



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาเครื่องเก็บข้อมูลระยะไกลเพื่อเฝ้าระวัง
การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Development of Remote Data Logger to Monitor CO₂ Emission

สิรินารี เงินเจริญ

ชัยฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

รหัสโครงการ : 222216

สัญญาเลขที่ 119/2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาเครื่องเก็บข้อมูลระยะไกลเพื่อเฝ้าระวัง
การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Development of Remote Data Logger to Monitor CO₂ Emission

สิรินารี เงินเจริญ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว

ชัยฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล

(งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

1 ตุลาคม พ.ศ. 2558 – 30 กันยายน พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุน
รัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงาน
คณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 119 /2559

Acknowledgement

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha
University through National Research Council of Thailand (Grant no. 119/2559)

โครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาเครื่องเก็บข้อมูลระยะไกลเพื่อเฝ้าระวังการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Development of Remote Data Logger to Monitor CO₂ Emission)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ชื่อหน่วยงานและผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัด

- สิรินารี เงินเจริญ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว
- ชัยฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเฝ้าระวังความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ที่สามารถส่งข้อมูลจากสถานีเฝ้าระวังมาสู่ระบบส่วนกลางเพื่อแสดงผลได้ งานวิจัยนี้ใช้คลื่นความถี่โทรศัพท์มือถือเป็นสื่อในการสื่อสารระหว่างส่วนกลางกับสถานีเฝ้าระวัง ใช้วิธีเชื่อมต่อ (Network Protocol) แบบ TCP/IP และ ใช้รูปแบบไฟล์ HDF5 ในการบันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ การถ่ายโอนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดมายังส่วนกลางกำหนดให้ถ่ายโอนทุกชั่วโมง ทั้งนี้การสื่อสารระหว่างระบบส่วนกลางกับสถานีตรวจวัดเป็นการสื่อสาร 2 ทาง ผู้ดูแลระบบที่ระบบส่วนกลางสามารถเข้าถึงระบบปฏิบัติการที่ทำงานอยู่บนฮาร์ดแวร์ของสถานีเฝ้าระวังหรือจุดตรวจวัดเพื่อติดตามและดูแลปัญหา งานวิจัยนี้เทียบผลการวัดจากเซ็นเซอร์ของสถานีเฝ้าระวังกับค่าที่รายงานโดย Mauna Loa Observatory พบว่าค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสอดคล้องกันภายใต้ความละเอียดของเซ็นเซอร์ จึงสรุปได้ว่าเครื่องเก็บข้อมูลระยะไกลเพื่อเฝ้าระวังการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับเฝ้าระวังปัญหามลพิษทางอากาศได้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
สารบัญเรื่อง	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	6
2.2 การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยแสงอินฟราเรด	9
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	14
บทที่ 4 ผลการวิจัย	16
4.1 คุณลักษณะทางด้านฮาร์ดแวร์	16
4.2 คุณลักษณะทางด้านซอฟต์แวร์	19
4.3 การทดสอบความถูกต้องของผลการวัด	24
บทที่ 5 อภิปราย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	25
บรรณานุกรม	28
ภาคผนวก	
1 Source code ของโครงการวิจัย	
2 การถ่ายทอดองค์ความรู้จากโครงการวิจัย	
3 รายงานการเงินของโครงการวิจัย	
4 ประวัตินักวิจัย	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของคาร์บอนไดออกไซด์	4
2.2 คุณภาพอากาศภายในอาคารจำแนกตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	8

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์	4
2.2	วัฏจักรคาร์บอน	5
2.3	ปรากฏการณ์เรือนกระจก	6
2.4	การประเมินศักยภาพของผลกระทบต่อภูมิอากาศของโลก ปี ค.ศ.2005	7
2.5	ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์	9
2.6	อินฟราเรดสเปกตรัมของคาร์บอนไดออกไซด์	10
2.7	โครงสร้างเครื่องมือตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์	10
2.8	โครงสร้างระบบเฝ้าระวังคาร์บอนไดออกไซด์	11
4.1	หน่วยประมวลผล	16
4.2	หน่วยสื่อสาร	17
4.3	การต่อหน่วยประมวลผลกับหน่วยสื่อสารทางช่องทาง USB	17
4.4	เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	18
4.5	การต่อเซ็นเซอร์กับระบบประมวลผลที่สื่อสารทาง UART	18
4.6	การจ่ายและสำรองกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่สถานีเฝ้าระวัง	19
4.7	รูปแบบของข้อมูลในไฟล์ 20170920044118.h5 ที่ได้จากคำสั่ง h5_dum	20
4.8	Source code ของ โปรแกรม get_co2	21
4.9	คำสั่งภาษา Julia และกรอบคำสั่ง	22
4.10	คำสั่งการอ่านข้อมูลจากไฟล์ข้อมูล	23
4.11	กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลา	23
4.12	ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	24
4.13	คำสั่งจบการทำงานและปิดไฟล์ข้อมูล	24
4.14	การติดตั้งการพัฒนาเครื่องเก็บข้อมูลระยะไกลเพื่อเฝ้าระวังการปลดปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่	27

บทที่ 1

บทนำ

มลพิษทางอากาศ (Air pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอและเป็นระยะเวลาานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุต่างๆ (นพภาพร พานิช และคณะ, 2559) มลสารก่อมลพิษในอากาศมีแหล่งกำเนิดทั้งจากธรรมชาติ และกิจกรรมของมนุษย์ แม้บรรยากาศจะบำบัดมลสารดังกล่าวได้ด้วยปฏิกิริยาเคมีซึ่งเป็นกลไกตามธรรมชาติ แต่ภาวะดังกล่าวก็มีความจำกัดตามขีดความสามารถในการรองรับ (Carrying capacity) ยิ่งมนุษย์เพิ่มกิจกรรมที่ปลดปล่อยสารมลพิษอย่างขาดความตระหนักและเห็นความสำคัญของสิ่งแวดล้อมด้วยแล้ว ผลกระทบหรือปัญหาที่เกิดขึ้นจึงยิ่งทวีความรุนแรงและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

หนึ่งในปัญหาจากมลพิษทางอากาศที่สำคัญซึ่งเป็นเรื่องระดับมหภาค คือ ปัญหาก๊าซเรือนกระจกกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อันเป็นปัญหาที่เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณจนเกินสมดุล ก๊าซเรือนกระจกดังกล่าวมีหลายชนิด แต่ชนิดที่เป็นสาเหตุหลัก คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) (United States Environment Protection Agency, 2014; ยุทธพงศ์ พันธุ์มณี และคณะ, 2556) ที่มาจากทั้งภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม คมนาคม พลังงาน และชุมชน ไม่เพียงเท่านั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นมลสารภายในอาคารที่สำคัญที่ใช้เป็นดัชนีประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารด้วย จึงกล่าวได้ว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสำคัญที่จำเป็นต้องตรวจวัดและติดตามประเมินผล เพื่อป้องกันมิให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

ความสำคัญดังกล่าวทำให้เกิดมาตรการ นโยบาย หรือแนวคิดหลายประการทั้งที่เป็นความร่วมมือระหว่างประเทศ และในประเทศ อาทิ Eco – Industry, กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism : CDM), โครงการติดตามรอยเท้าคาร์บอน (Carbon Footprint) ฯลฯ ล้วนแล้วแต่ส่งเสริมให้ลดการปลดปล่อยก๊าซในกลุ่มคาร์บอนทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามแม้หลายภาคส่วนจะตอบรับและดำเนินการตามนโยบายดังกล่าวแล้ว กลไกตรวจวัดเพื่อเฝ้าระวัง (Monitoring measurement) กลับดำเนินการได้ไม่เพียงพอ เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องเครื่องมือการตรวจวัดเพื่อการเฝ้าระวังคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่ ยากต่อการเคลื่อนที่ เสี่ยงต่อการสูญหายเมื่อนำไปติดตั้งส่วนเครื่องมือขนาดเล็กก็มักมีราคาสูง มีข้อจำกัดเรื่องจำนวนครั้งของการนำมาใช้งาน การตรวจวัดไม่ต่อเนื่อง ทำให้ได้ข้อมูลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไม่ครอบคลุมต่อความต้องการและการแปรผลที่เที่ยงตรง

ดังนั้นผู้ดำเนินโครงการวิจัยจึงจะสร้างเครื่องมือตรวจวัดเพื่อเฝ้าระวัง พัฒนาจาก Data logger โดยใช้แผงวงจรไฟฟ้าเก็บข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ รวมทั้งอุณหภูมิและความชื้น ส่งข้อมูลด้วยการเชื่อมโยงเครือข่ายโทรศัพท์ เมื่อจัดสร้างเสร็จจะทดสอบความเที่ยงตรงหรือความถูกต้อง และทดสอบการทำงานของระบบ เพื่อให้การตรวจวัดถูกต้อง เหมาะสม และใช้ประโยชน์ได้จริง จากนั้นจะถ่ายทอดความรู้สู่ประชาชนที่ต้องการใช้ประโยชน์ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนที่เป็นความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. สร้างต้นแบบเครื่องมือเพื่อการเฝ้าระวัง/ตรวจวัดพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ
2. สร้างองค์ความรู้เพื่อการพัฒนาต่อยอดสู่การสร้างเครื่องมือเพื่อการเฝ้าระวัง/ตรวจวัดพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมอื่น
3. ส่งเสริมการร่วมมือเป็นเครือข่ายเฝ้าระวังด้านสิ่งแวดล้อม

1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ใช้เครือข่ายโทรศัพท์มือถือเป็นตัวส่งข้อมูล การส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับพื้นที่และความแรงของสัญญาณโทรศัพท์
2. งานวิจัยจะสอบเทียบ (Calibrate) และทำให้เที่ยงตรง (Validate) จากค่ามาตรฐานของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลาย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้จะทำให้ได้ข้อมูลต้นแบบการสร้างเครื่องมือเพื่อเฝ้าระวังรวมทั้งตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เกิดประโยชน์ด้านต่างๆ ได้แก่

1. ด้านวิชาการ ผู้วิจัยจะเผยแพร่ผลงานวิจัย กำหนดรูปแบบการเผยแพร่ทั้งที่เป็นการตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการ และจัดอบรม ในส่วนของการจัดอบรมนี้ เบื้องต้นจะดำเนินการให้กับนักศึกษาในกลุ่มย่อยเพื่อให้สามารถเป็นผู้ช่วยการอบรม ลำดับต่อไปเป็นการจัดอบรมผู้สนใจทั่วไปที่เป็นกลุ่มใหญ่ ทั้งนี้เพื่อให้ให้นักวิชาการและผู้สนใจสามารถนำข้อมูลหรือต้นแบบไปสร้างเครื่องมือตรวจวัด หรือพัฒนาต่อยอดให้สามารถวัดพารามิเตอร์อื่นๆ เพิ่มเติม และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
2. ด้านนโยบาย งานวิจัยสนับสนุนนโยบายสีเขียว (Green policy) และนโยบายอื่นๆ ที่มุ่งรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการสร้างเครือข่ายสีเขียว สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ

3. ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์ งานวิจัยจะสร้างความเชื่อมั่นให้ทั้งภาคการผลิต และภาคประชาชน ส่งเสริมการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Eco-friendly) ก่อให้เกิดการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน ที่สมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

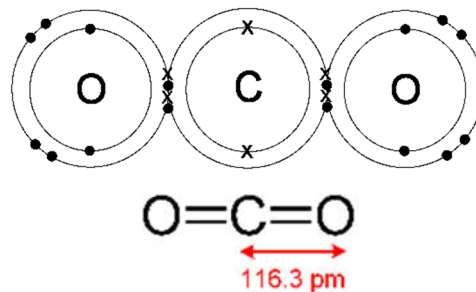
4. ด้านสังคม/ชุมชน สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการเฝ้าระวังการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลเสียต่อสุขภาพ จึงช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังร่วมเป็นส่วนหนึ่งในสังคมโลกที่จะช่วยลดโลกร้อนอันเป็นเรื่องสำคัญของโลกอีกด้วย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide; CO₂) เป็นสารประกอบที่โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และออกซิเจน 2 อะตอม เชื่อมโยงกันเป็นโมเลกุลด้วยพันธะโควาเลนต์ ดังภาพที่ 2.1 มีชื่อเรียกอื่น ได้แก่ Carbonic acid gas, Carbonic anhydride, Carbonic oxide, Carbon oxide, Dry ice หรือ Card ice (วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์, 2559) คุณสมบัติทางกายภาพของคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงได้ดังตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 โมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์

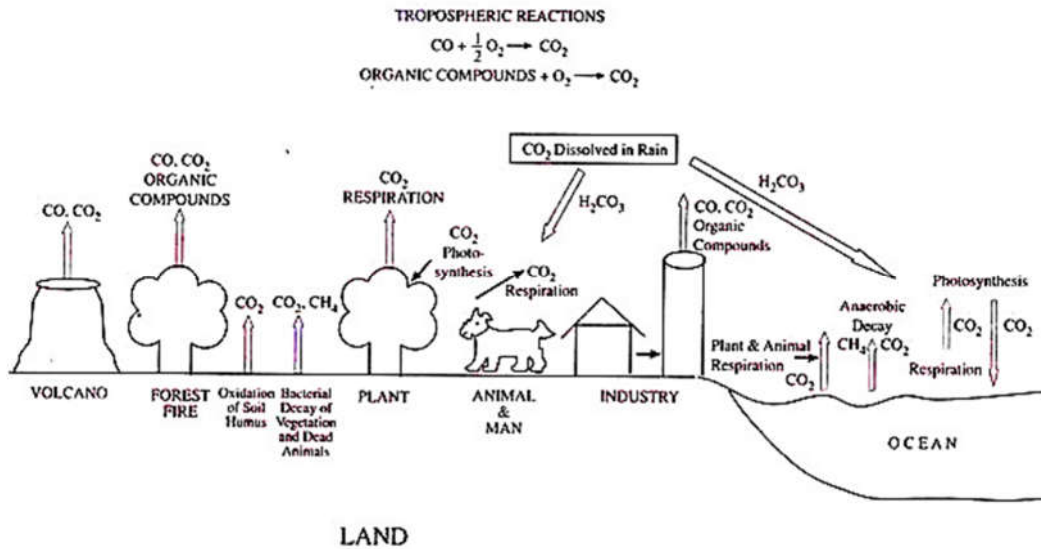
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของคาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	
น้ำหนักโมเลกุล	44.01 g/mol
ความหนาแน่นสถานะก๊าซ (1,013 bar, 15 °C)	1.87 kg/m ³
ความหนาแน่นสถานะของแข็ง	1562 kg/m ³
ความถ่วงจำเพาะ (อากาศ=1) (1,013 bar, 21 °C)	1.521
ปริมาตรที่สถานะก๊าซ ของน้ำแข็งแห้ง 1 kg	0.518 m ³
อุณหภูมิและความดันวิกฤต	31 °C, 73.825 bar
อุณหภูมิและความดัน Triple point	-56.6 °C, 5.185 bar
อุณหภูมิจุดระเหิด	-78.5 °C

ที่มา: ดัดแปลงจาก เมเซอร์โทริกซ์, 2554

คาร์บอนไดออกไซด์มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติจึงเรียกว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทั่วไปก๊าซนี้ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟ ละลายน้ำได้ดี หมุนเวียนอยู่ในโลกด้วยวัฏจักร

คาร์บอนซึ่งเริ่มต้นจากคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก เปลี่ยนสถานะอยู่ในบรรยากาศ พืช สัตว์ และปลดปล่อยออกมาอีกครั้งจากการเผาไหม้ รวมถึงการย่อยสลายอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร ในที่สุดจะกลับสู่บรรยากาศตามวัฏจักรคาร์บอน ซึ่งในบรรยากาศจะพบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.033% โดยปริมาตร เทียบเท่ากับความเข้มข้น 387 ส่วนในล้านส่วน (ppm)

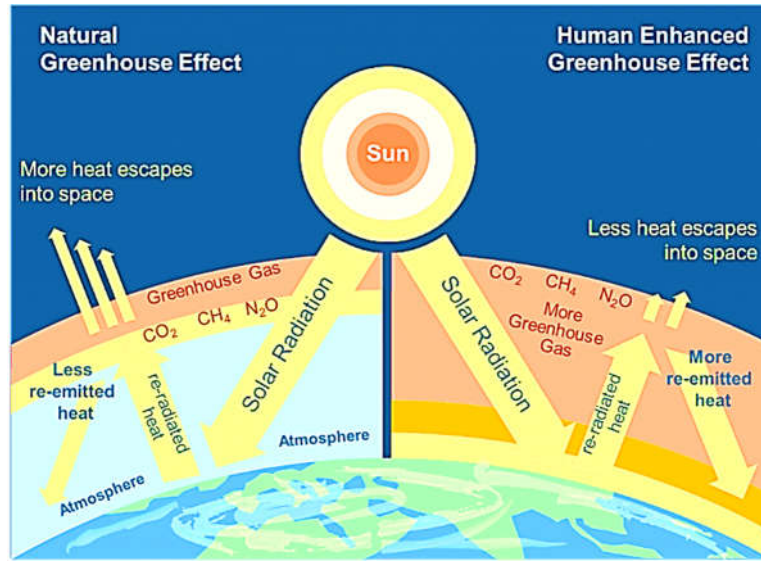


ภาพที่ 2.2 วัฏจักรคาร์บอน (ที่มา: Biologydiscussion.com, 2017)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีประโยชน์หลายอย่าง เช่น ใช้เพื่อกระบวนการสังเคราะห์แสงในพืช ใช้ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร ยา และปิโตรเคมี ฯลฯ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นสสารสำคัญในบรรยากาศที่ทำให้สิ่งมีชีวิตบนโลกดำรงชีวิตได้ ด้วยสมบัติที่สามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Infrared radiation; IR) จากดวงอาทิตย์ทำให้โลกกักเก็บความร้อนจากดวงอาทิตย์ไว้ได้ ทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนไม่มาก อุณหภูมิของโลกจึงเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต

อีกนัยหนึ่ง คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ ได้แก่ มีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) ทำหน้าที่เสมือนเป็นกระจกของเรือนกระจก (Greenhouse) ที่ใช้ปลูกพืชในสภาวะอากาศหนาวเย็น แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านมาภายในเรือนกระจกได้โดยความร้อนจากแสงอาทิตย์จะถูกกักเก็บไว้ด้วยชั้นกระจกนั้น ทำให้อุณหภูมิภายในเรือนกระจกสูงและอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงช้า พืชในเรือนกระจกจึงสามารถดำรงชีวิตได้ ด้วยเหตุนี้นักวิทยาศาสตร์จึงได้เรียกก๊าซในบรรยากาศที่ทำหน้าที่ควบคุมพิสัยของอุณหภูมิโลกว่า ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) หากบรรยากาศของโลกปราศจากก๊าซเรือนกระจกดังกล่าวแล้ว โลกจะมีอุณหภูมิเพียง 18 องศาเซลเซียส (°C) เป็นผลให้น้ำทั้งหมดบนโลกจะมีสถานะเป็นน้ำแข็ง (หัทย์รัตน์ ปาลาศ, 2558)

อย่างไรก็ตาม หากกิจกรรมของมนุษย์เปลี่ยนแปลงไปจนระดับก๊าซเรือนกระจกเสียสมดุล ระดับก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณ ผนวกกับภาวะการลดลงของโอโซน (Ozone depletion) จนเป็นรูโหว่ของโอโซน (Ozone hole) ที่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) ทำให้ความร้อนจากดวงอาทิตย์เข้ามาสู่โลกมากขึ้นและถูกดูดซับความร้อนไว้ด้วยก๊าซเรือนกระจกมากขึ้น อุณหภูมิของโลกค่อยๆ เพิ่มขึ้น (Global warming) จนกระทั่งเกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change)

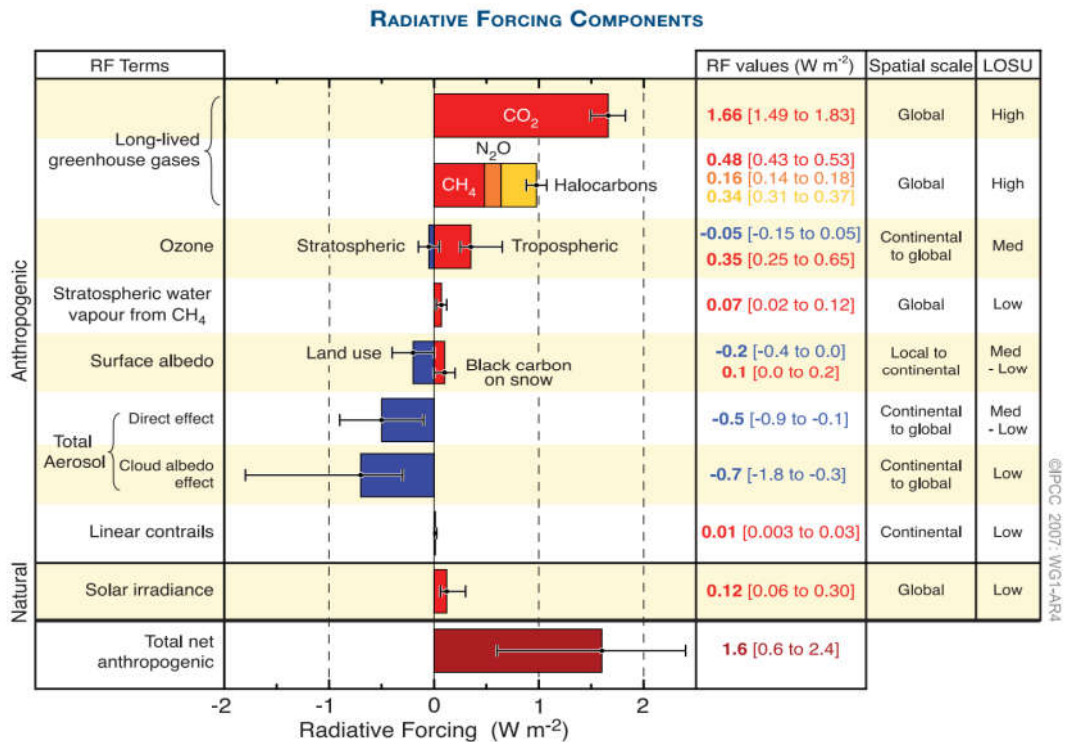


ภาพที่ 2.3 ปรางภูมิการณ์เรือนกระจก

อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change; UNFCCC) นิยามการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศไว้ว่าเป็น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเป็นผลทางตรงหรือทางอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ ที่ทำให้องค์ประกอบของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไป นอกเหนือจากความผันแปรของธรรมชาติ (เป็ดมากรณัสุทธิประเสริฐ, 2555) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เกิดจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases; GHGs) ในชั้นบรรยากาศจนขาดความสมดุล

