การเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้ในพื้นที่บ่อขยะโดยใช้โดรน และเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล

Fire Monitoring of Municipal Solid Waste in Dumpsite Area Using Drone and Remote Sensing Technology

คณาวุฒิ อินทร์แก้ว

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้ในพื้นที่บ่อขยะโดยใช้โดรน และเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล

Fire Monitoring of Municipal Solid Waste in Dumpsite Area Using Drone and Remote Sensing Technology

คณาวุฒิ อินทร์แก้ว

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง การเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้ในพื้นที่บ่อขยะโดยใช้โดรนและเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล

ผู้วิจัย นายคณาวุฒิ อินทร์แก้ว

ปีที่ทำการวิจัย 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (โดรน) ร่วมกับเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล เพื่อเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้บ่อขยะ โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการออกแบบและการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบเพื่อช่วยในการเก็บข้อมูล การลงพื้นที่ภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมจริง การเก็บตัวอย่างขยะและการตรวจวัดก๊าซ การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมระบบ MODIS โดยมีพื้นที่วิจัยภาคสนามในจังหวัดนนทบุรี พระนครศรีอยุธยา และปทุมธานี และพื้นที่วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมครอบคลุม จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี และสมุทรปราการ ผลการศึกษาพบว่า โดรนและอุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้โดยให้ผลในการตรวจวัดก๊าซที่ใกล้เคียงกับเครื่องมือตรวจวัดที่ใช้เทียบมาตรฐาน การสำรวจข้อมูลภาคสนามพบว่า ขยะที่ถูกนำมาทิ้งมีองค์ประกอบเป็นพลาสติก อินทรีย์วัตถุ และเศษผ้ารวมสูงถึงร้อยละ 74.9 ซึ่งเป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการเกิดแก๊สและการลุกไหม้ของบ่อขยะได้เป็นอย่างดี การใช้โดรนและข้อมูลจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล สามารถนำมาเป็นเครื่องมือในการช่วยเฝ้าระวังและติดตามการเกิดไฟไหม้บ่อขยะได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : ไฟไหม้, บ่อขยะ, ขยะชุมชน, โดรน, การรับรู้ระยะไกล, การเฝ้าระวัง

Title Fire Monitoring of Municipal Solid Waste in Dumpsite Area Using Drone and Remote Sensing Technology

Researcher Kanawut Inkaew

Year 2018

Abstract

This research was the application of Unmanned Arial Vehicle (drones) in conjunction with remote sensing technology to monitor the occurrence of the waste dump site fire. The research began with designing and developing prototype tools to collect data from the field site. After the tools were tested, they were used to measure gases from the dumping sites. After that, the field observation was performed in Nonthaburi Province, Pathum Thani Province and Pha Nakhon Si Ayuthaya Province. The final step of the research was to collect the data of active fire hot spot and image from MODIS system satellite covered the area of Nonthaburi Province, Pathum Thani Province, Pha Nakhon Si Ayuthaya Province and Samut Prakan Province in the period of 1 November 2017 to 31 October 2018. The result showed that the developed drone and the prototype gas detection units worked as designed. The result of gases measurement by the tools were similar to the references equipment. The field observation showed that the dumping site mainly composted of plastic, organic matter and cotton which up to 74.9 percent in total. This indicated the factor that influenced the dump site gas generation. Based on the combination technique in the research, it could be concluded that Drone and Remote sensing technology were the compromised technology for monitoring fire from the municipal solid waste dump site area.

Key words: Fire, Dumpsite, Municipal solid waste, Drone, Remote sensing, Monitoring

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผู้วิจัยขอขอบคุณองค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี สำหรับการให้ความอนุเคราะห์เข้าพื้นที่ภาคสนาม ณ สถานที่กำจัดมูลฝอย หมู่ที่ 8 ต.คลองขวาง อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี ขอขอบคุณบริษัท ต.คิดดีจำกัด สำหรับการให้ความอนุเคราะห์เข้าพื้นที่ภาคสนาม ณ สถานที่พักขยะ ต.คลองสาม และคุณประจวบ ดวงแก้ว ที่ได้ให้ข้อมูลสัมภาษณ์พร้อมการอำนวยความสะดวกระหว่างการปฏิบัติงานในพื้นที่ภาคสนาม ณ สถานที่พักขยะ ต.คลองสาม อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี อนึ่งงานวิจัยนี้คงไม่อาจสำเร็จลงได้หากปราศจากความช่วยเหลือจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งที่เอ่ยนามและมิได้เอ่ยนาม ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

คณาวุฒิ อินทร์แก้ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง-จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1-3
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3-4
1.4 ระยะเวลาการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 ผลสำเร็จที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	4-5
1.8 แผนการดำเนินงานวิจัย	5
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การเกิดไฟไหม้บ่อขยะและการเฝ้าระวัง	6-7
2.2 การตรวจวัดอุณหภูมิบ่อขยะ	7
2.3 การวัดองค์ประกอบและปริมาณของก๊าซ	8-9
2.4 เครื่องมือตรวจวัดก๊าซ	9-11
2.5 เซนเซอร์	11-12
2.6 โดรน	12
2.7 องค์ประกอบของโดรน	13-14
2.8 ประเภทของโดรน	14-16
2.9 เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล	16
2.10 หลักการของการรับรู้ระยะไกล	16-17
2.11 ดาวเทียมระบบ MODIS	17-18
2.12 การตรวจหา Fire hot spot โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม	18-19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19-21
3. วิธีดำเนินการวิจัย	22
3.1 พื้นที่วิจัย	22-24
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการสำรวจภาคสนาม	24
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย	24-28
4. ผลวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	29
4.1 ผลการพัฒนาเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลภาคสนามแบบติดตั้งในพื้นที่	29-32
4.2 ผลการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซและโดรนต้นแบบ	32-35
4.3 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนาม	35-43
4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล	42-51
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผล	52-53
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
บรรณานุกรม	54-57
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	58-59

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และการเกิดไฟไหม้ที่บ่อขยะ	7
ตารางที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และการเกิดไฟไหม้ที่บ่อขยะ	8
ตารางที่ 4.1	แสดงคุณสมบัติของเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้น	30
ตารางที่ 4.2	แสดงค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน	31
ตารางที่ 4.3	แสดงค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซมีเทน	35
ตารางที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยประเภทต่าง ๆ	37
ตารางที่ 4.5	ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซในพื้นที่พักขยะ	37
ตารางที่ 4.6	จำนวนจุดความร้อนจากไฟที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2560 - ตุลาคม 2561	42
ตารางที่ 4.7	จำนวนจุดความร้อนจากไฟที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2560 - ตุลาคม 2561	49
ตารางที่ 4.8	สถิติการเกิดไฟไหม้บ่อขยะในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ.2558 - 2561	51

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6	10
ภาพที่ 2.2	เครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR	11
ภาพที่ 3.1	พื้นที่วิจัยภาคสนามในจังหวัดนนทบุรี	22
ภาพที่ 3.2	พื้นที่วิจัยภาคสนามในจังหวัดปทุมธานี	23
ภาพที่ 3.3	พื้นที่วิจัยภาคสนามในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา	23
ภาพที่ 3.4	เครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้น	25
ภาพที่ 3.5	อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ภายในกล่องอิเล็กทรอนิกส์	25
ภาพที่ 3.6	อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนโดรนต้นแบบ	26
ภาพที่ 3.7	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายในชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนโดรนต้นแบบ	27
ภาพที่ 3.8	โดรนต้นแบบสำหรับการเฝ้าระวังไฟไหม้บ่อขยะ	27
ภาพที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	33
ภาพที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	34
ภาพที่ 4.3	ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซมีเทน	34
ภาพที่ 4.4	ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคสนาม	39
ภาพที่ 4.5	ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทนในภาคสนาม	40
ภาพที่ 4.6	ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคสนาม	41
ภาพที่ 4.7	แสดงจุดความร้อนจากไฟของจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่เกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน 2560 – ตุลาคม 2561	43
ภาพที่ 4.8	แสดงจุดความร้อนจากไฟของจังหวัดปทุมธานีที่เกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน 2560 – ตุลาคม 2561	43
ภาพที่ 4.9	แสดงจุดความร้อนจากไฟของจังหวัดสมุทรปราการที่เกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน 2560 – ตุลาคม 2561	44
ภาพที่ 4.10	แสดงจุดความร้อนจากไฟของจังหวัดนนทบุรีที่เกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน 2560 – ตุลาคม 2561	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.11 จุดความร้อนจากไฟในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียงรายเดือน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 46

ภาพที่ 4.12 จุดความร้อนจากไฟในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียงรายเดือน ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561 47

ภาพที่ 4.13 จุดความร้อนจากไฟในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียงรายเดือน ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 48

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัญหาไฟไหม้พื้นที่บ่อขยะ (Pump site) หรือพื้นที่ฝังกลบขยะ (Landfill) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2557 มีรายงานเหตุการณ์ไฟไหม้บ่อขยะทั่วประเทศ จำนวน 15 ครั้ง [1] ในปี พ.ศ. 2558 มีรายงานไฟไหม้บ่อขยะไม่น้อยกว่า 9 ครั้ง ในพื้นที่จังหวัดปราจีนบุรี พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี ราชบุรี ภูเก็ตสมุทรปราการ ลำปาง พิษณุโลก และสระแก้ว ล่าสุดในปี พ.ศ. 2559 จากเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม มีเหตุการณ์ไฟไหม้บ่อขยะเกิดขึ้นแล้วทั้งสิ้น 8 ครั้ง ในเหตุการณ์ไฟไหม้บ่อขยะที่เคยเกิดขึ้น กรณีไฟไหม้บ่อขยะแพรกษา จังหวัดสมุทรปราการระหว่างวันที่ 16-23 มีนาคม 2557 นับเป็นกรณีที่รุนแรงมากที่สุด [1] โดยใช้ระยะเวลาในการดับไฟทั้งสิ้น 8 วัน และใช้กำลังเจ้าหน้าที่กว่า 500 นาย แม้จะไม่มีรายงานผู้เสียชีวิตจากเหตุการณ์ดังกล่าว แต่ความถี่ของเหตุการณ์ไฟไหม้และผลกระทบที่เกิดขึ้น ได้ส่งผลให้การติดตามเฝ้าระวังไฟไหม้บ่อขยะเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยที่การเกิดไฟไหม้ในบ่อฝังกลบขยะนอกจากจะก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศจากละอองควันและก๊าซพิษชนิดต่าง ๆ แล้ว ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนทั้งในพื้นที่ใกล้เคียงรวมถึงเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานที่ได้รับสัมผัสต่อมลพิษที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งกรณีไฟไหม้บ่อขยะแพรกษามลพิษที่เกิดขึ้นได้กระจายข้ามจังหวัดกระทบพื้นที่กรุงเทพมหานครถึง 6 เขต คือ ลาดกระบัง สะพานสูง ประเวศ คลองสามวา บางนา และบึงกุ่ม มีรายงานผู้ป่วยเข้ารับการรักษาจำนวนทั้งสิ้น 1,328 ราย มีอาการทั่วไปที่เกิดขึ้นคือ แสบจมูก แสบคอ ระคายเคืองตา รวมทั้ง แน่นหน้าอก หายใจไม่ออกและปอดติดเชื้อโดยเฉพาะคนชรา เด็ก และนักดับเพลิงที่เข้าไปในพื้นที่ [2] ดังนั้นนับตั้งแต่วันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ.2557 เป็นต้นมาประเด็นขยะมูลฝอยจึงถูกกำหนดให้เป็นวาระแห่งชาติ ที่จะต้องมีการเฝ้าระวังปัญหาและขับเคลื่อนเพื่อแก้ปัญหาโดยความร่วมมือจากทุกภาคส่วน [3]

ปัจจุบันปริมาณขยะในประเทศไทยเกิดขึ้นประมาณ 70,000 ตันต่อวันและปริมาณของขยะที่ถูกทิ้งนี้สูงเกินกว่าขีดความสามารถในการรองรับเพื่อการจัดการอย่างเหมาะสม จากรายงานสถานการณ์มลพิษปีล่าสุดพบว่าประเทศไทยมีปริมาณขยะสะสมทั่วประเทศทั้งสิ้นประมาณ 30 ล้าน

ตัน แต่การกำจัดสามารถทำได้เพียง 15 ล้านตัน และวิธีการกำจัดยังไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ [3] จากการสำรวจบ่อขยะทั่วประเทศของกรมควบคุมมลพิษพบว่ามีจำนวน 2,490 แห่ง ในจำนวนนี้มีเพียง 466 แห่งเท่านั้นที่มีการฝังกลบอย่างถูกต้อง ดังนั้นทั่วประเทศจึงมีบ่อขยะกว่า 2,024 แห่งที่มีความเสี่ยงและจำเป็นต้องดำเนินการจัดการให้ถูกต้องรวมถึงเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้เพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น

ที่ผ่านมาการเฝ้าระวังไฟไหม้ในบ่อขยะกระทำโดยการสร้างเครือข่ายเฝ้าระวังโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและชุมชนในพื้นที่ ตัวอย่างเช่น เครือข่ายเฝ้าระวังและตรวจสอบมลพิษมูลนิธิบูรณะนิเวศ [4] และการเฝ้าระวังติดตามโดยกรมอนามัย เป็นต้น หากแต่การเฝ้าระวังที่ปรากฏ ณ ปัจจุบันเป็นการเฝ้าระวังดับไฟเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้แล้วเพื่อให้สามารถดับไฟและสามารถอพยพผู้ได้รับผลกระทบได้อย่างทันท่วงที ส่วนการเฝ้าระวังด้วยการตรวจวัดสภาพแวดล้อมก่อนเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้ยังขาดข้อมูลสนับสนุนทางวิทยาศาสตร์ที่ประชาชนหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะสามารถเข้าถึงและนำไปใช้ได้อย่างเป็นปัจจุบัน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเทคโนโลยีโดรนและเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลมาศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่บ่อขยะแล้วพัฒนาเป็นฐานข้อมูลเพื่อเฝ้าระวังเหตุการณ์ไฟไหม้ในบ่อขยะทั่วประเทศต่อไป โดยในการวิจัยในระยะแรกนี้จะทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาโดรนและเครื่องมือตรวจวัดก๊าซเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการสำรวจและติดตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ฝังกลบขยะร่วมกับการสำรวจพื้นที่ภาคสนามและการใช้ข้อมูลภาพถ่ายระยะไกลจากดาวเทียม เนื่องจากการใช้โดรนเพื่อสำรวจพื้นที่ฝังกลบขยะจำเป็นต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมภายนอกที่จะมากระทบต่อการเก็บข้อมูล เช่น ปริมาณและทิศทางลม ความสูงของโดรนจากพื้นขณะเก็บข้อมูล พลังงานของโดรน และระยะทางที่สามารถบังคับโดรนได้ ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงต้นแบบโดรนให้มีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงในการเก็บข้อมูลเสียก่อนจึงจะสามารถนำไปใช้จริงได้

ทั้งนี้การใช้เทคโนโลยีโดรนในประเทศไทยเพื่อการเฝ้าระวังและการจัดการทางสิ่งแวดล้อมยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ส่วนใหญ่จะใช้ในสำนักข่าวต่าง ๆ เพื่อช่วยในการถ่ายทำข่าวและใช้ในการเกษตรเพื่อช่วยในการฉีดพ่นสารฆ่าแมลงและวัชพืช ขณะที่ประเด็นการจัดการขยะมูลฝอยเป็นหนึ่งในวาระแห่งชาติและการใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ (Sensor technology) เทคโนโลยีการสร้างแบบจำลอง (Simulation technology) และเทคโนโลยีการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตของสิ่งของ (Internet of things) เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญที่จะมีการพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม 4.0 ซึ่งในต่างประเทศก็เริ่มมีการค้นคว้าวิจัยเพื่อนำเทคโนโลยีเซนเซอร์และการรับรู้ระยะไกลมาช่วยในการ

บริหารจัดการขยะ เช่น ที่ญี่ปุ่นได้มีการใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลร่วมกับหุ่นยนต์บังคับเพื่อตรวจสอบรอยรั่วของแผ่นโพลิไวนิลที่ใช้รองใต้พื้นหลุมฝังกลบขยะ ที่สหรัฐอเมริกาองค์การนาซ่าได้พัฒนาโดรนเพื่อการตรวจวัดการรั่วไหลของก๊าซมีเทน [5] เป็นต้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการเฝ้าระวังไฟไหม้บ่อขยะโดยใช้โดรนควบคู่กับเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลซึ่งนอกจากจะเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการตรวจสอบสภาพบ่อขยะเพื่อเฝ้าระวังปัญหาที่อาจเกิดขึ้นและมีผลกระทบต่อประชาชนในวงกว้างแล้วยังเป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการขยะมูลฝอยในประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยในอนาคตมีแนวโน้มที่จะสามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ในด้านอื่น ๆ ได้อีกมากมายสอดคล้องกับแผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศและยุทธศาสตร์ประเทศไทยที่จะก้าวสู่ไทย แลนด์ 4.0 ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการจัดการขยะโดยมุ่งเน้นผลลัพธ์คือระบบโดรนต้นแบบสำหรับการสำรวจและการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่บ่อขยะที่จะสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีให้ชุมชนหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ในการบริหารจัดการขยะต่อไปได้

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลสภาพแวดล้อมและการจัดการพื้นที่บ่อขยะ

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูลจุดความร้อนจากไฟจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลภาพถ่ายดาวเทียมระบบ MODIS

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ประเด็นของการศึกษาวิจัย ครอบคลุมการพัฒนาเครื่องมือสำหรับการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของบ่อขยะ การสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของบ่อขยะในภาคสนาม และการวิเคราะห์ข้อมูลจุดความร้อนจากไฟ (Fire hot spot) จากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล ระบบ MODIS

1.3.2 การพัฒนาเครื่องมือสำหรับการสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของบ่อขยะประกอบไปด้วยเครื่องตรวจวัดก๊าซแบบตั้งพื้นและโดรนต้นแบบที่ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดก๊าซ อย่างละ 1 ชุด

1.3.3 พื้นที่ศึกษาวิจัยภาคสนาม อยู่ในเขตจังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ส่วนพื้นที่วิเคราะห์ข้อมูลการรับรู้ระยะไกล ครอบคลุมจังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

1.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลจุดความร้อนจากไฟ ที่มาจากภาพถ่ายดาวเทียมระบบ MODIS เปรียบเทียบข้อมูลจากฐานข้อมูล Fire Information for Resource Management System (FIRMS) ขององค์การ NASA และฐานข้อมูล Thailand Fire Monitoring System ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ GISTDA

1.4 ระยะเวลาการวิจัย

ระยะเวลาโครงการ 1 ปี 3 เดือน

วันที่เริ่มต้น 1 ตุลาคม 2560 วันที่สิ้นสุด 31 ธันวาคม 2561

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบโดรนและอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซเพื่อการสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของบ่อขยะ

1.5.2 ได้แนวทางในการนำข้อมูลการรับรู้ระยะไกลจากโดรนและดาวเทียมมาใช้ในการเฝ้าระวังไฟไหม้บ่อขยะ

1.5.3 สามารถสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่เพื่อบูรณาการความรู้ในการศึกษาวิจัย การถ่ายทอดเทคโนโลยี และการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวเนื่องกับขยะในประเทศไทย

1.6 ผลสำเร็จที่คาดว่าจะได้รับ

ปี	ผลสำเร็จที่คาดว่าจะได้รับ	ประเภท
2561	ต้นแบบระบบโดรนเพื่อการตรวจวัดพื้นที่บ่อขยะ	Goal Result

1.7 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการจัดการพื้นที่บ่อฝังกลบขยะ โดยทำการพัฒนาเครื่องมือและโดรนต้นแบบสำหรับตรวจวัดสภาพพื้นที่บ่อฝังกลบขยะ ทำการทดสอบ

คุณภาพของโดรนและเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้ระบบโดรนต้นแบบที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพเหมาะสมในการนำไปใช้สำรวจพื้นที่บ่อฝังกลบขยะโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมภายนอกที่จะมากระทบต่อการเก็บข้อมูล เช่น ปริมาณและทิศทางลม ความสูงของโดรนจากพื้นขณะเก็บข้อมูล พลังงานของโดรน และระยะทางที่สามารถบังคับโดรนได้ เมื่อพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพได้แล้วจึงนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลภาคสนามหลังจากนั้นดำเนินการสืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความเสี่ยงและความสามารถในการใช้ประโยชน์ข้อมูลเพื่อเฝ้าระวังไฟไหม้บ่อขยะ

1.8 แผนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	พ.ศ. 2560			พ.ศ. 2561											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
รวบรวมข้อมูลพื้นฐานเพื่อออกแบบโดรนและกำหนดพื้นที่วิจัย	x	x	x												
ออกแบบระบบและประกอบชิ้นส่วนโดรน	x	x	x												
ทดลองสำรวจและเก็บข้อมูล			x	x	x										
ปรับปรุงประสิทธิภาพโดรน			x	x	x										
ดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมบ่อขยะในพื้นที่จริง						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ทำการรวบรวมข้อมูลการรับรู้ระยะไกลจากดาวเทียม		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
วิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อมูล						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
เขียนรายงานสรุปผลการวิจัยปีที่ 1									x	x	x	x	x	x	x

