



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าค้นหาสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม

โดย พศ. ดร. อีรเกียรติ์ เกิดเจริญ

31 สิงหาคม 2562

สัญญาเลขที่ RGU6180006

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าก้นสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม

ผศ. ดร. วีรเกียรติ์ เกิดเจริญ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Abstract

Project Code : RGU6180006

Project Title : Briefcase Electronic Nose for Environmental Smell Monitoring

Investigator : Asst. Prof. Dr. Teerakiat Kerdcharoen, Mahidol University

E-mail Address : teerakiat@yahoo.com

Project Period : 12 months

This project is aimed to develop technology that can detect nuisance smell for applications in environmental monitoring. A form factor of “briefcase” electronic nose was proposed due to its ease of construction, portability and low cost which is affordable for most factories. During the past 12 months, our objectives have been completely fulfilled, including the design of the briefcase electronic nose, user interface of the software and other system requirements which are practical for field experiment. A Minimal Viable Products (MVP) was also made, using both industrial gas sensors and our own-developed hybrid gas sensors. The gas sensors were carefully designated taken into account the target gases, customer’s requirements, cost of the instrument, maintenance and previous research recommendation, etc.

The performance of the our prototype was tested by our partner, Electronic Nose Company Limited, to solve real problems from various industrial customers, namely, (1) Detection of the nuisance smell from the factories in Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong, (2) Detection of the nuisance smell from the separation and recycle plant, Samut Sakhon, (3) Efficacy testing of the deodorizers for the recycle plant, Rayong, and (4) Detection of the nuisance smell from the power plant, Nonthaburi. These projects are totally worth 1,720,000 Baht. Therefore, it was demonstrated that this research is very useful and respond to the need of the environmental market.

Keywords : Electronic Nose, Nuisance smell, Industrial estate, Artificial Intelligence, Smell detection.

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RGU6180006

ชื่อโครงการ : จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคือสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม

ชื่อนักวิจัย : ผศ. ดร. ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail Address : teerakiat@yahoo.com

ระยะเวลาโครงการ : 12 เดือน

โครงการ “จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคือสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม” มีเป้าหมายที่จะวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้เทคโนโลยีตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ในรูปแบบของกระเป๋าคือที่สามารถพกพาไปใช้ตรวจวัด วิเคราะห์ เพื่อแก้ปัญหากลิ่น ณ จุดที่มีปัญหาได้อย่างสะดวก ในราคาที่โรงงานต่างๆ สามารถเข้าถึงได้ (Affordable) ทั้งนี้ ในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา ได้ดำเนินการตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ครบถ้วน โดยได้มีการออกแบบระบบตรวจวัดกลิ่น สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่ รูปแบบ รูปลักษณ์ ของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ หน้าตาของ User Interface ของโปรแกรมที่ผู้ใช้งานต้องการให้เป็น และ System Requirements ต่างๆ ที่เหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม (Field Optimization) เช่น น้ำหนัก ระบบพลังงาน ความยากง่ายในการใช้งานกลางแจ้ง เป็นต้น มีการ Sourcing วัสดุ และเซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นที่เหมาะสม เพื่อนำมาสร้างเป็นต้นแบบ Minimal Viable Products (MVP) โดยชุดของเซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นจะมาจาก Industrial Gas Sensors และ Hybrid Gas Sensors ที่คณะวิจัยได้พัฒนาขึ้น ซึ่งจะมีการเลือกชุดเซนเซอร์ที่เหมาะสม โดยคำนึงถึง ลูกค้าย่อยเป้าหมาย ต้นทุนด้านราคา การบำรุงรักษา และผลงานวิจัยในอดีต เป็นต้น จนได้ทำการผลิตทำการผลิตต้นแบบ Minimal Viable Products (MVP) เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคือสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ทำ Casing แบบใหม่ ให้ดูสวยงาม

และเพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งาน จึงได้นำต้นแบบ MVP ออกไปใช้ทดสอบการใช้งานตามความต้องการของภาคเอกชน ได้แก่ การตรวจวัดกลิ่นรบกวนจากโรงงานอุตสาหกรรมรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ.ระยอง การตรวจวัดกลิ่นจากโรงงานแยกขยะ และโรงงานรีไซเคิลขยะ ที่ จ.สมุทรสาคร การทดสอบประสิทธิภาพของน้ำยาดับกลิ่นขยะ จ.ระยอง การตรวจวัดกลิ่นรบกวนจากโรงไฟฟ้า จ.นนทบุรี รวมมูลค่าโครงการทั้งหมด 1,720,000 บาท ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ผลงานวิจัยจากโครงการนี้ สามารถทำประโยชน์และตอบสนองต่อความต้องการของตลาดด้านสิ่งแวดล้อมได้

คำหลัก : จมูกอิเล็กทรอนิกส์, กลิ่นรบกวน, โรงงานอุตสาหกรรม, ปัญญาประดิษฐ์, ตรวจวัดกลิ่น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากการสนับสนุนงบประมาณจาก ทุนวิจัยเพื่อต่อยอดองค์ความรู้สู่การใช้ประโยชน์ ฝ่ายวิชาการ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย นอกจากนี้ คณะวิจัยยังได้รับความสนับสนุนการทำงานจาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โรงแยกก๊าซธรรมชาติระยอง บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) โรงแยกขยะ บริษัท สมุทรสาคร เนเชอรัล คลีนเอนเนอร์จี จำกัด บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ซึ่งให้ความร่วมมือในการค้นคว้าเพื่อเขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ตลอดจนทั้งท่านผู้บริหารโรงงาน คณะกรรมการชุมชน และเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในโรงงานดังกล่าวทุกท่าน

คณะวิจัยขอขอบพระคุณชาวบ้านชุมชนพิบูลย์สงคราม 1 จังหวัดนนทบุรี ชุมชนมาบตาพุด จังหวัดระยอง ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ และอนุเคราะห์พื้นที่ และข้อมูลที่ใช้ในการทดลองการตรวจวัดกลิ่นในตลอดการวิจัยนี้

สารบัญ

	หน้า
Abstract	ก
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 หลักการและเหตุผล	2
1.3 ทบทวนเอกสารเชิงสังเคราะห์	4
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	11
1.5 ขอบเขตในการดำเนินการวิจัย	11
2. วิธีดำเนินการโครงการวิจัย	13
2.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	13
2.2 แผนภาพขั้นตอนการทำงานวิจัย	14
3. ผลการวิจัย และการวิเคราะห์ผลการวิจัย	17
3.1 การดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์	17
3.2 ผลงานวิจัยที่ได้รับ	18
3.3 ผลงานจากโครงการ / การนำผลจากโครงการวิจัยไปใช้ประโยชน์	24
3.4 กิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	31
3.5 แผนการตลาด (Business Model)	33
3.6 กลยุทธ์และแผนการออกสู่ตลาด	36
4. ผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อสิ้นสุดการวิจัย	38
4.1 ผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อสิ้นสุดการวิจัย	38
4.2 กระบวนการผลักดันผลงานออกสู่การใช้ประโยชน์	39
4.3 ขนาดและแนวโน้มของตลาด	39
4.4 คู่แข่งในตลาดในปัจจุบัน	40
4.5 การวิเคราะห์โอกาสทางธุรกิจ SWOT Analysis	41
เอกสารอ้างอิง	43
ประวัติผู้วิจัย	47
ภาคผนวก	67

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันปัญหาเรื่อง “กลิ่นรบกวน” ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตภายในเขตอุตสาหกรรมหรือเขตเกษตรอุตสาหกรรมภายในประเทศไทยนั้น ยังไม่มีข้อกำหนดทางกฎหมาย หรือค่ามาตรฐานสำหรับการควบคุม การปลดปล่อย “กลิ่นเหม็น” จากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ โดยตรง มีเพียงกฎหมายและระเบียบที่เกี่ยวข้องในด้านมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งสารมลพิษจากแหล่งกำเนิด และกฎเกณฑ์ในการควบคุมสิ่งที่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ ดังนี้

- 1) พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535
- 2) พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535
- 3) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 4 (ลงวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2514)
- 4) พระราชบัญญัติสาธารณสุข พ.ศ.2535
- 5) พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541



รูปที่ 1-1 ปัญหามลภาวะทางกลิ่นจากโรงงานอุตสาหกรรม

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้ประกอบการไม่เคร่งครัดในการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศเรื่องกลิ่นรบกวนอย่างจริงจัง ซึ่งผู้ประกอบการจะลงมือแก้ไขปัญหาเมื่อมีการร้องเรียนจากชุมชนใกล้เคียงไปยังกรมควบคุมมลพิษหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เมื่อผู้ประกอบการได้รับการแจ้งเตือนจากหน่วยงานรัฐก็จะทำการแก้ไขปัญหาแบบพอควรแก่เหตุ ไม่มีการแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืน ทำให้แต่ละปีอัตราการร้องเรียนปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนเพิ่มขึ้นทุกปี โดยมีจำนวนการร้องเรียนเฉลี่ยที่ 500

ครั้งต่อปี เทคโนโลยีที่นำเข้ามาตรวจวัดปัญหาเรื่องกลิ่นในปัจจุบัน คือ การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศ (VOCs) ซึ่งผลจากการทดสอบด้วยเครื่องมือดังกล่าวก็ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์กับปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนได้โดยตรง ทำให้ผู้ประกอบการไม่สามารถแก้ไขปัญหาเรื่องกลิ่นได้อย่างถาวร และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง

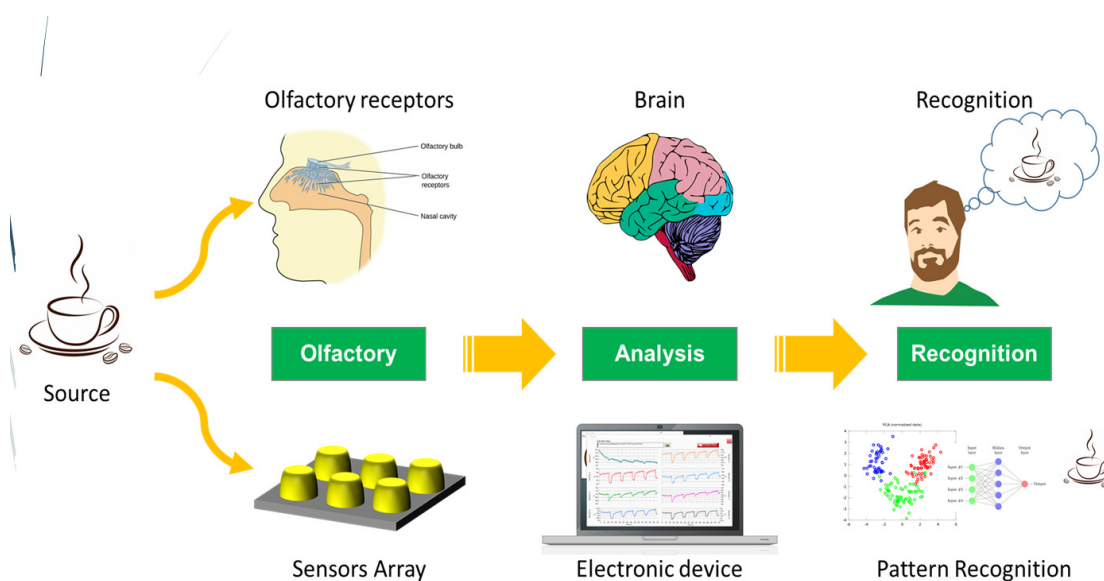
จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษพบว่า ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีจำนวนโรงงานที่ถูกร้องเรียนเรื่องปัญหามลพิษด้านกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนข้างเคียงเป็นจำนวน 472 โรง เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2558 ที่มีการร้องเรียนเรื่องมลพิษกลิ่นเหม็นเพียง 303 โรง โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของการร้องเรียนปัญหากลิ่นเหม็นคิดเป็น 55.76% และจากสถิติของกรมโรงงานอุตสาหกรรมพบว่า ประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นทุกปีในอัตราปีละ 1.5 – 2% จากจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมทั้งประเทศที่สิ้นปี พ.ศ. 2558 จำนวน 139,821 โรง ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และการเติบโตทางเศรษฐกิจของคู่ค้าที่สำคัญของประเทศ ไทยที่เฉลี่ยปีละ 2.8 – 3.3% ด้วยตัวเลขดังกล่าวทำให้ มูลค่าตลาดของระบบตรวจวัดกลิ่นเหม็น เพื่อการประยุกต์ใช้ทางด้านสิ่งแวดล้อมคิดเป็นมูลค่าประมาณมากกว่า 2,400 ล้านบาทต่อปี แต่กลับไม่มีผู้ประกอบการใดที่สามารถดำเนินการด้านนี้ จึงเป็นโอกาสที่จะพัฒนาเทคโนโลยีนี้ขึ้นมาแก้ปัญหา ดังกล่าว

2. หลักการและเหตุผล

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดกลิ่นที่ประกอบด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซหรือโมเลกุลกลิ่น (Gas Sensor) จำนวนมากต่อกันเป็นอะเรย์ (Sensor Array) เซนเซอร์จะมีความต้านทานไฟฟ้าเปลี่ยนไป เมื่อมีอันตรกิริยากับไอระเหยโมเลกุล และเซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นแต่ละตัว ก็มีความไวต่อไอระเหยโมเลกุลแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน และสัญญาณจากเซนเซอร์กลิ่นแต่ละตัวจะถูกประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ เพื่อตรวจวัดหรือจำแนกกลิ่นออกมา ตามชนิดและความเข้มข้นของกลิ่น วงจรอิเล็กทรอนิกส์จะอ่านและขยายสัญญาณทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของเซนเซอร์ แล้วรวบรวมข้อมูลของชุดเซนเซอร์ พร้อมกับส่งต่อไปยังโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระดับความเข้มของกลิ่น และความคล้ายคลึงกันของกลิ่น รวมถึงการใช้โปรแกรมปัญญาประดิษฐ์ของระบบ จมูกอิเล็กทรอนิกส์ในการบอกระดับความเข้มข้นของกลิ่นเทียบกับมาตรฐานของผู้เชี่ยวชาญ ที่ผ่านการอบรมของกรมควบคุมมลพิษมาแล้ว ทำให้ระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถแก้ไขปัญหาเรื่องอคติของเจ้าหน้าที่ทดสอบกลิ่นที่ผู้ร้องเรียนมักจะมีข้อสงสัยอยู่เสมอได้ อีกหนึ่งข้อได้เปรียบที่สำคัญของระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับการตรวจวัดกลิ่นเหม็นรอบบริเวณเขตเกษตรอุตสาหกรรมคือ ระบบจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถพัฒนาให้ทำงานแบบออนไลน์ตลอดเวลาได้ เพื่อที่จะทำการเฝ้าระวังการแพร่กระจายของกลิ่นเหม็นและเข้าไปแก้ไขปัญหาที่สาเหตุของกลิ่นเหม็นนั้นได้ก่อนที่จะแพร่กระจายไปยังชุมชนใกล้เคียง

เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม สามารถที่จะออกแบบให้อยู่ในแพลตฟอร์มแตกต่างกัน เพื่อการประยุกต์ใช้ในหลากหลายรูปแบบ เช่น ทำเป็นรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวัดกลิ่นแบบกระเป๋าหิ้ว(แบบพกพา) เพื่อนำไปใช้งานตรวจวัดกลิ่นในสถานที่ต่างๆ ทำใน

รูปแบบของสถานีตรวจวัดกลิ่นแบบไร้สาย (Internet-of-thing Device) นำไปติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ (โดรน หรือ Flying Electronic Nose) ซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ในการทำงานเพื่อเฝ้าระวังหรือต้องการตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายของกลิ่นเหม็นจากแหล่งกำเนิดกลิ่น เนื่องจากเมื่อกลิ่นเหม็นลอยขึ้นจากแหล่งกำเนิดกลิ่น ก็จะถูกพัดให้แพร่กระจายไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของลม โดยมีปัจจัยการแพร่กระจายของกลิ่น ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางของลม อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ชนิดและลักษณะทางเคมีของกลิ่น เป็นต้น ทำให้ในแต่ละครั้งที่เกิดการร้องเรียนปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นจากชุมชนใกล้เคียงขึ้นการหาแหล่งกำเนิดของกลิ่นจึงเป็นไปได้ยาก ซึ่งการใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสามารถในการบอกระดับความเข้มข้นของกลิ่น ร่วมกับสถานีตรวจวัดอากาศ สามารถใช้ในการสร้างโมเดลการแพร่กระจายของกลิ่นเหม็น ที่บอกลักษณะและทิศทางการแพร่กระจาย ระยะทางที่กลิ่นเหม็นสามารถเคลื่อนที่ได้ในระดับความสูงต่างๆ รวมทั้งจุดกำเนิดของกลิ่นเหม็นนั้น โดยใช้การคำนวณร่วมกันของโปรแกรมจมูกอิเล็กทรอนิกส์ และระบบปัญญาประดิษฐ์ ผลของการวัดกลิ่นจะออกมาในรูปของโมเดลการแพร่กระจายของกลิ่นแบบ 3 มิติลงบนแผนที่จริงของสถานที่นั้น ทำให้ง่ายต่อการแปลผล รวมไปถึงนำผลการวัดกลิ่นไปใช้ในการบริหารจัดการเรื่องกลิ่นเหม็นต่อไป



รูปที่ 1-2 เปรียบเทียบการทำงานของระบบรับรู้กลิ่นในมนุษย์ และการทำงานของจมูกอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 1-3 โอกาสทางการตลาดของเทคโนโลยีจุมุกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อมที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับ โรงงานอุตสาหกรรมอัจฉริยะ และ เมืองอัจฉริยะ (Smart Factory and Smart City)

สำหรับโครงการใน Phase นี้จะทำการพัฒนาระบบจุมุกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้ว ที่สามารถเคลื่อนย้าย เพื่อนำไปตรวจวัดกลิ่นรบกวนในสิ่งแวดล้อม รอบบริเวณแหล่งกำเนิดกลิ่นทั้งเขตอุตสาหกรรม และเขตเกษตรกรรม ที่สามารถบอกระดับความเข้มข้นของกลิ่นรบกวน ซึ่งระบบที่จะพัฒนาตามโครงการนี้ จะใช้ Industrial Gas Sensor ร่วมกับ Hybrid Sensors ที่คณะวิจัยได้ทำการวิจัยและพัฒนาขึ้นมาเอง ซึ่งจะมีความจำเพาะต่อกลิ่นรบกวนในสิ่งแวดล้อม โดยจะพัฒนาด้านแบบเชิงพาณิชย์ (Minimal Viable Products) ที่สามารถนำไปทดสอบตลาด และแก้ปัญหาที่มีความต้องการอย่างยั่งยืน จากภาคอุตสาหกรรม

3. ทบทวนเอกสารเชิงสังเคราะห์

การทดลองครั้งแรกเกี่ยวกับจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ เกิดขึ้นครั้งแรกในช่วงปี ค.ศ. 1990-1992 (H.V. Shurmer, 1990 และ H.V. Shurmera, 1992) หลังจากนั้นเป็นต้นมาศาสตร์ทางด้านนี้ก็ได้ได้รับความนิยมนั้นมาเรื่อยๆ มีการพัฒนาเซ็นเซอร์เคมีสำหรับตรวจวัดกลิ่นขึ้นมามากมาย รวมไปถึงอัลกอริทึมที่ใช้ในการวิเคราะห์กลิ่น ก็ได้รับการพัฒนาขึ้นจนมีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ขึ้นเรื่อยๆ ได้มีการทดลองนำจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้ในงานประยุกต์อย่างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น การควบคุมคุณภาพของอาหาร (A. Sanaeifar, 2017 และ A. Gliszczynska-swigło, 2017) การวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องดื่ม (P. Wisniewska, 2015 และ Q. Chen, 2015) การรักษาสีสิ่งแวดล้อม (M. Lican, 2018) การรักษาความปลอดภัย (P.G. Nagappan, 2017 และ D. Lubczyk 2010) เป็นต้น

จุมุกอิเล็กทรอนิกส์อาศัยการทำงานร่วมกันของเซ็นเซอร์เคมีตรวจวัดกลิ่นตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป จนอาจถึงหลายร้อยตัวก็ได้ อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์จุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ก็มักจะมีเซ็นเซอร์วัดกลิ่นตั้งแต่ 8-32 ตัวเท่านั้น ซึ่งก็เพียงพอแล้วสำหรับงานประยุกต์ส่วนใหญ่ จะเห็นได้ว่าหัวใจสำคัญของจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ก็อยู่ที่เซ็นเซอร์เคมีตรวจวัดกลิ่นนั่นเอง นักวิจัยทั่วโลกจึง

ต่างแข่งขันกันเพื่อค้นคว้าวิจัย เพื่อพัฒนาหัตถ์เซ็นเซอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น งานวิจัยในเรื่อง เซ็นเซอร์เคมีตรวจวัดกลิ่นมักจะมุ่งไปที่เรื่อง 2 เรื่อง คือ

- 1) Selectivity คือความจำเพาะต่อโมเลกุลใดโมเลกุลหนึ่ง หรือกลุ่มของโมเลกุลชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น เซ็นเซอร์เคมีที่มีความจำเพาะเจาะจงกับโมเลกุลที่มีไนโตรเจนเปิด (Daniel Lubczyk, 2010) หรือ เซ็นเซอร์เคมีที่มีความจำเพาะเจาะจงกับแอมโมเนีย (R.S. Anwane, 2018) เป็นต้น คณะผู้วิจัยเองก็เป็นทีมวิจัยหนึ่งที่พยายามศึกษาเพื่อค้นหา เซ็นเซอร์เคมีที่ไวต่อโมเลกุลของ แอมโมเนีย (P. Lorwongtragool, 2011 และ Y. Seekaew, 2014 และ J. En-On, 2017) กลุ่มสารประเภทอัลกอฮอล์ (C. Wongchoosuk, 2010 และ C. Wongchoosuk, 2009) เอทานอล (N. Hongsith, 2010) และไฮโดรเจน (C. Wongchoosuk, 2010) ดังนั้นคณะวิจัยนี้จึงมีประสบการณ์และความสามารถในการ ค้นหาเซ็นเซอร์เคมีตรวจวัดกลิ่นที่มีความจำเพาะเจาะจง สำหรับใช้ในโครงการนี้ได้
- 2) Sensitivity คือความไวของหัตถ์เซ็นเซอร์ต่อโมเลกุลกลิ่นที่ต้องการ โดยหลักการแล้ว จมูกอิเล็กทรอนิกส์ไม่ได้ต้องการหัตถ์เซ็นเซอร์ที่มีความจำเพาะเจาะจง หรือ ความไวต่อโมเลกุลกลิ่นชนิดใดเป็นพิเศษ เพราะจมูกอิเล็กทรอนิกส์อาศัยการจดจำรูปแบบการตอบสนองของหัตถ์เซ็นเซอร์หลายๆ หัตถ์ หรืออีกนัยหนึ่งคือ อาศัยการทำงานร่วมกันของหัตถ์เซ็นเซอร์หลายๆ หัตถ์ ที่อาจจะมีความไวแตกต่างกัน แล้วใช้ซอฟต์แวร์เพื่อ วิเคราะห์และจำแนกกลิ่น อย่างไรก็ตามในบางชนิดก็อาจต้องการหัตถ์ เซ็นเซอร์ที่มีความไวเป็นพิเศษต่อกลุ่มโมเลกุลบางชนิด เช่น ในการตรวจวัดความสดของอาหารทะเล ต้องการหัตถ์ที่มีความไวพิเศษต่อ amines (P. Lorwongtragool, 2011 และ F. Liao, 2010)

เซ็นเซอร์ตรวจวัดกลิ่นอาจแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทตามวิธีการในการตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำเซ็นเซอร์ เมื่อมันเกิดอันตรกิริยากับกลิ่น ได้แก่

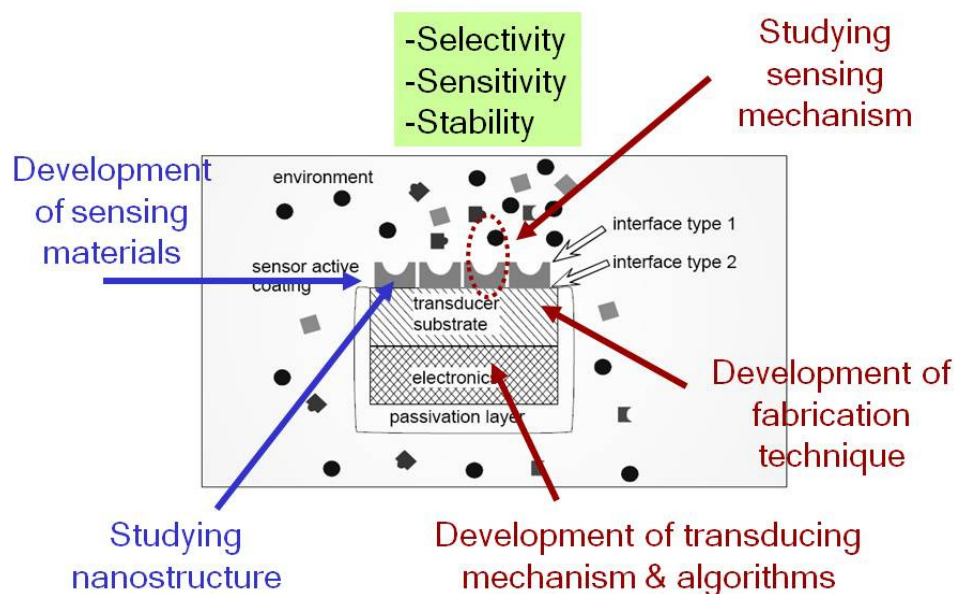
- 1) การตรวจวัดความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity)
- 2) การตรวจวัดประจุไฟฟ้า (Capacitance)
- 3) การตรวจวัดมวล (Gravimetric)
- 4) การตรวจวัดเชิงแสง (Optical Change)
- 5) การตรวจวัดกระแส (Amperometry)

กลุ่มวิจัยในประเทศไทยส่วนใหญ่ จะเน้นวิธีการตรวจวัดไปที่การตรวจวัดสมบัติความต้านทานไฟฟ้าเป็นหลัก ได้แก่ กลุ่มวิจัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (S. Choopun, 2007 และ C. Liwhiran, 2018) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (M. Sriyudthsak, 2006) วิทยาลัยปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (T. Anukunprasert, 2005 และ S. Watcharaphalakorn, 2005) ในขณะที่ คณะวิจัยที่เสนอโครงการนี้ มีความเชี่ยวชาญในการตรวจวัดหลากหลายรูปแบบ ทั้งแบบการวัดการต้านทานไฟฟ้า (C. Wongchoosuk, 2010 และ C. Wongchoosuk, 2009 และ P. Lorwongtragool,

2011) การวัดเชิงแสง (J. Ph. Mensing, 2013 และ S. Kladsomboon, 2011 และ S. Uttiya, 2008) หรือแม้กระทั่งการวัดเชิงมวล (O. Chamlek, 2008) อีกทั้ง คณะวิจัยตามโครงการนี้ ยังมีประสบการณ์ในการทำเซนเซอร์แบบไฮบริด ผสมผสานการใช้เทคนิคการตรวจวัดหลายแบบ (S. Kladsomboon, 2012) ซึ่งจะทำให้สามารถสร้างนวัตกรรมที่มีเอกลักษณ์และแข่งขันได้กับเทคโนโลยีจากกลุ่มอื่นๆ ทั้งในและต่างประเทศ เป็นผลให้คณะวิจัยนี้มีเทคโนโลยีค่อนข้างหลากหลายเพื่อนำมาแก้โจทย์ปัญหาได้หลายด้าน นอกจากนี้ คณะวิจัยนี้ยังมีการต่อยอดจากเซนเซอร์เคมีที่พัฒนาได้ เพื่อสร้างเป็นอุปกรณ์จุ่มกิโลกรัมหรือลิตรอย่างครบวงจร (T. Seesaard, 2015 และ P. Lorwongtragool, 2014) และยังเป็นทีมวิจัยในไม่กี่กลุ่มในประเทศไทย ที่ยังคงทำงานวิจัยและผลิตผลงานตีพิมพ์อย่างต่อเนื่องทางด้านนี้ รวมไปถึงการต่อยอดและประยุกต์ใช้ในภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมตลอดมา

ตารางแสดงเทคโนโลยีของเซนเซอร์เคมีตรวจวัดกลิ่นประเภทต่าง ๆ

หลักการทำงาน	วัสดุเซนเซอร์	ระดับการพัฒนาในปัจจุบัน	ข้อดี	ข้อเสีย
วัดความต้านทาน	สารกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว	ราคาถูก	ใช้พลังงานเยอะ
วัดความต้านทาน	โพลิเมอร์นำไฟฟ้า	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว	ทำงานที่อุณหภูมิห้อง	มีปัญหาเกี่ยวกับความชื้น
วัดความจุไฟฟ้า	โพลิเมอร์	ยังวิจัยอยู่	ทำเป็นชิพได้	มีปัญหาเกี่ยวกับความชื้น
วัดมวล	การสั่นของผลึกควอตซ์ (Quartz Crystal Microbalance)	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว	ความไวสูง	ราคายังสูงอยู่
วัดแสง	กำทอนของคลื่นพลาสมอน (Surface Plasmon Resonance)	ยังวิจัยอยู่	ความไวสูง สัญญาณรบกวนต่ำ	ราคาสูง
วัดแสง	การดูดกลืนของแสง (Optical Absorption)	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว (ของคณะวิจัยนี้เท่านั้น)	ราคาถูก สัญญาณรบกวนต่ำ	ความไวไม่มาก
วัดกระแส	สารผสมอินทรีย์หรืออินทรีย์	ใช้เชิงพาณิชย์แล้ว	ราคาถูก	มีขนาดใหญ่



รูปที่ 1-4 แสดงประเด็นในการวิจัยและพัฒนาเซนเซอร์เคมีเพื่อตรวจวัดกลิ่นของคณะวิจัยตลอดเวลา 15 ปีที่ผ่านมา เป็นองค์ความรู้ที่สะสมเพื่อการต่อยอดไปสู่งานนวัตกรรมตามโครงการที่เสนอขอขึ้น

การตรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าเป็นเทคนิคที่ค่อนข้างง่ายที่สุดในเทคนิคทั้งหมดที่กล่าวมา ด้วยเหตุนี้เราจึงเห็นผลิตภัณฑ์หัววัดเซ็นเซอร์เคมีทั้งหลายในท้องตลาดใช้หลักการนี้กันเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหัววัดเซ็นเซอร์ที่ใช้วัสดุประเภทโลหะออกไซด์นั้นได้รับความนิยมที่สุด ก็เพราะว่า วัสดุชนิดนี้มีความไวต่อกลิ่น ใช้หลักการทำงานที่ง่าย และราคาไม่แพง (A. Dey, 2018) แต่ถึงอย่างไร การทำงานในระดับจุลภาคของวัสดุนี้ก็ไม่ใช่เรื่องที่เข้าใจง่าย แม้ปัจจุบันก็ยังเป็นที่สงสัยกันอยู่ว่าเป็นอย่างไรแน่ โดยทั่วไปเชื่อกันว่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานที่พื้นผิวของวัสดุชนิดนี้เกิดจาก ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างวัสดุกับโมเลกุลกลิ่น ซึ่งความสามารถในการทำปฏิกิริยานี้ก็ขึ้นอยู่กับ โครงสร้างเชิงอิเล็กทรอนิกส์ของผิววัสดุ ส่วนประกอบทางเคมีของพื้นผิว โครงร่างผลึก และทิศทางของ ระนาบผลึก เป็นต้น ซึ่งการปรับแต่งพารามิเตอร์เหล่านี้เองจะทำให้ความไวของวัสดุแม้แต่ประเภท เดียวกัน ต่อกลิ่นต่างๆ มีความไวต่างกันได้ (P. T. Moseley, 2017) สำหรับเทคนิค การวัดเชิงแสงนั้น ถึงแม้จะเป็นเทคนิคที่ทำไ้ยากกว่าการวัดความต้านทานไฟฟ้า แต่ก็มิใช่อะไรในเรื่อง ของความชัดเจนของสัญญาณ คณะวิจัยนี้มีประสบการณ์ในการพัฒนาเทคนิคนี้ (สิริพัฒน์ ประโ ทษ, สุรีย์พร ดวงจักร ณ์ อยู่ธยา, สุมณา กลัดสมบุรณ์, ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, รุ่งโรจน์ เมาลานนท์, รัชฎา บุญเต็ม, วรวรรณ พันธุมนาวัน, คำขอสิทธิบัตรเลขที่ 0901002613 เรื่อง “กระบวนการเตรียม ฟิล์มบางสารอินทรีย์ด้วยการอบไอระเหยเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้สำหรับเป็นก๊าซเซ็นเซอร์ เชิงแสง”) โดยใช้วัสดุเซ็นเซอร์ประเภท porhyrins และ phthalocyanines (J. Ph. Mensing, 2013 และ S. Kladsomboon, 2011 และ S. Uttiya, 2008) ซึ่งมีลักษณะเป็นโมเลกุลประเภทวงที่มีพันธะคู่ ภายในโมเลกุลต่อกันแบบลูกโซ่ โดยตรงกลางของโมเลกุลชนิดนี้จะมีโลหะอยู่ ซึ่งสามารถเปลี่ยน