ปัญหาข้างต้นเกิดจากก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ 6 ชนิดดังกล่าวข้างต้น เมื่อวิเคราะห์ผลศักยภาพของผลกระทบต่อภูมิอากาศ (Radiative forcing; RF) ของก๊าซต่างๆ ดังกล่าวดังภาพที่ 2.4 พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์สำคัญมากที่สุด เนื่องจากมีค่า RF เท่ากับ 1.66 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m²) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น ทั้งยังมีเสถียรภาพสูง คงสภาพอยู่ได้ยาวนานอีกประการหนึ่งด้วย สอดคล้องกับข้อมูลทุติยภูมิที่ระบุว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมของมนุษย์เป็นก๊าซเรือนกระจกสำคัญที่สุด (IPCC, 2007) ที่

ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน บางกรณีจึงเรียก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ว่าก๊าซโลกร้อน หรือ Global warming gases; GWGs (Kumar et al., 2017)



ภาพที่ 2.4 การประเมินศักยภาพของผลกระทบต่อภูมิอากาศของโลก ปี ค.ศ.2005 (IPCC, 2007)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซเรือนกระจกส่งผลกระทบต่อระบบประจักษ์ชัดยิ่งในปัจจุบัน เป็นผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่สามารถจำแนกได้เป็นประเด็นต่างๆ ประกอบด้วยผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อระบบนิเวศและชีวกายภาพ ทำให้ระบบนิเวศเปลี่ยนแปลงจนทำให้สิ่งมีชีวิตบางสายพันธุ์เปลี่ยนแปลงการกระจายพันธุ์หรือถิ่นที่อยู่ ผลกระทบต่อการเกษตรกรรม เนื่องจากอุณหภูมิโลกและการกระจายตัวของฝนในฤดูฝนที่เปลี่ยนไปทำให้การคาดการณ์ฤดูการผลิตคลาดเคลื่อน ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตทางการเกษตรที่อาจลดลง ทั้งยังเกี่ยวข้องส่งผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำจากการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของฝน ปริมาณฝนรายปี การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความเร็วและทิศทางลง ซึ่งเป็นปัจจัยกำหนดปริมาณน้ำที่เกิดจากกลุ่มน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อแหล่งน้ำทั้งน้ำจืดและน้ำทะเลจากอิทธิพลจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเนื่องจากการละลายของน้ำแข็งและการเพิ่มระดับและปริมาณมวลน้ำในมหาสมุทร

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยจากการแพร่ระบาดของโรคจากน้ำและโรคที่มีแมลงเป็นพาหะนำโรค และเกี่ยวข้องกับความชื้นในแง่ของการคาดการณ์ความต้องการพลังงานที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น สร้างความเสี่ยงต่อภาคการท่องเที่ยวและบริการ (ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัย และฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้,

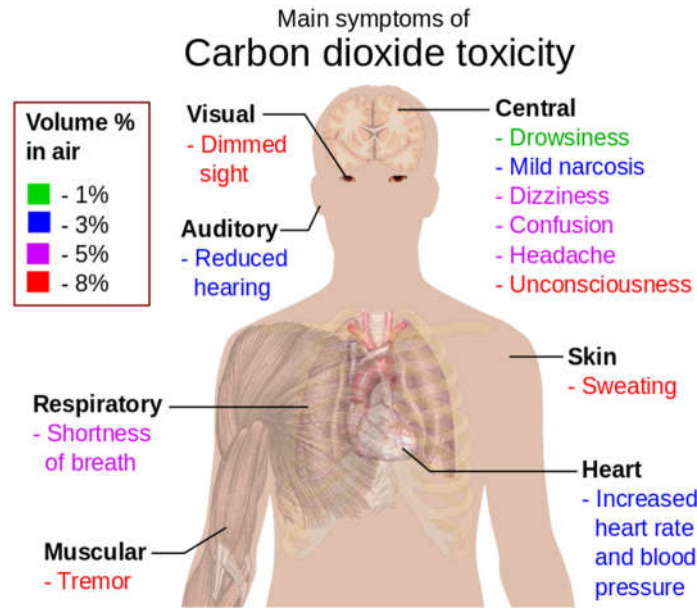
2554) การศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่กระตุ้นการเจริญเติบโตรวมทั้งเป็นอุปสรรคในการขจัดความยากจนในกลุ่มประชากรด้อยโอกาสอีกด้วย (ยรรยงค์ อินทร์ม่วง, 2556)

ผลกระทบดังกล่าวข้างต้นเป็นผลเชิงมหภาค ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีผลเชิงจุลภาคหรือผลกระทบต่อบุคคลหรือพื้นที่ขนาดเล็กด้วยเช่นกัน กล่าวคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในก๊าซมลพิษภายในอาคารที่สำคัญ (Environmental Protection Agency, 2008; Occupational Safety and Health Administration, 2011) จัดเป็นตัวแทนของสิ่งปลดปล่อยทางชีวภาพที่ออกมาจากร่างกายมนุษย์ (Bioeffluent) (อริสา กาญจนนาระจำง และภารตี ช่วยบำรุง, 2560) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถใช้เป็นตัวชี้ประเมินคุณภาพอากาศได้ ดังตารางที่ 2.2 พื้นที่ซึ่งมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า 1,000 ppm บ่งชี้ถึงการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอตามข้อกำหนดของ ASHREA standard 62-1989 เป็นสาเหตุให้เกิดการสะสมตัวของมลพิษ เชื้อโรค และกลิ่น (ภารตี ช่วยบำรุง และชัญญิตา ประพันธ์พจน์, 2558) ที่ส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจ ระบบผิวหนัง ตลอดจนระบบกล้ามเนื้อ ทำให้เกิดอาการทางสุขภาพหลายประการ ตั้งแต่อาการเล็กน้อยจนรุนแรง ขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มนุษย์ได้รับ ดังภาพที่ 2.5

ตารางที่ 2.2 คุณภาพอากาศภายในอาคารจำแนกตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	คุณภาพอากาศ
2,100	ไม่ดี (Bad)
1,600 – 2,000	<ul style="list-style-type: none"> - มีการปนเปื้อนอากาศภายในอาคารเป็นอย่างมาก - จำเป็นต้องระบายอากาศ
1,100 – 1,500	ค่อนข้างไม่ดี (Mediocre) <ul style="list-style-type: none"> - มีการปนเปื้อนอากาศภายในอาคาร - แนะนำให้ระบายอากาศ
700 – 1,000	ค่อนข้างดี (Fair)
400 – 600	ดี (Good)

ที่มา: ดัดแปลงจาก EPA อ้างถึงใน Premium air solution, 2017



ภาพที่ 2.5 ผลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อสุขภาพอนามัยมนุษย์
(ที่มา: Environmental indoor air quality testing & consulting, n.d.)

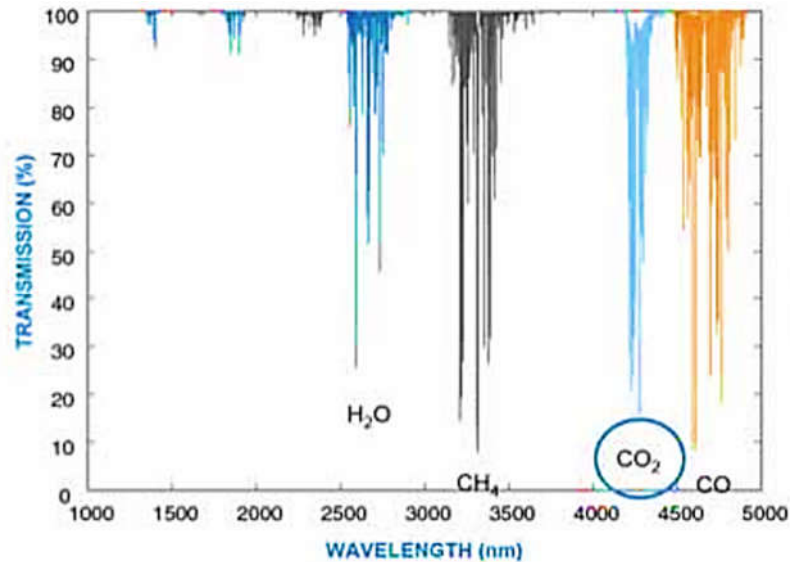
ความสำคัญของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ส่งผลกระทบต่อทั้งในวงกว้างและผลกระทบต่อตัว ทำให้การเฝ้าระวังและดำเนินมาตรการเชิงรุกเพื่อแก้ไขลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นเรื่องสำคัญเร่งด่วน

อย่างไรก็ตามเนื่องจากสภาพแวดล้อมโลกเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีเวลาของการตอบสนองและคืนตัวช้า (Response time and relaxation time) ดังนั้นแม้จะสามารถหยุดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ทั้งหมดในทศวรรษนี้ และสามารถป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของโลกสูงจนถึงจุด Tipping point ได้ แต่ผลกระทบที่มีต่อสภาพภูมิอากาศและระบบนิเวศของโลกก็ยังคงอยู่ต่อไปอีกยาวนานนับศตวรรษ (สมชาย บุญประดับ และคณะ, 2552) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจึงจำเป็นต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงหลายมิติ ทั้งการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาณ การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา และการเปลี่ยนแปลงของค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของลักษณะอากาศ (Extreme change) (ศุภกร ชินวรรณ และคณะ, 2552) เพื่อให้การวิเคราะห์แม่นยำและสามารถหามาตรการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

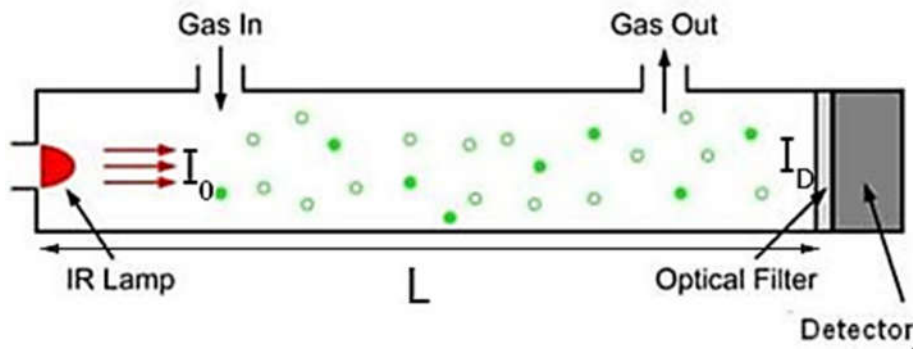
2.2 การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยแสงอินฟราเรด

การตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ การตรวจวัดการแพร่กระจายของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้รับรู้ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ถือเป็นขั้นแรกในการลดการกระจายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ (เซเม็กซ์, ม.ป.ป.) การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหลายวิธี สำหรับการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในงานวิจัยนี้ทำโดยติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดแสงอินฟราเรด ที่ปลายด้านหนึ่งส่อง

แสงผ่านไปตามความยาวของเครื่องมือ ด้วยหลักการพื้นฐานที่ว่าโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถดูดกลืนแสงในย่านอินฟราเรดได้ดี ณ ความยาวคลื่นที่มีความจำเพาะเจาะจง ดังภาพที่ 2.6 และปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนสามารถนำไปคำนวณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดยทั่วไปเครื่องมือตรวจวัดมีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ (ดัดแปลงจาก Vaisala, 2012)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างเครื่องมือตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์ (ดัดแปลงจาก CO₂Meter.com, 2017)

ปริมาณการดูดกลืนจะวัดเป็นสัดส่วนของความเข้มของแสงที่ผ่านไปถึงส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจวัด (Detector) ปริมาณ I_D ต่อแสงที่ตกกระทบก๊าซ I_0 เป็นไปตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ตสมการ (Beer-Lambert's law) เรื่องการดูดกลืนแสง ที่ระบุว่า ปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของสารที่มีสมบัติดูดกลืนแสง และปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนนั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับระยะทางที่แสงส่องผ่าน ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ ดังสมการ

$$\frac{I_d}{I_0} = e^{-\alpha cL}$$

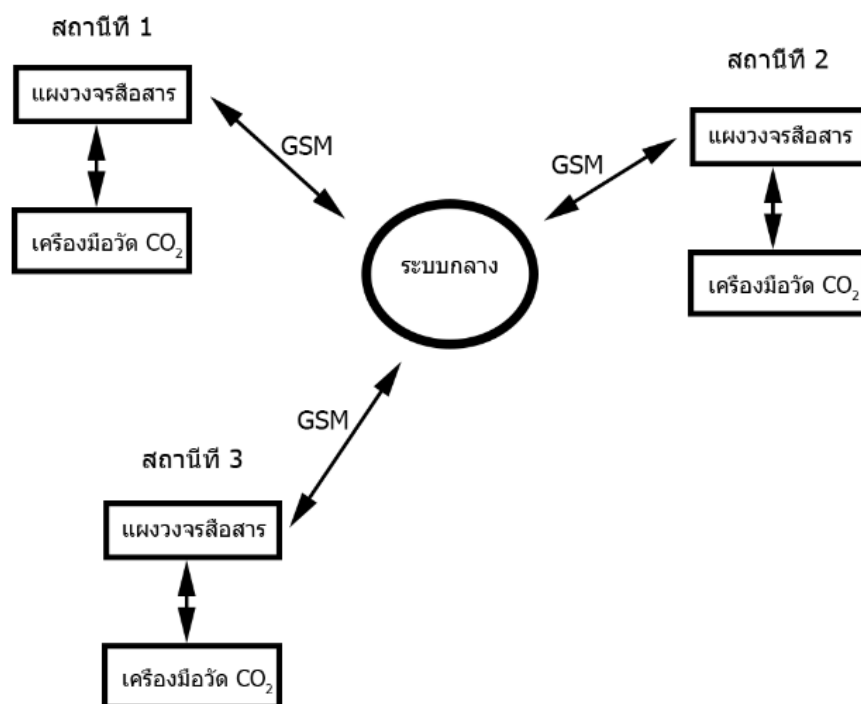
โดยที่ α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (1/cm)

c คือ ความเข้มข้นของ CO₂ (ppm)

L คือ ความยาวของอุปกรณ์ (cm)

เครื่องมือวัดที่ใช้หลักการวัดโดยใช้แสงอินฟราเรดนี้มีต้นทุนน้อยกว่าและมีอายุการใช้งานนานกว่าเครื่องมือที่วัดโดยใช้สารเคมี จึงเหมาะกับการตรวจวัดที่จำเป็นต้องมีสถานีตรวจวัดจำนวนมาก

สำหรับการสื่อสารระยะไกล การวิจัยนี้ออกแบบให้เครื่องมือวัดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ติดตั้งในสถานีตรวจวัดจะการสื่อสารกับระบบกลางโดย อาศัยเครือข่าย GSM (Global System for Mobile Communication) ซึ่งเป็นเครือข่ายที่ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งหมดของประเทศไทย เครื่องมือวัดจะเชื่อมต่ออยู่กับแผงวงจรสื่อสาร ซึ่งเป็นการสื่อสาร 2 ทาง ประกอบด้วย ตัวอุปกรณ์สามารถส่งผลการวัดไปยังฐานข้อมูลของระบบกลางได้โดยอัตโนมัติและส่งทุกช่วงเวลาที่กำหนด ในทางกลับกันระบบกลางสามารถส่งคำสั่งไปควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัดได้ การสื่อสารสองทางนี้สามารถทำได้โดยใช้ระเบียบวิธีสื่อสารแบบชุดของโปรโตคอลที่ถูกใช้ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol) โครงสร้างของระบบเฝ้าระวังแสดงได้ ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างระบบเฝ้าระวังคาร์บอนไดออกไซด์

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พินิจ เชื้อนสุวรรณ และคณะ (2555) พัฒนาระบบตรวจวัดและรายงานสภาพแวดล้อมเพื่อเสริมศักยภาพด้านการผลิตทางการเกษตรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP430 เป็นตัวประมวลผล ร่วมกับไอซี CC2520 ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับส่งข้อมูลไร้สายที่ความถี่ 2.4GHz ซึ่งภายในระบบได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิ SHT21 และอุปกรณ์การตรวจวัดความเข้มแสง MAX9635 เพื่อทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์โครงข่ายการตรวจวัด โดยระบบที่ได้นำเสนอสามารถเชื่อมต่อโครงข่ายอุปกรณ์ตรวจวัดผ่านเครือข่ายไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4 สามารถรายงานผลสถานะแวดล้อมจากโครงข่ายการตรวจวัดได้ไปยังส่วนประมวลผลกลาง ซึ่งระบบที่นำเสนอได้มีการนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้จัดเก็บในระบบฐานข้อมูล ทำให้ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ เพื่อช่วยในการปรับปรุง และเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้สะดวกยิ่งขึ้น

เกริกชัย ทองหนู และคณะ (2558) ศึกษาเทคนิคและมาตรฐานในการสร้างระบบรวบรวมข้อมูลเชิงความหมายและพัฒนาต้นแบบระบบเซนเซอร์เว็บเชิงความหมายสำหรับข้อมูลบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่า ระบบ SOS ของ 52°North มีความเหมาะสมในการใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาต้นแบบ ทั้งนี้ในการออกแบบต้นแบบสามารถทำได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ (1) กรณีจุดตรวจวัดมีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 VAC และสามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ (2) จุดตรวจวัดมีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 VAC การเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตไม่สามารถเชื่อมต่อได้โดยตรงแต่สามารถเชื่อมต่อกับระบบ ADSL ได้ (3) จุดตรวจวัดไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220VAC และไม่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแต่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือได้ (4) จุดตรวจวัดไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้า 220 VAC และไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและระบบเครือข่ายโทรศัพท์มือถือได้ แต่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ แผงโซลาร์เซลล์พร้อมระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่กรณีนี้ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกเก็บไว้ใน SD card

ทองลวน สิงห์นันท์ และวันดี หวังคะพันธ์ (2558) ออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในปลูกข้าวหอมมะลิ โดยใช้เทคนิคการออกแบบระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุ พัฒนาโหนดเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้พลังงานในการทำงานน้อย การติดต่อสื่อสารของโหนดไร้สายใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ผลลัพธ์ที่ได้ข้อมูลที่ส่งจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นข้อมูลสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกข้าวหอมมะลิที่เป็นปัจจุบันและข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เกษตรกรสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนการเพาะปลูกปรับปรุงขั้นตอนการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตและทำนายอนาคตผลผลิตได้

Jin et al. (2007) พบว่าระบบเครื่องมือวัดที่ควบคุมและวัดได้จากระยะไกล สามารถสร้างขึ้นได้โดยใช้ระเบียบวิธีการสื่อสารแบบ SMS และ สื่อสารโดยใช้เครือข่าย GSM ในงานวิจัยนี้ ระบบประกอบด้วย สถานีตรวจวัด และ สถานีศูนย์กลาง สถานีศูนย์กลางประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเชื่อมต่ออยู่กับอุปกรณ์สื่อสาร ทำงานร่วมกันเป็นระบบจัดเก็บผลการวัด และ ควบคุมเครื่องมือวัดที่อยู่ห่างออกไปโดยอาศัยเครือข่ายไร้สาย GSM สำหรับสถานีตรวจวัด จะประกอบด้วย เครื่องมือวัดที่ควบคุมด้วยหน่วยประมวลผลขนาดเล็ก (Microcontroller) เชื่อมต่ออยู่กับอุปกรณ์สื่อสาร

Kwon et al. (2009) ให้ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยว่า โดยทั่วไปเครื่องมือวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แบ่งตามหลักการทำงานได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ (1) แบบทำงานโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี และ (2) แบบทำงานโดยอาศัยการดูดกลืนแสงอีกหนึ่งประเภท เครื่องมือวัดทั้งสองแบบมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน เครื่องมือวัดที่อาศัยเคมี ใช้พลังงานน้อย แต่อายุการใช้งานสั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในงานบางประเภท (โดยเฉพาะงานเฝ้าระวังที่ต้องการความต่อเนื่องของข้อมูล) เครื่องมือวัดที่อาศัยการดูดกลืนแสง (อินฟราเรด) ใช้พลังงานมากกว่า แต่มีอายุการใช้งานนานกว่า ให้ผลการวัดที่แม่นยำมากกว่า งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบใช้แสงอินฟราเรด ติดตามคุณภาพของอากาศภายนอกอาคาร เป็นระยะเวลา 1 เดือน และนำผลการวัดในช่วงเวลาหนึ่งเดือนมาตรวจสอบความแม่นยำ

Garcia-Romeo et al. (2012) ศึกษาพบว่าในปัจจุบันมีการใช้อุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายในการตรวจวัดอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานเฝ้าระวังสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ ความดัน และความเข้มข้นของก๊าซ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้วิจัยและพัฒนาโดย ปรับแต่ง เครื่องมือวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ใช้พลังงานน้อยที่สุด เพื่อสามารถใช้ในการสื่อสารแบบไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะดำเนินการโดยมีขั้นตอนดำเนินการ 3 ระยะ ดังนี้

1. สร้างสถานีตรวจวัดเพื่อเฝ้าระวัง (Monitoring station) ที่สามารถสื่อสารกับระบบศูนย์กลางหรือสถานีศูนย์กลาง (Central station) ได้ ประกอบด้วย โครงสร้างของสถานี เครื่องมือวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แบบ NDIF ที่เชื่อมต่อกับแผงวงจรสื่อสาร แผงวงจรควบคุม และระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของสถานี

- 1.1 ออกแบบและสร้างโครงสร้างของสถานีตรวจวัด
- 1.2 พัฒนาแผงวงจรที่ใช้สำหรับควบคุมให้ระบบเครื่องมือวัด แผงวงจรสื่อสารทำงานร่วมกันได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถรับคำสั่งจากระบบศูนย์กลางได้
- 1.3 พัฒนาแผงวงจรที่ควบคุมภาคจ่ายกำลังของสถานีตรวจวัด ให้ใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อจำเป็น (เมื่อต้องการส่งหรือรับข้อมูล)
- 1.4 พัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานเครื่องมือวัด
- 1.5 พัฒนาโปรแกรมสำหรับส่งผลการวัดและรับคำสั่งจากระบบกลาง
ในส่วนนี้จะใช้ระบบการสื่อสารแบบ TCP/IP ซึ่งเป็นการส่งผ่านในรูปแบบของดิจิทัล (Digital) เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนระหว่างทาง

2. สร้างระบบศูนย์กลาง ซึ่งประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ เชื่อมต่อกับแผงวงจรสื่อสาร

- 2.1 ออกแบบและสร้างโครงสร้างของระบบศูนย์กลาง
- 2.2 พัฒนาแผงวงจรที่ใช้สำหรับควบคุมให้เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะทำงานร่วมกับแผงวงจรสื่อสารทำงานร่วมกันได้อย่างอัตโนมัติ
- 2.3 พัฒนาแผงวงจรที่ควบคุมภาคจ่ายกำลังของระบบกลางให้ใช้กำลังไฟฟ้าเมื่อจำเป็น (เมื่อต้องการส่งหรือรับข้อมูล)
- 2.4 พัฒนาโปรแกรมสำหรับส่งคำสั่งควบคุมและรับผลการวัดจากสถานีตรวจวัด
ในส่วนนี้จะใช้ระบบการสื่อสารแบบ TCP/IP ซึ่งเป็นการส่งผ่านในรูปแบบของ Digital เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนระหว่างทาง
- 2.5 พัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับใช้จัดการผลการวัดที่ได้จากสถานีตรวจวัด

3. ทดสอบการทำงานของระบบ

- 3.1 ทดสอบความถูกต้องของผลการวัดที่ได้จากเครื่องมือวัด โดยใช้ตัวอย่างมาตรฐาน

- 3.2 ทดสอบเสถียรภาพ และประสิทธิภาพของการสื่อสาร ระหว่างสถานีตรวจวัดกับระบบศูนย์กลาง โดยเฉพาะในเรื่องของสัญญาณรบกวนระหว่างทาง
- 3.3 ทดสอบเสถียรภาพของระบบจ่ายกำลัง ทั้งในส่วนของสถานีตรวจวัด และระบบศูนย์กลาง โดยการจำลองเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะในกรณีกำลังไฟตก และกำลังไฟขาด
4. ถ่ายทอดความรู้ และกำหนดกิจกรรมเพื่อเผยแพร่ความรู้สู่ผู้ที่ต้องการใช้ประโยชน์ต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ คือ ต้นแบบของระบบเฝ้าระวังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สถานีเฝ้าระวัง (Monitoring site) สามารถติดต่อสื่อสารกับระบบส่วนกลาง ผ่านเครือข่ายการสื่อสารโทรศัพท์มือถือ ในส่วนของระบบส่วนกลางนั้น สามารถรองรับสถานีเฝ้าระวังได้จำนวนจำกัดจำนวนหนึ่ง อย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบเฝ้าระวังนี้ สถานีเฝ้าระวังถูกออกแบบให้สามารถทำหน้าที่เป็นระบบส่วนกลางได้ด้วย ทั้งนี้ผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าคุณลักษณะ ตลอดจนวิธีการใช้งานระบบที่ได้จากงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

4.1 คุณลักษณะทางด้านฮาร์ดแวร์

4.1.1 ระบบประมวลผลและสื่อสาร

การประมวลผลและสื่อสารของทั้งระบบส่วนกลางและสถานีตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ชุดเดียวกัน ซึ่งมีคุณลักษณะ ดังนี้

1. หน่วยประมวลผล (CPU) เป็นหน่วยประมวล 32 บิต ความเร็วในการประมวลผลเท่ากับ 1.2 จิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) สามารถประมวลผลได้พร้อมกัน 4 การประมวลผล (Quad core) หน่วยประมวลผลนี้สามารถรองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) ได้
2. ขนาดของหน่วยความจำสำหรับการประมวลผล 1 จิกะไบต์ (Gigabyte; GB)
3. ขนาดของพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูล 15 GB เพื่อให้ระบบมีพื้นที่สำหรับสำรองการเก็บข้อมูลที่บันทึกด้วยอัตรา 1 ข้อมูลต่อวินาที ได้นาน 30 ชั่วโมง
4. หน่วยสื่อสาร เป็นโมเด็มที่รองรับวิธีสื่อสารแบบ TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)



ภาพที่ 4.1 หน่วยประมวลผล



ภาพที่ 4.2 หน่วยสื่อสาร

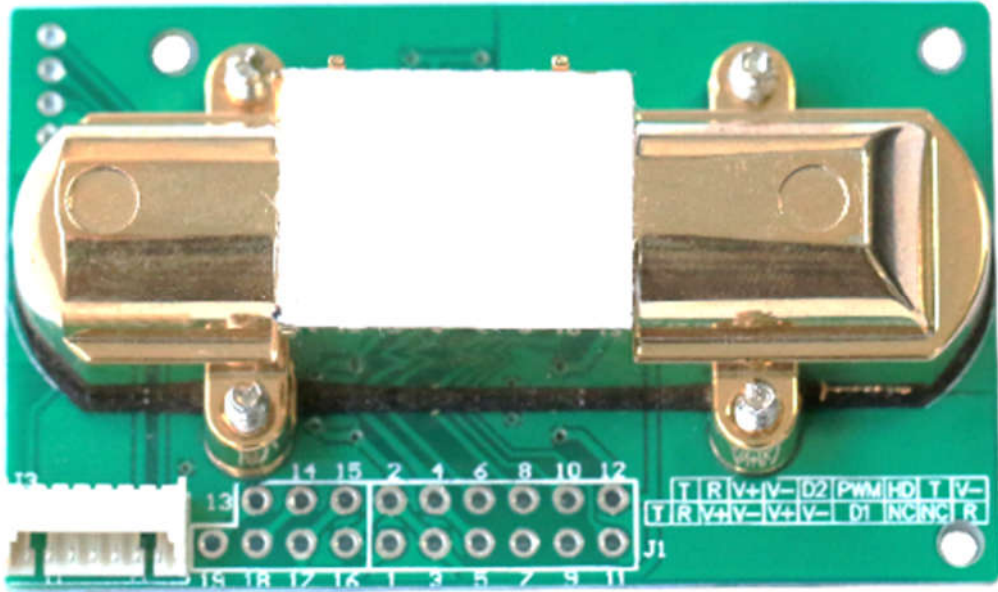


ภาพที่ 4.3 การต่อหน่วยประมวลผลกับหน่วยสื่อสารทางช่องทาง USB

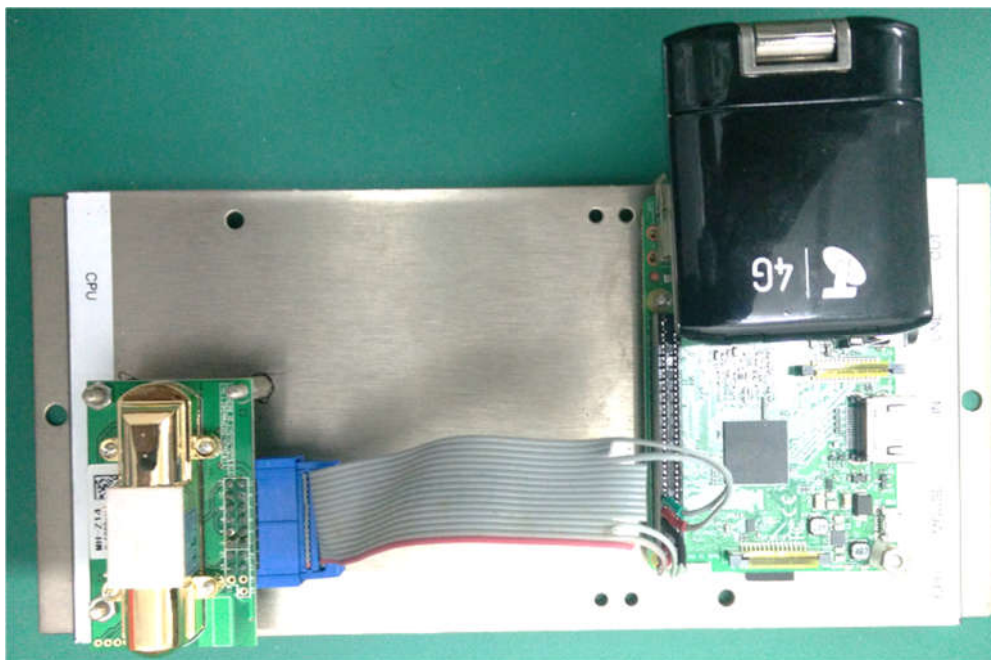
4.1.2 เซ็นเซอร์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

คุณลักษณะของเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ มีดังต่อไปนี้

1. เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยตรวจวัดจากหลักการที่แสงอินฟราเรด (Nondispersive Infrared) ถูกดูดกลืนได้ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
2. ช่วงความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัด เท่ากับ 0 – 5,000 หน่วยในล้านส่วน (ppm)
3. ความไวในการตรวจวัด (Response time) น้อยกว่า 90 วินาที
4. ความละเอียดของการตรวจวัด เท่ากับ ± 50 ppm
5. ทำงานได้ภายใต้อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส และ ความชื้นไม่เกิน 95% RH
6. ติดต่อกับหน่วยประมวลผลสื่อสาร โดยวิธีการสื่อสารแบบ Universal asynchronous receiver-transmitter (UART)



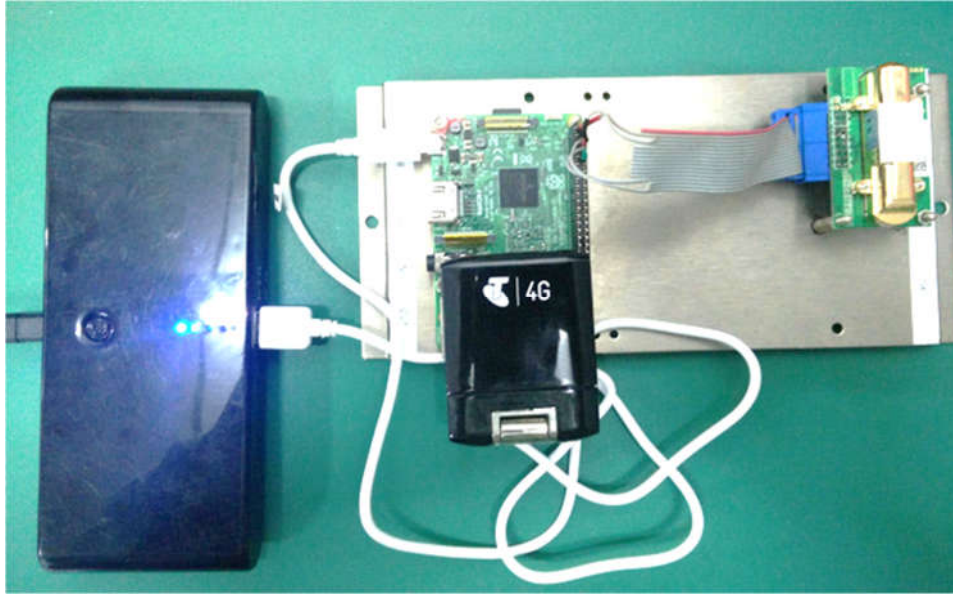
ภาพที่ 4.4 เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพที่ 4.5 การต่อเซ็นเซอร์กับระบบประมวลผลที่สื่อสารทาง UART

4.1.3 การสำรองกำลังไฟฟ้า

การสำรองกำลังไฟฟ้าของทั้งระบบสื่อสารของสถานีเฝ้าระวังและระบบส่วนกลาง ใช้วิธีเดียวกัน คือ จ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่หน่วยประมวลผลสื่อสารด้วยแบตเตอรี่ที่สามารถสำรองกำลังไฟฟ้าจากแหล่งไฟฟ้าหลัก คือ สายส่งกำลังของการไฟฟ้าซึ่งเป็นแบตเตอรี่ขนาด 30,000 มิลลิแอมแปร์ต่อชั่วโมง (Milliamp per hour; mAH)



ภาพที่ 4.6 การจ่ายและสำรองกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่สถานีเฝ้าระวัง

4.1.4 การจัดเก็บข้อมูล

ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เก็บข้อมูลที่ส่วนกลางของระบบมี ขนาด 59 GB ซึ่งสามารถขยายเพิ่มขึ้นได้ ฮาร์ดดิสก์นี้ควบคุมโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งต่ออยู่กับหน่วยประมวลผลสื่อสารของส่วนกลางและสามารถสื่อสารกับสถานีเฝ้าระวังได้ด้วยเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ฮาร์ดดิสก์นี้มีพื้นที่สำหรับสำรองข้อมูลที่บันทึกด้วยอัตรา 1 ข้อมูลต่อวินาที ได้นาน 21 ปี

4.2 คุณลักษณะทางด้านซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ของงานวิจัยนี้ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Linux ที่สามารถใช้โดยไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ (Open software) ซึ่งมีคุณลักษณะ ดังต่อไปนี้

4.2.1 คุณลักษณะทางการสื่อสาร

ระบบการสื่อสารระหว่างสถานีเฝ้าระวังและระบบส่วนกลางเป็นการสื่อสารแบบ TCP/IP และสื่อสารกันโดยกลวิธี Virtual private network (VPN) กลวิธีนี้เอื้อให้สถานีเฝ้าระวังและระบบส่วนกลางอยู่ในกลุ่มสื่อสารย่อย (Sub Net Work) เดียวกัน กลวิธี VPN จะสร้างกลุ่มสื่อสารเสมือนขึ้นมา ทำให้ระบบสถานีเฝ้าระวังรวมทั้งระบบส่วนกลาง เสมือนกับว่าอยู่แหล่งทำงานเดียวกัน ซึ่งต่อไปจะเรียกว่ากลุ่มสื่อสารนี้ว่า กลุ่มสื่อสารเสมือน (Virtual private network subnetwork) หรือ ย่อว่า VPN-Subnet

โปรแกรมที่ใช้สื่อสารกันระหว่างส่วนกลางกับสถานีเฝ้าระวัง มีดังนี้

1. Open Secure Shell สามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://www.openssh.com/>
2. Open VPN สามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://openvpn.net/>

สำหรับการเข้าเป็นสมาชิกใน VPN-SubNet สามารถทำได้โดยติดต่อกับเครื่องที่ให้บริการ หมายเลข IP 158.108.101.246 (IP ปัจจุบัน)

4.2.2 คุณลักษณะทางการบันทึกข้อมูล

1. รูปแบบของการบันทึกข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์จัดเก็บในรูปแบบ Hierarchical Data Format (HDF5) ซึ่งสามารถประมวลผลได้ด้วยการใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป เช่น MS Excel หรือ ภาษาสำหรับการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ เช่น Python (<https://www.python.org/>) หรือ Julia (<https://julialang.org/>) ตัวอย่างของรูปแบบไฟล์ แสดงได้ดังภาพที่ 4.7

```

คำสั่ง
h5dump 20170920044118.h5
Out put ของคำสั่ง
HDF5 "20170920044118.h5" {
GROUP "/" {
  DATASET "CO2" {
    DATATYPE  H5T_STD_I32LE
    DATASPACE  SIMPLE { ( 10, 3 ) / ( H5S_UNLIMITED, H5S_UNLIMITED ) }
    DATA {
      (0,0): 400, 16880, 0,
      (1,0): 400, 16882, 0,
      (2,0): 400, 16884, 0,
      (3,0): 400, 16886, 0,
      (4,0): 400, 16888, 0,
      (5,0): 400, 16890, 0,
      (6,0): 400, 16892, 0,
      (7,0): 400, 16894, 0,
      (8,0): 400, 16896, 0,
      (9,0): 400, 16898, 0
    }
  }
}
}
}

```

ภาพที่ 4.7 รูปแบบของข้อมูลในไฟล์ 20170920044118.h5 ที่ได้จากคำสั่ง h5_dum

จากภาพที่ 4.7 จะเห็นว่า ข้อมูลในงานวิจัยนี้ ชื่อ CO2 ซึ่งหมายถึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อยู่ในกลุ่มที่เรียกว่า “Supper Group” หรือ กลุ่มที่แทนด้วยอักษร “/” ข้อมูลประกอบด้วยข้อมูล 10 แถว และ แถวแรก (0,0) มีข้อมูล

400, 16880, 0

400 หมายถึง ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศในหน่วย ppm

16880 หมายถึง วินาทีที่ 16880 ของวัน 20 เดือน 09 ปี 2017 ส่วนของวัน เดือน ปี ที่บันทึกผลการตรวจวัดนี้ อ่านค่าจากตัวแรก 8 ตัวแรกของชื่อไฟล์

0 หมายถึง ข้อมูลสมบูรณ์ ไม่มีปัญหาในการสื่อสาร

2. การบันทึกข้อมูลจากเซ็นเซอร์การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การบันทึกข้อมูลจากตัว เซ็นเซอร์จะทำโดยโปรแกรม get_co2 รายละเอียด Source code แสดงไว้ในภาคผนวก และยกตัวอย่างมาแสดงในหัวข้อนี้เฉพาะส่วนสำคัญ คือ ส่วนที่เกี่ยวกับการปรับอัตราการบันทึกข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 4.8

```
.
.
.
int main()
{
  int haft_time = 1;
  //Read co2 command
  unsigned char read_conf_cmd[CO2BUFFER_SIZE]=
  {0xff,0x01,0x86,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x79};
  //unsigned char read_conf_cmd[BUFFER_SIZE]="u hello\n";
  ssize_t nBytes;
  int max_set;
  int ret;
  int i = 0;
  int h,l,chk;
.
.
```

ภาพที่ 4.8 Source code ของ โปรแกรม get_co2

ในรายการที่ 2 ตัวแปรที่กำหนดอัตราการบันทึกข้อมูลคือ ตัวแปร `haft_time` สามารถกำหนดค่าได้ เป็นจำนวนเต็มบวก 1, 2, ... กรณีค่า `haft_time` เป็น 1 หมายความว่า หนึ่งข้อมูลใช้เวลา 2 วินาที และ ถ้ามีค่า เป็น 2 หมายความว่า หนึ่งข้อมูลใช้เวลา 4 วินาที ยิ่งค่านี้น่าจะความถี่หรืออัตราการบันทึกข้อมูลจะน้อย

3. การใช้งานข้อมูล

รูปแบบข้อมูล HDF5 เป็นรูปแบบไฟล์ที่นิยมใช้ในการคำนวณทางวิทยาศาสตร์ และเป็นรูปแบบที่เป็นที่รู้จักของซอฟต์แวร์หลายตัว ในหัวข้อนี้จะยกตัวอย่าง เพียงตัวอย่างเดียว คือ ภาษาสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล Julia ซึ่งเป็น Open software (<https://julialang.org/>)

ในตัวอย่างนี้เป็นการใช้งาน Julia โดยสั่งงานผ่านทาง browser chrome ข้อมูลที่ใช้กับตัวอย่างนี้เป็นข้อมูลของวันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2516 ไฟล์ข้อมูล คือ 20170919162441.h5 คำสั่งภาษา Julia อยู่ในกรอบ Input แต่ละกรอบจะมี In [] นำหน้า ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ซึ่งมี 7 กรอบ ต่อไปจะเรียกกรอบเหล่านี้ว่า กรอบคำสั่ง

```
In [ ]: using HDF5
        using Plots
        using PyPlot
        pyplot(size = (600,300), legend = false)

In [ ]: fid = h5open("c:\\Users\\chall\\20170919162441.h5", "r")
        co2 = fid["CO2"]
        A = read(co2)

In [ ]: co2_ppm = A[1,:]

In [ ]: t = A[2,:]

In [ ]: plot(t,co2_ppm,xlabel = "time [sec] ", ylabel = "CO2 ppm",ylims = (500,700))

In [ ]: mean(co2_ppm)

In [ ]: close(fid)
```

