญ่ซึ่งกินเนื้อที่ และจุมุกอิเล็กทรอนิกส์มีการใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าหลายระดับจึงได้ออกแบบให้เป็นภาควัดจ่ายไฟแบบสวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลายดังรูปที่ 3.1.8 ซึ่งประสิทธิภาพที่สูง ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบากว่าภาควัดจ่ายไฟแบบสวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลายแหล่งจ่ายไฟเชิงเส้น ส่วนแบตเตอรี่ ใช้ Battery Lithium-Ion (Li-Ion) ดังรูปที่ 3.1.9



รูปที่ 3.1.8 ภาควัดจ่ายไฟแบบสวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลาย



รูปที่ 3.1.9 แบตเตอรี่ Lithium Ion (Li-Ion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการค้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.9 การออกแบบโครงสร้างห้องเซ็นเซอร์และระบบดูดอากาศ ระบบการรับกลิ่นของจมูกอิเล็กทรอนิกส์นั้นได้เลียนแบบการสูดดมกลิ่นของมนุษย์ จมูกอิเล็กทรอนิกส์ใช้พัดลมดูดอากาศเข้ามาพักในห้องเซ็นเซอร์เพื่อให้เซ็นเซอร์ได้สัมผัสกับกลิ่นหรือสารระเหย การออกแบบห้องเซ็นเซอร์นี้เลือกใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลสสตีลที่มีขนาด 4x6 x10 Cm. ดังรูปที่ 3.1.9 เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่ดูดซับกลิ่นและทำความสะอาดง่าย และในส่วนของพัดลมที่ดูดอากาศเข้ามานั้นใช้เวลา 3 วินาที จากนั้นจะรอให้กลิ่นหรือไอระเหยเคมีกระจายให้ทั่วห้องเซ็นเซอร์ 17 วินาที จึงทำการเก็บข้อมูลของแก๊สเซ็นเซอร์

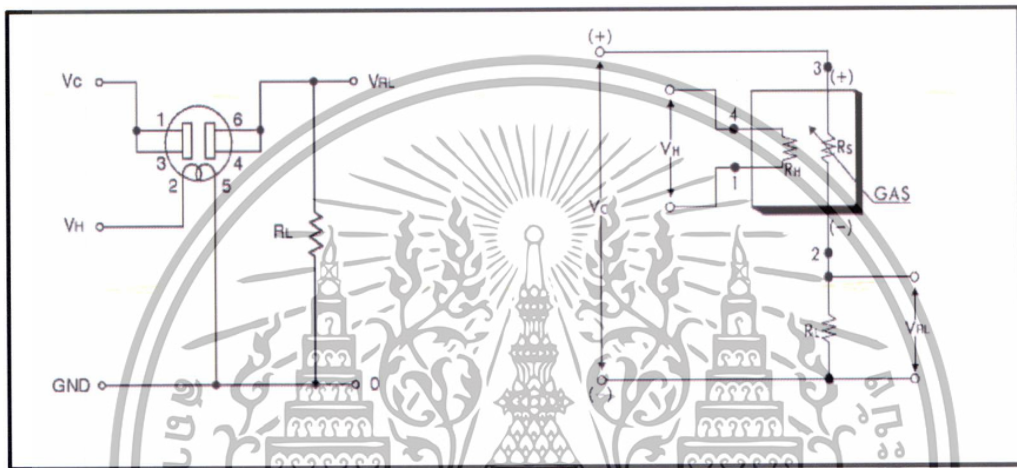


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรเซ็นเซอร์

ในส่วนของวงจรที่ใช้ในระบบวัด คือวงจรแบ่งแรงดัน โดยทั่วไปแก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์จะมีการต่อวงจรใช้งานที่มีลักษณะอยู่สองแบบคือ วงจรที่มีแรงดัน VC กับ VH (Heater) คงที่ และ วงจรที่มีแรงดัน VC กับ VH (Heater) กระตุ่น [8]

3.2.1 วงจรที่มีแรงดัน VC กับ VH (Heater) คงที่คือ มีแรงดันไฟจ่ายให้กับวงจร VC เป็นแรงดันไปกระแสตรงค่าไม่เกิน 5V และ แรงดันที่จ่ายกับ Heater (VH) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) หรือไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แรงดัน 5V ดังรูปที่ 3.2.1



รูปที่ 3.2.1 วงจรของแก๊สเซ็นเซอร์ที่พร้อมใช้งาน [11]

แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์รุ่น TGS 2602 ที่ใช้การต่อวงจรแรงดัน VC กับ VH (Heater) คงที่มีลักษณะเป็นกระป๋องโลหะและมีรูเพื่อให้แก๊สหรือไอระเหยเข้าไปทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็น Sensor element ที่มีขาต่อออกมาใช้งาน 4 ขา คือ VH+ , VH- , VC และขา GND ดังรูป 3.2.2

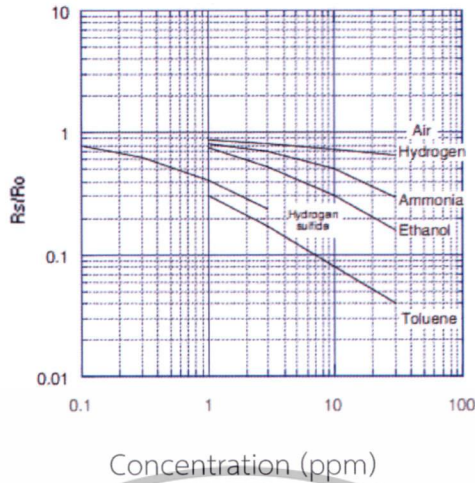


รูปที่ 3.2.2 แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ รุ่น TGS 2602 [11]

ค่าความต้านทานต่อการตอบสนองของไอระเหยสารเคมี Toluene , Hydrogen Sulfide, Ethanol, Ammonia , Hydrogen และอากาศ ดังรูป 3.2.2 โดยค่า

R_s คือ ค่าความต้านทานของไอระเหยสารเคมีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัยของภาควิชาศึกษานานาชาติ ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 R_o คือ ค่าความต้านทานของอากาศปกติ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.3 ความต้านทานตอบสนองไอสารเคมีต่างๆ ต่อความต้านทานในอากาศ R_s/R_o ของเซ็นเซอร์ TGS 2602 [11]

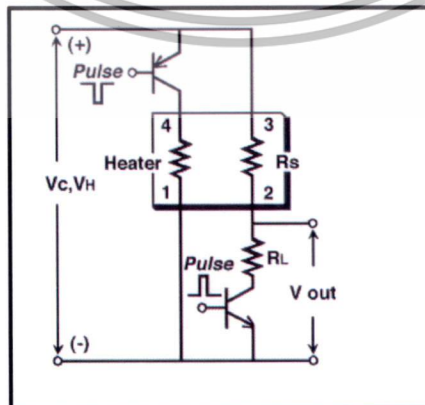
ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์สามารถหาได้จากสมการที่ 3.1

$$R_s = \left(\frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L \tag{3.1}$$

จากสมการที่ 3.1 เราจะนำไปใช้คำนวณหาค่าความต้านทานโหลด R_L ที่จะนำไปใช้ต่อในวงจรและกำลังงานไฟฟ้าที่เซ็นเซอร์ใช้ไปสามารถหาได้จากสมการที่ 3.2

$$P_s = \frac{V_C^2 \times R_s}{(R_s + R_L)^2} \tag{3.2}$$

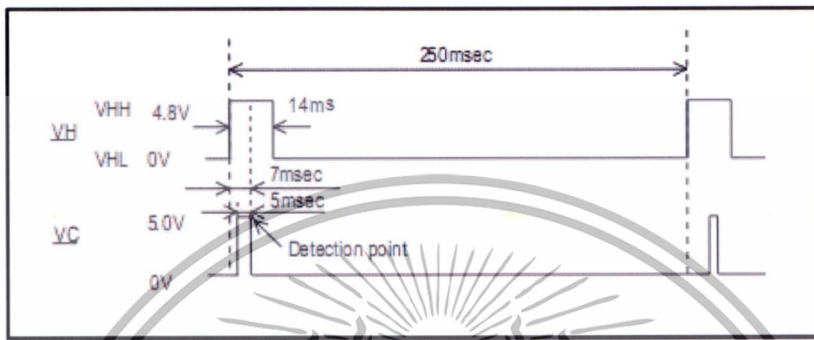
3.2.2 วงจรที่มีแรงดัน V_C กับ V_H (Heater) กระตุ้น คือแก๊สเซ็นเซอร์ที่ต้องมีแรงดันไฟกระตุ้นให้กับวงจร V_C และแรงดันที่จ่ายกับ Heater (V_H) โดยการออกแบบวงจรให้มีทรานซิสเตอร์เพื่อเป็นสวิทช์รองรับการกระตุ้นเป็นสัญญาณพัลส์ ตามรอบระยะเวลาของการกระตุ้นนั้นขึ้นอยู่กับสารเป้าหมายที่จะวัดตามคู่มือแก๊สเซ็นเซอร์ดังรูปที่ 3.2.4



รูปที่ 3.2.4 วงจรของแก๊สเซ็นเซอร์ที่มีแรงดัน V_C กับ V_H (Heater) กระตุ้น [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระตุ้นสัญญาณ VH (Heater) กับ VC กระตุ้น มีการกระตุ้นด้วยพัลส์จ่ายให้กับวงจร VH เป็นค่าไม่เกิน 5 V. เป็นเวลา 14 ms และหยุดการกระตุ้น VH เป็นเวลา 236 ms ,สัญญาณ VC จะกระตุ้นหลังจากกระตุ้นสัญญาณ VH เป็นเวลา 2 ms จึงกระตุ้นสัญญาณ VC เป็นเวลา 5 ms แล้วจึงทำการอ่านค่าระดับแรงดัน (Detection point) ที่เวลาดังกล่าว จากนั้นหยุดการกระตุ้น VC เป็นเวลา 245 ms ดังรูปที่ 3.2.5



รูปที่ 3.2.5 สัญญาณกระตุ้นของแก๊สเซ็นเซอร์ที่มีแรงดัน VC กับ VH (Heater) กระตุ้น[11]

แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์รุ่น TGS 2444 ที่ใช้การต่อวงจรแรงดัน VC กับ VH (Heater) ที่มีการกระตุ้นลักษณะเป็นกระป๋องโลหะและมีรูเพื่อให้แก๊สหรือไอระเหยเข้าไปทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็น Sensor element ที่มีขาต่อออกมาใช้งาน 4 ขา คือ VH+, VH-, VC และขา GND ดังรูปที่ 3.2.6

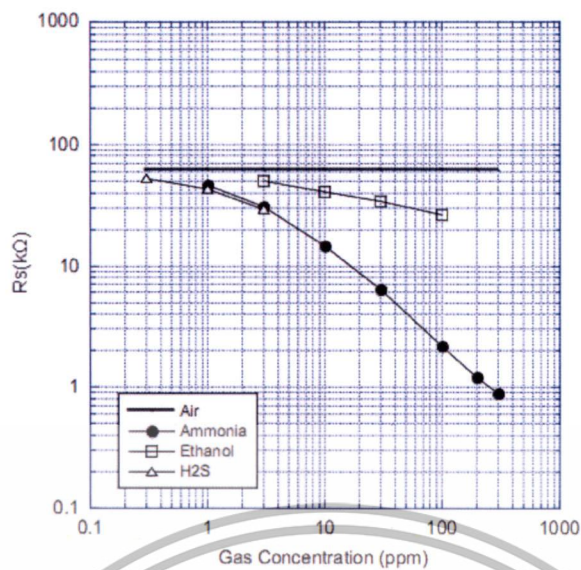
รูปที่ 3.2.6 แก๊สเซ็นเซอร์แบบโลหะออกไซด์ รุ่น TGS 2444 [11]

ค่าความต้านทานต่อการตอบสนองของไอระเหยสารเคมี Ammonia, Hydrogen Sulfide, Ethanol และอากาศ ดังรูปที่ 3.2.7 โดยค่า

R_s คือ ค่าความต้านทานของไอระเหยสารเคมีต่างๆ

R_o คือ ค่าความต้านทานของอากาศปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.7 ความต้านทานตอบสนองต่อไอสารเคมีต่างๆ
ต่อความต้านทานในอากาศ R_s/R_o ของเซ็นเซอร์ TGS 2444 [11]

ค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์สามารถหาได้จากสมการที่ 3.3

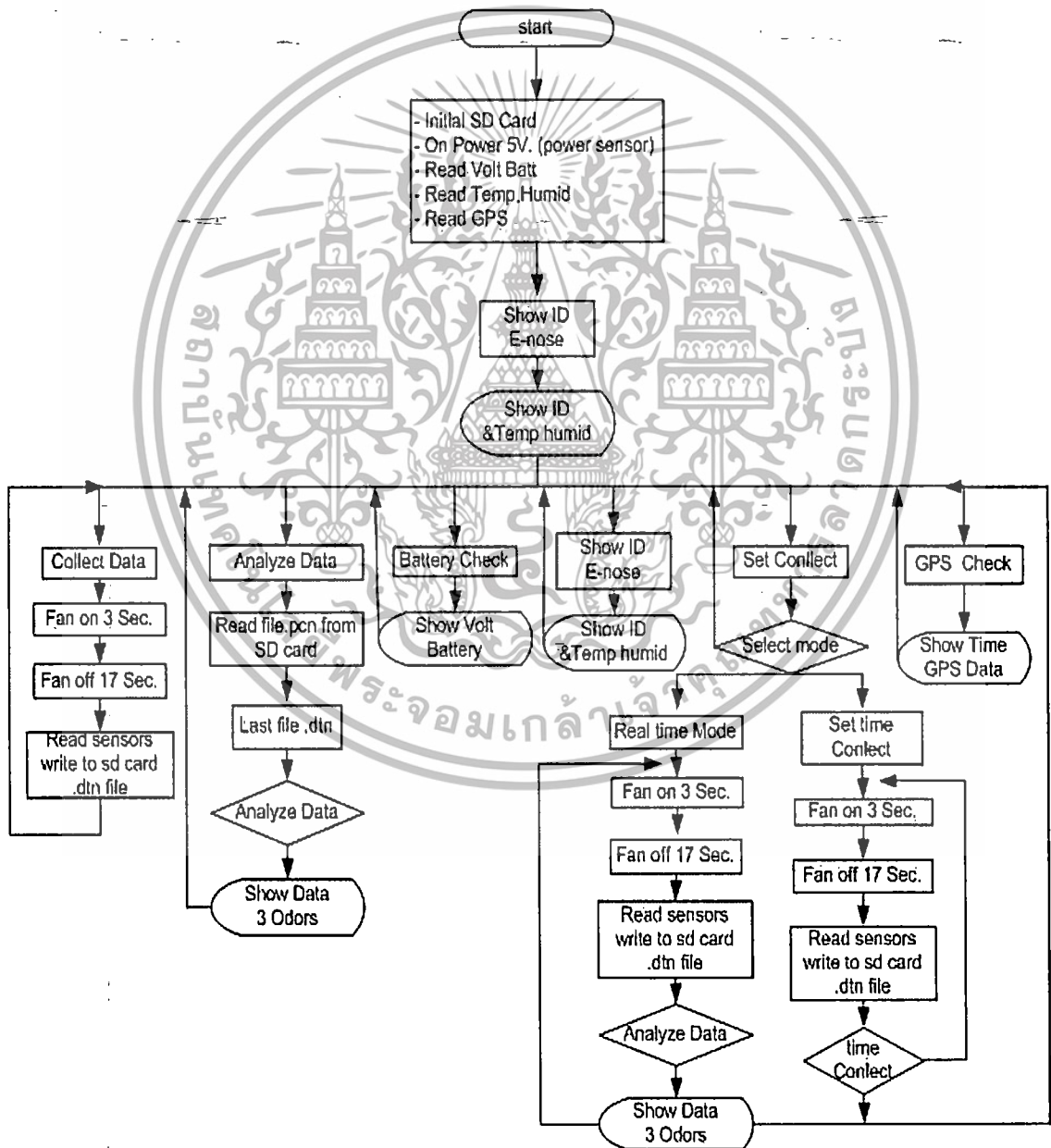
$$R_s = \frac{V_c \times R_L}{V_{out}} - R_L$$

3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา

จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพามีการทำงานในระดับการควบคุมการอ่านค่าชุดเซ็นเซอร์และอุปกรณ์หลายส่วนในเวลาเดียวกัน หรือบางการทำงานเมื่อเปิดเครื่องมาแล้วจะต้องทำงานตลอดด้วยความซับซ้อนของการทำงานนี้ การพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์ได้เลือกใช้ระบบปฏิบัติการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เรียกว่า Real Time Operating System: RTOS ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานที่ซับซ้อนและงานที่จำเป็นต้องทำงานหลายงานในเวลาเดียวกันที่ว่ามีลิตาทาสกิ้ง (Multitasking) ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปิดเครื่องขึ้นมา ระบบจะทำการตรวจสอบระดับแบตเตอรี่ ตรวจสอบการเขียนอ่านหน่วยความจำ SD Card การตรวจสอบการสื่อสารกับโมดูลระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม (GPS) การอ่านข้อมูลอุณหภูมิความชื้น และทำการเปิดระบบไฟเลี้ยงวงจรแก๊สเซ็นเซอร์ จากนั้นจะแสดงค่าอุณหภูมิความชื้นและ ID เครื่องเพื่อเตรียมรอรับคำสั่งจากหน้าจอสัมผัสต่อไป เมื่อติดต่อกับระบบพื้นฐานเสร็จจะเข้าสู่โหมดการทำงาน [ภาคผนวก ข] โดยขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา ดังนี้

1. โปรแกรมการเก็บข้อมูลกลิ่น (Collect odor data) ทำการเก็บข้อมูลโดยการเปิดพัดลมดูดอากาศเข้าไปในห้องแก๊สเซ็นเซอร์เป็นเวลา 3 วินาที จากนั้นรอให้แก๊สเซ็นเซอร์คืนสภาพเป็นเวลา 17 วินาที และทำการอ่านข้อมูลจากชุดแก๊สเซ็นเซอร์ทุกๆ 4 วินาทีจนครบ 10 ครั้งแล้วบันทึกไฟล์ (xxxxxxx.dtn) ตาม ID เครื่อง ,วัน,เวลา,ตำแหน่ง,ค่าการตอบสนองของชุดแก๊สเซ็นเซอร์-และอุณหภูมิความชื้น ลงใน SD Card แล้วกลับไปสู่หน้าจอหลักเพื่อเตรียมรับคำสั่งต่อไปจากจอสัมผัส

2. โปรแกรมการวิเคราะห์กลิ่น (Analyze data) ทำการอ่านค่า Covariance ของเมตริกซ์และค่า PC_1, PC_2, PC_3 จากไฟล์ pcn ของ SD Card หากไม่พบไฟล์ pcn จะกลับไปสู่หน้าจอหลักเพื่อเตรียมรับคำสั่งต่อไปจากจอสัมผัส เมื่อได้ค่าจากไฟล์ pcn แล้วจะเปิดไฟล์ (xxxxxxx.dtn) ล่าสุดที่บันทึกไว้ขึ้นมาวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบกับกลิ่นที่เคยบันทึกไว้และแสดงค่าไว้ที่หน้าจอจนกว่าจะมีการสัมผัสหน้าจอแล้วกลับไปสู่หน้าจอหลักเพื่อเตรียมรับคำสั่งต่อไปจากจอสัมผัส

3. โปรแกรมการตรวจสอบแบตเตอรี่ (Battery check) เมื่อเปิดเครื่องขึ้นมาโปรแกรมนี้จะถูกเปิดขึ้นมาตลอดเวลาแต่ไม่มีการแสดงผลที่หน้าจอ ทำหน้าที่เปิดวงจรไฟเลี้ยงให้กับชุดวงจรแก๊สเซ็นเซอร์หากค่าแบตเตอรี่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้จะทำการตัดไฟเลี้ยงวงจรชุดแก๊สเซ็นเซอร์ และมีเสียงเตือน ขึ้นเพื่อป้องกันความเสียหายของแบตเตอรี่จากการคายประจุเกินค่ากำหนด เมื่อมีการเลือกคำสั่งที่จอสัมผัสจึงจะแสดงค่าแบตเตอรี่ที่เหลือเป็นเปอร์เซ็นต์และแสดงค่าไว้ที่หน้าจอจนกว่าจะมีการสัมผัสหน้าจอแล้วกลับไปสู่หน้าจอหลักเพื่อเตรียมรับคำสั่งต่อไปจากจอสัมผัส

4. โปรแกรมการเก็บและแสดงข้อมูลแบบตั้งเวลา (Auto-sampling mode) ในโหมดการทำงานของโปรแกรมมีการทำที่แยกย่อยอีก 2 การทำงานคือการเก็บข้อและแสดงผลการวิเคราะห์ไปพร้อมๆกัน กับการตั้งเวลาในการเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ

5. โปรแกรมการตรวจสอบสถานะระบบระบุพิกัดด้วยดาวเทียม GPS (GPS check) โปรแกรมนี้จมูกอิเล็กทรอนิกส์นี้ใช้การอ้างอิงเวลาจากสัญญาณนาฬิกาจากดาวเทียมทำให้จมูกอิเล็กทรอนิกส์มีเวลาที่ตรงกันทุกเครื่องเมื่อเปิดเข้ามาในโหมดโปรแกรมตรวจสอบตำแหน่งและเวลาจะแสดงผลของวันที่, เวลา และตำแหน่ง ในเวลาที่สัญญาณตรวจสอบสัญญาณได้จะขึ้น Status Active (สีเขียว) แต่หากรับสัญญาณไม่ได้จะขึ้น Status No Active (สีแดง) และจะแสดงค่าไว้ที่หน้าจอจนกว่าจะมีการสัมผัสหน้าจอแล้วกลับไปสู่หน้าจอหลักเพื่อเตรียมรับคำสั่งต่อไปจากจอสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. โปรแกรมการแสดงผลหมายเลขเครื่อง (Enose ID) จะเป็นโปรแกรมแสดงหน้าเมนูแรกทำหน้าที่ยก ID ของเครื่องและค่าอุณหภูมิความชื้นในบริเวณนั้นและจะแสดงค่าไว้ที่หน้าจอจนกว่าจะมีการสัมผัสหน้าจอแล้วกลับไปสู่หน้าหลักเพื่อเตรียมรับคำสั่งต่อไปจากจอสัมผัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การตรวจสอบการแพร่กระจายสารระเหยอินทรีย์ง่ายในหนึ่งมิติด้วยอาร์เรย์จุ่มก อิเล็กทรอนิกส์

4.1 ความสำคัญของงานวิจัย

การพัฒนาเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมในปัจจุบันมีการขยายตัวในอัตราที่ไม่เคยปรากฏมา เป็นเวลาหลายทศวรรษที่ผ่านมา จึงเป็นสาเหตุให้สารเคมีและมลพิษถูกปล่อย หรือเกิดการรั่วไหลของ สารเคมีทั้งในพื้นที่เขตเมืองและเขตนิคมอุตสาหกรรม จนจะกลายเป็นปัญหาสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหากลิ่นเหม็นเป็นหนึ่งในปัญหาที่ต้องการการแก้ไขมากที่สุดในปัจจุบัน สาเหตุส่วนใหญ่ของปัญหา กลิ่นเหม็นเกิดจากสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) แต่ปัจจุบันวิธีในการตรวจสอบกลิ่นหรือการปนเปื้อนของสารเคมีในอากาศจำเป็นต้องใช้ผู้มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านมาก เครื่องมือมีราคาแพง และใช้เวลาในการวิเคราะห์ผลเป็นเวลานาน [3,18]

จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยหลายประเภทของแก๊สเซ็นเซอร์เคมี ที่สามารถจะจำแนกประเภทกลิ่นต่างๆ โดยขั้นตอนวิธีการจัดจำรูปแบบแพทเทิร์นด้วยการวิเคราะห์หาองค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) [3,6,12-16] เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ในการจัดจำแนกแพทเทิร์นด้วยวิธีคำนวณเมตริกซ์ โดยจะนำข้อมูลจำนวนมาก จากสัญญาณจากแก๊สเซ็นเซอร์หลายชนิดที่ใช้ตรวจจับแก๊ส มาทำการหาดัชนีหรือพารามิเตอร์ชุดใหม่สำหรับการแสดงผล ข้อมูลนั้นให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยพารามิเตอร์ชุดใหม่นี้หนึ่งตัวจะเป็นผลรวมจากข้อมูลเซ็นเซอร์ทุกตัวแต่จะให้น้ำหนักความสำคัญแตกต่างกันไป อีกพารามิเตอร์ชุดใหม่จะถูกจัดเรียงตามลำดับความสำคัญของตัวมันจากมากไปหาน้อย โดยมากพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากที่สุดเพียง 2-3 พารามิเตอร์จะเพียงพอที่จะนำมาแสดงการจัดจำแนกข้อมูลชนิดที่เหมือนกันไปรวมกลุ่มกันแยกจากชนิดอื่น โดยทั่วไปจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ถูกนำมาใช้ในตรวจสอบคุณภาพความสดของอาหาร [6,7] การวัดกลิ่นของเครื่องดื่ม [12,13] หรือจากอุตสาหกรรม [4] เนื่องจากปัญหาของกลิ่นรบกวนจากอุตสาหกรรมต่างๆได้ส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบนิคมมาบตาพุดและรอบๆจังหวัดระยอง [16] ซึ่งประชาชนหรือชุมชนโดยรอบ สามารถรับรู้ถึงกลิ่นของสารแปลกปลอมที่แพร่กระจายจากแหล่งอุตสาหกรรมได้รวดเร็วกว่าประสาทสัมผัสอื่นๆ แต่จนถึงปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือที่ทำหน้าที่เฝ้าระวังตรวจวัดกลิ่น และการระบุแหล่งที่มาของกลิ่นแทนมนุษย์ได้ จึงทำให้ไม่สามารถสร้างมาตรฐานเรื่องกลิ่นรบกวนในบรรยากาศได้ จึงเป็นแนวทางการพัฒนาการตรวจสอบการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่าย ด้วยเครือข่ายจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการเฝ้าระวังและตรวจสอบที่มาของกลิ่น โดยการศึกษาการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายใน 1 มิติด้วยอาร์เรย์จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อพัฒนาขึ้นเป็นระบบการทำงานที่ใหญ่ขึ้น สำหรับใช้ในงานเฝ้าระวัง เตือนภัยและระบุแหล่งที่มาของกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อุปกรณ์และสารเคมี

4.2.1 จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา 3 เครื่อง โดยภายในจมูกอิเล็กทรอนิกส์มีแก๊สเซ็นเซอร์ 8 ชนิด GPS และสามารถบันทึกข้อมูลลง SD Card

4.2.2 อุโมงค์ปลายเปิด 2 ด้านขนาด 40 x 45 x 520 cm. ภายในอุโมงค์ถูกปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟรอยเพื่อป้องกันการอมกลิ่นของสารเคมี