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลค้นคว้าเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยโดยครอบคลุมหัวข้อ การเกิดไฟไหม้บ่อขยะและการเฝ้าระวัง การตรวจวัดอุณหภูมิบ่อขยะ การวัดองค์ประกอบและปริมาณของก๊าซ เครื่องมือตรวจวัดก๊าซ เซ็นเซอร์ อากาศยานไร้คนขับ องค์ประกอบของโดรน ประเภทของโดรน เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล หลักการของการรับรู้ระยะไกล ดาวเทียมระบบ MODIS และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 การเกิดไฟไหม้บ่อขยะและการเฝ้าระวัง

การเกิดไฟไหม้ในบ่อขยะ หรือบริเวณสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยมักจะเกิดขึ้นในพื้นที่ที่ไม่มีการควบคุมหรือดำเนินการดูแลที่เหมาะสม โดยเฉพาะในบ่อขยะแบบเทกองหรือสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบที่ไม่มีการควบคุม โดยมีสาเหตุหลัก 3 ประการ คือ สาเหตุจากการเผากำจัดขยะมูลฝอยในพื้นที่ สาเหตุจากการปฏิบัติหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงาน และสาเหตุจากการทำปฏิกิริยาเคมีของสารและก๊าซ [6] อาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า การเกิดไฟไหม้ในบ่อขยะมีสาเหตุมาจากการจุดเผาโดยมนุษย์หรืออาจเกิดจากการลุกไหม้เอง (self-heating) ตามธรรมชาติเมื่อมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น มีความร้อนสะสมจากปฏิกิริยาเคมีและกิจกรรมของแบคทีเรีย มีปริมาณก๊าซเชื้อเพลิงสะสมในปริมาณมาก มีวัตถุก่อประกายไฟรวมอยู่ในขยะ [7] เป็นต้น โดยลักษณะการติดไฟเมื่อเกิดไฟไหม้บ่อขยะอาจเกิดได้ 3 รูปแบบ [6,7] คือ 1) การติดไฟบริเวณผิวหน้า ที่มีสาเหตุมาจากการติดไฟของวัตถุไวไฟจากกิจกรรมการการสูบบุหรี่ กิจกรรมการจุดไฟบริเวณกองขยะ และอาจรวมถึงกิจกรรมซ่อมบำรุงใด ๆ ที่บริเวณกองขยะ โดยการติดไฟแบบนี้สามารถดับได้ง่ายกว่าการติดไฟบริเวณอื่น ๆ ของกองขยะ 2) การติดไฟในระดับลึกลงไปในก้นหลุม เป็นการติดไฟที่บริเวณลึกลงไปกว่าระดับผิวของกองขยะตั้งแต่ 1.2 เมตรขึ้นไป มักเกิดกับขยะที่ถูกนำไปเทกองหรือฝังกลบนานหลายเดือนหรือหลายปี เมื่อเกิดเหตุการไฟไหม้มักดับยากและทำให้เกิดช่องว่างภายในของกองขยะ จนอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของบ่อขยะ โดยสาเหตุของการติดไฟแบบนี้เกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซออกซิเจนบริเวณก้นหลุมของบ่อขยะ และเกิดการสะสมของก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายอินทรียสารของแบคทีเรีย รวมทั้งเกิดการสะสมของอุณหภูมิ ทำให้เกิดการติดไฟในระดับลึกที่สังเกตได้จากการมีควันออกมาจากบริเวณบ่อขยะโดยไม่เห็นเปลวไฟ และ 3) การติดไฟทั้งในระดับผิวหน้าและระดับลึกลงไปในก้นหลุม เกิดจากการติดไฟในระดับลึกลงไปในก้นหลุมแล้วปะทุขึ้นสู่ผิวหน้าของกองขยะ เป็น

รูปแบบของการไหม้บ่อขยะที่มีความรุนแรงของไฟมากที่สุด และเป็นอุปสรรคต่อการขนส่งเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อการดับไฟ [6]

สำหรับการเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้ในบ่อขยะสามารถทำได้โดยการตรวจวัดสภาพแวดล้อมของพื้นที่บ่อขยะ [7] เช่น การตรวจวัดอุณหภูมิของพื้นที่ และการตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่าง ๆ อาทิ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) รวมทั้งการสังเกตควันหรือกลิ่นควันที่อาจมีขึ้นในกองขยะเพื่อประเมินแนวโน้มและโอกาสในการเกิดไฟไหม้

2.2 การตรวจวัดอุณหภูมิบ่อขยะ

การตรวจวัดอุณหภูมิของพื้นที่ฝังกลบเพื่อเฝ้าระวังไฟไหม้สามารถกระทำได้โดยการเจาะบ่อและตรวจวัดอุณหภูมิที่ระดับความลึกต่าง ๆ นับเป็นวิธีการหนึ่งที่จะทำให้ได้ข้อมูลสภาพที่แท้จริงภายในบ่อขยะสำหรับการประเมินความเสี่ยงในการเกิดไฟไหม้ แต่ต้องกระทำอย่างระมัดระวัง เนื่องจากอุปกรณ์ในการขุดเจาะอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดไฟไหม้หรือเกิดการระเบิดของก๊าซมีเทน เนื่องจากการอัดอากาศเข้าไปในปริมาณมากได้ [7] ดังนั้นในการปฏิบัติงานทุกครั้งจะต้องใช้อุปกรณ์ความปลอดภัยรวมทั้งเครื่องช่วยหายใจและพัดลมระบายอากาศ

ในการตรวจวัดภายหลังจากการเจาะบ่อแล้วจะต้องมีการใช้ท่อเหล็กเจาะรูสอดเข้าไปเพื่อป้องกันการยุบตัวของขยะแล้วดำเนินการตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้ Thermometer หย่อนลงไปในบ่อที่ได้เจาะไว้ ณ ระดับความลึกที่แตกต่างกัน เช่น ทุกระดับความลึก 5 เมตร ทั้งนี้ระดับอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้สามารถบ่งชี้โอกาสของการเกิดไฟไหม้เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส (°C) [6,7] ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และการเกิดไฟไหม้ที่บ่อขยะ [6]

อุณหภูมิ	การเกิดไฟไหม้ที่บ่อขยะ
< 55 °C	อุณหภูมิปกติของบ่อขยะ
55-60 °C	ปฏิกิริยาเคมีของสิ่งมีชีวิต
60-70 °C	เกิดปฏิกิริยาเคมีผิดปกติของสิ่งมีชีวิต
> 70 °C	มีโอกาสที่จะเกิดไฟไหม้ที่บ่อขยะ

2.3 การวัดองค์ประกอบและปริมาณของก๊าซ

ก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่ถูกผลิตโดยปฏิกิริยาทางเคมีและกิจกรรมของจุลชีพในขยะ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซมีเทน ก๊าซออกซิเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ [8] สามารถนำมาเป็นดัชนีเพื่อบ่งชี้โอกาสในการเกิดไฟไหม้บ่อขยะได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอนเมื่อมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการสันดาปซึ่งเป็นสภาพที่เกิดขึ้นได้ง่ายในกองขยะที่มีการทับถมกันในปริมาณมาก ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และการเกิดไฟไหม้ที่บ่อขยะแสดงดังตารางที่ 2.2 [6]

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และการเกิดไฟไหม้ที่บ่อขยะ [6]

ความเข้มข้นของก๊าซ CO (ppm)	**การเกิดไฟไหม้ที่บ่อขยะ**
0-25	ไม่มีการเกิดไฟไหม้
25-100	มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดไฟไหม้ในพื้นที่
100-500	มีการระอุในพื้นที่ใกล้เคียง
500-1,000	อาจเป็นไปได้ที่จะเกิดไฟไหม้หรือเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน
1,000	เกิดไฟไหม้ในพื้นที่

จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า 25 ppm ก็มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดไฟไหม้ในพื้นที่ ทั้งนี้การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซสามารถทำได้โดยการเจาะหลุมและเก็บตัวอย่างก๊าซที่ระดับความลึกแตกต่างกันเช่นเดียวกับการวัดอุณหภูมิที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น อย่างไรก็ดีการตรวจวัดก๊าซอาจจำแนกได้เป็น 2 กรณี คือ [6]

1) กรณีในพื้นที่บ่อขยะมีบ่อตรวจสอบก๊าซหรือมีท่อระบายก๊าซ ควรทำการตรวจวัดบริเวณบ่อตรวจสอบก๊าซ หรือท่อระบายทุกจุด ที่ระดับความลึกทุก 5 เมตร จนถึงระดับผิว ส่วนความถี่ในการตรวจวัดควรทำทุกเดือน แต่หากเป็นบ่อขยะที่มีอายุยาวนานหรือมีความเสี่ยงที่จะเกิดไฟไหม้อาจทำการตรวจวัดในความถี่ที่มากขึ้นได้

2) กรณีในพื้นที่บ่อขยะไม่มีบ่อตรวจสอบก๊าซหรือท่อระบายก๊าซ ควรจะทำการตรวจวัดอย่างน้อย 4 จุดบริเวณโดยรอบพื้นที่ หรือหากเป็นไปได้ควรดำเนินการตรวจวัดทุก ๆ พื้นที่ 250 ตารางเมตร (50 x 50 เมตร) โดยทำการตรวจวัดที่บริเวณผิวหน้าของบ่อขยะและพิจารณาทิศทางของลมใน

การตรวจวัด โดยมีความถี่ในการตรวจวัดเช่นเดียวกับกรณีในพื้นที่บ่อขยะมีบ่อตรวจสอบก๊าซหรือมีท่อระบายก๊าซ

นอกจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซชนิดอื่น ๆ ก็สามารถใช้บ่งชี้สภาพของขยะและแนวโน้มในการเกิดไฟไหม้ได้แตกต่างกัน เช่น ถ้าออกซิเจนมีความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 1 จะสามารถบ่งชี้ได้ว่าตัวฉนวนที่ใช้ เช่น ดินหรือวัสดุปกคลุม ไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันไม่ให้ออกซิเจนลงสู่ก้นบ่อฝังกลบขยะมูลฝอย ทั้งนี้ระหว่างเกิดเพลิงไหม้ระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนที่ใต้พื้นผิวในบริเวณที่เกิดไฟไหม้จะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15 – 21 และเมื่อทำการดับเพลิงประสบความสำเร็จระดับออกซิเจนจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเมื่อไฟดับระดับออกซิเจนจะลดลงต่ำกว่าร้อยละ 1 ในทางกลับกันถ้าก๊าซมีเทนมีระดับสูงเกินกว่าร้อยละ 40 ก็จะสามารถบ่งชี้ว่ามีปฏิกิริยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น อย่างไรก็ดีการตรวจวัดก๊าซมีเทนและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นิยมตรวจวัดที่ระดับผิว โดยก๊าซมีเทนควรมีค่าความเข้มข้นไม่เกินร้อยละ 5 ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไม่ควรเกินร้อยละ 4 ซึ่งเสี่ยงที่จะทำให้เกิดไฟไหม้ [6,7,8]

2.4 เครื่องมือตรวจวัดก๊าซ

เครื่องมือตรวจวัดก๊าซเป็นอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซชนิดต่าง ๆ โดยอาจมีลักษณะเป็นชุดตรวจวัดก๊าซโดยใช้สารเคมี หรือเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ระบบก๊าซเซ็นเซอร์ตรวจวัดก็ได้ [9] ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเฉพาะเครื่องมือตรวจวัดก๊าซที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งานทั้งในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม ซึ่งเครื่องมือตรวจวัดก๊าซในรูปแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีทั้งแบบที่สามารถตรวจวัดก๊าซได้เพียง 1 ชนิด และแบบที่สามารถตรวจวัดก๊าซได้มากกกว่า 1 ชนิด โดยขึ้นกับชนิดและจำนวนของเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องตรวจวัด ในการวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องตรวจวัดก๊าซที่มีในห้องปฏิบัติการของสาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มาเป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบการทำงานของเครื่องมือเพื่อการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของบ่อขยะในด้านปริมาณก๊าซทั้งในรูปแบบเครื่องมือตั้งพื้นและเครื่องมือที่ติดกับโดรนต้นแบบ โดยเครื่องตรวจวัดก๊าซที่เป็นอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับการสอบเทียบที่กล่าวถึง มีดังนี้

2.4.1 เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6

เป็นเครื่องวัดก๊าซแบบพกพาที่มีขนาดกะทัดรัด พกพาสะดวก ใช้งานง่าย สามารถปรับการทำงานและการตั้งค่าแจ้งเตือนให้เหมาะสมสำหรับงานภาคสนาม โดยภายในประกอบด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดก๊าซจำนวน 5 ชุด สามารถตรวจวัดก๊าซในกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย ก๊าซไวไฟ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟล์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้พร้อมกันและแสดงผลการวัดเป็นตัวเลข ซึ่งเครื่องมือมีลักษณะ ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 เครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6

2.4.2 เครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR

เป็นเครื่องตรวจวัดก๊าซที่มีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์รุ่น MX6 แต่มีสิ่งที่ต่างกันคือชนิดเซ็นเซอร์ที่ถูกติดตั้งอยู่ภายในเครื่อง ทำให้เครื่อง Gas Alert Micro 5 IR ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซค์ได้นอกจากนี้ ฟังก์ชันการทำงานของตัวเครื่องมีโหมดให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกโหมดในการตรวจวัดเป็นโหมดก๊าซพิษมาตรฐาน โหมดการตรวจจับก๊าซกลุ่มอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic carbon: VOC) กลุ่มก๊าซที่สามารถตรวจจับได้ด้วยเซ็นเซอร์ประเภท Photo Ionization Detection : PID หรือโหมดตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น อีกทั้งสามารถตั้งรหัสผ่านเพื่อป้องกันการแก้ไขหรือตั้งค่าเครื่องมือโดยไม่ได้รับอนุญาต ลักษณะของเครื่อง Gas Alert Micro 5 IR แสดงดังภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 เครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR

2.5 เซ็นเซอร์ก๊าซ

ตัวรับรู้ หรือ เซ็นเซอร์ (Sensor) เป็นวัตถุชนิดหนึ่งที่มีหน้าที่ตรวจจับสัญญาณที่ผู้ใช้ต้องการตรวจวัดแล้วทำหน้าที่เปลี่ยนเป็นสัญญาณออกหรือปริมาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดในอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำไปประมวลผลต่อได้ หรืออาจกล่าวว่า เซ็นเซอร์เป็นชุดอุปกรณ์ ระบบ หรือวงจร ที่ทำหน้าที่ในการตรวจวัด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับรู้ของมนุษย์ และตรวจจับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ หรือ ลักษณะของเป้าหมายวิเคราะห์ (Analytical target) และแสดงผลในลักษณะของสัญญาณที่สามารถตรวจสอบได้ ทั้งสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณกลศาสตร์ และสัญญาณเชิงแสง [9] เซ็นเซอร์มีมากมายหลายชนิดในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเซ็นเซอร์ก๊าซที่ทำหน้าที่ในการตรวจจับก๊าซ โดยสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ

1) Catalytic Sensor หลักการทำงานคือ เมื่อมีก๊าซผ่านเข้ามายังตัวเซ็นเซอร์ จะส่งผลให้ค่าความต้านทานลัพธ์ในวงจรบริดจ์เกิดการไม่สมดุล และส่งสัญญาณเอาท์พุตออกมา ซึ่งเป็นค่าที่แปรผันแบบเป็นสัดส่วนกับค่าความหนาแน่นของก๊าซ ข้อดี คือ ราคาไม่แพง อายุการใช้งานที่ยาวนาน ง่ายต่อการออกแบบ รวมถึงมีความทนทานสูง ส่วนข้อเสีย คือ อาจมีผลกระทบที่เป็นพิษได้จากสารเร่งปฏิกิริยาที่ฉาบเคลือบที่ขดลวดไฟฟ้า เซ็นเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจจับก๊าซติดไฟได้

2) Electrochemical Sensor หลักการทำงานคือ โครงสร้างที่อยู่ภายในอันประกอบไปด้วยสารอิเล็กโตรไลต์ จะทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ผ่านเข้ามายังตัวเซ็นเซอร์ แต่มีข้อจำกัดตรงที่ตรวจจับก๊าซได้เป็นบางชนิด เช่น คลอรีน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไฮโดรเจน เซ็นเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจจับก๊าซพิษที่ไม่ติดไฟ

3) Infrared Sensor หลักการทำงานคือ ใช้อุปกรณ์ประเภทแสงทำหน้าที่ตรวจจับก๊าซ ข้อดี คือ ไม่เกิดผลกระทบที่เป็นพิษจากสารเร่งปฏิกิริยาภายในตัวเซ็นเซอร์ ส่วนข้อเสีย คือ ลำแสงที่

ใช้ในการตรวจจับก๊าซอาจถูกเบี่ยงเบนโดยสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ได้ เซ็นเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจจับก๊าซติดไฟได้

4) Solid State Sensor หลักการทำงานคือ เมื่อมีก๊าซผ่านเข้ามายังตัวเซ็นเซอร์จะมีโครงสร้างภายในที่ประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำ คือ ดีบุกออกไซด์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว จะทำการตอบสนองต่อก๊าซที่ผ่านเข้ามา โดยเกิดการเปลี่ยนค่าความต้านทาน ข้อดี คือ สามารถตรวจจับก๊าซได้หลายชนิด ราคาไม่แพง อายุการใช้งานที่ยาวนาน รวมถึงมีความทนทานสูง แต่ก็มีข้อเสีย คือ อาจมีความจำเป็นต้องปรับตั้งเครื่องบ่อย เนื่องจากอาจเกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าได้ เมื่อเซ็นเซอร์ตอบสนองกับก๊าซที่ปะปนอยู่ในธรรมชาติ เซ็นเซอร์ประเภทนี้เหมาะกับการตรวจจับก๊าซพิษที่ไม่ติดไฟ

2.6 โดรน

โดรน (Drone) หรืออากาศยานไร้คนครับ (Unmanned arial vehicle : UAV) เป็นอากาศยานที่ไร้คนขับอยู่บนเครื่องแต่สามารถควบคุมการบินได้ด้วยการควบคุมระยะไกล (Remote contron) หรือด้วยระบบการบินด้วยตัวเอง (Auto pilot) เป็นยานที่มีรูปร่าง ขนาด รูปแบบ และเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันออกไปอาจมีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพคุณภาพสูงที่สามารถบันทึกภาพในเวลากลางวัน (Electro optical sensor) หรือกล้องอินฟาเรด (Infrared sensor) ที่สามารถบันทึกภาพในเวลากลางคืน แล้วส่งสัญญาณมายังจอภาพที่เครื่องควบคุมภาคพื้นดินทำให้สามารถนำข้อมูลจากการบันทึกภาพทางอากาศไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ต่อไปได้ เช่น การสำรวจความแออัดของประชากร การวางผังเมือง การทำแผนที่ การถ่ายทำภาพยนต์ การสำรวจทรัพยากร และการเกษตรเป็นต้น

อาภาภรณ์ ศิริพรประสาน [10] ได้เขียนบทความเผยแพร่ไว้ว่าโดรนเป็นทางเลือก (ใหม่) สำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อมเพราะสามารถใช้แทนภาพถ่ายดาวเทียมที่มีราคาสูงได้และโดรนยังสามารถส่งภาพมายังผู้ใช้ได้แบบ real-time ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการสำรวจพื้นที่อันตรายที่คนไม่สามารถเข้าไปได้ โดยผู้ใช้สามารถกำหนดพื้นที่สำรวจ พารามิเตอร์ที่จะสำรวจ (เครื่องมือตรวจสอบ/เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไปพร้อมกับโดรน) และความละเอียดของภาพที่ต้องการได้ ด้วยขนาดและลักษณะของโดรนทำให้สามารถบินต่ำและถ่ายภาพได้ชัดเจนกว่าเครื่องบินหรือดาวเทียมที่มีเมฆบัง แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาในการบิน ข้อจำกัดในอุปกรณ์ตรวจวัดและเซ็นเซอร์อื่น ๆ ข้อจำกัดด้านความเร็วลม ปริมาณแบตเตอรี่ ระยะที่สามารถบังคับโดรนได้ และข้อจำกัดในด้านข้อกฎหมาย โดยในประเทศไทยจะต้องขออนุญาตในการใช้งานและต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในหลักเกณฑ์การขออนุญาตและเงื่อนไขในการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก พ.ศ. 2558 [6,11]

2.7 องค์ประกอบของโดรน

ส่วนประกอบของโดรนทุกชิ้นส่วนมีความสำคัญอย่างมากในการบิน บุคคลที่ใช้โดรนในการขึ้นบินจึงจะต้องทราบส่วนประกอบทั้งหมดเพื่อทำให้สามารถควบคุมโดรนอย่างมีเสถียรภาพ ส่วนประกอบมีดังนี้ [12]