ภาพที่ 4.9 คำสั่งภาษา Julia และกรอบคำสั่ง

กรอบคำสั่งที่ 1 ชุดคำสั่งในกรอบนี้ทำให้ระบบภาษายอมรับการใช้คำสั่ง HDF5 ซึ่งเป็นคำสั่งสำหรับอ่านข้อมูลจากไฟล์ 20170919162441.h5 และใช้คำสั่งอื่นๆ เกี่ยวกับการสร้างกราฟ (Plot graph) เพื่อแสดงผลการตรวจวัด

```

In [ ]: using HDF5
        using Plots
        using PyPlot
        pyplot(size = (600,300), legend = false)

In [60]: fid = h5open("c:\\Users\\chail\\20170919162441.h5", "r")
        co2 = fid["CO2"]
        A = read(co2)

Out[60]: 3x300 Array{Int32,2}:
        610  613  613  613  613  ...  605  608  608  608  608
        59083 59085 59087 59089 59091  ...  59673 59675 59677 59679 59681
         0    0    0    0    0    ...    0    0    0    0    0

In [ ]: co2_ppm = A[1,:];

In [ ]: t = A[2,:];

In [ ]: plot(t,co2_ppm,xlabel = "time [sec] ",ylabel = "CO2 ppm",ylims = (500,700))

In [ ]: mean(co2_ppm)

In [ ]: close(fid)

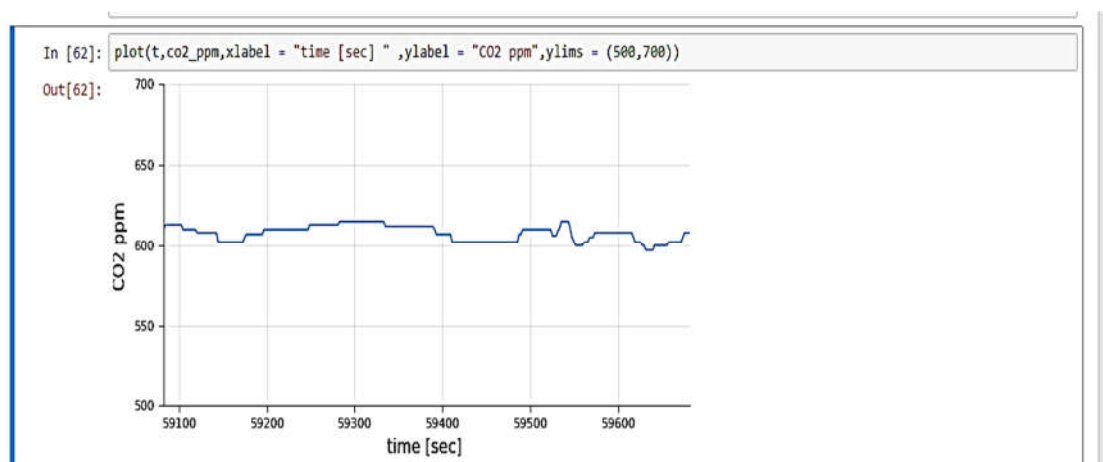
```

ภาพที่ 4.10 คำสั่งการอ่านข้อมูลจากไฟล์ข้อมูล

กรอบคำสั่งที่ 2 ชุดคำสั่งในกรอบคำสั่งนี้เป็นการอ่านข้อมูลจากไฟล์มาเก็บไว้ที่ matrices A ซึ่งมีขนาด 3x300 ใน A เป็นความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วงวินาทีที่ 59083 ถึง 59681 ของวันที่ตรวจวัดดังกล่าว เมื่อคำสั่งอ่านทำงานเสร็จจะแสดงผลการทำงานในกรอบผลลัพธ์ (Out []) ซึ่งอยู่ด้านล่างของกรอบ In []

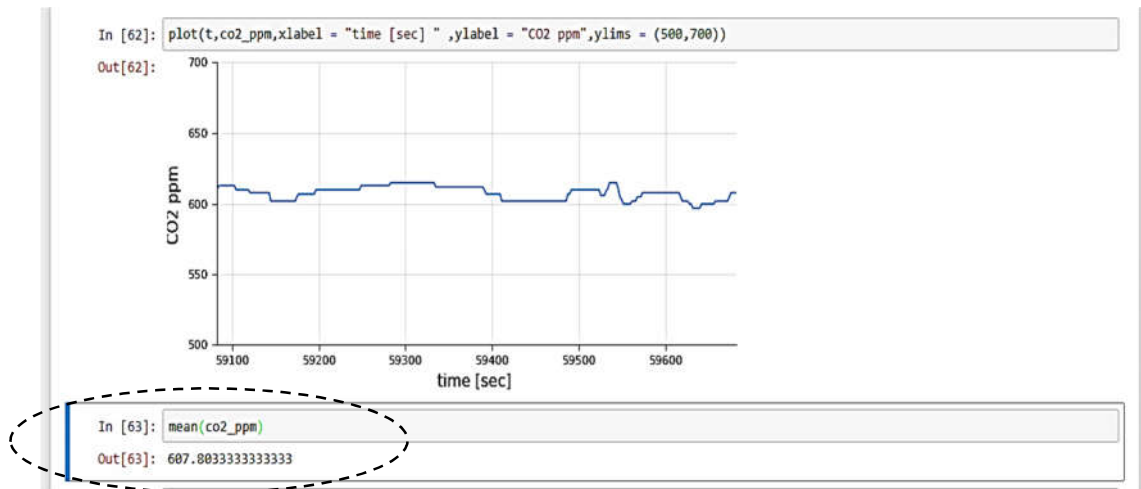
กรอบคำสั่งที่ 3 และ 4 คือ การนำแถวที่ 1 ของ Matrices A มาไว้ที่ ตัวแปร ชื่อ co2_ppm ค่าในตัวแปรนี้ คือ ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และนำแถวที่ 2 ของ Matrices A มาไว้ที่ ตัวแปร ชื่อ t โดยค่าในตัวแปร t หมายถึง เวลา

กรอบคำสั่งที่ 5 คือ การแสดงผลโดยการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลา แสดงได้ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับเวลา

กรอบคำสั่งที่ 6 แสดงผลการคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วงเวลาของการตรวจวัด ในที่นี้ได้ผลเท่ากับ 607.8 ppm ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ผลการคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

กรอบคำสั่งที่ 7 จบการทำงานและปิดไฟล์ข้อมูล

The figure shows a Jupyter Notebook interface with two code cells. The first cell contains `mean(co2_ppm)` and outputs `607.8033333333333`. The second cell contains `close(fid)`.

ภาพที่ 4.13 คำสั่งจบการทำงานและปิดไฟล์ข้อมูล

4.3 การทดสอบความถูกต้องของผลการวัด

ขั้นตอนนี้ดำเนินการตรวจสอบผลการวัดโดยนำเซ็นเซอร์ของสถานีตรวจวัดไปวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศปกติที่ทราบค่าเฉลี่ยของความเข้มข้น โดยการวางไว้ในห้องเปิดและไกลจากแหล่งปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การทดสอบในงานวิจัยนี้ตรวจวัดช่วงเวลา 9.19-9.22 นาฬิกา ของวันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2560 โดยวัดทุก 2 วินาทีเป็นจำนวน 100 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัด มีค่าเท่ากับ 400.43 ± 50 ppm เมื่อเทียบกับที่ตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่รายงานโดย Mauna Loa Observatory (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2017) ในวันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2560 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 403.57 ppm แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีผลการตรวจวัดที่น่าเชื่อถือ ภายใต้ความละเอียดของเซ็นเซอร์สามารถนำไปใช้งานได้

บทที่ 5

อภิปราย สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ระบบสื่อสารในงานวิจัยนี้เน้นการสื่อสารโดยส่งผ่านข้อมูลจากเครื่องมือถึงเครื่องมือ กล่าว คือ เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องมือวัดที่สถานีตรวจวัดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมฮาร์ดดิสก์ที่ส่วนกลาง ระบบสื่อสารที่สามารถใช้เพื่อการสื่อสารระหว่างเครื่อง (Machine to machine M2M) ในปัจจุบันมีหลากหลาย เช่น ระบบส่งข้อมูลไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (พินิจ เชื้อนสูงค์ และคณะ, 2555) หรือ อาจเป็นการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ในแบบ SMS (Jin et al., 2007) การสื่อสารในแต่ละแบบมีทั้งข้อดีและข้อด้อย เช่น การสื่อสารโดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่ 2.4 Ghz ซึ่งเป็นคลื่นความถี่ที่ออกแบบมาให้ใช้ในระบบ Wireless Local Area Network (WLAN) เป็นระบบที่สื่อสารที่ครอบคลุมระยะทางไม่ไกลมาก คือ เฉพาะบริเวณ อาคาร หรือ สำนักงาน แต่สามารถรองรับระบบการสื่อสารแบบ TCP/IP ได้

การสื่อสารโดยการส่ง SMS ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่ใช้ความถี่ในย่าน Mhz เช่น 850 Mhz หรือ 2100 Mhz ข้อดีของคลื่นความถี่ในย่านนี้ คือ ระยะการสื่อสารไกลกว่าคลื่นความถี่ในระบบ Ghz มาก คือ มีระยะในระดับกิโลเมตร แต่อัตราการส่งข้อมูลต่ำ และไม่รองรับวิธีการสื่อสารแบบ TCP/IP

อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน อุปกรณ์ของผู้ให้บริการเครือข่ายมือถือพัฒนาขึ้นมากจนกระทั่งการสื่อสารด้วยคลื่นความถี่ย่านนี้ รองรับวิธีการสื่อสารแบบ TCP/IP และมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงใกล้เคียงกับการสื่อสารด้วยความถี่ 2.4 GHz หรือ เรียกกันในปัจจุบันว่า ระบบมือถือ 4G และมีการติดตั้งเครือข่ายของการสื่อสารจนเกือบครอบคลุมทั่วประเทศ

งานวิจัยนี้ได้เลือกเครือข่ายมือถือเป็นระบบการสื่อสารระหว่างเครื่อง เนื่องจากรองรับระบบสื่อสารแบบ TCP/IP ซึ่งเอื้อต่อการดูแลระบบและการส่งข้อมูลจำนวนมาก อย่างไรก็ตามการสื่อสารโดยอาศัยเครือข่ายมือถือ ต้องเสียค่าบริการรายเดือน ซึ่งไม่เหมาะสมต่องานบางประเภท เช่น งานที่จำเป็นต้องขยายสถานีเฝ้าระวังให้ครอบคลุมจุดเฝ้าระวังหลายจุด เพื่อวัดการกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกรณีดังกล่าวจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารด้วยการใช้ระบบการสื่อสารอื่น ประกอบกับการสื่อสารผ่านเครือข่ายมือถือ

ปัญหาประการหนึ่งของการสื่อสารโดยใช้เครือข่ายมือถือ คือ แม้ว่าเครือข่ายจะมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูง เช่น เครือข่ายที่รองรับ 4G อาจมีอัตราการรับส่งสูงถึง 100 Mbps แต่เมื่อผู้ใช้เครือข่ายใช้พร้อมกันจำนวนมาก อาจทำให้อัตราการรับส่งเครื่องมือลดลงเหลือเพียง แค่ 1 Mbps

สำหรับแนวทางการดูแลและปรับปรุงระบบเฝ้าระวังในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบมาให้ทำงานได้โดยอัตโนมัติ การสื่อสารระหว่างเครื่องมือถึงเครื่องมือ และการทำงานของแต่ละเครื่องจะเป็นไปอย่างอัตโนมัติตามที่ออกแบบไว้ เมื่อไม่มีปัญหาในเรื่องต่อไปนี้

1. ระบบสื่อสารของผู้ให้บริการขัดข้อง
2. ระบบส่งกำลังไฟฟ้าขัดข้อง
3. เครื่องมือในระบบเฝ้าระวังขัดข้อง ไม่ทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้

อย่างไรก็ตามอาจพบโอกาสที่ปัญหาใดปัญหาหนึ่งจะเกิดขึ้นอย่างเลี่ยงไม่ได้ การติดตามผลของปัญหาที่มีต่อระบบเฝ้าระวังจึงเป็นเรื่องจำเป็น ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้เลือกให้ซอฟต์แวร์ของระบบทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการ linux ซึ่งเป็นระบบที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการติดตามปัญหาของซอฟต์แวร์ที่ทำงาน คุณลักษณะดังกล่าว คือ