4.2.3 เครื่องชั่ง ใช้สำหรับชั่งสารเคมีก่อนทำการวัดและหลังการวัดเพื่อหาปริมาณสารเคมีที่ระเหยออกไประหว่างการวัด

4.2.4 พัดลม ใช้เพื่อไล่อากาศในอุโมงค์หลังจากการทดลองสารแต่ละชนิดไม่ให้มีกลิ่นในอุโมงค์

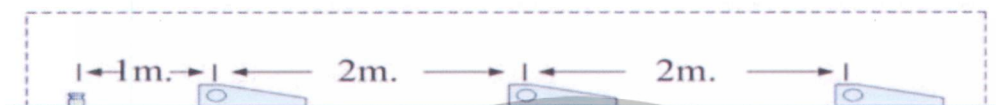
4.2.5 ตลับเมตร ใช้ในการวัดระยะห่างของจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาและขวดสารเคมีที่เปิด

4.2.6 สารเคมี อะซิโตน โทลูอิน และสารผสมอะซิโตน50%กับโทลูอิน50%



รูปที่ 4.2.1 จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.2 อุโมงค์ปลายเปิด 2 ด้านขนาด 40 x 45 x 520 cm



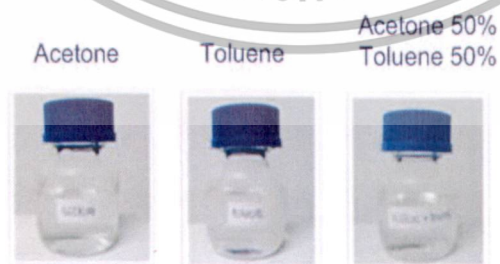
รูปที่ 4.2.3 เครื่องชั่ง



รูปที่ 4.2.4 พัดลม



รูปที่ 4.2.5 ตลับเมตร

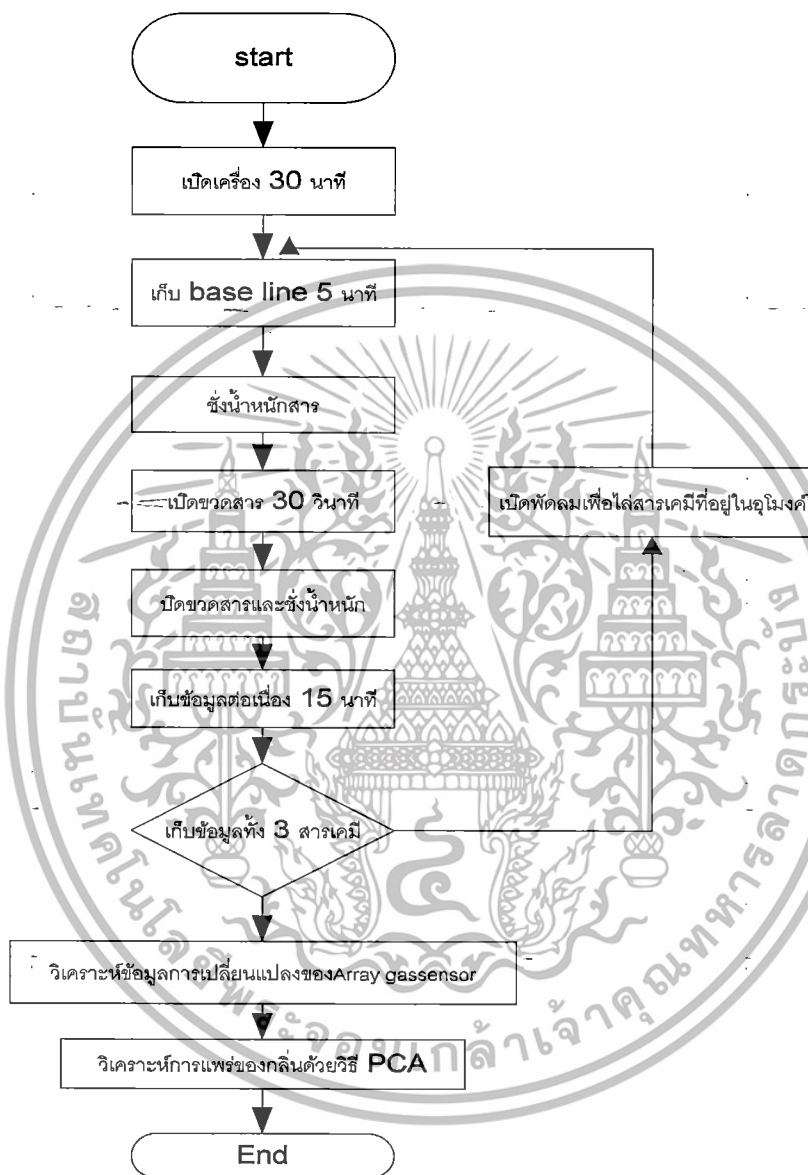


รูปที่ 4.2.6 สารเคมี อะซิโตน โทลูอิน และสารผสมอะซิโตน50%กับโทลูอิน50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนการทดลองการเตรียมการทดลองการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

แผนผังลำดับขั้นตอนการทดลองตรวจสอบการแพร่กระจายสารระเหยอินทรีย์ง่ายในหนึ่งมิติ ด้วยอาร์เรย์จุ่มกือเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภาพขั้นตอนการทดลองการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นการทดลอง

4.3.1. เปิดเครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาเป็นเวลา 30 นาที เพื่อเป็นการอุ่นให้แก๊ส เซ็นเซอร์พร้อมทำงานและเป็นการเปิดการตั้งเวลาให้กับจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 เครื่องโดยอัตโนมัติ ด้วยระบบการรับข้อมูลนาฬิกาและตำแหน่งจากดาวเทียม GPS ทำให้จุ่มอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 เครื่อง มีเวลาที่ตรงกัน

4.3.2. ทำการตั้งโหมดการเก็บข้อมูลของจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ทุกๆ 1 นาที และวางตาม ระยะห่าง 1, 3, 5 เมตรตามลำดับจากนั้นนำอุโมงค์ขนาด 40 x 45 x 520 cm. เพื่อครอบจุ่ม อิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 3 เครื่อง เมื่อทำการเตรียมการทดลองดังกล่าวเสร็จแล้ว ทำการทดลองดังต่อไปนี้

4.3.3. ให้จุ่มอิเล็กทรอนิกส์เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมเป็นอากาศอ้างอิงเป็นเวลา 5 นาที

4.3.4. ทำการชั่งน้ำหนักสารอินทรีย์ระเหยง่าย

4.3.5. ทำการเปิดขวดสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปากอุโมงค์เป็นเวลา 30 วินาทีปิดฝาขวดสาร และทำการวัดการแพร่ของสารเคมีอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 15 นาที

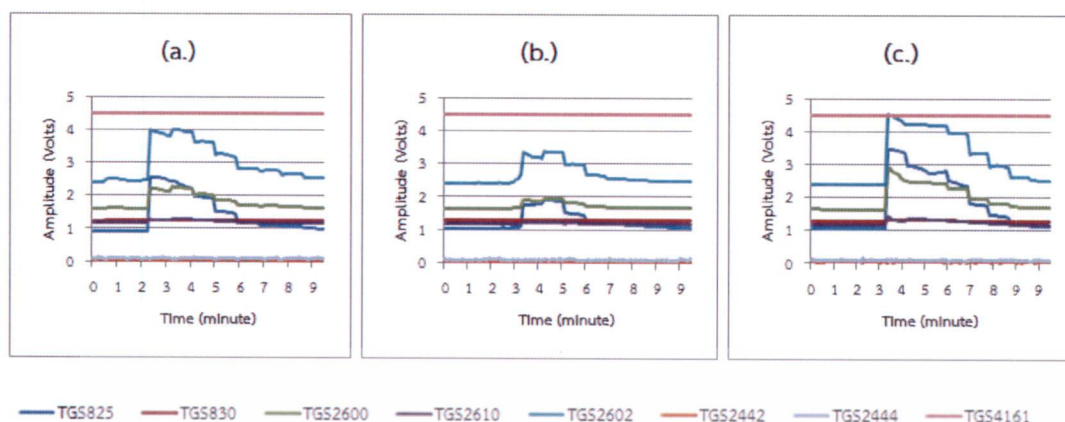
4.3.6. นำขวดสารอินทรีย์ระเหยง่ายไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าน้ำหนักสารที่ระเหยออกไป

4.3.7. ทำการไล่อากาศในอุโมงค์โดยใช้พัดลมเป่าในอุโมงค์เป็นเวลา 5 นาทีและจากนั้น ปิดพัดลมรอให้อากาศคืนสภาวะปกติอีก 15 นาทีจึงทำการเก็บข้อมูลอากาศอ้างอิงและสารอินทรีย์ ระเหยง่ายชนิดต่อไป

4.4 ผลการทดลอง

ผลการทดสอบกลิ่นสารอินทรีย์ระเหยง่าย ที่ตำแหน่งระยะห่าง 1 เมตรจากจุดเปิดขวดสาร ตัวอย่าง ได้แก่ อะซิโตน โทลูอิน และสารผสมอะซิโตน 50%กับโทลูอิน 50% หลังจากการเปิดขวด สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปากอุโมงค์ ที่เวลาประมาณ 2 นาทีอาเรียแก๊สเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ชนิดของ จุ่มอิเล็กทรอนิกส์ มีการตอบสนองทางไฟฟ้าต่อกลิ่นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ไม่เท่ากัน โดยค่าการ ตอบสนองทางไฟฟ้าของแก๊สเซ็นเซอร์ TGS2602, มีการตอบสนองต่อสารผสมอะซิโตน 50%กับโทลู อิน 50% มีค่าสูงกว่าของอะซิโตน และโทลูอิน คือ 4.5 โวลต์, 4 โวลต์ และ 3.5 โวลต์ ตามลำดับ, TGS2600 มีการตอบสนองต่อสารผสมอะซิโตน 50%กับโทลูอิน 50% มีค่าสูงกว่าของอะซิโตน และ โทลูอิน คือ 3 โวลต์, 2.3 โวลต์ และ 2 โวลต์ ตามลำดับ และ TGS825 มีการตอบสนองต่อสาร ผสมอะซิโตน 50%กับโทลูอิน 50% มีค่าสูงกว่าของอะซิโตน และโทลูอิน คือ 3.5 โวลต์, 2.5 โวลต์ และ 1.8 โวลต์ ตามลำดับดังรูปที่ 4.4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



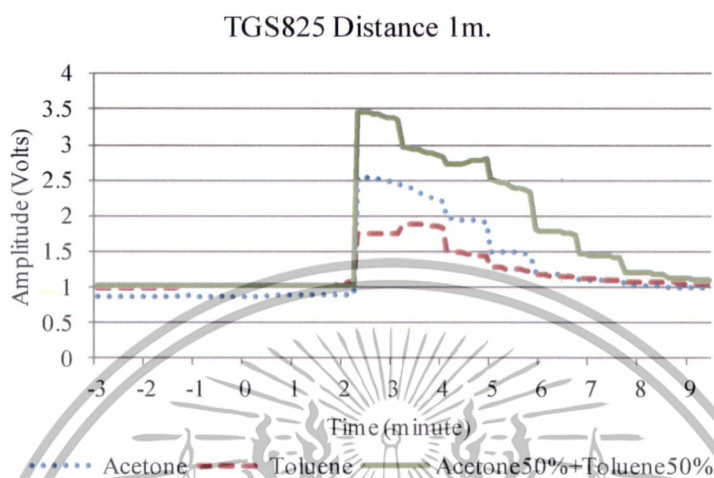
รูปที่ 4.4.1 การตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ภายในจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ (a.) อะซิโตน, (b.) โทลูอิน และ(c.) สารผสมอะซิโตน 50% และโทลูอิน 50% ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่ตำแหน่ง 1 เมตร

ตารางที่ 4-1 มวลโมเลกุลและจุดเดือดของอะซิโตนและโทลูอิน [17]

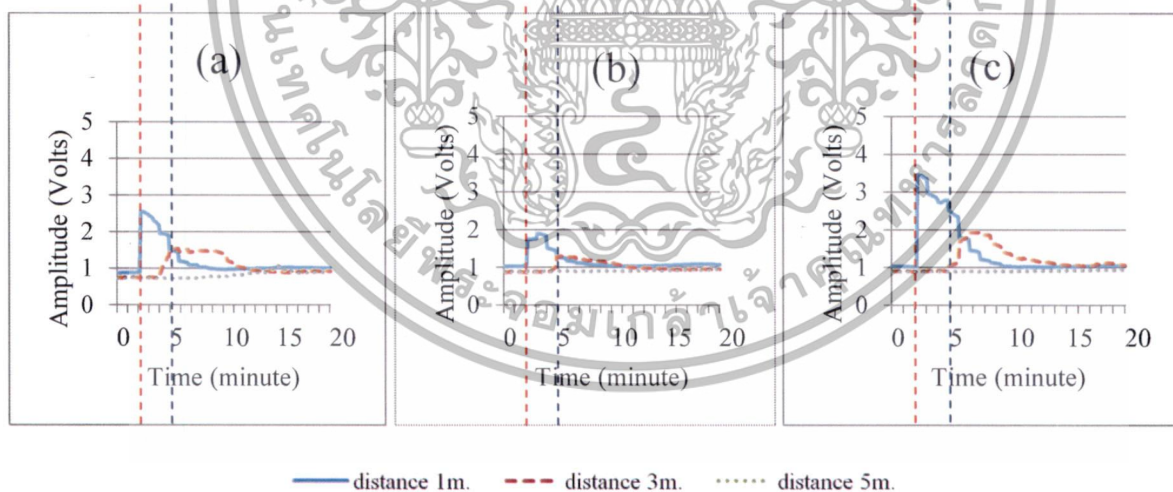
สาร	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	น้ำหนัก (มิลลิกรัม)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
อะซิโตน	58.09	56	37.2	30.84	60.48
โทลูอิน	92.14	110.6	10.8	30.84	60.48
อะซิโตน50% โทลูอิน50%	-	-	25.4	31	64

การตอบทางสัญญาณไฟฟ้าของตัวอย่างแก๊สเซ็นเซอร์ TGS825 ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่ระยะ 1 เมตร เมื่อเปิดสารอะซิโตน โทลูอิน และสารผสมอะซิโตน 50% กับโทลูอิน 50% การตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงที่เวลาประมาณ 2 นาที แล้วแพร่กระจายลดลงจนกลับเข้าสู่สภาวะเดียวกับอากาศอ้างอิงโดยใช้เวลาประมาณ 10 นาที แต่การตอบสนองของสารอะซิโตนที่เวลานาทีที่ 2 มีค่าการตอบสนองทางไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 2.5 โวลต์ และลดต่ำลงตามเวลา ส่วนสารโทลูอินเริ่มมีการตอบสนองที่เวลา 2 นาทีและมีค่าการตอบสนองสูงที่สุดที่เวลา 3 นาที มีค่าการตอบสนองทางไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 2 โวลต์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าความดันไอของสารอะซิโตน สูงกว่าสารโทลูอิน [6] และการตอบสนองทางไฟฟ้าที่สูงที่สุดคือสารผสมอะซิโตน 50% กับโทลูอิน 50% ที่มีค่าประมาณ 3.5 โวลต์ ดังรูปที่ 4.4.2 และที่น่าแปลกใจคือค่าการสูญเสียน้ำหนักของการทดลองพบว่า อะซิโตนมีน้ำหนักสูญเสียมากที่สุด 37.2 มิลลิกรัม สารผสมอะซิโตน 50% กับโทลูอิน 50% สูญเสีย 25.4 มิลลิกรัม และสารโทลูอินสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด 10.8 มิลลิกรัม ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 31 องศาและ 64% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 -1 จากการสูญเสียน้ำหนักนี้ดูขัดแย้งกับการตอบสนองทางสัญญาณไฟฟ้าของแก๊สเซ็นเซอร์ TGS825 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าแก๊สเซ็นเซอร์มีเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวันเวสสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไวต่อโทลูอินมากกว่าอะซีโตน โดยระดับความแรงดันทางไฟฟ้าของโทลูอินมากกว่าครึ่งของอะซีโตน ในขณะที่การสูญเสียน้ำหนักของโทลูอินน้อยกว่าของอะซีโตนถึง 3 เท่าและโทลูอินมีมวลโมเลกุลมากกว่าอะซีโตนประมาณ 2 เท่า ถ้าเปรียบเป็นโมลแล้วจึงจะควรมีอัตราส่วนระหว่างอะซีโตนและโทลูอินเป็น 6:1



รูปที่ 4.4.2 การตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ TGS825 กับ อะซีโตน, โทลูอิน และสารผสมอะซีโตน 50% โทลูอิน 50% ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่ตำแหน่ง 1 เมตร



รูปที่ 4.4.3 การตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ TGS825 กับ (a) อะซีโตน, (b) โทลูอิน และ(c) สารผสมอะซีโตน50%โทลูอิน50% ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่ตำแหน่ง 1, 3, 5 เมตร

รูปที่ 4.4.2 แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองทางไฟฟ้าของแก๊สเซ็นเซอร์ TGS825 กับสารอะซีโตน, (b) โทลูอิน และ(c) สารผสมอะซีโตน 50% และโทลูอิน 50% ของจุ่มกือเล็กทรอนิกส์ที่ตำแหน่ง 1, 3, 5 เมตรตามลำดับ จากการตรวจสอบนี้แสดงถึงรูปแบบการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่เริ่มจากแหล่งที่มา อัตราการแพร่ของสารทั้งสามประเภทนี้มีหน่วยเป็นเมตรต่อนาทีที่น่าสนใจ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือที่ระยะห่างจากแหล่งที่มา 1 เมตรทั้งสารอะซีโตนและสารโทลูอีนมีการตอบสนองที่เวลาประมาณ 2 นาที แต่ที่ระยะห่าง 3 เมตร อะซีโตนมีการตอบสนองที่เวลาประมาณ 4 นาที และโทลูอีนมีการตอบสนองที่เวลาประมาณ 5 นาที ซึ่งแสดงถึงว่าอัตราการแพร่ของสารทั้งสองไม่ต่างกันมาก ซึ่งสารอะซีโตนแพร่กระจายได้เร็วกว่าสารโทลูอีนเล็กน้อย ตามกฎการแพร่ของเกรแฮม ซึ่งอัตราการแพร่กระจาย (R) จะขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุล (M) ตามสมการที่ 4.1

$$R \propto \frac{1}{\sqrt{M}} \quad 4.1$$

กฎการแพร่นี้ยังไม่ถูกต้องในกรณีนี้เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองในสภาวะแวดล้อมที่มีอากาศและไอน้ำที่เป็นตัวทำละลายให้กับสารอะซีโตนและโทลูอีน ทฤษฎีแชปแมน-เอนสโกก (Chapman-Enskog theory) แสดงให้เห็นว่าในสารผสมที่มีความเข้มข้นต่ำ (<10%) ค่าคงที่ของการแพร่กระจาย (D) จะขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุลแก๊สที่ 1 (M_1) และ แก๊สที่ 2 (M_2) ตามลำดับ ตามสมการที่ 4.2

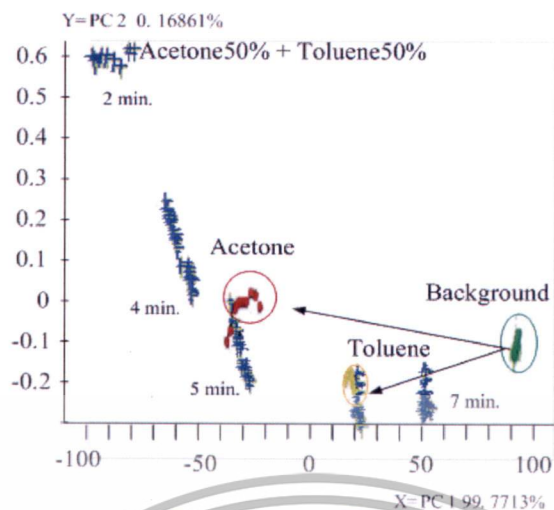
$$D \propto \sqrt{\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}} \quad 4.2$$

โดยค่าคงที่ของการแพร่กระจาย(D) จะเป็นไปตามกฎของฟิค (Fick's laws) เมื่อ (J) คือ ฟลักซ์และ $\frac{\partial n}{\partial x}$ คือเกรเดียนต์ของความเข้มข้น (Concentration gradient Atom/cm².sec) ดังสมการที่ 4.3

$$J = -D \frac{\partial n}{\partial x} \quad 4.3$$

ด้วยมวลโมเลกุลของไนโตรเจนในอากาศมีค่าของสารอะซีโตนและสารโทลูอีน จึงเป็นสาเหตุให้เวลาการตอบสนองของสารอะซีโตนและสารโทลูอีนไม่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.4.2 (a), (b)

การใช้แก๊สเซ็นเซอร์ชนิดเดียวอาจไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดผสม จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) [3,6,12-22] ที่รวมการตอบสนองของอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์ภายในจุ่มกอลีเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 4.4.4



รูปที่ 4.4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) จากข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่ตำแหน่ง 1 เมตร โดยมี Background เป็นอากาศรอบๆเป็นอากาศอ้างอิงและมีผลของสารผสมอะซิโตน 50% กับโทลูอิน 50%เทียบกับ สารอะซิโตน และสารโทลูอินตามเวลา

ผลการวิเคราะห์การจำแนกแพทเทิร์นกลิ่นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก PCA score plot ของสารผสมอะซิโตน 50%และโทลูอิน 50%เทียบกับ สารอะซิโตน และสารโทลูอินโดยมี Background เป็นอากาศรอบๆเป็นอากาศอ้างอิงตามเวลา โดยแกนนอนแสดงถึงค่าความแปรปรวนของข้อมูล 99.713% (ความเข้มข้นของกลิ่น) และแกนตั้งแสดงความสัมพันธ์กับชนิดของกลิ่น 0.16816% ได้แสดงให้เห็นค่าของเวกเตอร์รูปแบบแผนที่กลิ่นสารสารอะซิโตน และกลิ่นสารโทลูอินมีการแยกกันอย่างชัดเจน เมื่อนำค่า PCA score plot ของกลิ่นสารผสมอะซิโตน 50%กับโทลูอิน 50% ในช่วงเวลาแรกหลังจากเปิดสารผสมอะซิโตน 50%และโทลูอิน 50% จะเห็นว่าค่าของเวกเตอร์ความเข้มข้นกลิ่นจะออกห่างไปจากเวกเตอร์รูปกลิ่นสารสารอะซิโตนและกลิ่นสารโทลูอินอย่างชัดเจน เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที ค่าของเวกเตอร์ความเข้มข้นกลิ่นสารผสมอะซิโตน 50% และโทลูอิน 50% จะมีทิศเป็นไปทางกลิ่นสารอะซิโตน จากนั้น ค่าของเวกเตอร์จะย้ายมาใกล้กับกลิ่นสารโทลูอิน หลังจากนั้นรูปแบบจะลดลงและเข้าใกล้กลุ่ม background ในที่สุด ดังรูปที่ 4.4.4 ซึ่งเวกเตอร์ของสารผสมอะซิโตน 50%และโทลูอิน 50% ที่เกิดขึ้นนั้นสามารถเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของสารผสมเอง และ เกิดจากค่าการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ต่อสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์

5.1 ความสำคัญของงานวิจัย

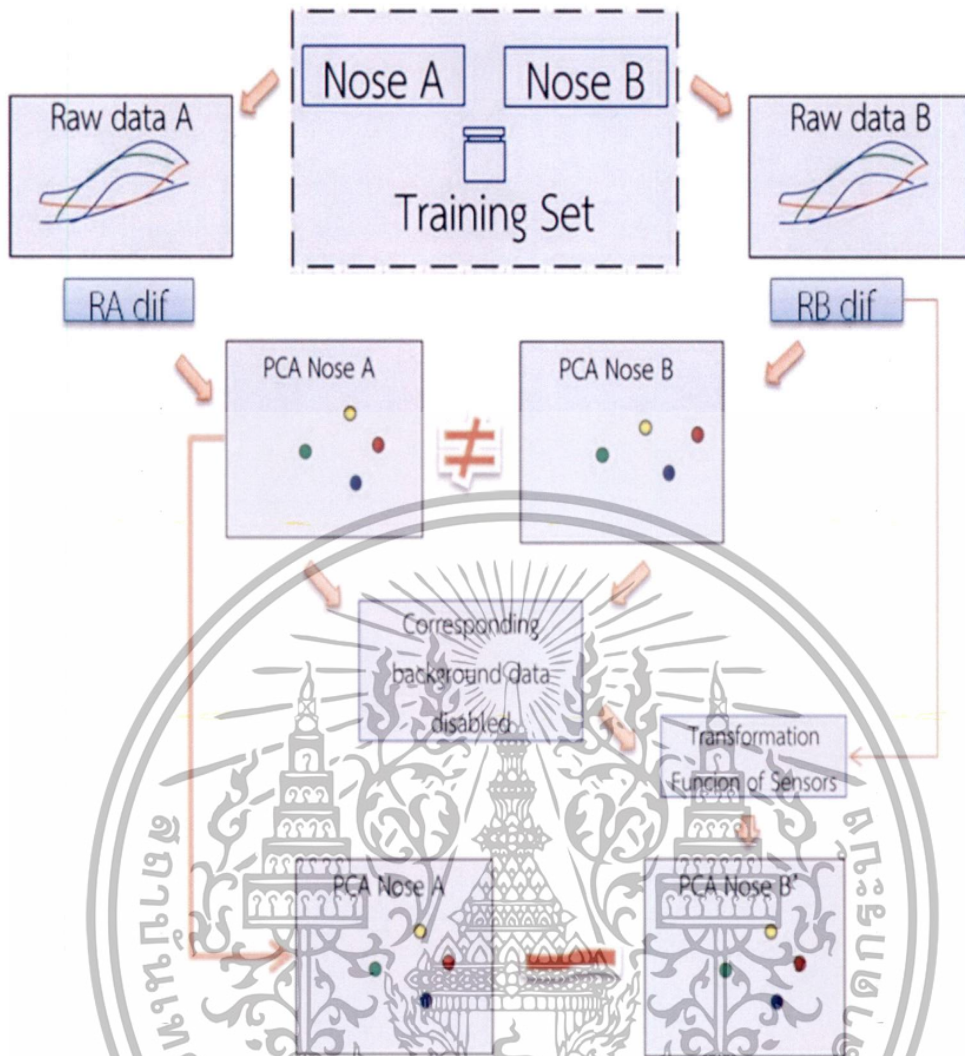
จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการระบุชนิดและปริมาณของกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เป็นอันตรายได้และกลายเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประเมินกลิ่นไม่พึงประสงค์ในระหว่างขั้นตอนการควบคุมคุณภาพของอาหารและเครื่องดื่ม [1,2] หรือการประยุกต์ใช้จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อม [3-7] จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยแก๊สเซ็นเซอร์ที่ตอบสนองต่อแก๊สหลายชนิด มารวมกัน อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติในระหว่างกระบวนการผลิตแก๊สเซ็นเซอร์ จะมีความแปรปรวนในธรรมชาติ จนนำไปสู่ความแตกต่างเล็กน้อยในการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเซ็นเซอร์แต่ละตัว [7,10] ตัวอย่างเช่น เมื่อแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดเดียวกันสองเซ็นเซอร์ที่เหมือนกันได้รับแก๊สในสภาพแวดล้อมเดียวกัน แต่ก็มีการตอบสนองที่ต่างกันเล็กน้อย เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้โพสไฟลด์ความไวของแก๊สเซ็นเซอร์ไม่เท่ากันแม้จะมาจากผู้ผลิตในชุดเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ในการผลิตจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการแผ่รังสีการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่าย จำเป็นที่จะต้องทำให้จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ทุกเครื่องมีคุณสมบัติการตรวจวัดที่เหมือนกัน จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ทุกเครื่อง กับกลิ่นและสารเคมีตัวอย่างเพื่อเป็นฐานข้อมูลกลิ่นให้กับจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์แต่ละเครื่อง สำหรับการทำฐานข้อมูลให้กับจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ทุกเครื่องนั้นมีความใช้ง่าย, เวลาและแรงงานมากในการสร้างฐานข้อมูลกลิ่นให้กับจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ทุกเครื่อง