2.7.1 ใบพัด เป็นอุปกรณ์มาตรฐานของโดรนใช้สำหรับช่วยในการบินและการเคลื่อนที่ของโดรนเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับมอเตอร์สามารถทำงานร่วมกับมอเตอร์ในการหยุดแรงมอเตอร์ได้อย่างแม่นยำในเมื่อระดับการบินแบบคงที่แล้ว โดยวัตถุดิบในการผลิตใบพัดส่วนใหญ่ทำจากพลาสติก ส่วนใบพัดที่มีคุณภาพดีทำมาจากคาร์บอนไฟเบอร์

2.7.2 มอเตอร์ เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้เป็นพลังงานกลช่วยให้โดรนสามารถบินได้โดยทำงานร่วมกับใบพัด ในการบินแนะนำให้ใช้มอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน เนื่องจากแบตเตอรี่น้ำหนักเบากว่า และมีเสียงเงียบกว่าแบบมอเตอร์ที่มีแปรงถ่าน

2.7.3 อุปกรณ์สำหรับการลงจอด เป็นอุปกรณ์สำหรับโดรนที่ต้องบรรทุกน้ำหนักและต้องใช้ระยะห่างที่สูงโดยโดรนส่วนใหญ่มีอุปกรณ์ช่วยลงจอดที่ตายตัว โดรนที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกห้อยติดไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สำหรับการลงจอด อย่างไรก็ตามโดรนแบบที่ดีที่สุดจะมีเครื่องสำหรับการลงจอดที่ ให้ทิวทัศน์แบบ 360 องศาเมื่ออยู่กลางอากาศ

2.7.4 ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกติดตั้งเพื่อการควบคุมการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า และทำหน้าที่เป็นตัวเบรกสำหรับโดรนโดยทำงาน แปลงพลังงานแบตเตอรี่ DC เป็น AC 3 ระยะที่เหมาะสม สำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์แบบไม่มีแปรง

2.7.5 ระบบควบคุมการบิน เป็นอุปกรณ์แปลคำสั่งจากตัวรับสัญญาณเพื่อป้อนเข้าสู่ระบบต่าง ๆ ของโดรนรวมทั้ง GPS โมดูล อุปกรณ์ตรวจจับแบตเตอรี่ IMU และเซนเซอร์ตรวจจับที่ติดตั้งมาบนแผงวงจร สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ผ่านตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ เพื่อนำทางรวมถึงยังกระตุ้นตัวกล้อง หรือน้ำหนักบรรทุกอื่น ๆ นอกจากนี้ยังควบคุมเครื่องยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ, ทิศทางการบินและการทำงานอื่น ๆ ที่ควบคุมด้วยตนเอง

2.7.6 GPS โมดูล เป็นตัวรับสัญญาณ GPS และเครื่องวัดความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กเพื่อบอกละติจูด ลองจิจูด ระดับความสูง และการมุ่งหน้าของเข็มทิศ เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นและสำคัญสำหรับการนำทิศทาง และโหมดการบินอัตโนมัติของโดรน

2.7.7 เครื่องรับสัญญาณ เป็นหน่วยรับสัญญาณควบคุมจากระบบควบคุมการบิน

2.7.8 แบตเตอรี่ เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ที่นิยมใช้คือ แบตเตอรี่ลิเธียมโพลิเมอร์ (LiPo) ที่ให้ความผสมผสานที่ดีของความหนาแน่นของพลังงาน กำลัง และอายุการใช้งานที่มากขึ้น

2.7.9 อุปกรณ์ตรวจวัดแบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดระดับของพลังงานระหว่างบินไปสู่ระบบควบคุมการบินเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งในการบินเพื่อให้สามารถควบคุมการบินขึ้นลงได้อย่างปลอดภัย

2.7.10 กล้อง เป็นอุปกรณ์สำหรับการบันทึกภาพและวีดีโอที่มีคุณภาพสูง โดยติดตั้งร่วมกับเข็มทิศให้เข็มทิศอยู่กับที่สำหรับตัวกล้อง โดรนรุ่นใหม่จะมีมาพร้อมทั้งหมด ซึ่งจะมีทั้งวงแหวนยึดเข็มทิศผสมผสาน และกล้องรวมถึงและเลนส์เหล่านี้ได้รับการออกแบบสำหรับการถ่ายวีดีโอและภาพทางอากาศโดยเฉพาะ

2.8 ประเภทของโดรน

โดรนมีการใช้งานหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไป อาทิ เช่น การแข่งขัน การบันทึกวีดีโอ และการเก็บภาพต่าง ๆ โดรนก็เป็นอุปกรณ์ทางอากาศที่มีเอกลักษณ์เฉพาะของตัวเองแต่ละประเภทได้ถูกออกแบบมาเพื่อกิจกรรมแบบใดแบบหนึ่ง ซึ่งนำไปสู่รูปแบบและวัสดุ และคุณสมบัติพิเศษทางเทคนิคต่าง ๆ [10,13]

2.8.1 การแบ่งประเภทตามการออกแบบ สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.8.1.1 Multirofor UAVs เป็นประเภทที่พบเห็นบ่อยมากที่สุดโดยถูกออกแบบมาให้มีใบพัด จำนวน 4, 6 และ 8 ใบพัดสามารถเคลื่อนตัวได้อย่างรวดเร็ว สามารถบินขึ้นได้โดยไม่ต้องใช้รันเวย์ในการบิน แต่มีข้อเสียคือ ความเร็วของการบินน้อยกว่าโดรนประเภทอื่น ๆ

2.8.1.2 Fixed-wing drones เป็นโดรนที่ถูกออกแบบให้มีลักษณะการทำงานคล้ายกับเครื่องบินจึงจำเป็นต้องมีรันเวย์ เป็นโดรนที่สามารถบินได้เร็วและนานกว่าแบบ Multirofor UAVs เหมาะสำหรับการใช้งานสำรวจในพื้นที่กว้างใหญ่ อีกทั้งยังสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ระยะไกลและใช้พลังงานน้อย

2.8.1.3 Hybrid model (filt-wing) เป็นโดรนที่สามารถพบเห็นได้น้อยเนื่องจากเป็นโดรนสมรรถนะสูง สามารถบินได้โดยไม่ต้องใช้รันเวย์ บินได้เร็วกว่าและไกลกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับโดรน 2 ประเภทแรก

2.8.1.4 Helicopter drones เป็นโดรนที่ใช้ใบพัดเพียงอันเดียวสามารถบังคับการบินได้ทิศทางเดียว เหมาะสำหรับการใช้งานในกิจกรรมที่ต้องการให้โดรนบินอยู่ในอากาศในระยะเสลาที่นาน

2.8.2 การแบ่งประเภทตามการใช้งาน

2.8.2.1 โดรนสำหรับถ่ายภาพนิ่ง เป็นโดรนที่ได้รับการออกแบบและติดตั้งกล้อง HD ที่มาพร้อมกับการ์ดป้องกันรอบเลนส์ช่วยไม่ให้เลนส์เสี่ยงต่อความเสียหายจากสภาพอากาศในพื้นที่หรือเศษฝุ่นที่อยู่ในอากาศ ตัวควบคุมที่ใช้สำหรับโดรนประเภทนี้จะมาพร้อมกับปุ่ม สำหรับกดเพื่อให้กล้องถ่ายรูป สามารถแสดงภาพแบบเรียลไทม์ของภาพที่ถ่ายได้ และสามารถเชื่อมต่อสมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตผ่านการเชื่อมต่อ Wi-Fi เพื่อสามารถดูสิ่งที่กล้องบันทึกไว้ได้อย่างรวดเร็ว

2.8.2.2 โดรนสำหรับแข่ง เป็นโดรนที่ใช้เพื่อการแข่งขันและสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วประมาณ 40 ถึง 60 ไมล์ต่อชั่วโมง ในบางกรณีสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วด้วยตัวควบคุมที่ต้องมีการเชื่อมต่อวิทยุที่ไม่ซ้ำกัน สามารถใช้งานร่วมกับความถี่ที่หลากหลายเพื่อให้มั่นใจว่าการเชื่อมต่อระหว่างโดรนกับตัวควบคุมจะไม่มีการรบกวนจากสัญญาณอื่น ๆ โดรนประเภทนี้ สามารถออกแบบให้มีโครงสร้างที่บางและไม่ได้รับผลกระทบจากลม

2.8.2.3 โดรนขับเคลื่อนด้วยน้ำมัน เป็นโดรนที่ใช้น้ำมันแทนการใช้แบตเตอรี่ไฟฟ้า ซึ่งโดรนประเภทนี้สามารถทำงานได้นาน สามารถทำงานในความสูงมากเนื่องจากมีกำลังมากกว่าประเภทอื่น ๆ อย่างไรก็ตามโดรนประเภทนี้อาจหนักและมีความซับซ้อนมากขึ้น จะต้องตรวจสอบน้ำมันอยู่ตลอดเวลาเพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดในระหว่างที่โดรนนั้นกำลังทำงานเพื่อไม่ให้เสี่ยงต่อการตกในขณะที่บินโดรนประเภทนี้นิยมนำมาใช้ในการเกษตร

2.8.2.4 โดรนที่ขับเคลื่อนด้วยน้ำมันไนโตร จะคล้ายคลึงกับโดรนที่ขับเคลื่อนด้วยน้ำมัน เนื่องจากต้องใช้น้ำมันไนโตรเพื่อให้สามารถทำงานได้โดยน้ำมันไนโตรผสมไนโตรมีเทนกับเมทานอลเพื่อสร้างกำลังขับเคลื่อนที่มากขึ้นสำหรับอุปกรณ์ ช่วยให้สามารถเผาไหม้ได้ดีขึ้น

2.8.2.5 โดรนแบบบินได้นาน เป็นโดรนที่มีขนาดใหญ่ที่ออกแบบมาเพื่อบินให้นานที่สุด โดรนประเภทนี้สามารถบินสูงได้หลายพันฟุตและสามารถทำงานได้หลายชั่วโมงต่อครั้งและจะใช้

สำหรับการเฝ้าระวังและความต้องการทางทหาร โดรนประเภทนี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้โดยรัฐบาลและทหารเพราะใช้สำหรับการใช้งานเกินกว่าเกณฑ์ความสูง 400 ฟุต ซึ่งผู้ดำเนินการต้องได้รับใบอนุญาตเพื่อใช้งานโดรนชนิดนี้

2.9 เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล

การรับรู้ระยะไกลหรือรีโมทเซ็นซิ่ง (Remote sensing) เป็นการสำรวจหรือตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดไม่มีการสัมผัสกับสิ่งที่ต้องการวัดโดยตรง สามารถทำได้โดยการให้เครื่องมือวัดอยู่ห่างจากสิ่งที่วัด เช่น การติดตั้งกล้องหรือเครื่องมือวัดไว้บนที่สูง บนบอลลูน บนเครื่องบิน บนยานอวกาศหรือบนดาวเทียมแล้วบันทึกข้อมูลโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่หรือสะท้อนมาจากสิ่งที่ต้องการวัด [14] ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลโดยใช้การถ่ายภาพทางเครื่องบินในระดับต่ำ จะเรียกว่า รูปถ่ายทางอากาศ (Aerial Photo) ส่วนข้อมูลที่ได้จากการบันทึกภาพจากดาวเทียมในระดับสูงกว่า เรียกว่า ภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite Image) การศึกษาในครั้งนี้เป็นการใช้ภาพถ่ายทางอากาศโดยใช้โดรนและภาพถ่ายจากดาวเทียมควบคู่กัน อย่างไรก็ดีเมื่อกล่าวถึงเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล มีองค์ประกอบที่จะต้องพิจารณา [15] คือ

1) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นสื่อที่ใช้เชื่อมระหว่างเครื่องวัด กับวัตถุที่ต้องการสำรวจ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้อาจเป็นคลื่นแสงที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเป็นพลังงานที่สร้างขึ้น ซึ่งระบบการสำรวจข้อมูลระยะไกลโดยอาศัยพลังงานแสงธรรมชาติ เรียกว่า Passive Remote Sensing ส่วนระบบบันทึกที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นและส่งไปยัง วัตถุเป้าหมาย เรียกว่า Active Remote Sensing เช่น ระบบเรดาร์ เป็นต้น
2) เครื่องมือวัด ซึ่งเป็นตัวกำหนดช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะใช้ในการตรวจวัด ตลอดจนรูปลักษณะของข้อมูลที่จะตรวจวัดได้
3) ยานที่ใช้ติดตั้งเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นตัวกำหนดระยะระหว่างเครื่องมือวัด กับสิ่งที่ต้องการวัด ขอบเขตพื้นที่ที่เครื่องมือวัดสามารถครอบคลุมได้ และช่วงเวลาในการตรวจวัด
4) การแปลความหมายของข้อมูลที่ได้จากการวัด อันเป็นกระบวนการในการแปลงข้อมูลความเข้ม และรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ ออกเป็นข้อมูลที่ต้องการสำรวจวัดอีกต่อหนึ่ง

2.10 หลักการของการรับรู้ระยะไกล

ประกอบด้วย 2 กระบวนการ ดังต่อไปนี้คือ [14]

2.10.1 การได้รับข้อมูล (Data acquisition) เริ่มตั้งแต่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงาน เช่น ดวงอาทิตย์ เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศ, เกิดปฏิสัมพันธ์กับวัตถุบนพื้นผิวโลก และเดินทางเข้าสู่เครื่องวัด/อุปกรณ์บันทึกที่ติดอยู่กับยานสำรวจ (Platform) ซึ่งโคจรผ่านข้อมูลวัตถุหรือปรากฏการณ์บนพื้นผิวโลกที่ถูกบันทึกถูกแปลงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ส่งลงสู่สถานีรับภาคพื้นดิน (Receiving Station) และผลิตออกมาเป็นข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลเชิงอนุมาน (Analog Data) และข้อมูลเชิงตัวเลข(Digital Data) เพื่อนำไปนำวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

2.10.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) มีวิธีการวิคราะห์อยู่ 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ด้วยสายตา (Visual Analysis) ที่ให้ผลข้อมูลออกมาในเชิงคุณภาพ (Quantitative) ไม่สามารถวัดออกมาเป็นค่าตัวเลขได้แน่นอนและการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Digital Analysis) ที่ให้ผลข้อมูลในเชิงปริมาณ (Quantitative) ที่สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าตัวเลขได้ ทั้งนี้การวิเคราะห์หรือการจำแนกประเภทข้อมูลต้องคำนึงถึงหลักการดังต่อไปนี้

2.10.2.1 Multispectral Approach คือ ข้อมูลพื้นที่และเวลาเดียวกันที่ถูกบันทึกในหลายช่วงคลื่น ซึ่งในแต่ละช่วงความยาวคลื่น (Band) ที่แตกต่างกันจะให้ค่าการสะท้อนพลังงานของวัตถุหรือพื้นผิวโลกที่แตกต่างกัน

2.10.2.2 Multitemporal Approach คือ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา จำเป็นต้องใช้ข้อมูลหลายช่วงเวลาเพื่อนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่าง

2.10.2.3 Multilevel Approach คือ ระดับความละเอียดของข้อมูลในการจำแนกหรือวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน เช่น การวิเคราะห์ในระดับภูมิภาคก็อาจใช้ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ที่มีรายละเอียดภาพปานกลาง (Medium Resolution) แต่ถ้าต้องการศึกษาวิเคราะห์ในระดับจุลภาค เช่น ผังเมือง ก็ต้องใช้ข้อมูลดาวเทียมที่ให้รายละเอียดภาพสูง (High Resolution) เช่น ข้อมูลจากดาวเทียม SPOT, IKONOS หรือรูปถ่ายทางอากาศ เป็นต้น

2.11 ดาวเทียมระบบ MODIS

ระบบ MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) เป็น 1 ใน 5 ระบบเซนเซอร์ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Terra และ Aqua ที่ถือเป็นดาวเทียมในกลุ่มดาวเทียมสำรวจโลกเช่นเดียวกับดาวเทียม NOAA โดย Terra ถูกส่งขึ้นโคจรเมื่อปี ค.ศ. 1999 กำหนดภารกิจเพื่อการสำรวจชั้นบรรยากาศ พื้นโลก และมหาสมุทร ในขณะที่ Aqua ถูกส่งเมื่อปี ค.ศ. 2004 เพื่อการสำรวจหยาดน้ำฟ้าและวัฏจักรของน้ำ แต่ด้วยทั้งสองมีเซนเซอร์ระบบ MODIS เหมือนกัน ทำให้มีผู้ใช้งาน

ข้อมูลจากทั้งสองระบบร่วมกันโดยไม่แบ่งแยก ดาวเทียม Terra โคจรจากขั้วโลกเหนือมาใต้ (descending) ผ่านบริเวณแถบศูนย์สูตรช่วงเวลาเช้า ในขณะที่ Aqua โคจรจากใต้ขึ้นเหนือ (ascending) ผ่านบริเวณศูนย์สูตรในช่วงบ่าย (จากทิศทางการโคจรของ Aqua ทำให้ภาพที่บันทึกเมื่อถูกแสดงในโปรแกรมดูภาพจะมีลักษณะกลับหัว) ทั้งสองดวงมีวงโคจรอยู่ที่ระดับ 705 กิโลเมตร ระบบ MODIS มี 36 แบนด์ ตั้งแต่ความยาวคลื่น 0.4 ถึง 14.4 ไมครอน มีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่แตกต่างกันสามระดับคือ ที่ขนาด 250 เมตร (แบนด์ 1 และ 2) ขนาด 500 เมตร (แบนด์ 3 – 7) และขนาด 1 กิโลเมตร (29 แบนด์ที่เหลือ) จากคุณลักษณะดังกล่าว ทำให้ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมระบบ MODIS ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดคือ การที่วงโคจรอยู่ต่ำกว่าดาวเทียมดวงอื่นในกลุ่มเดียวกัน ทำให้มีจังหวะที่เกิดช่องว่างของการบันทึกข้อมูลระหว่างแนวโคจรบริเวณส่วนกลางของโลก

ดาวเทียมระบบ MODIS จัดว่าเป็นอีกระบบหนึ่งที่สามารถใช้จัดทำอนุพันธ์ภาพที่ใช้ทำดัชนีความแห้งแล้งได้ ข้อมูล MODIS ที่ผ่านระบบประมวลผล MODAPS (The MODIS Adaptive Processing System) มีให้บริการผ่านศูนย์ DAAC (Distributed Active Archive Center) ในหลายรูปแบบ ในจำนวนนี้มีข้อมูลประเภทอนุพันธ์ที่เป็นดัชนีที่เกี่ยวข้องกับความแห้งแล้งด้วย เช่น NDVI และ EVI ซึ่งเป็นข้อมูลประเภทข้อมูลเชิงประกอบ หรือข้อมูลคอมโพสิท ที่มีทั้งคาบเวลา 8 วัน 16 วัน และ 1 เดือน มีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร และ 1 กิโลเมตร มีการควบคุมคุณภาพจุดภาพด้วยเทคนิค Constrained View Angle Maximum Value Composite (CV-MVC) ที่มีขั้นตอนการกรองจุดภาพที่มีคุณภาพไม่ดีออก โดยเฉพาะที่ได้รับอิทธิพลจากเมฆหรือสัญญาณรบกวน เพื่อให้เหลือแต่จุดภาพที่ดีของแต่ละการสร้างข้อมูลคอมโพสิท เช่น ในช่วงเวลา 16 วัน ทำการเลือกจุดภาพที่ดีที่สุดเพื่อสร้างเป็นภาพโดยพิจารณาจากมุมมองของการถ่ายทำที่แคบที่สุดถือว่าดี (closest to nadir) ส่วนที่เป็นเมฆก็จะใช้ข้อมูลค่าสูงสุดที่เก็บสำรองไว้ (ข้อมูลในอดีต ณ ช่วงเวลาเดียวกัน) อย่างไรก็ตามยังไม่มีหน่วยงานที่บริการผลิตดัชนี VCI, TCI และ VHI แบบที่มีให้บริการอยู่ในระบบ AVHRR [16]

2.12 การตรวจหา Fire hot spot โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม

หลักการตรวจหาไฟโดยใช้ดาวเทียม จะอาศัยอุปกรณ์การตรวจวัดคลื่นรังสีความร้อนที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม เช่น เครื่อง AVHRR (advanced very high-resolution radiometer) ที่ติดตั้งอยู่บนดาวเทียม NOAA หรือเครื่อง VISSR (visible and infrared spin scan radiometer) ที่ติดตั้ง

อยู่บนดาวเทียม HIMAWARI ทำการตรวจการณ์บริเวณบนผิวโลกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ (hotspot) ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมามากกว่าปกติ hotspot ที่ตรวจพบจึงเป็นบริเวณบนผิวโลกที่คาดว่ากำลังเกิดไฟไหม้หลังจากตรวจพบ hotspot แล้วจะมีกระบวนการพิสูจน์เพื่อยืนยันว่า hotspot นั้นเป็นบริเวณที่เกิดไฟป่าจริง ๆ โดยตรวจสอบว่าพื้นที่ที่พบ hotspot เป็นพื้นที่ป่าหรือไม่ หรือทำการตรวจสอบทางภาคพื้นดิน (ground check) ดาวเทียมที่นิยมใช้ในการตรวจหาไฟได้แก่ ดาวเทียม GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) ดาวเทียมระบบ MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) และดาวเทียมในตระกูล NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ซึ่งเป็นดาวเทียมทางอุตุนิยมวิทยาและการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมระบบ MODIS [17]