โลหะได้หลายชนิด ทำให้โมเลกุลนี้มีความหลากหลายและตอบสนองเชิงแสงกับโมเลกุลกลืนที่แตกต่างกันได้มากมาย ได้มีการทดลองนำวัสดุเซ็นเซอร์ชนิดนี้ไปใช้ในงานประยุกต์ต่างๆ เช่น การตรวจวัดแอลกอฮอล์ (A.C. Paske, 2011) ไนโตรเจน มอนอกไซด์ (R. Jaisutti, 2012) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (R. Tongpool, 2005) ไอระเหยอินทรีย์ (K. Lee, 2018) อะมีน (P. Castillero, 2017) ถึงแม้เทคนิคนี้จะมีข้อได้เปรียบหลายๆ อย่าง แต่ก็ยังไม่มีผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ผลิตออกมาจำหน่ายเลย ทั้งนี้เพราะการสร้างระบบวัดให้สมบูรณ์จนเป็นจุมุกอิเล็กทรอนิกส์นั้น จะต้องอาศัยองค์ประกอบทางเทคโนโลยีหลายอย่าง ตั้งแต่เรื่องของตัวกำเนิดแสงซึ่งหากใช้แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน UV-Vis ก็จะมีราคาแพง รวมไปถึง spectrometer ทั้งนี้ คณะวิจัยนี้ได้พยายามศึกษาวิจัยเพื่อแก้ปัญหานี้ โดยได้ประดิษฐ์จุมุกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคือใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็น LED และใช้ CMOS sensor เป็นตัวรับแสง (ซึ่งเกียร์ดี เกิดเจริญ, สุมณา กลัดสมบูรณ์, คำขอลิทธิบัตร เรื่อง “เครื่องจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การตรวจจับเชิงแสงและเชิงไฟฟ้าเคมีแบบกระเป๋าคือโดยอาศัยไดโอดเปล่งแสง”) พร้อมทั้งพัฒนาซอฟต์แวร์วิเคราะห์กลืน ให้สามารถเชื่อมโยงกระเป๋าจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ ให้เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ซึ่งจะมีการพัฒนาเป็นต้นแบบเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต เป็นรุ่นถัดไป หากพิจารณาความน่าเชื่อถือและความเที่ยงตรง (Robustness & Reliability) ของเซ็นเซอร์ตรวจวัดทั้ง 2 วิธีคือเทคนิคการวัดทางไฟฟ้าและเทคนิคการวัดเชิงแสงแล้วนั้น มีความได้เปรียบและเสียเปรียบกันดังนี้

(1) เทคนิคการวัดทางไฟฟ้าทำได้ง่ายกว่า ทำให้สามารถสร้างหัววัดเซ็นเซอร์ที่มีมาตรฐานเดียวกันออกมาเป็นจำนวนมากได้ค่อนข้างง่าย (A. Dey, 2018 และ Korotcenkov, 2007) โดยกระบวนการสร้างหัววัดเซ็นเซอร์นั้น มีการศึกษาวิจัยมาเป็นระยะเวลานานแล้ว มีการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะควบคุมให้หัววัดเซ็นเซอร์มีความไวกับก๊าซในแต่ละชนิดได้อย่างไร (P. T. Moseley, 2017 และ Korotcenkov, 2005) ทำให้ในปัจจุบันผู้ผลิตก๊าซเซ็นเซอร์ในอุตสาหกรรมต่างเลือกผลิตหัววัดเซ็นเซอร์แบบนี้

(2) การสร้างหัววัดเซ็นเซอร์ด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า สามารถผลิตเพียงหัววัด โดยอนุญาตให้ผู้นำไปบูรณาการเป็นระบบตรวจวัดได้เอง แต่หัววัดที่ใช้เทคนิคเชิงแสง จะต้องมีการบูรณาการระบบตรวจวัดเข้าไปด้วยกัน (Integrated System) ทำให้มีราคาสูงกว่าหัววัดเซ็นเซอร์เชิงไฟฟ้ามาก (J. Ph. Mensing, 2013 และ Kladsomboon, 2011)

(3) อย่างไรก็ตาม เซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการตรวจวัดทางไฟฟ้า โดยเฉพาะเซ็นเซอร์ที่ทำจากโลหะออกไซด์ มักมีปัญหาจากการคลาดเคลื่อนของสัญญาณ (Signal Drift) ทำให้ต้องมีสอบเทียบบ่อยเกินไป เลยทำให้ค่าใช้จ่ายที่ตอนแรกคิดว่าต่ำนั้น มีราคาสูงขึ้นเมื่อมีการใช้งานจริง และเป็นระยะเวลานาน ต่างจากเทคนิคการวัดเชิงแสงที่มีการรบกวนของสัญญาณต่ำ และไม่มีปัญหาจากการคลาดเคลื่อนของสัญญาณ เซ็นเซอร์ตรวจวัดเชิงแสงจึงค่อนข้างมีอายุการใช้งานในทางปฏิบัติยาวนานกว่า (Kladsomboon, 2011) รวมถึงมีการอ่านค่าได้เที่ยงตรงกว่า

(4) เนื่องจากเทคนิคทั้งสองมีข้อได้เปรียบเสียเปรียบ ทำให้การนำเทคนิคทั้งสองมาผสมกัน น่าจะเป็นวิธีที่ทำให้ได้หัววัดเซ็นเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและแก้ไขจุดด้อยที่แต่ละเทคนิคมี โดย

คณะผู้วิจัยตามข้อเสนอโครงการนี้ ได้ศึกษาวิธีการในการนำวัสดุเซ็นเซอร์จากเทคนิคการวัดการต้านทานไฟฟ้า และวัสดุเซ็นเซอร์เชิงแสงมาผสมกันในระดับนาโน และประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดโดยเทคนิคผสมระหว่างการวัดทางไฟฟ้าและการวัดเชิงแสง (Kladsomboon 2012) และได้ยื่นจดสิทธิบัตรไว้แล้ว (สิทธิบัตร เกิดเจริญ, สุนา กลัดสมบุรณ์, คำขอสิทธิบัตรเลขที่ 1201002073 เรื่อง “เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การตรวจจับเชิงแสงและเชิงไฟฟ้าเคมีแบบกระเป๋าทัวโดยอาศัยไดโอดเปล่งแสง”)

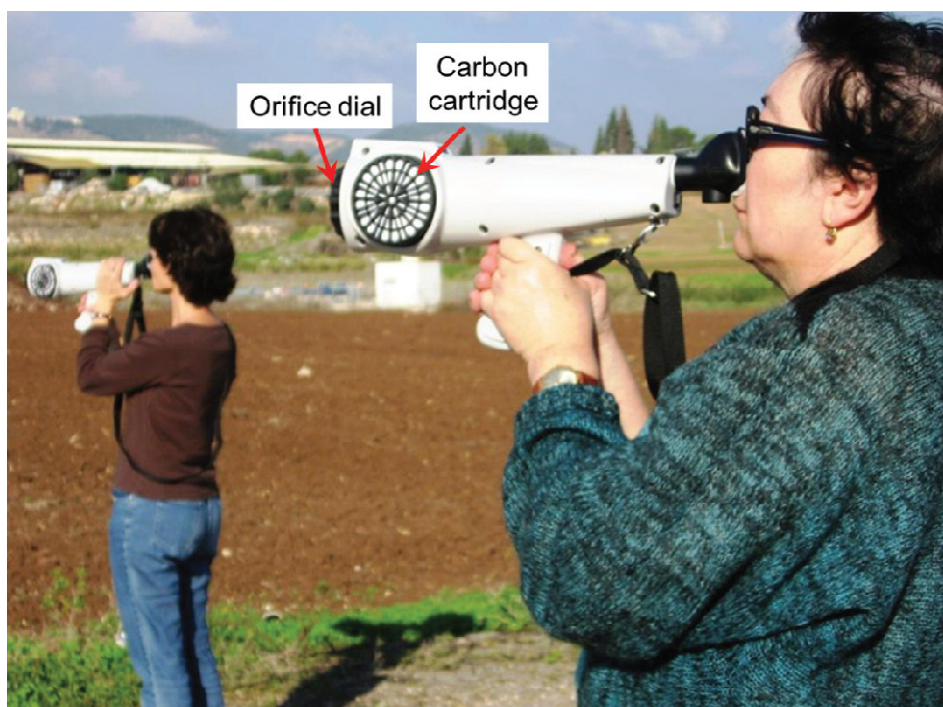
การนำเทคโนโลยีจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม เป็นเรื่องที่อุตสาหกรรมและธุรกิจต่างๆ ที่มีปัญหาที่เกี่ยวข้องกับกลิ่นมีความต้องการเป็นอย่างยิ่ง ด้วยเหตุผลที่ว่า เทคนิคเดิมที่ใช้กันอยู่เพื่อตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมีปัญหาอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการใช้มนุษย์ดมกลิ่นที่ถูกฝึกมาแล้ว เข้าไปดมกลิ่นในสิ่งแวดล้อมโดยตรง (Y. Laor, 2011) หรือจะเป็นการดมด้วยจมูกมนุษย์ผ่านอุปกรณ์ช่วยเหลือที่เรียกว่า Field Olfactometer (R.C. Brandt, 2011) ซึ่งก็มักจะมีปัญหาการรบกวน เนื่องจากมนุษย์ที่เป็นผู้ทำการดมกลิ่น สามารถที่จะถูกผลกระทบจากสภาพแวดล้อมในการตรวจวัด ไม่ว่าจะเป็นสภาพอากาศ เสียงดังในบริเวณโรงงาน ความรุนแรงของกลิ่น ซึ่งมีผลต่อภาวะทางอารมณ์ของผู้ดมกลิ่นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ รวมไปถึงความอ่อนเพลียและความล้าของระบบดมกลิ่นหากต้องทำงานต่อเนื่องกัน (A. H. Bokowa, 2008)

นอกจากการใช้มนุษย์ดมกลิ่น ณ สถานที่จริงที่มีปัญหาแล้ว ยังมีเทคนิคอื่น เช่น การเก็บตัวอย่างกลิ่นกลับไปในห้องปฏิบัติการเพื่อไปทำการดมกลิ่นด้วยมนุษย์ ในสภาพที่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อม โดยจะอาศัยผู้ดมกลิ่นหลายๆ คนเพื่อให้ได้ผลตามหลักสถิติ (Y. Laor, 2014) ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีขั้นตอนที่ซับซ้อน และค่อนข้างยุ่งยาก อีกทั้งยังต้องการคนดมกลิ่นที่ฝึกฝนมาเป็นอย่างดี ถึงแม้การเก็บตัวอย่างกลิ่นไปจะมีข้อดีคือสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของกลิ่นได้ก็ตาม แต่ก็ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายค่อนข้างมาก อีกทั้งอาจจะไม่คุ้มค่าเนื่องจากรู้สึกว่าองค์ประกอบของกลิ่นอย่างละเอียดว่าประกอบด้วยโมเลกุลอะไรบ้าง ก็ไม่จำเป็นจะต้องให้ผลที่สอดคล้องกับความรู้สึก (Human Perception) ที่เกิดจากการดมกลิ่นของมนุษย์ (A.K. Gralapp, 2001)

จากการที่คณะผู้วิจัยได้เคยพูดคุยกับภาคอุตสาหกรรมพบว่า ค่าใช้จ่ายในการใช้คนดม หรือการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการนั้น ค่อนข้างสูงมาก อีกทั้งภาคอุตสาหกรรมเองก็มีความคลางแคลงใจในผลการทดลองอีกด้วย เป็นเหตุให้ภาคอุตสาหกรรมมีความต้องการเทคโนโลยีที่มีความสามารถที่จะทำการตรวจวัด ณ สถานที่ที่ต้องการ รวมทั้งมีการแสดงผลที่ได้รับการยอมรับตามหลักวิทยาศาสตร์ เป็นที่ยอมรับของทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

การเข้ามาของเทคโนโลยีจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์สำหรับดมกลิ่นในสิ่งแวดล้อม น่าจะตอบโจทย์ความต้องการของภาคอุตสาหกรรมได้อย่างดี เนื่องจากจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์มีทำงานที่เลียนแบบจมูกของมนุษย์ แต่สามารถแสดงผลเชิงตัวเลข กราฟ หรือ รูปภาพ ได้แบบเครื่องมือวิทยาศาสตร์ จึงตอบโจทย์การตรวจวัดที่ต้องอ้างอิงกับความรู้สึกในการดมกลิ่นของมนุษย์ (Human Perception) อย่างไรก็ดี รูปแบบของเครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กันอยู่ในต่างประเทศ มักจะเป็นเครื่องแบบตั้ง

โต๊ะ หรือ Desktop จึงไม่สามารถไปตรวจวัดตัวอย่าง ณ สถานที่จริงได้ แต่จะทำการเก็บตัวอย่างมาเพื่อตรวจวัดในห้องปฏิบัติการ (L. Capelli, 2014) ซึ่งคณะวิจัยตามโครงการนี้ เป็นคณะวิจัยแรกที่ได้จดสิทธิบัตร เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคือ (ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, ชัชวาล วงศ์ชูสุข, คำขอสิทธิบัตรเลขที่ 1001001840 เรื่อง “เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคือ”) โดยแพลตฟอร์มนี้เมื่อนำมาพัฒนาต่อยอดตามโครงการนี้ ก็จะได้ เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคือที่มีความสามารถในการตรวจวัดกลิ่นสิ่งแวดล้อม โดยจะต่อยอดจากองค์ความรู้ที่เคยได้รับทุนวิจัยจากสกว. และ สิทธิบัตรเดิม ให้เป็นเครื่องแบบกระเป๋าคือที่มีจำนวนเซนเซอร์เพิ่มอีกเท่าตัว และสามารถทำงานในการตรวจวัดและวิเคราะห์กลิ่นในสิ่งแวดล้อมได้ โดยในท้องตลาดปัจจุบัน ยังไม่มีเครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคือจำหน่าย คงมีแต่เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์แบบ Desktop ของต่างประเทศ และ เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์แบบเป็นสถานีตรวจวัดออนไลน์ ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงมาก (L. Dentoni, 2012) ซึ่งจากการพูดคุยกับภาคอุตสาหกรรมนั้น ทางภาคอุตสาหกรรมต้องการให้คณะวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ที่เป็น Made in Thailand เนื่องจากเทคโนโลยีจากต่างประเทศนั้น นอกจากจะมีราคาสูงแล้ว การดูแลรักษาจะมีปัญหาในระยะยาว รวมทั้งการบริการการฝึกฝนและทำความเข้าใจกับผู้ใช้ นั้น ทำได้ยากกว่า การมีเทคโนโลยีของเราเอง



รูปที่ 1-5 แสดงการใช้มนุษย์ดมกลิ่นในสิ่งแวดล้อมสามารถที่จะถูกผลกระทบจากสภาพแวดล้อมในการตรวจวัด เช่นสภาพอากาศ เสียงดังในบริเวณโรงงาน ความรุนแรงของกลิ่น ซึ่งมีผลต่อภาวะทางอารมณ์ของผู้ดมกลิ่น (L. Capelli, 2014)

ในการพัฒนาจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ตามโครงการนี้ คณะวิจัยจะมีการพัฒนาเทคนิคพิเศษเพื่อให้ต้นแบบเชิงพาณิชย์มีศักยภาพในการใช้งานแก้ปัญหาโจทย์จริง ในอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม ดังนี้

- 1) เรื่องความถูกต้องแม่นยำ คือความจำเป็นพื้นฐานที่สุดในระบบตรวจวัด ความถูกต้องแม่นยำในระดับมากกว่า 90% ขึ้นไปถึงจะเป็นที่ยอมรับ
- 2) ความเร็วในการตรวจวัด เป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งสำหรับระบบตรวจวัดกลิ่น เพราะการใช้งานมักกระทำ ณ สถานที่จริง เวลาจริง ซึ่งต่างจากการวิเคราะห์โมเลกุลเคมีวิธีธรรมดาอย่างเช่น แก๊สโครมาโตกราฟี เป็นต้น
- 3) การฝึกฝนระบบจดจำกลิ่น ต้องสามารถทำได้ง่าย เมื่อเวลาจะใช้งานซอฟต์แวร์จดจำกลิ่น ต้องสามารถฝึกให้ดมกลิ่น จดจำ และวิเคราะห์กลิ่นได้อย่างรวดเร็ว
- 4) การใช้หน่วยความจำ เทคโนโลยีการจดจำกลิ่นที่ใช้หน่วยความจำมากจะทำให้ประสบปัญหาในการย่อขนาดของอุปกรณ์ ทำให้การนำไปใช้งานมีขีดจำกัด และยิ่งเทคนิคใดมีการใช้หน่วยความจำมากก็ยิ่งทำให้ความเร็วของการประมวลผลลดลงตามไปด้วย เทคโนโลยีที่ใช้ในทางปฏิบัติได้จริง จะต้องคำนึงถึงข้อนี้
- 5) ความคลาดเคลื่อน ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาสำหรับระบบตรวจวัดกลิ่น และจมูกอิเล็กทรอนิกส์นั้นมักจะฝึกให้จดจำกลิ่นในสภาวะจำลองและควบคุม แต่ในการใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ระบบตรวจวัดกลิ่นจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอกหลายอย่าง ระบบตรวจวัดกลิ่นจึงควรมีความสามารถที่จะทนต่อสภาพคลาดเคลื่อนเหล่านั้นได้ (L. Capelli, 2010)

สามารถบอกความคลาดเคลื่อนได้ นอกจากข้อ 5) แล้ว ซอฟต์แวร์ที่ดีควรสามารถบอกปริมาณความคลาดเคลื่อนที่แท้จริงได้ เพื่อผู้ใช้งานสามารถที่จะตัดสินใจที่จะเชื่อหรือไม่เชื่อผลจากการตรวจสอบกลิ่นได้ทันที

4. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้ว (Briefcase Electronic Nose) สำหรับใช้งานตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม เป็นต้นแบบ Minimal Viable Products ที่มีการใช้ทดสอบตลาด และแก้ปัญหาโจทย์จากอุตสาหกรรมเกษตรอุตสาหกรรม หรือ แม้แต่การแก้ปัญหาเรื่องคุณภาพอากาศในเมืองใหญ่สำหรับ Smart City
2. เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ และปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจวัดและวิเคราะห์กลิ่นในสิ่งแวดล้อม ที่ทำงานร่วมกับฮาร์ดแวร์ในข้อ (1)
3. เพื่อนำต้นแบบ และซอฟต์แวร์ ตามข้อ (1) และ (2) ไปทำการทดสอบตลาด และแก้โจทย์จากอุตสาหกรรม ด้วยการพัฒนาโมเดลทางธุรกิจที่เหมาะสม

5. ขอบเขตในการดำเนินการวิจัย

โครงการนี้ เป็นการต่อยอดงานวิจัยพื้นฐานทางด้านเซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นของคณะวิจัย ที่แต่เดิมได้ต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการที่อยู่ในระดับ TRL Level 5-6 เพื่อไปสู่เทคโนโลยีและผลิตภัณฑ์ต้นแบบ Minimal Viable Product ที่มีระดับ TRL Level 7-8 เพื่อให้สามารถนำไปทดสอบตลาด และประยุกต์ใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม

ดังนั้น ขั้นตอนการดำเนินงานตามโครงการ จึงอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ และ ทรัพย์สินทางปัญญาที่มีอยู่แต่เดิม

บทที่ 2

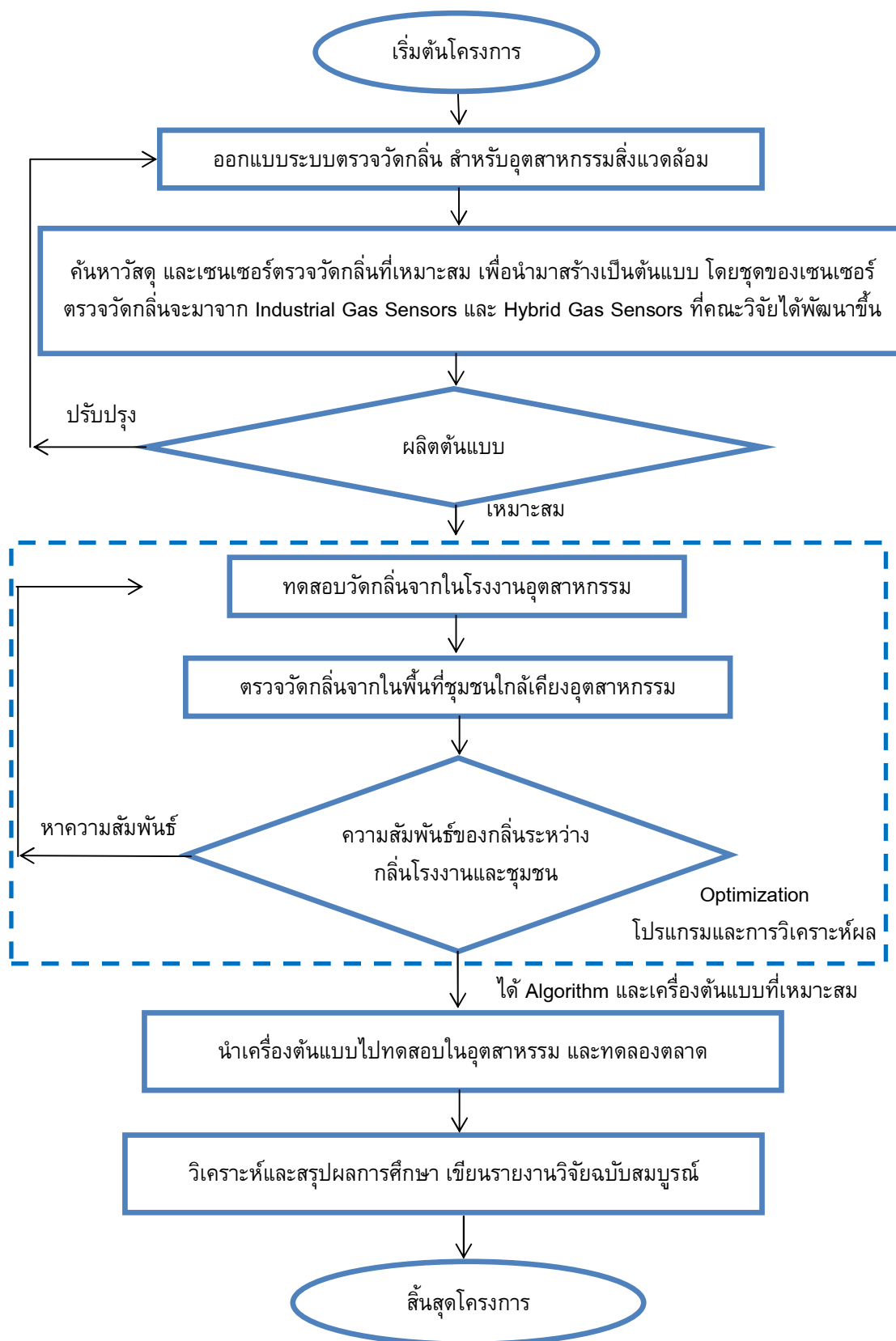
วิธีดำเนินการโครงการวิจัย

1. วิธีการดำเนินการวิจัย

โครงการจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อมตามรายละเอียดข้างต้น ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานทั้งสิ้นรวม 12 เดือน ด้วยการพัฒนาจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ตามโครงการนี้ คณะวิจัยจะมีการพัฒนาเทคนิคพิเศษเพื่อให้ต้นแบบเชิงพาณิชย์มีศักยภาพในการใช้งานแก้ปัญหาโจทย์จริง ในอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม ด้วยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

- (1) ออกแบบระบบตรวจวัดกลิ่น สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่ รูปแบบ รูปลักษณ์ ของเครื่องจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ หน้าตาของ User Interface ที่ผู้ใช้งานต้องการให้เป็น และ System Requirement ต่างๆ ที่เหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม (Field Optimization) เช่น น้ำหนัก ระบบพลังงาน ความยากง่ายในการใช้งานกลางแจ้ง เป็นต้น
- (2) Sourcing วัสดุ และเซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นที่เหมาะสม เพื่อนำมาสร้างเป็นต้นแบบ Minimal Viable Products โดยชุดของเซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นจะมาจาก Industrial Gas Sensors และ Hybrid Gas Sensors ที่คณะวิจัยได้พัฒนาขึ้น ซึ่งจะมีการเลือกชุดเซนเซอร์ที่เหมาะสม โดยคำนึงถึง ลูกค้านำเข้าหมาย ต้นทุนด้านราคา การบำรุงรักษา และผลงานวิจัยในอดีต เป็นต้น
- (3) ทำการผลิตต้นแบบ Minimal Viable Products เครื่องจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ทำ Casing แบบใหม่ ให้ดูสวยงาม
- (4) ออกแบบและพัฒนา Algorithm ในการแยกแยะและรู้จัก Pattern ของกลิ่นรบกวนในสิ่งแวดล้อม การให้คะแนนกลิ่นที่เลียนแบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์ ซอฟต์แวร์ปัญญาประดิษฐ์
- (5) นำต้นแบบ และซอฟต์แวร์ตรวจวัดกลิ่นไปทดสอบกับกลิ่นในสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรม ทำการทดสอบตลาด ทดลองการแก้โจทย์ที่อุตสาหกรรมต้องการ
- (6) จัดทำคู่มือการใช้งานเครื่อง นำผลิตภัณฑ์ไปออกบูท พัฒนาโมเดลทางธุรกิจที่เหมาะสม

2. แผนภาพขั้นตอนการทำงานวิจัย



รูปที่ 2-1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 2-1 กิจกรรมในการวิจัย

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	ระยะเวลา	ผู้รับผิดชอบ
(1) เพื่อพัฒนาเครื่อง จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบ กระเป๋าหิ้ว (Briefcase Electronic Nose) สำหรับใช้ งานตรวจวัดกลิ่นใน สิ่งแวดล้อม เป็นต้นแบบ Minimal Viable Products ที่มี สามารถใช้ทดสอบตลาด และ แก้ปัญหาจาก อุตสาหกรรม	ออกแบบระบบตรวจวัดกลิ่น สำหรับ อุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่ รูปแบบ รูปลักษณะ ของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ หน้าตาของ User Interface ที่ผู้ใช้งานต้องการให้ เป็น และ System Requirement ต่างๆ ที่ เหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม (Field Optimization) เช่น น้ำหนัก ระบบพลังงาน ความยากง่ายในการใช้งานกลางแจ้ง เป็นต้น	เดือนที่ 1-2	ธีรเกียรติ์ ธีรภัทร์
	Sourcing วัสดุ และเซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นที่ เหมาะสม เพื่อนำมาสร้างเป็นต้นแบบ Minimal Viable Products โดยชุดของ เซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นจะมาจาก Industrial Gas Sensors และ Hybrid Gas Sensors ที่ คณะวิจัยได้พัฒนาขึ้น ซึ่งจะมีการเลือกชุด เซนเซอร์ที่เหมาะสม โดยคำนึงถึง ราคา เป้าหมาย ต้นทุนด้านราคา การบำรุงรักษา และผลงานวิจัยในอดีต เป็นต้น	เดือนที่ 2-3	ธีรเกียรติ์ ธีรภัทร์
	ทำการผลิตต้นแบบ Minimal Viable Products เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบ กระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ทำ Casing แบบใหม่ ให้ดูสวยงาม	เดือนที่ 2-6	ธีรภัทร์
(2) เพื่อพัฒนา ซอฟต์แวร์ และ ปัญญาประดิษฐ์สำหรับ ตรวจวัดและวิเคราะห์กลิ่นใน สิ่งแวดล้อม ที่ทำงานร่วมกับ ฮาร์ดแวร์ในข้อ (1)	ออกแบบและพัฒนา Algorithm ในการ แยกแยะและรู้จัก Pattern ของกลิ่นรบกวนใน สิ่งแวดล้อม การให้คะแนนกลิ่นที่เลียนแบบ การรับรู้กลิ่นของมนุษย์ ซอฟต์แวร์ ปัญญาประดิษฐ์	เดือนที่ 4-8	ธีรเกียรติ์ ธีรภัทร์
(3) เพื่อนำต้นแบบ และ ซอฟต์แวร์ ตามข้อ (1) และ (2) ไปทำการทดสอบตลาด และแก้โจทย์จากอุตสาหกรรม ด้วยการพัฒนาโมเดลทาง ธุรกิจที่เหมาะสม	นำต้นแบบ และซอฟต์แวร์ตรวจวัดกลิ่นไป ทดสอบกับกลิ่นในสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรม ทำการทดสอบตลาด ทดลองการแก้โจทย์ที่ อุตสาหกรรมต้องการ	เดือนที่ 7-12	ธีรเกียรติ์ ธีรภัทร์
	จัดทำคู่มือการใช้งานเครื่อง นำผลิตภัณฑ์ไป ออกบูท พัฒนาโมเดลทางธุรกิจที่เหมาะสม	เดือนที่ 11- 12	ธีรภัทร์

ตารางที่ 2-2 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เดือนที่	กิจกรรม (activities)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (outputs)
----------	----------------------	-------------------------------

6 เดือนที่ 1	- ออกแบบระบบตรวจวัดกลิ่น สำหรับอุตสาหกรรม สิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่ รูปแบบ รูปลักษณ์ ของ เครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ หน้าตาของ User Interface ที่ผู้ใช้งานต้องการให้เป็น และ System Requirement ต่างๆ ที่เหมาะสมกับการใช้งานใน ภาคนาม (Field Optimization) เช่น น้ำหนัก ระบบพลังงาน ความยากง่ายในการใช้งาน กลางแจ้ง เป็นต้น - Sourcing วัสดุ และเซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นที่ เหมาะสม เพื่อนำมาสร้างเป็นต้นแบบ Minimal Viable Products โดยชุดของเซนเซอร์ตรวจวัด กลิ่นจะมาจาก Industrial Gas Sensors และ Hybrid Gas Sensors ที่คณะวิจัยได้พัฒนาขึ้น ซึ่งจะมีการเลือกชุดเซนเซอร์ที่เหมาะสม โดย คำนึงถึง ลูกค้านำมาขาย ต้นทุนด้านราคา การ บำรุงรักษา และผลงานวิจัยในอดีต เป็นต้น - ทำการผลิตต้นแบบ Minimal Viable Products เครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับ ตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ทำ Casing แบบใหม่ ให้ดูสวยงาม	- ต้นแบบเครื่องจุ่ม อิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้ว สำหรับตรวจวัดกลิ่นใน สิ่งแวดล้อม (Minimal Viable Product)
6 เดือนที่ 2	- ออกแบบและพัฒนา Algorithm ในการแยกแยะ และรู้จัก Pattern ของกลิ่นรบกวนในสิ่งแวดล้อม การให้คะแนนกลิ่นที่เลียนแบบการรับรู้กลิ่นของ มนุษย์ ซอฟต์แวร์ปัญญาประดิษฐ์ - นำต้นแบบ และซอฟต์แวร์ตรวจวัดกลิ่นไป ทดสอบกับกลิ่นในสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรม ทำ การทดสอบตลาด ทดลองการแก้ไขที่ อุตสาหกรรมต้องการ - จัดทำคู่มือการใช้งานเครื่อง นำผลิตภัณฑ์ไปออก บุก พัฒนาโมเดลทางธุรกิจที่เหมาะสม	- ซอฟต์แวร์ และ ปัญญาประดิษฐ์สำหรับ ตรวจวัดและวิเคราะห์กลิ่นใน สิ่งแวดล้อม - คู่มือการใช้งานเครื่อง - โมเดลทางธุรกิจ จุ่มก อิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจวัด กลิ่นในสิ่งแวดล้อม - แผนการตลาด