การพัฒนาการถ่ายโอนฐานข้อมูลกลิ่นให้กับจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์จะช่วยลดเวลา ค่าใช้จ่ายแรงงาน ในการสร้างฐานข้อมูลและการสอบเทียบข้อมูลกลิ่นให้กับ เครื่องถ่ายจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการแผ่รังสีการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อไป

5.2 แนวคิดของการถ่ายโอนฐานข้อมูล

การถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายเบื้องต้นเป็นการชดเชยการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ที่ต่างกัน ก่อนการคำนวณด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก โดยจะให้มีการให้เครื่องหลักและเครื่องถ่ายโอนทำการเก็บข้อมูล สารผสมที่เป็นชุดฝึกทดสอบ (Training Set) ในสภาวะแวดล้อมเดียวกันทั้ง 2 เครื่อง แล้วหาค่าการตอบสนองพื้นหลังที่ตรงกันของทั้งเครื่องหลักและเครื่องถ่ายโอน (Corresponding Background Data) แล้วสร้างสมการ การถ่ายโอนฐานข้อมูลให้กับเครื่องถ่ายโอน (Transformation Function of Sensors) จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์แพทเทิร์นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) score plot แล้วเปรียบเทียบแพทเทิร์นเครื่องถ่ายกับเครื่องหลักดังรูปที่ 5.2.1

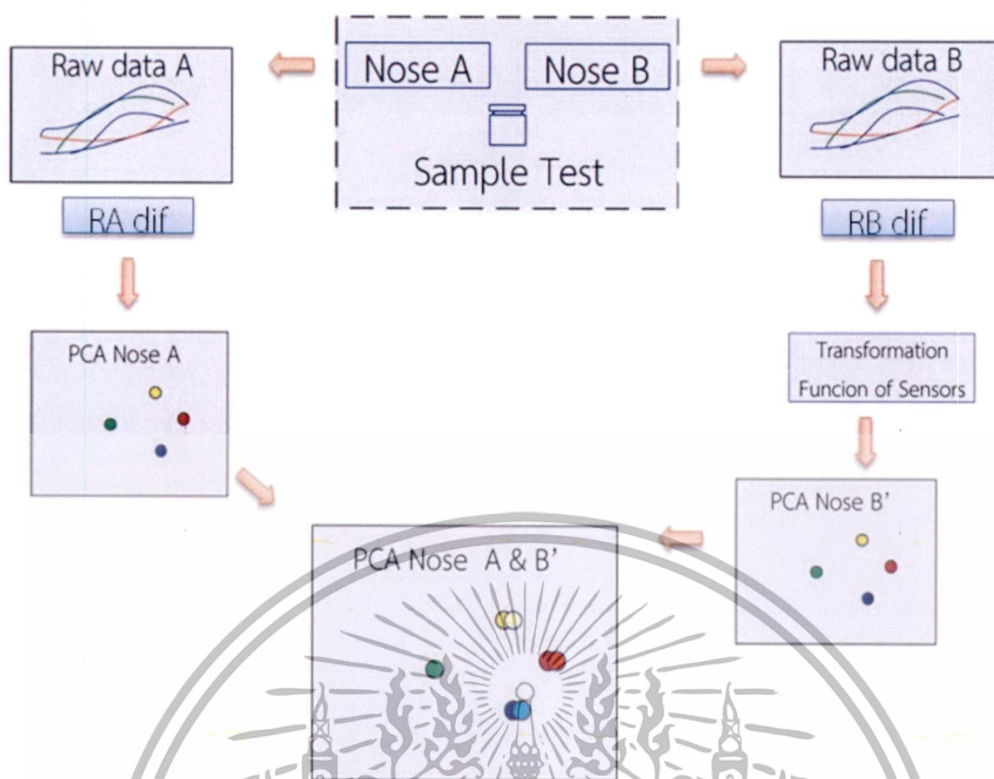
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2.1 แนวคิดของการถ่ายโอนฐานข้อมูลด้วยการ
สร้างสมการการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Transformation Function of Sensors)

เมื่อได้สมการถ่ายโอนฐานข้อมูลแล้ว ทำการทดสอบสารตัวอย่างกับจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลักและเครื่องถ่ายโอนใสภาวะแวดล้อมเดียวกัน แล้วทำการสร้างสมการการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Transformation Function of Sensors) และทำการวิเคราะห์แพทเทิร์นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) score plot แล้วเปรียบเทียบแพทเทิร์นเครื่องถ่ายโอนกับเครื่องหลักดังรูปที่ 5.2.2 โดยมีการเปรียบเทียบแพทเทิร์นที่ถ่ายโอนฐานข้อมูลด้วยวิธี (1) ไม่ได้ทำการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Uncalibrated), (2) การปรับอัตราการตอบสนอง (Ratio-adjusted), (3) การปรับเปลี่ยนเชิงเส้น (Linear-scaling), (4) การปรับค่าเฉลี่ยจำเพาะสาร (Specific mean-adjusted)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2.2 การทดสอบการถ่ายโอนฐานข้อมูลด้วยการสร้างสมการการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Transformation Function of Sensors) และวิเคราะห์แพทเทิร์นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) score plot

5.3 วิธีสร้างการถ่ายโอนฐานข้อมูลให้จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์

วิธีสร้างการถ่ายโอนฐานข้อมูลให้จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ เริ่มจากการที่ให้จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสองเครื่องเก็บข้อมูลสารชุดฝึกทดสอบ (Training Set)[18,21,22] คือ สารผสมสารผสมไตรคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอร์มาไรไมด์ 50% (Mix DCM 50%, DMF 50%) พร้อมๆกัน 3 ความเข้มข้นในห้องทดสอบซึ่งมีผลทำให้แก๊สเซ็นเซอร์ทุกชนิดมีการตอบสนองเป็นเชิงเส้นมากที่สุด จุ่มกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหนึ่งถูกเลือกเป็นเครื่องหลัก (Nose_A) และอีกเครื่องใช้เป็นเครื่องทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายโอน (Nose_B) แล้วหาค่าการตอบสนองพื้นหลังที่ตรงกันของทั้งเครื่องหลัก (Corresponding Background Data) และเครื่องถ่ายโอนดังรูปที่ 5.3.1 จากนั้นทำการสร้างสมการการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Transformation Function of Sensors) ด้วยวิธี

1. ไม่ได้ทำการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Uncalibrated) คือนำค่าของเมทริกซ์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก และเครื่องถ่ายโอน มาเปรียบเทียบโดยตรง
2. การปรับอัตราการตอบสนอง (Response Ratio adjusted) คือการปรับอัตราส่วนค่าของเมทริกซ์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องถ่ายโอน ($Nose B_R$) โดยใช้ค่าอัตราส่วนการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดที่ (n) กับสารชุดฝึกทดสอบเครื่องหลัก (S_{An}), เครื่องถ่ายโอน (S_{Bn}) และ (S_{Bcn}) คือค่าอัตราส่วนการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดที่ (n) กับสารชุดทดสอบเครื่องถ่ายโอนได้ดังสมการที่ 5.1

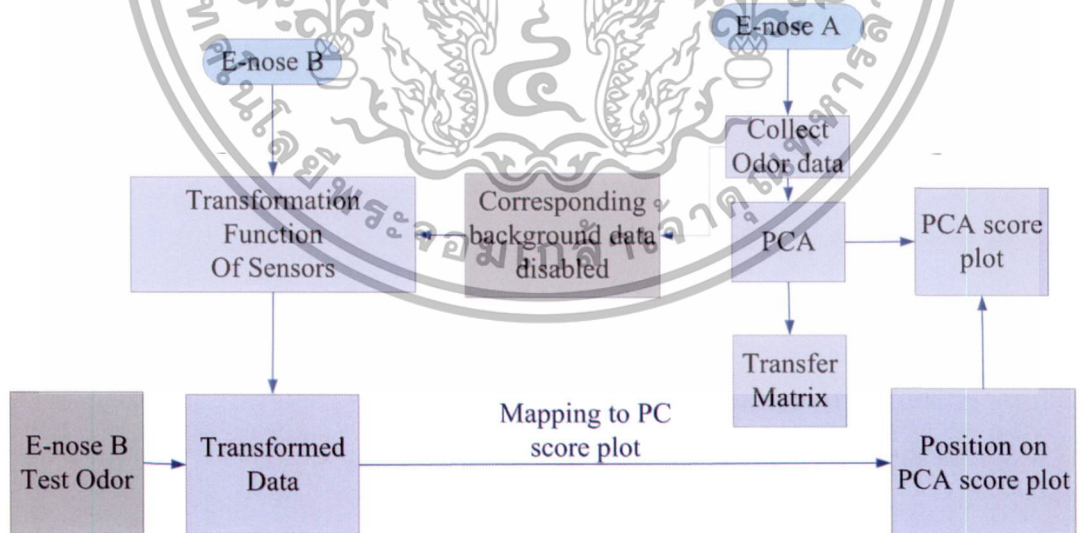
$$\text{Nose } B_R = (S_{Bt1}) \cdot \left(\frac{S_{A1}}{S_{B1}}\right), (S_{Bt2}) \cdot \left(\frac{S_{A2}}{S_{B2}}\right), \dots, (S_{Btn}) \cdot \left(\frac{S_{An}}{S_{Bn}}\right) \quad (5.1)$$

3. การปรับเปลี่ยนเชิงเส้น (Linear Scaling adjusted) คือการปรับเปลี่ยนเชิงเส้นของเมทริกซ์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องถ่ายโอน ($\text{Nose } B_{Ls}$) โดยใช้ค่าความชัน (m_{An}) และค่าคงที่ (c_{An}) ของการตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดที่ (n) กับสารชุดฝึกทดสอบเครื่องหลักและ (S_{Bcn}) คือค่าอัตราส่วนการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดที่ (n) กับสารชุดทดสอบเครื่องถ่ายโอนได้ดังสมการที่ 5.2

$$\text{Nose } B_{Ls} = ((S_{Bt1}) \cdot (m_{A1}) + c_{A1}), ((S_{Bt2}) \cdot (m_{A2}) + c_{A2}), \dots, ((S_{Btn}) \cdot (m_{An}) + c_{An}) \quad (5.2)$$

4. การปรับค่าเฉลี่ยจำเพาะสาร (Specific mean-adjusted) สำหรับการปรับด้วยวิธี การปรับค่าเฉลี่ยจำเพาะสาร จะทำหลังจากการเก็บค่ากลิ่นสารอินทรีย์ระเหยง่ายแต่ละกลิ่นแล้วจึงนำค่านั้นมาหาค่าเฉลี่ยของการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ มาปรับอัตราส่วนค่าของเมทริกซ์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องถ่ายโอน ($\text{Nose } B_{m-a}$) โดยใช้ค่าอัตราส่วนการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ชนิดที่ (n) กับสารทดสอบเครื่องหลัก (S_{Atn}), เครื่องถ่ายโอน (S_{Bcn}) และ (S_{Btn}) ได้ดังสมการที่ 5.1

$$\text{Nose } B_{m-a} = (S_{Bt1}) \cdot \left(\frac{S_{At1}}{S_{Bt1}}\right), (S_{Bt2}) \cdot \left(\frac{S_{At2}}{S_{Bt2}}\right), \dots, (S_{Btn}) \cdot \left(\frac{S_{Atn}}{S_{Btn}}\right) \quad (5.3)$$



รูปที่ 5.3.1 ขั้นตอนสำหรับการถ่ายโอนฐานข้อมูลจากจมูกอิเล็กทรอนิกส์ PCA ของ (Nose_A) และ (Nose_B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 อุปกรณ์และสารเคมี

5.4.1 จมูกอิเล็กทรอนิกส์ 2 เครื่อง

5.4.2 ห้องทดสอบเซ็นเซอร์ (Chamber) ขนาด 53 ลิตร

5.4.3 ไมโครปิเปต ขนาด 0.5ul – 10ul

5.4.4 วงจรควบคุมและโซลินอยด์วาล์ว

5.4.5 ถังแก๊สไนโตรเจน (N_2) และ ออกซิเจน (O_2)

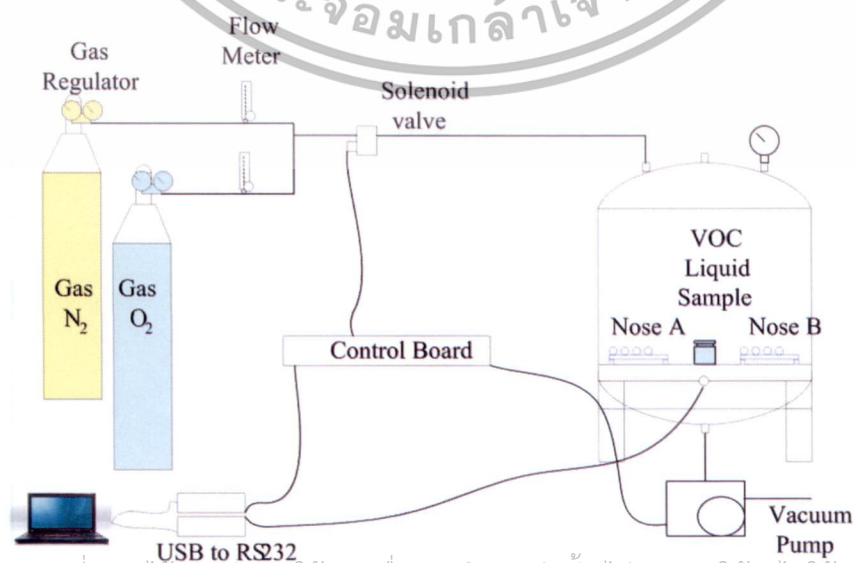
5.4.6 ปั๊มดูดอากาศ (Vacuum pump)

5.4.7 Computer, USB to Serial RS232

5.4.8 สารเคมี เอทานอล (Etn), อะซีโตน (Ace) ,เบนซิน (Ben),โทลูอีน (Tol), ไดคลอโรมีเทน (DCM), ไดเมทิลฟอรั่มาร์ไมด์ (DMF) และสารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอรั่มาร์ไมด์ 50% (Mix)

ระบบที่ใช้ในการทดสอบการถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยการผสมแก๊สไนโตรเจน (N_2) 80% และแก๊สออกซิเจน (O_2) 20% ผ่านการควบคุมอัตราการไหลด้วย Flow meter เพื่อใช้ทำความสะอาดห้องทดสอบเซ็นเซอร์ (Chamber) และสร้างอากาศเทียบให้กับระบบ โดยมีวงจรควบคุม Control Board ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดปิด Solenoid valve และเปิดปิดปั๊มดูดอากาศ (Vacuum pump) ผ่านทางพอร์ต USB To RS232 เมื่อนำสารตัวอย่างเข้าไปในห้องทดสอบเซ็นเซอร์ ที่มีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสองเครื่อง (NoseA, NoseB) จมูกอิเล็กทรอนิกส์จะส่งข้อมูลระดับการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ที่อยู่ภายในห้องทดสอบเซ็นเซอร์ผ่านทางพอร์ต USB To RS232 เข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล ส่วนข้อมูลจริงของการทดลองจะถูกบันทึกบน SD Card ที่อยู่ในตัวจมูกอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสองเครื่อง[18] เมื่อทำการทดลองเสร็จจึงนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป ดังรูปที่

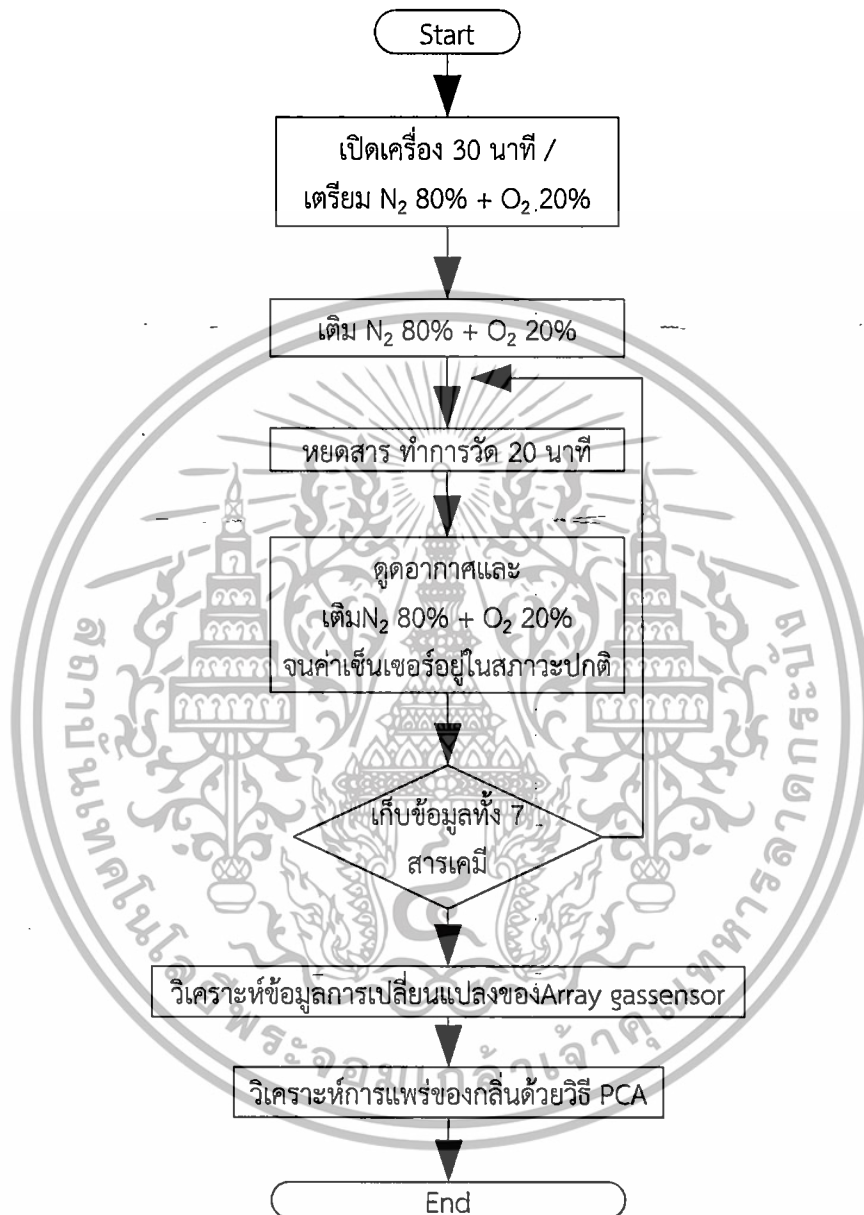
5.4.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 5.4.1 ระบบในการถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างจมูกอิเล็กทรอนิกส์

5.5 ขั้นตอนการทดลอง

แผนผังลำดับขั้นตอนการทดลองการถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แผนภาพขั้นตอนการทดลองการถ่ายโอนฐานข้อมูลสารอินทรีย์ระเหยง่ายระหว่างจุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นการทดลอง

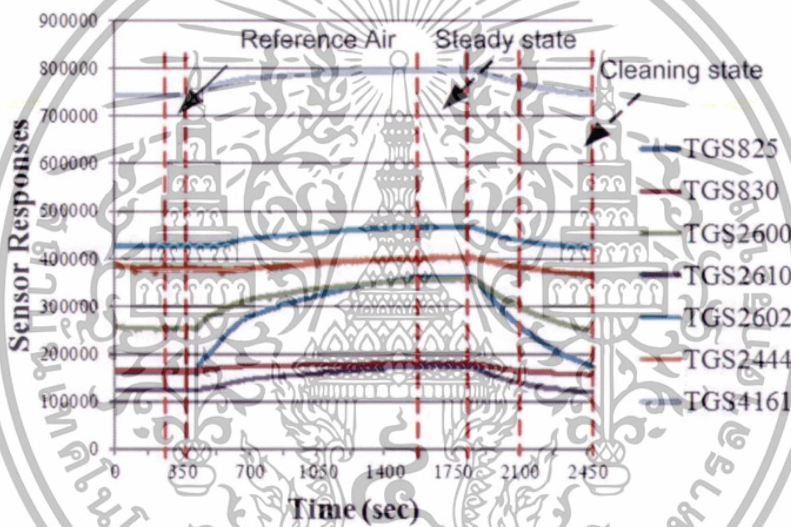
5.5.1. เปิดเครื่องจุ่มก๊อแล็กทริกเป็นเวลา 30 นาที เพื่อเป็นการอุ่นให้แก๊สเซ็นเซอร์พร้อมทำงานและทำความสะอาดห้องทดสอบเซ็นเซอร์ใช้แก๊สไนโตรเจน 80% ผสมกับแก๊สออกซิเจน 20%

5.5.2. ทำการเก็บค่าอากาศอ้างอิงเป็นเวลา 2 นาทีโดยการตั้งเวลาของวงจรควบคุมที่ควบคุมการเปิดปิดโซลินอยด์วาล์ว

5.5.3. หยดสารเคมีที่ 1ul ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 ml แล้วใส่ไว้ในห้องทดสอบเซ็นเซอร์ทำการวัดต่อเนื่อง 15 นาที

5.5.4. ทำความสะอาดด้วยดูดอากาศในห้องทดสอบเซ็นเซอร์และเติมแก๊สไนโตรเจน 80% ผสมกับแก๊สออกซิเจน 20% โดยดูจากมอนิเตอร์ควบคุม

5.5.5. ทำการทดสอบสารทั้งหมด 7 ชนิด ชนิดละ 3 ความเข้มข้น คือ 1 , 2 และ 3 ul. ตามลำดับและในแต่ละการทดลองจะมีการตอบสนองของชุดเซ็นเซอร์ดังรูปที่ 5.5.1



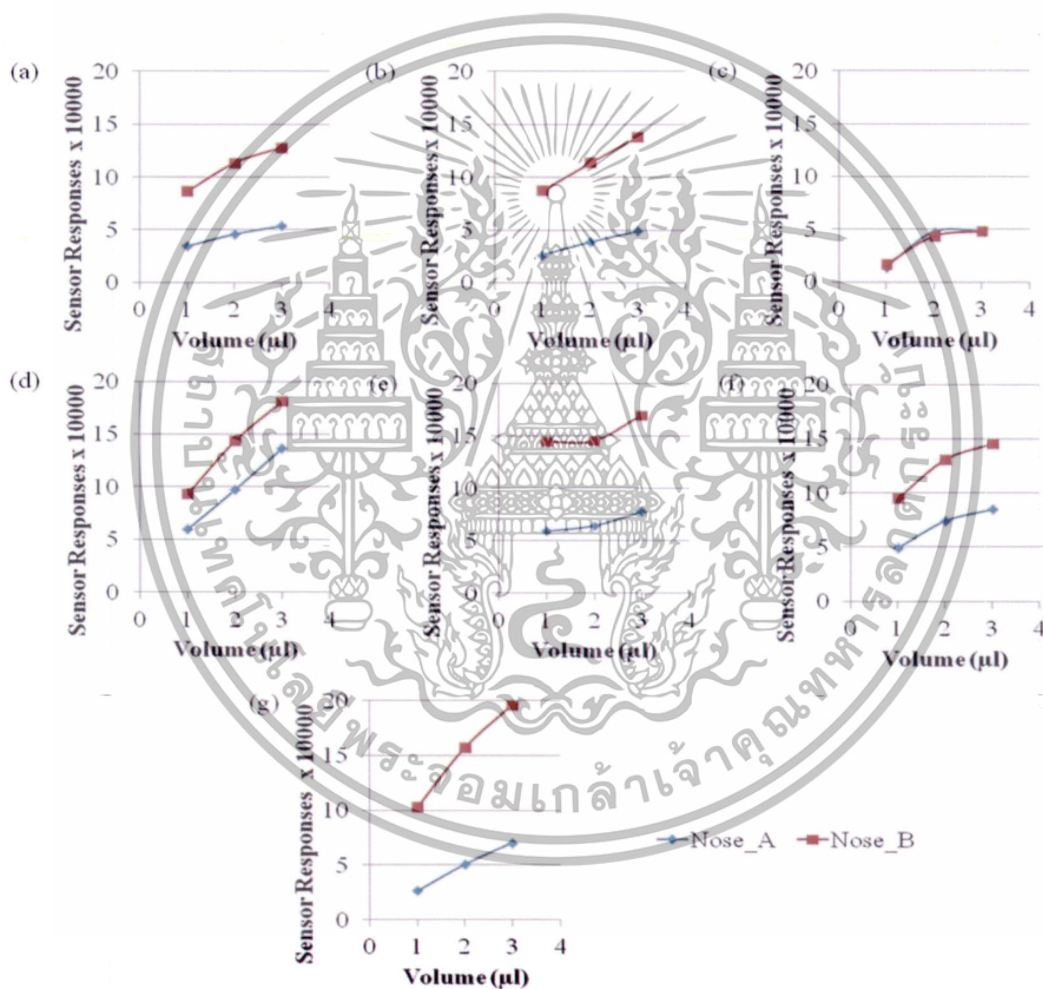
รูปที่ 5.5.1 กราฟการตอบสนองของชุดแก๊สเซ็นเซอร์ในแต่ละรอบการวัด

รูปที่ 5.5.1 แสดงกราฟการตอบสนองของชุดเซ็นเซอร์ของการวัดโดยมีช่วงการเก็บข้อมูลอากาศอ้างอิง (Reference Air)[18] เป็นเวลา 2 นาทีก่อนทำการปล่อยสารระเหยในห้องทดสอบเป็นเวลา 20 นาทีเพื่อให้สารอยู่ในสถานะคงที่ (Steady state) หลังจากการเก็บข้อมูลสารตัวอย่างจะทำความสะอาดด้วยการดูดอากาศพร้อมกับเติม O_2 , N_2 จนค่าอากาศอ้างอิงกลับสู่ค่าปกติ (Cleaning state) ก่อนทำการวัดครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ผลการทดลอง

ผลทดสอบชุดเซ็นเซอร์ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์กับสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้ง 7 ชนิด เอทานอล (Etn), อะซีโตน (Ace), เบนซิน (Ben), โทลูอิน (ToI), ไดคลอโรมีเทน (DCM), ไดเมทิลฟอรั่มาร์ไมด์ (DMF) และสารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอรั่มาร์ไมด์ 50% (Mix) ซึ่งมีผลการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละสาร อย่างไรก็ตามแก๊สเซ็นเซอร์ที่ตอบสนองต่อสารเคมีเหล่านี้ที่เป็นเชิงเส้นต่อความเข้มข้นมากที่สุดคือ TGS 2610 โดยแกนแนวตั้งแสดงให้เห็นการตอบสนองเซ็นเซอร์ที่ค่าผลต่างของสารอินทรีย์ระเหยง่ายกับค่าอากาศอ้างอิงในแต่ละสารของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) และเครื่องที่ถ่ายโอน (Nose_B)



รูปที่ 5.6.1 ผลการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ TGS 2610 กับสารอินทรีย์ระเหยง่ายของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) และเครื่องที่ถ่ายโอน (Nose_B) (a) อะซีโตน (Ace), (b) เบนซิน (Ben), (c) ไดคลอโรมีเทน (DCM), (d) ไดเมทิลฟอรั่มาร์ไมด์ (DMF), (e) เอทานอล (Etn), (f) สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอรั่มาร์ไมด์ 50% (Mix), (g) โทลูอิน (ToI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5-1 แสดงค่า R_2 การตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารอะซีโตน (Ace)

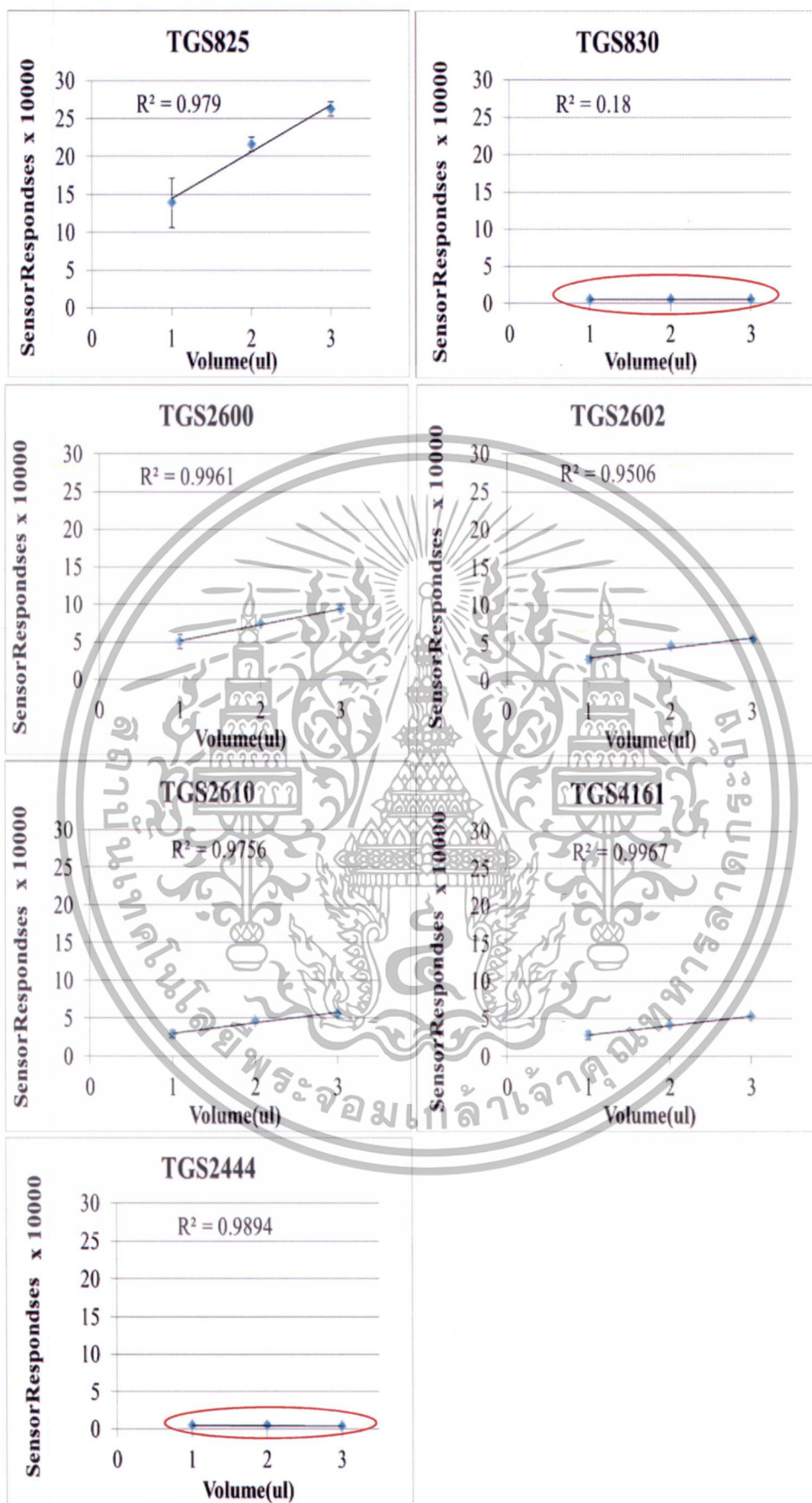
Gas sensors	TGS825	TGS830	TGS2600	TGS2602	TGS2610	TGS2444	TGS4161
R^2	0.979	0.18	0.9961	0.9506	0.9756	0.9894	0.9967

ตารางที่ 5-2 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน (SD Error) จากวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารอะซีโตน (Ace) ซ้ำ 3 ครั้ง

SD Error	1ul	2ul	3ul
TGS825	32799	9178	9336
TGS830	1705	972	277
TGS2600	9135	1958	3532
TGS2602	5535	3068	2044
TGS2610	4961	2897	2634
TGS2444	1198	2896	1555
TGS4161	5593	1617	1753

ค่าเฉลี่ยจากการทดลองวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารอะซีโตน (Ace) ซ้ำ 3 ครั้ง แสดงค่า R_2 ดังตารางที่ 5-1 และแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน (SD Error) จากวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารอะซีโตน (Ace) ดังตารางที่ 5-2 ผลการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) พบว่ากลิ่นสารอะซีโตนให้การตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ต่อ TGS2600, TGS2610, TGS2602, TGS4161 เป็นเชิงเส้นแต่ในช่วงความเข้มข้น 1ul การตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ TGS825 ขึ้นลงในช่วง 12,000 – 18,000 และแก๊สเซ็นเซอร์ TGS830 ,TGS2444 ไม่ตอบสนองต่อกลิ่นสารอะซีโตนดังรูปที่ 5.6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6.2 ผลการตอบสนองของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารอะซิโตนทั้ง 3 ครั้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5-3 แสดงค่า R_2 การตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารโทลูอิน (Tol)

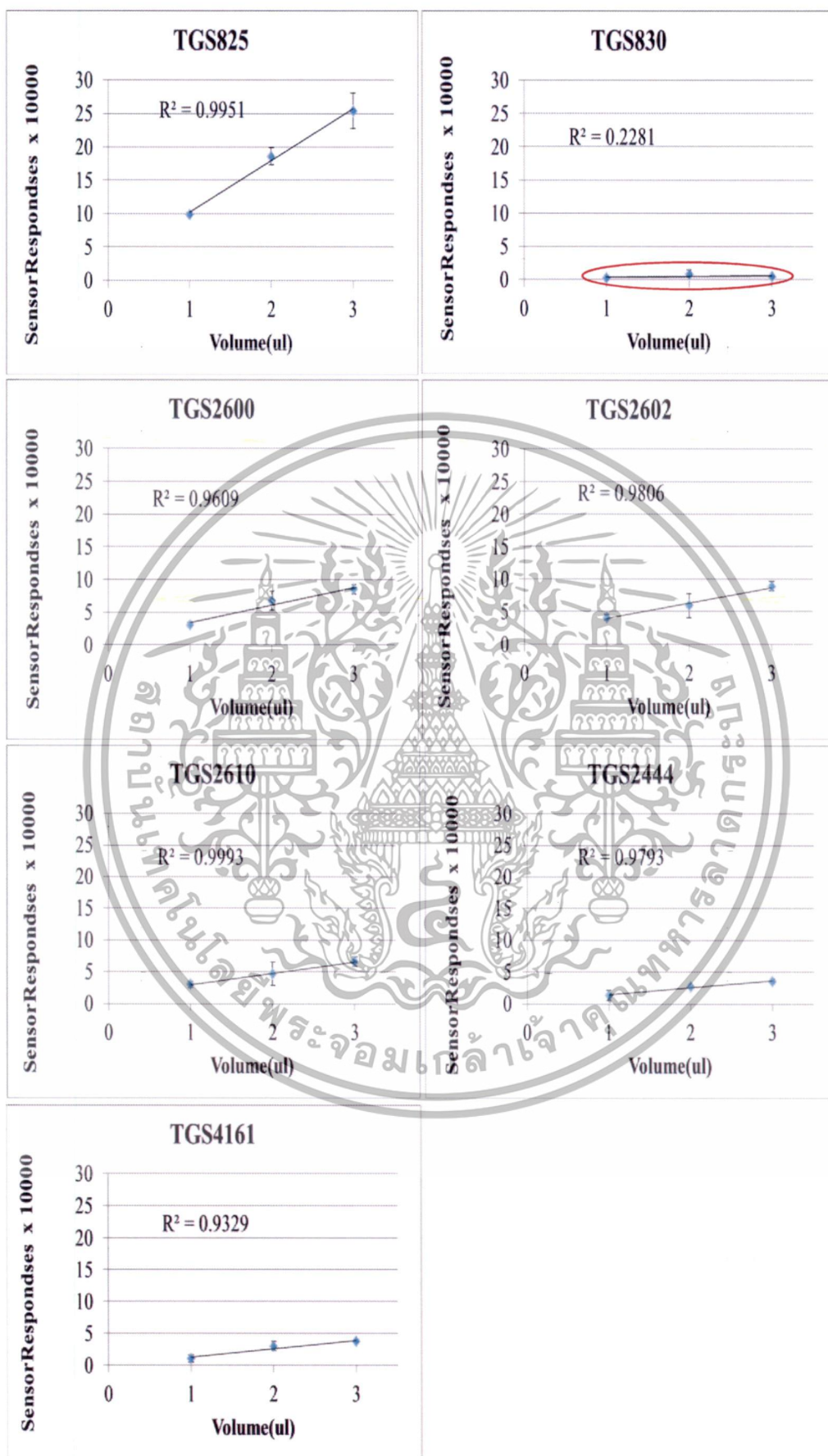
Gas sensors	TGS825	TGS830	TGS2600	TGS2602	TGS2610	TGS2444	TGS4161
R^2	0.9951	0.2281	0.9609	0.9806	0.9993	0.9793	0.9329

ตารางที่ 5-4 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน (SD Error) จากวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารโทลูอิน (Tol) ซ้ำ 3 ครั้ง

SD Error	1ul	2ul	3ul
TGS825	3327	12365	26462
TGS830	1183	7015	970
TGS2600	3853	15045	7439
TGS2602	3264	6749	4774
TGS2610	4693	18502	7412
TGS2444	8085	3779	3713
TGS4161	5365	7639	3468

ค่าเฉลี่ยจากการทดลองวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารโทลูอิน (Tol) ซ้ำ 3 ครั้งแสดงค่า R_2 ดังตารางที่ 5-3 และแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน (SD Error) จากวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารโทลูอิน (Tol) ดังตารางที่ 5-4 ผลการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) พบว่าด้วยกลิ่นสารโทลูอินให้การตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ต่อ TGS2600, TGS2610, TGS2602, TGS4161, TGS2444 แต่ในช่วงความเข้มข้น 3ul การตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ TGS825 ขึ้นลงในช่วง 23,000 – 27,000 และแก๊สเซ็นเซอร์ TGS830 ไม่ตอบสนองต่อกลิ่นสารสารโทลูอิน ดังรูปที่ 5.6.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6.3 ผลการตอบสนองของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารโกลูอินทั้ง 3 ครั้ง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัท เซ็นเซอร์ เทคโนโลยี จำกัด ไม่อนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5-5 แสดงค่า R_2 การตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอรั่มารไมด์ 50% (mix)

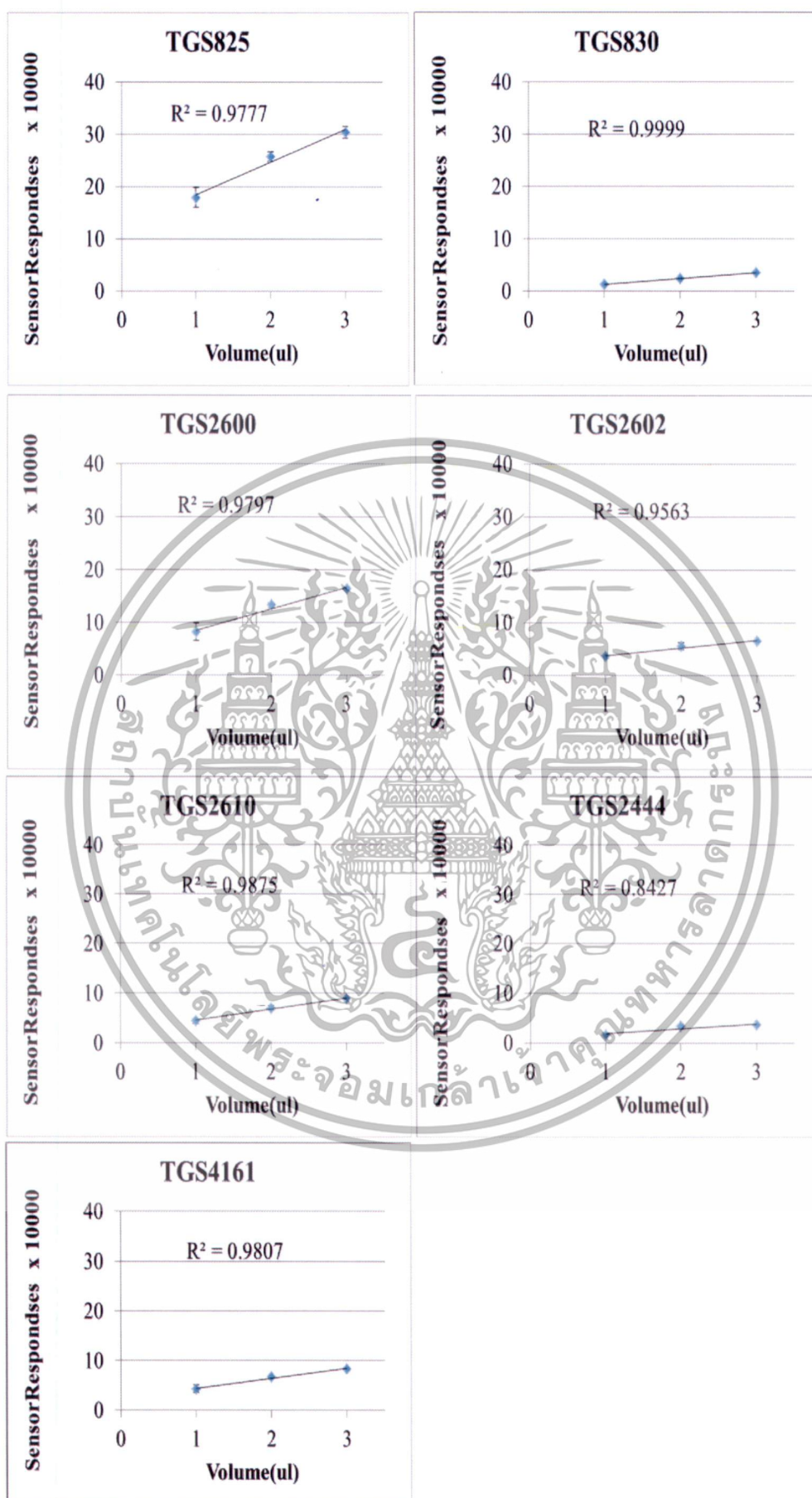
Gas sensors	TGS825	TGS830	TGS2600	TGS2602	TGS2610	TGS2444	TGS4161
R^2	0.9777	0.999	0.9797	0.9563	0.9875	0.8427	0.9807

ตารางที่ 5-6 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน (SD Error) จากวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอรั่มารไมด์ 50% (Mix) ซ้ำ 3 ครั้ง

SD Error	1ul	2ul	3ul
TGS825	19325	9078	11290
TGS830	2499	1832	333
TGS2600	16371	4821	4488
TGS2602	3745	6597	1277
TGS2610	4847	4607	2784
TGS2444	4357	4119	2047
TGS4161	8157	1527	2595

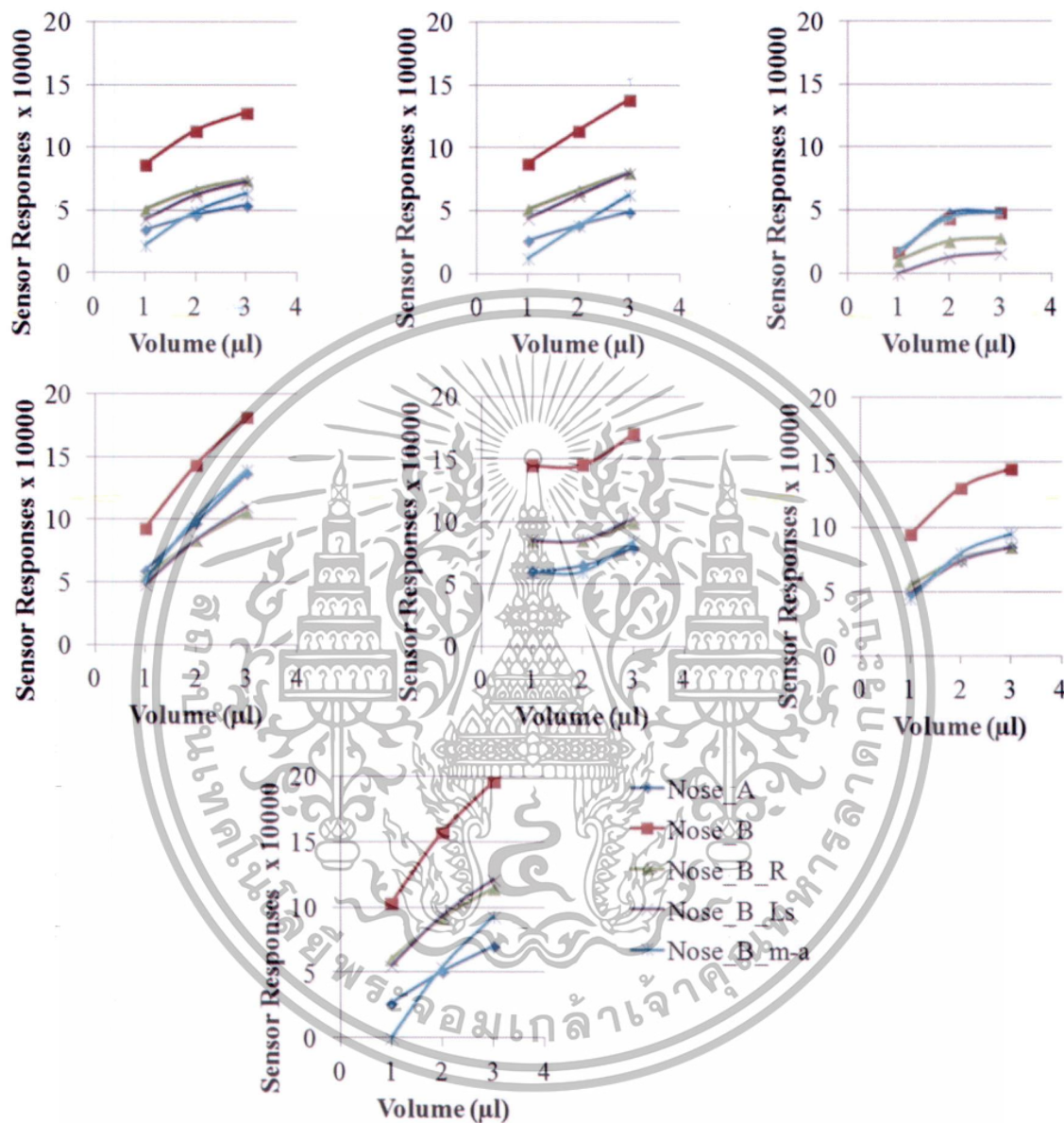
ค่าเฉลี่ยจากการทดลองวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับสารอะซีโตน (Ace) ซ้ำ 3 ครั้ง แสดงค่า R_2 ดังตารางที่ 5-5 และแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อน (SD Error) จากวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) กับ สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอรั่มารไมด์ 50% (mix) ดังตารางที่ 5-6 ผลการตอบสนองทางไฟฟ้าอาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์เครื่องหลัก (Nose_A) ด้วยสารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอรั่มารไมด์ 50% ให้การตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์เป็นเชิงเส้นทุกเซ็นเซอร์ แต่ในช่วงความเข้มข้น 1ul การตอบสนองแก๊สเซ็นเซอร์ TGS825 และ TGS2600 มีค่าที่ขึ้นลงในช่วง 16,000 – 20,000 และ 7000 – 10,000 ตามลำดับดังรูปที่ 5.6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 5.6.4 ผลการตอบสนองของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) ระยะเวลาในการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งกับสารผสมไดคัลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอรัมไรต์ 50% ทั้ง 3 ครั้งที่มีการนำไปใช้

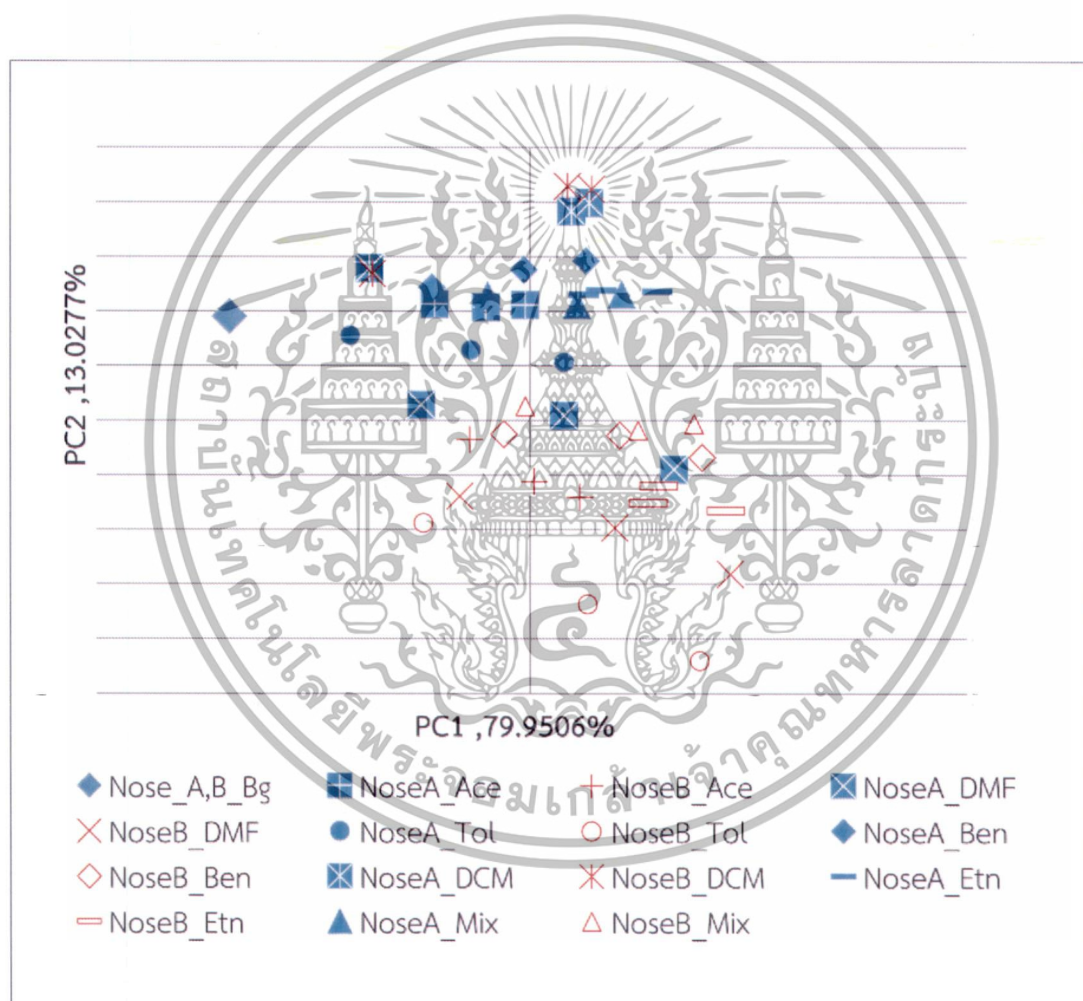
ผลการตอบสนองของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องที่ถ่ายโอน (Nose_B) ด้วยการถ่ายโอนวิธี Ratio-adjusted data (Nose_B_R), linear scaling data (Nose_B_Ls) และ specific mean-adjusted (Nose_B_m-a) ดังรูปที่ 5.6.5



รูปที่ 5.6.5 ผลการตอบสนองของก๊าซเซ็นเซอร์ TGS 2610 ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Nose_B) ด้วยการถ่ายโอนวิธี Ratio-adjusted data (Nose_B_R), linear scaling data (Nose_B_Ls) และ Specific mean-adjusted data (Nose_B_m-a) กับสารอินทรีย์ระเหยง่าย (a) อะซีโตน (Ace) (b) เบนซิน (Ben) (c) ไดคลอโรมีเทน (DCM) (d) ไดเมทิลฟอรัมไรต์ (DMF) (e) เอทานอล (Etn) (f) สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอรัมไรต์ 50% (Mix) (g) โทลูอิน (Tol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

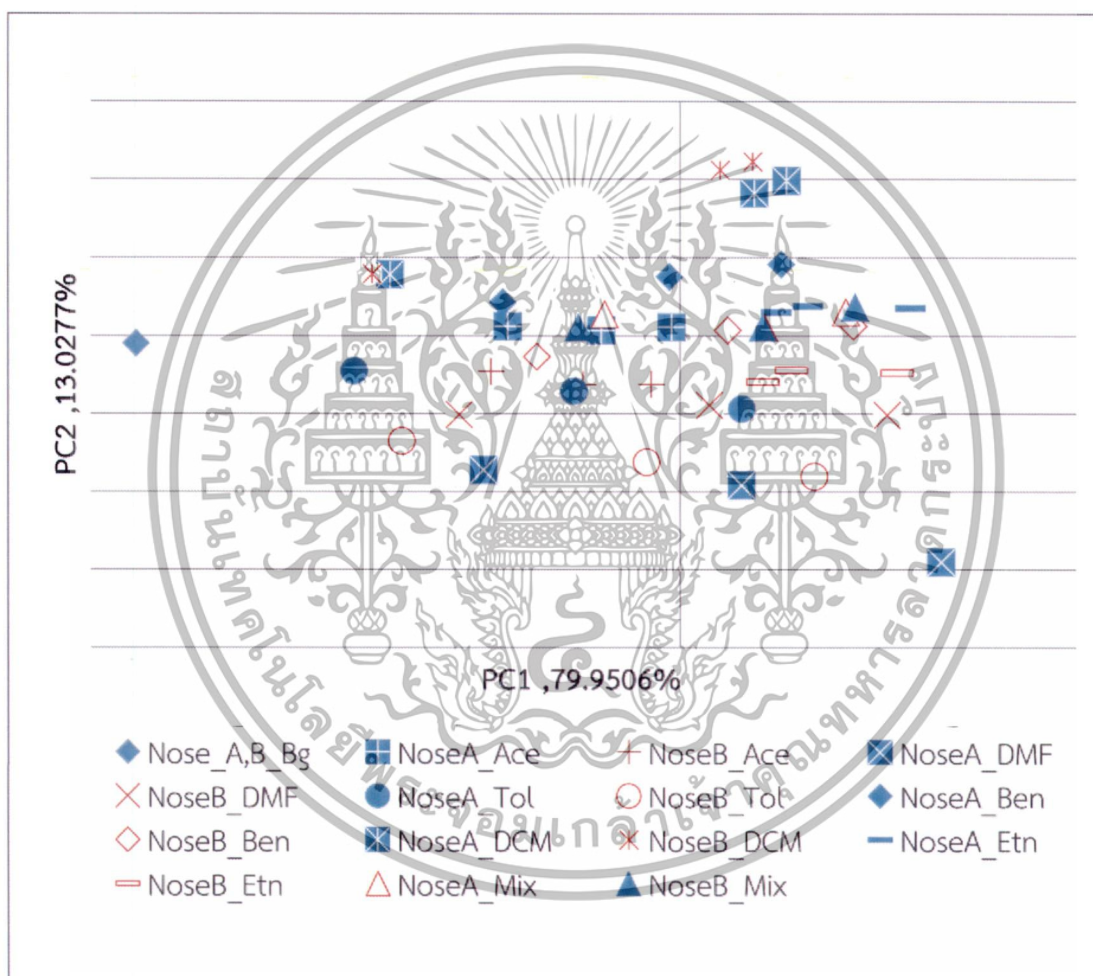
ผลการวิเคราะห์แพทเทิร์นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) score plot สารอินทรีย์ระเหยง่ายของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) เทียบกับเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B) โดยแกนนอนแสดงถึงค่าความแปรปรวนของข้อมูล 79.95% (ความเข้มข้นของกลิ่น) และแกนตั้งแสดงความสัมพันธ์กับชนิดแก๊ส เซ็นเซอร์ 13.02% ด้วยการไม่ทำการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Uncalibrated) พบว่ามีแพทเทิร์นของกลิ่น สาร ไดคลอโรมีเทน(DCM) ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก(Nose_A)และเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B) ที่เกาะกลุ่มกัน ส่วนกลิ่นสารอินทรีย์ระเหยง่ายอื่นมีแพทเทิร์นที่คล้ายกันแต่อยู่ต่างระนาบกันดังรูปที่ 5.6.6



รูปที่ 5.6.6 PCA, วิธี ไม่ได้ทำการถ่ายโอนฐานข้อมูล (Uncalibrated)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

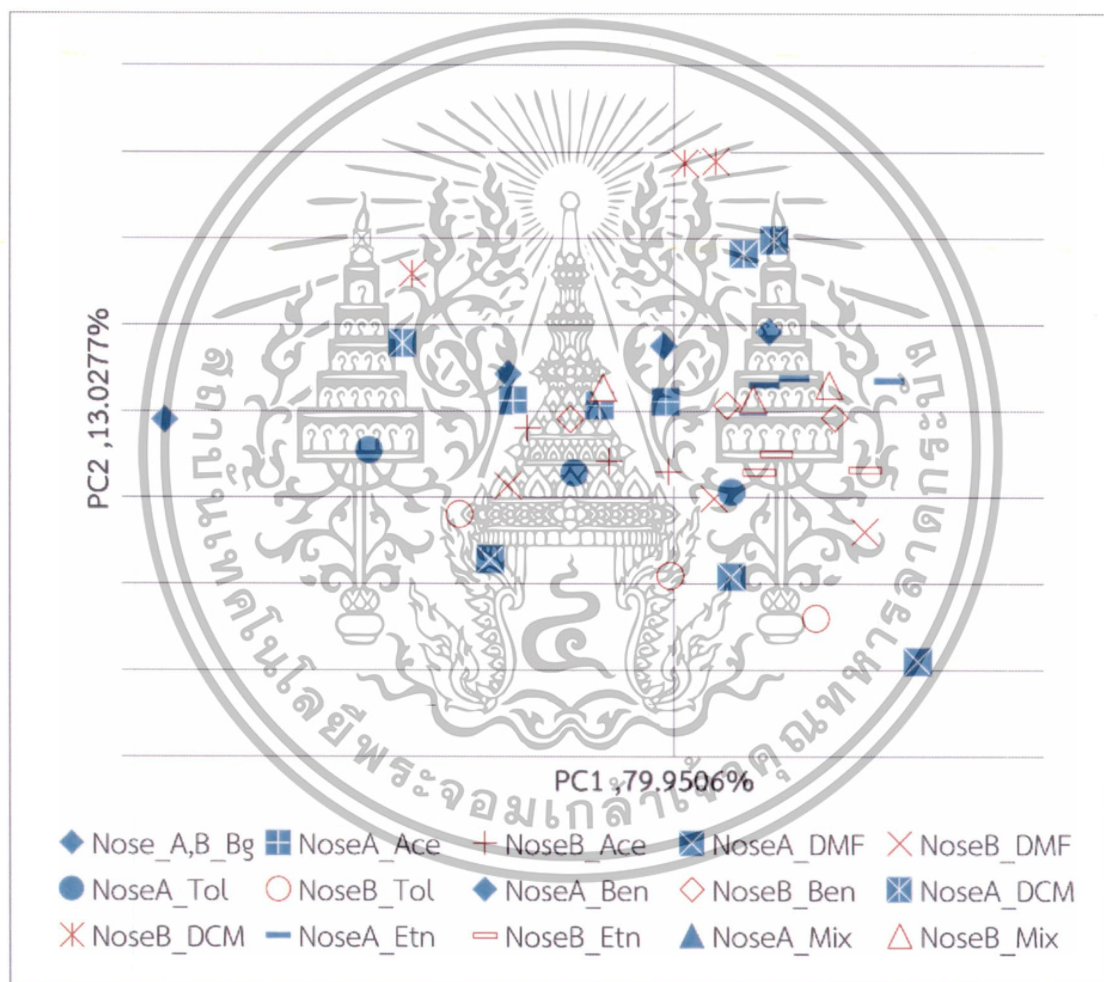
การวิเคราะห์แพทเทิร์นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) score plot สารอินทรีย์ระเหยง่ายของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) เทียบกับเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B) ด้วยวิธีการปรับอัตราการตอบสนอง (Response Ratio adjustment) พบว่ามีแพทเทิร์นกลิ่นสาร ไคโคลโรมีเทน (DCM) และสารผสมไคโคลโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอร์มาไรไมด์ 50% (Mix) ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) และเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B) ที่เกาะกลุ่มกัน ส่วนกลิ่นสารอินทรีย์ระเหยง่ายอื่นมีแพทเทิร์นที่คล้ายและใกล้ซ้อนทับกันดังรูปที่ 5.6.7



รูปที่ 5.6.7 PCA, วิธีการปรับอัตราการตอบสนอง (Response Ratio adjusted)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

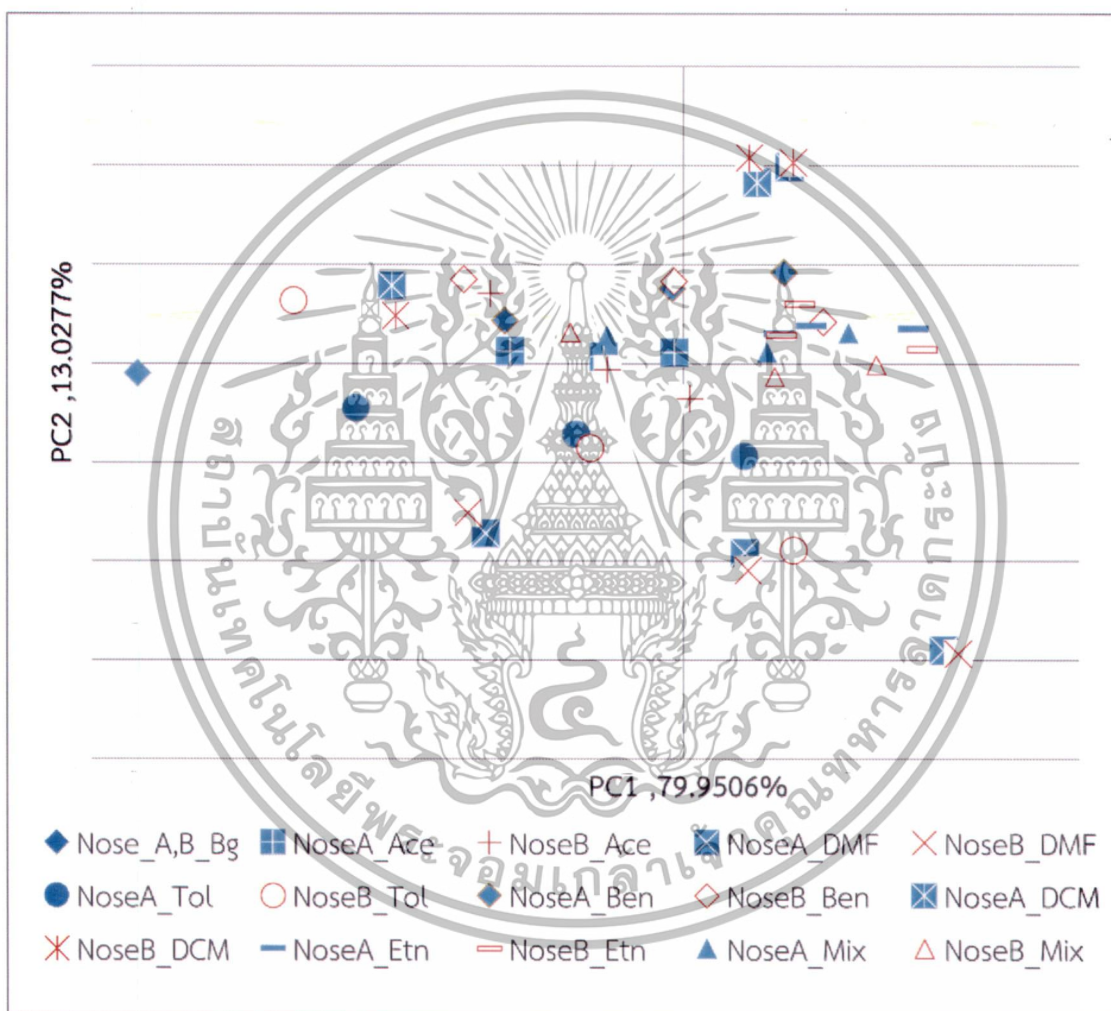
การวิเคราะห์แพทเทิร์นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) score plot สารอินทรีย์ระเหยง่ายของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) เทียบกับเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B)) วิธีการปรับเปลี่ยนเชิงเส้น (Linear Scaling) พบว่ามีแพทเทิร์นกลิ่นสาร ไคโคลโรมีเทน (DCM), อะซีโตน (Ace) , เอทานอล(Etn) และสารไดเมทิลฟอร์มาไรด์ (DMF) ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A)และเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B) ที่เกาะกลุ่มกัน ส่วนกลิ่นสารอินทรีย์ระเหยง่ายอื่นมีแพทเทิร์นที่คล้ายและใกล้ซ้อนทับกันดังรูปที่ 5.6.8



รูปที่ 5.6.8 PCA, วิธีการปรับเปลี่ยนเชิงเส้น(Linear Scaling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

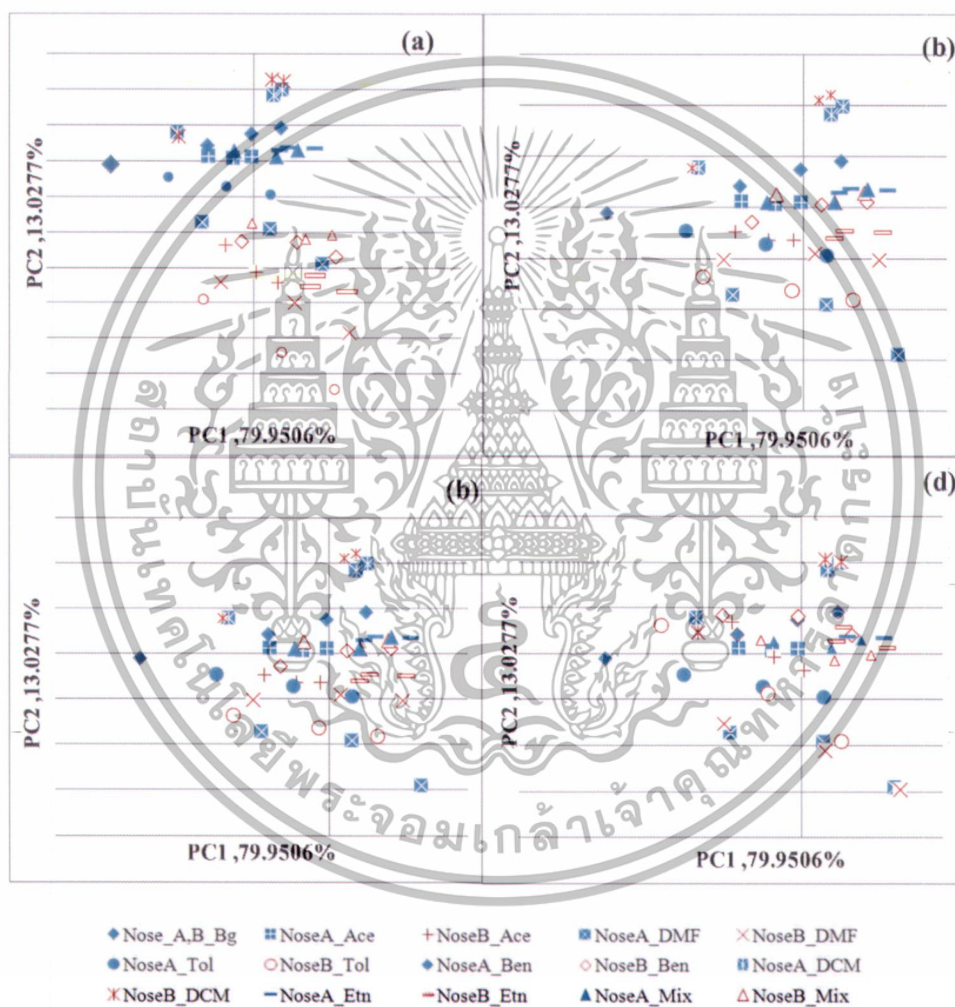
การวิเคราะห์แพทเทิร์นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) score plot สารอินทรีย์ระเหยง่ายของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) เทียบกับเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B) วิธีการปรับค่าเฉลี่ยจำเพาะสาร (Specific mean-adjusted) พบว่ามีแพทเทิร์นกลิ่นสารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟลูออไรด์ 50% (Mix) ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) และเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B) ที่เกาะกลุ่มกัน ส่วนกลิ่นสารอินทรีย์ระเหยง่ายอื่นมีแพทเทิร์นที่คล้ายแต่ไม่ซ้อนทับกันรูปที่ 5.6.9



รูปที่ 5.6.9 PCA, วิธีการปรับค่าเฉลี่ยจำเพาะสาร (Specific mean-adjusted)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

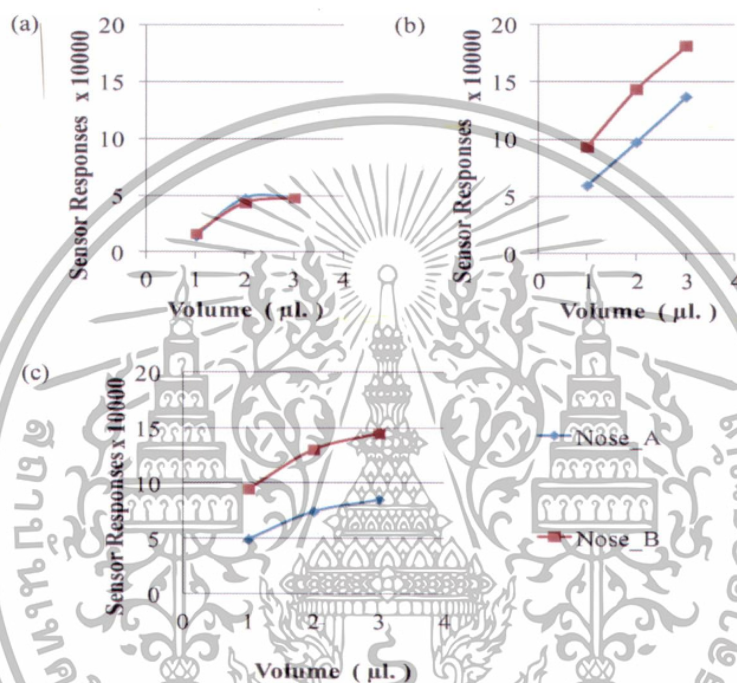
ผลการวิเคราะห์แพทเทิร์นด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principal Component Analysis (PCA) score plot โดยแกนอนแสดงถึงค่าความแปรปรวนของข้อมูล 79.95% (ความเข้มข้นของกลิ่น) และแกนตั้งแสดงความสัมพันธ์กับชนิดแก๊สเซ็นเซอร์ 13.02% ด้วยการเปรียบเทียบแพทเทิร์นข้อมูลที่ไม่ปรับค่าถ่ายโอน (Uncalibrated data) (a), และวิธีการถ่ายโอนฐานข้อมูลทั้ง 3 วิธี การปรับอัตราการตอบสนอง (Response Ratio adjusted) (b), การปรับเปลี่ยนเชิงเส้น (Linear scaling) (c), การปรับค่าเฉลี่ยเฉพาะสาร (Specific mean-adjusted) (d) ดังรูปที่ 5.6.10



รูปที่ 5.6.10 ผลการถ่ายโอนเมตริกสารอินทรีย์ระเหยง่ายจาก Nose_A บนกราฟ PCA score plot กับ Nose_B ด้วยวิธี ไม่ปรับค่าถ่ายโอน (Uncalibrated data), วิธี การปรับอัตราการตอบสนอง (Response Ratio adjusted), การปรับเปลี่ยนเชิงเส้น (Linear scaling), การปรับค่าเฉลี่ยเฉพาะสาร (Specific mean-adjusted)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการตอบสนองของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อแก๊สเซ็นเซอร์ TGS 2610 ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) เทียบกับเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B) โดยมีลักษณะการตอบสนองของต่อความเข้มข้นของสารเป็นเชิงเส้นแต่มีค่าเริ่มต้นของแต่ละสารไม่เท่ากัน อีกทั้งสารผสม Dichloromethane 50% กับ Dimethylformamide 50% มีค่าเริ่มต้นและค่าการตอบสนองการร่วมกันกับสาร Dichloromethane (DCM) กับสาร Dimethylformamide (DMF) ดังรูปที่ 5.5.11



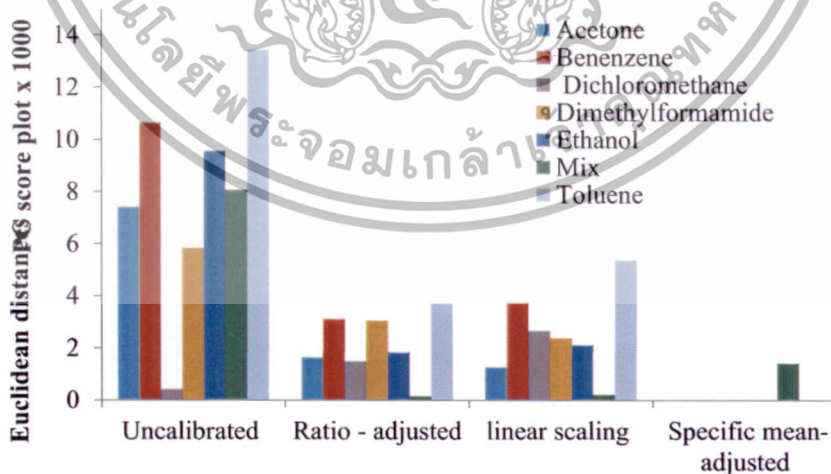
รูปที่ 5.6.11 ผลการตอบสนองของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อแก๊สเซ็นเซอร์ TGS 2610 ของจมูกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องหลัก (Nose_A) เทียบกับเครื่องที่ถ่ายโอนเมตริกข้อมูล (Nose_B) (a) ไดคลอโรมีเทน (DCM), (b) ไดเมทิลฟอร์มามิด (DMF), (c) สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% ไดเมทิลฟอร์มามิด 50% (Mix)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 -7 แสดงค่าระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean distance) เวกเตอร์ PCA score plot ของจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ Nose A, Nose B ในแต่ละสาร

ชนิดสาร	Uncalibrated	Ratio - adjusted	linear scaling	Specific mean-adjusted
Ace	7.42E+04	1.64E+04	1.27E+04	7.28E-12
Ben	1.07E+05	3.12E+04	3.75E+04	6.56E-12
DCM	4.27E+03	1.49E+04	2.67E+04	3.64E-12
DMF	5.83E+04	3.06E+04	2.38E+04	1.31E-11
Etn	9.57E+04	1.84E+04	2.12E+04	3.33E-02
Mix	8.08E+04	1.55E+03	2.23E+03	1.41E+04
Tol	1.34E+05	3.71E+04	5.38E+04	8.13E-12

ตารางที่ 5 -7 แสดงให้เห็นถึงระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean distance) [7] เวกเตอร์ PCA score plot ของจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ Nose A, Nose B ในแต่ละสารโดย อะซีโตน(Ace), เบนซิน (Ben), ไดคลอโรมีเทน(DCM), ไดเมทิลฟอร์มามไรด์ (DMF), เอทานอล(Etn), สารผสมไดคลอโรมีเทน 50% กับไดเมทิลฟอร์มามไรด์ 50% (Mix),โทลูอิน (Tol) จะเห็นว่าการปรับค่าเฉลี่ยเฉพาะสาร (Specific mean-adjusted) เป็นวิธีการถ่ายโอนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพราะมีค่าระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean distance) เวกเตอร์น้อยที่สุด สำหรับการปรับค่าอัตราส่วน (Ratio - adjusted) มีค่าการถ่ายโอนฐานข้อมูลดีกว่าการปรับอัตราส่วนเชิงเส้น (Linear - scaling) เล็กน้อย ดังรูปที่ 5.5.12



รูปที่ 5.6.12 การวัดระยะทางแบบยูคลิดระหว่างเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายโอนฐานข้อมูลของจุ่มกอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธี : Uncalibrated, Ratio – adjusted, Linear scaling และ Specific mean adjusted

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลงานการศึกษาและพัฒนาจุมุกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นเครือข่ายเฝ้าระวังการแพร่กระจายของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การใช้อาร์เรย์แก๊สเซ็นเซอร์ร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเพื่อเป็นจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ สามารถจำแนกแพทเทิร์นกลิ่นสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดเดียวอย่าง อะซิโตน ทูโลอิน และจำแนกแพทเทิร์นกลิ่นสารผสมระหว่าง อะซิโตน 50% กับ ทูโลอิน 50% อีกทั้งการจำแนกแพทเทิร์นยังสามารถบอกความเข้มข้นของกลิ่นได้ในเป็นระดับความเข้มข้น

2. หน่วยย่อยจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นเป็นเครือข่ายจุมุกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตรวจสอบการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายใน 1 มิติตามระยะ 1 เมตร 3 เมตร 5 เมตรตามลำดับ จุมุกอิเล็กทรอนิกส์แต่ละเครื่องตามการตอบสนองของแก๊สเซ็นเซอร์ตามเวลา ขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุลของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

3. การทดสอบการถ่ายโอนฐานข้อมูลวิธีการปรับค่าเฉลี่ยจำเพาะ (Specific mean-adjusted) เป็นวิธีการถ่ายโอนฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า การปรับค่าอัตราส่วน (Ratio - adjusted) และการปรับอัตราส่วนเชิงเส้น (Linear - scaling) แสดงให้เห็นว่าการถ่ายโอนฐานข้อมูลระหว่างหน่วยกลิ่นจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ผลการถ่ายโอนข้อมูลที่ต้องการจำเป็นต้องมีการวัดการตอบสนองของสารที่เคมิที่ต้องการถ่ายโอนอย่างน้อย 1 ครั้งก่อนการถ่ายโอนให้จุมุกอิเล็กทรอนิกส์เครื่องอื่นๆ

ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

ในการประยุกต์ใช้จุมุกอิเล็กทรอนิกส์ในทางสิ่งแวดล้อมนอกจากจะช่วยลดความซับซ้อนของข้อมูล จุมุกอิเล็กทรอนิกส์ยังสามารถตรวจวิเคราะห์ผลได้แบบต่อเนื่องและแสดงผลให้เห็นแบบทันที (realtime) ถึงแม้ว่าจุมุกอิเล็กทรอนิกส์จะไม่จำเพาะเจาะจงต่อสารใดและมีขีดจำกัดต่อการตรวจวัดความเข้มข้นในระดับต่ำได้ไม่ดี แต่เมื่อเทียบกับต้นทุนการในการตรวจวัดในปัจจุบันยังมีราคาถูกกว่ามาก จุมุกอิเล็กทรอนิกส์จึงมีศักยภาพในการพัฒนาให้เป็นระบบเครือข่ายตรวจวัดกลิ่น ที่กระจายได้ในพื้นที่ได้มากกว่าเครื่องมือวัดกลิ่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จุมุกอิเล็กทรอนิกส์ยังสามารถติดตั้งระบบวัดทางอุตุนิยมวิทยา เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดและระบุแหล่งที่มาของกลิ่น

สำหรับการถ่ายโอนฐานข้อมูลให้กับเครือข่ายจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ การใช้ชุดฝึกทดสอบสาร (training set) ควบคู่กับการถ่ายโอนฐานข้อมูลด้วยวิธี การปรับค่าอัตราส่วน (Ratio - adjusted) แล้วเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยรอบจุดติดตั้งจะทำให้ผลการถ่ายโอนข้อมูลมีความถูกต้องกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการการปรับด้วยการปรับอัตราส่วนเชิงเส้น (Linear - scaling) และการไม่ปรับการถ่ายโอน (Uncalibrated) เพื่อให้เกิดความถูกต้องสำหรับการถ่ายโอนฐานข้อมูลคลื่น การใช้สารตัวอย่างจากจุดกำเนิด (Point source) ในการฝึกอบรมเฉพาะสารร่วมกับวิธีการปรับค่าเฉลี่ยจำเพาะ (Specific mean-adjusted) จะช่วยให้ประสิทธิภาพการถ่ายโอนฐานข้อมูลคลื่นสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ดีที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สถิติการร้องเรียนปัญหามลพิษ.2556 [Online].

Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/pol2_stat2556.html

[2] การตรวจสอบและตรวจวิเคราะห์กลิ่นด้วยการดม 2555 [Online].

Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/air.html

[3] Alphas Dan Wilson, “Review of Electronic-nose Technologies and Algorithms to Detect Hazardous Chemicals in the Environment”, *Procedia Technology* 1 (2012), 453.

[4] IMAN MORSI, “Electronic Noses for Monitoring Environmental Pollution and Building Regression Model” *IEEE* (2008) 1730-1735

[5] ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) [Online].

Available : http://webdb.dmssc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_2_001c.asp?info_id=120

[6] E.L. Cussler. *Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems*, New York: Cambridge University Press, 2nd ed., 1997.

[7] Euclidean distance [Online].

Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean_distance

[8] จมูกอิเล็กทรอนิกส์ ตรวจสอบกลิ่นแบบพกพา [Online].

Available : http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=684 //From T.C. Pearce, S.S. Schiffman, H.T. Nagle and J.W. Gardner (eds.). *Handbook of Machine Olfaction: Electronic Nose Technology* (Wiley-VCH: Darmstadt, Germany), 200

[9] ผศ.ดร.วรงค์ ตั้งศรีรัตน์ ,ทฤษฎีตัวตรวจรู้และก๊าซเซ็นเซอร์ , ในเซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์ ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและระบบควบคุม 2553

[10] ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ ภาควิชาฟิสิกส์ และ หน่วยสร้างเสริมศักยภาพทางนาโนศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2005. จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (ตอนที่ 2) เซ็นเซอร์รับกลิ่น [Online].

Available : <http://nanotech.sc.mahidol.ac.th/>

[11] Figaro Company, Gas sensor data sheet [Online].

Available : <http://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/>

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] El Barbri, N., Llobet, E., El Bari, N., Correig, X., Bouchikhi, B., Application of a portable electronic nose system to assess the freshness of Moroccan sardines, *Materials Science and Engineering C* 28, pp. 666. 2008
- [13] Zhi-biao, S., Tao, Y., Qun, Z., Yang, L., Yu-bin, L., Comparison of Algorithms for an Electronic Nose in Identifying Liquors, *Journal of Bionic Engineering* 5, pp.253. 2008
- [14] Zhang, L., Tian, F., Liu, S., Guo, J., Hu, B., Ye, Q., Dang, L., Peng, X., Kadri, C., Feng, J., Chaos based neural network optimization for concentration estimation of indoor air contaminants by an electronic nose, *Sensors and Actuators A* 189, pp.161. 2013
- [15] B. Botre, D. Gharpure, A. Shaligram , Embedded Electronic Nose for VOC Mixture Analysis : AIP Conference Proceedings AIP Publishing <http://dx.doi.org/10.1063/1.3156625>
- [16] รศ.ดร.ฉวีวรรณ สายบัว “เปิดงานวิจัยมาตาพุด” [Online].
Available :<http://thaipublica.org/2011/09/maptaphut-part2/>
- [17] A. Seeda, K.Trachu , S. Pratontep “ Monitoring of Volatile Organic Compound Diffusion in One Dimension with Electronic Nose Array ” SPC (2013) 124 - 127
- [18] A.Seeda, S.Wangsuya, K.Trachu ,S.Pratontep “On Transferring Chemical Vapour Database between Different Electronics Noses for Volatile Organic Compound” SPC (2014) 23002-1-4
- [19] Z. Haddi,d S. Mabroukb, M. Bougrini, K. Tahri, K. Sghajer, H. Barhoumi, N. El Bari, A. Maaref, N. Jaffrezic-Renault, B. Bouchikhi, E-Nose and e-Tongue combination for improved recognition of fruit juice samples *Food Chemistry* 150 (2014) 246–253
- [20] S.Fuchs, P. Strobel, M.Siadat, M. Lumbreras, “Evaluation of unpleasant odor with a portable electronic nose” *Materials Science and Engineering C* 28, pp.949. 2008
- [21] L. Zhang, F.Tian, C. Kadri, G. Pei, H. Li, L. Pan, “Gases concentration estimation using heuristics and bio-inspired optimization models for experimental chemical electronic nose” *Sensors and Actuators B* 160,pp. 760. 2011
- [22] L. Zhang, F.Tian, C. Kadri, F.Xiao, H. Li, L. Pan, H. Zhou, “On-line sensor calibration transfer among electronic nose instruments for monitoring volatile organic chemicals in indoor air quality” *Sensors and Actuators B* 160,pp.899. 2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)

1 ความหมายของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

การทำวิจัยไม่ว่าจะเป็นวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ เป็นต้น มักจะมีข้อมูลและตัวแปรจำนวนมาก ซึ่งทำให้เป็นการยากในการวิเคราะห์และสรุปผลโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าตัวแปรมีความสัมพันธ์กัน จึงมีแนวคิดที่จะลดจำนวนตัวแปรโดยให้ตัวแปรที่สร้างขึ้นใหม่มีความผันแปรหรือความแปรปรวนของตัวแปรเดิมไว้มากที่สุดและเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ก็เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ลดจำนวนตัวแปรกระบวนการวิเคราะห์องค์ประกอบถือกำเนิดขึ้นมาในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 โดย Spearman แต่การวิเคราะห์องค์ประกอบในสมัยนั้นยังเป็นวิธีการที่ยุ่งยากซับซ้อนและเสียเวลามากในการวิเคราะห์ ดังนั้น การวิเคราะห์องค์ประกอบจึงยังไม่เป็นที่แพร่หลายในหมู่นักวิจัยสมัยนั้น จนกระทั่งคอมพิวเตอร์ได้ถือกำเนิดขึ้นมาและตามมาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะช่วยเหลือในการวิเคราะห์องค์ประกอบ ดังนั้นการวิเคราะห์องค์ประกอบจึงได้แพร่หลายออกไปในหมู่นักวิจัยกันอย่างกว้างขวาง จุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์องค์ประกอบมี 2 ประการคือ

1. เพื่อสำรวจหรือค้นหาตัวแปรแฝงที่ซ่อนอยู่ภายใต้ตัวแปรที่สังเกตหรือวัดได้ เรียกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory factor analysis)
2. เพื่อพิสูจน์ ตรวจสอบหรือยืนยันทฤษฎีที่ผู้อื่นค้นพบ เรียกว่า การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory factor analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจจะใช้ในการสำรวจข้อมูล จำนวนองค์ประกอบอธิบายความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรเมื่อผู้วิจัยไม่มีหลักฐานอ้างอิงเพียงพอสำหรับเป็นกรอบของสมมติฐานเกี่ยวกับจำนวนขององค์ประกอบภายใต้ข้อมูลที่สอบวัดได้

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นเทคนิคการลดจำนวนตัวแปรเทคนิคหนึ่ง โดยการสร้างเซตของตัวแปรใหม่ให้เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิมและเซตของตัวแปรใหม่จะมีรายละเอียดหรือข้อมูลของตัวแปรเดิม จำนวนตัวแปรใหม่จะต้องไม่เกินที่จำนวนตัวแปรเดิม นั่นคือ กรณีที่มีตัวแปรเดิม p ตัว ตัวแปรใหม่เท่ากับ m ตัว จะได้ว่า $m \leq p$

2 หลักการของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นเทคนิคการลดจำนวนตัวแปรที่มีจำนวนมาก เช่น p ตัว โดยการสร้างตัวแปรใหม่ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรเดิม p ตัว และจะต้องสกัดหรือดึงรายละเอียดหรือค่าแปรปรวนจากตัวแปรเดิมมาไว้ในตัวแปรใหม่ให้มากที่สุด ในที่นี้จะใช้ PC_i แทนองค์ประกอบหลักที่ i ; $i = 1, 2, \dots, p$ การสร้าง PC_i จะมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 การสร้าง PC_1 หรือตัวประกอบหลักที่ 1 ซึ่งเป็นตัวแปรใหม่ตัวแรก โดยให้ PC_1 เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิมทั้ง p ตัว และจะต้องสกัดหรือดึงค่าความแปรปรวนจากตัวแปรทั้ง p ตัว มาไว้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PC_1 ให้มากที่สุด ซึ่งจะทำให้ PC_1 มีค่าความแปรปรวนมากที่สุด เมื่อเทียบกับ $PC_i; i = 1, 2, \dots, p$ โดยที่

$$PC_1 = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1p}X_p$$

หรือ $PC_1 = w_1'x$ ที่ทำให้ $\text{Var}(w_1'x)$ มีค่ามากที่สุด และ $w_1'w_1 = 1$

ขั้นที่ 2 การสร้างองค์ประกอบหลักที่ 2 หรือ PC_2 จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม p ตัว และสกัดรายละเอียดหรือความแปรปรวนที่เหลือจาก PC_1 โดยจะต้องสกัดความผันแปรที่เหลือจาก PC_1 มาไว้ที่ PC_2 ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้และ PC_2 จะต้องไม่มีความสัมพันธ์กับ PC_1 หรือจะต้องตั้งฉาก (orthogonal) กับ

$$PC_1 PC_2 = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2p}X_p$$

หรือ $PC_2 = w_2'x$ ที่ทำให้ $\text{Var}(w_2'x)$ มีค่ามากที่สุด

โดยมีเงื่อนไข $w_2'w_2 = 1, w_1'w_2 = 0$ และ $\text{Cov}(w_1'x, w_2'x) = 0$

ขั้นที่ k การสร้างองค์ประกอบหลักที่ k หรือ PC_k

PC_k จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม p ตัว และสกัดรายละเอียดหรือความแปรปรวนที่เหลือจาก $PC_1, PC_2, \dots, PC_{k-1}$ มาไว้ใน PC_k ให้มากที่สุดและ PC_k จะต้องไม่มีความสัมพันธ์กับ $PC_1, PC_2, \dots, PC_{k-1}$ โดยที่

$$PC_k = w_{k1}X_1 + w_{k2}X_2 + \dots + w_{kp}X_p$$

หรือ $PC_k = w_k'x$ ที่ทำให้ $\text{Var}(w_k'x)$ มีค่ามากที่สุด

โดยมีเงื่อนไข $w_k'w_k = 1, w_j'w_k = 0; j \neq k$ และ

$\text{Cov}(w_k'x, w_j'x) = 0$ สำหรับ $j < k$

ขั้นที่ p การสร้างองค์ประกอบหลักที่ p หรือ PC_p

PC_p จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม p ตัว โดย PC_p จะมีความผันแปรของตัวแปรเดิมที่เหลือจาก $PC_1, PC_2, \dots, PC_{p-1}$ และไม่มีความสัมพันธ์กับ $PC_1, PC_2, \dots, PC_{p-1}$ โดยที่

$$PC_p = w_{p1}X_1 + w_{p2}X_2 + \dots + w_{pp}X_p$$

หรือ $PC_p = w_p'x$ ที่ทำให้ $\text{Var}(w_p'x)$ มีค่ามากที่สุด

โดยมีเงื่อนไข $w_p'w_p = 1$ และ $\text{Cov}(w_p'x, w_j'x) = 0$ สำหรับ $j < p$

ความผันแปรรวมของตัวแปรเดิม p ตัว = ความผันแปรของตัวประกอบหลัก p ตัว หรือ $\text{Var}(X_1) + \text{Var}(X_2) + \dots + \text{Var}(X_p) = \text{Var}(PC_1) + \text{Var}(PC_2) + \dots + \text{Var}(PC_p)$

จากวิธีการข้างต้นจะทำให้ ค่าแปรปรวนของ PC_1 จะมากที่สุดและค่าแปรปรวนของ PC จะลดลงเรื่อยๆจนทำให้ค่าแปรปรวนของ PC_p ต่ำสุดหรือ $\text{Var}(PC_1) \geq \text{Var}(PC_2) \geq \dots \geq \text{Var}(PC_p)$ ถ้าเวกเตอร์ตัวแปรสุ่ม $x' = X_1, X_2, \dots, X_p$ ซึ่งมีเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม Σ และมีค่าไอเกน $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ โดยเขียนตัวประกอบหลักให้อยู่ในรูปฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปร X_1, X_2, \dots, X_p คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 จำนวนองค์ประกอบหลัก

เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นการลดจำนวนตัวแปร p ตัว โดยที่ $m \leq p$ โดยตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลักที่สร้างขึ้น คือ PC_1, PC_2, \dots, PC_m จะมีความแปรปรวนของตัวแปรเดิมให้มากที่สุด เช่น ถ้ามีตัวแปรเดิม 20 ตัว ($p \leq 20$) และค่าแปรปรวนทั้งหมด $= \sum_{i=1}^{20} \text{Var}(X_i)$ จะสามารถสร้างตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลักได้ 20 ตัว แต่ถ้าพบว่าตัวประกอบ 3 ตัวแรกสามารถสกัดความแปรผันของตัวแปรเดิมได้ 80 %

หรือ
$$\frac{\text{Var}(PC_1) + \text{Var}(PC_2) + \text{Var}(PC_3)}{\sum_{i=1}^{20} \text{Var}(X_i)}$$

ในกรณีนี้ควรให้ $m = 3$ เนื่องจากตัวแปรใหม่เพียง 3 ตัว มีความผันแปร หรือสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรเดิมได้มากถึงร้อยละ 80 ดังนั้น จึงสามารถใช้ตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลัก 3 ตัว แทนตัวแปรเดิม 20 ตัว

การพิจารณาจำนวนตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลักที่เหมาะสมหรือพิจารณาค่า m ว่าควรเป็นเท่าใด จะพิจารณาจากร้อยละความผันแปรที่สามารถอธิบายตัวแปรเดิมได้ ซึ่งขึ้นกับความสัมพันธ์ของตัวแปรเดิม ถ้าตัวแปรเดิม p ตัว มีความสัมพันธ์กันมาก จะทำให้ได้ตัวแปรใหม่ที่มีค่าไอเกนหรือค่าแปรปรวนมากเพียงไม่กี่ค่า เช่น มีเพียง 1 หรือ 2 ค่าที่มีค่าไอเกนมาก นั่นคือ λ_1 และ λ_2 มีค่ามาก ซึ่งมีผลทำให้ λ_3, λ_4 มีค่าน้อยมาก แต่ถ้าตัวแปรเดิมมีความสัมพันธ์กันน้อย จำนวนตัวประกอบหลักจะเท่ากับหรือใกล้เคียงกับจำนวนตัวแปรเดิม

4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมกับตัวประกอบหลัก

ดังที่กล่าวแล้วว่าตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลักจะไม่มีความสัมพันธ์กันเอง ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง PC_i และ PC_j ($i \neq j$) จะเป็นศูนย์ แต่ตัวประกอบหลักกับตัวแปรเดิมจะมีความสัมพันธ์โดยวัดความสัมพันธ์ระหว่าง PC_i กับ X_j ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และเรียกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักและตัวแปรเดิมว่า loading ดังนั้น ค่า loading จึงเป็นค่าที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรเดิมที่มีต่อการสร้างตัวประกอบหลัก ถ้าค่า loading ของตัวแปรเดิมใดมีค่ามาก (ใกล้ +1 หรือ -1) แสดงว่าตัวแปรเดิมนั้นมีความสำคัญหรือมีส่วนร่วมในการสร้างตัวประกอบหลักมาก สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมกับตัวประกอบหลักดังนี้

$$\begin{aligned} Z_1 &= l_{11}PC_1 + l_{12}PC_2 + \dots + l_{1p}PC_p \\ Z_2 &= l_{21}PC_1 + l_{22}PC_2 + \dots + l_{2p}PC_p \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \quad \quad \quad \vdots \\ Z_p &= l_{p1}PC_1 + l_{p2}PC_2 + \dots + l_{pp}PC_p \end{aligned} \quad (4)$$

โดยที่ Z_j เป็นตัวแปร X_j ที่ปรับให้อยู่ในรูปมาตรฐาน ; $j = 1, 2, \dots, p$

ตัวอย่างเช่นการคำนวณการหาค่าเมตริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมกับตัวประกอบหลักได้ดังนี้นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{array}{cc} PC_1 & PC_2 \\ X_1 & [0.94126 \quad -0.33768] \\ X_2 & [0.92684 \quad 0.37545] \end{array}$$

จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง PC_1 กับ X_1 และ X_2 เป็น 0.94126 และ 0.92684 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามาก ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า X_1 และ X_2 มีผลกระทบหรือมีอิทธิพลอย่างมากในการสร้าง PC_1 และค่า loading นี้จะเป็นค่าที่ใช้ในการอธิบายความหมายของตัวประกอบหลักสำหรับค่า loading นอกจากนี้สามารถคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แล้ว ยังสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$I_{ij} = \frac{w_{ij}}{S_j} \sqrt{\lambda_i} \quad (5)$$

โดยที่ I_{ij} เป็น loading ของตัวแปรเดิมที่ $j(X_j)$ กับ ตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$

w_{ij} เป็น loading ของตัวแปรเดิมที่ j กับ ตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$

λ_i เป็นค่าไอเกนของตัวประกอบหลักที่ i (ค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$)

S_j เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรเดิมที่ $j(X_j)$

5 ชนิดของข้อมูลในการสร้างตัวประกอบหลัก

การสร้างตัวประกอบในสมการที่ (1) เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์หรือน้ำหนัก (w_{ij}) ของตัวแปรเดิม โดยจะคำนวณจากเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วม Σ หรือ S ซึ่งในกรณีดังกล่าวจะพบว่าถ้ามีแปรเดิมตัวใดตัวหนึ่งมีค่าแปรปรวนมากกว่าตัวแปรอื่นๆ มาก หรือกรณีที่ตัวแปรเดิมมีหน่วยที่แตกต่างกันจะทำให้ตัวแปรที่มีค่าแปรปรวนมากมีส่วนในการสร้างตัวประกอบหลักมาก ในขณะที่ตัวแปรเดิมมีค่าแปรปรวนต่างๆ เทียบ จะไม่มีผลต่อการสร้างตัวประกอบหลักเลย หรือกล่าวได้ว่าตัวประกอบหลักที่ได้จะขึ้นกับตัวแปรที่มีค่าแปรปรวนมากเท่านั้น กรณีที่ค่าแปรปรวนของตัวแปรเดิมต่างกันมากๆ ถ้าใช้เมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมในการสร้างตัวประกอบหลัก จะทำให้

1. ตัวประกอบหลักตัวแรกๆ มีค่าแปรปรวนมาก เช่น PC_1 มีค่าแปรปรวนสูง ในขณะที่ PC อื่นๆ มีค่าแปรปรวนต่ำมาก
2. ตัวประกอบหลักจะเป็นตัวแทนของตัวแปรเดิมที่มีแปรปรวนมาก หรือกรณีที่ตัวแปรเดิมมีหน่วยต่างกันมาก การที่หน่วยต่างกันจะทำให้ค่าแปรปรวนต่างกันมากเช่นกัน

ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวแปรที่มีค่าแปรปรวนมากเป็นตัวแปรที่สำคัญในการสร้างตัวประกอบหลัก จึงควรปรับข้อมูลให้อยู่ในรูปมาตรฐาน (standardized) ก่อน หรือแทนที่จะใช้เมตริกซ์ค่าแปรปรวนหรือค่าแปรปรวนร่วม ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ p หรือ R การที่ใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ตัวอย่าง R จะทำให้ค่าไอเกน(แปรปรวน) และเวกเตอร์ค่าไอเกน (w_{ij}) เปลี่ยนไปจากเดิมที่ใช้เมตริกซ์ S

6 การพิจารณาจำนวนตัวประกอบหลักที่เหมาะสม

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า จำนวนตัวประกอบหลักจะเท่ากับจำนวนตัวแปรเดิม คือ p ตัว แต่ตัวประกอบหลักตัวต่างๆ จะมีสัดส่วนความแปรปรวนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ตัวแปรปรวนเดิมมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์กันมาก จะทำให้มีตัวประกอบหลักเพียงไม่กี่ตัวที่มีสัดส่วนความแปรปรวนสูง จึงมักมีคำถามว่าจำนวนตัวประกอบหลักควรมีกี่ตัวจึงเหมาะสมนอกจากนี้วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก คือ การลดจำนวนตัวแปร ดังนั้น จำนวนตัวประกอบหลักควรจะต้องน้อยกว่าจำนวนตัวแปรเดิม แนวทางในการพิจารณาจำนวนตัวประกอบหลักมีดังนี้

1. พิจารณาจากร้อยละความแปรปรวนสะสม ถ้าร้อยละความแปรปรวนสะสมของตัวประกอบหลัก m ตัวแรก เป็นอย่างต่ำร้อยละ 80 ก็ควรให้จำนวนตัวประกอบหลักเท่ากับ m โดยที่ $m < p$ เช่น ถ้า $p = 10$ และมีตัวประกอบหลักเพียง 3 ตัวแรก ที่ค่าสะสมของร้อยละของร้อยละของความแปรปรวนเป็น 82 ขณะที่ตัวประกอบหลักตัวที่ 4 มีร้อยละของความแปรปรวนเพียง 7.5 กรณีนี้จำนวนตัวประกอบหลักที่เหมาะสม คือ 3 (PC_1, PC_2, PC_3)

2. ใช้กราฟ scree ในการพิจารณาจำนวนตัวประกอบหลักที่เหมาะสม โดยการพล็อตค่าไอเกน การพิจารณากราฟ scree นั้น ถ้าตัวประกอบหลักตัวที่ $m + 1, \dots, p$ หรือควรมีตัวประกอบหลัก m ตัวเท่านั้น

3. ให้พิจารณาค่าไอเกนหรือค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักแต่ละตัว ถ้าค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักตัวใดน้อยกว่าค่าแปรปรวนเฉลี่ย $\left(\frac{\sum_{i=1}^p \lambda_i}{p}\right)$ จะตัดทิ้ง

การใช้ค่าไอเกนหรือค่าแปรปรวนของตัวประกอบหลักสำหรับข้อมูลที่อยู่ในรูปมาตรฐานแล้ว การพิจารณาเฉพาะตัวประกอบหลักที่มีค่าไอเกนมากกว่าหนึ่งนั้นอาจทำให้จำนวนตัวประกอบหลักที่ได้มากหรือน้อยจนเกินไปดังนั้นควรใช้หลักเกณฑ์อื่น ๆ มาร่วมพิจารณาด้วย

7 ความหมายของตัวประกอบหลัก

ความหมายของตัวประกอบหลักควรจะอธิบายถึงความหมายตัวแปรเดิม เนื่องจากตัวประกอบหลักเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรเดิม ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าค่า loading จะเป็นค่าที่ใช้อธิบายความหมายของตัวประกอบหลักแต่ละตัว เนื่องจากค่า loading (L_{ij}) เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเดิมที่ $j(X_j)$ กับตัวประกอบหลักที่ $i(PC_i)$ การศึกษาว่าความหมายของตัวประกอบหลักควรเป็นความหมายของตัวแปรเดิมตัวใดบ้างนั้น ให้พิจารณาค่า loading ของตัวแปรเดิมตัวใดมีค่ามากความหมายของตัวประกอบหลักควรเป็นความหมายของตัวแปรนั้น โดยทั่วไปกำหนดว่า ถ้าค่า loading มากกว่าหรือเท่ากับ ± 0.5 จะพิจารณาความหมายของตัวแปรเดิมนั้นให้เป็นความหมายของตัวประกอบหลัก

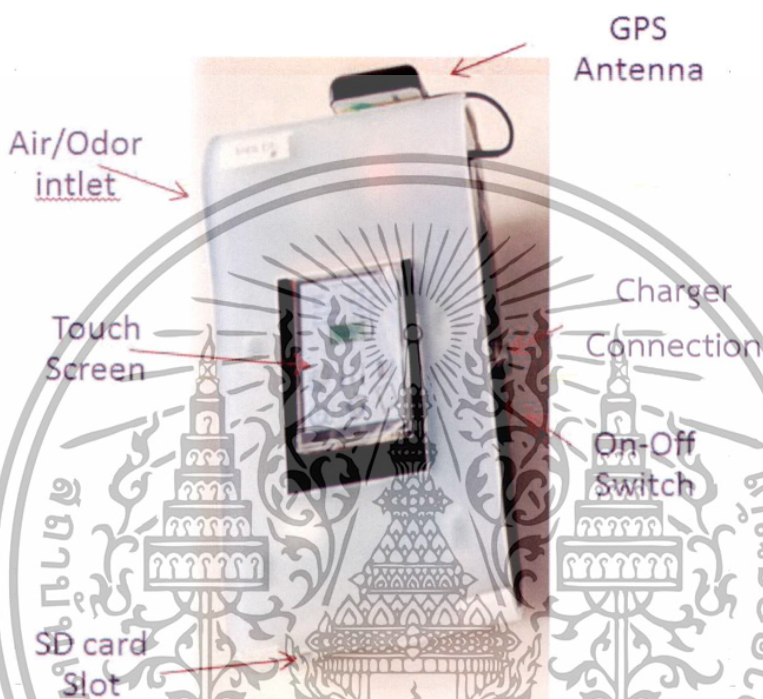
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดคุณภาพอากาศด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

ข้อมูลการทำงานของเครื่อง E-nose portable

ส่วนประกอบของเครื่อง

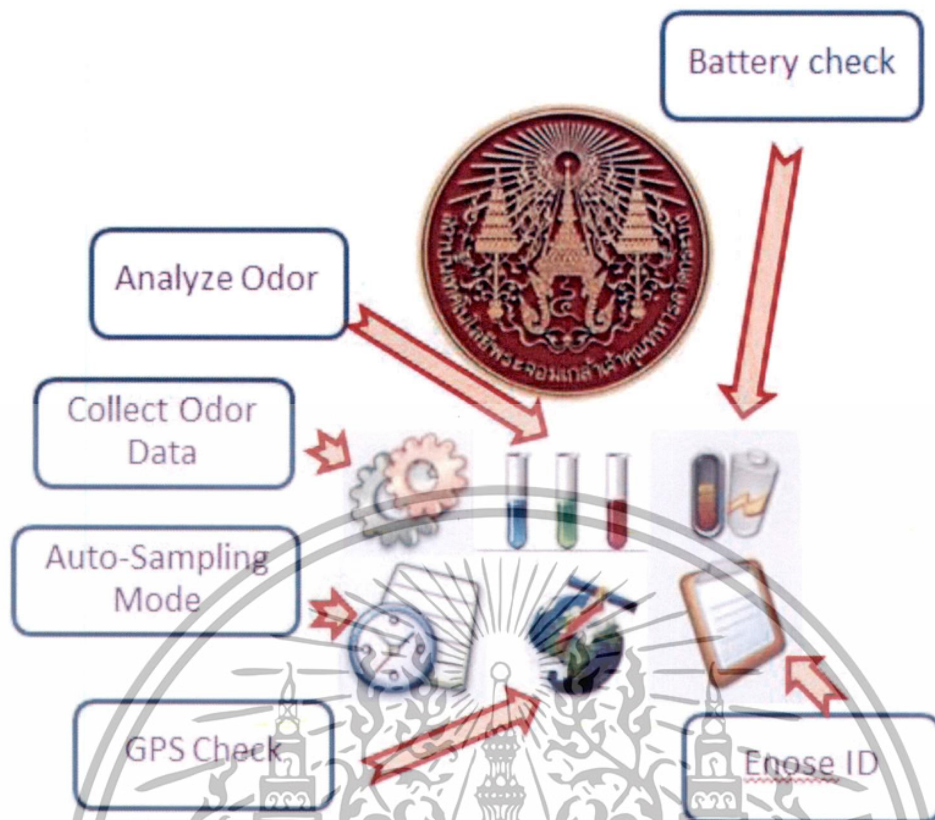


เมนูหน้าจอ Touch screen

ประกอบด้วย 6 โหมดการทำงาน คือ

- 1) การเก็บข้อมูลกลิ่น (Collect odor data)
- 2) การวิเคราะห์กลิ่น (Analyze odor)
- 3) การตรวจสอบแบตเตอรี่ (Battery check)
- 4) การเก็บและแสดงข้อมูลแบบตั้งเวลา (Auto-sampling mode)
- 5) การตรวจสอบสถานะ GPS (GPS check)
- 6) การแสดงหมายเลขเครื่อง (Enose ID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขั้นตอนทั่วไปในการใช้เครื่อง

1. เปิด warm up เครื่องอย่างน้อย 15-30 นาที ก่อนใช้งานเพื่อให้ตัวให้ความร้อนของหัวเซ็นเซอร์เสถียร
2. ปิดหน้าจอที่แสดง ID ของเครื่องและเริ่มใช้งานได้
3. ควรตรวจสอบการอ่านตำแหน่ง GPS ก่อนเก็บตัวอย่างกลิ่น เพื่อให้ได้ความแม่นยำของจุดที่วัด
4. ควรตรวจสอบแบตเตอรี่ก่อนใช้งาน มากกว่า 10%)

การชาร์จแบตเตอรี่

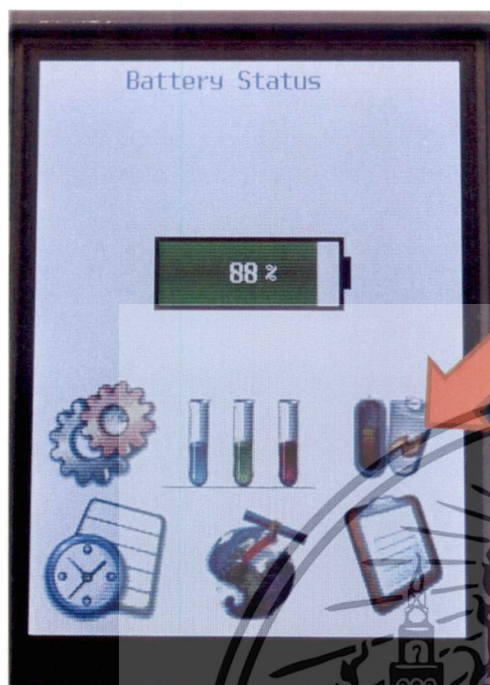
เมื่อแบตเตอรี่เหลือ 0% จะมีการส่งเสียงเตือน จะใช้งานต่อไปเพียงไม่เกิน 1 ชั่วโมง แต่ถ้าไม่จำเป็นต้องใช้งานต่อควรชาร์จแบตเตอรี่ทันที

การต่อเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ผ่านสาย 4-pin แล้วต่อไฟฟ้า 220-240 V เมื่อแบตเตอรี่เต็มแล้ว จะเห็นไฟ LED สีเขียว แต่ควรชาร์จต่อเนื่องไปอย่างน้อย 5 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบแบตเตอรี่ (Battery check)

เครื่องถูกออกแบบให้ใช้งานต่อเนื่องได้ประมาณ 8 ชั่วโมง



การแสดงผลหมายเลขเครื่อง (Enose ID)



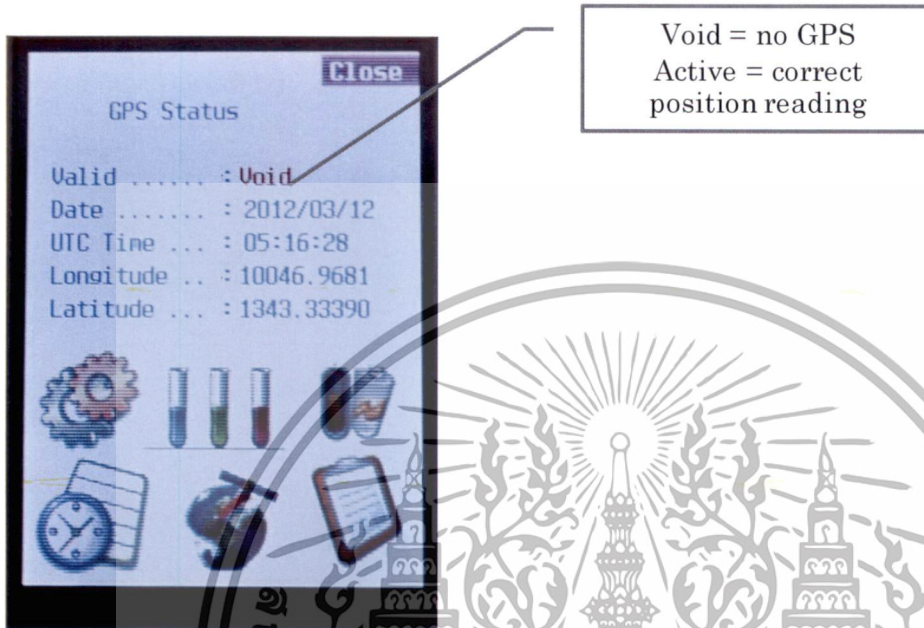
E-nose ID

Press to "Continue"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

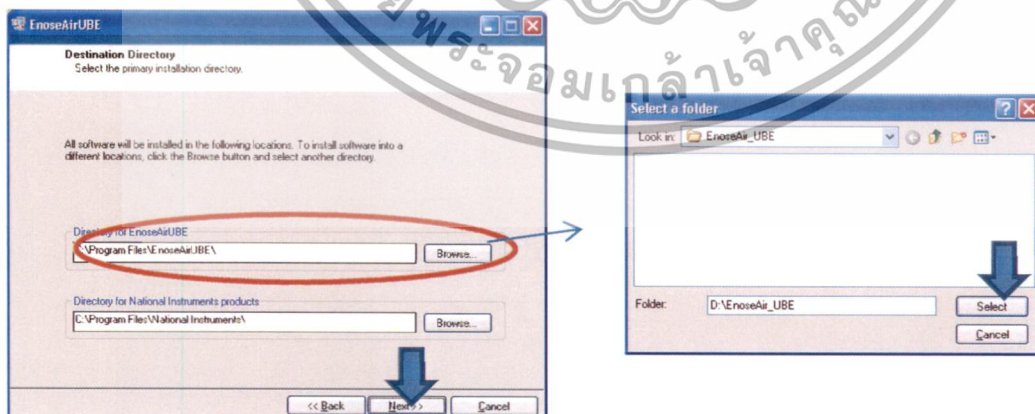
การตรวจสอบสถานะ GPS (GPS check)

เมื่อระบบ GPS พบดาวเทียมจะเริ่มแสดงวันที่และเวลา (UTC) ที่ถูกต้อง และถ้าสถานะการอ่านตำแหน่งถูกต้องจะแสดงเป็น “Active” ซึ่งในสถานะนี้จะเห็นไฟ LED กระพริบตรงบริเวณชั้นต่อสายอากาศ แต่ถ้าเป็น “Void” ไฟจะไม่กระพริบ



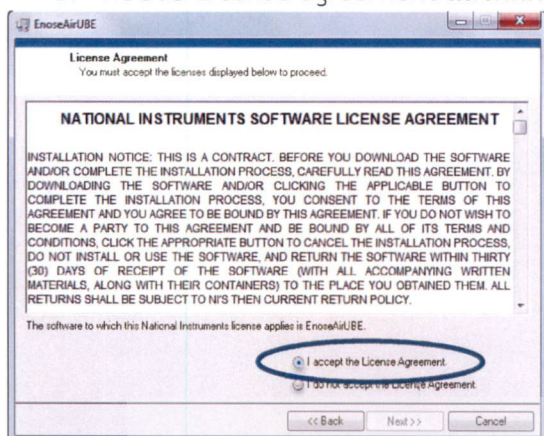
การติดตั้งโปรแกรม EnoseAir

1. run ไฟล์ setup.exe
2. เลือก directory สำหรับติดตั้งโปรแกรม เสร็จแล้วกด “Next”

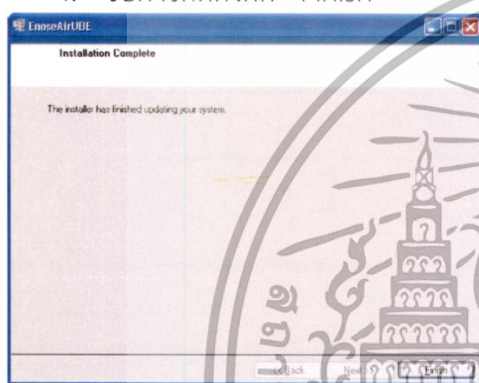


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตอรับ License agreement แล้วติดตั้ง



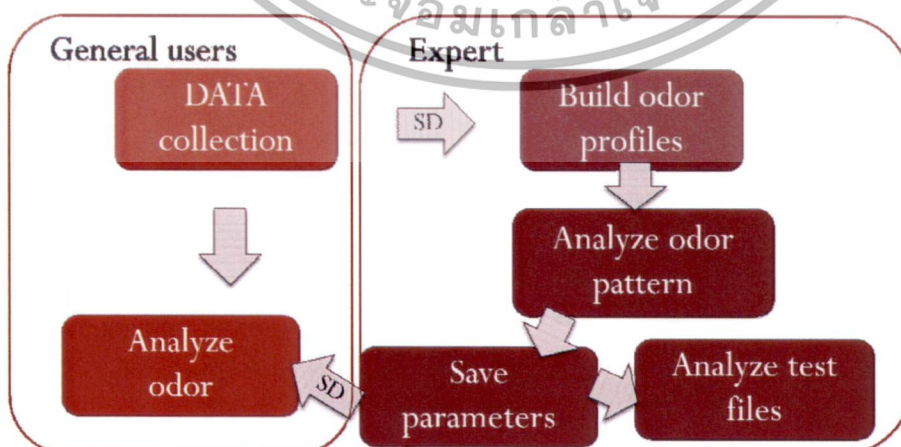
4. จบการติดตั้งกด "Finish"



5. Restart computer

การใช้งานเครื่อง E-nose Air Monitor portable

การใช้งานถูกออกแบบให้ใช้งานได้ทั้งแบบง่ายสำหรับ Basic หรือ General Users และแบบที่ให้ข้อมูลการวิเคราะห์ได้มากกว่า สำหรับ Expert Users



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานสำหรับ Basic Users

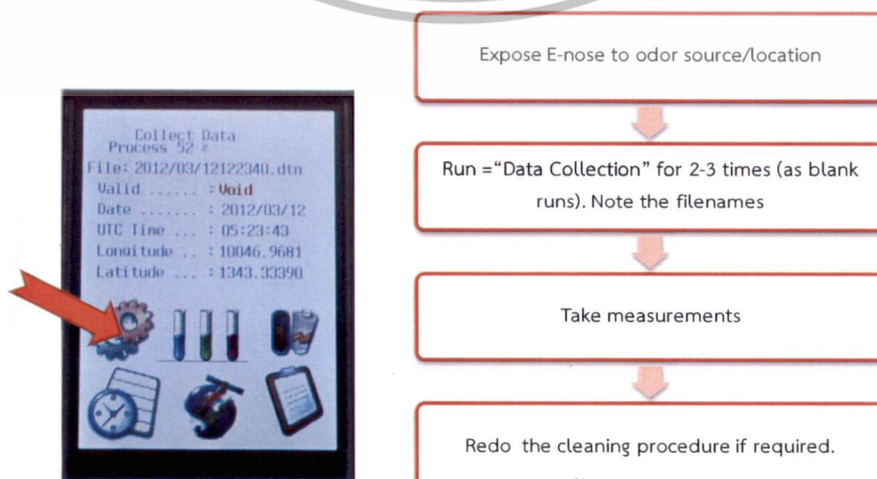
การวัดโดย Basic Users จะทำได้ใน ลักษณะ 2

1. การเก็บข้อมูลกลิ่นตามแบบแผนที่กำหนดโดย Expert Users เพื่อส่งให้วิเคราะห์ภายหลัง โดยควรจะเก็บข้อมูลตามแบบแผนและบันทึกใน Log sheet (ตัวอย่าง)

DATE	TIME	Location (name)	Number of collected files	Notes on odor characteristic
12/2/12	09:55	Ban-Lang	5	Normal

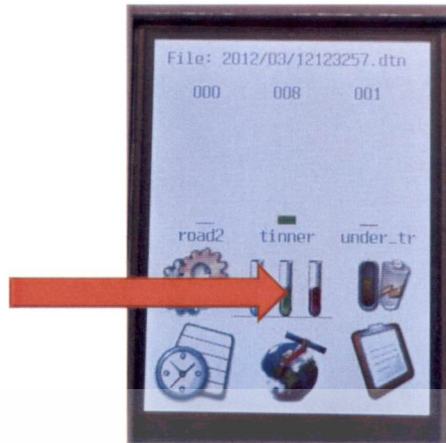
เมื่อการเก็บตัวอย่างเสร็จสิ้น

และมีการ Cleaning ระหว่างเปลี่ยนตัวอย่างโดยใช้การเก็บข้อมูลผ่านไปก่อน ครั้งเมื่อเริ่มตัวอย่าง 2-1 ใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์กลิ่น



หลังจากเก็บตัวอย่างแล้ว สามารถทำการวิเคราะห์กลิ่นเทียบกับ pattern ที่เก็บไว้ใน SD card (ไฟล์ enose.pcn) ซึ่งจะแสดงผลเป็นกราฟแท่งและบอกเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ตัวเลขนี้เป็นเชิงคุณภาพไม่ สามารถเทียบไปเป็นค่ามาตรฐานเช่นppb ได้โดยตรงเทียบกับกลิ่นที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล ควรเก็บ (ไฟล์เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 3-ตัวอย่างอย่างน้อย 2

ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในการวิเคราะห์กลิ่นคือ

- ไม่ได้เก็บไฟล์ข้อมูลก่อน

ไม่มีไฟล์ฐานข้อมูล enose.pcn



3. การเก็บข้อมูลกลิ่นแบบตั้งเวลา Auto-sampling Mode

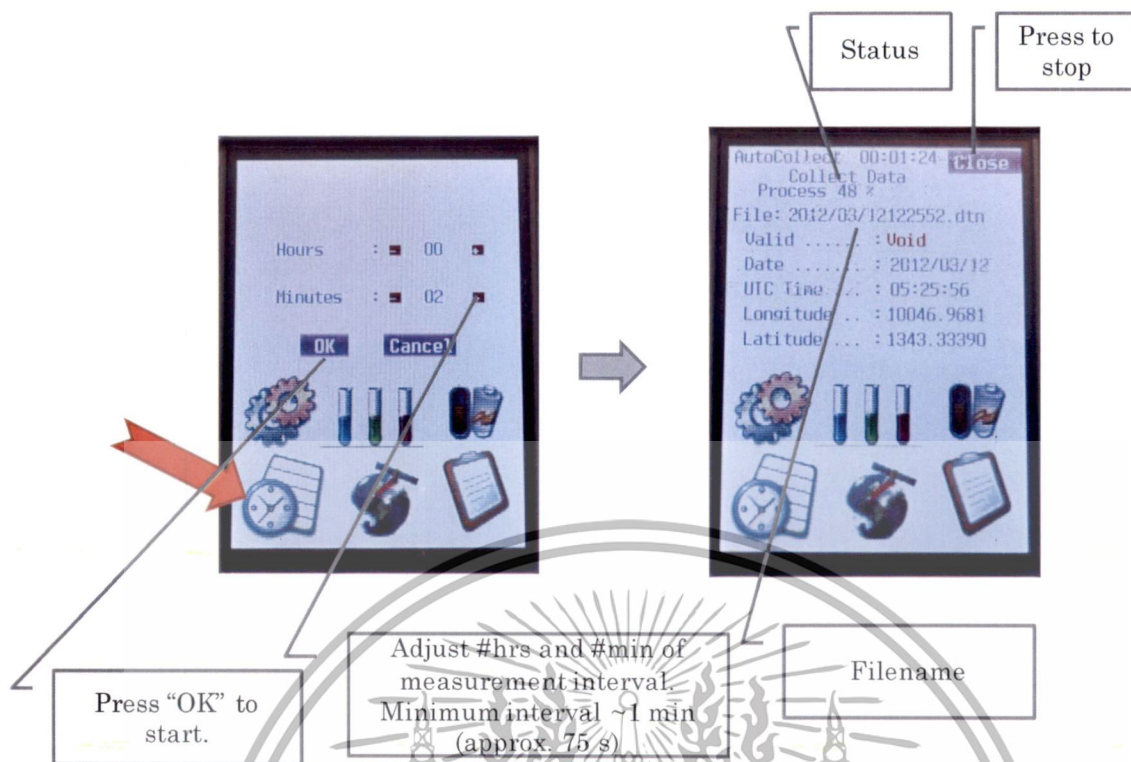
เครื่องสามารถตั้งเวลาให้เก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ ตั้งแต่ทุกๆ ประมาณ นาทีขึ้นไป (เวลารวมต่ำสุดต่อ 1 90-การเก็บกลิ่น 1 ครั้งประมาณ 75 วินาทีโดยจะมีกระบวนการเก็บกลิ่นเหมือนกับโหมดการเก็บ 1 ครั้ง (

เลือกเวลาได้โดยการกดปุ่ม - หรือ + เพื่อเลื่อนค่าขึ้นลง แล้วกด "OKเพื่อเริ่มเก็บข้อมูล "

เมื่อต้องการหยุดให้กด "Close เครื่องจะทำงานต่อจนจบ " 100% แล้วจึงหยุด

การเก็บข้อมูลต่อเนื่องจะทำได้สูงสุดประมาณ 1000ไฟล์ ตามข้อจำกัดของ 1000Folder ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

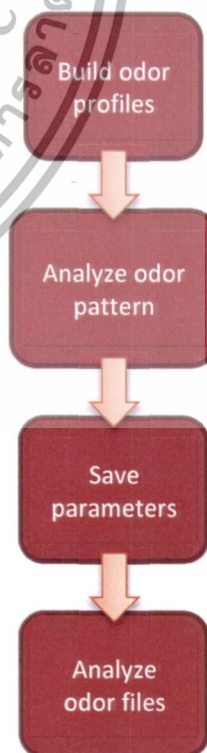
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การใช้งานสำหรับ Expert

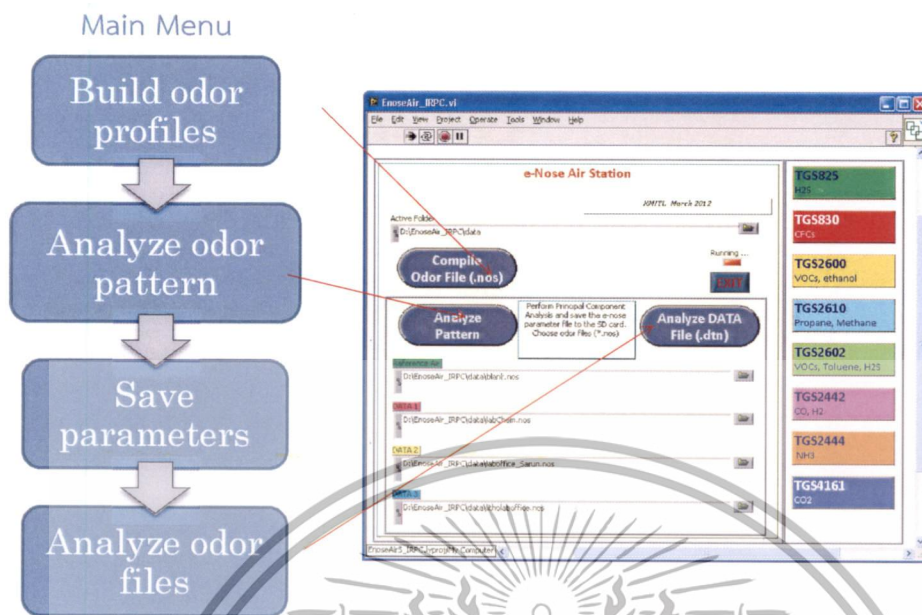
Expert สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลกลิ่นได้โดยใช้โปรแกรม Enose Air บนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจะมีขั้นตอนคือ

1. เลือกไฟล์ข้อมูลเพื่อสร้าง Odor profile
2. ทำการวิเคราะห์หา pattern โดยเลือก
3. เมื่อข้อมูลให้ pattern ที่ดี save เป็นฐานข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ลงใน SD card
4. ตรวจสอบไฟล์ข้อมูลอื่นๆที่เก็บมา (ถ้าต้องการ)

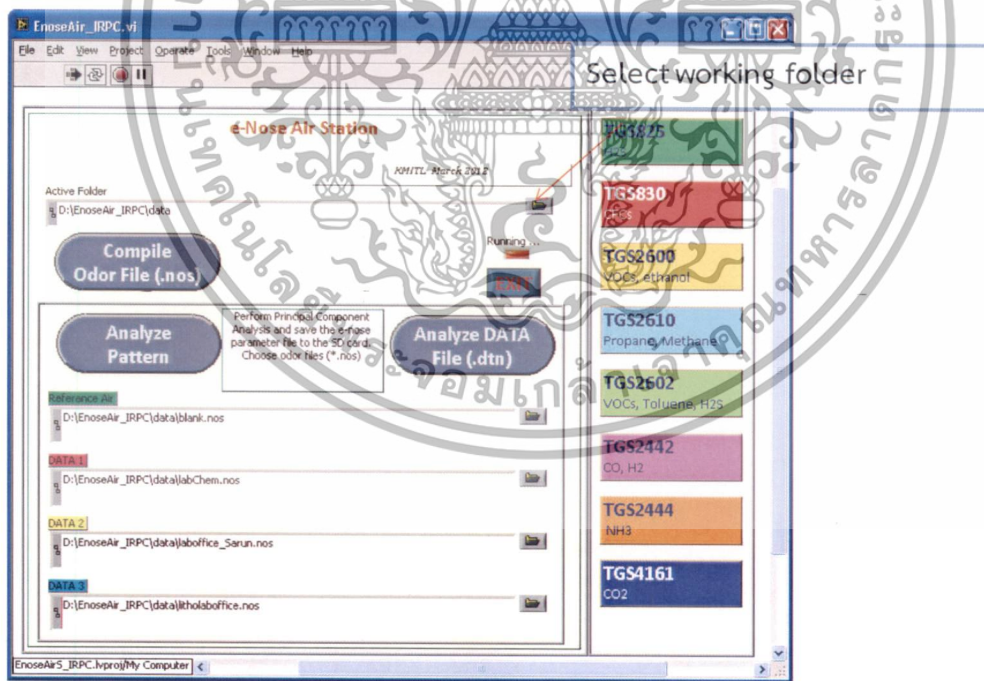


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม EnoseAir: Data Processing and Analysis



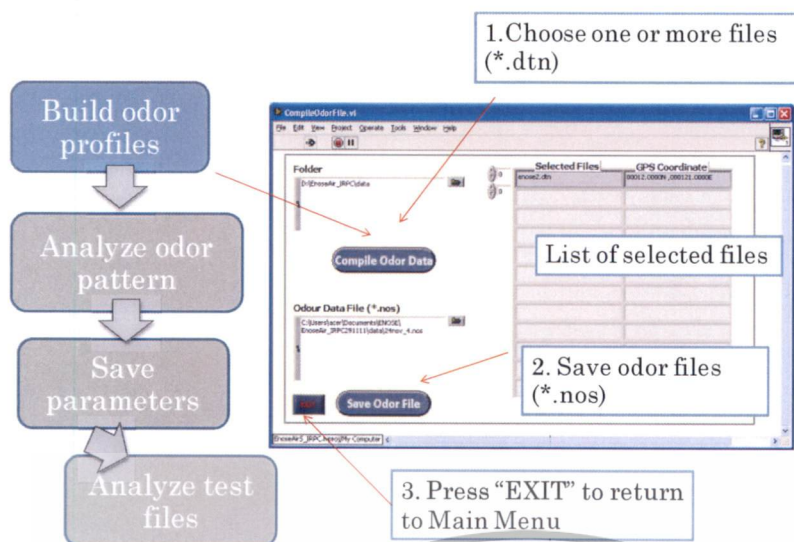
เลือก folder)data folder) หลักสำหรับใช้ทำงานโปรแกรมและการวิเคราะห์ข้อมูล



การเลือกไฟล์ข้อมูลเพื่อสร้าง Odor profile

ไฟล์ข้อมูลกลิ่นจะเก็บไว้เป็นไฟล์นามสกุล “.dtn ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. ทำการเลือกไฟล์โดยกด "Compile odor data" แล้วเลือกไฟล์ข้อมูลที่ต้องการรวมเป็น odor profile เดียวกัน
2. เลือก Folder และ ไฟล์ที่ต้องการเก็บ odor profile นี้ แล้วกด "Save odor file" (นามสกุลไฟล์จะถูกตั้งให้เป็น ".nos")
3. ออกจากหน้านี้ ถ้าไม่ต้องการทำ odor-profile อื่นต่อ โดยการกด ("Exit")

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หา pattern (Principal Component Analysis – PCA)

เลือกไฟล์ที่ต้องการวิเคราะห์ดังนี้

กลิ่น Reference หรืออากาศสะอาด

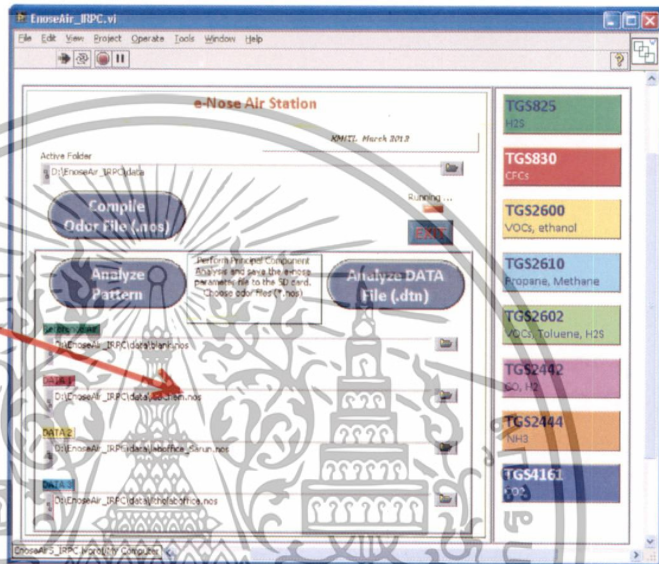
Odor profile ที่ 1

Odor profile ที่ 2

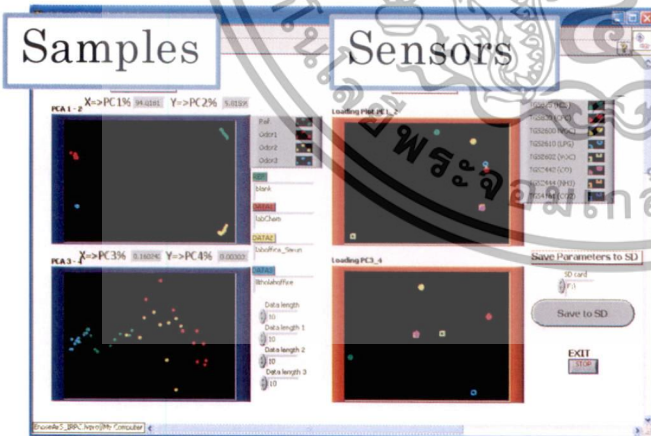
Odor profile ที่ 3

ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์ไฟล์น้อยกว่า สามารถเลือกชื่อไฟล์ให้ซ้ำกันได้ ไฟล์ 4

1. Select files (*.nos)



จากนั้นกด “Analyze Pattern” เพื่อทำการวิเคราะห์

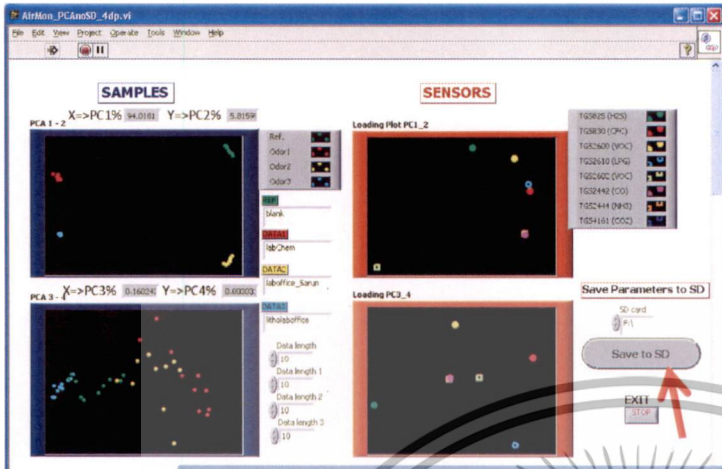


หน้าจอกการวิเคราะห์จะแสดงเป็น ส่วน คือ 2

- 1) Pattern การกระจายตัวสำหรับตัวอย่างทางด้านซ้าย โดยแสดงตามสีดังนี้ กลิ่น Reference (เขียว) Odor profile ที่ 1 (แดง) 1 Odor profile ที่ 2 (เหลือง) 2 Odor profile ที่ 3 (ฟ้า) 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Pattern การกระจายตัวสำหรับชนิดเซ็นเซอร์ โดยมีสีแสดงตามลำดับดังแสดงไว้เมื่อได้ pattern ดีแล้ว ให้บันทึกเป็นฐานข้อมูลลงใน SD Card เพื่อนำไปใช้ทดสอบ



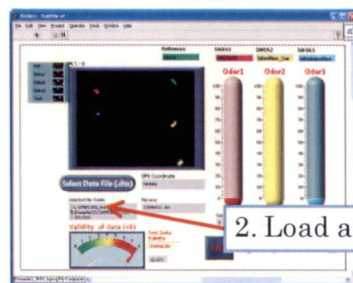
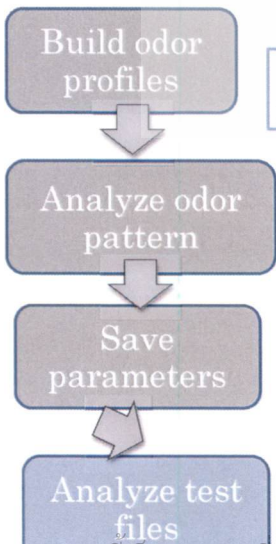
2. Select drive and save to SD card (default name enose.pcn)

การตรวจสอบไฟล์ข้อมูลอื่นๆที่เก็บมา จะทำได้หลังจากทำการวิเคราะห์ pattern แล้ว

1. กด “Analyze DATA” หน้าจอส่วนการวิเคราะห์จะขึ้นมา
2. กด “Select Data File (.dtn)” แล้วเลือกไฟล์กลิ่นที่ต้องการทดสอบ ไฟล์ 1
3. ผลแสดงเป็นกราฟแท่งและเปอร์เซ็นต์เทียบเคียงความเข้มข้นกับกลิ่นที่เป็นฐานข้อมูล
4. ผลที่แสดงจะมีการตรวจสอบว่าอยู่ในฐานข้อมูลเดิมหรือไม่ หรือเป็นกลิ่นใหม่ เมื่อ Validity of Test Data น้อยในช่วงเกิน ขึ้นไป 6 และแสดงสถานะเป็น “Invalid”
5. ออกจากหน้านี้โดยกด “EXIT”



1. After analyzing pattern



3. Results

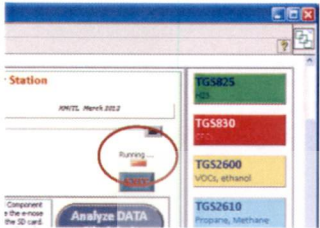
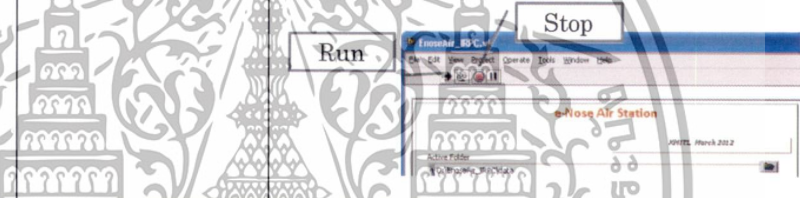
2. Load a test file (.dtn)

4. Data validity

5. Exit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นสำหรับโปรแกรม

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
เมนูหลักไม่ตอบสนอง แสดงสถานะแสดงเป็นสีส้ม	มีการทำงานหน้าจออื่นอยู่ให้	ปิดการทำงานหน้านั้น
		
ผู้ใช้ “Cancel” การเลือกไฟล์ข้อมูลกลิ่นหรือ odor file	มีข้อความ error	กด “continue”
โปรแกรมไม่ตอบสนอง	Error ของระบบ	กดปุ่ม Stop สีแดงแล้วกด Run
		

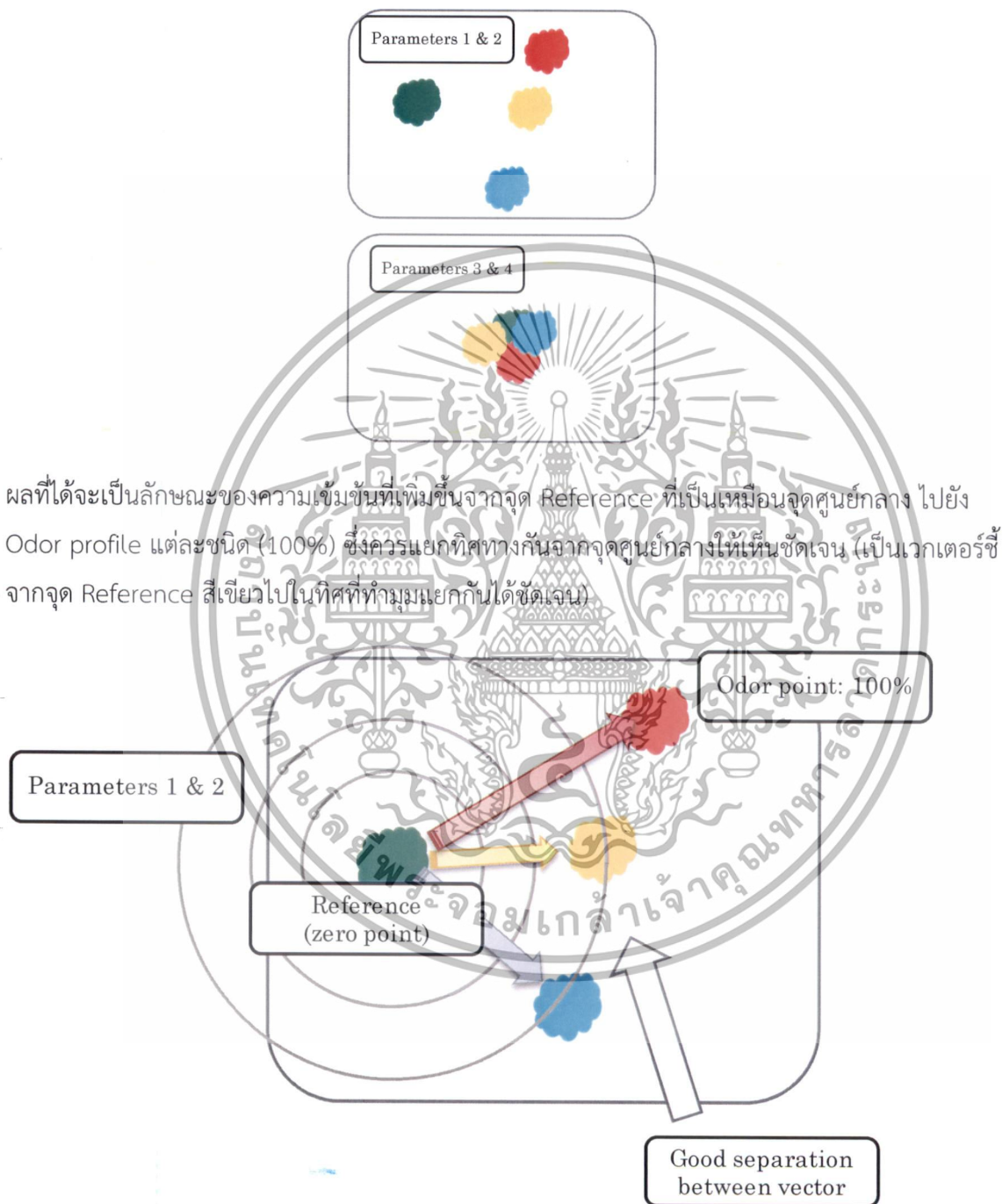
ข้อแนะนำในการเก็บข้อมูลเพื่อทำฐานข้อมูล

1. ควรทำการเก็บข้อมูลโดยตั้งทิ้งให้เครื่องวัดกลิ่นเป็นช่วงเวลานาน หรือ เก็บมาหลายๆช่วงเวลา (เช้า กลางวัน เย็น กลางคืน)
2. ควรเก็บกลิ่นบรรยากาศที่ ในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิด เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับเป็น “แรง” Odor profile ในฐานข้อมูล
3. ควรเก็บ “Reference” หรืออากาศสะอาดในช่วงวันเวลาเดียวกันทุกครั้งที่เก็บกลิ่น เพื่อนำมาใช้เป็น “Reference” ในการวิเคราะห์และสร้าง pattern
4. ถ้ามีการวัดโดยการเปลี่ยนกลิ่นหรือเปลี่ยนสถานที่ตรวจวัด ควรทำการ clean กลิ่นเก่าออกจากตัวเครื่องด้วยการเก็บข้อมูลผ่านไป ครั้งเมื่อเริ่ม 2-1 ต้นวัดกลิ่นตัวอย่างใหม่
5. การเก็บตัวอย่างโดยการใส่สารเคมีหรือวัสดุที่ส่งกลิ่นโดยให้เครื่องดมบริเวณจุด Inlet สามารถทำได้ แต่ผลการวิเคราะห์อาจจะไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ในสภาพพื้นหลังต่างกัน (Background environment) ถ้าต้องการวัดด้วยวิธีนี้ควรนำตัวอย่างไปเก็บข้อมูลตรวจวัดในสภาพแวดล้อมที่ต้องการใช้งานจริง
6. ความถูกต้องแม่นยำในการตรวจวัดขึ้นอยู่กับคุณภาพของ Odor pattern ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแนะนำในการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อสร้าง Odor Pattern

Odor pattern ที่ดีจะมีการเกาะกลุ่มของแต่ละกลิ่นชัดเจนในส่วนของกราฟแกนสำคัญที่ 1 และ 2 (บนซ้าย) ในหน้าจอรวิเคราะห์ ส่วนในแกนสำคัญที่ 3 และ 4 (ล่างซ้าย) ควรจะกระจุกเป็นวงกลมเพื่อแสดงว่าข้อมูลกลิ่นส่วนใหญ่อยู่ในแกนสำคัญที่ 1 และ 2 แล้ว

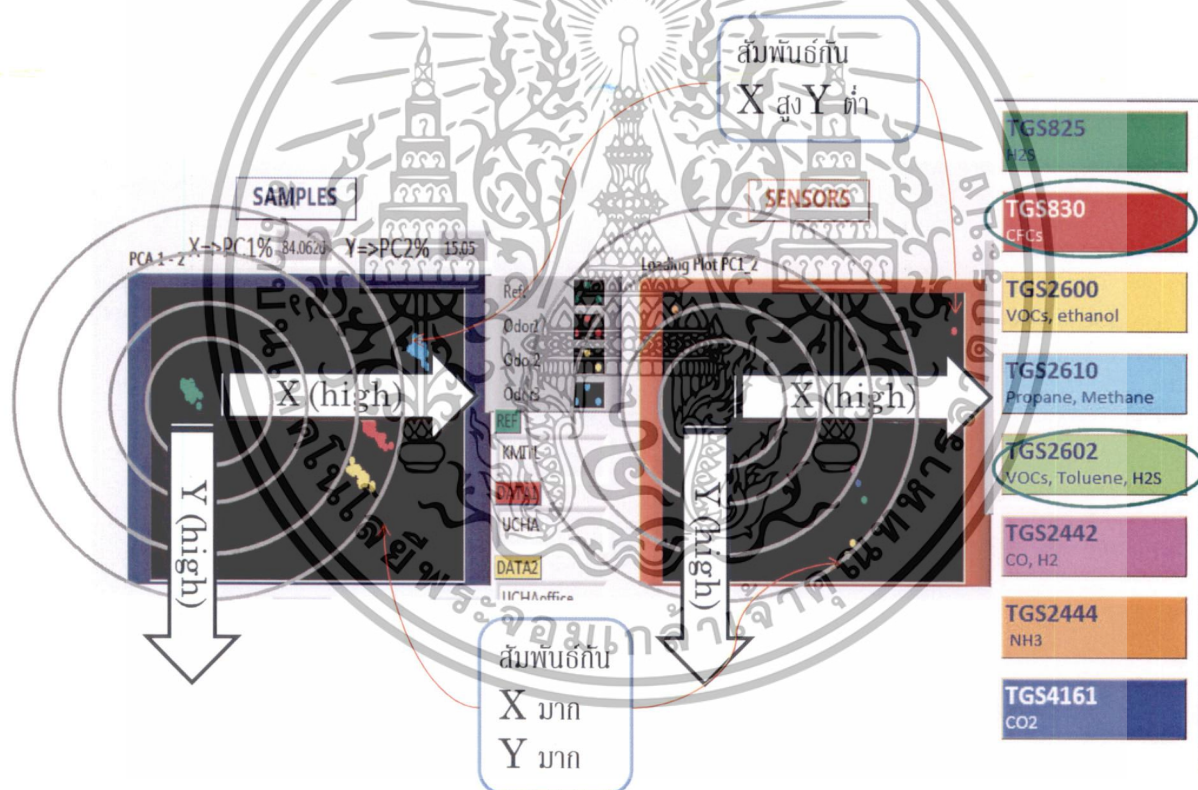


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ข้อมูลทางเคมีเบื้องต้น

Pattern การกระจายตัวสำหรับตัวอย่างทางด้านซ้าย จะมีความสัมพันธ์ในเชิงทิศทางแกนกับ Pattern การกระจายตัวสำหรับชนิดเซ็นเซอร์ทางด้านขวา การวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้นสามารถทำได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์เริ่มจากจุดจุด "Reference" ซึ่งจะเป็นจุดศูนย์กลางที่เทียบได้กับความเข้มข้นศูนย์ หรือ ทางฝั่งเซ็นเซอร์จะเป็นจุดที่สัญญาณตอบสนองเป็นศูนย์ (Background)
2. หาทิศทางที่กลืนตัวอย่างเข้มข้นมากในแนวแกน x และ y เช่น ตัวอย่างกลืนที่) 3สีฟ้าห่างจากสี (+ เขียวไปทางแกนx ส่วนตัวอย่างกลืนที่) 3สีเหลือง- จะค่อนข้างมาทางด้าน (y
3. หาตัวเซ็นเซอร์ที่สัมพันธ์กับทิศทางนี้ จะได้ว่า ทาง +x มีเซ็นเซอร์สีแดง คือ TGS830 สำหรับ CFC หรือ สารประกอบที่มี chlorine มาก ส่วนทางด้าน - จะมีเซ็นเซอร์ที่เหลืองเกือบทุกตัวตอบสนองอยู่ซึ่งส่วนมาก เป็นประเภทสารระเหยและน้ำมัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์แบบ Big Picture

การวิเคราะห์หาตัวอย่างที่ละ ตัวอย่างโดยจัดกลุ่มกันอาจทำได้ไม่ไวนัก ในบางครั้งการวิเคราะห์ 4 – 3 ภาพรวมของตัวอย่างที่เก็บมาทั้งช่วงวันหรือช่วงสัปดาห์ก่อนจะให้ผลที่รวดเร็วกว่าที่จะช่วยในการเลือก โดยมีขั้นตอนดังนี้ ข้อมูลที่จะทำเป็นฐานข้อมูล

1. สร้าง Odor profile ซึ่งรวมไฟล์ข้อมูลกลิ่นทุกไฟล์ที่เก็บมารวมทั้งไฟล์สำหรับอากาศสะอาดเข้ามาด้วยกัน
2. เลือก Odor profile เดียวกันใน Main Menu
3. ทำการ Analyze Pattern
4. เลือกไปที่ Analyze DATA file แล้วเลือกไฟล์ “.dtn” เพื่อหาตำแหน่งบนแผนที่ของ pattern ที่วิเคราะห์มาได้ ซึ่งสามารถเชื่อมโยงไปกับข้อมูลทางเคมีเบื้องต้นได้อีกด้วย

Build one large odor file
Select multiple files (e.g. all-day data, all odor to be analyzed)

Select the same odor file in all four odor selectors

“Analyze pattern”

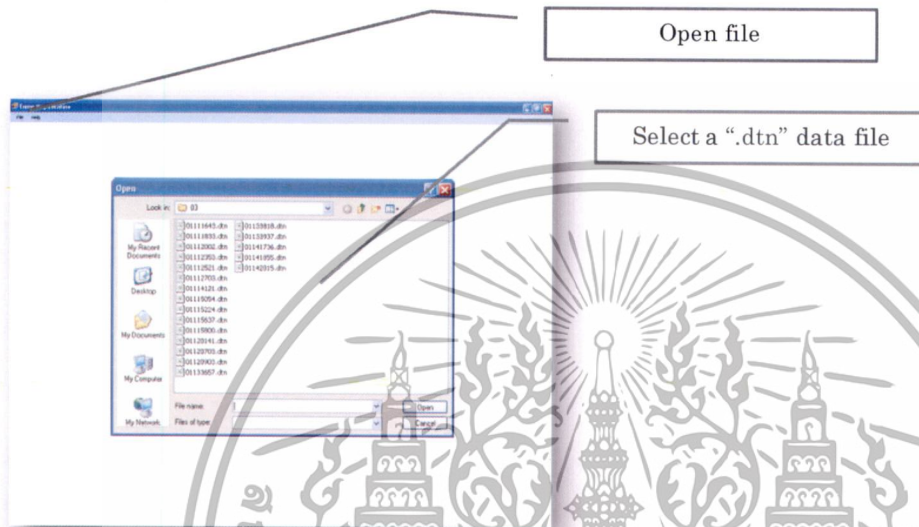
“Analyze DATA file” (select a “.dtn” file required to see its position on the odor pattern)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

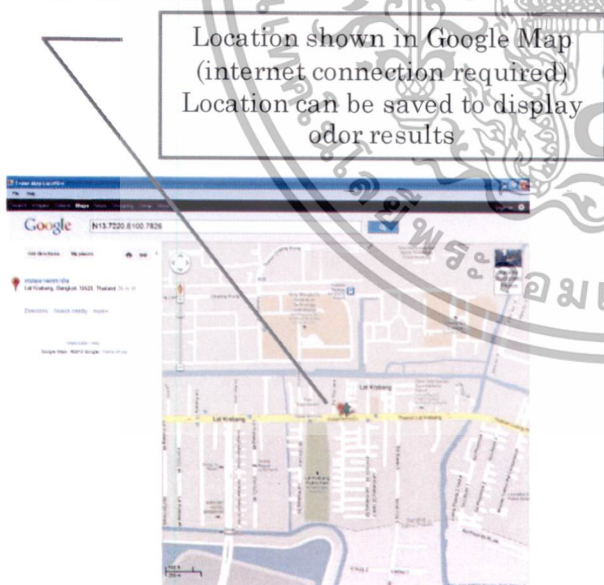
โปรแกรมการสร้างแผนที่กลิ่น

โปรแกรม EnoseMap ได้รวมไว้เพื่อความสะดวกในการสร้างแผนที่ โดยสามารถ Run ได้โดยไม่ต้องติดตั้ง อาจจะเป็นต้องติดตั้ง).NET Framework 4.0 สำหรับ OS รุ่นเก่า โปรแกรมจะนำตำแหน่ง (GPS มาแสดงบนแผนที่ผ่าน Google ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลใน ผ่านบัญชี "แผนที่ของฉัน" email ของ Google โดยมีขั้นตอนคือ

1. เลือกไฟล์ ".dtn"



2. แสดงบนแผนที่

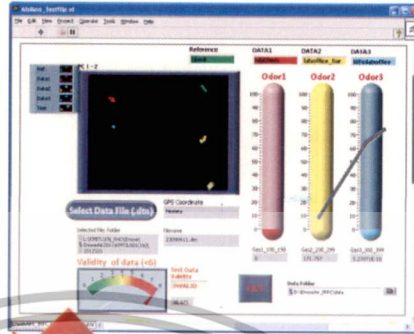
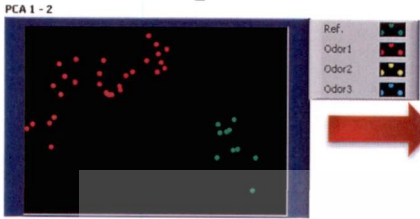


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สามารถทำการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นเทียบกับฐานข้อมูลเพื่อเทียบเป็นรหัสสีต่างๆ และแสดงบนแผนที่

Analyze file

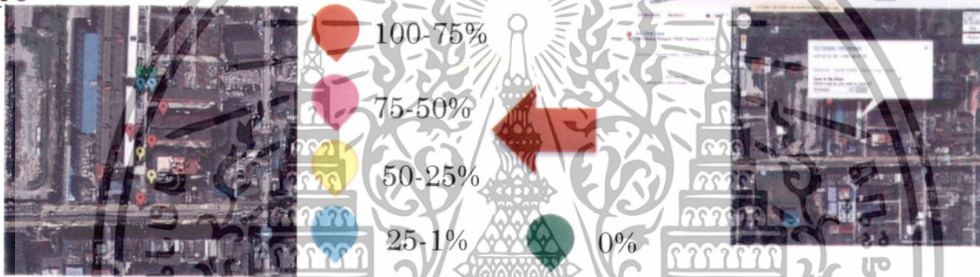
Make odor pattern



Take the percentage value for mapping

Create a Google Map. Add color according to % or odor type

Find location



โปรแกรมการสร้างกราฟระดับสัญญาณเซ็นเซอร์เทียบกับเวลา

โปรแกรมนี้สามารถนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาไปสร้างกราฟแสดงระดับสัญญาณของก๊าซเซ็นเซอร์ 7 ชนิดที่อยู่ในเครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ที่เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล(ภาษาไทย) นายอนรรักษ์ สีดา
 ชื่อ-นามสกุล(ภาษาอังกฤษ) Anooruk Seeda
 ที่อยู่ 78 ม. 2 ต.บางบุตร อ.บ้านค่าย จ.ระยอง 21120

ประวัติการศึกษา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง โรงเรียนเทคโนโลยีที่พีไอ สาขาเทคนิค
 คอมพิวเตอร์จบการศึกษาปี พ.ศ. 2548

ปริญญาตรี ครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรม
 อิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (เกียรตินิยมอันดับ1)
 จบการศึกษาปี พ.ศ. 2551

ปริญญาโท วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 ลาดกระบัง สาขานาโนวิทยาและนาโน
 เทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
 คุณทหารลาดกระบังจบการศึกษาปี พ.ศ. 2558

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

Anooruk Seeda, Koson Trachu , Sirapat Pratontep “ Monitoring of Volatile Organic Compound Diffusion in One Dimension with Electronic Nose Array ” SPC (2013)

Anooruk Seeda, Sujin Wangsuya, Koson Trachu ,Sirapat Pratontep “On Transferring Chemical Vapour Database between Different Electronics Noses for Volatile Organic Compound” SPC (2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้