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันงานวิจัยทางด้านการใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อการจัดการขยะโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเฝ้าระวังอุบัติภัยและการติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เทกอง/ฝังกลบขยะยังไม่เป็นที่แพร่หลายงานวิจัยด้านการใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลในประเทศไทยที่ปรากฏส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การจัดการที่ดิน การเกษตร การศึกษาทางธรณีวิทยา การเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อมของพื้นที่ป่าหรือทะเล และการเฝ้าระวังไฟป่า รายละเอียดโดยย่อของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมี ดังนี้

Chanita Duangyiwa [18] ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรีโมทเซ็นซิ่งร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อช่วยรวบรวมและวิเคราะห์รูปแบบเชิงพื้นที่ของไฟป่าได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-5 ระบบ TM ที่บันทึกระหว่างช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน ช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2542-2550 ในบริเวณลุ่มน้ำน่านตอนบน ประเทศไทย และเลือกช่วงคลื่นที่จะมาวิเคราะห์จำนวน 3 ช่วงคลื่น คือ 7, 4 และ 2 เพื่อทำภาพผสมสีเท็จและแปลตีความพื้นที่ป่าที่ถูกไฟไหม้ด้วยสายตาบนจอภาพร่วมกับการใช้วิธีการหาค่าดัชนีความแตกต่างของการเผาไหม้ จากนั้นได้นำข้อมูลพื้นที่ป่าที่ถูกไฟไหม้ที่ได้มาจัดสร้างเป็นฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์และตรวจสอบความถูกต้องของการแปลความหมายของพื้นที่ป่าที่ถูกไฟไหม้ด้วยการสุ่มสำรวจในภาคสนามแล้วจัดทำเป็นแผนที่และสังเคราะห์แนวโน้มการกระจายตัวการเกิดไฟป่าดังกล่าวในแต่ละช่วงเวลาตามลำดับ

ปวริศ ภูมิวัฒนะ [19] ทำการออกแบบระบบตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซ LPG และตรวจสอบปริมาณก๊าซ CO_2 โดยทำการศึกษาการทำงานของเซ็นเซอร์ MQ-5 และ MG-811 ที่ใช้ตรวจจับก๊าซ

LPG และก๊าซ CO_2 โดยที่ระบบเซ็นเซอร์ทั้งสองจะส่งสัญญาณอนาลอกให้กับบอร์ด Raspberry Pi แล้วทำการส่งสัญญาณ Output ออกเป็นเสียงเตือนเป็นคำพูด และเสียงแจ้งเตือนลำโพง พร้อมแสดงปริมาณของก๊าซ LPG และก๊าซ CO_2 ผ่านทางเว็บเบราเซอร์

นิคม ลนขุนทด [20] ได้ทำการศึกษาออกแบบและสร้างการตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแอลพีจี โดยนำไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาประยุกต์ใช้ในการควบคุมและประมวลผล ร่วมกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจจับปริมาณการรั่วไหลของก๊าซแอลพีจีและส่งสัญญาณออกทางพอร์ตเอาท์พุทให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าทำให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ทางไฟฟ้าได้ มีหลักการทำงาน เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับปริมาณก๊าซที่เกินระดับความเข้มข้นในอากาศจนถึงขีดที่กำหนด จะส่งสัญญาณและแจ้งผ่านเอสเอ็มเอสเข้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามเลขหมายที่กำหนด พบว่าเซ็นเซอร์ที่นำมาทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับเครื่องตรวจจับก๊าซมีเทนที่นำมาเปรียบเทียบ

จักราพิชญ์ อัตโน และนิพนธ์ กสิพร้อง [21] ได้ศึกษาเครื่องตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์แบบออนไลน์ โดยนำเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และจุดหยดน้ำค้าง และเครื่องมือตรวจวัดก๊าซ CO 210 Carbon monoxide probe มาเชื่อมรวมเข้ากับ Web server board (บอร์ด) ที่มีไมโครคอนโทรเลอร์ AVR รุ่น AT Mega 168 จะควบคุมเซ็นเซอร์ตามโปรแกรมคำสั่งที่เขียนขึ้นด้วยภาษาซี และมีอีเทอร์เน็ตชิปทำหน้าที่อินเตอร์เฟสบอร์ดเข้าระบบเครือข่าย LAN ให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลสัญญาณ และแสดงผลในรูปที่สามารถอ่านได้ จากนั้นสร้างเว็บเพจเพื่อแสดงข้อมูลจากเซ็นเซอร์ผลการวิจัยพบว่า เครื่องที่สร้างขึ้นสามารถตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และจุดหยดน้ำค้างได้ถูกต้องตามที่ออกแบบ มีค่าความแตกต่างจากการวัด ± 5 ppm

กนกกร สุขสบาย และกาญจนา นาคะภากร [22] ได้ศึกษาประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการหาพื้นที่การเกิดไฟป่าด้วยข้อมูลช่วงคลื่นความร้อน และเสนอแนะแนวทางในการจัดการไฟป่าในพื้นที่ศึกษา โดยใช้ภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5 TM และ LANDSAT-8 OLI นำมาปรับแก้พิกัดเชิงเรขาคณิต แล้วคำนวณค่าการแผ่รังสี (radiance) ค่าการส่องสว่างของอุณหภูมิ (brightness temperature) หลังจากนั้นนำค่า brightness temperature และจุดที่เกิดไฟป่าจากส่วนควบคุมไฟป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช มาจัดทำเป็นแผนที่ อีกทั้งทำการลงสำรวจพื้นที่ศึกษาเพื่อเก็บข้อมูล ค่าพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลก ด้วยเครื่องมือ GPS แล้วนำข้อมูลที่ทำการสำรวจภาคสนามมาทำการตรวจสอบความถูกต้องกับข้อมูลจุดที่เกิดไฟป่า ด้วยสถิติ RMSE (root mean square error) พบว่าภาพจากดาวเทียม LANDSAT สามารถวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิออกมาได้และสามารถเห็นรายละเอียดของการเกิดไฟเพิ่มเติมนอกเหนือจากจุด hotspot ที่ได้รับมาจากส่วนควบคุมไฟป่า

ชฎา ณรงค์ฤทธิ์ [23] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลภาพที่สำรวจจากดาวเทียม Terra/MODIS และ Aqua/MODIS และการพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้ซอฟท์แวร์แบบรหัสเปิด ตลอดช่วงเวลา 2 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม 2550 ถึง ธันวาคม 2551 ที่รวบรวมข้อมูลจุดความร้อน พบว่า มีเพียง 150 วันเท่านั้นที่มีจุดความร้อนเกิดขึ้น จำนวนจุดความร้อนที่พบในแต่ละวันอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 195 จุด ช่วงที่มีจำนวนจุดความร้อนตั้งแต่ 100 จุดต่อวันนั้นส่วนใหญ่พบในเดือนมีนาคม รองลงมาคือเดือนเมษายน เมื่อเทียบตำแหน่งจุดความร้อนที่สำรวจพบจากดาวเทียมกับตำแหน่งที่สำรวจได้จากภาคสนาม ชี้ให้เห็นว่า ด้วยข้อจำกัดด้านสภาพภูมิประเทศทำให้การสำรวจด้วยกำลังคนในภาคสนามยังไม่สามารถเข้าไปสำรวจถึงพื้นที่ที่เกิดไฟโดยส่วนใหญ่ได้ จุดความร้อนส่วนใหญ่เกิดขึ้นในวันที่มีปริมาณฝนที่ตกอยู่ในช่วง 0 - 1.4 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยในรอบวัน 24.2 - 30.6 เซลเซียส และ ความชื้นสัมพัทธ์ 46.7 -58.4 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

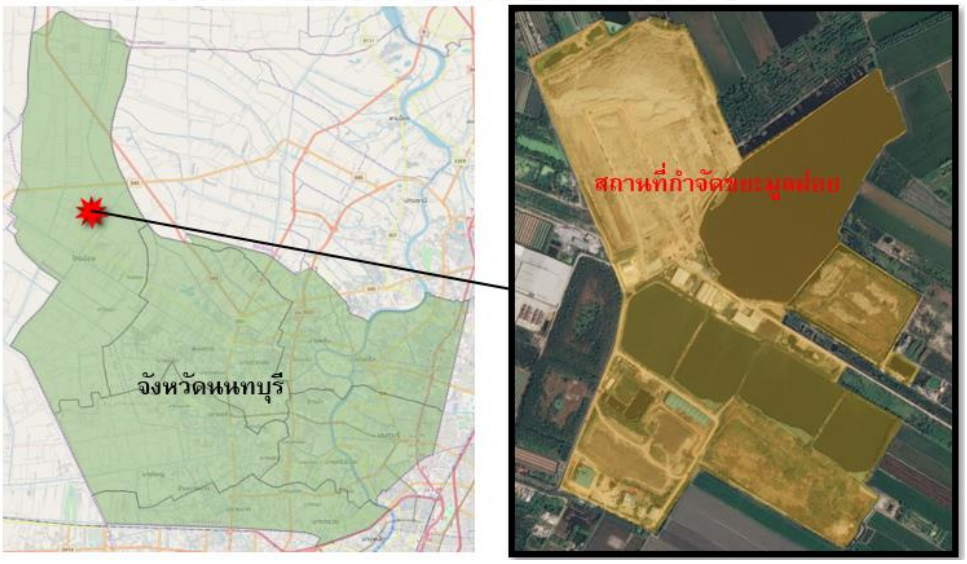
งานวิจัยเรื่อง การเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้ในพื้นที่บ่อขยะโดยใช้โดรนและเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลนี้เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์ที่ประกอบด้วย การออกแบบระบบและประกอบเครื่องมือเพื่อการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่บ่อขยะ การสำรวจและจัดเก็บข้อมูลภาคสนามและการวิเคราะห์ข้อมูลจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล ดังนี้

3.1 พื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่ภาคสนาม และพื้นที่ศึกษาในการวิเคราะห์ข้อมูลจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล ดังนี้

3.1.1 พื้นที่ศึกษาภาคสนาม ประกอบด้วยบ่อขยะที่เป็นหลุมฝังกลบตามหลักสุขาภิบาลภายใต้การควบคุมดูแลของเทศบาล และบ่อเปิดที่บริหารจัดการโดยเอกชน ดังนี้

3.1.1.1 สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย องค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี หมู่ที่ 8 ตำบลคลองขวาง อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี พิกัด ละติจูด 14.005644 ลองจิจูด 100.316629 ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 พื้นที่วิจัยภาคสนามใน จังหวัดนนทบุรี

3.1.1.2 บ่อขยะในพื้นที่พักขยะของบริษัท ต.คิดดีจำกัด เป็นบ่อเปิดที่บริหารจัดการโดยเอกชน ตั้งอยู่ที่ ต.คลองสาม อ.คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 พิกัดที่ ละติจูด 14.1405941 ลองจิจูด 100.6738954 ดังภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 พื้นที่วิจัยภาคสนามใน จังหวัดปทุมธานี

3.1.1.3 บ่อขยะหลังวัดตาสิ้ว เป็นบ่อขยะที่ตั้งอยู่ในซอยหลังวัดศิวาราม อ.วังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พิกัดละติจุด 14.2542052 ลองจิจูด 100.7098113 ดังภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3 พื้นที่วิจัยภาคสนามในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

3.1.2 พื้นที่วิจัยสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลจะใช้ภาพถ่ายทางอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดนนทบุรี จังหวัดปทุมธานี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดปทุมธานีเคยเกิดปัญหาไฟไหม้บ่อขยะบ่อยครั้งระหว่างปี พ.ศ. 2557 - พ.ศ. 2560

3.2 วัสดุ - อุปกรณ์

3.2.1 วัสดุ-อุปกรณ์ สำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนาม ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพ อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซ ถุงมือ หน้ากากอนามัย ชุดปฏิบัติงานภาคสนาม ตาชั่ง ผ้าใบเสียม พลั่ว กล่องพลาสติก

3.2.2 วัสดุ-อุปกรณ์ สำหรับการพัฒนาเครื่องมือเพื่อการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่บ่อขยะประกอบด้วย ชุดเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดก๊าซมีเทน บอร์ดส่งสัญญาณ wifi จอแสดงผล แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์ กล่องอิเล็กทรอนิกส์ และขาตั้ง

3.2.3 วัสดุ-อุปกรณ์ สำหรับการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซสำหรับโดรนต้นแบบ ประกอบด้วย กระบอกอะคริลิก เซนเซอร์สไหรับตรวจวัดก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ แบตเตอรี่สำรอง สายรัดอุปกรณ์ แผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ดส่งสัญญาณ wifi โครงโดรน ใบพัด ระบบนำทางและควบคุมโดรน และระบบบันทึกภาพถ่ายทางอากาศสำหรับโดรน

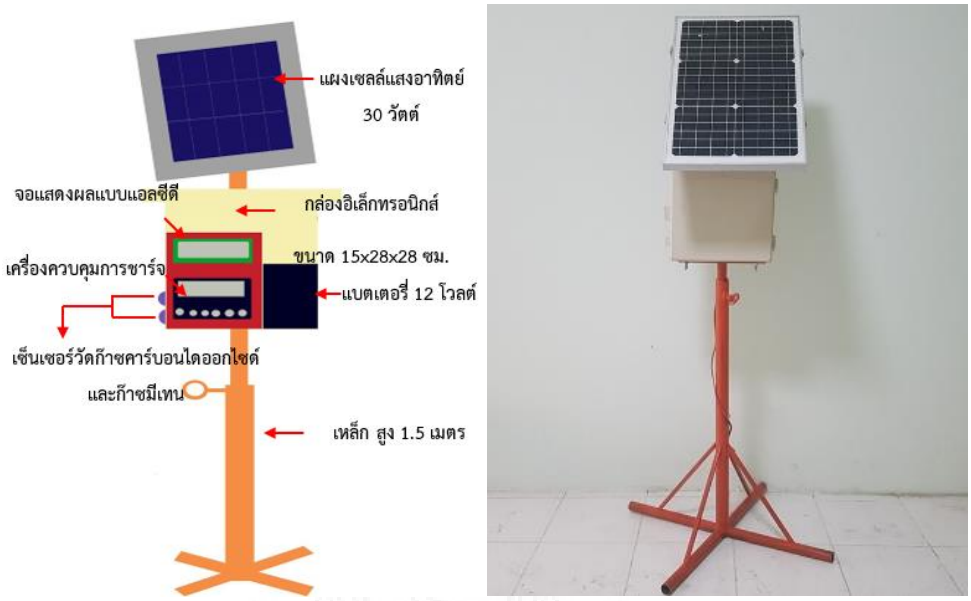
3.2.4 วัสดุ-อุปกรณ์ และซอฟท์แวร์สำหรับการรวบข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ แฟลชไดรฟ์ ภาพถ่ายดาวเทียมระบบ MODIS และโปรแกรม QGIS

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การออกแบบระบบและประกอบเครื่องมือเพื่อการสำรวจและบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมของพื้นที่บ่อขยะ

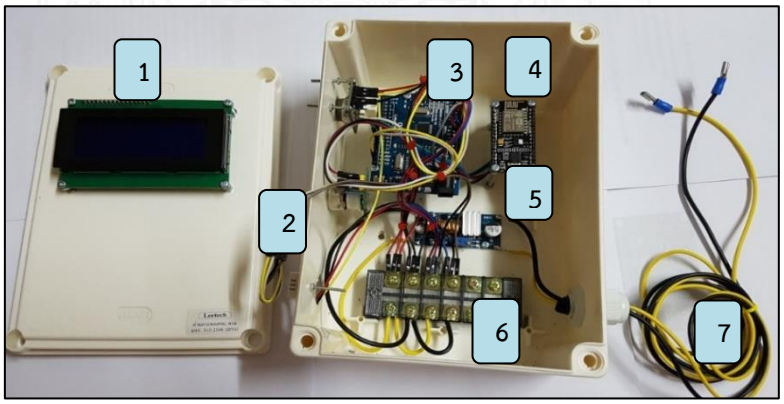
เนื่องจากพื้นที่บ่อขยะในงานวิจัยครั้งนี้มีทั้งบ่อขยะที่เป็นหลุมฝังกลบที่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล และบ่อเปิดซึ่งมีลักษณะททางกายภาพและสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นโดยออกแบบให้เป็นชุดตรวจวัดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ในช่วงกลางวันและแบตเตอรี่สำหรับสำรองและจ่ายพลังงานให้แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วย บอร์ดอาดุยโน UNO R3 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์และบอร์ดอาดุยโน ESP 8266

ซึ่งเป็นโมดุลไวไฟเชื่อมต่อกับอินเตอร์เนต สำหรับส่งข้อมูลการตรวจวัดก๊าซออนไลน์ โดยเครื่องมือตรวจวัดก๊าซที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น แสดงดังภาพที่ 3.4 โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในกล่องอิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังภาพที่ 3.5



(ก) (ข)

ภาพที่ 3.4 เครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้น
(ก) ภาพแบบของเครื่องมือ (ข) เครื่องมือที่ประกอบแล้ว



ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ภายในกล่องอิเล็กทรอนิกส์

จากภาพที่ 3.5 หมายเลขที่แสดงในภาพคือ อุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

หมายเลข 1 คือ จอแสดงผลแบบแอลซีดี เป็นหน้าจอที่ใช้การแสดงผลแบบดิจิตอล เมื่อมีการตรวจพบก๊าซทั้งสองจะแสดงผลค่าการตรวจวัดมาที่จอแสดงผล

หมายเลข 2 คือ เซ็นเซอร์ในการตรวจวัดก๊าซ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน

หมายเลข 3 คือ บอร์ดอาดุยโน่ UNO R3 ใช้รับคำสั่งควบคุมการทำงานของเครื่องตรวจติดตามการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการเขียนเปรแกรมคำสั่งผ่านโปรแกรมอาดุยโน่ IDE 1.8.5

หมายเลข 4 คือ บอร์ดอาดุยโน่ ESP8266 เป็นโมดูลไวไฟในตัว มีการรับส่งข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ตควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการเขียนคำสั่งผ่านโปรแกรมอาดุยโน่ IDE 1.8.5

หมายเลข 5 คือ โมดูลเรกูเลเตอร์ สำหรับแปลงไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้ลดลง เพื่อปรับไฟจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ให้เหลือ 5 โวลต์

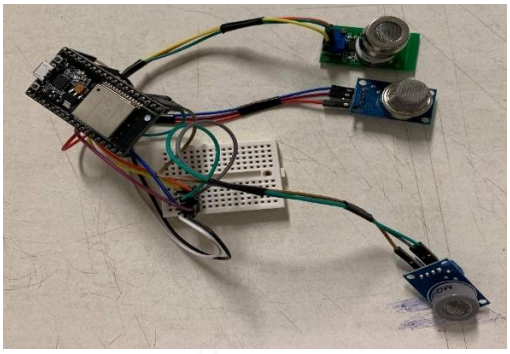
หมายเลข 6 คือ เทอร์มินอล (Terminal) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับต่อสายหรือจุดต่อสายไฟเชื่อมต่อระหว่างสายไฟด้านหนึ่งเข้ากับสายไฟอีกด้านหนึ่ง

หมายเลข 7 คือ สายไฟขั้วบวก (สีเหลือง) และขั้วลบ (สีดำ) เป็นอุปกรณ์สำหรับส่งพลังงานไฟฟ้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยกระแสไฟฟ้าจะนำพลังงานไฟฟ้าผ่านไปตามสายไฟ

3.3.2 การออกแบบและพัฒนาโดรนต้นแบบ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบให้โดรนสามารถตรวจวัดก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้โดยพัฒนาอุปกรณ์ให้มีระบบแยกต่างหากจากตัวโดรน เพื่อให้สามารถถอดและประกอบกับโดรนได้ง่ายเพื่อความสะดวกในการประยุกต์ใช้ ซึ่งแนวคิดในการออกแบบคือ เป็นอุปกรณ์ที่บรรจุภายในกระบอกอะคริลิคที่มีช่องสำหรับเซนเซอร์ตรวจก๊าซ และใช้สำหรับการตรวจวัดก๊าซขณะที่โดรนจอดนิ่งบนกองขยะ เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงอิทธิพลจากลมของใบพัดโดรนที่อาจมีผลต่อปริมาณก๊าซที่ตรวจวัด ภาพแบบและอุปกรณ์ที่ประกอบเรียบร้อยแล้วแสดงดังภาพที่ 3.6 ทั้งนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่อยู่ภายในกระบอกอะคริลิคแสดงดังภาพที่ 3.7

ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนโดรนต้นแบบ



ภาพที่ 3.7 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายในชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนโดรนต้นแบบ

สำหรับโดรนที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นโดรนประกอบที่ได้จากการสั่งซื้อชิ้นส่วนสำเร็จรูปมาประกอบเองโดยผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ในการเลือกซื้อชิ้นส่วนต่าง ๆ คือภายหลังการประกอบโดรนจะต้องสามารถรองรับน้ำหนักอุปกรณ์เสรอม (ชุดตรวจวัดก๊าซ) ได้ไม่น้อยกว่า 2 กิโลกรัม มีระยะควบคุมไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตร มีอุปกรณ์สำหรับบันทึกภาพ มีอุปกรณ์สำหรับการบังคับทางไกล มีระยะเวลาการบินไม่น้อยกว่า 20 นาทีภายหลังการจัดหาชิ้นส่วนและติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกันได้โดรนต้นแบบชนิด 4 ใบพัด ดังภาพที่ 3.8