1. เปิดเผย Source code
2. ปรับแต่งให้ระบบปฏิบัติการมีคุณลักษณะที่จำเป็นต่องาน
3. มีระบบนิเวศทางซอฟต์แวร์ที่เป็นเครือข่ายระหว่างผู้ใช้

ระบบปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกปรับแต่ง คือ ไม่มีคุณลักษณะของการแสดงผลทางกราฟฟิกและการทำงานเกี่ยวกับเสียง และอื่นๆ มีเฉพาะคุณลักษณะเท่าที่จำเป็นต่องาน ทำให้ระบบมีขนาดเล็กลงซับซ้อนน้อยลง ผลสำคัญที่ตามมา คือ ง่ายต่อการป้องกันปัญหา และเมื่อเกิดปัญหาจะง่ายต่อการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เลือกใช้ระบบสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ด้วยเหตุผลสำคัญ คือ เพื่อให้ระบบเฝ้าระวังของงานวิจัยนี้สามารถนำไปติดตั้งได้ในทุกแห่งที่มีสัญญาณเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ยังไม่เหมาะกับงานบางประเภท เช่น งานที่จำเป็นต้องเฝ้าระวังการกระจายตัวของก๊าซบางชนิดในพื้นที่เป้าหมาย ระบบนี้ไม่เหมาะกับประเด็นนี้ ด้วยสาเหตุ 2 ประการ ได้แก่

1. มีค่าใช้จ่ายรายเดือนของการสื่อสาร
2. การสื่อสารผ่านระบบโทรศัพท์มือถือใช้พลังงานสูง

สาเหตุประการที่ 2 นั้นสำคัญมาก กล่าวคือ เมื่อพื้นที่เป้าหมายไม่มีพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้า การเฝ้าระวังจะต้องใช้แหล่งพลังงานอื่น เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้ต้นทุนต่อสถานีเพิ่ม

อย่างไรก็ตามการที่สถานีเฝ้าระวังของงานวิจัยนี้ถูกออกแบบมาให้เป็นส่วนกลางได้ในเอง จึงเป็นได้ว่าเมื่อต้องการเฝ้าระวังในพื้นที่เป้าหมายที่อยู่ไกลสายส่งกำลังของการไฟฟ้า อาจเพิ่มเทคโนโลยีการสื่อสารที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ เช่น Lora ให้แก่สถานีเฝ้าระวังเพื่อให้สถานีเฝ้าระวังทำ

หน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อ การสื่อสาร ระหว่างระบบส่วนกลางที่ใช้การสื่อสารกำลังสูงกับสถานีที่ทางไกล สายส่งที่ใช้การสื่อสารกำลังต่ำ



ภาพที่ 4.13 การติดตั้งการพัฒนาเครื่องเก็บข้อมูลระยะไกลเพื่อเฝ้าระวังการปลดปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่

จากข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าระบบเฝ้าระวังการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่ได้จากการวิจัยนี้ เป็นระบบเฝ้าระวังทางไกลที่มีการสื่อสาร 2 ทาง สถานีเฝ้าระวังทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ สามารถส่งผลการวัดมายังส่วนกลางตามช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งได้กำหนดให้เป็นชั่วโมงละครั้ง รูปแบบข้อมูลที่เลือกใช้ในการบันทึกผลการวัด เป็นรูปแบบที่ใช้กันแพร่หลายทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้ ผู้ดูแลที่ส่วนกลางสามารถดูข้อมูลของสถานีได้ตลอดเวลา ทั้งยังสามารถเข้าถึงระบบปฏิบัติการของสถานีได้จากเครื่องส่วนกลาง เพื่อป้องกันและติดตามปัญหาต่างที่อาจเกิดขึ้นกับระบบได้ งานวิจัยนี้ได้เทียบผลการวัดความเข้มข้นของตัวเซ็นเซอร์กับค่าความเข้มข้นจาก Mauna Loa Observatory (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2017) พบว่าได้ผลสอดคล้องกันภายใต้ละเอียดยของตัวเซ็นเซอร์ แสดงให้เห็นว่าระบบเฝ้าระวังการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่ได้พัฒนาขึ้นมาจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประโยชน์ต่อการเฝ้าระวังปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมได้

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- เกริกชัย ทองหนู พนาลี ชีวภิตาการ จิรดา ยงสถิตศักดิ์ และสุพัตรา พุฒินาวรัตน์. (2558). การพัฒนาต้นแบบระบบอ่านข้อมูลระยะไกลเพื่อจัดทำเซนเซอร์เว็บเชิงความหมาย. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม*, 11(1), 52-79.
- เซเม็กซ์. (ม.ป.ป.). *วิธีการตรวจสอบปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยสู่อากาศของเซเม็กซ์: CO₂ Footprint*. สืบค้น 17 กันยายน 2560, จาก http://www.cemexthailand.com/ce/files/co2_footprint_th.pdf
- ปัทมาภรณ์ สุทธิประเสริฐ. (2555). *การจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศขององค์กรส่วนปกครองท้องถิ่นในจังหวัดสมุทรสาคร*. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- พินิจ เชื้อนสูงค์ จักรกฤษ วรางกูร ชัชวาล ไชยเจริญ ชลกานต์ ต.วิเชียร และตฤชา ประเสริฐสม. (2555). ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมเพื่อเสริมศักยภาพด้านการผลิตทางการเกษตร. ใน *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตร ครั้งที่ 13* (น.10-15). เชียงใหม่: สมาคมวิศวกรรมเกษตร.
- ยรรยงค์ อินทร์ม่วง. (2556). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ความท้าทายของเกษตรกรภาคอีสานในการปรับตัว. *จดหมายข่าว WeSD กลุ่มวิจัยความอยู่ดีมีสุขและการพัฒนาอย่างยั่งยืน คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 4(4), 4-12.
- ยุทธพงศ์ พันธุ์มณี ชุตินา ไจเพ็ชร และอนุสรณ์ บุญปก. (2556). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการขนส่งทางบก: กรณีศึกษาของบริการสหกรณ์บริการเดินรถยนต์โดยสาร. *วารสารนเรศวรพะเยา*, 6(3), 231-236.
- นพภาพร พานิช และคณะ. (2559). *ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- ภารดี ช่วยบำรุง และชญัฐตา ประพันธ์พจน์. (2558). ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในระบบขนส่งมวลชนทางบกในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 23(6) ฉบับพิเศษ, 898-913.
- เมเซอร์โทรนิคส์. (2554). *เครื่องวัดคาร์บอนไดออกไซด์*. สืบค้น 18 กันยายน 2560, จาก http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/TN%20214A_p38-45.pdf
- วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. (2559). *Carbon dioxide*. สืบค้น 1 กันยายน 2560, จาก http://www.summacheeva.org/index_thaitox_carbon_dioxide.htm
- ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. (2556). *มลพิษทางอากาศ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภกร ชินวรรโณ วิริยะ เหลืองอร่าม และจุฑาทิพย์ ธนกิตต์เมธาวุฒิ. (2552). *ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำชี-มูล*. *วารสารวิจัย มข.*, 14(7), 666-682.

ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัย และฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. (2554).

โครงการศึกษาด้านผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในอนาคตและการปรับตัวของภาคส่วนที่สำคัญ. สืบค้น 1 กันยายน 2560, จาก http://startcc.iwlearn.org/doc/Doc_thai_22.pdf

สมชาย บุญประดับ สุกิจ รัตนศรีวงษ์ วินัย ศรวัต ปรีชา กาเพ็ชร แคทลียา เอกอุ่น วิภารัตน์ ดำริเข้มตระกูล อิศระ พุทธสิมมา และเกริก ปั่นเหน่งเพ็ชร. (2552). ผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่อการผลิตพืชไร่หลักสามชนิดของประเทศไทย. *วารสารวิจัย มข.*, 14(7), 626-649.

หทัยรัตน์ ปาลาศ. (2558). การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าในสำนักงาน คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม). คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

อริสา กาญจนการะจ่าง และภารตี ช่วยบำรุง. (2560). การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องเรียน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(6), 960-974.

ภาษาอังกฤษ

Biologydiscussion.com. (2017). *The Carbon Cycle*. Retrieved September 15, 2017, from: <http://www.biologydiscussion.com/atmosphere/cyclic-processes/top-5-cyclic-processes-of-the-atmosphere-with-diagram/25069>

CO₂ Meter.com. (2017). *How Does an NDIR CO₂ Sensor Work?* Retrieved September 17, 2017, from: <https://www.co2meter.com/blogs/news/6010192-how-does-an-ndir-co2-sensor-work>

Environmental indoor air quality testing & consulting. (n.d.) *New homes and carbon dioxide levels: the overlooked indoor air quality health hazard*. Retrieved September 15, 2017, from: <http://www.indoorairqualitytestingdallas.com/>

Environmental Protection Agency. (2008). *Care for your air: A guide to indoor air quality*. Retrieved September 17, 2017, from: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-08/documents/careforyourair.pdf>

Kumar, M., Sundaram, S., Gnansounou, E., Larroche, C., and Thakur, I.S. (2017). Carbon dioxide capture, storage and production of biofuel and biomaterials by bacteria: A review. *Bioresource Technology*, Accepted manuscript 6 September 2017.

- IPCC. (2007). *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Retrieved September 1, 2017, from: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>
- Garcia-Romeo, D., Fuentes, H., Medrano, N., Calvo, B., Martínez, P.A., and Azcona, C. (2012). *A NDIR-based CO₂ monitor system for wireless sensor networks*. IEEE 3th Latin American symposium. Retrieved September 12, 2017, from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6180326>
- Jin, S., Jingling, S., Qiuyan, H., Shengde, W., and Yan, Y. (2007). *A remote measurement and control system for greenhouse based on GSM-SMS*. The 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments. Retrieved September 12, 2017, from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4350806>
- Kwon, J., Ahn, G., Kim, G., Kim, J.C. and Kim, H. 2009. *A study on NDIR-based CO₂ Sensor to apply remote air quality monitoring system*. ICROS-SICE International joint conference, Japan. Retrieved September 14, 2017, from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5335011>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2017). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide: Recent Daily Average Mauna Loa CO₂*. Retrieved September 20, 2017, from: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/monthly.html>
- Occupational Safety and Health Administration. (2011). *Indoor air quality in commercial and institution building*. Retrieved September 17, 2017, from: <https://www.osha.gov/Publications/3430indoor-air-quality-sm.pdf>
- Premium air solutions. (2017). *Measuring Indoor Air Quality*. Retrieved September 17, 2017, from: <http://www.premiumairsolutions.com/indoor-air-quality.html>
- United States Environment Protection Agency. (2014). *Overview of greenhouse gases*. Retrieved September 14, 2017 from: <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html>
- Vaisala. (2012). *How to measure carbon dioxide*. Retrieved September 14, 2017 from: <http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Application%20notes/CEN-TIA-Parameter-How-to-measure-CO2-Application-note-B211228EN-A.pdf>