บทที่ 3

ผลการวิจัย และการวิเคราะห์ผลการวิจัย

1. การดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	ระยะเวลา	การดำเนินการ (เปอร์เซ็นต์)
(1) เพื่อพัฒนาเครื่องจุ่มกอิเล็คทรอนิกส์แบบกระเป๋าทั่ว (Briefcase Electronic Nose) สำหรับใช้งานตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม เป็นต้นแบบ Minimal Viable Products ที่สามารถใช้ทดสอบตลาด และแก้ปัญหาโจทย์จากอุตสาหกรรม	ออกแบบระบบตรวจวัดกลิ่น สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่ รูปแบบรูปลักษณ์ ของเครื่องจุ่มกอิเล็คทรอนิกส์ หน้าตาของ User Interface ที่ผู้ใช้งานต้องการให้เป็น และ System Requirement ต่างๆ ที่เหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม (Field Optimization) เช่น น้ำหนัก ระบบพลังงาน ความยากง่ายในการใช้งาน กลางแจ้ง เป็นต้น	เดือนที่ 1-2	100%
	Sourcing วัสดุ และเซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นที่เหมาะสม เพื่อนำมาสร้างเป็นต้นแบบ Minimal Viable Products โดยชุดของเซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่นจะมาจาก Industrial Gas Sensors และ Hybrid Gas Sensors ที่คณะวิจัยได้พัฒนาขึ้น ซึ่งจะมีการเลือกชุดเซนเซอร์ที่เหมาะสม โดยคำนึงถึง ลูกค้า เป้าหมาย ต้นทุนด้านราคา การบำรุงรักษา และผลงานวิจัยในอดีต เป็นต้น	เดือนที่ 2-3	100%
	ทำการผลิตต้นแบบ Minimal Viable Products เครื่องจุ่มกอิเล็คทรอนิกส์แบบกระเป๋าทั่วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ทำ Casing แบบใหม่ ให้ดูสวยงาม	เดือนที่ 2-6	100%
(2) เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ และปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจวัดและวิเคราะห์กลิ่นในสิ่งแวดล้อม ที่ทำงานร่วมกับฮาร์ดแวร์ตามวัตถุประสงค์ ข้อ (1)	ออกแบบและพัฒนา Algorithm ในการแยกแยะและรู้จัก Pattern ของกลิ่นรบกวนในสิ่งแวดล้อม การให้คะแนนกลิ่นที่เลียนแบบการรับรู้กลิ่นของมนุษย์ ซอฟต์แวร์ปัญญาประดิษฐ์	เดือนที่ 4-8	100%
	นำต้นแบบ และซอฟต์แวร์ตรวจวัดกลิ่นไปทดสอบกับกลิ่นในสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรม ทำการทดสอบตลาด ทดลองการแก้ไขที่อุตสาหกรรมต้องการ	เดือนที่ 8-12	100%
	จัดทำคู่มือการใช้งานเครื่อง นำผลิตภัณฑ์	เดือนที่ 8-12	100%

วัตถุประสงค์	กิจกรรม	ระยะเวลา	การดำเนินการ (เปอร์เซ็นต์)
	ไปออกบูท พัฒนาโมเดลทางธุรกิจที่เหมาะสม		

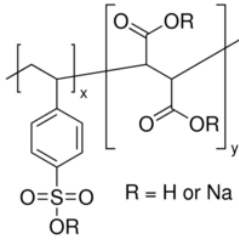
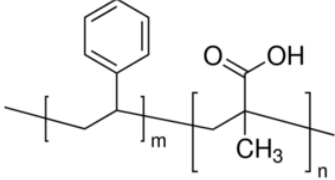
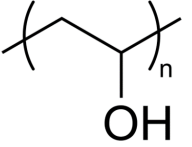
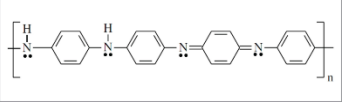
2. ผลงานวิจัยที่ได้รับ

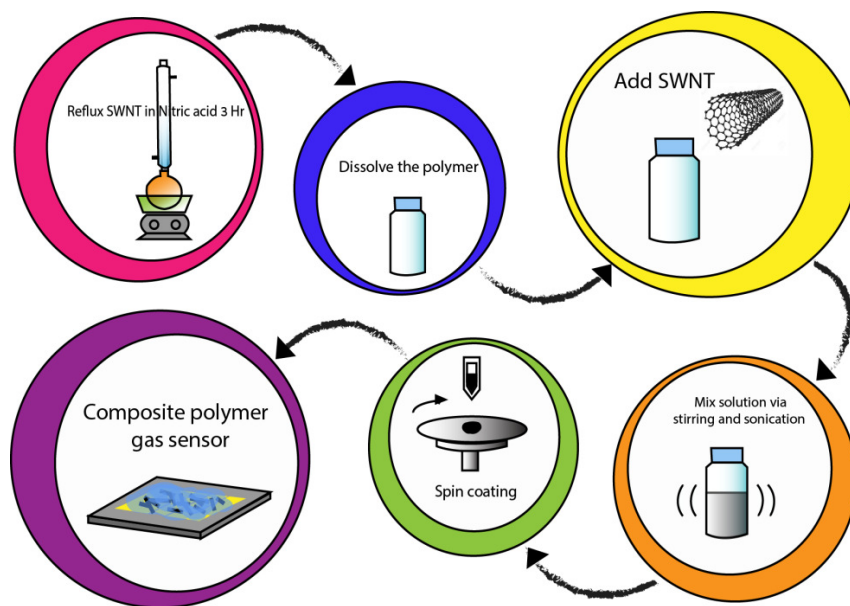
- การพัฒนาชุดก๊าซเซนเซอร์นาโนคอมโพสิต

ในการพัฒนาเครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีรูปแบบเป็นกระเป๋าทู จะต้องมีการพัฒนาเซนเซอร์ชนิดใหม่ขึ้นมาอีกอย่างน้อย 8 หัววัด โดยจะใช้ร่วมกับเซนเซอร์อุตสาหกรรมจำนวน 8 หัววัด รวมเป็น 16 หัววัด

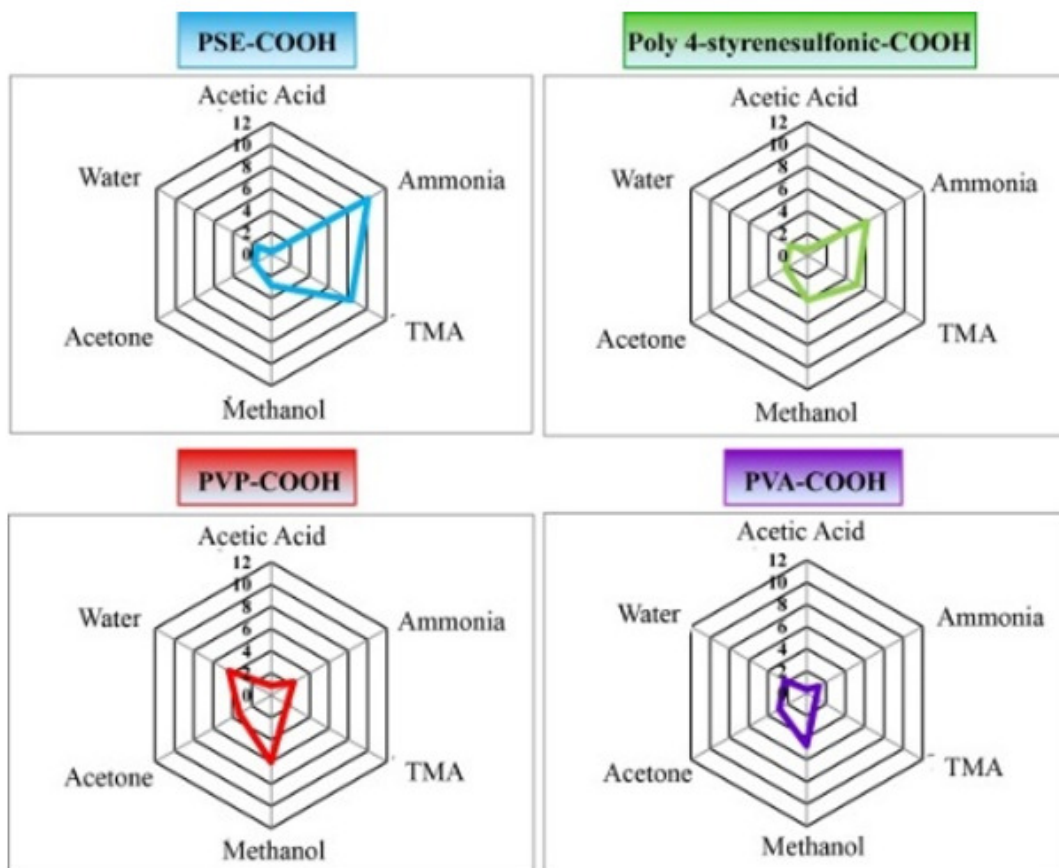
ตารางแสดงรายละเอียดโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทำ *polymer-CNT nanocomposite gas sensors*

Polymer	Structure	Functional group
Polyvinyl chloride (PVC)		Alkene
Cumene terminated polystyrene-co-maleic anhydride (Cumene-PSMA)		Ester Ketone
Poly(styrenecomaleic acid)partial isobutyl/methyl mixed ester(PSE)		Ester
Polyvinylpyrrolidone (PVP)		Ketone Amine Amide
Poly(2-Acrylamido-2-Methyl-1-ropanesulfonic acid-co-Acrylonitrile 95wt%		Amide Sulfonic acid
Poly(Acrylic acid)		Carboxylic

Poly(4-Styrenesulfonic acid) Solution	 $\left[\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{C}_6\text{H}_4) \right]_x \left[\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{OR}) \right]_y$ R = H or Na	Ester Sulfonic acid
Poly(Styrene-co-Methacrylic acid)	 $\left[\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{C}_6\text{H}_4) \right]_m \left[\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{COOH})(\text{CH}_3) \right]_n$	Carboxylic
Polyvinyl alcohol	 $\left[\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{OH}) \right]_n$	Alcohol
Polyaniline	 $\left[\text{NH} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{NH} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{N} = \text{C}_6\text{H}_4 = \text{N} - \text{C}_6\text{H}_4 \right]_n$	Amine



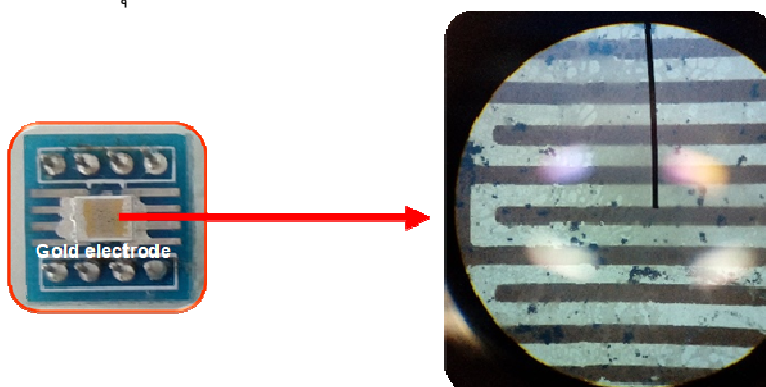
รูปที่ 3-1 ภาพแสดงวิธีการเตรียม polymer-CNT nanocomposite gas sensors



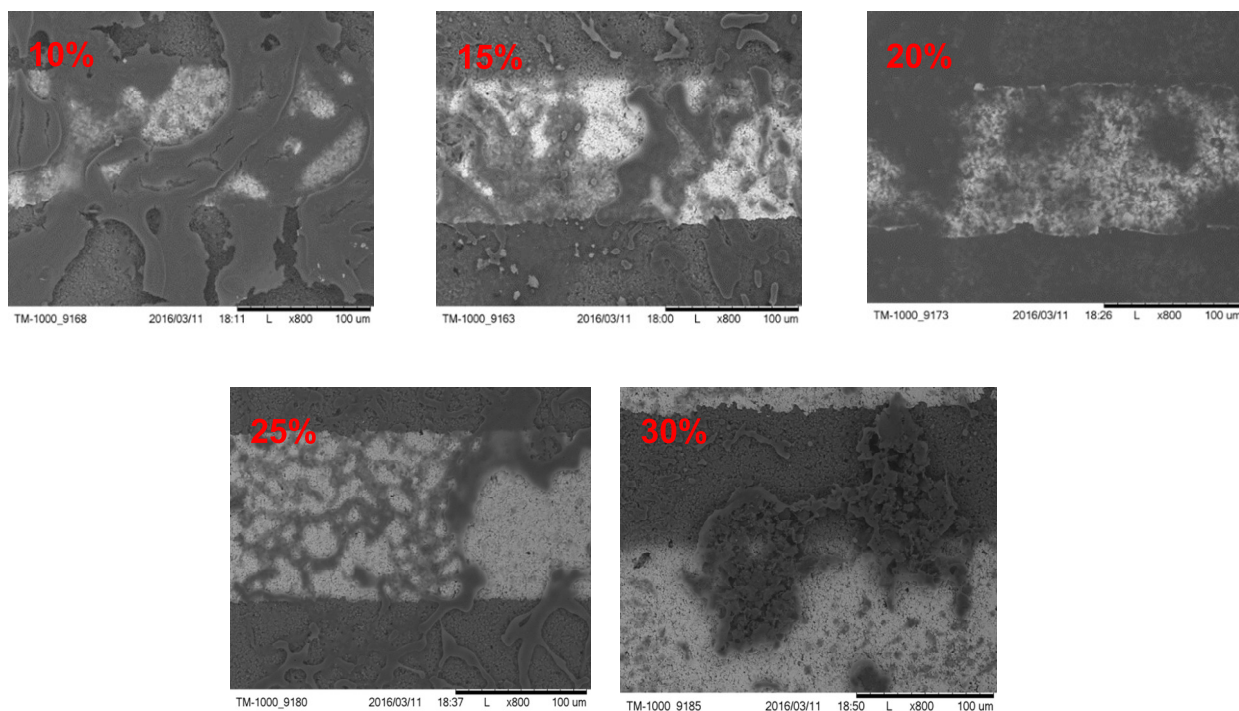
รูปที่ 3-2 ภาพแสดงการทดสอบ gas sensors กับ volatiles ชนิดต่างๆ

- ศึกษาการประกอบเซนเซอร์โดยวิธีการเคลือบฟิล์ม (Coating)

สำหรับการประกอบเซนเซอร์จะใช้การเคลือบฟิล์ม (Coating) โดยวิธีการปั่นเคลือบ (Spin coating method) ด้วยการใช้สารละลายวัสดุสมพอลิเมอร์ระหว่างพอลิเมอร์และท่อนาโนคาร์บอนที่ได้เตรียมไว้ ลงบนขั้วไฟฟ้าอินเทอร์ดิจิทเทดทองคำ (gold interdigitate electrode) ด้วยการใช้ไมโครปิเปต และทำการปั่นเคลือบด้วยความเร็วรอบที่ประมาณ 1,000 – 1,500 รอบ/นาที ระยะเวลาประมาณ 30 วินาที โดยจากการทดลองพบว่า เป็นระยะเวลาและความเร็วรอบหมุนที่เพียงพอต่อการทำให้อนุภาคของวัสดุสมพอลิเมอร์สามารถกระจายตัวได้ทั่ว ซึ่งเป็นฟิล์มบางเคลือบอยู่บนขั้วไฟฟ้าอินเทอร์ดิจิทเทดทองคำ และทำให้สารละลายในวัสดุสมพอลิเมอร์สามารถระเหยออกได้ส่วนหนึ่ง



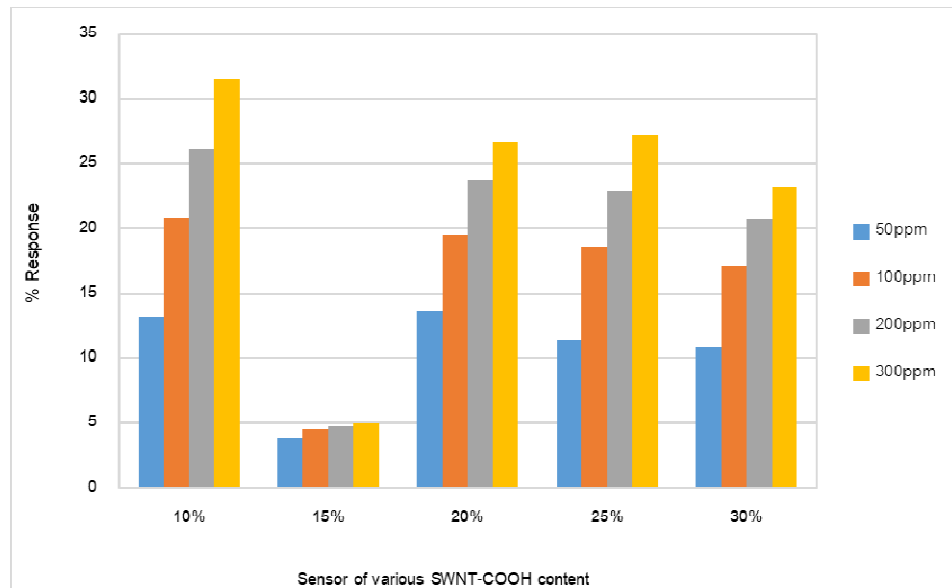
รูปที่ 3-3 การกระจายตัวของอนุภาควัสดุสมพอลิเมอร์บนขั้วไฟฟ้าอินเทอร์ดิจิทเทดทองคำ



รูปที่ 3-4 โครงสร้างจุลภาคของเซนเซอร์ทางเคมี ที่ทำการผสมพอลิเมอร์และท่อคาร์บอน 10%, 15%, 20%, 25% และ 30%

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ต่อท่อคาร์บอน เพื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของท่อคาร์บอนที่เหมาะสมที่จะผสมกับพอลิเมอร์และเป็นผลให้เซนเซอร์มีความไวในการตอบสนองต่อสารอินทรีย์ไอระเหยได้ดีที่สุด โดยศึกษา PSE-COOH ฟิล์ม ซึ่งหากทำการผสมท่อคาร์บอนที่ 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% โดยพบว่าหากผสมท่อคาร์บอนในปริมาณที่ต่างกันแล้วลักษณะพื้นผิวของฟิล์มก็จะแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อผสมท่อคาร์บอนที่ 10%, พบว่ามีลักษณะเป็นเนื้อฟิล์มเรียบขนาดใหญ่ ที่มีรอยแตกและไม่เชื่อมติดกันตลอดทั้งแผ่นฟิล์ม แตกต่างจากการผสมท่อคาร์บอน 15% และ 25% พบว่าพอลิเมอร์ผสมไม่เป็นเนื้อฟิล์มและมีลักษณะหนา บางไม่เท่ากัน หากพิจารณาการผสม 20% อนุภาคพอลิเมอร์ที่มีการกระจายได้ทั่วแต่ไม่เท่ากันในบางจุด และหากผสม 30% พบว่าพอลิเมอร์ผสมไม่สามารถกระจายตัวได้ดี มีลักษณะเกาะกันเป็นกลุ่ม ดังภาพข้างบน

และหากตรวจวัดเปอร์เซ็นต์การตอบสนองของเซนเซอร์ต่อแอมโมเนียพบว่าในวัสดุผสมพอลิเมอร์ที่มีการผสมท่อคาร์บอน 10% มีเปอร์เซ็นต์การตอบสนองของเซนเซอร์สูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียเป็น 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm นั้นแสดงว่าการผสมท่อคาร์บอน 10% ลงในวัสดุพอลิเมอร์ผสมจะทำให้การตอบสนองของเซนเซอร์ดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งแสดงดังภาพข้างล่าง



รูปที่ 3-5 เปอร์เซ็นการตอบสนองของเซนเซอร์ที่มีการผสมท่อนาโนคาร์บอน 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% ต่อแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm

- ทำการผลิตต้นแบบ Minimal Viable Products เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ทำ Casing แบบใหม่ ให้ดูสวยงาม ได้ทำการออกแบบระบบตรวจวัดกลิ่น สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่ รูปแบบ รูปลักษณ์ ของเครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์ หน้าตาของ User Interface ที่ผู้ใช้ต้องการให้เป็น และ System Requirement ต่างๆ ที่เหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม (Field Optimization) เช่น น้ำหนัก ระบบพลังงาน ความยากง่ายในการใช้งานกลางแจ้ง เป็นต้น
- จากนั้นได้ทำการสร้างต้นแบบ Minimal Viable Product (MVP) เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยเซนเซอร์จำนวน 16 หัว โดยเป็นเซนเซอร์ประเภท metal oxide จำนวน 8 หัวเซนเซอร์ และเป็น polymer-carbon nanotube gas sensors จำนวน 8 หัวเซนเซอร์



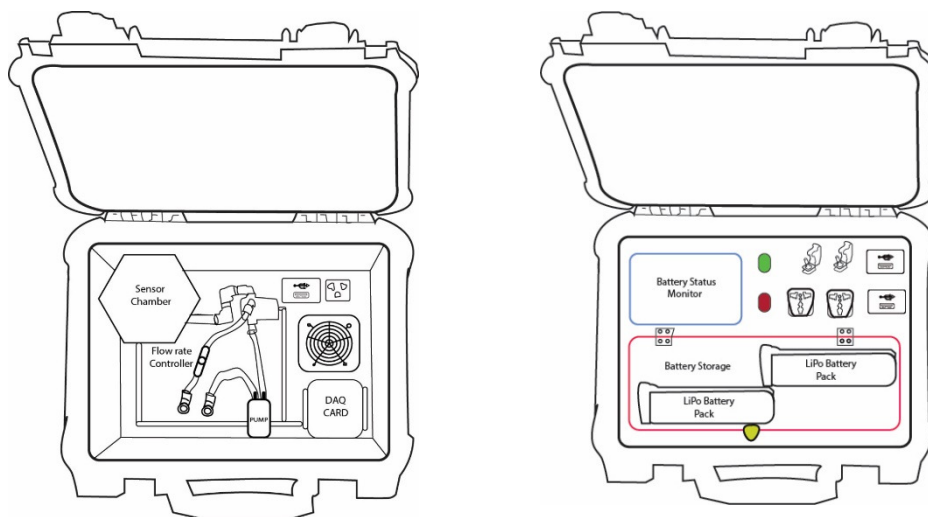
รูปที่ 3-6 ภาพแสดงการประกอบเครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีหัววัดเซนเซอร์ 2 ชุด โดยเป็นเซนเซอร์ประเภท metal oxide จำนวน 8 หัวเซนเซอร์ และเป็น polymer-carbon nanotube gas sensors จำนวน 8 หัวเซนเซอร์



รูปที่ 3-7 ภาพแสดง การพัฒนาด้านแบบ Minimal Viable Product (MVP) เครื่องจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์สำหรับ
ตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ที่เหมาะสมกับการใช้งานในภาคสนาม (Field Optimization) เช่น หน้าหนัก
ระบบพลังงาน ความยากง่ายในการใช้งานกลางแจ้ง เป็นต้น



รูปที่ 3-8 ภาพแสดงรูปลักษณะของอุปกรณ์ต้นแบบจุ่มกิโลอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการตรวจวัดกลิ่นเหม็นใน
สิ่งแวดล้อม



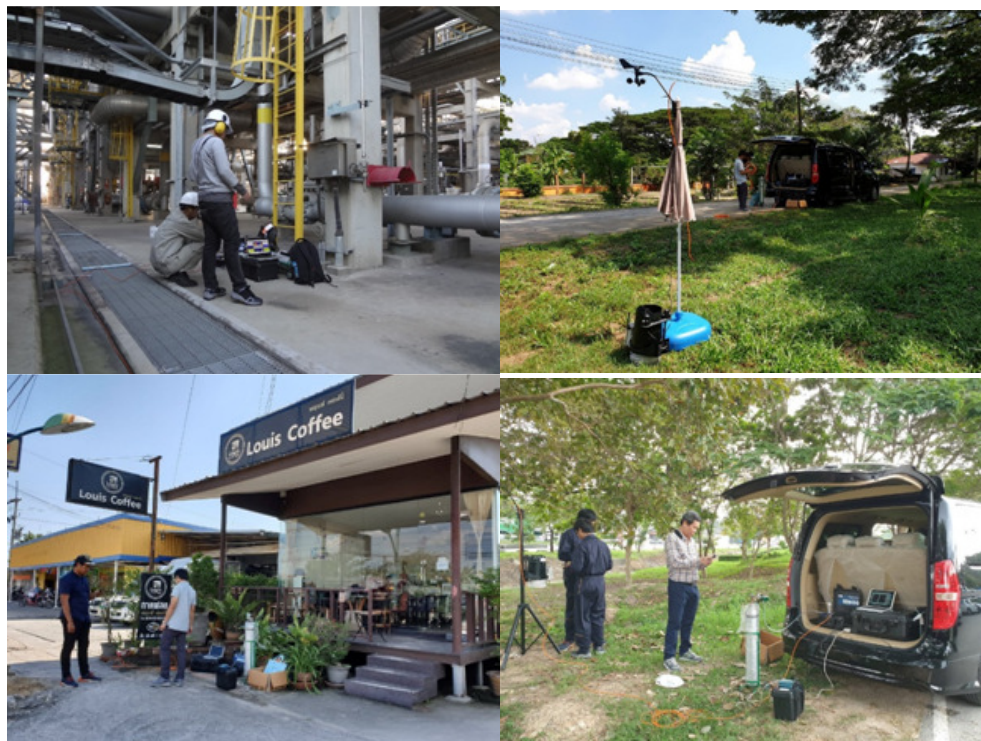
รูปที่ 3-9 แบบพิมพ์เขียว การวางอุปกรณ์ต่างๆ ของต้นแบบจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์เพื่อการตรวจวัดกลิ่นเหม็นใน
สิ่งแวดล้อม

3. ผลงานจากโครงการ / การนำผลจากโครงการวิจัยไปใช้ประโยชน์

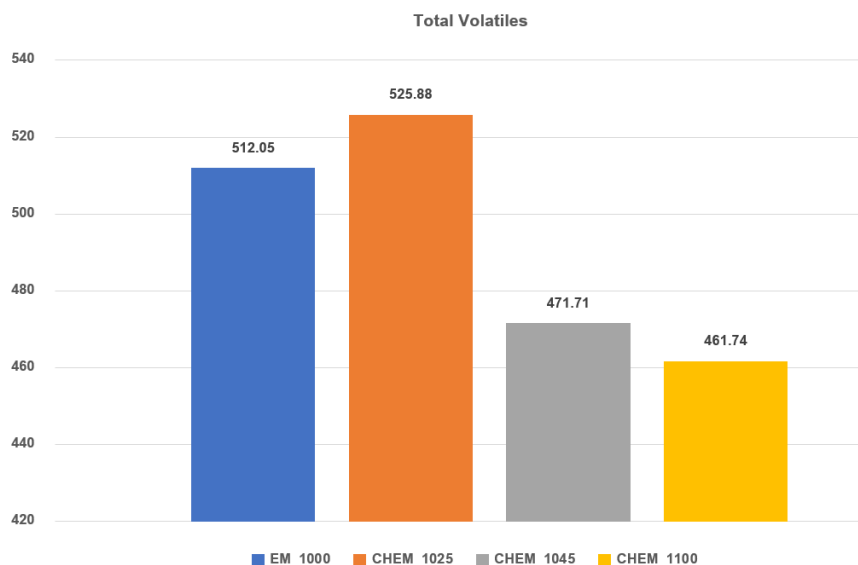
- ได้ร่วมกับ บริษัท จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ จำกัด นำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นจากโครงการนี้ ไปทำการตรวจวัดกลิ่นรบกวนจากโรงงานอุตสาหกรรมรอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จ.ระยอง ที่แพร่ออกไปยังชุมชนข้างเคียงนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งมีการร้องเรียนมาอย่างยาวนาน แต่ยังไม่ได้รับการแก้ไขโดยตรงไม่ได้ โดย บริษัท จุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์ จำกัด ได้รับการว่าจ้าง (ขอปิดชื่อผู้ว่าจ้าง) ให้ทำแผนที่การแพร่กระจายของกลิ่น และระบุหาตำแหน่งการปล่อยกลิ่น ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาว่ากลิ่นมาจากส่วนใดของนิคมอุตสาหกรรม (มูลค่าโครงการ ที่ได้รับการว่าจ้าง = 600,000 บาท) ทั้งนี้ ในปี 2562 นี้ บริษัทจะได้รับการว่าจ้างให้ทำการศึกษาต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยให้เกิดการแก้ปัญหาในระยะยาวต่อไป ซึ่งจะมีผลกระทบทำให้ชุมชนรอบ ๆ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น (มูลค่าโครงการปี 2562 = 1,900,000 บาท)



รูปที่ 3-10 ภาพแสดงตำแหน่งชุมชนในพื้นที่มาบตาพุด ที่คณะวิจัย และ บริษัท จมูกอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ได้นำเทคโนโลยี IoT – Digitization of Smell ไปศึกษาการกระจายของกลิ่นเหม็นจากโรงงานสู่ชุมชนรอบนิคมอุตสาหกรรม



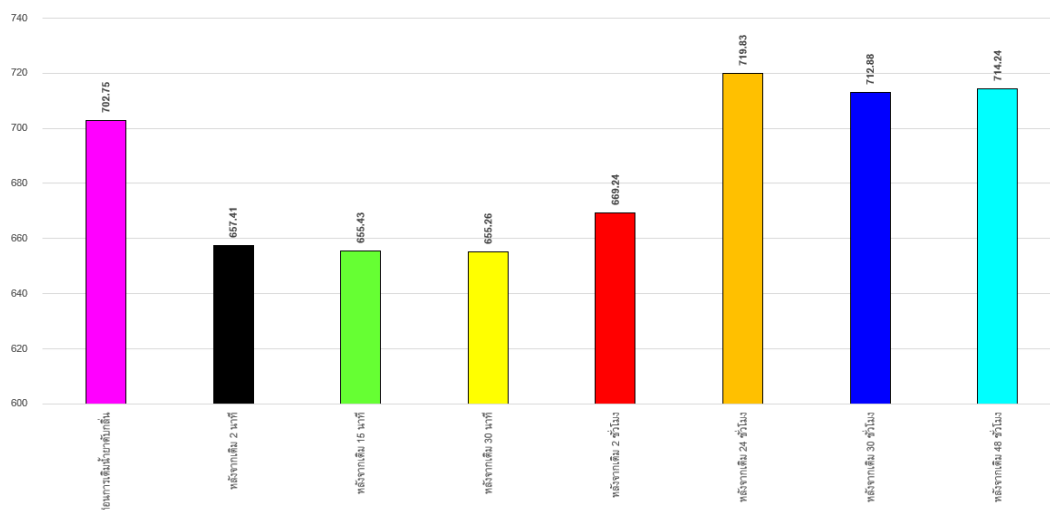
รูปที่ 3-11 ภาพแสดง ตัวอย่างการนำเทคโนโลยี IoT – Digitization of Smell ไปศึกษาการกระจายของกลิ่นเหม็นจากโรงงานสู่ชุมชนรอบนิคมอุตสาหกรรม



รูปที่ 3-14 ภาพแสดงสัญญาณกลิ่นรวมของขยะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จากการใช้น้ำยาบำบัดกลิ่นแบบเคมีสูตรใหม่ เทียบกับน้ำยาบำบัดกลิ่นแบบที่ใช้กันทั่วไป (น้ำยา EM) นั้นทำให้กลิ่นลดลง โดยน้ำยาบำบัดกลิ่นชนิดใหม่ จะทำงานอย่างชัดเจนหลังใช้ไปแล้ว 20 นาที



รูปที่ 3-15 ภาพแสดงการนำมูลก๊อเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคู่สำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ไปใช้ตรวจวัดประสิทธิภาพของน้ำยาดับกลิ่น ที่โรงงานต้นแบบเพื่อรีไซเคิลขยะ



รูปที่ 3-16 ภาพแสดงสัญญาณกลิ่นรวมของขยะหลังจากใช้น้ำยาดับกลิ่นไปแล้ว เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งทำให้ลูกค้ารู้ว่าน้ำยาดับกลิ่นยี่ห้อไหน ทำงานได้ดีที่สุด มีประสิทธิภาพในช่วงเวลายาวนานเท่าใด เพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน

- ได้ร่วมกับ บริษัท จมูกอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด นำเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นจากโครงการนี้ ไปทำการตรวจวัดกลิ่นรบกวนจากโรงไฟฟ้า (ขอปิดชื่อผู้ว่าจ้าง) โดยทางโรงไฟฟ้ามักจะได้รับการร้องเรียนจากชุมชนใกล้เคียงโรงไฟฟ้าเป็นประจำ แต่โรงไฟฟ้าคิดว่าไม่ใช่กลิ่นของโรงไฟฟ้า ทางผู้วิจัยและบริษัทจึงได้ร่วมกันศึกษาวิเคราะห์รูปแบบของกลิ่นที่เกิดขึ้นในโรงไฟฟ้า กับ กลิ่นที่เกิดขึ้นในชุมชน ซึ่งยังผลให้ทางชุมชนมีความเชื่อมั่นมากขึ้นว่าทางโรงไฟฟ้ามีความจริงใจในการแก้ปัญหา โดยผลการศึกษาช่วยทำให้โรงไฟฟ้านำมาตัดสินใจได้ว่า จะสื่อสารกับชุมชนอย่างไร เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาได้ (มูลค่าโครงการ = 1 ล้านบาท)

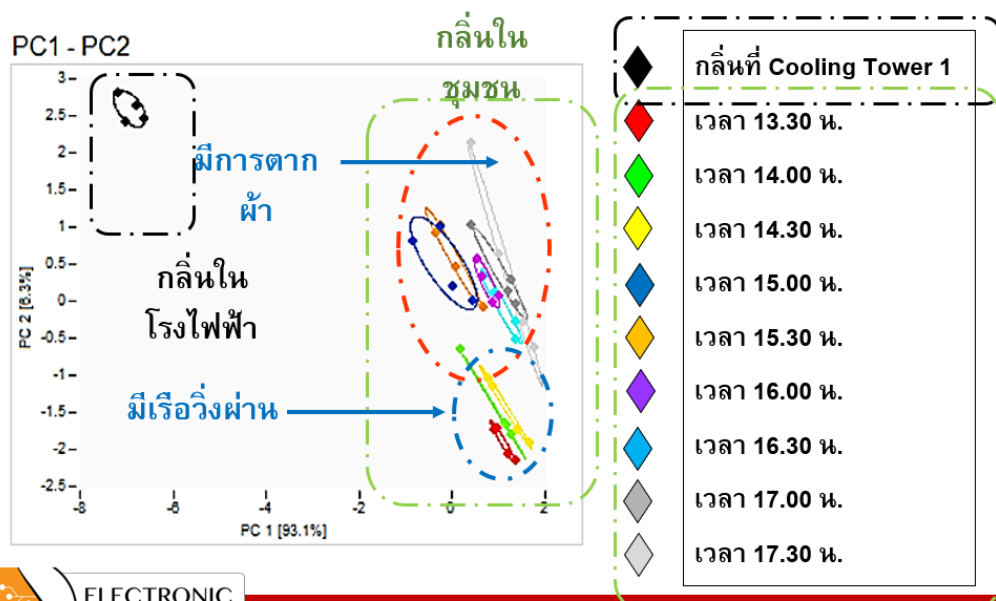


รูปที่ 3-17 ภาพแสดงการนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ไปใช้ตรวจวัดกลิ่นในโรงไฟฟ้า



รูปที่ 3-18 ภาพแสดงการนำจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคู่สำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม ไปใช้ตรวจวัดกลิ่นในชุมชนรอบโรงไฟฟ้า

ลักษณะกลิ่นโรงไฟฟ้าเทียบกับกลิ่นในชุมชน

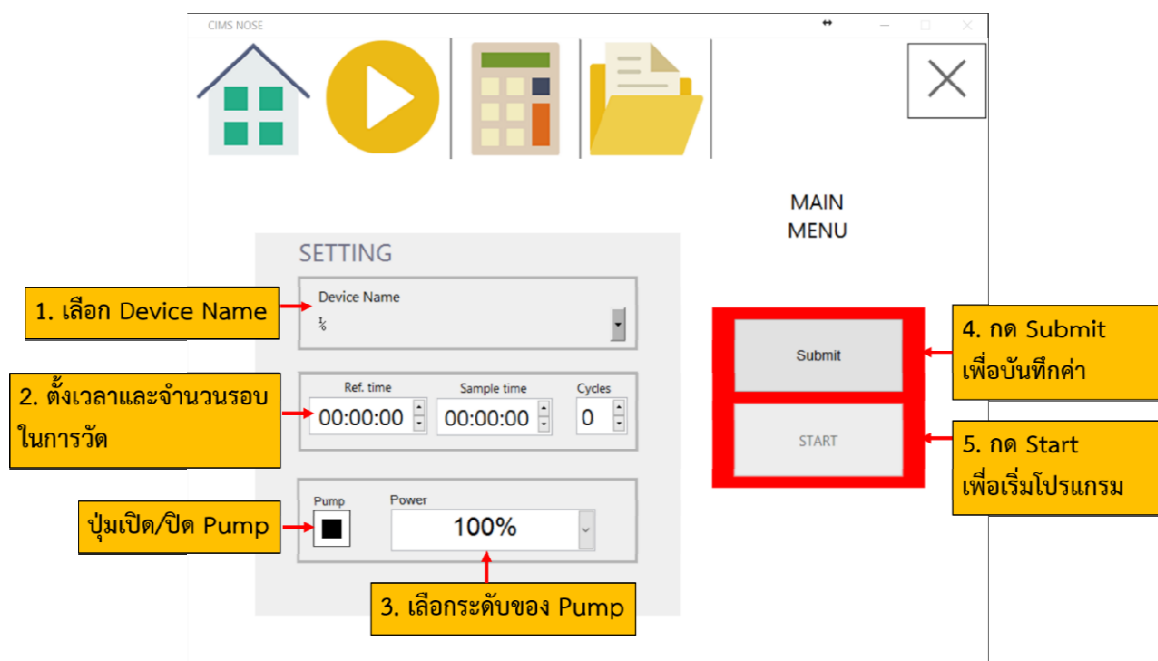


© 2018 Electronic Nose Co., Ltd.

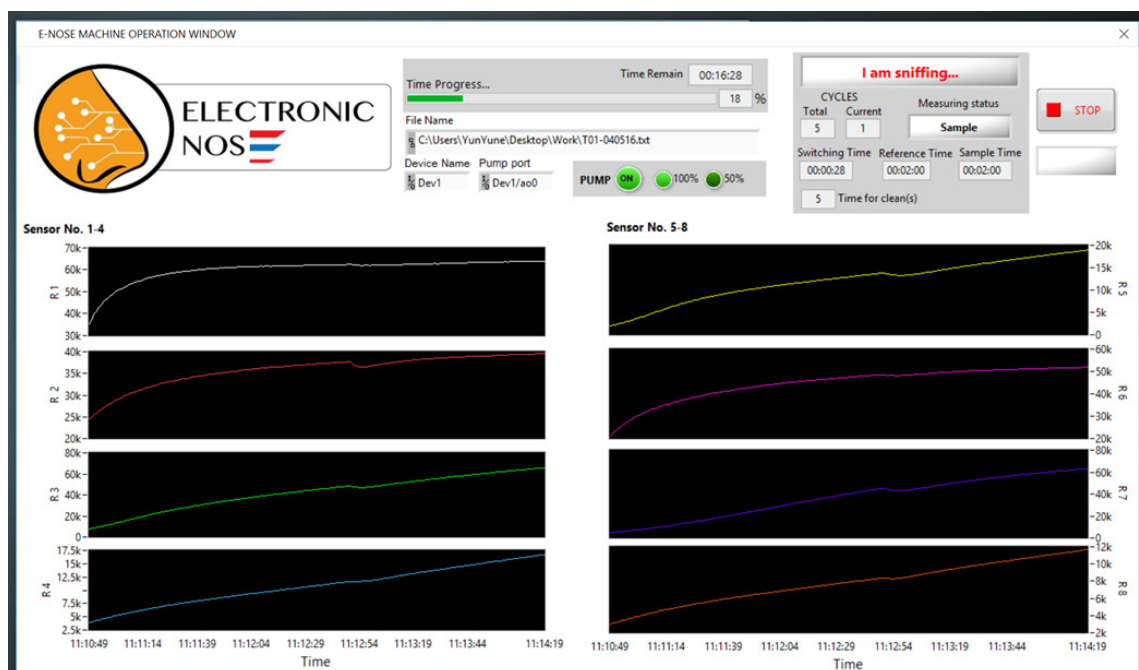
38

รูปที่ 3-19 ภาพแสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์กลิ่นในชุมชน เทียบกับกลิ่นจากโรงไฟฟ้า ทำให้พบว่า กลิ่นของชุมชนขึ้นกับกิจกรรมต่าง ๆ ในชุมชน ซึ่งมีความแตกต่างจากกลิ่นในโรงไฟฟ้า

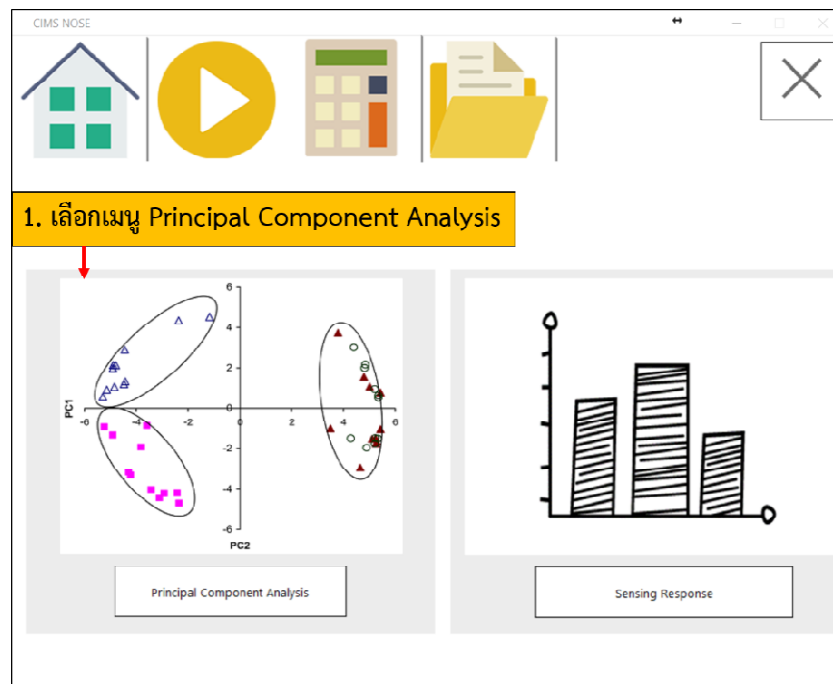
- การพัฒนา Algorithm และระบบแสดงผลการตรวจวัดกลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้แสดงผลเข้าใจได้ง่าย ผู้ใช้งานสามารถบันทึกผลการทดลอง และสามารถนำผลการตรวจวัดกลิ่นไปใช้งานได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง มีข้อมูล และหลักฐานการทดลองทางวิทยาศาสตร์รับรอง ซึ่งบริษัทจมูกอิเล็กทรอนิกส์ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมแสดงผลของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับงานตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อมดังนี้



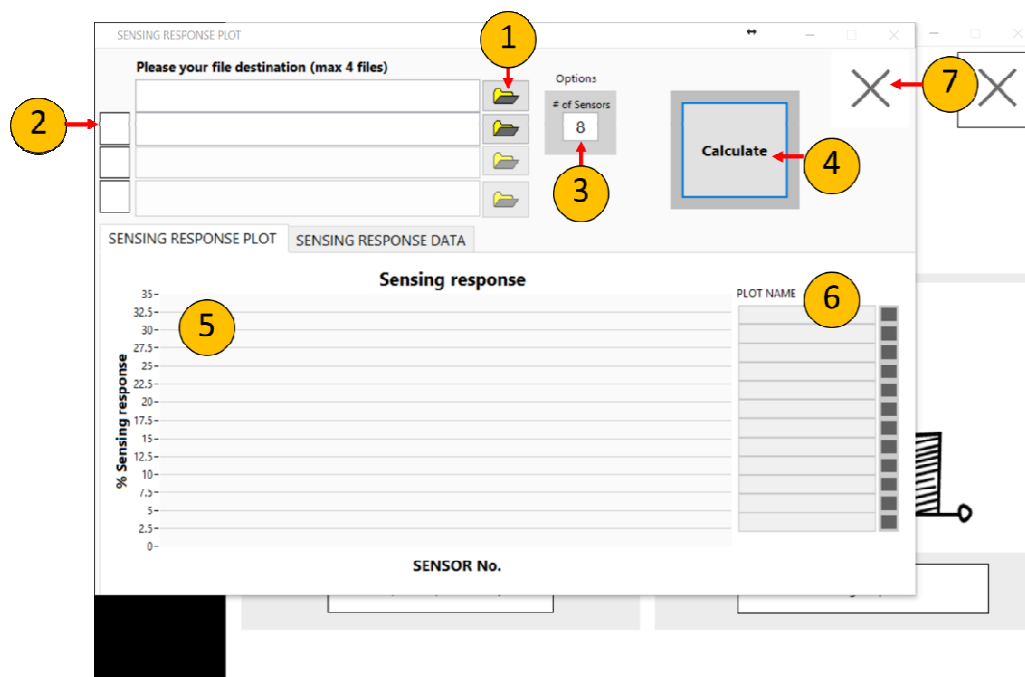
รูปที่ 3-20 ภาพแสดงตัวอย่างโปรแกรมการตั้งค่าการตรวจวัดเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3-21 หน้าต่างแสดงสัญญาณการตรวจวัด ในหน้าต่างนี้จะแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้ตั้งค่าไว้ทั้งหมดและแสดงสัญญาณแบบ Real-Time ของค่าที่ sensor ทั้งสิบหกชนิด รอจนเครื่องทำงานเสร็จหน้าต่างจะปิดอัตโนมัติ



รูปที่ 3-22 การวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการ PCA (Principal component analysis)



รูปที่ 3-23 การวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการหาค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองของเซนเซอร์ (Percent Sensing Response)

4. กิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

(1) ผลงานอื่น ๆ เช่น การไปเสนอผลงาน การได้รับเชิญไปเป็นวิทยากร

ได้ไปแสดงผลงานที่ 18th International Nanotechnology Exhibition and Conference (Nanotech 2019) ซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 30 มกราคม ถึงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2562 ณ กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น โดยใน

งานจะเป็นการจัดนิทรรศการด้านเทคโนโลยี ที่มีผู้เข้าร่วมจัดนิทรรศการกว่า 23 ประเทศ ภายใต้แนวคิด “Nanovation for Society” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประชาสัมพันธ์งานวิจัยและการพัฒนาด้านเทคโนโลยีของประเทศไทย เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสในการสร้างความร่วมมือด้านการพัฒนาผลงานวิจัยและด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านนาโนเทคโนโลยีสู่ภาคอุตสาหกรรม โดยในการจัดนิทรรศการครั้งนี้ ทางผู้วิจัยได้จัดแสดงนวัตกรรมเครื่องจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีผู้เข้าร่วมงานให้ความสนใจเป็นอย่างมาก



รูปที่ 3-24 การออกนิทรรศการประชาสัมพันธ์เทคโนโลยีจุ่มอิเล็กทรอนิกส์

(2) การเชื่อมโยงทางวิชาการกับนักวิชาการอื่น ๆ ทั้งในและต่างประเทศ รวมถึงการเชื่อมโยงกับผู้ใช้ประโยชน์ มีการเชื่อมโยงกับผู้ใช้ประโยชน์ ดังนี้

- บริษัท จุ่มอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด เป็นผู้ร่วมมือในการนำผลงานไปใช้ประโยชน์
- โรงงานอุตสาหกรรมในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (ขอปิดชื่อผู้ประกอบการ) เป็นลูกค้า
- โรงงานแยกขยะ จ. สมุทรสาคร (ขอปิดชื่อผู้ประกอบการ) เป็นลูกค้า
- โรงงานรีไซเคิลขยะ จ. ระยอง (ขอปิดชื่อผู้ประกอบการ) เป็นลูกค้า
- โรงไฟฟ้า (ขอปิดชื่อผู้ประกอบการ) เป็นลูกค้า

5. แผนการตลาด (Business Model)

Problem	Solution	Unique Value Proposition	Unfair Advantage	Customer Segments
(1) มีกลิ่นเหม็นที่เกิดจากวัตถุขี้ป่องกระบวนการผลิต ของที่เหลือจากกระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์จากการผลิต (2) มีความขัดแย้ง และเกิดการฟ้องร้องจากชุมชนใกล้เคียง เนื่องมาจากกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดกลิ่นภายในโรงงาน (3) ไม่ทราบแหล่งที่มาของกลิ่นเหม็นที่ทำให้เกิดการร้องเรียนนั้น เนื่องจากภายในโรงงานจะมีแหล่งกำเนิดกลิ่นหลากหลายที่ แต่โรงงานไม่ทราบว่าแหล่งกำเนิดกลิ่นไหนที่กลิ่นลอยไปสู่ชุมชน (4) ไม่มีตัวชี้วัดที่เป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ว่า เมื่อแก้ไขปัญหาที่แหล่งกำเนิดกลิ่นแล้ว กลิ่นมีการลดลงจริง (5) การแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม	(1) สร้างเครื่องกำจัดกลิ่นมาครอบในหลายๆ ปล่อง ข้อต่อ หรือเครื่องจักรที่สามารถปล่อยกลิ่นเหม็นได้ เพื่อให้กำจัดกลิ่นที่จะถูกปล่อยออกมาให้ได้ 100% (2) หาเครื่องมือที่มีมาตรฐานที่สามารถยอมรับได้ทั้งฝ่ายโรงงาน ชุมชน และหน่วยงานรัฐ เพื่อทำหน้าที่ในการตรวจสอบระดับความเหม็นของกลิ่น เพื่อลดความขัดแย้งที่เกิดขึ้น (3) เครื่องมือดังกล่าวจะต้องสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ทุกสภาวะอากาศ และสามารถส่งสัญญาณไร้สาย เพื่อรวบรวมข้อมูลในแต่ละจุดไปยังห้องควบคุมได้ (4) หาเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์รูปแบบ และลักษณะการแพร่กระจายของกลิ่นได้ เพื่อให้สามารถรู้แหล่งกำเนิดกลิ่นรบกวน	(1) สามารถแปลงผลให้กลิ่นเข้าใจง่าย เป็นตัวเลข กราฟ และแผนที่ (Quantification) (2) สามารถปรับปรุงระบบให้ตรงกับความต้องการ และโจทย์ของลูกค้าได้ (Customization) (3) สามารถระบุความเข้ม ทิศทางต้นกำเนิด ของกลิ่นเหม็นได้ (Determination) (4) สามารถใช้ผลจากเครื่องมือเป็นหลักฐานในการแก้ไขปัญหากลิ่นเหม็นได้	(1) เป็นสตาร์ทอัพ ที่มาจากมหาวิทยาลัย (2) มีสิทธิบัตรเป็นของตัวเองทั้งในส่วนของ Hardware และ Software (3) Technology advisor ของบริษัทที่มีประสบการณ์ด้านเทคโนโลยีภูมิอิเล็กทรอนิกส์มากกว่า 15 ปี (4) CEO และทีมงาน ทำงานด้านเซนเซอร์ และภูมิอิเล็กทรอนิกส์มากกว่า 5 ปี (5) มีคอนเนคชั่นที่ดีกับภาครัฐที่ทำหน้าที่ในการสนับสนุนให้อุตสาหกรรมนำเทคโนโลยีจากมหาวิทยาลัยไปใช้ ทำให้สามารถเข้าถึงฐานลูกค้าที่มากกว่า (6) เข้าใจธรรมชาติของกลิ่น และเป็นเจ้าของเทคโนโลยีเอง ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาลูกค้าได้อย่างถูกต้อง	● โรงงานอุตสาหกรรม และโรงปศุสัตว์ขนาดกลาง – ใหญ่ที่มีปัญหากลิ่นเหม็นรบกวนชุมชน (ลูกค้าหลัก) ● หน่วยงานรัฐที่มีหน้าที่ควบคุมเรื่องมลพิษ ● ชุมชนที่มีปัญหากลิ่นเหม็นรบกวน ● หน่วยงานท้องถิ่น หน่วยงานบริหารเมือง ที่มีความต้องการทำ Smart City / Smart Town / Smart Village

เป็นการลงทุนที่ไม่ก่อให้เกิดผลตอบแทน ดังนั้นจึงต้องการลงทุนด้านนี้น้อยที่สุด	นั้น		
	Key Metrics Acquisition: 25 – 30 บริษัท ที่ได้พบเจอจากการออกบูท หรือได้มีการแลกเปลี่ยนบัตรจากงานต่างๆ เช่น business matching Activation: 3 – 4 บริษัท ที่ได้มีการเรียกให้เข้าไปนำเสนอผลิตภัณฑ์กับคณะผู้บริหาร Retention: 3 – 4 บริษัท ที่ได้มีการเรียกให้เข้าไปพูดคุยรายละเอียดอีกครั้ง เพื่อตกลงด้านราคา Referral: 1 - 2 บริษัท ได้มีการแนะนำต่อไปยังบริษัทพันธมิตรหรือบริษัทคู่ค้าที่มีปัญหาเดียวกัน Revenue: 2 – 3 บริษัท ที่เกิดการจ้างงาน	Channels การประชาสัมพันธ์ - ผ่านการออกบูทพวกเทคโนโลยีอุตสาหกรรมต่าง ๆ (เน้นงานที่มีโรงงานขนาดใหญ่ และกลางเข้าร่วม) - ผ่านบริษัทที่ทำเทคโนโลยีกำจัดกลิ่น - ผ่านหน่วยงานของภาครัฐที่ทำหน้าที่สนับสนุนอุตสาหกรรมในด้านการพัฒนาเทคโนโลยีของตัวเอง - ผ่านมหาวิทยาลัย หน่วยสนับสนุนด้านการพัฒนาธุรกิจ การจัดส่งสินค้า - ส่งสินค้าให้ลูกค้าโดยตรงผ่านบริษัท	
Cost Structure (1) Fix cost: ค่าจ้างพนักงาน, ค่าบริหาร, ค่าสาธารณูปโภคและค่าเช่าอาคารสำนักงาน ประมาณ 80,000 บาท ต่อเดือน (2) Variable cost: ค่าวัตถุดิบ, ค่าขนส่ง, ค่าบรรจุภัณฑ์, ค่าจ้างฝ่ายผลิต ประมาณ		Revenue Steams (1) การขายระบบจุกมิเกลทริกสำหรับตรวจวัดกลิ่นเหม็น (เป็นโครงการ โดยมีราคาขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องที่ติดตั้ง) (2) เป็นที่ปรึกษาการแก้ไขปัญหากลิ่นเหม็น โดยการร่วมมือกับภาครัฐ และ	

130,000 บาทต่อเครื่อง (3) Marketing, Customer Acquisition cost: ผ่านการออกนิทรรศการต่าง และ การเดินทางเพื่อพบลูกค้า 200,000 บาทต่อปี	ภาคอุตสาหกรรมที่ต้องการพัฒนาเทคโนโลยีภูมิอิเล็กทรอนิกส์ตรวจวัดกลิ่น เหม็นไปใช้แก้ไขปัญหากลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมของตนเอง (3) ในอนาคตขยายตลาดเข้าสู่ Smart Building ระบบควบคุมคุณภาพอากาศใน อาคารต่างๆ
---	---

6. กลยุทธ์และแผนการออกสู่ตลาด

การกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาด

ด้านผลิตภัณฑ์ (product)

กำหนด Positioning ของผลิตภัณฑ์ไว้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใหม่และมีนวัตกรรมระดับโลก เป็นระบบจุ่มอิเล็กทรอนิกส์ ใช้การแปลผลของข้อมูลกลิ่นร่วมกับข้อมูลสภาพอากาศ เพื่อสร้างโมเดลการแพร่กระจายของกลิ่นสามารถแจ้งเตือนความรุนแรงของกลิ่นที่มากเกินไปมาตามฐานไปยังศูนย์ควบคุมได้ มีระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อเรียนรู้รูปแบบต่างๆ ของกลิ่น ทำให้สามารถพัฒนาความฉลาดขึ้นไปเรื่อยๆ ได้

ด้านราคา (price)

เทคโนโลยีดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นภายในประเทศไทย ทำให้มีราคาที่ถูกลงกว่าการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ทั้งในเรื่องของตัวสินค้าเอง และเมื่อเทียบกับค่าการบำรุงดูแลรักษาในระยะยาวแล้ว ยังมีต้นทุนทางด้านราคาที่ถูกลงมาก โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจ้างผู้เชี่ยวชาญที่ผ่านการฝึกฝนในด้านการดมกลิ่น โดยเฉพาะที่มีค่าจ้างในการดม 1 ครั้งอยู่ที่ระดับ 50,000 – 100,000 บาท

ด้านช่องทางจัดจำหน่าย (place)

ใช้ช่องทางการขายตรงไปยังโรงงานต่างๆ ที่มีปัญหาผ่านทางเว็บไซต์ของบริษัท และ Social Media

การส่งเสริมการขาย (promotion)

มีการจัดกิจกรรมเพื่อแนะนำผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่รู้จัก ใช้สื่อของภาครัฐในลักษณะของการให้ความรู้เกี่ยวกับกลิ่นเหม็น กลิ่นรบกวน รวมถึงการจัดให้มีการสาธิตและทดลองใช้ผลิตภัณฑ์โดยผู้ที่เป็น Potential Customer เพื่อให้เกิดการรู้จักเทคโนโลยีนี้ในวงกว้าง มีการนำเทคโนโลยีไปออกบูทในงานนิทรรศการและงานแสดงสินค้าที่เกี่ยวข้องอย่างสม่ำเสมอ

แผนการออกสู่ตลาดของเทคโนโลยีดังกล่าว บริษัทได้วางแผนไว้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

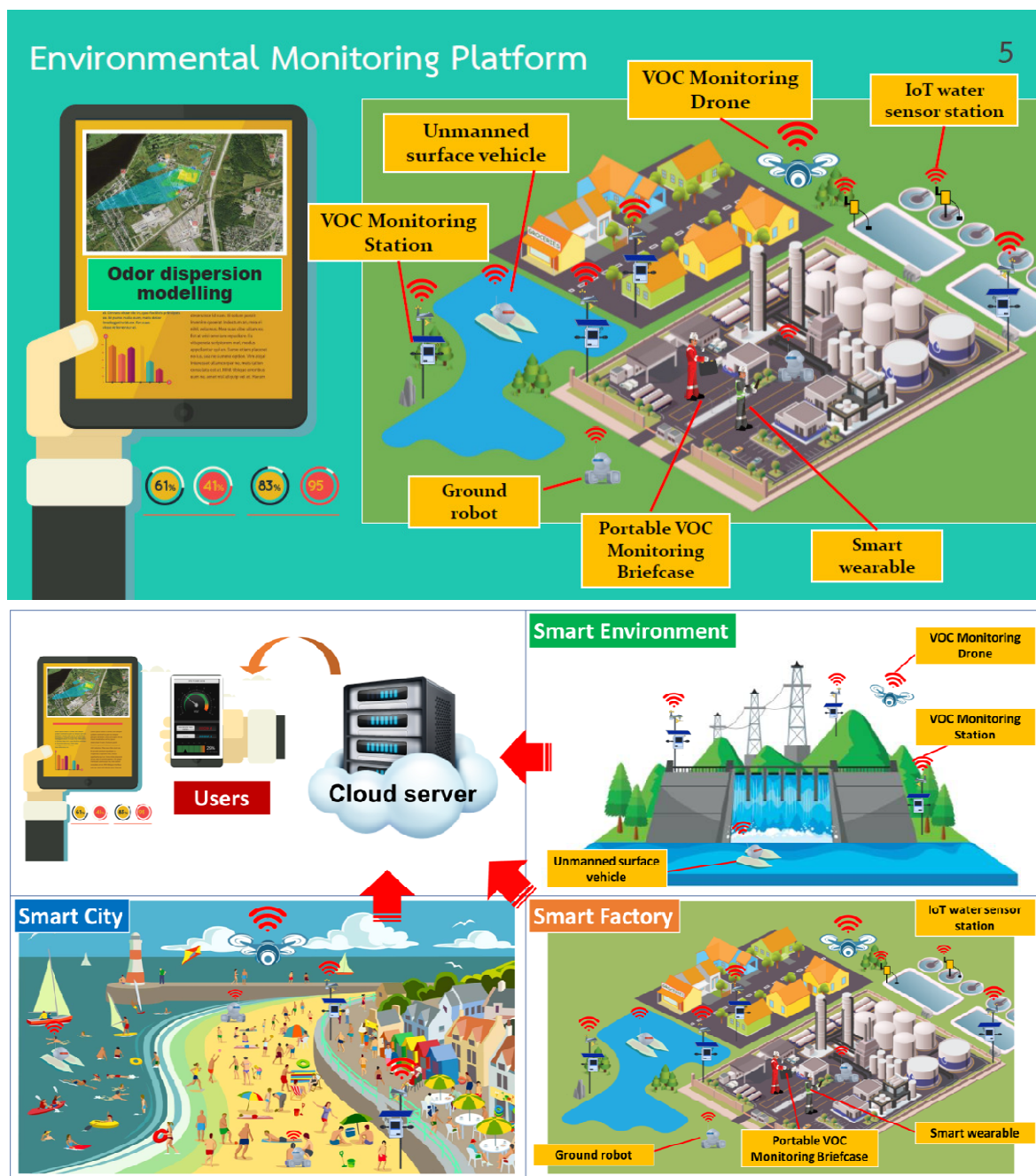
1. ระยะใกล้ 1-3 ปีแรก

เน้นการทำการตลาด และประชาสัมพันธ์ให้กับอุตสาหกรรมต่างๆ และโรงปศุสัตว์ เช่นฟาร์มหมู ฟาร์มไก่ ที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนต่อชุมชนใกล้เคียง โดยเฉพาะที่ใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูง หรือมีกลิ่นที่ไวต่อการรับรู้ของมนุษย์ ซึ่งขั้นต้นจะเน้นตลาดในประเทศไทยและประเทศอาเซียนโดยเฉพาะประเทศในกลุ่ม CLMV ก่อน โดยจะทำการขายสถานีตรวจวัดกลิ่นออนไลน์ และให้คำปรึกษา รวมถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น และสิ่งแวดล้อมกับลูกค้าโรงงานอุตสาหกรรม หรืออุตสาหกรรมอื่นที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ ฝ้าระวัง และกำจัดกลิ่นเหม็น

2. ระยะกลางและระยะยาว 3 ปีขึ้นไป

บริษัทจะนำเงินรายได้ที่เกิดขึ้นจากช่วงระยะเริ่มต้น มาพัฒนาผลิตภัณฑ์อื่นๆ สำหรับกลุ่มลูกค้าในอนาคต โดยจะเน้นไปที่การพัฒนาาระบบเซนเซอร์ไร้สาย และระบบ Internet of Things (IoTs) ในยุคประเทศไทย 4.0 เพื่อตอบสนองต่อการพัฒนาของโครงการต่างๆ เช่น โรงงานอัจฉริยะ (Smart factory) เมืองอัจฉริยะ (Smart city) สิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ (Smart Environment) หรือตึกอัจฉริยะ (Smart building) ซึ่งเทคโนโลยีตรวจวัดกลิ่นและ

คุณภาพอากาศออนไลน์นี้สามารถเข้ามาเพิ่มความสามารถของระบบเซนเซอร์ในด้านของการควบคุม และดูแลคุณภาพของอากาศ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญสำหรับการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้อยู่อาศัยในบริเวณนั้นอย่างมาก



รูปที่ 3-24 ภาพแนวคิดผลิตภัณฑ์เซนเซอร์ไอโอทีของบริษัทที่ทำการตรวจวัดสิ่งแวดล้อมแบบครบวงจร

บทที่ 4

ผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อสิ้นสุดการวิจัย

1. ผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อสิ้นสุดการวิจัย

1. Output

- ต้นแบบเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม (Minimal Viable Product) ที่สามารถใช้ทดสอบตลาด และแก้โจทย์ปัญหาในอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม
- ซอฟต์แวร์ และปัญญาประดิษฐ์สำหรับตรวจวัดและวิเคราะห์กลิ่นในสิ่งแวดล้อม
- คู่มือการใช้งานเครื่อง
- โมเดลทางธุรกิจ จมูกอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม
- แผนการตลาด

2. Outcome

ได้เทคโนโลยีตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อมที่ภาคอุตสาหกรรมรอคอยมานาน โดยในเฟสที่ 1 นี้ เราจะได้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้ว ที่ใช้ตรวจวัด วิเคราะห์ประเมินปัญหากลิ่น สามารถพกพาไปตรวจวิเคราะห์กลิ่นเหม็น กลิ่นรบกวน ที่ปลดปล่อยจากอุตสาหกรรม ฟาร์มปศุสัตว์ บ่อขยะ มีความสามารถในการตรวจวิเคราะห์หาสาเหตุ จุดกำเนิดกลิ่น เพื่อนำไปสู่การแนะนำวิธีแก้ปัญหากลิ่น ทั้งนี้ความสามารถในการแสดงผลเชิงวิทยาศาสตร์ออกมาเป็นตัวเลข กราฟ และ รูปภาพ จะช่วยลดความขัดแย้งระหว่างโรงงาน กับ ชุมชน รอบข้างได้ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาของการเกียงงอนว่า ใครปล่อยกลิ่น กลิ่นที่ปล่อยออกมารบกวนจริงหรือไม่ เป็นต้น

ในระยะต่อไป หรือใน เฟส 2 (ซึ่งจะขอรับการสนับสนุนจาก สกว.ในอนาคตนั้น) เทคโนโลยีนี้ สามารถต่อยอดขยายผลเพื่อ พัฒนาเป็น ระบบตรวจวัดกลิ่นแบบเครือข่ายไร้สาย (Internet-of-Things Monitoring) ติดตั้งรอบๆ โรงงานและนิคมอุตสาหกรรม ที่สามารถเฝ้าระวังการรั่วไหลของกลิ่น ก่อนที่จะออกไปสู่ชุมชน รวมทั้งการพัฒนาเป็น โดรนตรวจวัดกลิ่น (Flying Electronic Nose) ที่สามารถตรวจวิเคราะห์หาสาเหตุ และติดตามต้นกำเนิดกลิ่น ไปจนถึงเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) และระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ที่สามารถเฝ้าระวังกลิ่น มลภาวะ และคุณภาพอากาศแบบออนไลน์ เพื่อช่วยพัฒนาโรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) และ เมืองอัจฉริยะ (Smart City) ต่อไปได้

3. Impact

จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษพบว่า ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีจำนวนโรงงานที่ถูกร้องเรียนเรื่องปัญหามลพิษด้านกลิ่นเหม็นรบกวนชุมชนข้างเคียงเป็นจำนวน 472 โรง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นทุกปีจากอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และจากประเทศคู่ค้าที่สำคัญ จึงทำให้มูลค่าตลาดของเทคโนโลยีตรวจวัดกลิ่นเพื่อการประยุกต์ใช้ทางด้านสิ่งแวดล้อม คิดเป็นมูลค่าอย่างน้อย 300 ล้านบาทต่อปี ปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นที่รบกวนชาวบ้านนอกจากจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพทางกายของผู้ที่อยู่อาศัยรอบโรงงานที่ปล่อยกลิ่นเหม็นแล้ว ยังสามารถส่งผลกระทบทางอ้อมต่อสุขภาพทางอารมณ์ของผู้ที่ได้รับผลกระทบอีกด้วย ซึ่งการตรวจวัดกลิ่นเหม็นด้วยเทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์ จะสามารถเข้าไปช่วยทำให้การแก้ไขปัญหากลิ่นเหม็นเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถลดความขัดแย้งที่เกิดขึ้นกับชุมชนใกล้เคียงได้ และได้ยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในบริเวณใกล้เคียง รวมทั้งยังเป็นการแสดงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมอันจะทำให้ภาคลักษณะของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ดีขึ้นทั้งในระดับประเทศ และระดับนานาชาติ โดยมีผลกระทบเชิงเศรษฐกิจและสังคมที่สำคัญดังนี้

- ผู้ประกอบการและโรงงานอุตสาหกรรมสามารถลดปัญหากลิ่นเหม็นที่ส่งผลกระทบต่อชุมชนใกล้เคียง และสามารถหาสาเหตุของปัญหากลิ่นเหม็นได้
- ผู้ประกอบการและโรงงานอุตสาหกรรมสามารถลดรายจ่ายที่เกิดจากการแก้ไขปัญหากลิ่นเหม็นที่ไม่ตรงจุดได้
- ผู้ประกอบการและโรงงานอุตสาหกรรมสามารถลดรายจ่ายจากการเยียวยาชุมชนใกล้เคียงที่ได้รับผลกระทบจากการปล่อยกลิ่นเหม็นของโรงงานได้
- สามารถลดภาระหน่วยงานของรัฐที่มีเกี่ยวข้องกับควบคุมการปล่อยกลิ่นเหม็น เช่น กรมควบคุมมลพิษ และตำรวจ จากการฟ้องร้องระหว่างชุมชนใกล้เคียงกับโรงงานได้
- ประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงโรงงานที่ปล่อยกลิ่นเหม็นมีสุขภาพร่างกาย และสุขภาพจิตดีขึ้น จากการแก้ไขปัญหากลิ่นเหม็นที่มีประสิทธิภาพ ทำให้รัฐสามารถลดรายจ่ายจากการรักษาพยาบาลผู้ที่ได้รับผลกระทบจากปัญหากลิ่นเหม็นได้
- คุณภาพชีวิตของประชาชนที่อาศัยอยู่รอบโรงงานที่ปล่อยกลิ่นเหม็น ดีขึ้น
- เกิดการพัฒนาและสร้างมาตรฐานกลิ่นเหม็นใหม่ โดยการใช้เทคโนโลยีจมูกอิเล็กทรอนิกส์มาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญของกรมควบคุมมลพิษ

2. กระบวนการผลักดันผลงานออกสู่การใช้ประโยชน์

การผลักดันผลงานออกสู่การใช้ประโยชน์ จะผ่าน 2 ช่องทาง ได้แก่

1. ผ่านศูนย์นาโนเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยผ่านช่องทางของ Business Unit โดยการใช้ช่องทางนี้จะเน้นงานประเภท B2G และงานประเภท Contract Research ที่ต้องการมีวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหากลิ่นของโรงงานอุตสาหกรรม ธุรกิจ หรือ หน่วยงานรัฐบาล
2. ผ่านบริษัทสตาร์ทอัพของนักศึกษา “บริษัท จมูกอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด” (Electronic Nose Company Limited) โดยการใช้ช่องทางนี้ จะเน้นงานประเภท B2C และ B2B ที่มีการซื้อผลิตภัณฑ์ไปใช้ หรือ จ้างงานบริการเพื่อแก้ปัญหาเรื่องกลิ่นจากโรงงานอุตสาหกรรม และ ธุรกิจต่างๆ

3. ขนาดและแนวโน้มของตลาด

Total Addressable market (TAM) ตลาดรวมสำหรับผลิตภัณฑ์และบริการที่เรานำเสนอทั้งหมดที่มีลูกค้าที่สามารถซื้อผลิตภัณฑ์หรือบริการ

มาจากลูกค้ากลุ่มใด	จำนวน	คิดเป็นมูลค่า (บาท)
โรงงานอุตสาหกรรม และโรงปศุสัตว์ ที่มีกลิ่นเหม็น	472 โรง	2,400,000,000
แหล่งข้อมูลอ้างอิง	กรมควบคุมมลพิษ : http://infofile.pcd.go.th/pcd/pol_stat2559.pdf?CFID=1884946&CFTOKEN=31106847	

Serviceable Available Market (SAM) เป็นตลาดที่จะสามารถครองได้สำหรับผลิตภัณฑ์ทั้งของเราและคู่แข่ง

มาจากลูกค้ากลุ่มใด	จำนวน	คิดเป็นมูลค่า (บาท)
40% ของโรงงานอุตสาหกรรม และโรงปศุสัตว์ ที่มีกลิ่นเหม็น	190 โรง	950,000,000
แหล่งข้อมูลอ้างอิง	กรมควบคุมมลพิษ : http://infofile.pcd.go.th/pcd/pol_stat2559.pdf?CFID=1884946&CFTOKEN=31106847	

	CFID=1884946&CFTOKEN=31106847
--	-------------------------------

Serviceable Obtainable Market (SOM) เป็นส่วนที่ผลิตภัณฑ์ของเราสามารถครองได้ หลังจากผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาด 6 เดือน, 1, 2 และ 3 ปี

มาจากลูกค้ากลุ่มใด	จำนวน	คิดเป็นมูลค่า (บาท)
5-10% ของโรงงานอุตสาหกรรม และโรงปศุสัตว์ ที่มีกลิ่นเหม็น ในเขตนิคมอุตสาหกรรมในจังหวัด กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และสมุทรสาคร	- 1 โรงหลังจาก 6 เดือนแรก (Pilot plant) - 2 โรงในปีที่ 1 - 8 โรงในปีที่ 2 - 20 โรงในปีที่ 3	- 1,500,000 - 3,000,000 - 12,000,000 - 30,000,000
แหล่งข้อมูลอ้างอิง	กรมควบคุมมลพิษ : http://infofile.pcd.go.th/pcd/pol_stat2559.pdf? CFID=1884946&CFTOKEN=31106847	

4. คู่แข่งในตลาดในปัจจุบัน

ในปัจจุบันกรมควบคุมมลพิษใช้มาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) E 679-91 Standard Practice for Determination of Odor Taste Thresholds by Forced Choice และ E 544-75 Standard Practices for Referencing Suprathreshold Odor Intensity ในการควบคุม และตรวจระดับความเข้มข้นของกลิ่นเหม็นจากโรงงานอุตสาหกรรม และโรงปศุสัตว์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะต้องใช้บุคลากรที่ผ่านการทดสอบและฝึกฝนในด้านการดมกลิ่นโดยเฉพาะก่อน ถึงจะสามารถดำเนินการกระบวนการทดสอบทั้ง 2 มาตรฐานได้ ซึ่งจริงๆ แล้ว วิธีการดังกล่าว อาจจะถือว่า ไม่ได้เป็นคู่แข่งโดยตรง เนื่องจากเป็นตลาดเดิม ไม่ตอบโจทย์การตรวจวัดแบบมีการแสดงผลอันเป็นที่ยอมรับ รวมทั้งการตรวจวัดแบบออนไลน์ และเรียลไทม์ ซึ่งเป็นตลาดใหม่ที่คณะวิจัยต้องการจะสร้างขึ้นมา โดยในการวิเคราะห์นี้จะพูดถึงคู่แข่งที่อยู่ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง คือ เทคโนโลยีสำหรับตรวจวัดกลิ่นเหม็น และคุณภาพอากาศ ทั้งนี้ ถึงแม้ในปัจจุบัน ยังไม่มีคู่แข่งโดยตรงในประเทศไทย แต่คู่แข่งที่มีฐานที่ตั้งในกลุ่มประเทศยุโรป และอเมริกาเหนือ ก็อาจจะมีศักยภาพในอนาคตที่จะเข้ามาแข่งขันในธุรกิจนี้ได้ จึงสมควรได้รับการกล่าวถึง

- (1) Alpha Mos เป็นบริษัทในประเทศฝรั่งเศส ที่ออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารเคมี และการตรวจวัดทางเซนเซอร์ โดยเฉพาะในเรื่องการตรวจวัดกลิ่น รสชาติ และรูปร่าง โดยบริษัท Alpha MOS มีผลิตภัณฑ์คือ เครื่องจุ่มกลิ่นอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องลิ้นอิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องตรวจจับรูปร่าง โดยจะเน้นในการประยุกต์ใช้ด้านการตรวจสอบด้านอาหาร เครื่องดื่ม เป็นหลัก อย่างไรก็ตาม เครื่องมือดังกล่าวจะเป็นเครื่องมือในระดับห้องปฏิบัติการ รวมทั้งยังไม่มีนวัตกรรมบริการด้านปัญญาประดิษฐ์ การใช้งานต้องใช้ในระดับนักวิทยาศาสตร์ในระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น
- (2) Odor Tech เป็นบริษัทสตาร์ทอัพจากประเทศแคนาดา ที่สร้างสถานีตรวจวัดกลิ่นออนไลน์ ด้วยการนำสัญญาณจากแก๊สเซนเซอร์ชนิดต่าง ๆ ร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเพื่อสร้างเป็นโมเดลการแพร่กระจายของกลิ่นรอบแหล่งกำเนิดกลิ่น อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวมีแค่สถานีตรวจวัดกลิ่นอย่างเดียวเท่านั้น ยังไม่มีอุปกรณ์แบบเคลื่อนที่ หรือ พกพาเพื่อนำไปใช้ตามที่ต่าง ๆ รวมถึงก็มีราคาที่สูงมาก ในขณะที่ระบบเทคโนโลยีตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อมตามโครงการนี้ ในระยะยาวแล้ว จะประกอบไปด้วยการทำงานของหลายอุปกรณ์ไม่ใช่เพียงแต่ระบบสถานีตรวจวัด ทำให้สามารถทำงานได้ครอบคลุมกว่า รวมถึงมีประสิทธิภาพมากกว่าด้วย

- (3) Olfactometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของกลิ่นเหม็นจากจำนวนเท่าของการละลายกลิ่นนั้น โดยใช้หลักการเดียวกันกับมาตรฐาน ASTM ในการหาค่าระดับความเข้มข้นของกลิ่นเหม็น อย่างไรก็ตามเครื่องมือดังกล่าวจะต้องใช้บุคลากรที่ผ่านการอบรม และการทดสอบความสามารถในการดมกลิ่นก่อนที่จะสามารถใช้งานเครื่องมือดังกล่าวได้ และไม่สามารถใช้งานได้ในการเฝ้าระวังการแพร่กระจายของกลิ่นเหม็นตลอดเวลาเหมือนดังอุปกรณ์สองชิ้นก่อนหน้านี้
- (4) นักดมกลิ่นที่ผ่านการฝึกจากกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งการใช้นักดมกลิ่นในการดมระดับความเข้มข้นของกลิ่นนั้นเป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้โดยทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามการใช้นักดมกลิ่นนั้นมีปัญหามากมาย ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของมาตรฐานที่ไม่เท่ากันในแต่ละคนแม้ว่าจะผ่านการฝึกมาตรฐานแล้ว แต่เมื่อเวลาผ่านไปมาตรฐานก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามความสามารถในการดมกลิ่นที่เปลี่ยนไปของนักดมกลิ่น ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ความสามารถในการดมกลิ่นของนักดมกลิ่นลดลงเกิดได้หลายสาเหตุ เช่น การเจ็บไข้ อารมณ์ สภาพแวดล้อม ณ ขณะดมกลิ่น เป็นต้น

5. การวิเคราะห์โอกาสทางธุรกิจ SWOT Analysis

จุดแข็ง (Strengths)	จุดอ่อน (Weaknesses)
1) เป็นเครื่องมือที่สามารถเคลื่อนที่ พกพาไปตรวจวัดกลิ่น ณ ที่ใดก็ได้ ทำให้การแก้ไขปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นเป็นไปอย่างรวดเร็ว 2) ถ้าได้รับการพัฒนาครบทุกเฟส (เฟส 1 จะพัฒนาเฉพาะเครื่องแบบพกพา ในขณะที่เฟส 2 และ 3 จะพัฒนาอุปกรณ์แบบไอโอที Internet of Things และโดรนตรวจวัดกลิ่น) จะได้ระบบที่สมบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชนิด ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน เช่น สถานีตรวจวัดกลิ่นเหม็น ระบบตรวจวัดกลิ่นเหม็นแบบกระเป๋าคู่ และระบบตรวจวัดกลิ่นเหม็นแบบติดตั้งบนโดรน ซึ่งการทำงานร่วมกันของทั้ง 3 ระบบจะทำให้การคำนวณการแพร่กระจายของกลิ่น และการตรวจหาแหล่งกำเนิดของกลิ่นมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น 3) เทคโนโลยีตรวจวัดกลิ่นด้วยจมูกอิเล็กทรอนิกส์ มีความแม่นยำของข้อมูล สามารถแปลงเรื่องกลิ่นเป็นตัวเลข เป็นแผนที่กลิ่นที่เข้าใจได้ง่าย ความคลาดเคลื่อนน้อย ทำให้ลดปัญหาเรื่องการสื่อสารระหว่างผู้ประกอบการ และชุมชนที่ร้องเรียน	1) เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ในประเทศไทย ยังไม่เป็นที่รู้จักในวงกว้าง 2) ราคาปานกลาง แต่ผู้ซื้ออาจลังเลในการตัดสินใจ เพราะจะนำราคาไปเทียบกับการจ้างแรงงานที่ราคาถูก 3) ผู้ซื้ออาจไม่มั่นใจเรื่องความแม่นยำในการตรวจวัด เนื่องจากการเปรียบเทียบกับการตรวจวัดกลิ่นแบบดั้งเดิมที่ไม่ได้มาตรฐาน
โอกาสทางธุรกิจ (Opportunities)	อุปสรรค (Threats)
1) การผลักดันมาตรฐานการตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อมที่ถูกปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะทำให้มีความต้องการในการตรวจวัดกลิ่นรบกวนในสิ่งแวดล้อมมากขึ้น	1) การทำตลาดในต่างประเทศมีค่าใช้จ่ายสูง 2) ต้องมีการผลักดันให้เกิดมาตรฐานเรื่องการตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม โดยการใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นแรงจูงใจให้อุตสาหกรรม

2) การได้รับรองจากหน่วยงานภาครัฐ เช่น สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ของไทย และสากล กรมควบคุมมลพิษ เป็นต้น รวมทั้ง การได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานให้ทุนวิจัยอย่าง สกว. จะช่วยให้ภาพลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น (ต้องการความช่วยเหลือจาก สกว. เพื่อเจรจาขอความร่วมมือกับหน่วยงานดังกล่าว) 3) 3. แนวโน้มของภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยที่ขยายตัวมากขึ้นทุกปี ทำให้ตลาดการตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อมเติบโตขึ้นตามไปด้วย	ต่าง ๆ มีความสนใจในตัวผลิตภัณฑ์จุ่มอิเล็กทรอนิกส์มากขึ้น 3) ผู้ซื้อ (โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ) อาจมองว่าการแก้ไข ปรับปรุงปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นทำได้ยาก มีราคาแพง ไม่ก่อให้เกิดรายได้ ตรวจวัดไปก็ไม่มีประโยชน์
--	--

เอกสารอ้างอิง

- T. Anukunprasert, C. Saiwan and E. Traversa, "The development of gas sensor for carbon monoxide monitoring using nanostructure of Nb-TiO₂", *Science and Technology of Advanced Materials* 6 (2005) 359.
- R.S. Anwane, S.B. Kondawar, D.J. Late, "Bessel's polynomial fitting for electrospun polyacrylonitrile/polyaniline blend nanofibers based ammonia sensor", *Materials Letters* 221 (2018) 70.
- A. H. Bokowa, H. Liu, "Techniques for odour sampling of area and fugitive sources", *Chemical Engineering Transaction* 15 (2008) 57.
- R.C. Brandt, H.A. Elliott, M.A.A. Adviento-Borbe, E.F. Wheeler, P.J.A. Kleinman, D.B. Beegle, "Field olfactometry assessment of dairy manure land application methods", *Journal of Environmental Quality* 40 (2011) 431.
- L. Capelli, S. Sironi, R. Del Rosso, "Electronic Noses for Environmental Monitoring Applications", *Sensors* 14 (2014) 19979.
- L. Capelli, S. Sironi, L. Dentoni, R. del Rosso, P. Centola, F. Demattè, M. Della Torre M.; I. Riccò, "An innovative system for the continuous monitoring of environmental odours: Results of laboratory and field tests", *Chemical Engineering Transaction* 23 (2010) 309.
- P. Castellero, J. Roales, T. Lopes-Costa, J.R. Sánchez-Valencia, A. Barranco, A.R. González-Elipe, J.M. Pedrosa, "Optical gas sensing of ammonia and amines based on protonated porphyrin/TiO₂ composite thin films", *Sensors* 17 (2017) 24.
- O. Chamlek, S. Pratontep, T. Kerdcharoen and T. Osotchan, "Spectroscopy Studies of Iron Phthalocyanine Thin Films", *Advanced Materials Research* 55-57 (2008) 301.
- Q. Chen, D. Zhang, W. Pan, Q. Ouyang, H. Li, K. Urmila, J. Zhao, "Recent developments of green analytical techniques in analysis of tea's quality and nutrition", *Trends in Food Science and Technology* 43 (2015) 63.
- S. Choopun, N. Hongsith, P. Mangkornong and N. Mangkornong, "Zinc oxide nanobelts by RF sputtering for ethanol sensor", *Physica E* 39 (2007) 53.
- L. Dentoni, L. Capelli, S. Sironi, R. del Rosso, S. Zanetti, M. Della Torre, "Development of an Electronic Nose for Environmental Odour Monitoring", *Sensors* 12 (2012) 14363.
- A. Dey, "Semiconductor metal oxide gas sensors: A review", *Materials Science and Engineering B* 229 (2018) 206.
- J. En-On, A. Tuantranont, T. Kerdcharoen, C. Wongchoosuk, "Flexible alternating current electroluminescent ammonia gas sensor", *RSC Advances* 7 (2017) 16885.
- A. Gliszczynska-swigłó, J. Chmielewski, "Electronic Nose as a Tool for Monitoring the Authenticity of Food. A Review", *Food Analytical Methods* 10 (2017) 1800.
- A.K. Gralapp, W.J. Powers, D.S. Bundy, "Comparison of olfactometry, gas chromatography, and electronic nose technology for measurement of indoor air from swine facilities. *Trans ASAE*", 44 (2001) 1283.

- N. Hongsith, E. Wongrat, T. Kerdcharoen, S. Choopun, "Sensor response formula for sensor based on ZnO nanostructures", *Sensors and Actuators B* 144 (2010) 67.
- R. Jaisutti, R., T. Osotchan, "An investigation of molecular interactions between zinc phthalocyanine thin film and various oxidizing gases for sensor applications", *Advanced Materials Research* 403-408 (2012) 48.
- S. Kladsomboon, M. Lutz, T. Pogfay, T. Puntheeranurak, T. Kerdcharoen, "Hybrid Optical-Electrochemical Electronic Nose System based on Zn-porphyrin and Multi-walled Carbon Nanotube Composite", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 12 (2012) 5240.
- S. Kladsomboon, S. Pratontep, T. Puntheeranurak, T. Kerdcharoen. "An Artificial Nose Based on M-Porphyrin (M = Mg, Zn) Thin Film and Optical Spectroscopy", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 11 (2011) 10589.
- G. Korotcenkov, "Metal oxides for solid-state gas sensors: What determines our choice?", *Materials Science and Engineering B* 139 (2007) 1.
- G. Korotcenkov, "Gas response control through structural and chemical modification of metal oxide films: state of the art and approaches", *Sensors and Actuators* 107 (2005) 209.
- Y. Laor, D. Parker, T. Page, "Measurement, prediction, and monitoring of odors in the environment: a critical review", *Review in Chemical Engineering* 30 (2014) 139.
- Y. Laor, P. Orenstein, U. Ravid, R. Baybikov, A. Hanan, I. Saadi, Y. Abbou, "A screening tool for selection of field odor assessors", *Journal of Air and Waste Management Association* 61 (2011) 1353.
- K. Lee, D.-H. Baek, J. Choi, J. Kim, "Suspended CoPP-ZnO nanorods integrated with micro-heaters for highly sensitive VOC detection", *Sensors and Actuators, B: Chemical* 264 (2018) 249.
- F. Liao, S. Yin, M. F. Toney and V. Subramanian, "Physical discrimination of amine vapor mixtures using polythiophene gas sensor arrays", *Sensors and Actuators B* 150 (2010) 254.
- S. Licen, G. Barbieri, A. Fabbris, S.C. Briguglio, A. Pillon, F. Stel and P. Barbieri, "Odor control map: Self organizing map built from electronic noses signals and integrated by different instrumental and sensorial data to obtain an assessment tool for real environmental scenarios", *Sensors and Actuators B: Chemical* 263 (2018) 476.
- P. Lorwongtragool, R. R. Baumann, E. Sowade, N. Watthanawisuth, T. Kerdcharoen, "A Novel Wearable Electronic Nose for Healthcare Based on Flexible Printed Chemical Sensor Array", *Sensors* 14 (2014) 19700.
- P. Lorwongtragool, A. Wisitsoraat and T. Kerdcharoen, "An Electronic Nose for Amine Detection Based on Polymer/SWNT-COOH Nanocomposite", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 11 (2011) 10454.
- D. Lubczyk, C. Siering, J. Lörger, Z. B. S., K. Müllen and S. R. Waldvogel, "Simple and sensitive online detection of triacetone triperoxide explosive", *Sensors and Actuators B* 143 (2010) 561.
- J. Ph. Mensing, A. Wisitsoraat, A. Tuantranont, T. Kerdcharoen, "Inkjet-printed sol-gel films containing metal phthalocyanines/porphyrins for opto-electronic nose applications", *Sensors and Actuators B* 176 (2013) 428.

- P. T. Moseley, "Progress in the development of semiconducting metal oxide gas sensors: A review", *Measurement Science and Technology* 28 (2017) Art No. 082001.
- P.G. Nagappan, S. Subramaniam, D.-Y. Wang, "Olfaction as a soldier-- a review of the physiology and its present and future use in the military", *Military Medical Research* 4 (2017) 9.
- A.C. Paske, Lyndsey D. Earl and Jodi L. O'Donnell, "Interfacially Polymerized Metalloporphyrin Thin Films for Colorimetric Sensing of Organic Vapors", *Sensors and Actuators B* 155 (2011) 687.
- A. Sanaeifar, H. ZakiDizaji, A. Jafari, M.D.L. Guardia, "Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review", *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* 97 (2017) 257.
- Y. Seekaew, S. Lokavee, D. Phokharatkul, A. Wisitsoraat, T. Kerdcharoen and C. Wongchoosuk, "Low-Cost and Flexible Printed Graphene-PEDOT:PSS Gas Sensor for Ammonia Detection", *Organic Electronics* 15 (2014) 2971.
- T. Seesaard, P. Lorwongtragool, T. Kerdcharoen, "Development of Fabric-Based Chemical Gas Sensors toward the Use as Wearable Electronic Nose", *Sensors* 15 (2015) 1885.
- H. V. Shurmer and J. W. Gardner, "Odour discrimination with an electronic nose", *Sensors and Actuators B: Chemical* 8 (1992) 1.
- H.V. Shurmera, J.W. Gardner and P. Corcoran, "Intelligent vapour discrimination using a composite 12-element sensor array", *Sensors and Actuators B: Chemical* 1 (1990) 256.
- M. Sriyudthsak and S. Supothina, "Humidity-insensitive and low oxygen dependence tungsten oxide gas sensors", *Sensors and Actuators B* 113 (2006) 265.
- N. Tammanoon, A. Wisitsoraat, D. Phokharatkul, A. Tuantranont, S. Phanichphant, V. Yordsri, C. Liewhiran, "Highly sensitive acetone sensors based on flame-spray-made La₂O₃-doped SnO₂ nanoparticulate thick films", *Sensors and Actuators B: Chemical* 262 (2018) 245.
- R. Tongpool, and S. Yoriya, "Kinetics of nitrogen dioxide exposure in lead phthalocyanine sensors," *Thin Solid Films* 477 (2005) 148.
- S. Uttiya, T. Kerdcharoen, S. Vatanayon and S. Pratontep, "EFFECT OF STRUCTURAL TRANSFORMATION TO THE GAS SENSING PROPERTIES OF PHTHALOCYANINE THIN FILMS", *Journal of the Korean Physical Society* 52 (2008) 1575.
- P. Wisniewska, M. Sliwinska, T. Dymerski, W. Wardencki, J. Namiesnik, "The Analysis of Vodka: A Review Paper", *Food Analytical Methods* 8 (2015) pp. 2000.
- S. Watcharaphalakorn, L. Ruangchuay, D. Chotpattananont, A. Sirivat and J. Schwank, "Polyaniline/polyimide blends as gas sensors and electrical conductivity response to CO-N₂ mixtures", *Polymer International* 54 (2005) 1126.
- C. Wongchoosuk, A. Wisitsoraat, D. Phokharatkul, A. Tuantranont and T. Kerdcharoen, "Multi-walled Carbon Nanotubes Doped Tungsten Oxide Thin Film for Hydrogen Gas Sensing", *Sensors* 10 (2010) 7705.

- C. Wongchoosuk, A. Wisitsoraat, A. Tuantranont, T. Kerdcharoen, "Portable Electronic Nose Based on Carbon Nanotube-SnO₂ Gas Sensors and Its Application for Detection of Methanol Contamination in Whiskeys", *Sensors and Actuators B* 147 (2010) 392.
- C. Wongchoosuk, S. Choopun, A. Tuantranont, T. Kerdcharoen, "Au-doped Zinc Oxide Nanostructure Sensors for Detection and Discrimination of Volatile Organic Compounds", *Materials Research Innovation* 13 (2009) 185.

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ และนักวิจัยร่วมโครงการ

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) : นายธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ

(ภาษาอังกฤษ) : MR. TEERAKIAT KERDCHAROEN

ตำแหน่งปัจจุบัน (ทางวิชาการ/ราชการ) : ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ เซนเซอร์ตรวจวัดกลิ่น จมูกอิเล็กทรอนิกส์

สถานที่ติดต่อ (ที่ทำงาน)

ที่อยู่ (หน่วยงาน) : ศูนย์นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี และ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

272 ถนนพระราม 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 02-2015842 โทรสาร 02-2015843

โทรศัพท์มือถือ 083-2454499 E-mail : teerakiat@yahoo.com

สถานที่ติดต่อ (ที่บ้าน)

ที่อยู่ (ที่บ้าน) : 25/63 หมู่ที่ 6 ซอยชินเขต 1/43 ถนนงามวงศ์วาน เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

โทรศัพท์ โทรสาร

ประวัติการศึกษา (ปริญญาตรี-เอก ; สาขา และสถาบัน)

ปริญญาตรี – วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญาโท – วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีเชิงฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญาเอก – Dr rer Nat สาขาเคมีเชิงฟิสิกส์ University of Innsbruck, AUSTRIA

Postdoc – สาขา Materials Science & Engineering, Munich University of Technology (TU Muenchen)

ภาระงานในปัจจุบัน (งานประจำที่รับผิดชอบ)

อาจารย์ประจำหลักสูตรฟิสิกส์ และ หลักสูตรวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยมหิดล

งานวิจัยที่รับผิดชอบ (กำลังดำเนินงาน)

โดยขอให้ระบุระยะเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของแต่ละโครงการ แหล่งทุนและงบประมาณสนับสนุนที่ได้รับ เวลาที่ใช้ทำโครงการวิจัยในแต่ละโครงการเป็นจำนวนชั่วโมงต่อสัปดาห์ ทั้งในฐานะหัวหน้าโครงการ ผู้ร่วมโครงการของแต่ละโครงการที่กำลังดำเนินการอยู่ โปรดระบุรายละเอียดแต่ละโครงการที่ดำเนินการอยู่ดังต่อไปนี้

- 1) ชื่อโครงการ: เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ตรวจวัดพิษและสภาพแวดล้อม หุ่นยนต์ โดรน และ ระบบอัตโนมัติ สำหรับเกษตรกรรมแม่นยำสูงในไร่นา และ โรงงานปลูกพืชผัก

ระยะเวลาโครงการ 2 ปี ตั้งแต่ ต.ค. 2559 ถึง ก.ย. 2561

แหล่งทุนที่ให้การสนับสนุน งบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยมหิดล

งบประมาณที่ได้รับ 14,000,000 บาท

สถานะของหัวหน้าโครงการ ☒ หัวหน้าโครงการ☐ ผู้ร่วมโครงการ

เวลาที่ใช้ทำวิจัยในโครงการนี้กี่ชั่วโมงต่อสัปดาห์ 20

2) ชื่อโครงการ:

ระยะเวลาโครงการปี ตั้งแต่ถึง

แหล่งทุนที่ให้การสนับสนุน

งบประมาณที่ได้รับ

สถานะของหัวหน้าโครงการ ☐ หัวหน้าโครงการ

☐ ผู้ร่วมโครงการ

เวลาที่ใช้ทำวิจัยในโครงการนี้ที่ชั่วโมงต่อสัปดาห์

ผลงานที่ผ่านมา

ก. ผลงานวิจัยตีพิมพ์ (ระดับนานาชาติ และระดับชาติ) (ชื่อผลงาน ชื่อวารสาร แหล่งทุน ปีที่พิมพ์)

ผลงานตีพิมพ์ระดับนานาชาติในฐานข้อมูล ISI

1. S. Hannongbua, T. Kerdcharoen and B. M. Rode, "Zinc(II) in Liquid Ammonia: Intermolecular Potential Including Three-Body Terms and Monte Carlo Simulation", *Journal of Chemical Physics* 96 (1992) 6945-6949.
2. T. Kerdcharoen, K. R. Liedl and B. M. Rode, "Bidirectional Molecular Dynamics: Interpretation in Terms of a Modern Formulation of Classical Mechanics", *Journal of Computational Chemistry* 17 (1996) 1564.
3. T. Kerdcharoen, K. R. Liedl and B. M. Rode, "A QM/MM Simulation Method Applied to the Solution of Li⁺ in Liquid Ammonia", *Chemical Physics* 211 (1996) 313.
4. T. Aree, T. Kerdcharoen and S. Hannongbua, "Charge Transfer, Polarizability and Stability of Li-C60 complexes", *Chemical Physics Letters*, 285 (1998) 221.
5. T. Kerdcharoen and S. Hannongbua, "Ab Initio Study of Ion-Ammonia Complexes: Geometry and Many-Body Interactions", *Chemical Physics Letters*, 310 (1999) 333.
6. T. Kerdcharoen and B. M. Rode, "What is the Solvation Number of Na⁺ in Ammonia ? An Ab Initio QM/MM Molecular Dynamics Study", *J. Phys. Chem. A* 104 (2000) 7073.
7. M. Kiselev, T. Kerdcharoen, S. Hannongbua and K. Heinzinger, "Structural Properties of Sub- and Supercritical Ammonia as Studied by Molecular Dynamics Simulations", *Chemical Physics Letters* 327 (2000) 425.
8. M. Kiselev, S. Noskov, Y. Puhovski, T. Kerdcharoen and S. Hannongbua, "The Study of Hydrophobic Hydration in Supercritical Water-Ammonia Mixture", *Journal of Molecular Graphics and Modeling* 19 (2001) 412.
9. S. Krishtal, M. Kiselev, Y. Puhovski, T. Kerdcharoen, S. Hannongbua and K. Heinzinger, "The Study of Hydrogen Bonds Network in Sub- and Supercritical Water by Molecular Dynamics Simulation", *Zeitschrift fuer Naturforschung* 56a (2001) 579.
10. T. Belling, T. Grauschopf, S. Krüger, F. Nörtemann, M. Staufer, M. Mayer, V. A. Nasluzov, U. Birkenheuer, A. Hu, A. V. Matveev, A. M. Shor, M. S. K. Fuchs-Rohr, K. M. Neyman, D. I.

- Ganyushin, T. Kerdcharoen, A. Woiterski, and N. Rösch, *ParaGauss 2.2 Density Functional Software and User's Manual*, Technische Universität München (2001).
11. T. Kerdcharoen and K. Morokuma, "ONIOM-XS: An Extension of ONIOM Method for Molecular Simulation in Condensed Phase", *Chemical Physics Letters* 355 (2002) 257.
 12. T. Kerdcharoen, U. Birkenheuer, S. Krueger, A. Woitersky and N. Roesch, "Implementation of a QM/MM Approach in the Parallel Density Functional Program ParaGauss and Applications to Copper Thiolate Clusters", *Theoretical Chemistry Accounts* 109 (2003) 285.
 13. S. Kongsuk, T. Kerdcharoen and S. Hannongbua, "How Many Water Molecules in the Hydration Shell of 18-crown-6? Monte Carlo Simulations Based on Ab Initio Derived Potential Energy Surface", *Journal of Physical Chemistry B* 107 (2003) 4175.
 14. T. Kerdcharoen and K. Morokuma, "Combined QM/MM Simulation of Ca²⁺/Ammonia Solution based on ONIOM-XS Method: Octahedral Coordination and Implication to Biology", *Journal of Chemical Physics* 118 (2003) 8856.
 15. M. Kiselev, D. Ivlev, Y. Puhovski and T. Kerdcharoen, "Preferential Solvation and Elasticity of the Hydrogen Bonds Network in Tertiary Butyl Alcohol-Water Mixture", *Chemical Physics Letters* 379 (2003) 581.
 16. A. Udomvech, T. Kerdcharoen, V. Parasuk, Y. Tantirungrotechai and T. Osotchan, "Electronic Structure of the Finite-Sized Single Walled Carbon Nanotube", *International Journal of Nanoscience* 2 (2003) 141.
 17. C. Angsuthanasombat, P. Uawithya, S. Leetachewa, W. Pornwiroon, P. Ounjai, T. Kerdcharoen, G. Katzenmeier and S. Panyim, "Bacillus thuringiensis Cry4A and Cry4B Mosquito-Larvicidal Proteins: Homology-Based 3D Model and Implications for Toxin Activity", *Journal of Biochemistry and Molecular Biology* 37 (2004) 304.
 18. A. Udomvech, T. Osotchan and T. Kerdcharoen, "A DFT Study of Li/Li⁺ Adsorbed on Carbon Nanotube: Variation of Tubule Diameter and Length", *Chemical Physics Letters* 406 (2005) 161.
 19. P. Wutticharoenmongkol, P. Supaphol, T. Sriksirin, T. Kerdcharoen and T. Osotchan, "Electrospinning of Polystyrene/Poly(2-Methoxy-5-(2'-Ethylhexyloxy)-1,4-Phenylene Vinylene) Blends", *Journal of Polymer Science B* 43 (2005) 1881.
 20. Y. Kanintronkul, T. Sriksirin, C. Angsuthanasombat and T. Kerdcharoen, "Insertion behavior of the Bacillus thuringiensis Cry4Ba insecticidal protein into lipid monolayers", *Archive of Biochemistry and Biophysics* 442 (2005) 180.
 21. S. Suramitr, T. Kerdcharoen, T. Sriksirin and S. Hannongbua, "Electronic Properties of Alkoxy Derivatives of Poly(para-phenylenevinylene), Investigated by Time Dependent Density Functional Theory Calculations", *Synthetic Metals* 155 (2005) 27.
 22. Y. Kanintronkul, T. Sriksirin, C. Angsuthanasombat and T. Kerdcharoen, "Adsorption of the Bacillus thuringiensis Cry4Ba toxin at lipid membrane-water interface: model studies towards nanodevice implications", *FEBS Journal* 272 (2005) 377.

23. S. Kongsuk, T. Kerdcharoen, M. Kiselev and S. Hannongbua, "Solvation Structures of the 18-Crown-6 in Carbon Tetrachloride as Studied by Monte Carlo Simulation Based on Ab Initio Potential Models", *Chemical Physics* 324 (2006) 447.
24. S. Kongsuk, T. Kerdcharoen and S. Hannongbua*, "The Hydration Structure of 18-crown-6/K⁺ Complex as Studied by Monte Carlo Simulation Using Ab Initio Potential", *Journal of Molecular Graphics and Modeling* 25 (2006) 55-60.
25. R. Traiphol*, P. Sanguansat, T. Srihirin, T. Kerdcharoen, T. Osotchan, "Spectroscopic Study of Solvent-induced Photophysical Change in Collapsed Coils of Isolated Chains of Conjugated Polymers: Effects of Solvent and Temperature", *Macromolecules* 39 (2006) 1165.
26. A. Tongraar*, T. Kerdcharoen and S. Hannongbua, "Simulations of liquid ammonia based on combined quantum mechanical/molecular mechanical (QM/MM) approach", *Journal of Physical Chemistry A* 110 (2006) 4924.
27. P. Aramwit, T. Kerdcharoen and H. Qi, "In Vitro Plasma Compatibility Study of a Nano Suspension Formulation", *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology* 60 (2006) 211.
28. R. Traiphol, T. Srihirin, T. Kerdcharoen, T. Osotchan and T. Maturos, "Influences of Local Polymer-Solvent pi-pi Interaction on Dynamics of Phenyl Ring Rotation and Its Role on Photophysics of Conjugated Polymer", *European Polymer Journal* 43 (2007) 478.
29. R. Traiphol, T. Srihirin, T. Kerdcharoen, T. Osotchan, N. Scharnagl, R. Willumeit, "Chain Organization and Photophysics of Conjugated Polymer in Poor Solvents: Aggregates, Agglomerates and Collapsed Coils Polymer ", *Polymers* 48 (2007) 813.
30. C. Wongchoosuk, S. Kongsuk and T. Kerdcharoen, "Theoretical Investigations on the Tip-Functionalized Carbon Nanotubes Interacting with Water", *International Journal of Nanoparticles* 1 (2008) 136.
31. S. Uttiya , T. Kerdcharoen, S. Vatanayon and S. Pratontep, "EFFECT OF STRUCTURAL TRANSFORMATION TO THE GAS SENSING PROPERTIES OF PHTHALOCYANINE THIN FILMS", *Journal of the Korean Physical Society* 52 (2008) 1575.
32. A. Udomvech, T. Osotchan and T. Kerdcharoen, "Theoretical Investigation of Lithium Atoms Insertion into the Ultra-Small Diameter Carbon Nanotubes", *Journal of the Korean Physical Society* 52 (2008) 1350.
33. S. Kongsuk, T. Kerdcharoen, A. Borodin and M. Kiselev, "Computer Simulation Study of Porphyrine Monolayer at the Water-Gas Interface: Structure and Molecular Orientation", *Journal of the Korean Physical Society* 52 (2008) 1657.
34. A. Udomvech, J. Sonpong, O. Waipan and T. Kerdcharoen, "Electronic Structure of Straight and T-Shape Singled-Wall Carbon Nanotube Junctions: A Molecular Quantum Mechanics Study", *Advanced Materials Research* 55-57 (2008) 565.
35. O. Chamlek, S. Pratontep, T. Kerdcharoen and T. Osotchan, "Spectroscopy Studies of Iron Phthalocyanine Thin Films", *Advanced Materials Research* 55-57 (2008) 301.

36. Niwat Srisawasdi, Teerakiat Kerdcharoen and Jerry Suits, "Turning Scientific Laboratory Research into Innovative Instructional Material for Science Education: Case Studies from Practical Experience", *International Journal of Learning* 15 (2008) 201.
37. C. Wongchoosuk, A. Udomvech and T. Kerdcharoen, "The geometrical and electronic structures of open-end fully functionalized single-walled carbon nanotubes", *Current Applied Physics* 9 (2009) 352.
38. Rakchart Traiphol, Nipaphat Charoenthai, Parinda Manorat, Thanutpon Pattanatornchai, Toemsak Sriksirin, Teerakiat Kerdcharoen, Tanakorn Osotchanb, "Photophysical change of poly(9,9-di(2-ethylhexyl)fluorene) and its copolymer with anthracene in solvent–non-solvent: Roles of interchain interactions on the formation of non-emissive and emissive aggregates", *Synthetic Metals* 12 (2009) 1224.
39. Chatchawal Wongchoosuk, Supab Choopun, Adisorn Tuantranont, Teerakiat Kerdcharoen, "Au-doped Zinc Oxide Nanostructure Sensors for Detection and Discrimination of Volatile Organic Compounds", *Materials Research Innovation* 13 (2009) 185.
40. Chatchawal Wongchoosuk, Mario Lutz and Teerakiat Kerdcharoen, "Detection and Classification of Human Body Odor Using an Electronic Nose", *Sensors* 9 (2009) 7234.
41. N. Watthanawisuth, A. Tuantranont, T. Kerdcharoen, "Microclimate real-time monitoring based on ZigBee sensor network", *Proceeding of IEEE Sensors* (2009) pp. 1814-1818.
42. Niyom Hongsoth, Ekasiddh Wongrat, Teerakiat Kerdcharoen, Supab Choopun, "Sensor response formula for sensor based on ZnO nanostructures", *Sensors and Actuators B* 144 (2010) 67-72.
43. Aurapan Sansukcharearnpona, Supason Wanichwecharungruang, Natchanun Leepipatpaiboonb, Teerakiat Kerdcharoen, Sunatda Arayachukeat, "High loading fragrance encapsulation based on a polymer-blend: Preparation and release behavior", *International Journal of Pharmaceutics* 391 (2010) 267-273.
44. Chatchawal Wongchoosuk, Anurat Wisitsoraat, Adisorn Tuantranont, Teerakiat Kerdcharoen, "Portable Electronic Nose Based on Carbon Nanotube-SnO₂ Gas Sensors and Its Application for Detection of Methanol Contamination in Whiskeys", *Sensors and Actuators B* 147 (2010) 392.
45. Rakchart Traiphol, Ruttayapon Potai, Nipaphat Charoenthai, Toemsak Sriksirin, Teerakiat Kerdcharoen, Tanakorn Osotchan, "Effects of chain conformation and chain length on degree of aggregation in assembled particles of conjugated polymer in solvents-nonsolvent: A spectroscopic study", *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* 48 (2010) 894-904.
46. S. Tuntikulwattana, A. Mitrevej, T. Kerdcharoen, D. B. Williams and N. Sinchaipanid, "Development and Optimization of Micro/Nanoporous Osmotic Pump Tablets, *AAPS Pharmaceutical Science and Technology* 11 (2010) 924-935.
47. Chatchawal Wongchoosuk, Anurat Wisitsoraat, Ditsayut Phokharatkul, Adisorn Tuantranont and Teerakiat Kerdcharoen, "Multi-walled Carbon Nanotubes Doped Tungsten Oxide Thin Film for Hydrogen Gas Sensing", *Sensors* 10 (2010) 7705.

48. Chakkrapan Nerungsi, Piangkhwon Wanitchang, Somboon Sahasithiwat, Karoon Sadorn, Teerakiat Kerdcharoen and Tienthong Thongpanchang, "Organic electroluminescence devices based on anthracene sulfide derivatives", *Tetrahedron Letters* 51 (2010) 6392.
49. R. Traiphol, T. Pattanatornchai, T. Srihirin, T. Kerdcharoen and T. Osotchan, "Effects of steric anthracene moieties and keto defects on photophysics and color stability of poly(9,9-di(2-ethylhexyl)fluorene-stat-anthracene) in different local environments", *Macromolecular Research* 18 (2010) 1182.
50. C. Vergnat, S. Uttiya, S. Pratontep, T. Kerdcharoen, J.-F. Legrand and M. Brinkman, "Oriented growth of zinc(II) phthalocyanines on polycarbonate alignment substrates: Effect of substrate temperature on in-plane orientation", *Synthetic Metals* 161 (2011) 251.
51. P. Intharathep, T. Rungrotmongkol, P. Decha, N. Nunthaboot, N. Kaiyawet, T. Kerdcharoen, P. Sompornpisut and S. Hannongbua, "Evaluating how rimantadines control the proton gating of the Influenza A M2-proton port via allosteric binding outside of the M2-channel: MD simulations", *Journal of Enzyme Inhibitor and Medicinal Chemistry* 26 (2011) 162.
52. S. Kongsuk and T. Kerdcharoen, "Effects of Surface Concentration on the Porphine Monolayers: Molecular Simulations at the Nanoscale Water-Gas Interface", *Applied Surface Science* 257 (2011) 6270.
53. Panida Lorwongtragool, Anurat Wisitsoraat and Teerakiat Kerdcharoen, "An Electronic Nose for Amine Detection Based on Polymer/SWNT-COOH Nanocomposite", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 11 (2011) 10454-10459.
54. Sumana Kladsomboon, Sirapat Pratontep, Theeraporn Puntheeranurak, Teerakiat Kerdcharoen, "An Artificial Nose Based on M-Porphyrin (M = Mg, Zn) Thin Film and Optical Spectroscopy", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 11 (2011) 10589-10594.
55. S. Wanprakhon, A. Tongraar, T. Kerdcharoen, "Hydration structure and dynamics of K⁺ and Ca²⁺ in aqueous solution: Comparison of conventional QM/MM and ONIOM-XS MD simulations", *Chemical Physics Letters* 517 (2011) 171.
56. T. Piromjitpong, P. Lorwongtragool, P. Piromjitpong, T. Kerdcharoen, "The Development in an Effective of Ammonia-Odor Sensor Based on PSE-Polymer/SWNT Nanocomposite", *Advanced Materials Research* 506 (2012) 579-582.
57. C. Wongchoosuk, P. Jangtawee, S. Lokavee, S. Udomrat, P. Sudkeaw and T. Kerdcharoen, "Novel Flexible NH₃ Gas Sensor Prepared By Ink-Jet Printing Technique", *Advanced Materials Research* 506 (2012) 39-42.
58. Sumana Kladsomboon, Mario Lutz, Tawee Pogfay, Theeraporn Puntheeranurak, Teerakiat Kerdcharoen, "Hybrid Optical-Electrochemical Electronic Nose System based on Zn-porphyrin and Multi-walled Carbon Nanotube Composite", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 12 (2012) 5240-5244.
59. Johannes Ph. Mensing, Teerakiat Kerdcharoen, Adisorn Tuantranont, Chakrit Sriprachuabwong, Anurat Wisitsorrat, Ditsayut Phokharatkul and Tanom Lomas, "Facile Preparation of

- Graphene/Metal Phthalocyanine Hybrid Material by Electrolytic Exfoliation", *Journal of Materials Chemistry* 22 (2012) 17094-17099.
60. Sukhontip Thaomola, Anan Tongraar and Teerakiat Kerdcharoen, "Structure and dynamics of hydrogen bonds in liquid water: A comparative study of conventional QM/MM and ONIOM-XS MD simulations", *Journal of Molecular Liquids* 174 (2012) 26-33.
 61. Sumana Kladsomboon and Teerakiat Kerdcharoen, "A Method for Detection of Alcohol Vapors Based on Optical Sensing of MgTPP Thin Film by Optical Spectrometer and Principal Component Analysis", *Analytica Chimica Acta* 757 (2012) 75-82.
 62. Johannes Ph. Mensing, Anurat Wisitsoraat, Adisorn Tuantranont, Teerakiat Kerdcharoen, "Inkjet-printed sol-gel films containing metal phthalocyanines/porphyrins for opto-electronic nose applications", *Sensors and Actuators B* 176 (2013) 428-436.
 63. Nattapong Tongrod, Shongpun Lokavee, Natthapol Watthanawisuth, Adisorn Tuantranont, Teerakiat Kerdcharoen, "Design and Development of Data Glove Based on Printed Polymeric Sensors and Zigbee Networks for Human Computer Interface", *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 8 (2013) 115-120.
 64. Chatchawal Wongchoosuk, Anurat Wisitsoraat, Ditsayut Phokharatkul, Mati Horprathum, Adisorn Tuantranont and Teerakiat Kerdcharoen, "Carbon Doped Tungsten Oxide Nanorods NO₂ Sensor Prepared by Glancing Angle RF Sputtering", *Sensors and Actuators B* 181 (2013) 388-394.
 65. Pattawan Sripa, Anan Tongraar and Teerakiat Kerdcharoen, "Structure-making" ability of Na⁺ in dilute aqueous solution: An ONIOM-XS MD simulation study", *Journal of Physical Chemistry*, 117 (2013) 1826-1833.
 66. C. Wongchoosuk, Y. Wang, T. Kerdcharoen, S. Irle, "Nonequilibrium quantum chemical molecular dynamics simulations of C 60 to SiC heterofullerene conversion", *Carbon*, 68 (2014) 285-295.
 67. Chatchawal Wongchoosuk, Kittitat Subannajui, Chunyu Wang, Yang Yang, Firat G'uder, Teerakiat Kerdcharoen, Volker Cimallad and Margit Zacharias, "Electronic nose for toxic gas detection based on photostimulated core-shell nanowires", *RSC Advances* 4 (2014) 35084-35088.
 68. Yotsarayuth Seekaew, Shongpun Lokavee, Ditsayut Phokharatkul, Anurat Wisitsoraat, Teerakiat Kerdcharoen and Chatchawal Wongchoosuk, "Low-Cost and Flexible Printed Graphene-PEDOT:PSS Gas Sensor for Ammonia Detection", *Organic Electronics* 15 (2014) 2971-2981.
 69. Panida Lorwongtragool, R. R. Baumann, Enrico Sowade, Natthapol Watthanawisuth, Teerakiat Kerdcharoen, "A Novel Wearable Electronic Nose for Healthcare Based on Flexible Printed Chemical Sensor Array", *Sensors* 14 (2014) 19700-19712.
 70. Thara Seesaard, Panida Lorwongtragool, Teerakiat Kerdcharoen, "Development of Fabric-Based Chemical Gas Sensors toward the Use as Wearable Electronic Nose", *Sensors* 15 (2015) 1885-1902.
 71. Anurak Udomvech, Md. Shafiquzzaman, Teerakiat Kerdcharoen, "In Search of Molecular Scale Diodes: Theoretical Study of Linearly Fused Straight Single-Walled Carbon Nanotube Junctions Based on the Pentagon/Heptagon Pair Defects", *Computational Materials Science* 98 (2015) 201-210.

72. P. Kabbalee, A. Tongraar, T. Kerdcharoen, "Preferential solvation and dynamics of Li⁺ in aqueous ammonia solution: An ONIOM-XS MD simulation study", *Chemical Physics* 446 (2015) 70-75.
73. Kabbalee, P., Sripa, P., Tongraar*, A., Kerdcharoen, T., "Solvation structure and dynamics of K⁺ in aqueous ammonia solution: Insights from an ONIOM-XS MD simulation", *Chemical Physics Letters* 633 (2015) 152-157.
74. Sripa, P., Tongraar, A., Kerdcharoen, T., "Structure and dynamics of the Li⁺ hydrates: A comparative study of conventional QM/MM and ONIOM-XS MD simulations", *Journal of Molecular Liquids* 208 (2015) 280-285.
75. J. Sripradite, A. Tongraar, T. Kerdcharoen, "Solvation structure and dynamics of Na⁺ in liquid ammonia studied by ONIOM-XS MD simulations", *Chemical Physics* 463 (2015) 88-94.
76. P. Sripa, A. Tongraar, T. Kerdcharoen, "Characteristics of K⁺ and Rb⁺ as "structure-breaking" ions in dilute aqueous solution: Insights from ONIOM-XS MD simulations", *Chemical Physics* 479 (2016) 72-80.
77. J. En-On, A. Tuantranont, T. Kerdcharoen, C. Wongchoosuk, "Flexible alternating current electroluminescent ammonia gas sensor", *RSC Advances* 7 (2017) 16885-16889.
78. P. Chaiyasit, A. Tongraar, T. Kerdcharoen, "Characteristics of methylammonium ion (CH₃NH₃⁺) in aqueous electrolyte solution: An ONIOM-XS MD simulation study", *Chemical Physics* 493 (2017) 91-101.

ผลงานในฐานข้อมูล IEEE / SCOPUS

1. Sonam Tenzin, Satetha Siyang, Theerapat Pobkrut, Teerakiat Kerdcharoen, "Low cost weather station for climate-smart agriculture", 2017 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), DOI: 10.1109/KST.2017.7886085. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
2. Phuntsho Choden, Thara Seesaard, Tanthip Eamsa-ard, Chutintorn Sriphrapadang, Teerakiat Kerdcharoen, "Volatile urine biomarkers detection in type II diabetes towards use as smart healthcare application", 2017 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), DOI: 10.1109/KST.2017.7886086. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
3. Ugyen Dorji, Theerapat Pobkrut, Teerakiat Kerdcharoen, "Electronic nose based wireless sensor network for soil monitoring in precision farming system", 2017 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST), DOI: 10.1109/KST.2017.7886087. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
4. Thirawut Nilpanapan, Teerakiat Kerdcharoen, "Social data shoes for gait monitoring of elderly people in smart home", 2016 9th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON), DOI: 10.1109/BMEiCON.2016.7859611. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
5. Tanthip Eamsa-ard, Thara Seesaard, Taya Kitiyakara, Teerakiat Kerdcharoen, "Screening and discrimination of Hepatocellular carcinoma patients by testing exhaled breath with smart devices using composite polymer/carbon nanotube gas sensors", 2016 9th Biomedical Engineering

- International Conference (BMEiCON), DOI: 10.1109/BMEiCON.2016.7859609. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
6. Thara Seesaard, Chutintorn Sriphrapadang, Taya Kitiyakara, Teerakiat Kerdcharoen, "Self-screening for diabetes by sniffing urine samples based on a hand-held electronic nose", 2016 9th Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON), DOI: 10.1109/BMEiCON.2016.7859586. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 7. S. Siyang, T. Kerdcharoen, "Development of unmanned surface vehicle for smart water quality inspector", 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2016, Article number 7561370. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 8. T. Pobkrut, T. Eamsa-Ard, T. Kerdcharoen, "Sensor drone for aerial odor mapping for agriculture and security services", 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2016, Article number 7561340. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 9. P. Chongthanaphisut, T. Seesaard, T. Kerdcharoen, "Monitoring of microbial canned food spoilage and contamination based on e-nose for smart home", 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2015, Article number 7206960. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 10. R. Palasuek, T. Seesa-Ard, C. Kunarak, T. Kerdcharoen, "Electronic nose for water monitoring: The relationship between wastewater quality indicators and odor", 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2015, Article number 7206961. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 11. Pobkrut, T., Kerdcharoen, T., "Soil sensing survey robots based on electronic nose", 2014 14th International Conference on Control, Automation and Systems, ICCAS 2014, Article number 6987829, pp. 1604-1609. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 12. Watthanawisuth, N., Tuantranont, A., Kerdcharoen, T., "Design of mobile robot for real world application in path planning using ZigBee localization", 2014 14th International Conference on Control, Automation and Systems, ICCAS 2014, Article number 6987828, pp. 1600 – 1603. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 13. T. Thepudom, S. Siyang, T. Seesaard, T. Kerdcharoen, "Indoor air quality monitoring system based on polymer/functionalized-SWNT gas sensors", 2014 IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics, GCCE 2014, Article number 7031331, pp. 190-191. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 14. Lokavee, S., Suwansathit, W., Tantrakul, V., Kerdcharoen, T., "Unconstrained detection of respiration rate and efficiency of sleep with pillow-based sensor array", 2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2014, Article number 6839779. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)

15. Seesaard, T., Seaon, S., Khunarak, C., Lorwongtragool, P., Kerdcharoen, T., "A novel creation of thread-based ammonia gas sensors for wearable wireless security system", 2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2014, Article number 6839727. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
16. T. Seesaard, S. Seaon, P. Lorwongtragool, T. Kerdcharoen, "On-cloth wearable E-nose for monitoring and discrimination of body odor signature", 2014 IEEE 9th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, IEEE ISSNIP 2014, art no. 6827634. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
17. R. Palasuek, S. Kladsomboon, T. Thepudom, T. Kerdcharoen, "Optical electronic nose based on porphyrin and phthalocyanine thin films for rice flavour classification", 2014 IEEE 9th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, IEEE ISSNIP 2014, art no. 6827644. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
18. T. Thepudom, T. Seesaard, W. Donkrajang, T. Kerdcharoen, "Healthcare shoe system for gait monitoring and foot odor detections", 2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics, GCCE 2013, art. no. 6664932, pp. 81-82. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
19. S. Siyang, T. Seesaard, P. Lorwongtragool, T. Kerdcharoen, "E-nose based on metallo-tetraphenylporphyrin/ SWNT-COOH for alcohol detection", 2013 IEEE International Conference of Electron Devices and Solid-State Circuits, EDSSC 2013, art. no. 6628073. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
20. T. Seesaard, C. Khunarak, P. Lorwongtragool, T. Kerdcharoen, "Intelligent smelling shirt based on fabric sensors for health status monitoring", 2013 IEEE International Conference of Electron Devices and Solid-State Circuits, EDSSC 2013, art. no. 6628074. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
21. S. Siyang, P. Lorwongtragool, A. Noosidum, C. Wongchoosuk, T. Kerdcharoen, "Development and application of electronic nose for agricultural robot", 2013 10th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2013, art. no. 6559500. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database).
22. T. Seesaard, P. Lorwongtragool, T. Nilpanapan, T. Kerdcharoen, "A smart sniffing shoes based on embroidered sensor array", 2013 10th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2013, art. no. 6559483. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database).
23. T. Thepudom, N. Sricharoenchai, T. Kerdcharoen, "Classification of instant coffee odors by electronic nose toward quality control of production", 2013 10th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2013, art. no. 6559482. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database).
24. M. Lutz, C. Wongchoosuk, A. Tuantranont, S. Choopun, P. Singjai, T. Kerdcharoen, "Development of networked electronic nose based on multi-walled carbon nanotubes/polymer composite gas

- sensor array", Proceedings - Winter Simulation Conference 2013, art. no. 6466092, pp. 508-510. (Indexed in SCOPUS)
25. P. Lorwongtragool, R. R. Baumann, E. Sowade, N. Watthanawisuth, T. Kerdcharoen, "A Zigbee-based wireless wearable electronic nose using flexible printed sensor array", Proceedings - Winter Simulation Conference 2013, art. no. 6466026, pp. 291-293. (Indexed in SCOPUS)
 26. W. Donkrajang, N. Watthanawisuth, J. P. Mensing, T. Kerdcharoen, "Development of a wireless electronic shoe for walking abnormalities detection", 5th 2012 Biomedical Engineering International Conference, BMEiCON 2012, art. no. 6465433 (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database).
 27. T. Thepudom, T. Kerdcharoen, A. Tuantranont, T. Pogfay, "Health-care electronic nose to detect beer odor in breath after drinking", 5th 2012 Biomedical Engineering International Conference, BMEiCON 2012, art. no. 6465444 (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database).
 28. P. Lorwongtragool, T. Seesaard, T. Kerdcharoen, "A point-of-care and routine clinical instrument based on artificial nose: Study of volatile emission from axillary skin", 5th 2012 Biomedical Engineering International Conference, BMEiCON 2012, art. no. 6465421 (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database).
 29. T. Seesaard, P. Lorwongtragool, T. Kerdcharoen, S. Kladsomboon, T. Kitiyakara, "Health status monitoring by discrimination of exhaled breath with an electronic nose", 5th 2012 Biomedical Engineering International Conference, BMEiCON 2012, art. no. 6465431 (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database).
 30. S. Siyang, T. Kerdcharoen, C. Wongchoosuk, "Diabetes diagnosis by direct measurement from urine odor using electronic nose", 5th 2012 Biomedical Engineering International Conference, BMEiCON 2012, art. no. 6465441 (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database).
 31. S. Lokavee, T. Puntheeranurak, T. Kerdcharoen, N. Watthanawisuth, A. Tuantranont, "Sensor pillow and bed sheet system: Unconstrained monitoring of respiration rate and posture movements during sleep", Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2012, art. no. 6377959, pp. 1564-1568. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 32. T. Seesaard, C. Khunarak, T. Kerdcharoen, and T. Kitiyakara, "Development of an electronic nose for detection and discrimination of exhaled breath of hepatocellular carcinoma patients", Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2012, art. no. 6377969, pp. 1622-1626. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 33. Thara Seesaard, Panida Lorwongtragool, Teerakiat Kerdcharoen, "Wearable Electronic Nose Based on Embroidered Amine Sensors on the Fabric Substrates", ECTI-CON2012 - 9th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 16-18 May 2012, Hua Hin, Thailand. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 34. Treenet Thepudom, Sumana Kladsomboon, Tawee Pogfay, Adisorn Tuantranont, Teerakiat Kerdcharoen, "Portable Optical-Based Electronic Nose Using Dual-Sensors Array Applied for Volatile Discrimination", ECTI-CON2012 - 9th International Conference of Electrical

- Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 16-18 May 2012, Hua Hin, Thailand. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
35. Chatchawal Wongchoosuk, Chayanin Khunarak, Mario Lutz, Teerakiat Kerdcharoen, "WiFi Electronic Nose for Indoor Air Monitoring", ECTI-CON2012 - 9th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 16-18 May 2012, Hua Hin, Thailand. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 36. Panida Lorwongtragool, Enrico Sowade, Teerakiat Kerdcharoen, Reinhard R. Baumann, "All Inkjet-Printed Chemical Gas Sensors Based on CNT/Polymer Nanocomposites: Comparison between Double Printed Layers and Blended Single Layer", ECTI-CON2012 - 9th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 16-18 May 2012, Hua Hin, Thailand. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 37. P. Lorwongtragool, T. Seesaard, C. Tongta, T. Kerdcharoen, "Portable e-nose based on polymer/CNT sensor array for protein-based detection", IEEE-NEMS 2012 - 7th IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, 5-8 March 2012, Kyoto, Japan. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 38. P. Lorwongtragool, E. Sowade, T. N. Dinh, O. Kanoun, T. Kerdcharoen, R. R. Baumann, "Inkjet printing of chemiresistive sensors based on polymer and carbon nanotube networks", IEEE-SSD 2012 - International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices, 20-23 March 2012, Chemnitz, Germany. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 39. A. Eambaipreuk, S. Kladsomboon, T. Kerdcharoen, "Breath monitoring based on the optical electronic nose system", BMEiCON 2011 - The 4th Biomedical Engineering International Conference, 29-31 January 2012, Chiang Mai, Thailand. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 40. W. Donkrajang, N. Watthanawisuth, J. P. Mensing and T. Kerdcharoen, "A Wireless Networked Smart-Shoe System for Monitoring Human Locomotion", BMEiCON 2011 - The 4th Biomedical Engineering International Conference, 29-31 January 2012, Chiang Mai, Thailand. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 41. Johannes Ph. Mensing, Anurat Wisitsoraat, Teerakiat Kerdcharoen, Adisorn Tuantranont, "Phthalocyanine/graphene hybrid-materials for gas sensing in bio-medical applications", BMEiCON 2011 - The 4th Biomedical Engineering International Conference, 29-31 January 2012, Chiang Mai, Thailand. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 42. S. Lokavee, N. Watthanawisuth, J. P. Mensing, A. Tuantranont and T. Kerdcharoen, "Sensor Pillow System: Monitoring Cardio-Respiratory and Posture Movements During Sleep", BMEiCON 2011 - The 4th Biomedical Engineering International Conference, 29-31 January 2012, Chiang Mai, Thailand. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 43. Chatchawal Wongchoosuk, Taweesak Youngrod, Hirihattaya Phetmung, Mario Lutz, Theeraporn Puntheeranurak, Teerakiat Kerdcharoen, "Identification of People from Armpit Odor Region using Networked Electronic Nose", IEEE DSR2011 – Defense Science and Research Conference, 3-5

- August 2011, Suntec Convention & Exhibition Center, Singapore. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
44. Nattapong Tongrod, Shongpun Lokavee, Teerakiat Kerdcharoen, Natthapol Watthanawisuth, Adisorn Tuantranont, "Gestural System Based on Multi-functional Sensors and ZigBee Networks for Squad Communication", IEEE DSR2011 – Defense Science and Research Conference, 3-5 August 2011, Suntec Convention & Exhibition Center, Singapore. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 45. Natthapol Watthanawisuth, Adisorn Tuantranont, Teerakiat Kerdcharoen, "Design for the Next Generation of Wireless Sensor Networks in Battlefield Based on ZigBee", IEEE DSR2011 – Defense Science and Research Conference, 3-5 August 2011, Suntec Convention & Exhibition Center, Singapore. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 46. Sumana Kladsomboon, Mario Lutz, Tawee Pongfay, Teerakiat Kerdcharoen, "An Optical Artificial Nose System for Odor Classifications Based on LED Arrays", ECTI-CON2011 - 8th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 17-19 May 2011, Khon Kaen, THAILAND. (Indexed in SCOPUS and IEEE Explore Database)
 47. Chatchawal Wongchoosuk, Anurat Wisitsoraat, Adisorn Tuantranont, Teerakiat Kerdcharoen, "Nanostructured Gas Sensors by Electron Beam Evaporation", ECTI-CON2011 - 8th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 17-19 May 2011, Khon Kaen, THAILAND. (Indexed in SCOPUS and IEEE Explore Database)
 48. Panida Lorwongtragool, Chatchawal Wongchoosuk, Teerakiat Kerdcharoen, "Portable Electronic Nose for Beverage Quality Assessment", ECTI-CON2011 - 8th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 17-19 May 2011, Khon Kaen, THAILAND. (Indexed in SCOPUS and IEEE Explore Database)
 49. Nattapong Tongrod, Teerakiat Kerdcharoen, Natthapol Watthanawisuth and Adisorn Tuantranont, "A Low-Cost Data-Glove for Human Computer Interaction Based on Ink-Jet Printed Sensors and ZigBee Networks", ISWC 2010 - International Symposium on Wearable Computers, 10-13 October 2010, Seoul, KOREA. (Indexed in SCOPUS, IEEE Explore Database)
 50. T. Kerdcharoen, C. Wongchoosuk, "DEVELOPMENT OF PORTABLE ELECTRONIC NOSE AND APPLICATIONS FOR MONITORING ARMPIT ODOR", BMEiCON 2010 - The 3rd Biomedical Engineering International Conference, 27-28 August 2010, Kyoto, JAPAN.
 51. P. Lorwongtragool, C. Wongchoosuk, T. Kerdcharoen, "Portable artificial nose system for assessing air quality in swine buildings", ECTI-CON2010 - 7th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 19-21 May 2010, Chiang Mai, THAILAND. (Indexed in IEEE Explore Database)
 52. Johannes Ph. Mensing, Tanom Lomas, Teerakiat Kerdcharoen, Adisorn Tuantranont, "Inkjet-printed Optical Gas Sensor based on Metallo-phthalocyanine Layers", ECTI-CON2010 - 7th International

- Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 19-21 May 2010, Chiang Mai, THAILAND. (Indexed in IEEE Explore Database)
53. Sumana Kladsomboon, Sirapat Pratontep, Teerakiat Kerdcharoen, "Optical Electronic Nose Based on Porphyrin and Phthalocyanine thin films", ECTI-CON2010 - 7th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 19-21 May 2010, Chiang Mai, THAILAND. (Indexed in IEEE Explore Database)
 54. N. Watthanawisuth, N. Tongrod, T. Kerdcharoen, A. Tuantranont, "Real-time monitoring of GPS-tracking tractor based on ZigBee multi-hop mesh network", ECTI-CON2010 - 7th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 19-21 May 2010, Chiang Mai, THAILAND. (Indexed in IEEE Explore Database)
 55. Weerayut Srichaisiriwech, Anurat Wisitsoat, Ditsayut Phokharatkul, Chanpen Karuwan, Adisorn Tuantranont and Teerakiat Kerdcharoen, "Electronic Tongue Based on Modified Carbon Nanotube Electrochemical Sensor Array", ECTI-CON2010 - 7th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 19-21 May 2010, Chiang Mai, THAILAND. (Indexed in IEEE Explore Database)
 56. Panida Lorwongtragool, Anurat Wisitsoraat and Teerakiat Kerdcharoen, "An Electronic Nose for Amine Detection Based on Polymer/SWNT-COOH Nanocomposites", IEEE International Nanoelectronics Conference (IEEE-INEC 2010), 4-7 January 2010, City University of Hong Kong, Hong Kong, CHINA. (Indexed in IEEE Explore Database)
 57. Sumana Kladsomboon, Theeraporn Puntheeranurak, Sirapat Pratontep and Teerakiat Kerdcharoen, "An Artificial Nose Based on M-Porphyrin (M = Mg, Zn) Thin Film and Optical Spectroscopy", IEEE International Nanoelectronics Conference (IEEE-INEC 2010), 4-7 January 2010, City University of Hong Kong, Hong Kong, CHINA. (Indexed in IEEE Explore Database).
 58. Nattapong Tongrod, Adisorn Tuantranont, Teerakiat Kerdcharoen, "Adoption of Precision Agriculture in Vineyard", ECTI-CON2009 - 6th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 6-9 May 2009, Pattaya, THAILAND. (Indexed in IEEE Explore Database)
 59. Piangkhwon Wanitchang, Somboon Sahasithiwat, Chakkrapan Nerungsi, Tienthong Thongpanchang and Teerakiat Kerdcharoen, "Organic light emitting devices using 9,10-bis (dodecylthio)anthracene as a new emitting material", ECTI-CON2009 - 6th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 6-9 May 2009, Pattaya, THAILAND. (Indexed in IEEE Explore Database).
 60. Chavis Srichan, Thitirat Saikrajang, Tanom Lomas, Apichai Jomphoak, Thitima Maturos, Disayut Phokharatkul, Teerakiat Kerdcharoen, and Adisorn Tuantranont, "Inkjet Printing PEDOT:PSS using Desktop Inkjet Printer", ECTI-CON2009 - 6th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 6-9 May 2009, Pattaya, THAILAND. (Indexed in IEEE Explore Database).

61. Chatchawal Wongchoosuk, Anurat Wisitsoraat, Adisorn Tuantranont, and Teerakiat Kerdcharoen, "Mobile Electronic Nose Based on Carbon Nanotube-SnO₂ Gas Sensors: Feature Extraction Techniques and Its Application", ECTI-CON2009 - 6th International Conference of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association, 6-9 May 2009, Pattaya, THAILAND. (Indexed in IEEE Explore Database).
62. Sumana Kladsomboon, Sirapat Pratontep, Theeraporn Puntheeranurak and Teerakiat Kerdcharoen, "Investigation of Thermal and Methanol-Vapor Treatments for MgTPP as an Optical Gas Sensor", The 4th Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE-NEMS2009), 5-8 January 2009, Sheraton Dameisha Resort, Shenzhen, CHINA. (Indexed in IEEE Explore Database)
63. Sureeporn Uttiya, Sirapat Pratontep, Worawan Bhanthumnavin, Radchada Buntem, Teerakiat Kerdcharoen, "Volatile Organic Compound Sensor Arrays Based on Zinc Phthalocyanine and Zinc Porphyrin Thin Films", Proceeding of IEEE International Nanoelectronics Conference (IEEE-INEC2008), 24-27 March 2008, Shanghai, CHINA. (Indexed in IEEE Explore Database)
64. Sumana Kladsomboon, Sirapat Pratontep, Sureeporn Uttiya, Teerakiat Kerdcharoen, "Alcohol gas sensors based on magnesium tetraphenyl porphyrins", Proceeding of IEEE International Nanoelectronics Conference (IEEE-INEC2008), 24-27 March 2008, Shanghai, CHINA. (Indexed in IEEE Explore Database)
65. C. Wongchoosuk, S. Kongsuk and T. Kerdcharoen, "First Principles and MD Simulation Study of the Interaction of Functionalized Carbon Nanotubes with Water Molecules", Proceeding of the 7th IEEE International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO 2007), 2-5 August 2007, Hong Kong Convention & Exhibition Centre, Hong Kong, China. (Indexed in IEEE Explore Database)
66. Md. Shafiqzaman, A. Udomvech and T. Kerdcharoen, "Theoretical Studies of Pentagon-Heptagon Pair Defects in Carbon Nanotube Junctions", Proceeding of the 7th IEEE International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO 2007), 2-5 August 2007, Hong Kong Convention & Exhibition Centre, Hong Kong, China. (Indexed in IEEE Explore Database)
67. S. Uttiya, T. Kerdcharoen, P. Daungjak Na Ayutthaya, W. Bhanthumnavin, R. Buntem and S. Pratontep, "Optical Gas Sensor Array Based on Metallo-Phthalocyanines and Metallo-Porphyrins", Proceedings of the 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference, 9-12 May 2007, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.
68. C. Wongchoosuk, S. Kongsuk and T. Kerdcharoen, "Computational Molecular Modeling and Simulation of Functionalized Carbon Nanotubes", Proceedings of the 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference, 9-12 May 2007, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.
69. Md. Shafiqzaman, A. Udomvech and T. Kerdcharoen, "The Electronic and Energetic Properties of Linearly Fused Single-walled Carbon Nanotubes by Pentagon-Heptagon Pair Defects", Proceedings of the 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information

Technology International Conference, 9-12 May 2007, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.

70. K. Kasemsuwan, C. Thanachayanont, R. Traiphol and T. Kerdcharoen, "Influences of Fabrication Process on Aggregation of Conjugated Polymer in Thin Films and its Roles on the Performance of Plastic Solar Cells", Proceedings of the 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference, 9-12 May 2007, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.
71. S. Harnsoongnoen, M. Lutz, N. Waranuch, A. Tuantranont and T. Kerdcharoen, "Application of an Electronic Nose for Body Odor Recognition: Opportunity and Problem", Proceedings of the 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference, 9-12 May 2007, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.
72. W. Pimpao, A. Sappat, T. Kerdcharoen, M. Sangworasil, A. Tuantranont, "Electronic Nose System for Orange Juice Freshness Quality Control", Proceedings of the 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference, 9-12 May 2007, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.

ข. ผลงานวิจัยที่นำไปใช้ประโยชน์

ผลงานความร่วมมือกับบริษัท (Contract Research / Open Innovation)

- 1) Development of IoT Smell Monitoring (Singha Corp) (2017-2018)
- 2) Development of Smelling Shirt for Body Odor Tracking, Beiersdorf AG (NIVEA) (2014-2018)
- 3) Smart Farm System for Climate-Smart Eggplant Farming, HC Supply Ltd (2015-2017)
- 4) Smart Farm System for Climate-Smart Edamame Farming, Lanna Agroindustry Ltd (2015-2017)
- 5) Electronic Nose for Malodor Monitoring, SCG Packaging Ltd (2015-2017)
- 6) Development of Jasmine Rice Aroma Sensor, Mobilis Automata Ltd & National Innovation Agency (2015-2016)
- 7) Development of Deliciousness Measurement Machine, Mobilis Automata & National Innovation Agency (2013-2014).
- 8) Development of Sensors and Monitoring Systems for Agricultural Industry – Applications in Feed, Farm and Food, Betagro Group (2013-2016).
- 9) Development of Floating Sensors for Agriculture, Industry and Environment, Mobilis Automata Ltd (2013-2016).
- 10) Development of Diagnostic Device for Liver Cancer, Mobilis Automata Ltd (2014-2017).
- 11) Development of Smart Farm Technology, GranMonte Ltd (2009-2013).
- 12) Electronic nose for malodor reduction in pig farm, Chiang Rai Chai Pattana Ltd (2009-2010).

ผลงานนวัตกรรม

- 1) Electronic Noses in Various Platforms: Portable E-nose, Desktop E-nose, Mobile Robot E-nose, Smelling Shirt, Sniff Shoes

- 2) Smelling Shirts (Body Odor Detection Platform)
- 3) Smart Pillows for Sleep Monitoring
- 4) Smart Shoes for Walking Abnormality Detection
- 5) IoT Field Sensors for Smart Farming
- 6) Mobile Robot and Electronic Nose for Soil Abundance Monitoring
- 7) Flying Robot for Farm and Environment Monitoring
- 8) Floating Wireless Sensors, Online Water Monitoring System
- 9) Wireless Ammonia Sensors

Food

- Grading and quality check of tuna, shrimp, seafood.
- Quality control of meat products, milk and cheese.
- Classification and Identification of Thai Jasmine Rice.
- To check the smell of agriculture raw materials.
- To check the recipe of Tom Yam Goong.
- Measuring the shelf life of food products.

Beverage

- Tracking the development of wine fermentation.
- Wine design, branding of wine, tracking grapevine.
- Measurement of odor of mineral water.
- QC of beer, whiskey and coconut water.
- Classification and Identification of tea.
- Rating of coffee, QC of coffee roasting and cupping.

Cosmetics

- Design of perfume and deodorant.
- Herb recipe measurement.
- QC of cosmetic ingredients.

Agriculture

- QC of agriculture raw materials and products.
- Measurement of volatile organic compounds in soil to assess soil fertility and organic fertilizer.



Portable E-nose



Smelling Shirt

Diabetes diagnosis from urine

Cancer diagnosis from breath

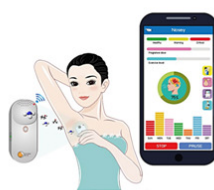
Personalized beauty / cosmetics

Exercise level checking

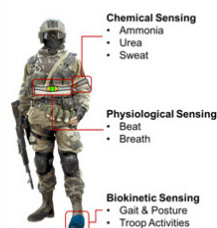
Sleep health monitoring



Personal healthcare



Personalized beauty



Soldier healthcare

Chemical Sensing

- Ammonia
- Urea
- Sweat

Physiological Sensing

- Beat
- Breath

Biokinetic Sensing

- Gait & Posture
- Troop Activities

ค. ผลงานอื่น ๆ เช่น บทความ หนังสือ สิทธิบัตร ฯลฯ

สิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์

- 1) สิริพัฒน์ ประโทนเทพ, รุ่งโรจน์ เมาลานนท์, ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, ไพศาล ดวงจักร ฌ. อัยธยา, คำขอจดสิทธิบัตรเลขที่ 0801004238 เรื่อง “วิธีการตรวจจบบกเกินและเครื่องตรวจวัดกลิ่นที่ใช้วิธีดังกล่าว”
- 2) ชัชวาล วงศ์ชูสุข, Mario Lutz, อติสร เตือนตรานนท์, ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, คำขอสิทธิบัตรเลขที่ 0901001349 เรื่อง “เครื่องตรวจวัดกลิ่นตัวของมนุษย์เพื่อการระบุบุคคล”
- 3) สิริพัฒน์ ประโทนเทพ, สุริย์พร ดวงจักร ฌ. อัยธยา, สมณา กลัดสมบุรณ์, ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, รุ่งโรจน์ เมาลานนท์, รัชฎา บุญเต็ม, วรารณ พันธ์มุนาวัน, คำขอสิทธิบัตรเลขที่ 0901002613 เรื่อง “กระบวนการเตรียมฟิล์มบางสารอินทรีย์ด้วยการอบไอร่หะเหยเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้สำหรับเป็นก๊าชเซ็นเซอร์เชิงแสง”
- 4) ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, ชัชวาล วงศ์ชูสุข, คำขอสิทธิบัตร 1001001840 เรื่อง “เครื่องจุมุกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าทัว”
- 5) ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, พนิดา หล่อวงศ์ตระกูล, คำขอสิทธิบัตร 1101002202 เรื่อง “ชุดหัววัดไอร่หะเหยสารประกอบ แอมโมเนียและเอมีน ประเภทวัสดุผสมนาโน และอุปกรณ์ตรวจวัด ไอร่หะเหยแบบมือถือ (Ammonia and Amine Sensor Array Based on Nanocomposite Materials and Hand-Held Device)”
- 6) ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, สมณา กลัดสมบุรณ์, คำขอสิทธิบัตร 1201002073 เรื่อง “เครื่องจุมุกอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การตรวจจบบกเกิน และเชิงไฟฟ้าเคมี แบบพกพา โดยอาศัยไดโอดเปล่งแสง”
- 7) ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, สิริพัฒน์ พรบครุฑ, คำขอสิทธิบัตร 1501006064 เรื่อง “หุ่นยนต์เซ็นเซอร์สำหรับงานสำรวจด้านเกษตรกรรม”
- 8) ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, ธารา สีสะอาด, ชญานิน คุณารักษ์, คำขอสิทธิบัตร 160100326 เรื่อง “เสื้อดมกลิ่นเพื่อการประเมินสภาวะสุขภาพจากกลิ่นตัว”
- 9) ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, ทรงพันธ์ โลกาวิ, คำขอสิทธิบัตรเรื่อง “ปลอกหมอนเซ็นเซอร์เพื่อตรวจวัดสุขภาพการนอนของมนุษย์” (กำลังยื่นจด)
- 10) ชีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, ตรีนตร เทพอดม, เวทวงศ์ ดอนกระจำง, ธิรวุฒิ นิลพนาพรรณ, ณัฐพล วัฒนวิสุทธิ, คำขอสิทธิบัตรเรื่อง “รองเท้าเก็บข้อมูลการเดินแบบไร้สาย เพื่อตรวจสอบสุขภาพการเดินของผู้สวมใส่และส่งไปยังระบบเครือข่ายทางสังคม” (กำลังยื่นจด)

.....

ง. รางวัลผลงานวิจัยที่ได้รับ

รางวัลผลงานด้านวิชาการ (Academic Recognition)

- DFG Fellow, Technological University of Munich, 1999.
- Cherry L. Emerson Fellow, 2001.
- รางวัลนักวิทยาศาสตร์รุ่นใหม่ พ.ศ. 2544
- รางวัลช่วยเหลือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มูลนิธิโทเรเพื่อวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2548
- รางวัลผลงานวิจัยเด่น สกว. พ.ศ. 2551

- รางวัลผลงานตีพิมพ์ระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2552
- รางวัลนวัตกรรมสืบสวนสอบสวน กรมสืบสวนคดีพิเศษ พ.ศ. 2557
- รางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น สภาวิจัยแห่งชาติ พ.ศ. 2558
- รางวัลมหาวิทยาลัยมหิดล สาขาการประดิษฐ์และนวัตกรรม พ.ศ. 2558
- รางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น สภาวิจัยแห่งชาติ พ.ศ. 2560
- รางวัลผลงานตีพิมพ์คุณภาพ สาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2560

รางวัลผลงานด้าน Entrepreneurship

- 10-Finalists IoT Acceleration of Japan (METI, Japan), 2016.
- 12-Finalists Mitr Phol Bio-innovator Award, 2017.
- 3rd Prize, UAV Thailand Startup Competition, 2017.
- 3rd Prize, IDE-MIT Enterprise Forum Thailand Competition, 2017.
- 3rd Prize, HealthTech4Good Competition, 2017.
- 10-Finalists of IoT Acceleration of Japan (METI - Japan), 2017.
- 12-Finalists of Loreal Innovation Runway (Singapore), 2017.
- 10-Finalists of Taiwan Startup Gateway(Taiwan), 2017.
- Finalists of Tech4Farmers Challenge Asia, 2017.
- Winner of Innovation Award, Entrepreneurship Startup Competition Myanmar (Myanmar), 2017.
- Winner (50-finalists) of K-Startup Global Challenge (Korean government), 2017.
- 10-Finalists of Mekong Agri-tech Market Access Acceleration Program, 2018.

ภาคผนวก

โบรชัวร์ และแผ่นพับ ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคือ
สำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม

ELECTRONIC NOSE



**ELECTRONIC
NOS**

Electronic nose devices mimic the human olfactory system

Electronic Nose Models
At present, we produce two types of Electronic Nose for applications in broad areas of interest.

- 1) **Portable E-nose** for laboratory and field works.
- 2) **E-nose Station** for real-time monitoring of smell in factory, industrial complex, animal farms and smart city as well as indoor air quality in building and hospitals.

We also provide B2B service to develop new products or integrate E-nose into your products.

Product information

Electronic Nose is a tool for monitoring and analysis of smells. Its working principle mimics the mammalian olfaction including human. Electronic nose can be used to learn, recognize and classify odor patterns. It is a valuable tool for odor quality assessment in the food & beverage, cosmetic, agricultural, environment, security and healthcare industries.




Portable E-nose
E-nose station

Application of Electronic Nose

Cosmetics and perfume

- Design of perfume and deodorant.
- Herb recipe measurement.
- QC of cosmetic ingredients.

Healthcare

- Diabetes diagnosis from urine
- Cancer diagnosis from breath
- Exercise level checking

Robotics & IoTs

- Robot Chef
- Robot barista
- Service Robot

Food & Beverage

- Tracking the development of wine fermentation.
- Wine design, branding of wine, tracking grapevine.
- Classification and Identification of Thai Jasmine Rice.

Environmental

- Measurement of odor emission and identification of odor source from pig farm, factory and industry complex.



**ELECTRONIC
NOS**

Electronic Nose Co., Ltd.
119/242, No. 1, Saima, Mueang Nonthaburi
Nonthaburi, Thailand 11000
Tel: +668 3699 3986, Email: Theerapat@e-nose.asia

โบรชัวร์ และแผ่นพับ ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้ว
สำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม

Electronic Nose for Environmental Monitoring



Portable E-nose



E-nose station



Sensor drone



Applications of Electronic Nose for Smart Factory

- Measurement of odor emission and identification of odor source from pig farm.
- Measurement of odor emission and identification of odor source from factory and industrial complex.
- Smart indoor and outdoor odor monitoring system.



Application of Electronic Nose for Smart City



Electronic Nose Co., Ltd.

119/242, No. 1, Saima, Mueang Nonthaburi

Nonthaburi, Thailand 11000

Tel: +668 3699 3986, Email: Theerapat@e-nose.asia

โบรชัวร์ และแผ่นพับ ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคู่สำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม

E-nose Station "Smell Monitoring System"



สถานีตรวจวัดกลิ่นแบบออนไลน์ เพื่อการตรวจวัดกลิ่นแบบต่อเนื่อง ทำให้สามารถแจ้งเตือนได้เมื่อมีกลิ่นรบกวนความเข้มข้นเกินกว่าระดับที่กำหนด รวมถึงบอกทิศทางการเคลื่อนของกลิ่นรบกวนนั้นด้วย





ELECTRONIC NOS

Electronic Nose

"Smell you can see"

Address: Nonthaburi, 11000 Thailand
Phone: (66) 083-6993986
E-mail: Theerapatge-nose.asia
Website: www.e-nose.asia



Audit
your machines



Find the cause
of problems



Plans and
Solutions



Monitor the
smell



Research and
Development

Case Studies:

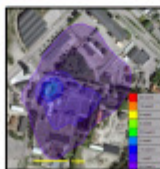
- ทดสอบว่ากลิ่นที่รบกวนในชุมชนมาจากแหล่งกำเนิดกลิ่นใดในเขตอุตสาหกรรมที่ปล่อยกลิ่นรบกวน
- ค้นหาเครื่องจักร หรือ Stack ที่ปล่อยกลิ่นรบกวนชุมชน
- ดูการแพร่กระจายของกลิ่นรบกวนในแต่ละช่วงเวลาของเดือน
- ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดกลิ่น
- ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดกลิ่น โดยการปรับเปลี่ยน ตัวแปร หรือปริมาณสารเคมีที่สามารถทำได้ เพื่อเปรียบเทียบกับความคุ้มค่าในการลงทุน
- ประเมินอัตราการลดลงของกลิ่นจากการจัดการมลพิษของพื้นที่รอบโรงงาน เช่น การปลูกต้นไม้ ฯลฯ

How can we solve your problems?

HUMAN NOSE VS ELECTRONIC NOSE



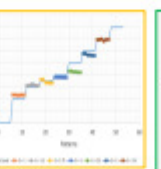
We are developing machine olfaction technology which mimics the human's sense of smell to give robots the power to smells, which is so-called electronic nose. Electronic nose is a platform technology that can digitize the smell, easier to visualize and communicate with human.



Evaluating



Mapping



Profiling

Environmental Monitoring Platform



โปสเตอร์ประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์จมูกอิเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม

“Smell you can SEE”
“ทำเรื่องกลิ่นให้เป็นสิ่งที่คุณมองเห็นได้”

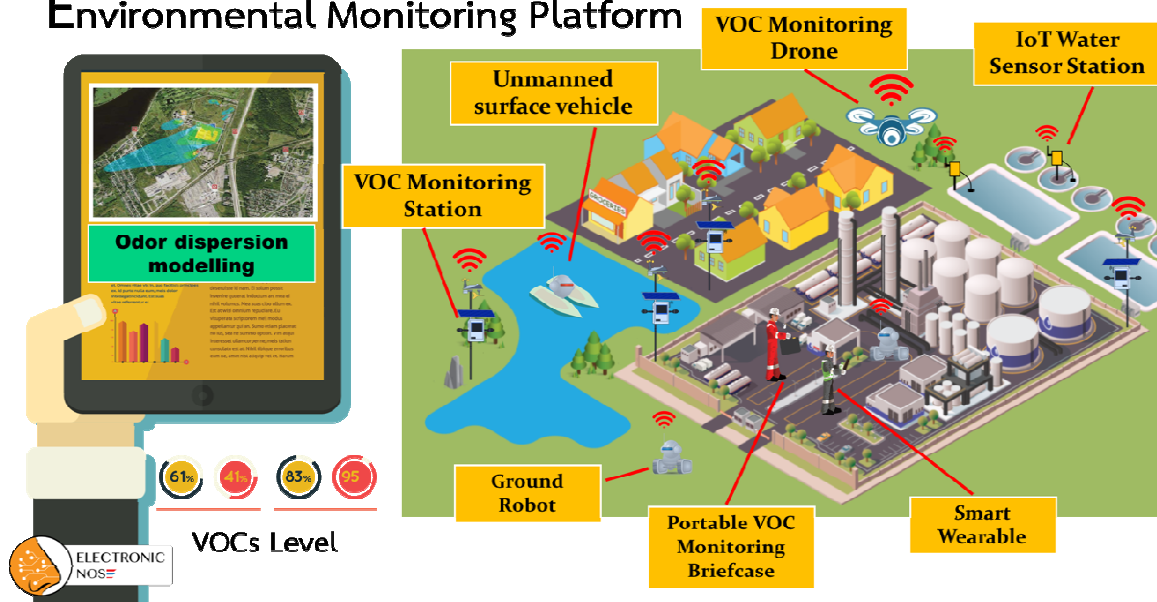
Email: Theerapat@enose.biz Tel. (66) 083-6993986
 www.enose.asia

บริการของเรา

- ทดสอบประสิทธิภาพระบบกำจัดกลิ่น
- ค้นหาสาเหตุของกลิ่นรบกวน
- วางแผน และแก้ไขปัญหากลิ่น
- ตรวจสอบกลิ่นแบบต่อเนื่อง
- วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่



Environmental Monitoring Platform



รูปภาพตัวอย่างการออกนิทรรศการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์จมูกอิเล็กทรอนิกส์
แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม



รูปภาพตัวอย่างการออกนิทรรศการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์จุ่มอิเล็กทรอนิกส์ แบบกระเป๋าหิ้วสำหรับตรวจวัดกลิ่นในสิ่งแวดล้อม



คู่มือการใช้งานเครื่องจุ่มก๊อเล็กทรอนิกส์แบบกระเป๋าคือสำหรับตรวจวัดกลิ่นใน
สิ่งแวดล้อม



คู่มือการใช้งาน
เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

Powered by Electronic Nose Co., Ltd.

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
1. เครื่องจุ่มกือเล็กทรอนิกส์	1
1.1 รายการส่วนประกอบของเครื่องจุ่มกือเล็กทรอนิกส์	2
1.2 ขั้นตอนการใช้งาน	3
2. โปรแกรม E-Nose Machine	5
2.1 การติดตั้งโปรแกรม E-Nose Machine	6
2.2 การใช้โปรแกรมสำหรับการทดลองดมกลิ่น	8
2.3 การเปิดดูไฟล์ผลการทดลองย้อนหลัง	10
2.4 การวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการ PCA (Principal component analysis)	11
2.5 การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองของเซนเซอร์ (Percent Sensing Response)	13
3. การบำรุงรักษาเครื่องจุ่มกือเล็กทรอนิกส์	
3.1 การเก็บเครื่องจุ่มกือเล็กทรอนิกส์	15
3.2 การทำความสะอาดระบบไหลเวียนอากาศ	15
4. ข้อมูลแก๊สเซนเซอร์	16

1. เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์



เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Nose Machine)

จมูกอิเล็กทรอนิกส์ เป็นอุปกรณ์ที่จำลองระบบการดมกลิ่นเพื่อเลียนแบบจมูกมนุษย์ โดยมีส่วนประกอบสำคัญพื้นฐานคือ ส่วนการรับกลิ่น ซึ่งจะมีหัวแก๊สเซนเซอร์ที่มีความไวต่อสารเคมีระเหยแตกต่างกันหลาย ๆ ชนิด ประกอบเข้าด้วยกันคล้ายการทำงานของจมูกมนุษย์ แก๊สเซนเซอร์แต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อกลิ่น แก๊ส หรือไอระเหยที่แตกต่างกัน เมื่อโมเลกุลของสารเคมีเหล่านั้นมาสัมผัสกับหัววัดเซนเซอร์จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซนเซอร์ในรูปแบบของความต้านทานที่แตกต่างกัน จากนั้นหน่วยประมวลผลโดยระบบคอมพิวเตอร์จะทำการบันทึกค่าสัญญาณที่อ่านค่าได้ไว้ เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติเปรียบเทียบกับกลิ่นของสารตัวอย่างที่เราต้องการทราบความแตกต่าง ระบบก็จะบอกเราว่ากลิ่นตัวอย่างที่นำมาทดสอบเปรียบเทียบกับกลิ่นที่มีความเหมือนหรือแตกต่างกับกลิ่นที่บันทึกไว้หรือไม่ ในรูปแบบของกราฟ PCA (Principal Component Analysis) แม้ว่าการวิเคราะห์กลิ่นด้วยเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างได้เพียงในเบื้องต้น ไม่สามารถระบุได้ว่ากลิ่นที่ตรวจวัดประกอบด้วยสารเคมี ไตบ้าง แต่เป็นวิธีที่ให้ได้รวดเร็วในทันทีและให้ข้อมูลเพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้งานส่วนมาก



รูปที่ 1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องจุ่มกือเล็กทรอนิกส์

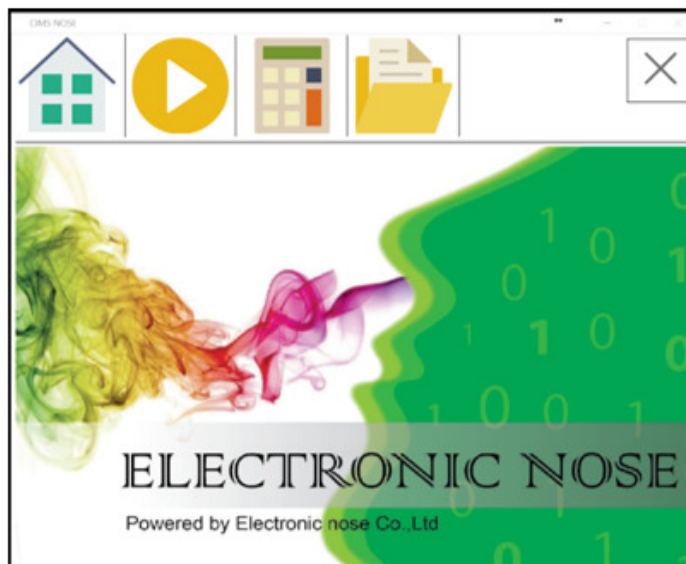
1.1 รายการส่วนประกอบของเครื่องจุ่มกือเล็กทรอนิกส์

- | | |
|--|---|
| 1. USB port | 6. สวิตช์เปิด/ปิด กระแสไฟชาร์จ Tablet |
| 2. Port 12V out (สำหรับชาร์จ Tablet) | 7. สวิตช์เปิด/ปิด กระแสไฟจากระบบแบตเตอรี่ |
| 3. ช่องต่อท่อสำหรับดูด Sample | 8. สวิตช์เปิด/ปิด และช่องสำหรับเสียบสายไฟ 220 V |
| 4. ช่องต่อท่อสำหรับ Air zero (Reference) | 9. สัญญาณไฟแสดงสถานะการทำงาน |
| 5. ท่อสำหรับอากาศออกจาก Gas sensor chamber | 10. ช่องต่อกระแสไฟฟ้าจากระบบแบตเตอรี่ |

1.3 ขั้นตอนการใช้งาน

1. เสียบปลั๊กไฟ 220 V และเปิดสวิตช์ของเครื่อง
2. ต่อสาย USB จากตัวเครื่องจุ่มกือเล็กทรอนิกส์เข้ากับคอมพิวเตอร์ Tablet
3. เปิดโปรแกรม CIMS NOSE
4. ต่อท่อกรองอากาศเข้ากับช่อง Air Filter
5. นำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบใส่ลงในขวด Sample และต่อขวด Sample เข้ากับช่อง Sample ที่ตัวเครื่อง
6. ทำการตั้งค่าสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องจากโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ (ขั้นตอนการใช้งานจะอธิบายในส่วนของการใช้โปรแกรม) และกดปุ่ม Start
7. รอเครื่องทำงานจนเสร็จ

2. โปรแกรม CIMS NOSE

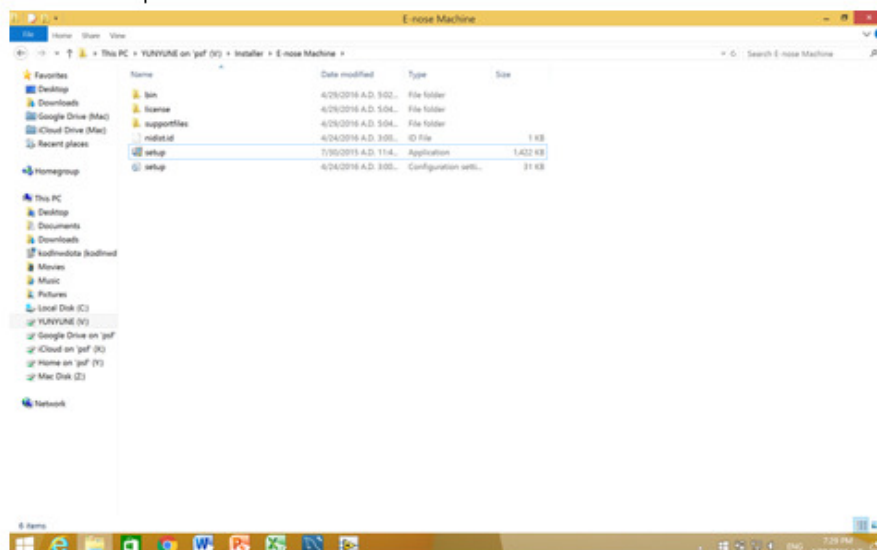


โปรแกรม CIMS NOSE

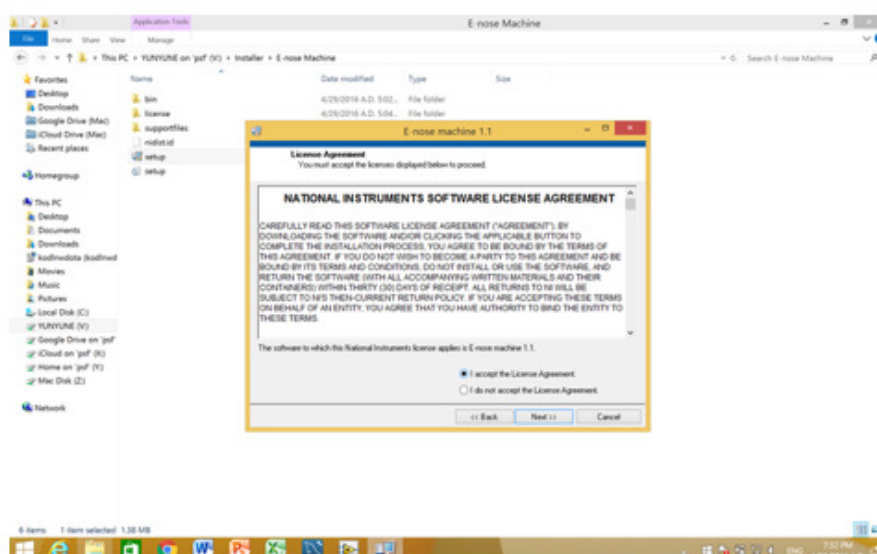
โปรแกรม CIMS NOSE ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานกับเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะ ตัวโปรแกรมถูกออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถดูผลการตรวจวิเคราะห์แบบ Real-Time ได้ในรูปแบบของกราฟ สามารถบันทึกข้อมูลการตรวจวัดในรูปแบบของ Text ไฟล์ได้เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมอื่น ๆ เช่น Microsoft Excel เป็นต้น นอกจากนี้ตัวโปรแกรม E-Nose Machine เองยังมีฟังก์ชันในการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการทาง PCA (Principal Component Analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ของกลิ่นตัวอย่างที่เราสนใจว่ามีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร โดยแสดงผลในรูปแบบของกราฟที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย และยังสามารถคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองของเซนเซอร์แต่ละชนิดได้อีกด้วย

2.1 การติดตั้งโปรแกรม E-Nose Machine

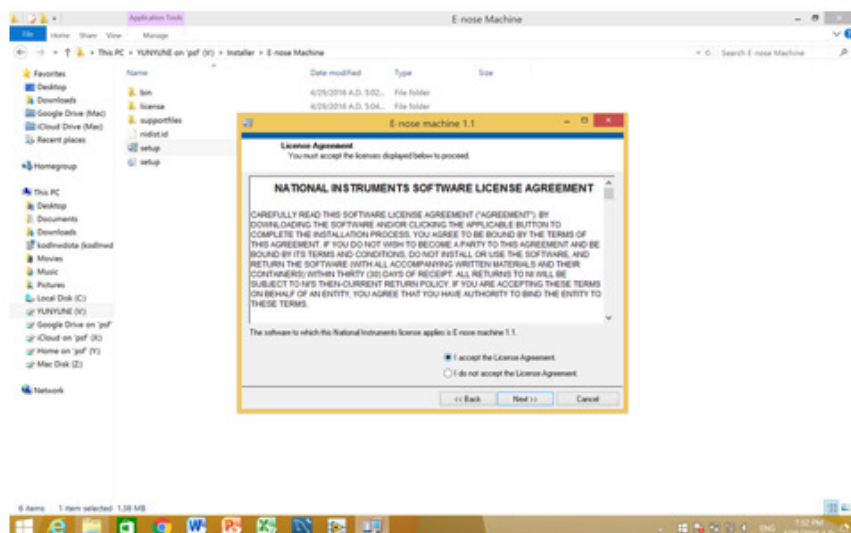
1. ใส่แผ่นโปรแกรมใน CD/DVD กดรันโปรแกรม **Setup.Exe**



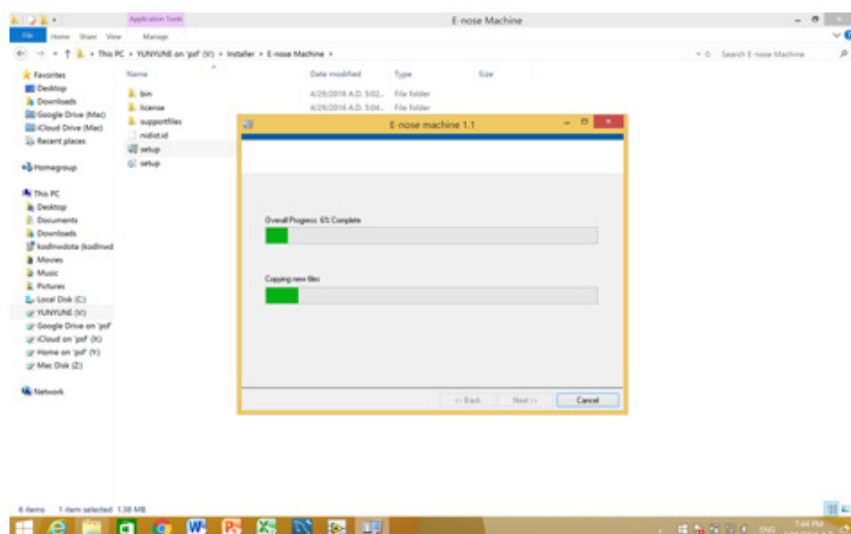
2. เลือกตำแหน่งที่จะติดตั้ง (แนะนำให้ใช้ตำแหน่งที่กำหนดมาให้) กด **Next**



3. เลือก I accept license agreement กด Next



4. กด Next เพื่อเข้าสู่การติดตั้ง รออนโปรแกรมติดตั้งเสร็จ

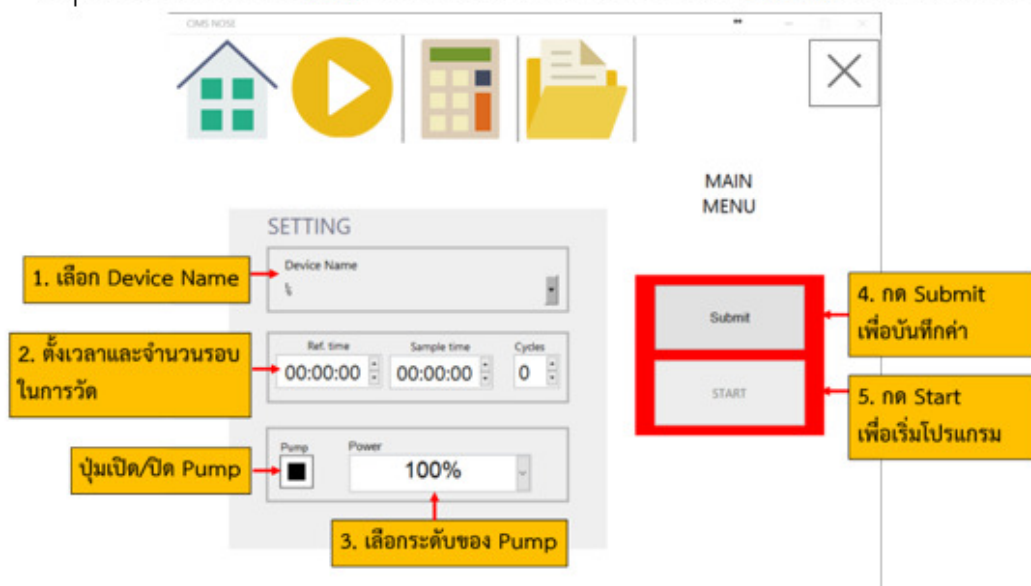


2.2 การใช้โปรแกรมสำหรับการทดลองนมกลั่น

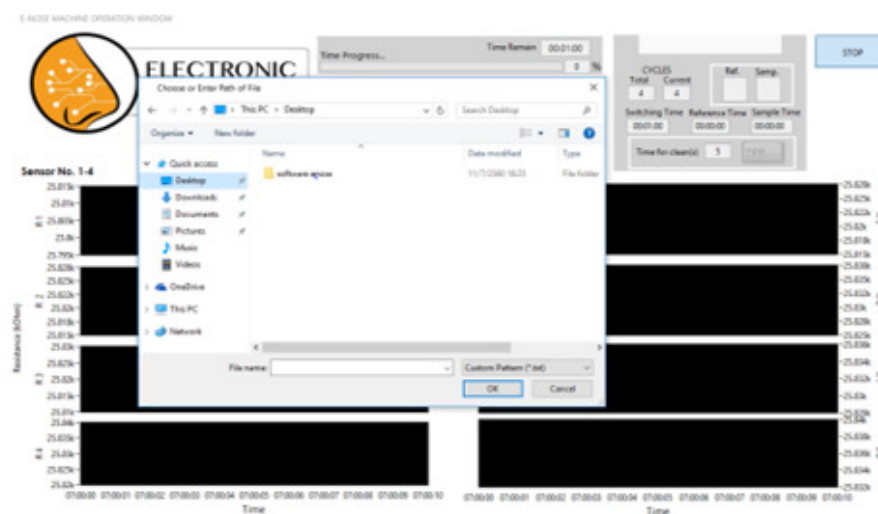
1. เปิดโปรแกรม **CIME NOSE** โปรแกรมจะแสดงส่วนของ **Home** โดยมีรายละเอียดตามรูปด้านล่าง



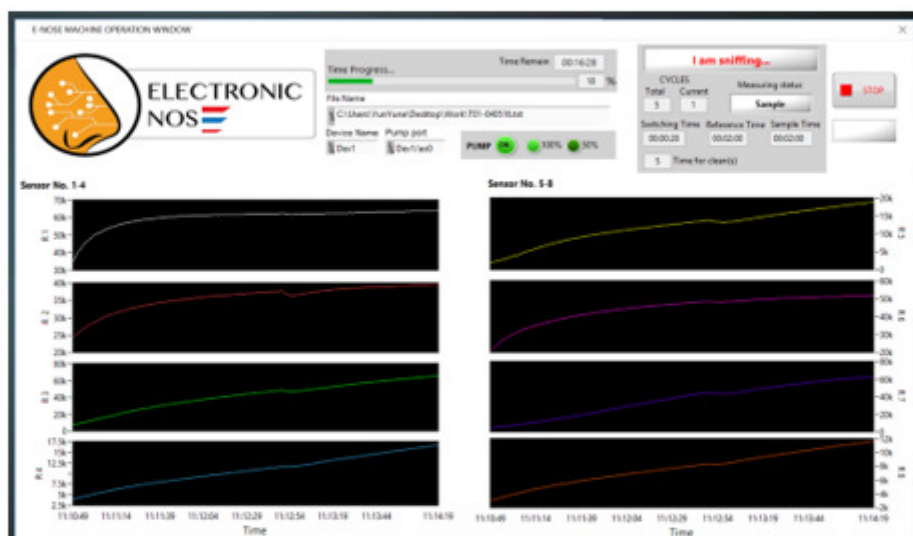
2. การกำหนดค่า Parameter ต่างๆ สำหรับการทดลองสามารถทำได้โดยคลิกที่ปุ่ม **Setting** โดยมีส่วนประกอบดังนี้



3. หลังจากกดปุ่ม RUN โปรแกรมจะให้ผู้ใช้ทำการกำหนดที่อยู่และตั้งชื่อไฟล์ (ที่อยู่และชื่อไฟล์ต้องเป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น)

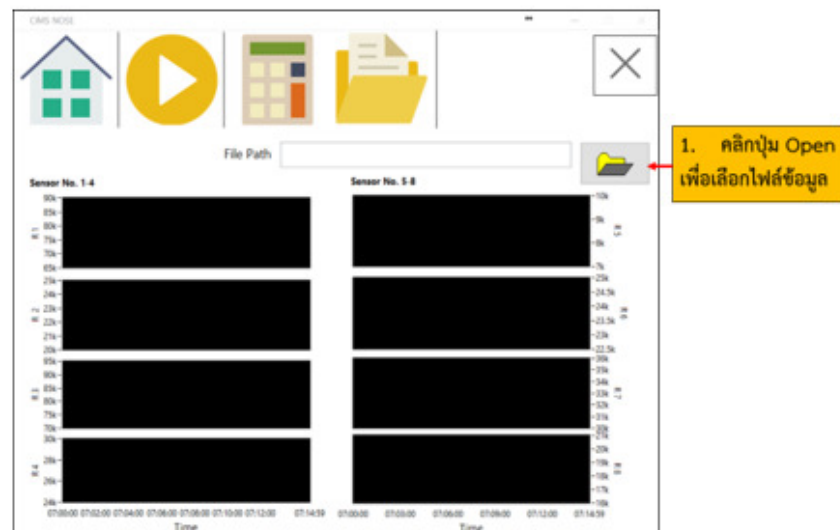


4. หน้าต่างแสดงสัญญาณการตรวจวัด ในหน้าต่างนี้จะแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้ตั้งค่าไว้ทั้งหมดและแสดงสัญญาณแบบ Real-Time ของค่าที่ sensor ทั้งแปดชนิด รอจนเครื่องทำงานเสร็จหน้าต่างจะปิดอัตโนมัติ

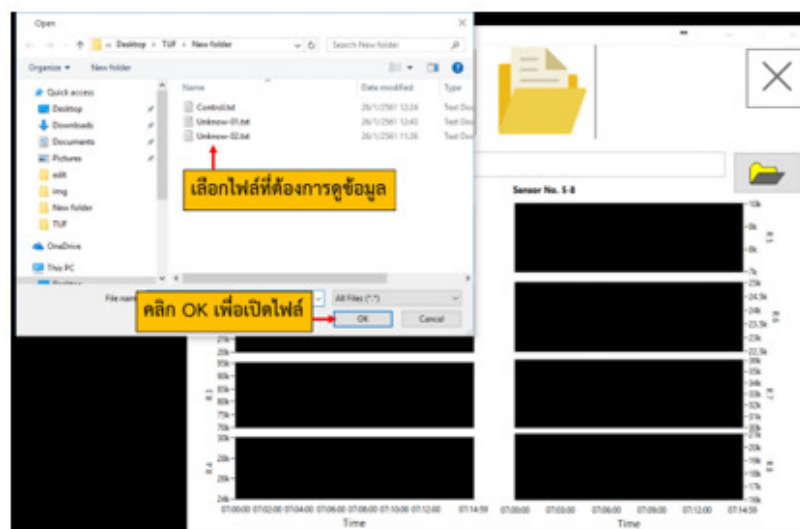


2.3 การเปิดดูไฟล์ผลการทดลองย้อนหลัง

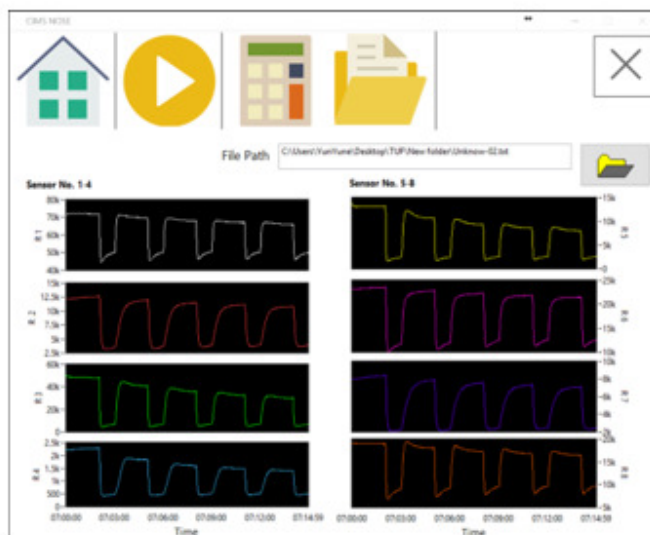
1. เปิดไฟล์ที่ทำการบันทึกไว้โดยเลือกเมนู **File -> Open**



2. จากนั้นจะได้หน้าต่างที่แสดงค่าที่ได้จากการวัดโดยมีขั้นตอนดังนี้

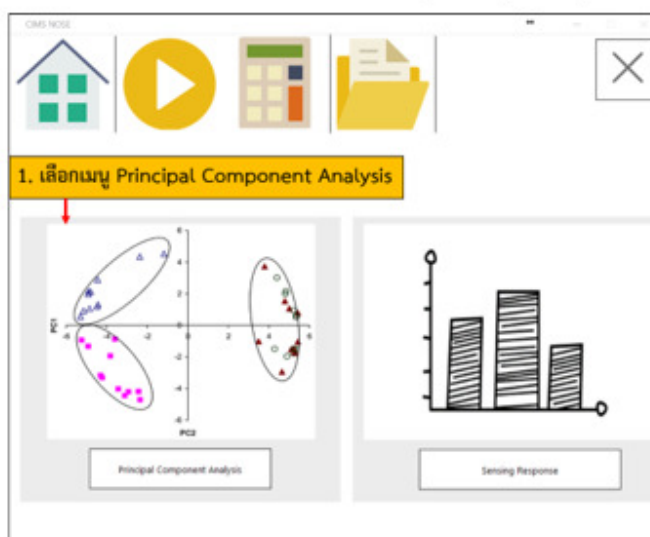


3. โปรแกรมแสดงผลข้อมูลไฟล์ที่ต้องการ

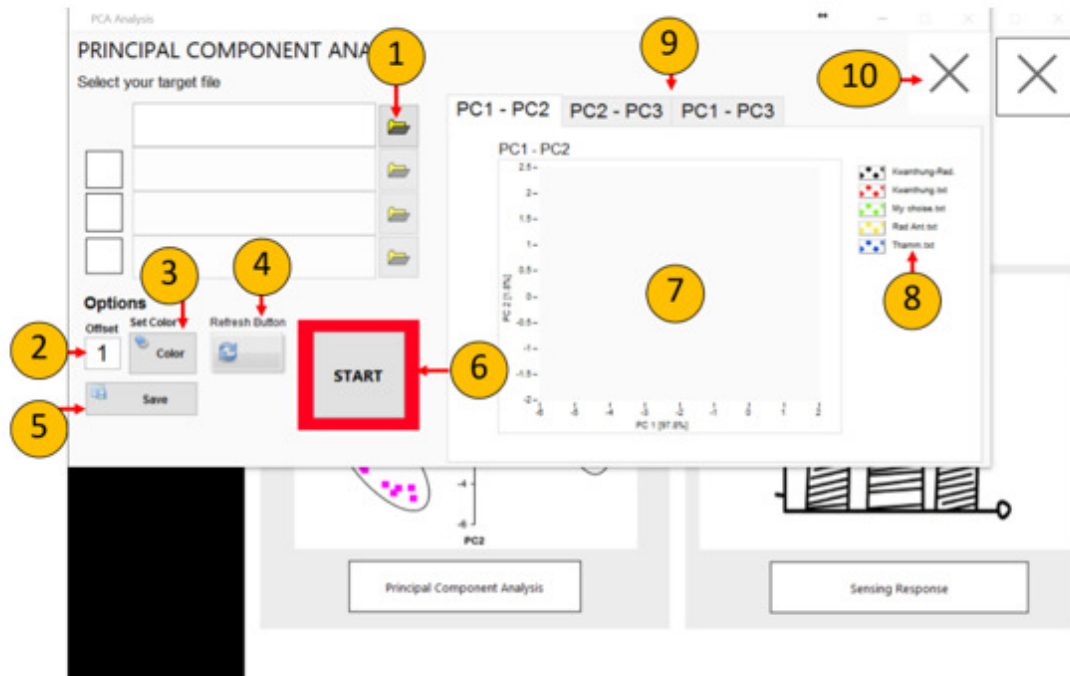


2.4 การวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการ PCA (Principal component analysis)

1. เลือกเมนู **Calculation** ที่หน้าต่าง **Home** หลังจากนั้น เลือกเมนู Principal Component Analysis

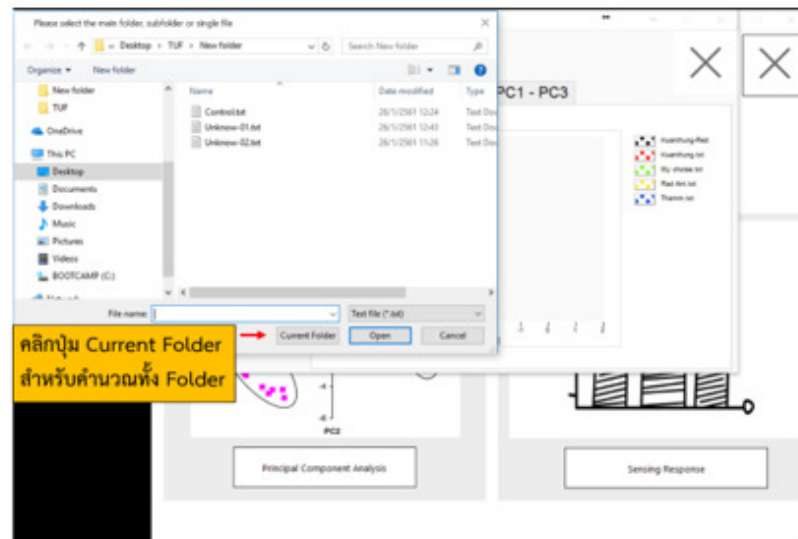


2. จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างในส่วนของการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

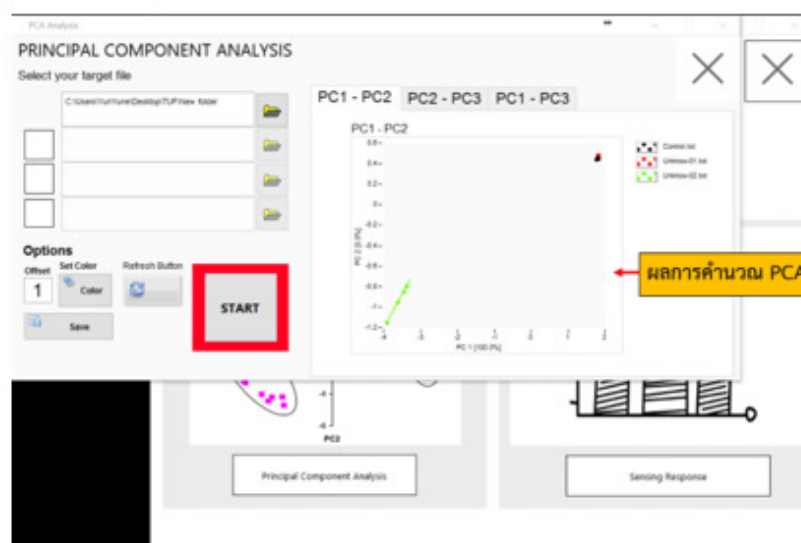


- 2.1. ปุ่ม **Open** เลือกไฟล์ที่ต้องการวิเคราะห์
- 2.2. ปุ่ม **Offset** สำหรับตัดข้อมูลใน Cycle ที่ไม่ต้องการออก
- 2.3. ปุ่ม **Set Color** สำหรับเลือกสีในการแสดงผล PCA
- 2.4. ปุ่ม **Refresh Button** สำหรับเคลียร์กราฟ PCA
- 2.5. ปุ่ม **Save** สำหรับเซฟไฟล์ PCA
- 2.6. ปุ่ม **Start** สำหรับเริ่มการคำนวณ
- 2.7. หน้าต่างสำหรับแสดงผลการคำนวณ PCA
- 2.8. หน้าต่างสำหรับแสดง Label ของข้อมูล
- 2.9. ปุ่ม **Close** สำหรับปิดหน้าต่าง PCA

3. เลือกไฟล์ข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์โดยสามารถเลือกไฟล์ได้ทีละไฟล์ หรือเลือกวิเคราะห์ไฟล์ทั้ง Folder

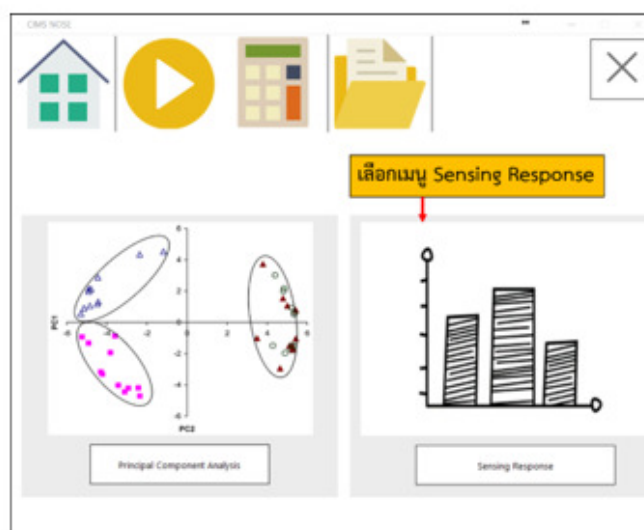


4. โปรแกรมจะแสดงผลการวิเคราะห์ในหน้าต่างแสดงผลกราฟ PCA

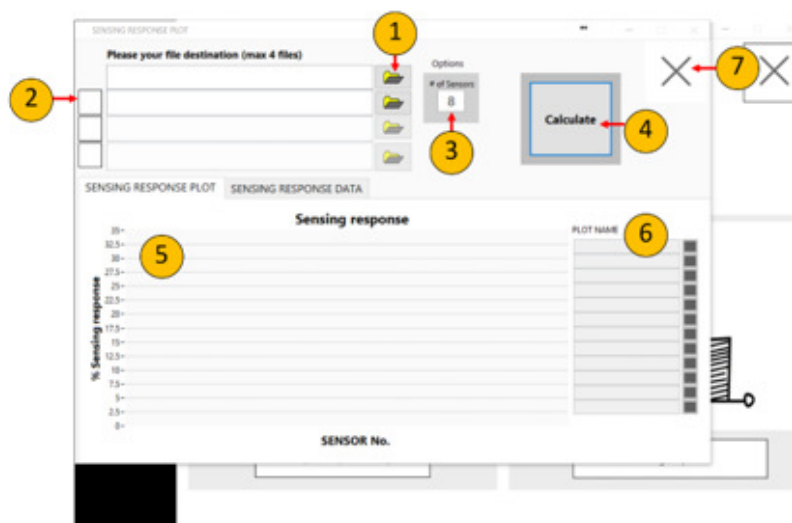


2.5 การวิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองของเซนเซอร์ (Percent Sensing Response)

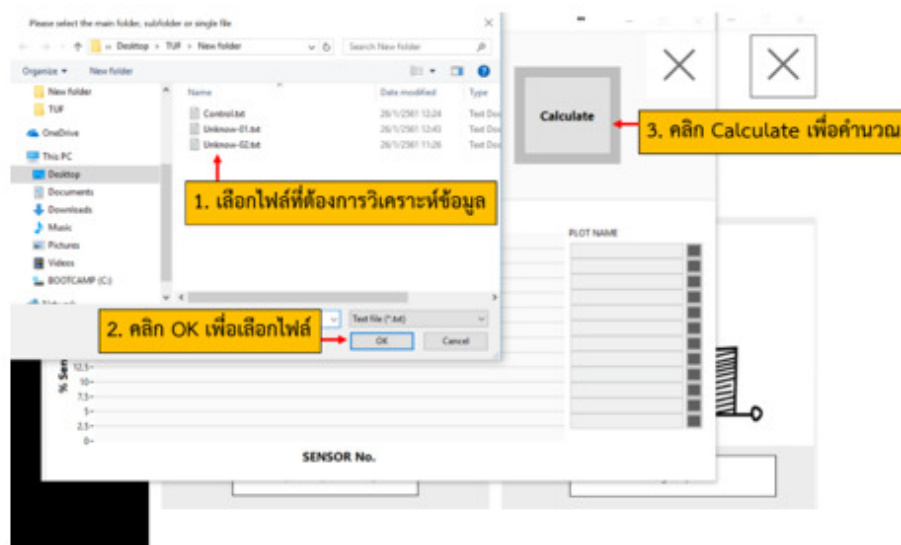
1. เลือกเมนู **Calculation** ที่หน้าต่าง Home หลังจากนั้น เลือก **Sensing Response**



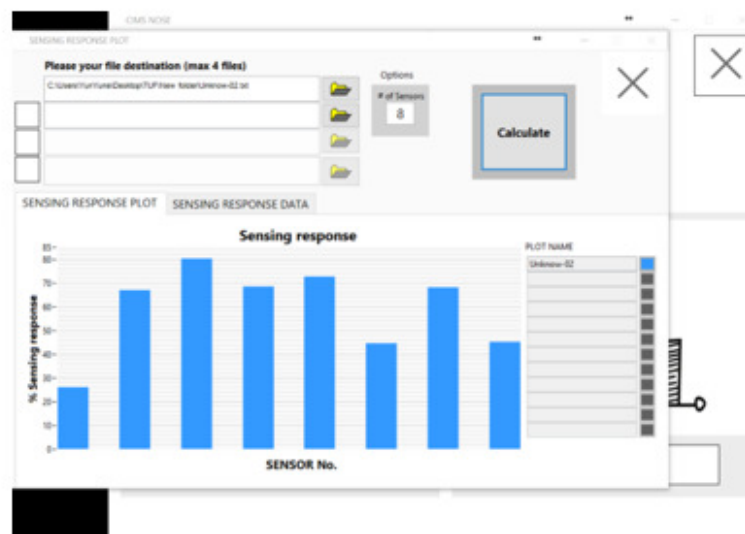
2. จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างในส่วนของการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดดังนี้



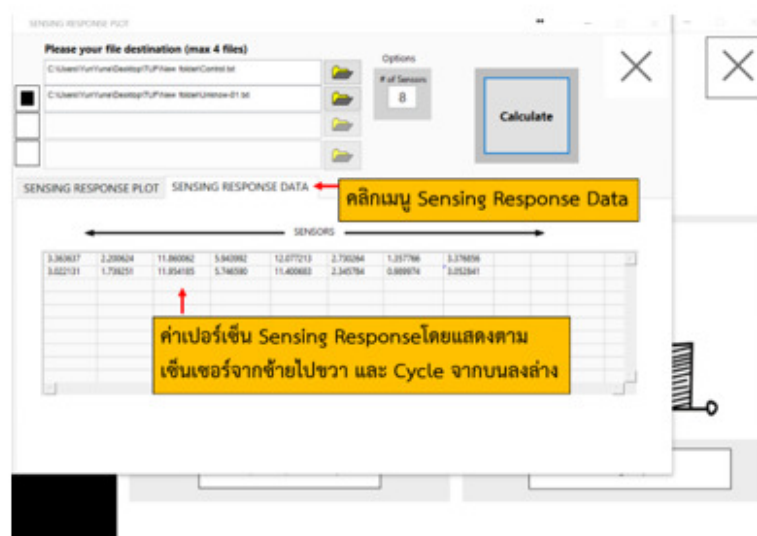
- 2.1. ปุ่ม **Open file** สำหรับเปิดไฟล์ข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์
 - 2.2. ปุ่มเพิ่มไฟล์
 - 2.3. ปุ่มเลือกจำนวน Sensor ที่ต้องการวิเคราะห์
 - 2.4. ปุ่ม **Calculate** สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล
 - 2.5. หน้าต่างแสดงผลกราฟ Sensing Response
 - 2.6. หน้าต่างแสดง Label ของข้อมูล
 - 2.7. ปุ่ม **Close** สำหรับปิดหน้าต่างโปรแกรมวิเคราะห์ Sensing Response
3. คลิกที่ปุ่ม **Open file** เพื่อเลือกไฟล์ที่ต้องการวิเคราะห์



4. โปรแกรมจะแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังรูป



5. สามารถเลือกดูไฟล์ตัวเลขของข้อมูล Sensing Response ได้



6. การบำรุงรักษาเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

3.1 การเก็บเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์

หลังจากใช้งานเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์เสร็จแล้วผู้ใช้ควรเก็บเครื่องให้เรียบร้อยโดยทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำความสะอาดระบบท่อ และแอมเบอร์ของเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์โดยการเปิดให้เครื่องทำงานในอากาศสะอาด ประมาณ 30 นาที เพื่อกำจัดกลิ่นตกค้างในระบบ
2. ปิดสวิตช์ ถอดสายสัญญาณออกจากคอมพิวเตอร์ และถอดสายไฟเก็บให้เรียบร้อย
3. ควรวางเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ใน **แนวนอน** ไม่ควรเก็บในบริเวณที่มีความชื้นหรืออุณหภูมิสูง เพราะอาจทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในขัดข้องได้

3.2 การทำความสะอาดระบบไหลเวียนอากาศ

หลังการใช้งานเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ทุกครั้งผู้ใช้ควรทำความสะอาดระบบไหลเวียนแก๊สภายในเครื่อง เพื่อป้องกันกรณีที่มีสารหรือแก๊สตกค้างในระบบ เช่นบริเวณวาล์ว **ปั๊ม** หรือในท่อ โดยการทำความสะอาดระบบไหลเวียนอากาศภายในเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ผู้ใช้สามารถปฏิบัติตามขั้นตอน ดังนี้

1. นำเครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ไปวางไว้ในที่ที่มีอากาศสะอาด
2. เปิดโปรแกรม Electronic Nose Machine และทำการตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับทำความสะอาดระบบในเมนู Config ดังนี้
 - Reference Time: 15 นาที
 - Sample Time: 15 นาที
 - Power power: 100%
3. สั่ง Run โปรแกรม และรอนจนเครื่องทำงานเสร็จ