ภาพที่ 3.8 โดรนต้นแบบสำหรับการเฝ้าระวังไฟไหม้บ่อขยะ

3.3.3 การสำรวจและบันทึกข้อมูลภาคสนาม

เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิจัยผู้วิจัยได้เดินทางไปยังพื้นที่วิจัยภาคสนาม (หัวข้อ 3.1.1) ดังนี้

3.3.3.1 พื้นที่ภาคสนาม จังหวัดนนทบุรี ดำเนินการติดตั้งและทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นที่พัฒนาขึ้นในหัวข้อ 3.2.1 โดยกำหนดจุดตรวจวัดจำนวน 6 จุด ตามแนวเขตที่ได้รับอนุญาตให้สามารถเข้าไปได้ เก็บข้อมูลก๊าซมีเทน และก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ทุก 5 นาที เป็นระยะเวลา 60 นาที ต่อจุด บันทึกผล และนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้ไปเปรียบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง

3.3.3.2 พื้นที่ภาคสนาม จังหวัดปทุมธานี ดำเนินการส่มตัวอย่างขยะโดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างจำนวน 4 จุด ให้ครอบคลุมพื้นที่บ่อขยะ พร้อมทั้งดำเนินการตรวจวัดก๊าซโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดภาคสนาม และใช้โดรนต้นแบบที่พัฒนาขึ้นเก็บข้อมูลก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของอากาศเหนือผิวกองขยะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลจุดละ 15 นาที บันทึกข้อมูล และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง

3.3.3.3 พื้นที่ภาคสนาม จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ศึกษาสภาพแวดล้อมทางกายภาพของพื้นที่ ถ่ายรูป และสัมภาษณ์ข้อมูลคนในพื้นที่

3.3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น

ดำเนินการทดสอบการทำงานของเครื่องมือเก็บตัวอย่างทั้งชุดตรวจวัดก๊าซระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ และโดรนต้นแบบ โดยทดสอบการทำงานของเครื่องในห้องปฏิบัติการด้านระบบเซนเซอร์ ระบบไฟฟ้า การเชื่อมต่อออนไลน์ และการแสดงผลข้อมูล โดยใช้ก๊าซมาตรฐาน บันทึกผลข้อมูลทุก 1 นาที เป็นเวลา 60 นาที นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์แนวโน้ม และความแม่นยำ

3.3.5 การรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูลการรับรู้ระยะไกล

ข้อมูลเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิ ภาพถ่ายดาวเทียมระบบดาวเทียม MODIS จากฐานข้อมูล Fire Information for Resource Management System: FIRMS ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา [24] และข้อมูลจากฐานข้อมูล Thailand Fire Monitoring System ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) [25] ซึ่งทั้ง 2 ฐานข้อมูลได้ใช้ข้อมูลระบบเซนเซอร์ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer ด้วยเซนเซอร์แสงที่มีแถบการถ่ายภาพที่กว้างติดตั้งบนดาวเทียม TERRA และ AQUA ทำให้ถ่ายภาพครอบคลุมทั้งประเทศไทยเพียงครั้งเดียวโดยภาพถ่ายจากดาวเทียมถูกปรับแก้เชิงเรขาคณิต ทำภาพสีผสม และรายงานเป็นจุดความร้อน (Hot spot) ที่สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อเฝ้าระวังไฟไหม้บ่อขยะได้ โดยทำการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2558 ถึงปี พ.ศ. 2561 [26-29]

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

โครงการวิจัย “การเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้ในพื้นที่บ่อขยะโดยใช้โดรน และเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล” นี้แบ่งผลการศึกษาออกเป็นประเด็นต่าง ๆ ที่ครอบคลุมการพัฒนาเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลภาคสนาม การพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซ และโดรนต้นแบบสำหรับการเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้ในพื้นที่บ่อขยะ การสำรวจข้อมูลภาคสนามและการวิเคราะห์ข้อมูลจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล ดังนี้

4.1 ผลการพัฒนาเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้น

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

เครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นที่พัฒนาเสร็จแล้ว ตัวเครื่องมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความกว้างประมาณ 15 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ความสูงประมาณ 28 เซนติเมตร มีน้ำหนักรวมประมาณ 4 กิโลกรัม และขาตั้งเครื่องมีความสูง 1.5 เมตร ใช้เซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดความกว้างประมาณ 6 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 36 เซนติเมตร ความสูงประมาณ 53 เซนติเมตร เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลักให้กับอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซ ภายในกล่องประกอบไปด้วยแบตเตอรี่ชนิดแห้งขนาดความกว้าง 6 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ความสูงประมาณ 9 เซนติเมตร และกล่องระบบเซ็นเซอร์มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยมีความกว้าง 14 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 14 เซนติเมตร ความสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ประกอบไปด้วยเครื่องควบคุมการชาร์จและระบบเซ็นเซอร์

4.1.2 คุณสมบัติทางเทคนิค

เครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติทางเทคนิคหลายประการ ดังตาราง 4.1 โดยระบบเซ็นเซอร์สามารถวัดค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตั้งแต่ 350 - 10,000 ppm และก๊าซมีเทนวัดค่าการตรวจวัดได้ตั้งแต่ 0 - 20 %LEL ใช้ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลักให้กับอุปกรณ์ตรวจวัดในช่วงกลางวันหรือช่วงที่มีแสงแดด และใช้แบตเตอรี่ในการสำรองไฟช่วงเวลากลางคืนหรือช่วงไม่มีแสงแดด ซึ่งการจ่ายพลังงานสำรองของแบตเตอรี่สามารถสำรองไฟได้ 12 ชั่วโมง ส่วนการแสดงผลข้อมูลของจอแสดงผลเป็นแบบแอลซีดี สามารถแสดงผลปริมาณก๊าซที่มีความละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง และการเชื่อมต่อออนไลน์ผ่าน

แอพพลิเคชั่นไลน์และแอพพลิเคชั่น GasApp สามารถรับข้อมูลได้ทุก 15 วินาที โดยความเร็วในการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับสัญญาณอินเทอร์เน็ตระหว่างการตรวจวัด

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้น

เกณฑ์ทดสอบการทำงานของเครื่อง	**ผลทดสอบ**
ระบบเซ็นเซอร์	สามารถวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ตั้งแต่ 350 – 10,000 ppm ส่วนก๊าซมีเทนวัดได้ตั้งแต่ 0 - 20 %LEL
ระบบไฟฟ้า การสำรองไฟ	เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลักให้กับอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซ ใช้แบตเตอรี่ในการสำรองไฟได้ 12 ชั่วโมง
การแสดงผลข้อมูลของจอแสดงผลแบบแอลซีดี	สามารถแสดงผลค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ความละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง
การเชื่อมต่อออนไลน์	การรับข้อมูลของแอพพลิเคชั่นไลน์ และแอพพลิเคชั่น GasApp รับข้อมูลได้ทุก 15 วินาที โดยขึ้นอยู่กับสัญญาณอินเทอร์เน็ต

จากตาราง 4.1 แสดงให้เห็นว่าการทำงานของระบบเซ็นเซอร์ ระบบไฟฟ้า การสำรองไฟ การแสดงผลข้อมูลของจอแสดงผลแบบแอลซีดี และการเชื่อมต่อออนไลน์ของชุดตรวจวัดก๊าซสามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ที่ออกแบบไว้

4.1.3 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้น

การทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจวัดก๊าซ โดยนำเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบเทียบกับเครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR และเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6 ที่ได้รับการสอบเทียบมาตรฐาน ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน

ครั้งที่	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)		ก๊าซมีเทน (%LEL)	
	ชุดตรวจวัดก๊าซ	เครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR	ชุดตรวจวัดก๊าซ	เครื่องตรวจจับการรั่วไหล ฯ รุ่น MX6
1	613[A]	617[B]	1[C]	2[D]
2	618[A]	623[B]	1[C]	2[D]
3	586[A]	589[B]	1[C]	2[D]
4	598[A]	602[B]	1[C]	2[D]

หมายเหตุ 1) จำนวนครั้งในการทดสอบ (n) เท่ากับ 60

2) A กับ B ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อทดสอบด้วย t-test

3) C กับ D ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อทดสอบด้วย t-test

จากตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน จำนวน 4 ครั้ง โดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 60 นาที พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจด้วยเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นและเครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น GAS Alert Micro 5 IR มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 586-623 ppm ซึ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามช่วงเวลาโดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณของควันธูปในขณะนั้น ส่วนการตรวจวัดก๊าซมีเทนที่ตรวจวัดด้วยเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นและเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6 มีค่าเฉลี่ย 1-2 %LEL จากการทดสอบค่าทางสถิติ (t-test) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซ พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้น เครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเคียงกับเครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น GAS Alert Micro 5 IR และการตรวจวัดก๊าซมีเทนมีประสิทธิภาพเทียบเคียงกับเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6

4.2 ผลการพัฒนาชุดตรวจวัดก๊าซและโดรนต้นแบบ

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของชุดตรวจวัดก๊าซและโดรนต้นแบบ

ชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนโดรนต้นแบบที่พัฒนาเสร็จแล้ว มีลักษณะเป็นทรงกระบอกใส ขนาดความยาว 234 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตร ภายในบรรจุไปด้วยบอร์ดอาดุยโน่ ESP32 เซนเซอร์ MG811 สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เซนเซอร์ MQ7 สำหรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เซนเซอร์ MQ4 สำหรับก๊าซมีเทน เบรดบอร์ด สายต่อจั๊มเปอร์ ใช้พาวเวอร์แบงค์ยี่ห้อ eloop ความจุไฟฟ้า 30,000 มิลลิแอมแปร์ สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ 5 โวลต์ และ 9 โวลต์ มีขนาดความกว้างประมาณ 9 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับชุดตรวจวัดก๊าซ มีน้ำหนักโดยรวมประมาณ 800 กรัม

4.2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของชุดตรวจวัดก๊าซและโดรนต้นแบบ

ชุดตรวจวัดก๊าซสำหรับติดตั้งบนโดรนต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติทางเทคนิคหลายประการ ดังตาราง 4.1 โดยระบบเซนเซอร์สามารถวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตั้งแต่ 350-10,000 ppm ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์วัดค่าการตรวจวัดได้ตั้งแต่ 200-10,000 ppm และก๊าซมีเทนวัดค่าการตรวจวัดได้ตั้งแต่ 300-10,000 ppm ใช้พาวเวอร์แบงค์เป็นแหล่งพลังงานให้กับชุดตรวจวัดก๊าซ ส่วนการแสดงผลข้อมูลการเชื่อมต่อออนไลน์ผ่านแอพพลิเคชั่น Line สามารถรับข้อมูลได้ทุก 1 นาที

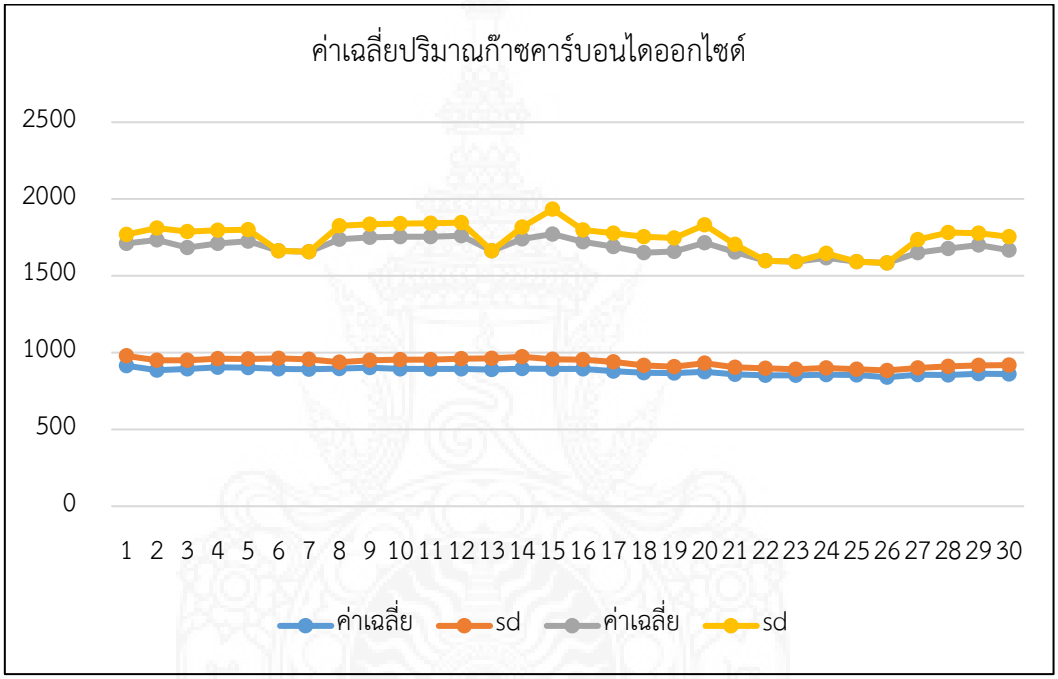
4.2.3 ผลการทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซและโดรนต้นแบบ

การทดสอบการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซ โดยนำเครื่องตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบการทำงานของเครื่องเปรียบเทียบกับเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 3 ครั้ง บันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 30 นาที ดังภาพ 4.1 - 4.3 ได้ผลการทดสอบดังนี้

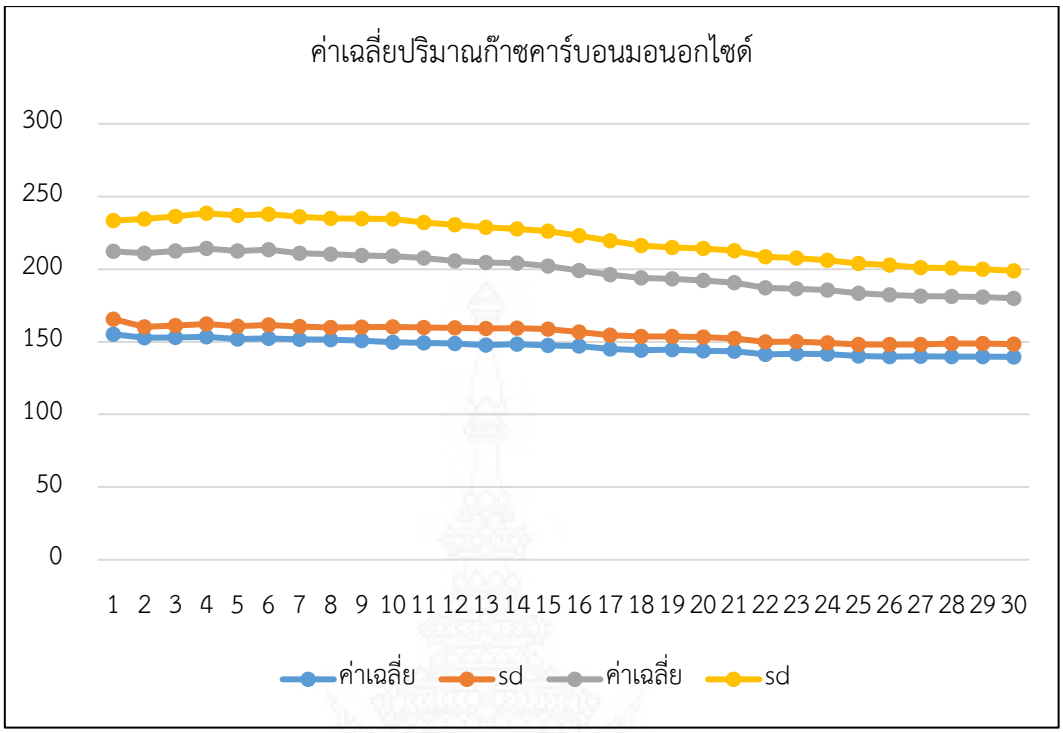
4.2.3.1 ผลการเก็บข้อมูลการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซ

ผลการเก็บข้อมูลการทำงานของชุดตรวจวัดก๊าซ ได้ผลวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) จำนวน 3 ครั้ง โดยบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ใช้เวลา 30 นาที พบว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ตรวจด้วยชุดตรวจวัดก๊าซ และเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ช่วง 155 - 32 ppm ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้จะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าชุดตรวจวัดก๊าซ และเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ช่วง 915-700 ppm ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะนั้น ส่วนก๊าซมีเทนที่ตรวจด้วยชุดตรวจวัดก๊าซ และเครื่องตรวจวัดก๊าซ

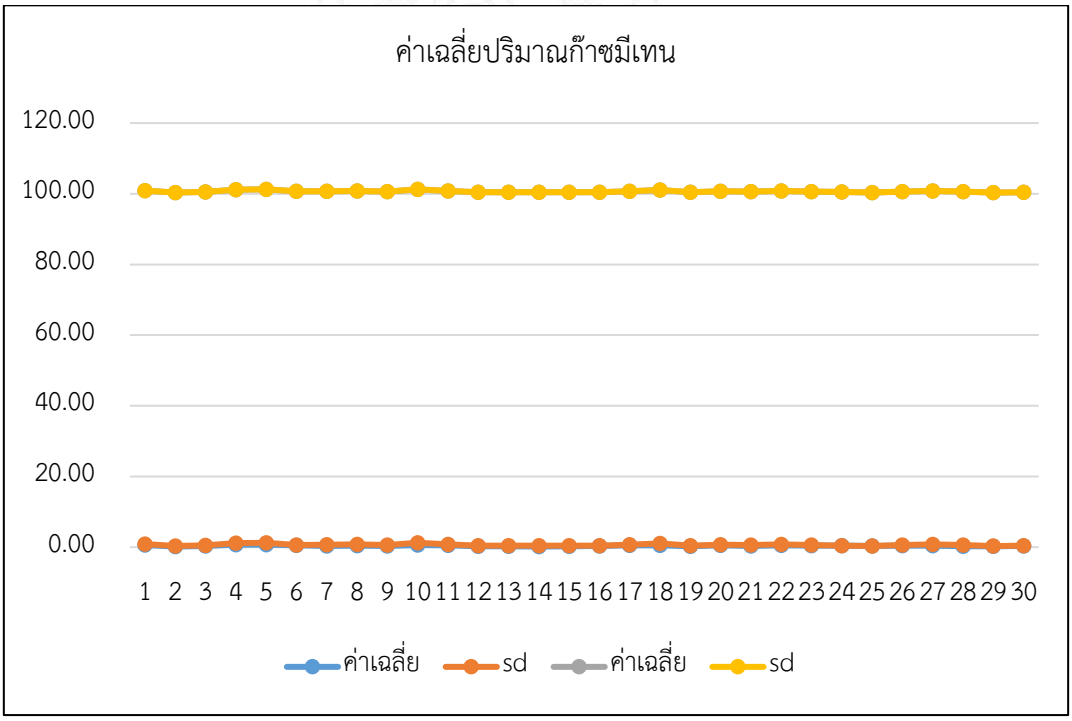
อ้างอิง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ช่วง 0.18 – 100 %LEL จากการทดสอบทางสถิติ (t-test) เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซ พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้น ชุดตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ใกล้เคียงกับเครื่องตรวจวัดก๊าซที่นำมาใช้อ้างอิง และการตรวจวัดก๊าซมีเทนมีประสิทธิภาพไม่ใกล้เคียงกับเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง เนื่องจากชุดตรวจวัดก๊าซสามารถตรวจวัดก๊าซได้ไม่เกิน 1 %LEL ซึ่งมีความแตกต่างจาก เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิงซึ่งสามารถตรวจวัดก๊าซได้มากกว่า ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์



ภาพที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซมีเทน

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซมีเทน

ครั้งที่	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์		ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์		ก๊าซมีเทน	
	ชุดตรวจวัดก๊าซ	เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	ชุดตรวจวัดก๊าซ	เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง	ชุดตรวจวัดก๊าซ	เครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง
1	939^{A}	808^{A}	155^{B}	60^{B}	0.38^{C}	100^{C}
2	864^{A}	745^{A}	148^{B}	50^{B}	0.13^{C}	100^{C}
3	836^{A}	702^{A}	137^{B}	17^{B}	0.37^{C}	100^{C}

หมาเหตุ 1) จำนวนครั้งในการทดสอบ (n) เท่ากับ 30

2) A กับ A ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อทดสอบด้วย t-test

3) B กับ B ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อทดสอบด้วย t-test

4) C กับ C มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อทดสอบด้วย t-test

4.3 ผลการสำรวจข้อมูลภาคสนาม

การสำรวจข้อมูลในภาคสนามเป็นการลงพื้นที่เพื่อให้ทราบข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลจากเทคโนโลยีระยะไกล โดยประกอบไปด้วย ผลการศึกษาสภาพแวดล้อมและการจัดการพื้นที่บ่อขยะ ผลการสุ่มตัวอย่างขยะ และผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซในพื้นที่บ่อขยะ ดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาสภาพแวดล้อมและการจัดการพื้นที่บ่อขยะ

พบว่าบ่อขยะในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง คือ บ่อขยะในพื้นที่หลุมฝังกลบไทรน้อยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี บ่อขยะในพื้นที่ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และบ่อขยะหลังวัดตาสิ้ว อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีสภาพแวดล้อม และการจัดการพื้นที่ที่แตกต่างกันโดยบ่อขยะในพื้นที่หลุมฝังกลบไทรน้อย มีพื้นที่อยู่ห่างไกลชุมชน มีพื้นที่ขนาดใหญ่ (500 ไร่) รองรับปริมาณขยะจากชุมชนต่าง ๆ ครอบคลุมทั้ง 6 อำเภอ คือ อำเภอเมืองนนทบุรี อำเภอไทรน้อย อำเภอบางใหญ่ อำเภอบางกรวย อำเภอบางบัวทอง และอำเภอปากเกร็ด โดยปัจจุบันเปิดดำเนินการจัดการขยะแบบครบวงจรโดยมีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่รองรับขยะ พื้นที่จัดการขยะด้วยเตาเผาเพื่อผลิตไฟฟ้า พื้นที่รองรับและบำบัดน้ำเสียจากบ่อขยะ พื้นที่ฝังกลบขยะและเถ้าจากการเผาขยะ และพื้นที่ป่าแนวกันชน โดยในพื้นที่บ่อขยะและหลุมฝังกลบขยะขององค์การ

บริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี มีการติดตั้งท่อระบายก๊าซที่สะสมในบ่อขยะ ทำให้มีความเสี่ยงค่อนข้างน้อยที่จะเกิดไฟไหม้บ่อขยะ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษาอีก 2 แห่ง

ผลการสำรวจบ่อขยะในพื้นที่ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี พบว่า ตั้งอยู่ใกล้กับพื้นที่เกษตรกรรมและคลองส่งน้ำสาธารณะขนาดเล็ก มีพื้นที่ประมาณ 40 ไร่ รองรับขยะจากเทศบาลตำบลคลองสาม วันละประมาณ 200 ตัน เพื่อดำเนินการคัดแยก แปรรูปเป็นเชื้อเพลิง RDF และส่งไปที่โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ในจังหวัดสระบุรี โดยพื้นที่มีบ่อรับน้ำเสียจากกองขยะเพื่อป้องกันการรั่วไหลสู่พื้นที่ใกล้เคียงซึ่งเป็นนาข้าว และแปลงเกษตร โดยในช่วงเวลาที่ผู้วิจัยได้เข้าพื้นที่ศึกษานั้นทางบริษัท ต.คิดดี จำกัด เพิ่งได้เข้ามาบริหารจัดการบ่อขยะและกำลังพัฒนาพื้นที่ โดยมีแผนปรับปรุงพื้นที่โดยแบ่งเป็นโซนรับขยะ โซนพักขยะ โซนคัดแยกวัสดุรีไซเคิล โซนแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิง RDF โซนขนถ่าย และโซนรองรับและบำบัดน้ำเสียจากกองขยะ

การจัดการเพื่อลดผลกระทบจากกลิ่นทางผู้ดูแลพื้นที่ได้ดำเนินการฉีดน้ำยาอเนกประสงค์เพื่อช่วยลดกลิ่นวันละ 3 ครั้ง ในตอนเช้า กลางวัน และตอนเย็น ส่วนการเฝ้าระวังเพื่อป้องกันการเกิดไฟไหม้มีการเฝ้าระวังตลอดเวลาโดยมีการใช้รถแมคโครขุดและพลิกกองขยะเป็นระยะเพื่อระบายก๊าซ อีกทั้งมีการฉีดน้ำด้วยรถดับเพลิงในจุดเสี่ยงเพื่อเพิ่มความชื้นและป้องกันการลุกไหม้ในบ่อพักขยะ

ส่วนผลการสำรวจบ่อขยะหลังวัดตาสิ้ว อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พบว่า เป็นบ่อขยะที่ค่อนข้างอยู่ใกล้ชุมชนและรายรอบด้วยนาข้าว พื้นที่มีขนาดใกล้เคียงกับบ่อขยะในพื้นที่ตำบลคลองสาม แต่ปัจจุบันปิดดำเนินการ จากการสัมภาษณ์ประชาชนในพื้นที่ทำให้ทราบว่าบ่อขยะแห่งนี้เคยเกิดเหตุการณ์ไฟไหม้มาก่อนจึงทำให้บ่อขยะถูกปิดและห้ามบุคคลภายนอกเข้าพื้นที่ จากการสำรวจบริเวณรอบ ๆ พบว่าภายในบ่อขยะไม่มีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียมีเพียงบ่อเล็ก ๆ เพื่อรองรับน้ำชะจากกองขยะ พื้นที่ของบ่อขยะส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยเถาวัลย์ ขยะในบ่อเป็นขยะเก่าที่ถูกกองทิ้งไว้มีเพียงบางส่วนที่มีลักษณะคล้ายกับขยะที่เพิ่งถูกนำมาทิ้ง ทั้งนี้บ่อขยะแห่งนี้ไม่มีการดำเนินการเพื่อเฝ้าระวังและป้องกันไฟไหม้บ่อขยะที่อาจเกิดขึ้นอีก

4.3.2 ผลการสุ่มตัวอย่าง

เนื่องจากข้อจำกัดในการได้รับอนุญาตเข้าพื้นที่บ่อขยะซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะสภาพแวดล้อมของพื้นที่ และความปลอดภัยในการปฏิบัติงานวิจัยการสุ่มตัวอย่างขยะในงานวิจัยนี้สามารถทำได้เพียงในพื้นที่บ่อขยะ ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยจากการสุ่มตรวจพบว่ามีขยะมูลฝอยประเภท พลาสติก, ผ้า, ไม้, โลหะ, อลูมิเนียม, แก้ว, หนัง, พลาสติกแข็ง, ยาง, และอินทรียวัตถุ

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะมูลฝอยประเภทต่าง ๆ

ชนิดขยะ	ค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
พลาสติก	2.75	40.57	1.26
ผ้า	0.83	12.25	0.78
ไม้	0.1	1.47	0
โลหะและอลูมิเนียม	0.5	7.37	0.14
แก้ว	0.4	5.90	0.25
หนัง	0.2	2.94	0
พลาสติกแข็งและยาง	0.5	7.37	0.43
อินทรีย์วัตถุ	1.5	22.13	0.58

จากการตรวจวัดก๊าซในพื้นที่พักขยะ พบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) , ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ดังตาราง 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซในพื้นที่พักขยะ

ก๊าซ	หน่วย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
CO	ppm	1.5	2.60
CO_2	ppm	937.5	213.23
O_2	ppm	21.13	0.23
H_2S	ppm	0	0
LEL	%LEL	0	0

4.3.3 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซในพื้นที่บ่อขยะ

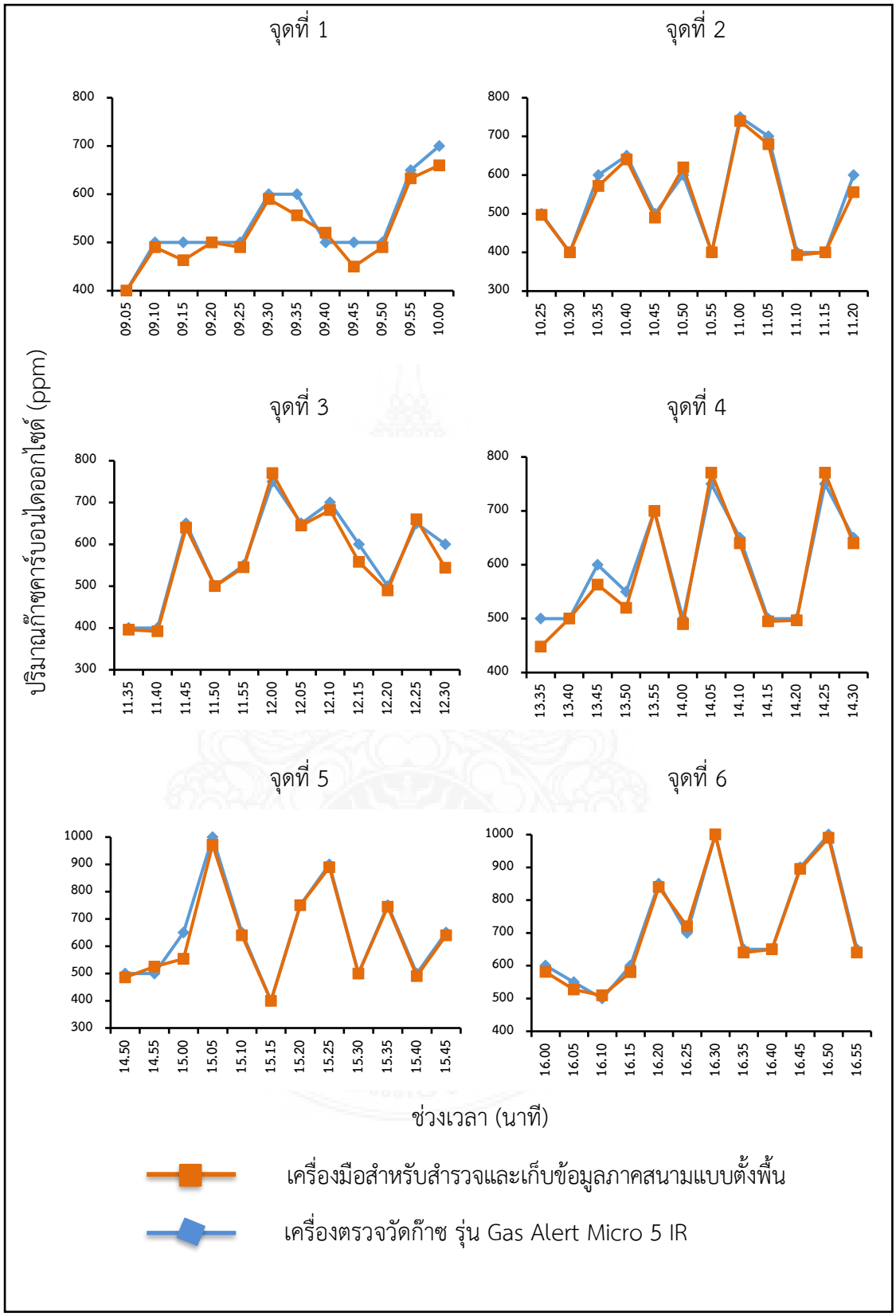
การตรวจวัดก๊าซในพื้นที่บ่อขยะดำเนินการเฉพาะบ่อขยะในพื้นที่ศึกษาภาคสนามจังหวัดนนทบุรี และจังหวัดปทุมธานี โดยใช้อุปกรณ์ในการตรวจวัดแตกต่างกันเนื่องจากสภาพแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพของพื้นที่แตกต่างกัน โดยในพื้นที่ภาคสนามจังหวัดนนทบุรีตรวจวัดโดยใช้ชุดตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้นในข้อ 3.3.1 และการศึกษาในพื้นที่ภาคสนามจังหวัดปทุมธานีใช้อุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซ โดยใช้กล่องอะคริลิควางครอบนั้น ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และต่อสายยางเชื่อมกับเครื่องตรวจวัดก๊าซ Gas Alert Micro 5 ร่วมกับการใช้ชุดตรวจวัดก๊าซและโดรนต้นแบบที่พัฒนาขึ้นในข้อ 3.3.2 ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.3.3.1 ผลการตรวจวัดข้อมูลภาคสนามจังหวัดนนทบุรี

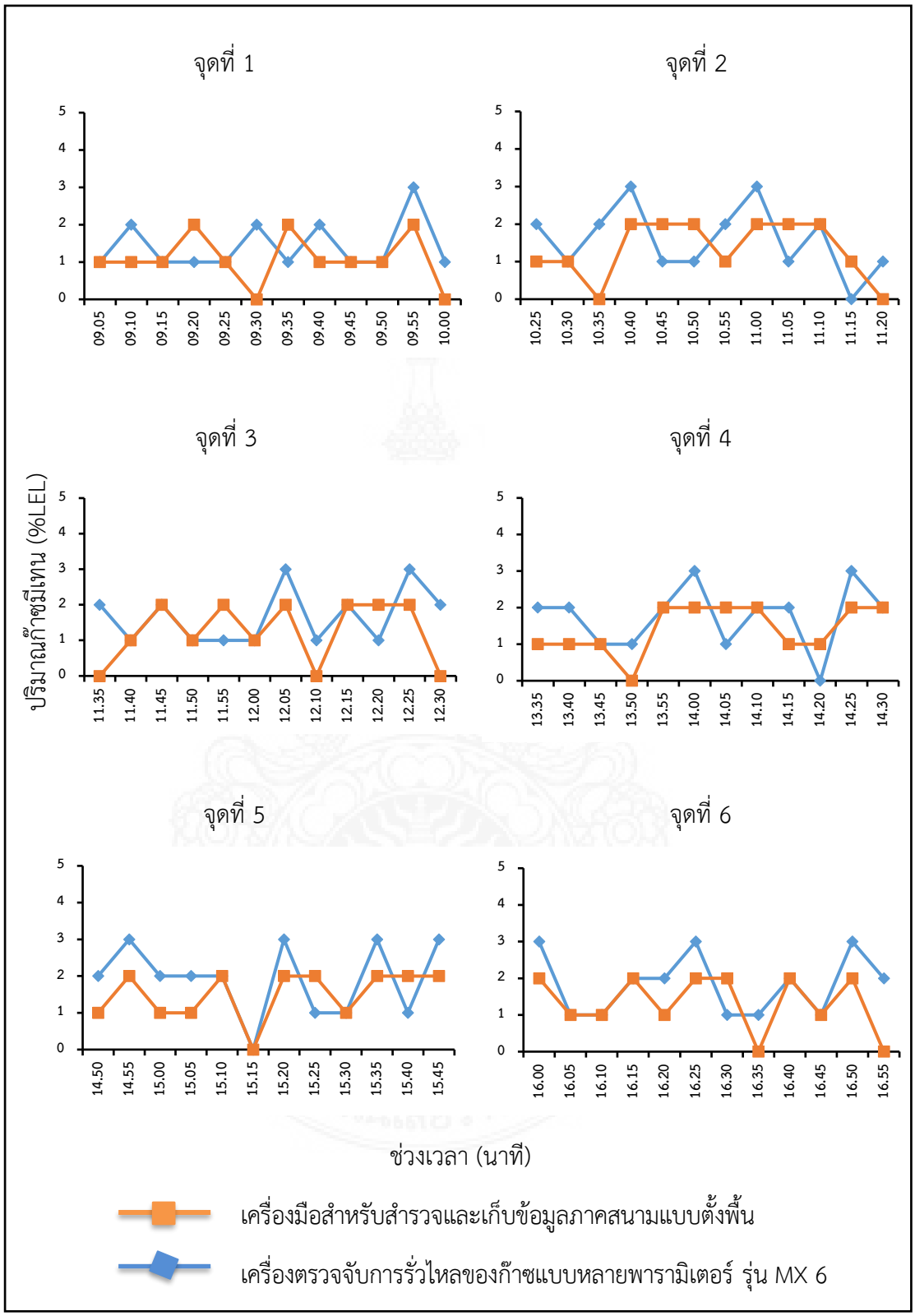
ทำการเก็บข้อมูลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน วันที่ 12 มีนาคม 2561 ตั้งแต่เวลา 09.00 – 16.55 น. โดยทำการเก็บข้อมูลจำนวน 6 จุด และบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที เป็นเวลา 60 นาที ดังภาพ 4.4 และดังภาพ 4.5

จากกราฟในภาพที่ 4.4 พบว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดโดยเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นและเครื่องตรวจวัดก๊าซรุ่น Gas Alert Micro 5 IR มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในแต่ละจุดที่ตรวจวัด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 520-721 ppm ทั้งนี้รูปแบบผลการตรวจวัดที่ได้แต่ละจุดมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากการตรวจวัดจุดที่ 1 2 3 และ 4 มีการปิดหน้าดินในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย ส่วนจุดที่ 5 และ 6 ไม่มีการปิดหน้าดินและมีขยะมูลฝอยเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณสูง และเมื่อทดสอบผลทางสถิติ (t-test) พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้น เครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องตรวจวัดก๊าซรุ่น Gas Alert Micro 5 IR

จากกราฟในภาพที่ 4.5 พบว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดโดยเครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นและเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6 มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมาก มีค่าเฉลี่ย 1-2 %LEL ทั้งนี้รูปแบบผลการตรวจวัดที่ได้แต่ละจุดมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย อาจมาจากปัจจัยหลายอย่าง ๆ เช่น ทิศทางลม ช่วงเวลาในการตรวจวัด และการวางตำแหน่งของเครื่องตรวจวัด เมื่อทดสอบผลทางสถิติ (t-test) พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้น เครื่องมือสำหรับสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบตั้งพื้นที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6



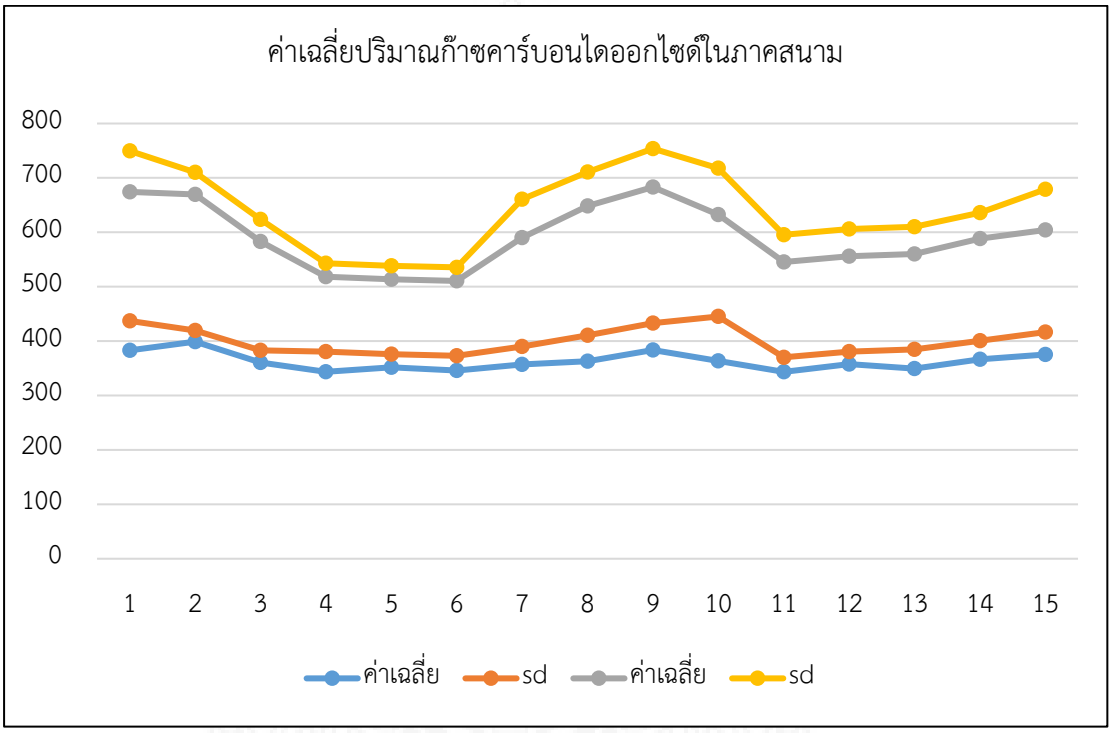
ภาพที่ 4.4 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคสนาม



ภาพที่ 4.5 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทนในภาคสนาม

4.3.3.2 ผลการตรวจวัดก๊าซในภาคสนาม จังหวัดปทุมธานี

เก็บข้อมูลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ณ วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2562 ตั้งแต่เวลา 10:30 – 12:00 น. ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 3 ครั้ง บันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 30 นาที ดังภาพ 4.6



ภาพที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคสนาม

จากภาพที่ 4.6 พบว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซโดยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ช่วง 399-138 ppm ซึ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ชุดตรวจวัดก๊าซวัดได้จะมีความแตกต่างกับเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง อยู่ที่ 200 ppm เนื่องจากเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง มีปั๊มที่ใช้ดูดก๊าซจึงมีความแม่นยำในการตรวจวัดก๊าซมากกว่าชุดตรวจวัดก๊าซ จากการทดสอบทางสถิติ (t-test) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซพบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังนั้น ชุดตรวจวัดก๊าซที่พัฒนาขึ้นมีผลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ใกล้เคียงกับเครื่องตรวจวัดก๊าซอ้างอิง

จากการทดสอบประสิทธิภาพชุดตรวจก๊าซพบว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซโดยชุดตรวจวัดก๊าซและเครื่องตรวจวัดก๊าซรุ่น Gas Alert Micro 5 IR ตรวจไม่พบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และมีเทน ทั้ง 4 จุด เนื่องจากพื้นที่พักขยะมูลฝอยมีการคัดแยกขยะ และการจัดการขยะที่เป็นระบบ

จึงส่งผลให้ตรวจไม่พบ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นสาเหตุให้ตรวจไม่พบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซมีเทน

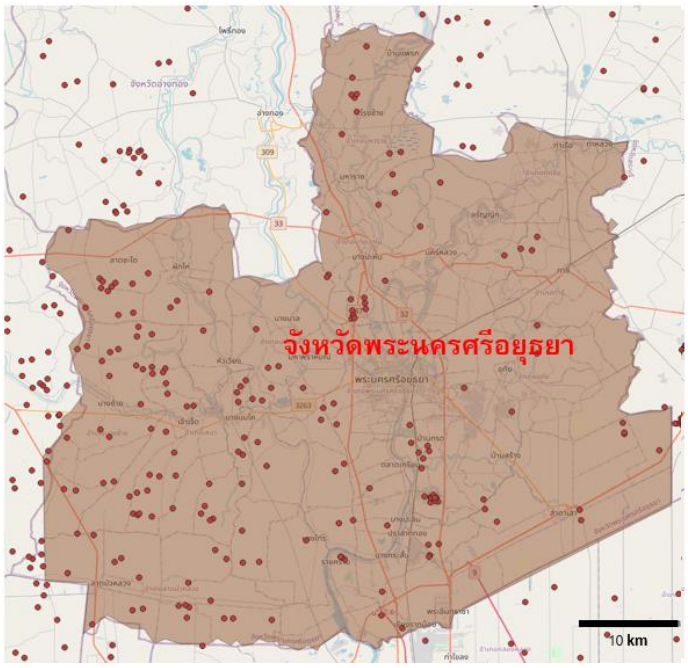
4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล

จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากฐานข้อมูล FIRMS ขององค์การนาซาโดยการตรวจสอบข้อมูลระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2561 โดยใช้เฉพาะข้อมูลจากดาวเทียมระบบ MODIS พบว่าเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลศึกษา จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นจังหวัดที่มีจำนวนจุดความร้อนจากไฟเกิดขึ้นมากที่สุด จำนวน 185 จุด รองลงมาคือ จังหวัดปทุมธานี จำนวน 93 จุด จังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 22 จุด และจังหวัดนนทบุรี จำนวน 10 จุด ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.6 โดยการกระจายของจุดความร้อนในแต่ละจังหวัด แสดงในภาพที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ4.10

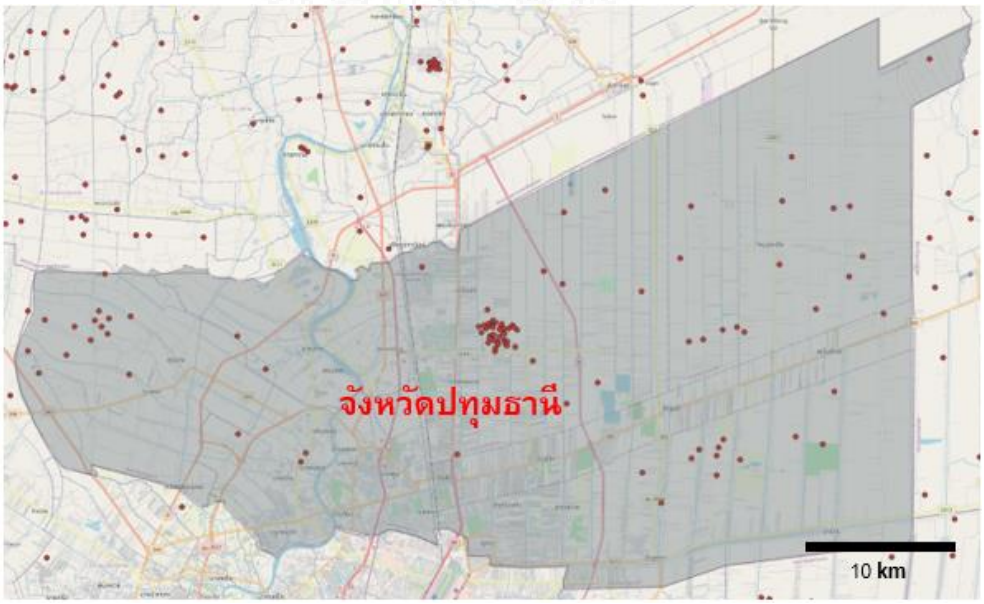
ตารางที่ 4.6 จำนวนจุดความร้อนจากไฟที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2560 – ตุลาคม 2561

พื้นที่จังหวัด	จำนวนจุดความร้อน
พระนครศรีอยุธยา	185
ปทุมธานี	93
สมุทรปราการ	22
นนทบุรี	10

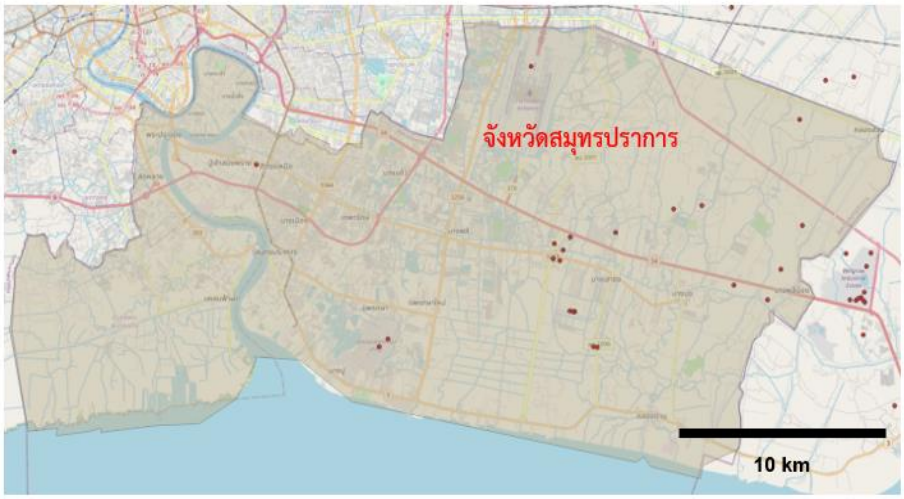
หมายเหตุ สืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูล Fire Information for Resourec Management System ของ NASA



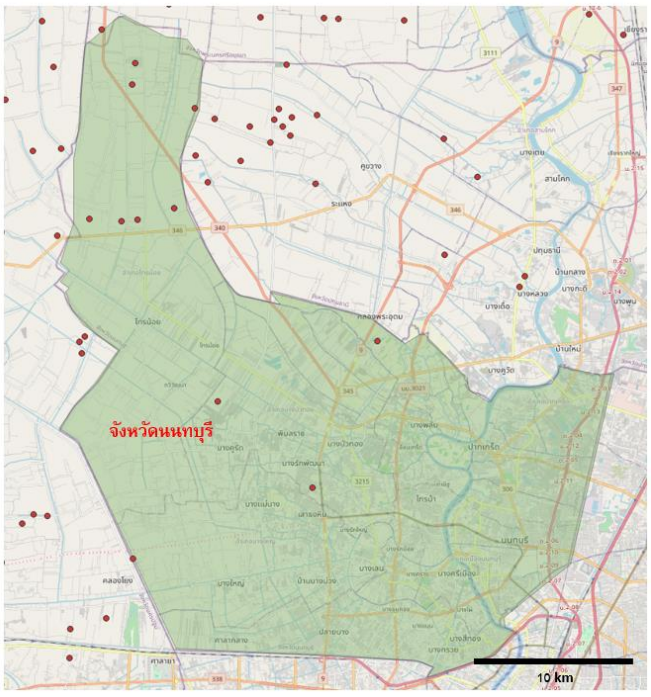
ภาพที่ 4.7 แสดงจุดความร้อนจากไฟของจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่เกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน 2560 - ตุลาคม 2561



ภาพที่ 4.8 แสดงจุดความร้อนจากไฟของจังหวัดปทุมธานีที่เกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน 2560 - ตุลาคม 2561



ภาพที่ 4.9 แสดงจุดความร้อนจากไฟของจังหวัดสมุทรปราการที่เกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน 2560 - ตุลาคม 2561

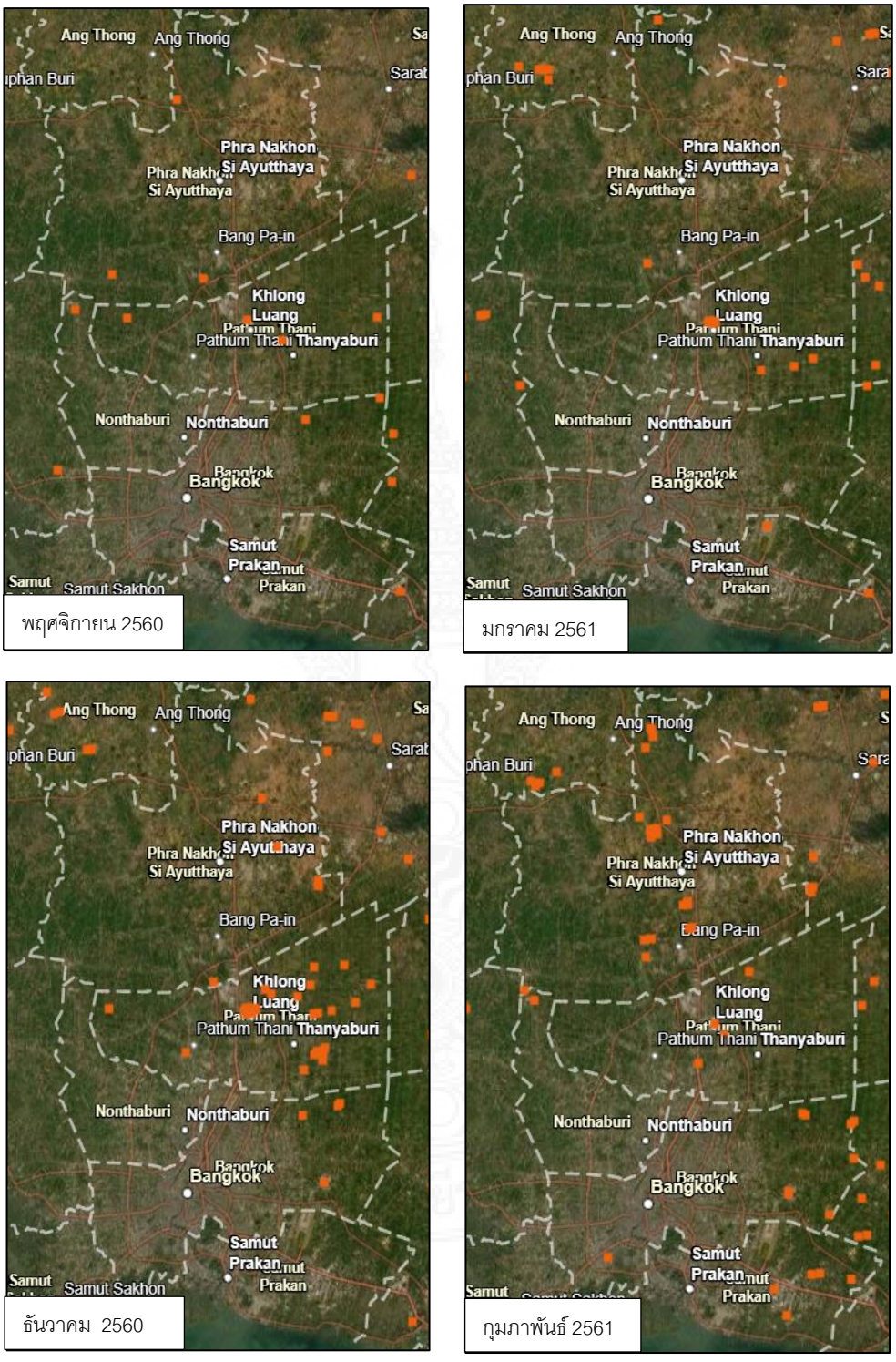


ภาพที่ 4.10 แสดงจุดความร้อนจากไฟของจังหวัดนนทบุรีที่เกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายน 2560 - ตุลาคม 2561

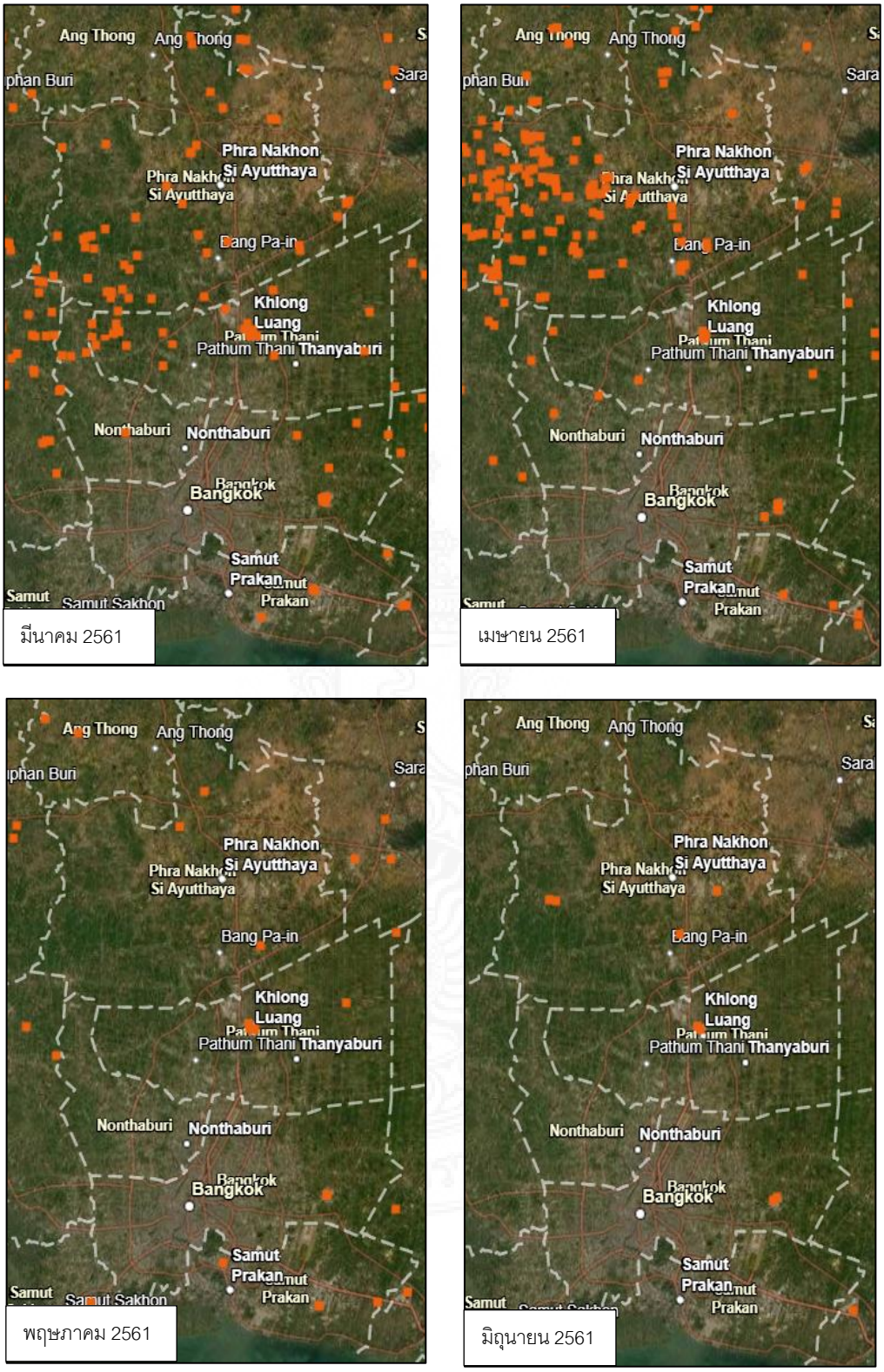
จากภาพที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10 จะเห็นได้ว่าการกระจายของจุดความร้อนจากไฟที่เกิดขึ้นในแต่ละจังหวัดมีทั้งจุดความร้อนที่กระจายแบบสุ่ม และแบบเป็นกลุ่ม ซึ่งการกระจายแบบสุ่มแสดงให้เห็นว่าการเกิดจุดความร้อนจากไฟบนพื้นผิวโลก หรือการเกิดไฟไหม้อาจเกิด ณ ตำแหน่งใดก็

ได้หากมีแหล่งเชื้อเพลิงและปัจจัยสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม โดยพื้นที่ที่เกิดจุดความร้อนจากไฟ อาจเป็นได้ทั้งป่าอนุรักษ์ ป่าสงวนแห่งชาติ เขตสปก. พื้นที่เกษตร พื้นที่ริมทางหลวง ชุมชน ย่านโรงงานอุตสาหกรรม หรือแม้แต่พื้นที่บ่อขยะ

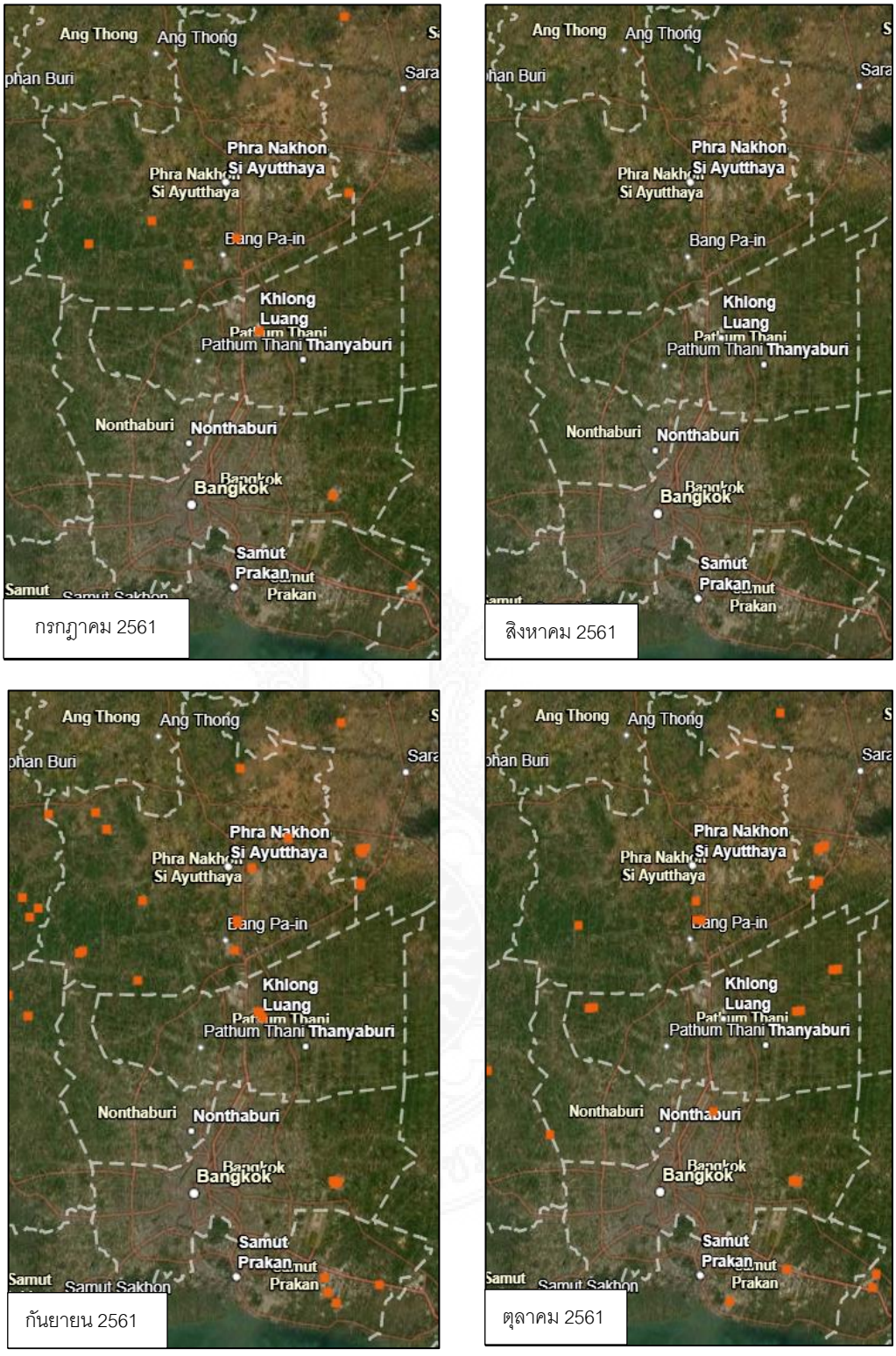
เมื่อพิจารณาจำนวนจุดความร้อนจากไฟรายเดือนระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2561 โดยใช้ฐานข้อมูล FIRMS ดังภาพที่ 4.11 ถึงภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าจำนวนจุดความร้อนจากไฟในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียงมีมากในเดือนธันวาคม กุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน โดยเดือนดังกล่าวเป็นช่วงระหว่างปลายฤดูหนาว ถึงกลางฤดูร้อนของประเทศไทย ซึ่งจะมีอากาศร้อน และแห้งแล้ง จึงต้องให้ความสนใจและเฝ้าระวังความเสี่ยงของการเกิดไฟไหม้บ่อขยะเป็นพิเศษ ทั้งนี้พบว่าเดือนสิงหาคม เป็นเดือนที่เกิดจุดความร้อนจากไฟน้อยที่สุด ขณะที่เดือนอื่น ๆ เช่นเดือนพฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม และเดือนกันยายน แม้จะเป็นช่วงฤดูฝนก็ยังมีจุดความร้อนจากไฟเกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเกิดไฟไหม้บ่อขยะอาจเกิดขึ้นได้ตลอดทั้งปีหากมีปัจจัยที่เอื้อต่อสภาวะการลุกไหม้ [7,8]



ภาพที่ 4.11 จุดความร้อนจากไฟในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียงรายเดือน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561



ภาพที่ 4.12 จุดความร้อนจากไฟในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียงรายเดือน ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561



ภาพที่ 4.13 จุดความร้อนจากไฟในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียงรายเดือน ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนจุดความร้อนจากไฟกับฐานข้อมูล Thailand Fire Monitoring System ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน คือ ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2561 ดังตารางที่ 4.7 พบว่า จำนวนจุดความร้อนจากไฟที่รายงานในฐานข้อมูลมีจำนวนที่น้อยกว่าฐานข้อมูล FIRMS ขององค์การ NASA แต่ทั้ง 2 ฐานข้อมูลยังไม่มีการจำแนกที่เจาะจงถึงกรณีไฟไหม้บ่อขยะ

ตารางที่ 4.7 จำนวนจุดความร้อนจากไฟที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2560 – ตุลาคม 2561

พื้นที่ (จังหวัด)	การใช้ประโยชน์ที่ดิน (จำนวนจุดความร้อนจากไฟ)						รวม
	ป่าอนุรักษ์	ป่าสงวนแห่งชาติ	เขต สปก.	พื้นที่เกษตร	พื้นที่ริมทางหลวง (50เมตร)	ชุมชนและอื่น ๆ	
พระนครศรีอยุธยา	0	0	2	118	9	23	152
สมุทรปราการ	0	0	0	2	3	11	16
นนทบุรี	0	0	0	3	4	2	9
ปทุมธานี	0	0	0	14	17	24	55
ทั้งประเทศ	2,808	3,353	1,786	4,966	259	1,393	14,565

หมายเหตุ สืบค้นจากฐานข้อมูลสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) [25]

จากการสืบค้นข้อมูลทุติยภูมิ จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษ และข่าวที่ปรากฏในสำนักข่าวต่าง ๆ พบว่า สถิติการเกิดไฟไหม้บ่อขยะในประเทศไทยในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง 2561 มีเหตุการณ์ไฟไหม้บ่อขยะทั้งประเทศรวมทั้งหมด 13 ครั้ง โดยเกิดขึ้นในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 1 ครั้ง ในปีพ.ศ. 2560 และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำนวน 1 ครั้ง ในปีพ.ศ. 2561 ส่วนจังหวัดนนทบุรี และจังหวัดปทุมธานี ไม่มีเหตุการณ์ไฟไหม้บ่อขยะเกิดขึ้นในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2560 – 2561 ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สถิติการเกิดไฟไหม้บ่อขยะในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ.2558 – 2561

พื้นที่	ปี 2558	ปี 2559	ปี 2560	ปี 2561
จังหวัดสมุทรปราการ	1	0	1	0
จังหวัดนนทบุรี	0	0	0	0
จังหวัดปทุมธานี	1	0	0	0
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	1	1	0	1
ทั้งประเทศ	12	6	7	6

4.5 การอภิปรายผลการศึกษา

จากผลการพัฒนาเครื่องมือในการตรวจวัดก๊าซ ทั้งในรูปแบบเครื่องมือตั้งพื้น และชุดตรวจวัดที่ติดตั้งบนโดรน ซึ่งพบว่า สามารถทำงานได้ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และได้ข้อมูลการตรวจวัดที่ใกล้เคียงกับเครื่องมือตรวจวัดก๊าซที่ใช้เป็นคู่เทียบจึงนับเป็นการพัฒนาเครื่องมือสำหรับการเป็นต้นแบบสำหรับใช้ในการเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้บ่อขยะได้ แต่อย่างไรก็ตามในการตรวจวัดก๊าซเพื่อเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้บ่อขยะ ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการตรวจวัดก๊าซที่ระดับเหนือพื้นผิวกองขยะซึ่งมีประโยชน์ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมและปริมาณก๊าซระดับผิว แต่อาจไม่สามารถใช้ในการติดตามเฝ้าระวังไฟที่อาจประทุจากภายในกองขยะได้เนื่องจากส่วนหนึ่งของสาเหตุไฟไหม้บ่อขยะเกิดจากปรากฏการณ์ self heating [7,8] ที่เกิดจากแก๊สที่ทับถมอยู่ภายในกองขยะซึ่งการตรวจวัดอุณหภูมิสะสมภายในกองขยะร่วมกับการใช้เซ็นเซอร์และเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล (ไม่ได้อยู่ในขอบเขตของการวิจัยในครั้งนี้) อาจเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบเฝ้าระวังไฟไหม้ของบ่อขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

การพัฒนาโดรนต้นแบบในการวิจัยครั้งนี้ค่อนข้างประสบกับปัญหาในการขึ้นทะเบียนอากาศยานไร้คนขับตามประกาศในราชกิจจานุเบกษา [11] เนื่องจากเป็นโดรนประกอบที่ไม่มี Serial number และชิ้นส่วนไม่ได้มาจากผู้ผลิตรายเดียว ทำให้ไม่สามารถระบุรุ่นหรือยี่ห้อได้ตามที่แบบฟอร์มขออนุญาตกำหนดและไม่สามารถทำประกันภัยได้ ประกอบกับโดรนที่พัฒนาในการวิจัยเป็นโดรนที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ เนื่องจากมีการออกแบบเพื่อให้สามารถติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อมได้ โดยมีน้ำหนักเกินกว่า 2 กิโลกรัม จึงไม่เข้าข่ายที่จะได้รับการยกเว้นไม่ต้องขึ้นทะเบียน หากนำขึ้นบินเก็บข้อมูลในงานวิจัยโดยไม่ได้รับอนุญาตจะผิดกฎหมาย และอาจถูกปรับเป็นจำนวนเงินหลักหมื่นต่อครั้ง จึงเป็นอุปสรรคต่อการวิจัย และพัฒนาทั้งในส่วนของรูปแบบ และการใช้ประโยชน์โดรนสำหรับนักวิจัยรายย่อยเป็นอย่างมาก

ผลวิเคราะห์ข้อมูลจากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลภาพถ่ายดาวเทียมระบบ MODIS พบว่าจำนวนจุดความร้อนจากไฟจากฐานข้อมูล FIRMS [24] และฐานข้อมูล Thailand Fire Monitoring System [25] ไม่เท่ากันที่เป็นเช่นนี้ อาจเป็นเพราะว่าในฐานข้อมูล Thailand Fire Monitoring System มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการกำหนดประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มุ่งเน้นในด้านการเฝ้าระวังสถานการณ์ไฟป่าเป็นสำคัญ จึงอาจทำให้ปัจจัยหรือเงื่อนไขในการวิเคราะห์ข้อมูล จากภาพถ่ายดาวเทียม TERRA และ AQUA มีความจำเพาะเจาะจงมากขึ้น จุดความร้อนบางจุดที่ไม่ตรงกับเงื่อนไขของฐานข้อมูล Thailand Fire Monitoring System จึงไม่ปรากฏ ทั้งนี้ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมจะเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาระบบเฝ้าระวังเหตุการณ์ไฟไหม้แต่เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมแต่ละประเภทมีข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น ดาวเทียมระบบ MODIS บันทึกภาพถ่ายทางอากาศ 4 ช่วงเวลา คือ 02.00 น. 11.00 น. 14.00 น. และ 22.00 น. หากมีเหตุการณ์ไฟไหม้เกิดขึ้นนอกเหนือช่วงเวลาโคจรก็จะทำให้ไม่ถูกบันทึกและไม่ปรากฏในฐานข้อมูลโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเหตุการณ์นั้นเกิดขึ้นและดับลงก่อนเวลาโคจรครั้งถัดไป ประกอบกับความละเอียดของภาพจากดาวเทียมระบบ MODIS มีข้อจำกัดที่ระยะ 1,000 เมตร และขนาดของภาพที่ประเมินจากระบบ MODIS มีขนาดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิบริเวณหัวไฟและปัจจัยที่อาจมีอิทธิพลอื่น ๆ เช่น มุมในการสแกนภาพ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิพื้นผิว เมฆที่ปกคลุม ปริมาณควัน และทิศทางลม เป็นต้น [16,17] จึงอาจทำให้ข้อมูลจากดาวเทียมระบบ MODIS เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ในการพัฒนาระบบเฝ้าระวังไฟไหม้บ่อขยะจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากดาวเทียมระบบอื่น เช่น VIIR มาร่วมด้วย และถ้าหากมีข้อมูลภาคสนามมาซ้อนทับด้วยก็จะยิ่งมีความแม่นยำมากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การพัฒนาเครื่องตรวจติดตามการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบออนไลน์ ผู้วิจัยได้ออกแบบและทดสอบการทำงานของเครื่อง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตรวจติดตามการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 (สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) และเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6 (สำหรับก๊าซมีเทน) ทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย องค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี หมู่ที่ 8 ตำบลคลองขวาง อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี สามารถสรุปผลการศึกษาและมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 ผลการวิจัย

5.1.1.1 ผลการพัฒนาเครื่องตรวจติดตาม

ผลการพัฒนาเครื่องตรวจติดตามมีลักษณะทางกายภาพตามที่ได้ออกแบบโครงสร้างไว้รวมทั้งคุณสมบัติทางด้านเทคนิคระบบเซ็นเซอร์สามารถวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตั้งแต่ 350–10,000 ppm และวัดก๊าซมีเทนได้ตั้งแต่ 0-20 %LEL ใช้ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลักให้กับอุปกรณ์ตรวจวัดในช่วงกลางวันหรือช่วงที่มีแสงแดด และใช้แบตเตอรี่ในการสำรองไฟช่วงเวลากลางคืนหรือช่วงไม่มีแสงแดด ส่วนการเชื่อมต่อออนไลน์ผ่านแอพลิเคชั่นไลน์และแอพพลิเคชั่น GasApp รับข้อมูลได้ทุก 15 วินาที ขึ้นอยู่กับสัญญาณอินเตอร์เน็ตระหว่างการตรวจวัด

5.1.1.2 การทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจติดตามในห้องปฏิบัติการ

ในการเก็บข้อมูลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน โดยทดสอบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยควันธูปและทดสอบก๊าซมีเทนด้วยก๊าซจากไฟแช็ค ดำเนินการทดสอบ 4 ครั้ง บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที เป็นเวลา 60 นาที โดยตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่องตรวจติดตามและเครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR ส่วนก๊าซมีเทนตรวจวัดด้วยเครื่องตรวจติดตามและเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6 จากการทดสอบผลทางสถิติ (t-test) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซ พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

5.1.1.3 การทำงานของเครื่องตรวจติดตามในภาคสนาม

ผลจากการตรวจวัด ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย องค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี หมู่ที่ 8 ตำบลคลองขวาง อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี โดยกำหนดจุดทดสอบทั้งหมด 6 จุด บันทึกข้อมูลทุก 5 นาที เป็นเวลา 60 นาที โดยตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทนด้วยเครื่องตรวจติดตาม เครื่องตรวจวัดก๊าซ รุ่น Gas Alert Micro 5 IR และเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6 จากการทดสอบผลทางสถิติ (t-test) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดก๊าซ พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องตรวจติดตามแบบออนไลน์ ที่ได้นำข้อมูลตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่องตรวจวัดก๊าซรุ่น Gas Alert Micro 5 และเครื่องตรวจติดตาม การตรวจวัดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในแต่ละจุดที่ตรวจวัด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 520-721 ppm และก๊าซมีเทนจากการตรวจวัดโดยเครื่องตรวจติดตามและเครื่องตรวจจับการรั่วไหลของก๊าซแบบหลายพารามิเตอร์ รุ่น MX6 มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 1-2 %LEL ทั้งนี้รูปแบบผลการตรวจวัดที่ได้แต่ละจุดมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย อาจมาจากปัจจัยหลายอย่าง ๆ เช่น ทิศทางลม ช่วงเวลาในการตรวจวัด และการวางตำแหน่งของเครื่องตรวจวัด เมื่อทดสอบผลทางสถิติ (t-test) พบว่าทั้งสองเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 สรุปได้ว่าเครื่องตรวจติดตามที่พัฒนาขึ้นนอกจากจะให้ผลการตรวจวัดที่เทียบเคียงกับเครื่องมาตรฐานแล้วยังสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการติดตามผล

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อ่อนไหวง่ายต่อการใช้งาน ดังนั้นในการออกแบบเครื่องตรวจติดตามคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งาน เช่น การป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร

5.2.2 การสำรองไฟด้วยแบตเตอรี่ชนิดแห้ง สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 12 ชั่วโมง แต่ด้วยสภาพอากาศที่ไม่แน่นอนจึงอาจต้องมีการเพิ่มขนาดของแบตเตอรี่ให้มากขึ้นเพื่อการสำรองไฟไว้ใช้ในยามจำเป็น

5.2.3 พัฒนาประสิทธิภาพการถ่ายโอนข้อมูลโดยใส่ซิมการ์ดภายในตัวเครื่องโดยตรงเพื่อให้ความเร็วของสัญญาณอินเตอร์เน็ตเสถียรและสะดวกต่อการถ่ายโอนข้อมูลมากขึ้น

5.2.4 เนื่องจากการส่งข้อมูลทางออนไลน์สามารถดูข้อมูลได้แบบรายงานผลทันทีและทางแอพพลิเคชั่นไลน์มีการแจ้งเตือนเป็นจำนวนมากจึงทำให้ดูข้อมูลได้ยาก ดังนั้นควรมีการพัฒนาระบบออนไลน์ให้สามารถดูข้อมูลย้อนหลังผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) ได้

บรรณานุกรม

[1] ไทยพับลิกา. กรณีบ่อขยะแพรกษาสู่วาระการจัดการขยะแห่งชาติของประเทศไทย. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://thaipublica.org/2014/08/praksa-1/ เมื่อ เมื่อ 24 เมษายน 2559

[2] คณะวิศวะกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. จุฬาจัดแถลงข่าวไฟไหม้ซ้ำซากแก้อย่างไร. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก https://www.eng.chula.ac.th/th/15061 เมื่อ เมื่อ 24 เมษายน 2559

[3] กรมควบคุมมลพิษ. 2558. สถานการณ์มลพิษประเทศไทย ปี 2558 รอบ 6 เดือน. 45 หน้า

[4] มูลนิธิบูรณนิเวศ. วิทยาศาสตร์ภาคพลเมือง. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.earth thailand.org/th/earth2 accessed on 24 April 2016

[5] Popular science. NASA Now Has A Drone That Can Sniff Out Dangerous Gas Leaks. [Online] http://www.popsci.com/nasa-drone-uses-mars-inspired-tech-to-protect-life-on-earth accessed on 9 October 2016

[6] กรมควบคุมมลพิษ.2555. คู่มือแนวทางการระงับเหตุไฟไหม้ในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย. สำนักจัดการกากของเสีย และสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ.

[7] Robert P. Stearns and Galen S. Petoyan.Identifying and controlling landfill fires. Waste Management & Research. 1984. 2(4) :303-309.

[8] Waste management world. Understanding landfill fire. [Online] https://waste-management-world.com/a/understanding-landfill-fires accessed on 9 October 2016

[9] การประยุกต์ใช้เซนเซอร์สำหรับอุปกรณ์ในการตรวจวิเคราะห์ทดสอบ. วารสาร Horizon. คอลัมน์ Special report. [ออนไลน์] . http://horizon.sti.or.th/node/53 เมื่อ 9 ตุลาคม 2559

[10] อาภาภรณ์ ศิริพรประสาร. โดรน...ทางเลือก (ใหม่) กับการจัดการสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. http://infofile.pcd.go.th/haz/UnmannedAerialVehicle.pdf?CFID= 2401427 &CFTOKEN =41007191 accessed on 9 October 2016

[11] ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 132 ตอนที่ 86 ง หน้า 6, 27 สิงหาคม 2558

[12] อากาศยานไร้คนขับ (24 มกราคม 2562) [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://officemate.blog

[13] ประเภทของอากาศยานไร้คนขับและการใช้งานในประเภทต่าง ๆ [ออนไลน์]. (17 ธันวาคม 2561). เข้าถึงได้จาก: http://www.xirodronethailand.com/types-of-drones-2.html

[14] ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศประเทศไทย. ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.gisthai.org/about-gis/remote-sensing.html เมื่อ 26 เมษายน 2559

[15] มาฆมาส สุทธาชีพ. 2548. ความสามารถของเทคนิคการสำรวจระยะไกลในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสถานภาพของแนวปะการังในระยะยาวบริเวณเกาะเต่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[16] ดาวเทียมระบบ MODIS. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาhttp://droughtv2.gistda.or.th/?q=content /ดาวเทียมระบบ-modis เมื่อ 25 กรกฎาคม 2561

[17] การตรวจหาไฟด้วยดาวเทียม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.dnp.go.th/forestfire/ FIRESCIENCE/lesson%205/lesson5_5.htm เมื่อ 25 กรกฎาคม 2561

[18] Chanita Duangyiwa. 2009. Dynamic behaviors of forest fire in upper Nan wastershed during 1999-2007. Master of Science Program on Earth Science, Chulalongkorn University.

[19] ปวริศ ภูมิวัฒนะ, “ระบบตรวจจับ LPG และ CO_2,” วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, วิศวกรรมคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2557.

[20] นิคม ลนขุนทด, “โปรแกรมควบคุมระบบการตรวจจับปริมาณก๊าซแอลพีจีในห้องครัวด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมระบบส่งสัญญาณเตือนภัย,” ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิคส์, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, สุรินทร์, 2557.

[21] จักราพิชญ์ อัตโน และ นิพนธ์ กสิพร้อง, “การตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์ออนไลน์,” วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี, 2551

[22] กนกกร สุขสบาย และ กาญจนา นาคะภากร. การตรวจวัดพื้นที่เกิดไฟป่าด้วยช่วงคลื่นเทอร์มอลอินฟราเรดของภาพดาวเทียมแลนด์เซต : กรณีศึกษาอำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22(4). 2557.

[23] ชฎา ณรงค์ฤทธิ์ . การพัฒนาระบบเตือนภัยไฟป่าและมลพิษทางอากาศจากไฟป่าในจังหวัดแม่ฮ่องสอนบนระบบภูมิสารสนเทศเครือข่ายสาธารณะ. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย; 2553.

[24] National Aeronautics and Space Administration. Fire Information for Resource Management System (FIRMS). [online] https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms accessed on 9 November 2017

[25] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). Thailand Fire Monitoring System. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://fire.gistda.or.th/ สืบค้นเมื่อ 31 ตุลาคม 2561

[26] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). รายงานสรุปสถานการณ์ไฟป่าหมอกควันจากข้อมูลระบบ MODIS พื้นที่เผาไหม้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT – 8 ประจำปี 2558.

[27] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). รายงานสรุปสถานการณ์ไฟป่าหมอกควันจากข้อมูลระบบ MODIS พื้นที่เผาไหม้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT – 8 ประจำปี 2559.

[28] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). รายงานสรุปสถานการณ์ไฟป่าหมอกควันจากข้อมูลระบบ MODIS พื้นที่เผาไหม้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT – 8 ประจำปี 2560.

[29] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). รายงานสรุปสถานการณ์ไฟป่าหมอกควันจากข้อมูลระบบ MODIS พื้นที่เผาไหม้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT – 8 ประจำปี 2561.

ประวัติผู้วิจัย

1. **ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)** นายคณาวุฒิ อินทร์แก้ว
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Kanawut Inkaew

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1339990001095

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

- ตำแหน่งบริหาร ผู้ช่วยคณบดี
- ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์

4. หน่วยงาน

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์ 0-2836-3014 โทรสาร 0-2913-2424
e-mail: kanawut.i@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

วท.บ. (ชีววิทยา) มหาสารคาม	มหาวิทยาลัย
วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัย	จุฬาลงกรณ์
D.ENG (Urban and Environmental Engineering)	Kyushu University

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- การจัดการและการใช้ประโยชน์จากของเสีย
- การแปรรูปของเสียเป็นพลังงาน
- เทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม
- การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

7. **ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ**

1. K. Inkaew et al., "Characterization of Residues Involved in the Ash Quenching System: A Material Recycling Perspective", Applied Mechanics and Materials, Vol. 866, pp. 112-115, 2017
2. K Inkaew, A Saffarzadeh, T Shimaoka. 2016. Modeling the formation of the quench product in municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash. Waste Management 52, 159-168.
3. K Inkaew, A Saffarzadeh, T Shimaoka. 2015. Impacts of Water Quenching on MSWI Bottom Ash Characterization. Proceeding of 2nd Symposium of Asian Regional Branch of International Waste Working Group (IWWG-ARB2015), 2015.04, 87-100.
4. K Inkaew, A Saffarzadeh, T Shimaoka. 2014. Characterization of Grate Sifting Deposition Ash, Unquenched Bottom Ash and Water-Quenched Bottom Ash from Mass-Burn Moving Grate Waste to Energy Plant. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research), vol. 70, issue 7, pp. III_469-III_475.

งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ

1. ความรู้และความตระหนักของผู้มาเยือน ต่อปัญหาการทิ้งขยะ ณ บริเวณท้องสนามหลวง
2. การเฝ้าระวังการเกิดไฟไหม้ในพื้นที่บ่อขยะโดยใช้โดรนและเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล