



รายงานฉบับสมบูรณ์

การประดิษฐ์และออกแบบโรงงานต้นแบบย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ

ในระดับกำลังผลิตขนาดหมู่บ้านขนาดเล็ก เฟส 2

(Designing a small-scale, innovative biodegradation demonstration plant
Unit for small community and/or factory Phase 2)

โดย

นายบัญชา อุนพานิช

นายนิเวศ ศรีคุณ

งบประมาณสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินปี 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนำ

รายงานฉบับนี้ เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยเรื่อง “การประดิษฐ์และออกแบบโรงงานต้นแบบย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพในระดับกำลังผลิตขนาดหมู่บ้านขนาดเล็ก_เฟสที่ 2” โดยงานหลักเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อวัดอัตราการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ เป็นโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2561 โดยมีระยะเวลาในการดำเนินโครงการ 1 ปี เริ่มดำเนินโครงการหลังจากได้รับงบประมาณในเดือน มกราคม พ.ศ. 2561

คณะผู้วิจัย

รายชื่อคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ นายบัญชา อุนพานิช

ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

โทรศัพท์: 02-2186774, 080-2392065

E-mail: bancha.O@chula.ac.th

นักวิจัย

1. นายนิวร ศรีคุณ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา

บางแสน ถ.หาดบางแสน อ.เมือง จ.ชลบุรี

โทรศัพท์: 0-3810-2222

โทรสาร: 0-3839-0351

E-mail: nivorn@windowlive.com

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนวิจัย สภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผ่านจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย
ขอบคุณคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุญาตให้พื้นที่บริเวณข้างภาควิชาวิศวกรรม
นิวเคลียร์เป็นสถานที่ตั้งโรงงานย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ และเล็งปฏิบัติการนิวเคลียร์อิเล็กทรอนิกส์ในการทำ
วิจัย และขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่เห็นความสำคัญให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนงานวิจัยที่กำลังดำเนิน
ต่อไปอย่างดี

สารบัญ

	หน้า
คำนำ.....	ก
รายชื่อผู้วิจัย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย	6
1.7 ระยะเวลา	6
บทที่ 2 หลักการทำงานระบบวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แบบไร้สายด้วยเซ็นเซอร์รังสีอินฟราเรดแบบไม่กระจายแสง	
2.1 เซนเซอร์วัดคาร์บอนไดออกไซด์แบบรังสีอินฟราเรดแบบไม่กระจายแสง (Non-Dispersive Infrared; NDIR).....	7
2.2 เซนเซอร์แก๊สที่ใช้งานคือโมดูลเซนเซอร์ K30	8
2.3 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things; IoT)	9
2.4 ไมโครคอมพิวเตอร์ NodeMCU32s	10
2.5 ระบบวัดความเข้มข้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เชื่อมต่อแบบไร้สาย	11
2.6 การทดสอบ	13

บทที่ 3 ผลการทดสอบ

3.1 การพัฒนาระบบวัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แบบไร้สายด้วยเซ็นเซอร์รังสีอินฟราเรด

แบบไม่กระจายแสง19

บทที่ 4 สรุปผลงานวิจัยตลอดโครงการ23

4.1 ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ

เอกสารอ้างอิงโครงการวิจัย25

เอกสารภาคผนวก26

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 สถานที่ทำการวิจัย	6
ตารางที่ 3.1 ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎีจาก ปฏิกิริยาของกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 1 โมลาร์ เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุด.....	22
ตารางที่ 3.2 เวลาสิ้นสุดของการวัดการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ของปฏิกิริยาที่ใช้กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 1 โมลาร์.....	22

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงระบบการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพที่สร้างในเฟสที่ 1	3
รูปที่ 1.2 แสดงโรงงานย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพที่ออกแบบและสร้างขึ้น.....	3
รูปที่ 2.1 แสดงภาพของระบบตรวจวัดแบบ NDIR	7
รูปที่ 2.2 (ก) ตัวตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์คือโมดูลเซนเซอร์ K-30 (K-30 Sensor., 2015)	
(ข) โครงสร้างพื้นฐาน NDIR (Ahn, Gwanghoon.,2009).....	8
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์ K30 แบบ UART กับบอร์ดอาร์ดูอิโน	9
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์ K30 แบบ i2C กับบอร์ดอาร์ดูอิโน	9
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย ThingSpeak [10]	10
รูปที่ 2.6 พอร์ตต่างๆของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU32s [11]	10
รูปที่ 2.7 การสื่อสารระหว่างโนดเซนเซอร์ ThingSpeak cloud และเว็บเบราว์เซอร์บนคอมพิวเตอร์.....	11
รูปที่ 2.8 (ก) โนดเซ็นเซอร์ 4 ชุด (ข) โมดูลเซ็นเซอร์ K30 ภายในกล่อง	11
รูปที่ 2.9 ผังการทำงานของโปรแกรมโนดเซนเซอร์	12
รูปที่ 2.10ก. ไดอะแกรมการจัดเตรียมการทดสอบระบบการทดสอบการของโนดเซนเซอร์ ไร้สายวัดคาร์บอนไดออกไซด์	14
รูปที่ 2.10ข. การต่ออุปกรณ์การทดสอบการวัดคาร์บอนไดออกไซด์ของโนดเซนเซอร์ไร้สาย	14
รูปที่ 2.11 รูปแสดงการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องทดสอบพลาสติกชีวภาพ.....	15
รูปที่ 2.12 เครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อการทดสอบพลาสติกชีวภาพ.....	16
รูปที่ 2.13 (ก) โนดเซ็นเซอร์ 3 ชุด ทดสอบการติดตั้งใช้กับเครื่องทดสอบการย่อยสลายผลิตภัณฑ์ พลาสติกชีวภาพ	16
(ข) ตัวอย่างข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์ที่จัดเก็บได้	16
รูปที่ 2.14ก รูปกราฟแสดงปริมาณ CO ₂ ที่วัดได้จากขวดเซลล์ลูโลส ของโนดเซ็นเซอร์ ชุดที่ 1	17
รูปที่ 2.14ข รูปกราฟแสดงปริมาณ CO ₂ ที่ วัดได้จากขวด PLA ของโนดเซ็นเซอร์ ชุดที่ 2	17
รูปที่ 2.14ค รูปกราฟแสดงปริมาณ CO ₂ ที่วัดจากขวดเปล่าเทียบ ของโนดเซ็นเซอร์ ชุดที่ 3	18

รูปที่ 2.14 ข้อมูลคาร์บอน CO ₂ ไร้สายที่จัดเก็บบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ThingSpeak	18
รูปที่ 3.1 ผลการเก็บค่าข้อมูลจากระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาของกรด ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ และค่า Background	19
รูปที่ 3.2 ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎี จากปฏิกิริยาของกรดความเข้มข้น 0.25 โมลาร์	19
รูปที่ 3.2 ผลการเก็บค่าข้อมูลจากระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาของ กรดความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ และค่า Background	20
รูปที่ 3.3 ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎี จากปฏิกิริยาของกรดความเข้มข้น 0.5 โมลาร์	20
รูปที่ 3.4 ผลการเก็บค่าข้อมูลจากระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาของ กรดความเข้มข้น 1 โมลาร์ และค่า Background	21
รูปที่ 3.5 ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎี จากปฏิกิริยาของกรดความเข้มข้น 0.5 โมลาร์..	21

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

มนุษย์ได้มีการนำเอาพลาสติกมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร เครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมเกษตร ของเล่น การแพทย์ เป็นต้น อันเนื่องมาจากคุณสมบัติที่ดีของพลาสติกที่มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นแข็งแรง ขึ้นรูปง่าย และทนความร้อน พลาสติกเหล่านี้ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี [1] ซึ่งมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องปีละประมาณ 5% คิดเป็น 200 ล้านตัน/ปี จากการใช้พลาสติกทั่วโลกอย่างมากมาก่อนให้เกิดมลภาวะทั้งบนบกและในทะเล พลาสติกเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ การแก้ปัญหาเป็นเพียงการบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้นเท่านั้นได้แก่ การนำกลับมาใช้ใหม่ การเผา การฝังกลบ ซึ่งก่อปัญหาในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ เกิดสารพิษลงไปแหล่งน้ำ สัตว์ทะเลตายเนื่องจากกินพลาสติกเข้าไปอุดตันในระบบการขับถ่าย หรือเกิดก๊าซพิษจากการเผาพลาสติก ซึ่งเป็นอันตรายกับสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันได้มีการออกแบบพลาสติกชนิดใหม่ที่เรียกว่าพลาสติกชีวภาพ (Bio degradation Plastic) ซึ่งมีคุณสมบัติในการย่อยสลายได้ซึ่งเมื่อเกิดการย่อยสลายจะเปลี่ยนเป็นชีวมวล น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ พลาสติกชีวภาพนี้ผลิตขึ้นมาจากวัตถุดิบทางการเกษตร ได้แก่ พืชที่ให้แป้งเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ มันสำปะหลัง ข้าวโพด เป็นต้น ในอนาคตเมื่อเกิดการใช้พลาสติกชีวภาพอย่างแพร่หลายก็จะทำให้อุตสาหกรรมเกษตรที่เกี่ยวข้องมีมูลค่ามากขึ้นหลายเท่าตัว จากรายงานสถานการณ์การผลิตพลาสติกชีวภาพโลก [2] พบว่ามีการผลิตใช้ทั่วโลกประมาณ 2.05 ล้านตัน หรือประมาณร้อยละ 1 ของพลาสติกจากฟอสซิลที่ผลิตต่อปีประมาณ 320 ล้านตัน โดยคาดการณ์ว่าการผลิตพลาสติกชีวภาพจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 2.05 ล้านตัน เป็น 2.44 ล้านตันภายในปี 2565 โดยการพัฒนาวัฏจักรพลาสติกชีวภาพ PLA (Poly Lactic Acid) และ PHAs (Polyhydroxyalkanoates) เป็นตัวขับเคลื่อนหลักในการผลิตออกใช้งาน

แนวคิดของโครงการวิจัยนี้เกิดจากงานวิจัยการศึกษาการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพสองชนิดได้แก่ PLA (Polylactic Acid) และ PBS (Poly Butylene Succinate) เมื่อผ่านกระบวนการหมักพลาสติกชีวภาพกับปุ๋ยหมัก จุลินทรีย์ในปุ๋ยหมักจะย่อยสลายพลาสติกชีวภาพเป็นปุ๋ยโดยไม่ทำให้พลาสติกก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยในเฟสที่ 1 เป็นการตั้งโรงงานย่อยพลาสติกชีวภาพ ดังรูปที่ 1.2 การย่อยสลายของพลาสติกใช้เวลานานประมาณไม่น้อยกว่า 3 เดือนตามมาตรฐาน 14855-1 การย่อยสลายของพลาสติกใช้วิธีสังเกตด้วยตาด้วยวัตถุทางกายภาพซึ่งไม่สะดวก และอาจต้องหยุดระบบโรงงานเพื่อการตรวจสอบหรือเปิดระบบหอบมเพื่อนำตัวอย่างมาพิสูจน์ทราบว่ามีหรือไม่มี สาเหตุดังกล่าวเป็นที่มาของการต้องการระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์ ในการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปริมาณการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ

งานวิจัยในเฟสที่ 2 นี้เป็นงานการออกแบบและสร้างระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อหาปริมาณการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ เพื่อใช้วัด CO₂ ที่เกิดจากการย่อยสลายของ

พลาสติกชีวภาพในโรงงานย่อยพลาสติกชีวภาพ การศึกษาระบบวัดจากงานวิจัยระบบการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [3] และสิ่งประดิษฐ์เครื่องทดสอบการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ [4] และมาตรฐานการทดสอบระดับนานาชาติ ISO14855-1 [5] พบว่าสามารถจำแนกระบบวัดหาคาร์บอนไดออกไซด์ออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ระบบวัดทางเคมี และระบบวัด CO₂ ด้วยเซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ โดยระบบวัดทางเคมีสามารถวัดหาปริมาณ CO₂ ได้ด้วยการไตเตรท หรือ การชั่งน้ำหนัก CO₂ โดยแปรปด้วยสารเคมี เป็นต้น ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ต้องใช้นักวิทยาศาสตร์ที่มีความชำนาญทำการเตรียมสารเคมีเพื่อจับ CO₂ และต้องนำผลมาวิเคราะห์หาปริมาณ CO₂ กระบวนการซับซ้อน ค่าใช้จ่ายสูงทั้งค่าสารเคมีและนักวิทยาศาสตร์ ในส่วนของระบบวัดอิเล็กทรอนิกส์ ได้สืบค้นเดตาซิสเซ็นเซอร์ CO₂ [ภาคผนวก] ชนิด NDIR ที่มีคุณภาพดีใช้พลังงานต่ำขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาประหยัดเพียงตัวละประมาณ 1,800 บาทเหมาะแก่การพัฒนาต่อยอดมาใช้วัดปริมาณ CO₂ ในโรงงานย่อยพลาสติกชีวภาพ จากงานวิจัยที่ผ่านมาระบบวัด CO₂ เป็นการวัดและส่งผลการวัดแบบไร้สายชนิดหัววัดเดี่ยว [6] การพัฒนาระบบวัด CO₂ ของงานวิจัยนี้เมื่อเสร็จสิ้นจะสามารถวัดปริมาณ CO₂ ได้หลายหัววัด บันทึกผลโดยอัตโนมัติชนิดไร้สาย ผ่านระบบคลาวด์ โดยไม่มีความจำเป็นต้องใช้นักวิทยาศาสตร์มาเก็บข้อมูลเหมือนวิธีทางเคมีอีกต่อไป

กระบวนการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกใช้เวลานานประมาณ 6 เดือน ในกระบวนการย่อยพลาสติกนั้น ปริมาณพลาสติกที่เกิดการย่อยโดยจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมักจะแปรผันตรงกับปริมาณก๊าซ CO₂ ในระบบถังหมัก จากการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวจึงจำเป็นต้องต้องมีเครื่องมือหรือระบบวัด CO₂ ในการตรวจสอบความสำเร็จในการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพมาติดตั้งในระบบถังหมักการดังรูปที่ 1.1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อวิจัยพัฒนาระบบการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประสิทธิภาพสูงในถังหมักผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพในสภาวะย่อยสลายตัว
2. ออกแบบและประดิษฐ์เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้นแบบให้เหมาะสมกับขนาดโรงงานย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ

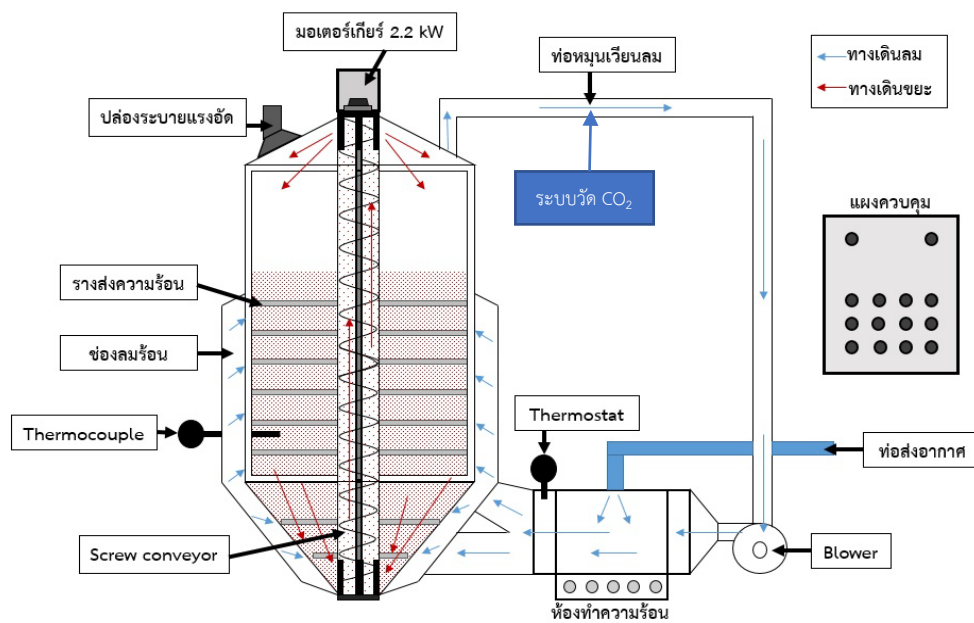
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
2. จัดเตรียมอุปกรณ์วัสดุอุปกรณ์ในการประดิษฐ์ระบบวัดโดยเน้นวัสดุอุปกรณ์ในประเทศโดยพึ่งพาภายนอกประเทศให้น้อยที่สุด
3. ออกแบบและประดิษฐ์ระบบวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต้นแบบให้เหมาะสมกับขนาดโรงงานย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ
4. ทดสอบระบบวัด

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวคิดโครงการวิจัย

เฟสที่ 1

แนวคิดของโครงการวิจัยนี้เกิดจากงานวิจัยการศึกษาการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพสองชนิดได้แก่ PLA (Polylactic Acid) และ PBS (Poly Butylene Succinate) ซึ่งกระบวนการเครื่องทดสอบ การทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกใช้เวลานานประมาณ 3 เดือน ในกระบวนการย่อยพลาสติกนั้น ปริมาณพลาสติกที่เกิดการย่อยโดยแบคทีเรียจะแปรผันตรงกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบถังหมัก จากการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวจึงจำเป็นต้องต้องมีเครื่องมือหรือระบบวัดในการตรวจสอบความสำเร็จในการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพภายในถังหมักการดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงระบบการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพที่สร้างในเฟสที่ 1



รูปที่ 1.2 แสดงโรงงานย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพที่ออกแบบและสร้างขึ้น

การทำงานของระบบย่อยพลาสติกชีวภาพแสดงดังรูปที่ 1.1 และ 1.2 ประกอบด้วยหลายส่วนได้แก่

1. ระบบควบคุมไฟฟ้า/ อิเล็กทรอนิกส์

- แผงควบคุมไฟฟ้าโรงงานทำหน้าที่จ่ายระบบไฟฟ้าให้กับโรงงานและระบบควบคุมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดในโรงงาน
- เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิในถังหมักอุณหภูมิให้ได้ 58°C
- เครื่องควบคุมความชื้น ทำหน้าที่คุมการฉีดฉีดสเปรย์น้ำและควบคุมความชื้นในถังหมักให้ได้ 50-55 %RH
- ระบบควบคุมสกรูลำเรียง (Screw Conveyor System) ทำหน้าที่กลับพลิกพลาสติกปุ๋ยหมักในถังหมัก
- ระบบจ่ายอากาศ ทำหน้าที่จ่ายอากาศที่มีออกซิเจนปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์เลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย
- ระบบวัด CO_2 อิเล็กทรอนิกส์ ด้วยเซ็นเซอร์ K30 NDIR (Nondispersive Infrared)

2. ระบบหมักพลาสติกชีวภาพ ทำหน้าที่หมักพลาสติกชีวภาพและปุ๋ยหมักเพื่อให้จุลินทรีย์ในปุ๋ยทำหน้าที่ย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ ประกอบด้วย

- ถังหมักพลาสติกชีวภาพ มีขนาด $3 \times 3 \times 3.5 \text{ m}^3$. ภายในถังหมักสามารถบรรจุปุ๋ยหมักและพลาสติกชีวภาพได้ไม่น้อยกว่า 2 ตัน ในอัตราส่วน ปุ๋ยหมัก:พลาสติกชีวภาพ = 10:1
- สกรูลำเรียง ทำหน้าที่กลับพลิกกองปุ๋ยและพลาสติกชีวภาพมารับออกซิเจนในอากาศเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย

หลักการการทำงานของระบบย่อยพลาสติกชีวภาพ

ขยะพลาสติกชีวภาพโดยทั่วไปที่ถูกทิ้งหลังการใช้งาน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งขนาดของพลาสติกนี้มีผลต่ออัตราเร็วในการย่อยสลายของพลาสติก ยิ่งพลาสติกมีขนาดใหญ่ก็จะยิ่งใช้เวลานานในการย่อยสลายจนหมด ดังนั้น เพื่อเพิ่มอัตราเร็วและประสิทธิภาพของระบบย่อยสลาย พลาสติกจะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงโดยเครื่องบด ทำให้เพิ่มพื้นที่และโอกาสในการย่อยสลายพลาสติกจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินมากขึ้น

เมื่อเริ่มทำการย่อยสลายพลาสติก ระบบควบคุมจะทำงานเพื่อปรับอุณหภูมิ ความชื้น และออกซิเจนตามระดับที่ได้ตั้งค่าไว้ โดยห้องทำความร้อนจะเป็นตัวกำเนิดความร้อนด้วย Heater เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 58°C ภายในถังหมักชีวภาพ ในส่วนของระบบควบคุมความชื้นและออกซิเจนจะสร้างสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จะเข้าสู่ระบบผ่านท่อส่งอากาศรวมกับระบบจ่ายความร้อนที่ห้องทำความร้อน ทั้งความร้อน ความชื้น และออกซิเจนจะถูกส่งผ่านโดย Blower ผ่านห้องทำความร้อนก่อนเข้าไปในถังหมัก ขณะเดียวกันภายในถังหมักจะมีสกรูลำเรียง (Screw Conveyor) ทำหน้าที่ในการกลับพลิกขยะพลาสติกชีวภาพ โดยจะทำงานเป็นช่วงลำเลียงขยะจากด้านล่างถังหมักขึ้นไปเพื่อถ่ายเทความร้อน และสัมผัสออกซิเจนกับความชื้น

ด้านบนของถังหมัก อากาศที่ส่งผ่านโดย Blower เข้าสู่ถังหมักจะถูกดูดกลับผ่านท่อหมุนเวียนลมด้านบนของถัง และกลับเข้าสู่ Blower อีกครั้ง

เฟสที่ 2

จากการทำงานดังกล่าวจะทำให้ระบบควบคุมการหมักสมบูรณ์ การย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจะเกิด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความต้องการระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสิ่งจำเป็นในระบบวัด ระบบวัดก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวมอนิเตอร์ว่าการย่อยสลายของพลาสติกกำลังดำเนินการ หรือเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว โดย งานวิจัยระบบวัดดังกล่าวแสดงรายละเอียดการทำงานดังนี้

Wireless Sensor Network Application for Carbon Dioxide Monitoring

การประยุกต์โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการวัดคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยาการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ

โครงการนี้เป็นการออกแบบเซนเซอร์โนดที่มีการเชื่อมต่อกันแบบไร้สายที่มีการบันทึกข้อมูลและสามารถ นำมาแสดงผลได้ทันทีบนคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน โดยมีการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลในคอมพิวเตอร์มีการ แสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ของปริมาณที่วัดกับเวลา ได้แก่

- ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาเทียบกับเวลา
- ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเทียบกับเวลา
- อัตราการย่อยสลายพลาสติกเทียบกับเวลา

การออกแบบโนดเซนเซอร์ได้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เซ็นเซอร์ Sense Air K30 หรือเซ็นเซอร์ชนิดอื่น ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด AT MEGA 328 โดยมีการเชื่อมต่อแบบ Wifi ด้วยไอซี ESP8266 และได้มีการใช้ NODEMCU ESP8266 V3 เป็นจุดเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างโนดเซ็นเซอร์และคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ด้านวิชาการและการเผยแพร่ สามารถนำผลงานไปเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับชาติหรือระดับนานาชาติและเผยแพร่ผลงานผ่านวารสารวิชาการเพื่อสร้างความมั่นใจต่อผู้บริโภค
2. ด้านนโยบาย ทำให้รัฐสามารถกำหนดนโยบายในการนำผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบมาใช้งานได้เร็วขึ้น เนื่องจากสามารถออกแบบและสร้างได้เองนำมาใช้งานเก็บข้อมูลร่วมกับโรงงานย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในเฟสที่ 1 ได้
3. ด้านเศรษฐกิจ ไม่จำเป็นต้องนำเข้าเทคโนโลยีในการวัดคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยราคาแพงจากต่างประเทศ เป็นการประหยัดงบประมาณของประเทศ
4. ด้านพาณิชย์ ในอนาคตเมื่อประเทศมีการใช้เทคโนโลยีในการกำจัดขยะพลาสติกชีวภาพ จำเป็นต้องใช้ระบบวัดชนิดนี้มอนิเตอร์ถังหมักตลอดเวลาการย่อยสลายพลาสติก จากองค์ความรู้ที่ออกแบบและสร้าง สามารถทำเป็นการค้า และลดต้นทุนการผลิตเมื่อผลิตเป็นจำนวนมาก ทำให้ได้เปรียบในการแข่งขันในเชิงพาณิชย์

5. ด้านสังคมและชุมชน ชุมชนสามารถเข้าใจถึง คุณสมบัติของระบบวัดและความปลอดภัยในการใช้งาน ตลอดจนการนำไปใช้งานโดยไม่ก่อมลภาวะทำให้ชุมชนสามารถนำไปใช้งานได้อย่างทั่วถึงและปลอดภัย

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น เอกสารการจัดการกับขยะมูลฝอยชุมชน [7] การพัฒนาเครื่องทดสอบ

2. วางแผนพัฒนาและสร้างเครื่องวัดพลาสติกชีวภาพต้นแบบ

3. ทดสอบระบบวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4. วิเคราะห์และแปรผลข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่องมือวัดที่ออกแบบขึ้น

5. เผยแพร่ผลงานวิจัยนำเสนองานวิจัยในการประชุมวิชาการระดับชาติและ/หรือตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับชาติหรือระดับนานาชาติ

1.7 ระยะเวลา

ระยะเวลาโครงการ 1 ปี 0 เดือน

วันที่เริ่มต้น 1 ตุลาคม 2560 วันที่สิ้นสุด 30 กันยายน 2561

ตารางที่ 1.1 สถานที่ทำการวิจัย

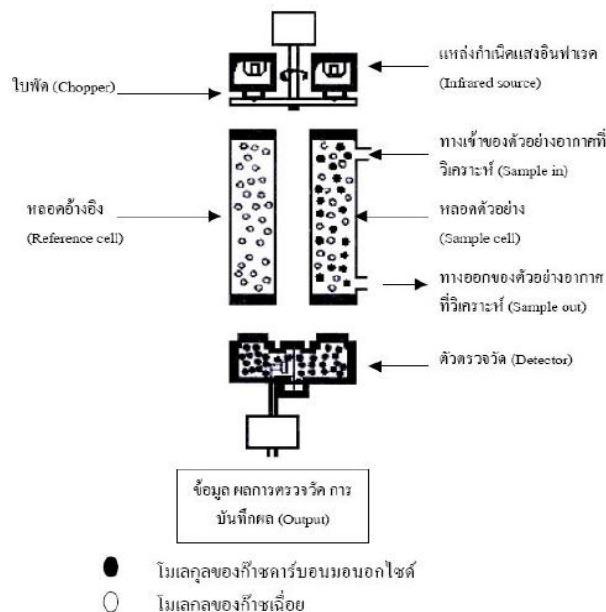
ในประเทศ/ ต่างประเทศ	ชื่อประเทศ/ จังหวัด	พื้นที่ที่ทำวิจัย	ชื่อสถานที่
ในประเทศ	กรุงเทพมหานคร	ห้องปฏิบัติการ	ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ในประเทศ	ชลบุรี	ห้องปฏิบัติการ	คณะวิทยาศาสตร์ ม.บูรพา

บทที่ 2

หลักการทํางานระบบวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบไร้สายด้วยเซ็นเซอร์รังสีอินฟราเรดแบบไม่กระจายแสง

2.1 เซนเซอร์วัดคาร์บอนไดออกไซด์แบบรังสีอินฟราเรดแบบไม่กระจายแสง (Non-Dispersive Infrared; NDIR)

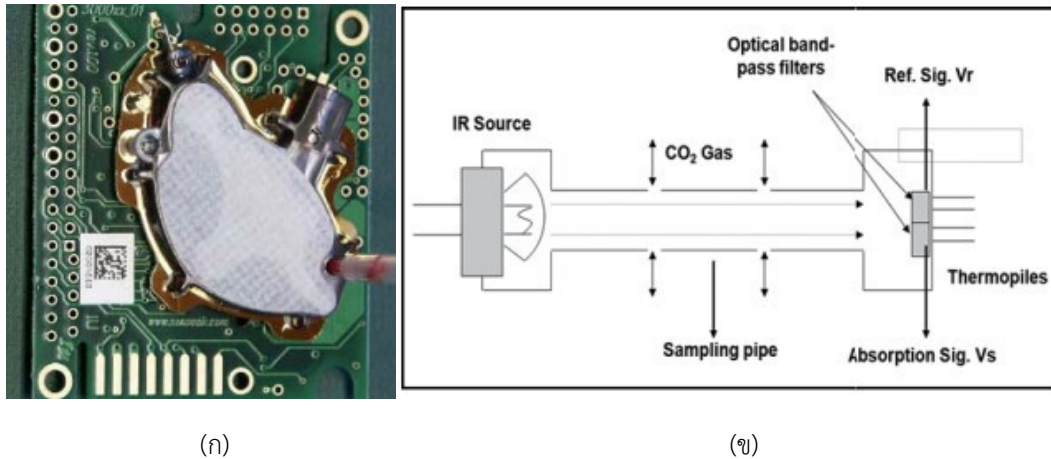
เซนเซอร์ก๊าซเป็นอุปกรณ์จำพวกทรานสดิวเซอร์ชนิดหนึ่ง ใช้สำหรับตรวจจับโมเลกุลของก๊าซ แล้วทำการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าตามคุณสมบัติที่ต้องการตรวจสอบ อุปกรณ์ชิ้นนี้มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ การวัด การดูดกลืนอินฟราเรดและส่วนประมวลผลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากโฟโตเซ็นเซอร์ การตรวจวัดด้วยเครื่องมือระบบ NDIR (Non-dispersive Infrared Analyzer) [8] หลักการทํางานคือ รังสีอินฟราเรดจะถูกดูดกลืนด้วยสารต่างชนิดที่ความยาวคลื่นต่างกัน โดยลักษณะของเครื่องมือวัดจะประกอบด้วยตัวกำเนิดแสงอินฟราเรด 2 ตัว ที่ถูกติดตั้งที่ปลายข้างหนึ่งจะฉายแสงอินฟราเรดผ่านไปยังหลอดก๊าซที่แยกจากกันโดยเด็ดขาด 2 หลอด โดยหลอดแรกจะบรรจุก๊าซเฉื่อยไว้ ซึ่งหลอดนี้จะไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เรียกว่าหลอดอ้างอิง ส่วนหลอดที่สองซึ่งรังสีอินฟราเรดที่ฉายผ่านนั้นจะผ่านอากาศที่มีก๊าซที่ต้องการวัดไหลผ่านหลอดนี้ เรียกว่าหลอดตัวอย่าง หลังจากรังสีอินฟราเรดที่ฉายผ่านทั้ง 2 หลอดแล้วจะผ่านออกไปยังตัวตรวจวัดซึ่งจะติดตั้งที่ปลายแต่ละข้างของหลอด ที่ตัวตรวจวัดนี้จะแบ่งเป็นห้องโดยมีห้องอ้างอิงและห้องตัวอย่างทั้งสองห้องนี้จะเหมือนกันทุกอย่างแต่จะถูกแยกด้วยแผ่นไออะแพรมซึ่งปริมาณรังสีอินฟราเรดที่มาถึงแต่ละห้องจะแตกต่างกัน โดยห้องอ้างอิงจะมีรังสีอินฟราเรดเท่าเดิมเพราะไม่ถูกดูดซับ ส่วนห้องตัวอย่างรังสีอินฟราเรดจะลดลง ซึ่งปริมาณที่ลดลงจะสัมพันธ์โดยตรงกับก๊าซที่ต้องการจะวัด ยิ่งก๊าซมีความเข้มข้นมารังสีอินฟราเรดที่ตรวจวัดก็จะน้อย ทำให้ทราบถึงปริมาณของก๊าซที่อยู่ในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงภาพของระบบตรวจวัดแบบ NDIR

2.2 เซนเซอร์ก๊าซที่ใช้งานคือโมดูลเซนเซอร์ K30

โมดูลเซนเซอร์ K30 เซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบข้อมูลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นการตรวจวัดแบบ NDIR (Non-Dispersive Infrared) ที่มีความแม่นยำ ใช้กำลังไฟต่ำ และส่งข้อมูลได้หลายทาง เช่น แบบอะนาล็อก แบบดิจิตอล แบบยูอาร์ที ทีทีแอล แบบ ไอส์แคร์ซี มีช่วงการวัดสูงสุดคือ 0- 10,000 ppm. พร้อมด้วยขนาดกระทัดรัดและโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) และ (ข)



รูปที่ 2.2 (ก) ตัวตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์คือโมดูลเซนเซอร์ K-30 (K-30 Sensor., 2015)

(ข) โครงสร้างพื้นฐาน NDIR CO₂ เซ็นเซอร์ (Ahn, Gwanghoon.,2009)

หลักการทำงานของ K30 NDIR [9] ตามรูปที่ 2.2 (ข) เป็นการวัดปริมาณความเข้มข้นของ CO₂ โดยมีแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด (IR Infrared Ray) ส่งผ่านไปยังท่อนำแสงโดยมี Optical band pass filter ทำหน้าที่ในการเลือก Wave length ในการวัดของ CO₂ และ Thermopiles ทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงและขยายสัญญาณ CO₂ ที่ทำการวัดดูดกลืนลำแสง IR ที่ Wave length 4.28 μm. เป็นไปตาม Lambert-Beer law

$$I_d/I_o = e^{-\alpha \cdot C \cdot L}$$

เมื่อ I_o คือ ความเข้มของแสงอินฟราเรด w/cm^2

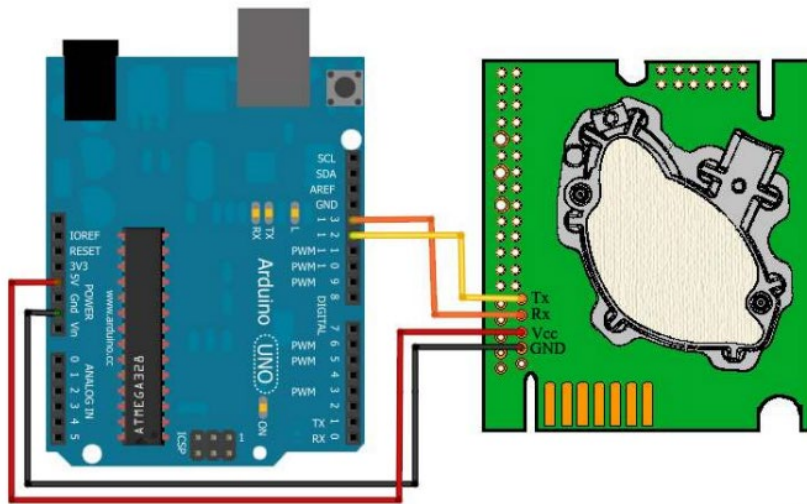
I_d คือ ค่าความเข้มของแสงที่วัดที่เวฟเร้นท์ 4.28 μm.

α คือ สปส. การดูดกลืนพลังงานของ CO₂

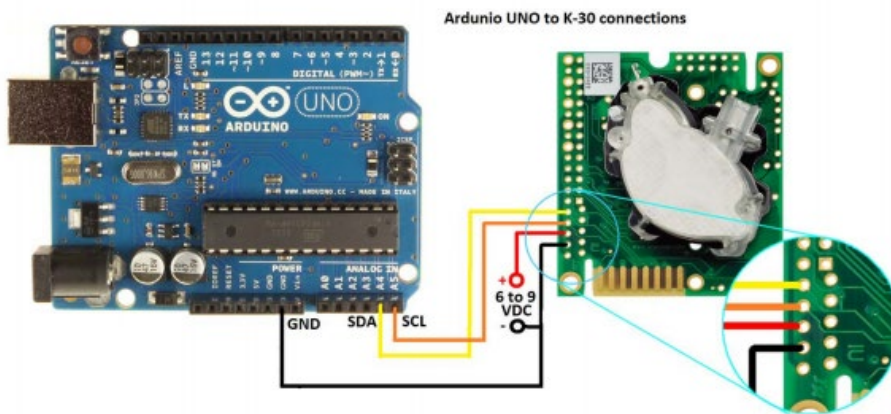
L คือ ระยะทางที่แสงเดินทางจากต้นกำเนิดไปยัง Optical Filter m.

C คือ ค่าเฉลี่ยของ CO₂ เป็น ppm.

สำหรับการใช้งานและการเชื่อมต่อการใช้งานโมดูลเซนเซอร์ K-30 เข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน สามารถเชื่อมต่อผ่านพอร์ตแบบอนุกรมได้แก่ การสื่อสารแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) และไอส์แคร์ซี (I²C) ดังรูปที่ 2.3 และ 2.4



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์ K30 แบบ UART กับบอร์ดอาร์ดูอิโน

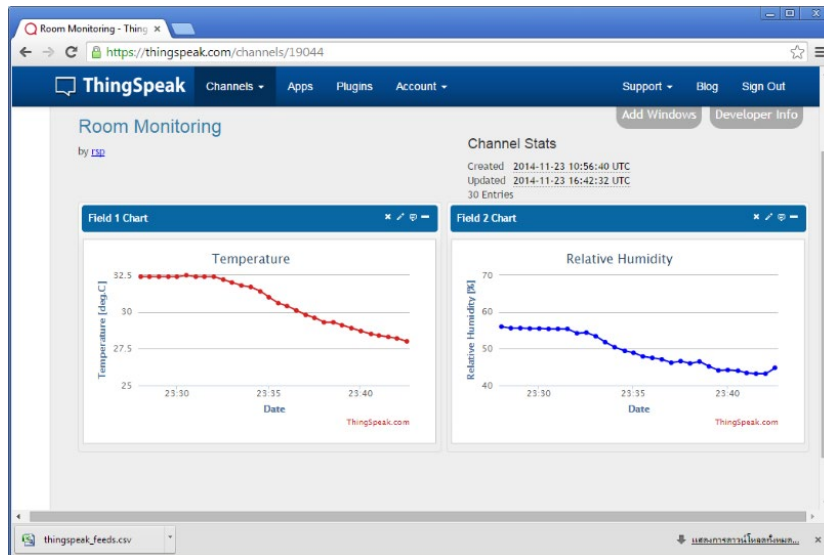


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์ K30 แบบ I²C กับบอร์ดอาร์ดูอิโน

2.3 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things; IoT)

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง หมายถึง การเชื่อมต่อกันของสิ่งของต่างๆเป็นโครงข่าย ซึ่งมีการส่งข้อมูลเพื่อแลกเปลี่ยน ทำการประมวลผล หรือเพื่อควบคุมการทำงานต่างๆ สิ่งของที่กำลังกล่าวถึงนั้น หมายถึง “Things” คือสิ่งของต่างๆ อย่าง ได้แก่ เครื่องใช้สำนักงาน เครื่องมือเครื่องจักรกลการเกษตร เครื่องจักรในโรงงาน อุตสาหกรรม อาคาร บ้านพักอาศัย อุปกรณ์เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันต่างๆ อาทิ นาฬิกา รถยนต์ ตู้เย็น อุปกรณ์เตือนภัย ฯลฯ โดยสิ่งที่กำลังกล่าวถึงนั้นจะมีเซ็นเซอร์ซึ่งทำหน้าที่รับรู้สภาวะแวดล้อมต่างๆ แล้วทำการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายดังกล่าว โดยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง มีส่วนช่วยในหลายด้าน เช่น การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร การดูแลความปลอดภัย การดูแลสุขภาพ การบันทึกเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์หรือการวิจัย เป็นต้น

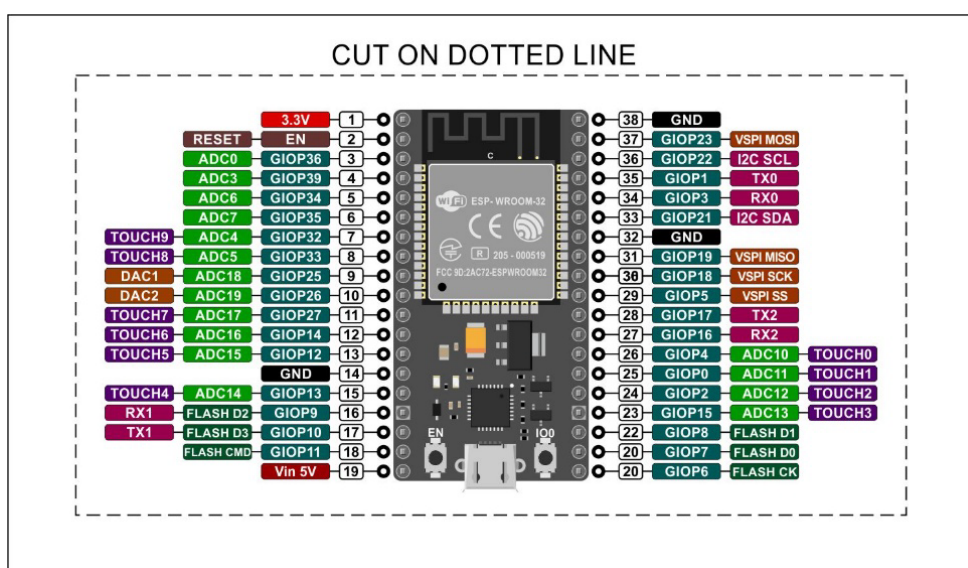
สำหรับการจัดเก็บข้อมูลแสดงผลหรือการวิเคราะห์ข้อมูลในปัจจุบันนั้นได้ใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (Cloud Server) เป็นที่จัดเก็บและอาจมีการประมวลผลบนคลาวด์ (Cloud Computing) ดังรูปที่ 2.5 โดยบริการสาธารณะใช้งานอย่างแพร่หลายเช่น NETPIE ThingSpeak Thingier.io หรือ Google Cloud เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย ThingSpeak [10]

2.4 ไมโครคอมพิวเตอร์ NodeMCU32s

NodeMCU คือ แพลตฟอร์มหนึ่งที่ใช้ช่วยในการสร้างโปรเจกต์ Internet of Things (IoT) ที่ประกอบไปด้วย Development Kit (ตัวบอร์ด) และ Firmware (Software บนบอร์ด) ดังรูป 2.6 ที่เป็น open source สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี Lau หรือไพธอน ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์มาพร้อมกับโมดูล WiFi และบลูทูธ ที่รองรับการใช้งานได้หลากหลายรูปแบบทั้ง Client, Access Point และ Client+AP ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการใช้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต สามารถเขียนโปรแกรมคอนโทรลอุปกรณ์ผ่านพอร์ตอินพุตเอาต์พุต การแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัลหรือการสื่อสารแบบอนุกรม เช่น UART I²C และ SPI ได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์อื่นๆ และสามารถทำอะไรได้หลายอย่างมากโดยเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

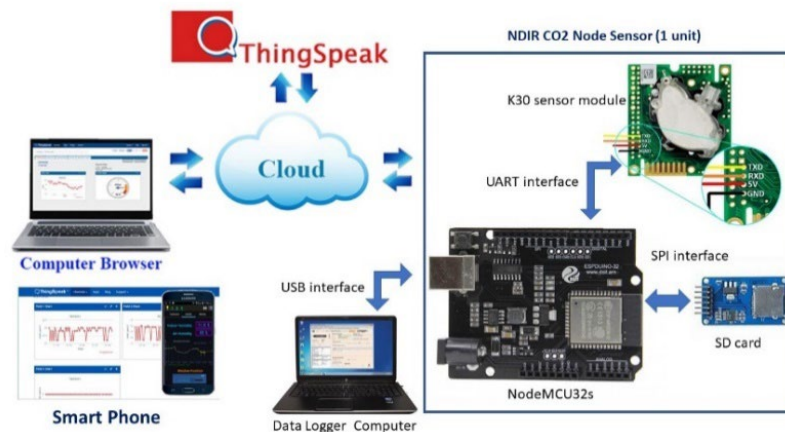


รูปที่ 2.6 พอร์ตต่างๆของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU32s [11]

[<http://forum.fritzing.org/t/esp32s-hiletgo-dev-board-with-pinout-template/5357>]

2.5 ระบบวัดความเข้มข้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เชื่อมต่อแบบไร้สาย

ระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นได้ทำการสร้างเป็นโนตเซ็นเซอร์สำหรับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในสรรพสิ่ง โดยโนตเซ็นเซอร์ของระบบวัดแบบไร้สายมีการใช้โมดูลเซ็นเซอร์ K-30 ของบริษัท **Sense Air** ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้เทคนิคการวัดปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์แบบรังสีอินฟราเรดแบบไม่กระจายแสงในอากาศที่ภายในมีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานและประมวลผลและส่งค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศซึ่งมีย่านวัดอยู่ในช่วง 0 ถึง 10,000 ppm. และมีการเชื่อมต่อแบบพอร์ตอนุกรม UART กับไมโครคอนโทรลเลอร์ **NodeMCU32s** ที่จะสามารถควบคุมการวัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ แบบเรียลไทม์หรือแบบตั้งค่าเวลาจับเก็บข้อมูลและไมโครคอนโทรลเลอร์ **NodeMCU32s** มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยไวไฟเพื่อจัดเก็บข้อมูลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ **ThingSpeak** ซึ่งสามารถดูผลของข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเว็บเบราว์เซอร์ อีกทั้งระบบวัดนี้ยังสามารถทำงานแบบ Standalone โดยมีการบันทึกผลข้อมูลลงบนแผ่นเอสดี (SD card) และเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์โดยตรงผ่านสายยูเอสบี(USB cable) ดังแสดงในรูปที่ 2.7

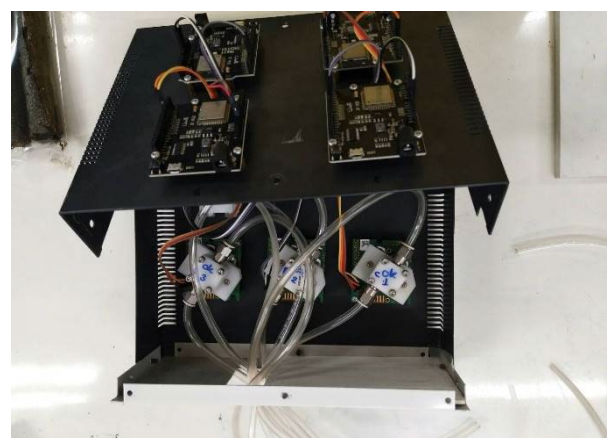


รูปที่ 2.7 การสื่อสารระหว่างโนตเซ็นเซอร์ ThingSpeak cloud และเว็บเบราว์เซอร์บนคอมพิวเตอร์

ในโครงการนี้ได้ออกแบบและสร้างโนตเซ็นเซอร์สำหรับการวัดและวิเคราะห์การย่อยสลายไว้อัจฉริยะจำนวน 4 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 2.8



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.8 (ก) โนตเซ็นเซอร์ 4 ชุด (ข) โมดูลเซ็นเซอร์ K-30 ภายในกล่อง

การออกแบบซอฟต์แวร์ได้ของโนตเซนเซอร์ไร้สาย ได้ทำการโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU32s ที่มีหลักการทำงานได้แก่ การขอเชื่อมต่อไวไฟ การควบคุมการทำงานของโมดูลเซนเซอร์ K30 การกำหนดวิธีการสื่อสารข้อมูลความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์กับคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ และการส่งค่าข้อมูลร้อยละของการย่อยสลายโดยมีสูตรการคำนวณคือ

$$\text{Biodegradation\%} = \frac{[\Sigma(\text{CO}_2)_T - \Sigma(\text{CO}_2)_B]}{\text{ThCO}_2} \times 100$$

เมื่อ $\Sigma(\text{CO}_2)_T$ คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากการเกิดการย่อยสลาย

$\Sigma(\text{CO}_2)_B$ คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากแบคทีเรีย

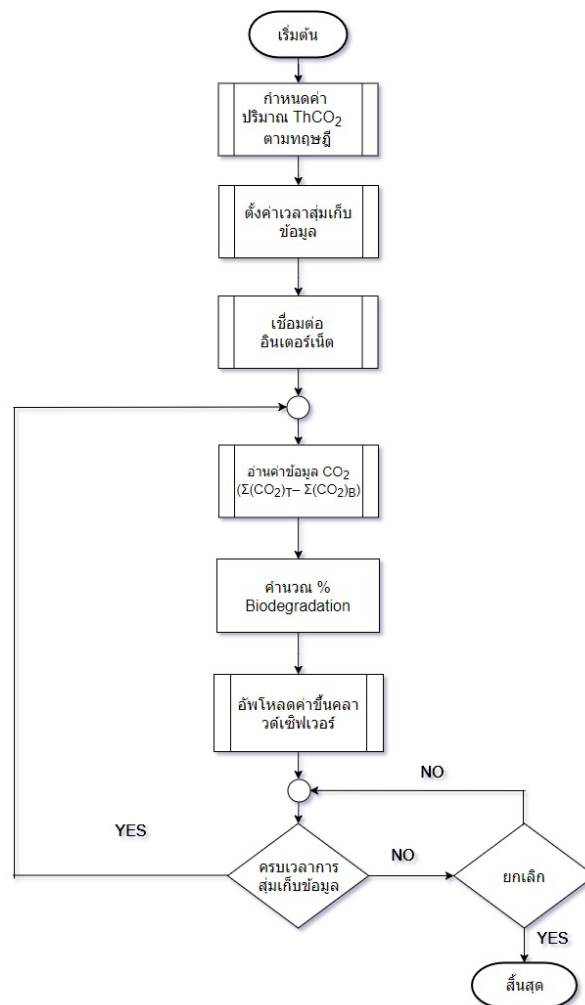
ThCO_2 คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการย่อยสลายตามทฤษฎี

การแปลงหน่วยการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศทำได้ดังนี้

$(\text{ppm}) = 24.45 (\text{mg}/\text{m}^3) / \text{molecular weight}$ หรือ $(\text{mg}/\text{m}^3) = 0.409 (\text{ppm}) \times \text{molecular weight}$

(อ้างอิง <https://www.stou.ac.th/Schools/Shs/booklet/book542/sanitation.html>)

ในการทำงานของโปรแกรมมีผังการทำงานดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ผังการทำงานของโปรแกรมโนตเซนเซอร์

ในการการทำงานของโปรแกรมของโนดเซ็นเซอร์เริ่มจากการกำหนดค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ตามทฤษฎีที่ได้จากการย่อยสลายพลาสติกโดยสมบูรณ์โดยคิดจากน้ำหนักและชนิดของพลาสติกนั้น จากนั้นทำการเชื่อมต่อโนดเซ็นเซอร์เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เมื่อการเชื่อมต่อเครือข่ายเสร็จสิ้นแล้วจึงเริ่มกระบวนการวัดค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากโนดเซ็นเซอร์แล้วนำมาคำนวณหาค่าร้อยละของการย่อยสลายพลาสติกแล้วทำการรวมวัดค่าข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์จนสิ้นสุดกระบวนการ โดยมีผังการทำงานดังรูปที่ 2.9

2.6 การทดสอบ

การทำการทดสอบระบบวัดความเข้มข้นของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เชื่อมต่อแบบไร้สายได้แบ่งการทดสอบเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบแรกคือการทดสอบการวัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการเลือกการวัดแบบ Standalone และแบบที่สองคือการทดสอบการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานต้นแบบย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพโดยมีการแสดงผลบนคลาวด์

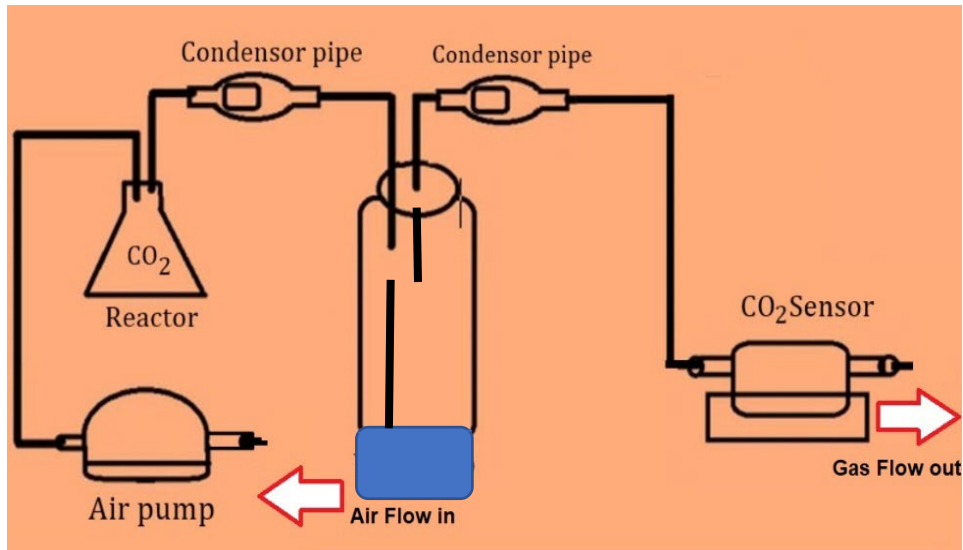
การทดสอบการวัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์ของโนดเซ็นเซอร์ที่ทำการเลือกการวัดแบบ Standalone เพื่อตรวจสอบจำลองการวัดคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตกับกรดไฮโดรคลอริกเพื่อทดสอบการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเปรียบเทียบกับค่าตามทฤษฎี โดยปฏิกิริยาเตรียมจากแคลเซียมคาร์บอเนตจำนวนครึ่งละ 0.5 กรัมกับกรดไฮโดรคลอริกปริมาตร 5 มิลลิลิตรที่มีความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 0.25, 0.5 และ 1 โมลาร์ ตามลำดับ โดยทำการวัดปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิที่ได้จากปฏิกิริยาแต่ละความเข้มข้นของกรดอย่างละ 3 ครั้ง แล้วทำการคำนวณหาค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎี โดยค่าดังกล่าวเป็นการจำลองเสมือนค่าที่ได้จากร้อยละของการย่อยสลาย ซึ่งมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\%CO_2 = \frac{0.0409 \times 44.01 \times \sum[(ppm \text{ of } CO_2)_T - (ppm \text{ of } CO_2)_B] \times gas \text{ volume}}{TH \text{ } CO_2 \text{ (mg)}} \times 100$$

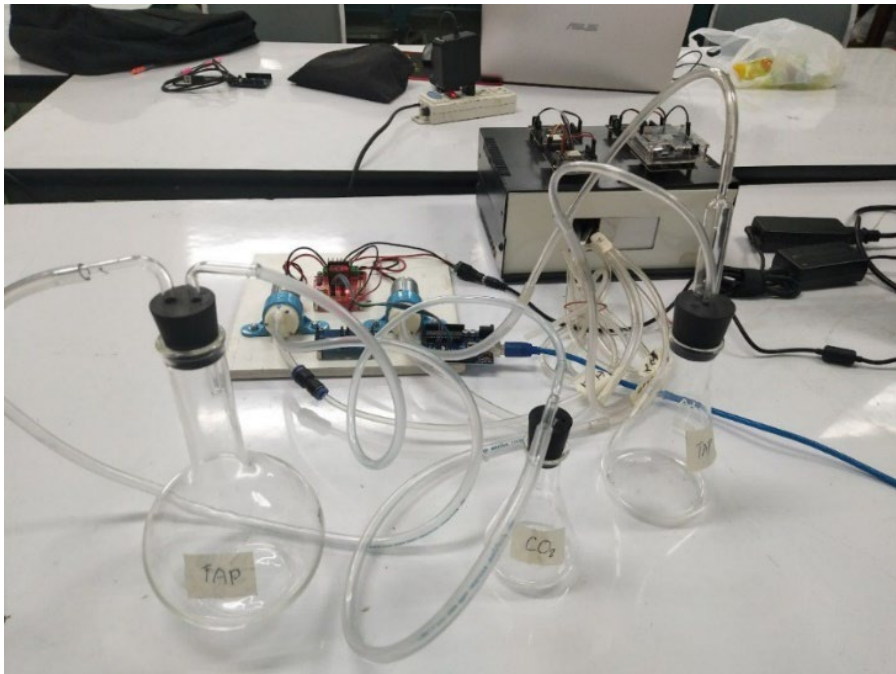
โดยที่ $(ppm \text{ of } CO_2)_T$	คือ ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยา หน่วย ppm.
$(ppm \text{ of } CO_2)_B$	คือ ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากอากาศปกติ หน่วย ppm.
$TH \text{ } CO_2 \text{ (mg)}$	คือ ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี หน่วย มิลลิกรัม (mg)
$\%CO_2$	คือ ปริมาณร้อยละของคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาเปรียบเทียบกับค่าตามทฤษฎี

สำหรับการจัดเตรียมชุดทดลองได้ทำการเชื่อมต่อท่อนำก๊าซจากขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิตรที่เป็นภาชนะในการเกิดปฏิกิริยาเคมีเข้ากับขวดเปล่าขนาด 500 มิลลิตรที่ใช้เป็นส่วนการดักจับความชื้นจากนั้นเชื่อมต่อท่อนำก๊าซไปยังระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์ โดยในระบบทั้งหมดมีปั๊มอากาศเป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของก๊าซซึ่งมีการต่อชุดทดสอบดังรูปที่ 2.10ก. และ 2.10ข. โดยในการวัดค่าข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์จะทำการวัดในขณะที่ไม่

มีการใส่สารเคมีค่าที่ได้จะเป็นค่าการวัดคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศปกติ (Background) และวัดในขณะที่เกิดปฏิกิริยาเคมีจนสิ้นสุด โดยการวัดแต่ละครั้งมีการสุ่มเก็บข้อมูลทุก 6 วินาที เก็บเป็นเวลา 6 นาที

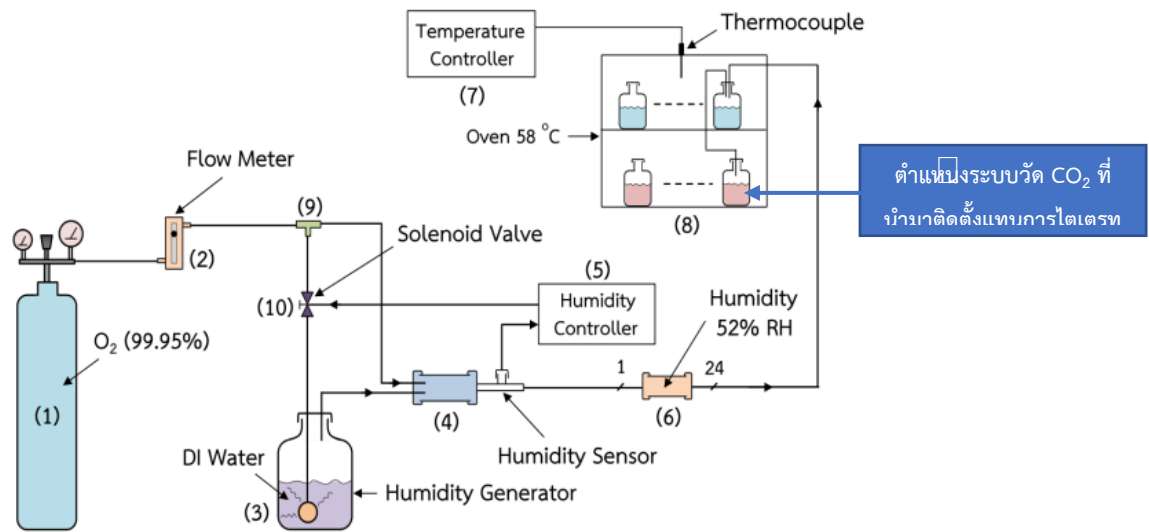


รูปที่ 2.10ก. ไดอะแกรมการจัดเตรียมการทดสอบระบบการทดสอบการของโนดเซนเซอร์
ไร้สายวัดคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.10ข. การต่ออุปกรณ์การทดสอบการวัดคาร์บอนไดออกไซด์ของโนดเซนเซอร์ไร้สาย

การนำระบบวัด CO₂ ที่ออกแบบและสร้างมาติดตั้งกับเครื่องทดสอบพลาสติกชีวภาพ



รูปที่ 2.11 รูปแสดงการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องทดสอบพลาสติกชีวภาพ

หลักการทำงานของเครื่องทดสอบ

ถังออกซิเจน(1) จะทำหน้าที่จ่ายแก๊สให้กับระบบทดสอบพลาสติกโดยผ่านฟลว์มิเตอร์(2) แยกออกเป็นสองทาง โดยผ่านอุปกรณ์สามทาง(9) แยกแก๊สออกเป็นสองทาง โดยทางแรกแก๊สจะไหลไปที่หัวทรายเพื่อสร้างความชื้นซึ่งบรรจุในขวดกำเนิดความชื้น(3) แก๊สที่ไหลผ่านหัวทรายที่จุ่มในน้ำดีไอออนไนท์ (Deionized Water) จะเกิดฟองซึ่งกำเนิดความชื้นผ่านท่อ นำแก๊สเข้าไปสู่กระบอกผสมแก๊ส(4) ในขณะเดียวกันทางเดินแก๊สออกซิเจนที่สองไหลเข้ากระบอกผสมแก๊ส(4) ผสมกับความชื้นเพื่อให้ได้ 52%RH ผ่านการควบคุมจากเครื่องควบคุมความชื้น (Humidity Controller) (5) ซึ่งวัดความชื้นโดยหัววัดความชื้น (Humidity Sensor) แก๊สออกซิเจนและความชื้นที่ผสมกันจะไหลผ่านท่อเข้าสู่กระบอกกระจายแก๊ส(6) แยกเป็น 24 ท่อเข้าสู่ขวดทดสอบพลาสติกตัวอย่าง 24 ขวด ขวดตัวอย่างดังกล่าวจะถูกควบคุมอุณหภูมิที่ 58 °C ภายในกล่องควบคุมอุณหภูมิ(8) โดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)(7) จากการที่แก๊สออกซิเจนและความชื้นที่ผสมกัน 52%RH จะถูกนำไปเลี้ยงไปในขวดบรรจุตัวอย่างเพื่อย่อยพลาสติก การย่อยสลายของพลาสติกจะเกิดก๊าซ CO₂ ซึ่งปริมาณ CO₂ จะถูกดักจับโดย NaOH เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ CO₂ โดยวิธีทางเคมี จากระบบดังกล่าวสามารถนำมาสร้างเป็นเครื่องทดสอบดังรูปที่ 2.12

อนึ่งจากการออกแบบระบบวัด CO₂ สามารถนำเอาระบบวัดนี้มาติดตั้งเพื่อการทดสอบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพแทนระบบไโคเรทเพิ่มเติมตามไดอะแกรม ดังรูปที่ 2.11 และนำไปติดตั้งทดสอบระบบวัดจริงดังรูปที่ 2.13 (ก)

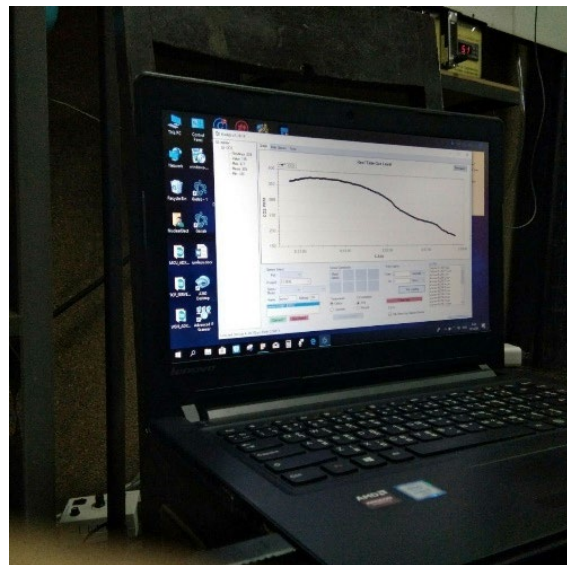


รูปที่ 2.12 เครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อการทดสอบพลาสติกชีวภาพ

การทดสอบการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากเครื่องทดสอบต้นแบบย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพโดยมีการแสดงผลบนคลาวด์ ได้ทำการติดตั้งส่วนปลายของท่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 3 ท่อจากเครื่องทดสอบการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ ได้แก่ ท่อของขวดที่มีการย่อยสลายเซลลูโลส ท่อของขวดที่มีการย่อยสลาย PLA และท่อของขวดเปล่า ดังรูปที่ 2.14



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.13 (ก) โน้ตบุ๊ก 3 ชุด ทดสอบการติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ

(ข) ตัวอย่างข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์ที่จัดเก็บได้

การทดสอบการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ในเบื้องต้นได้นำเอาระบบวัดไปติดตั้งกับเครื่องย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ จากเครื่องวัดที่ออกแบบและสร้างขึ้นวัตถุประสงค์ต้องการนำเอาระบบวัดไปใช้กับเครื่องทดสอบการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ โดย

โนดเซ็นเซอร์ ชุดที่ 1 ต่อเข้ากับท่ออากาศที่ออกมาจากขวดตัวอย่างเซลลูโลส

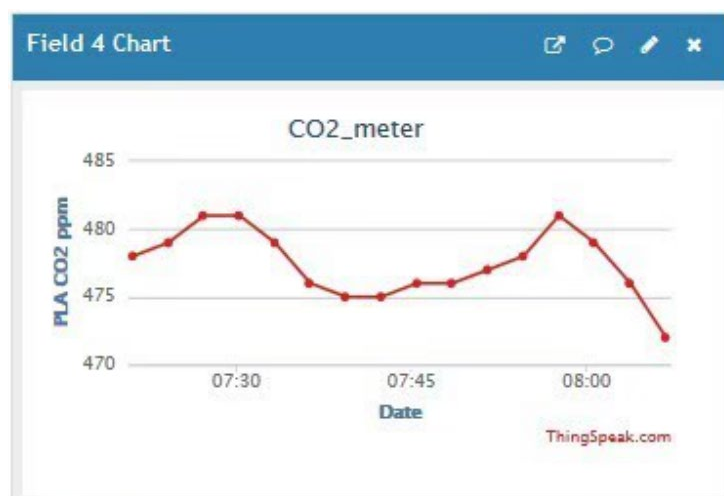
โนดเซ็นเซอร์ ชุดที่ 2 ต่อเข้ากับท่ออากาศที่ออกมาจากขวดตัวอย่างพลาสติกชีวภาพ PLA

โนดเซ็นเซอร์ ชุดที่ 3 ต่อเข้ากับท่ออากาศที่ออกมาจากขวดเปล่า

การทดสอบนี้ได้มีการเก็บผลข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์ทุกๆ 3 นาที จากการทดสอบได้นำเอาข้อมูลจากทั้ง 3 โนดเซ็นเซอร์ที่จัดเก็บและแสดงผลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของ ThingSpeak และมีการวิเคราะห์ผลร้อยละของการย่อยสลายของการทดสอบ ดังรูปที่ 2.14



(ก) รูปกราฟแสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากขวดเซลลูโลส ของโนดเซ็นเซอร์ ชุดที่ 1



(ข) รูปกราฟแสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จากขวด PLA ของโนดเซ็นเซอร์ ชุดที่ 2



(ค) รูปกราฟแสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดจากขวดเปล่าเทียบ ของโนดเซ็นเซอร์ ชุดที่ 3

รูปที่ 2.14 ข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์จากโนดเซ็นเซอร์ไร้สายที่จัดเก็บบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ThingSpeak

คุณสมบัติของระบบวัด CO₂ จากการออกแบบ

1. ระบบวัดใช้ Sensor CO₂ แบบ NDIR เป็นตัววัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพในย่านการวัด 0 - 10,000 ppm ประมวลผลการวัดทุก 2 วินาที
 2. ระบบวัดที่ออกแบบและสร้างทำงานได้ 2 แบบ คือแบบ Standalone และแบบ Online
 3. ระบบวัดแบบ Standalone มีการเชื่อมต่อผ่าน PC และสามารถจัดเก็บผลข้อมูลบน SD card โดยระบบนี้ใช้ LabVIEW เก็บ
 4. ระบบวัดแบบ Online มีการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายจึงสามารถขยาย Node Sensor ได้หลายชุด และมีการจัดเก็บและนำไปแสดงผลบนคลาวด์ ซึ่งสามารถดาวน์โหลดและจัดเก็บข้อมูลภายหลังได้
- สรุป ระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกแบบสามารถวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แสดงผลผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือสมาร์ทโฟน
5. ในการแสดงผลสามารถแสดงผลปริมาณ CO₂ ได้ข้อมูลแบบเวลาจริงและเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของปฏิกิริยาที่ได้จากการวัด CO₂

คุณสมบัติของระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์ ตามการออกแบบ โดยสร้างโนดเซ็นเซอร์ให้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต Online เป็น IOT Platform บันทึกผลและแสดงผลบน Cloud สามารถเพิ่มโนดได้มากกว่า 8 โหนด และยังสามารถทำงานแบบ Standalone จัดเก็บข้อมูลบน SD card เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB (ในการจัดเก็บ Online เวลาจัดเก็บข้อมูลแต่ละครั้งสั้นสุดคือ 15 วินาที ส่วนแบบ Standalone สั้นสุดคือ 2 วินาที ตามเงื่อนไขประมวลผลของเซ็นเซอร์)

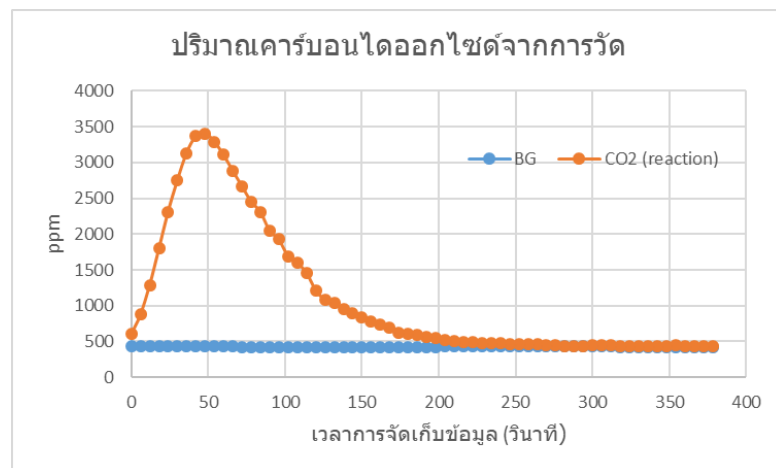
บทที่ 3

ผลการทดสอบ

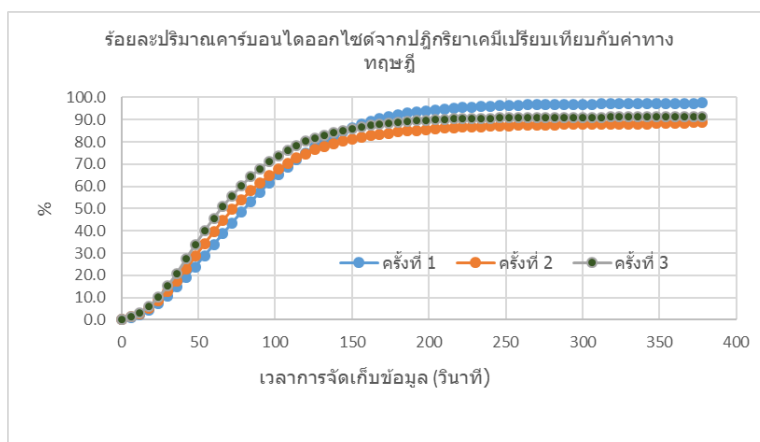
3.1 การพัฒนาระบบวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบไร้สายด้วยเซ็นเซอร์รังสีอินฟราเรดแบบไม่กระจายแสง

การทดสอบการวัดคาร์บอนไดออกไซด์ของโนดเซนเซอร์ไร้สายแบบ Standalone ของโมดูลเซนเซอร์ K-30 สำหรับการวัดค่าคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนตกับกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 1 โมลาร์ เพื่อหาค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎี ได้ผลดังนี้

ผลการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต 0.5 มิลลิกรัมกับกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ 0.5 มิลลิลิตร เก็บข้อมูลทุก 6 วินาทีเป็นเวลา 6 นาที ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

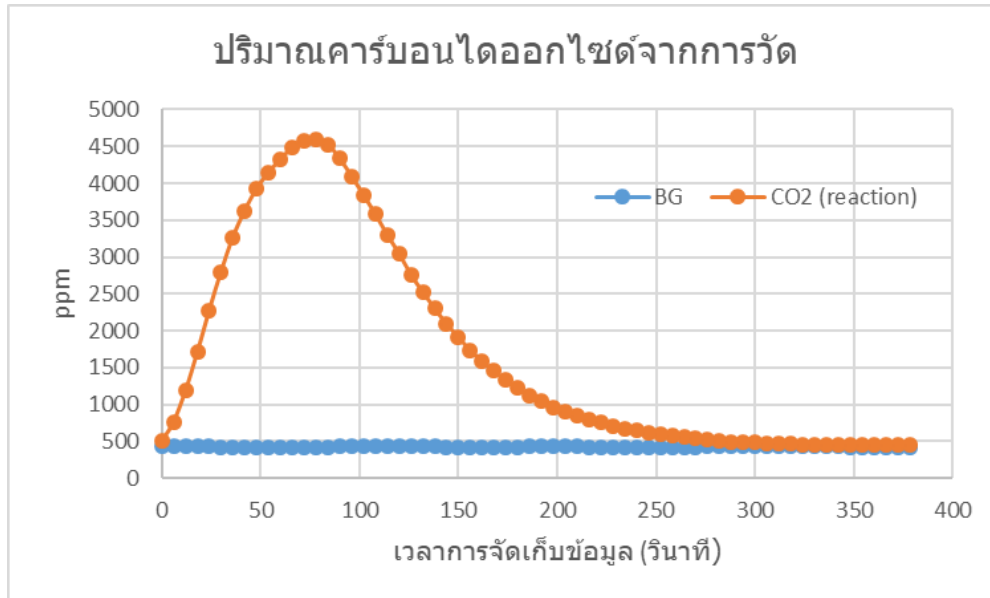


รูปที่ 3.1 ผลการเก็บค่าข้อมูลจากระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาของกรดความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ และค่า Background

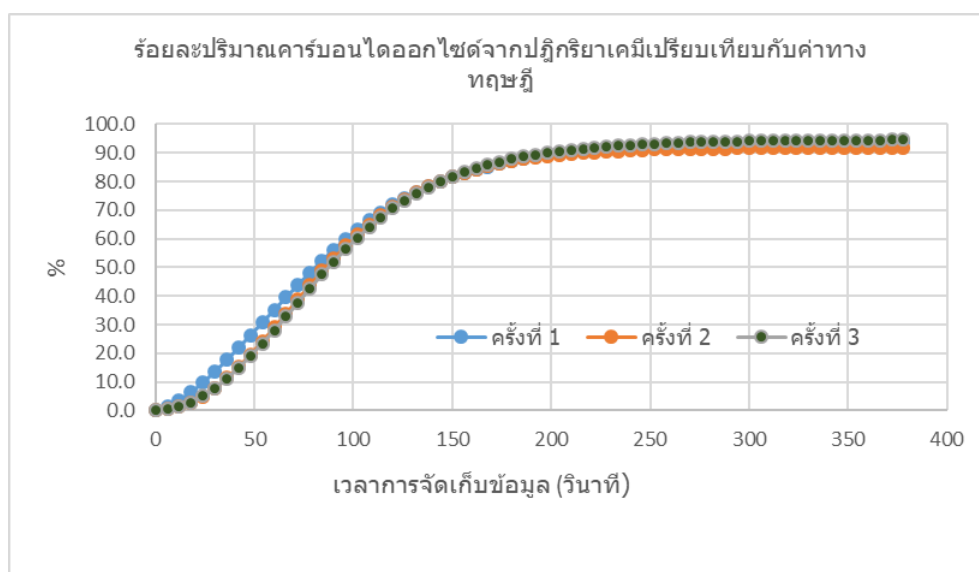


รูปที่ 3.2 ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎีจากปฏิกิริยาของกรดความเข้มข้น 0.25 โมลาร์

ผลการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต 0.5 มิลลิกรัมกับกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ 0.5 มิลลิลิตร เก็บข้อมูลทุก 6 วินาทีเป็นเวลา 6 นาที ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

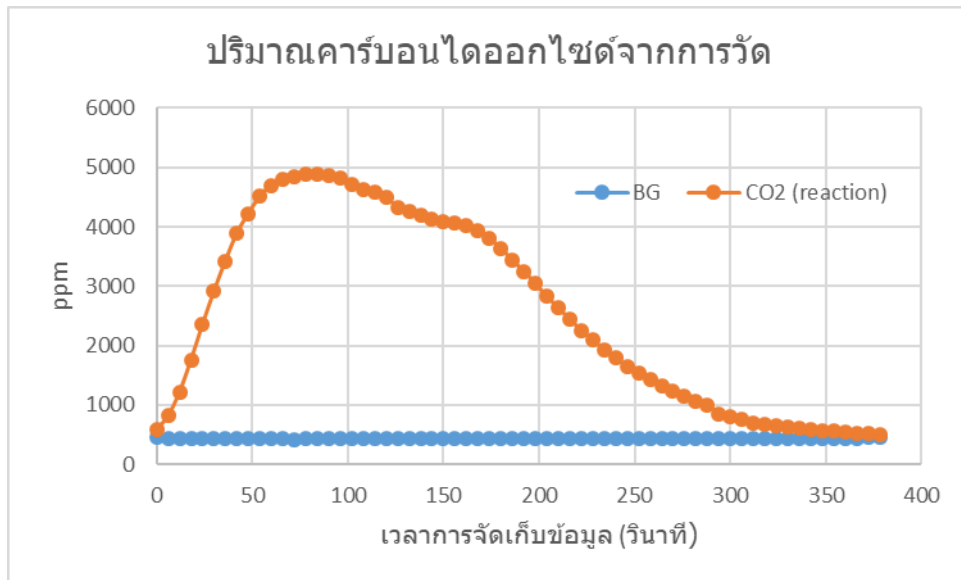


รูปที่ 3.2 ผลการเก็บค่าข้อมูลจากระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาของกรดความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ และค่า Background

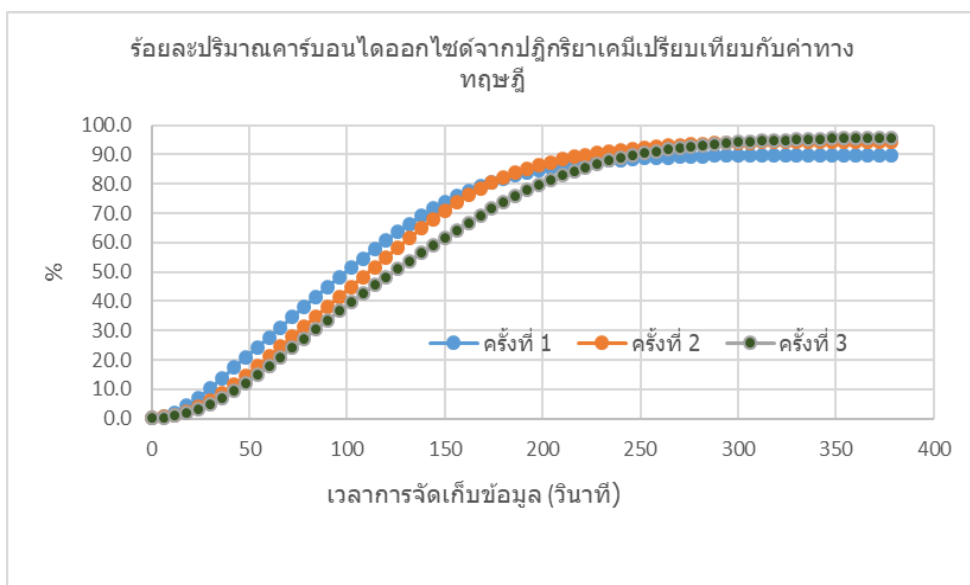


รูปที่ 3.3 ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎีจากปฏิกิริยาของกรดความเข้มข้น 0.5 โมลาร์

ผลการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต 0.5 มิลลิกรัมกับกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ 0.5 มิลลิลิตร เก็บข้อมูลทุก 6 วินาทีเป็นเวลา 6 นาที ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง



รูปที่ 3.4 ผลการเก็บค่าข้อมูลจากระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาของกรดความเข้มข้น 1 โมลาร์ และค่า Background



รูปที่ 3.5 ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎีจากปฏิกิริยาของกรดความเข้มข้น 0.5 โมลาร์

ตารางที่ 3.1 ค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎีจากปฏิกิริยาของกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 1 โมลาร์ เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุด

ความเข้มข้น [HCL]	การทดลองครั้งที่ 1 (%)	การทดลองครั้งที่ 2 (%)	การทดลองครั้งที่ 3 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
0.25 M	97.5	88.8	91.5	92.6
0.5 M	94.0	91.8	94.6	93.5
1 M	89.9	94.6	95.8	94.5

ตารางที่ 3.2 เวลาสิ้นสุดของการวัดการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ของปฏิกิริยาที่ใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 1 โมลาร์

ความเข้มข้น [HCL]	การทดลองครั้งที่ 1 (วินาที)	การทดลองครั้งที่ 2 (วินาที)	การทดลองครั้งที่ 3 (วินาที)	ค่าเฉลี่ย (วินาที)	ความคลาดเคลื่อน
0.25M	240	234	198	224	11.6%
0.5M	240	216	240	232	6.9%
1M	243	258	288	263	9.5%

บทที่ 4

สรุปผลงานวิจัยตลอดโครงการ

จากผลการทดสอบการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมคาร์บอเนต 0.5 มิลลิกรัมกับกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.25, 0.5 และ 1 โมลาร์ ที่ปริมาตรอย่างละ 0.5 มิลลิลิตร พบว่าค่าร้อยละของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาเทียบกับค่าตามทฤษฎีเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.6%, 93.5% และ 93.4% ตามลำดับและมีช่วงเวลาเฉลี่ยสิ้นสุดการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ของปฏิกิริยาเท่ากับ 224, 232 และ 263 วินาที ตามลำดับ ค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของระบบวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบไร้สายด้วยเซ็นเซอร์รังสีอินฟราเรดแบบไม่กระจายแสงว่าสามารถนำไปใช้ในการวัดค่าร้อยละการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพได้

4.1 ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ

1. เซ็นเซอร์ NDIR K30 ตามเสปคต้องใช้งานที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0-95% [12] (ตามเอกสารจาก Data sheet ในภาคผนวก) แต่พบว่าถึงแม้ความชื้นที่จ่ายให้ระบบ 50-55%RH. จะอยู่ในข้อกำหนดในการทำงานของตัวเซ็นเซอร์ แต่พบว่าความชื้นเกิดกลั่นตัวเป็นหยดน้ำไปปรกนระบบวัด ซึ่งในการทดสอบในแลปที่วัดจากปฏิกิริยาจึงไม่เกิดปัญหา แต่ไม่สามารถนำมาใช้กับเครื่องทดสอบการย่อยสลายได้ ปัญหาดังกล่าวต้องสร้างระบบกำจัดความชื้นก่อนนำเอาคาร์บอนไดออกไซด์ไปวัดในระบบ

2. อุณหภูมิ[12]ในการย่อยพลาสติกชีวภาพในตูบ ที่ 58 °C ท่อนำก๊าซ CO₂ ซึ่งนำก๊าซมาสู่ระบบวัดที่อุณหภูมิห้อง 30 °C ทำให้ก๊าซควบแน่นเป็นหยดน้ำทำให้เกิดปัญหาในการวัดผิดพลาดดังกล่าวมาแล้ว

3. การแสดงผลเปอร์เซ็นต์การย่อย %Biodegrade เป็นการคำนวณเอา mg. ของ CO₂ จากการวัด มาเปรียบเทียบกับ CO₂ จากทฤษฎี (คือ CO₂ ที่ย่อยหมด) แต่ในกระบวนการวัดของเซ็นเซอร์ค่าที่ได้คือ ppm. CO₂ (1 ppm. = ปริมาตร CO₂ 1 cc. ในปริมาตรอากาศ 1,000,000 cc.)

<https://www.stou.ac.th/Schools/Shs/booklet/book542/sanitation.html>) ซึ่งต้องหาวิธีการ แปลงหน่วย โดยในที่นี้ การแปลงหน่วยที่ถูกต้อง ต้องหา Flowrate ของอากาศที่ถูกต้องแต่เนื่องจาก Flowrate ค่าจึงไม่สามารถวัดได้ซึ่งแนวทางที่ทำได้คือ วัดข้อมูลจากการย่อยจริงของ เซลลูโลส เปรียบเทียบกับการย่อยจริงของ PLA แล้วนำเอาข้อมูลสร้างสูตรคำนวณพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์

เป้าหมายหลักของโครงการวิจัยทั้งสองเฟสคือการสร้างโรงงานย่อยผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพขนาดหมู่บ้านขนาดเล็กตามรูปที่ 1.1และ1.2 ซึ่งสำเร็จไปด้วยดี และระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งยังต้องมีการปรับปรุงให้ระบบวัดมีการวัดที่เสถียรขึ้นดังกล่าวมาแล้ว เนื่องจากงานวิจัยในเฟสที่สองยังมีปัญหาของระบบวัดคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งการวัดยังไม่ดีนัก ทางคณะผู้วิจัยได้วางแผนในการวัด CO₂ ด้วยวิธีการไตรเตรททางเคมี ทดแทน หรือใช้สารเคมีดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งนำหน้าหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยของพลาสติกชีวภาพ

อนึ่งถึงแม้งานวิจัยในเฟสที่สองนี้จะหมดเวลาในการดำเนินการตามโครงการแล้วก็ตาม ผู้วิจัยในฐานะหัวหน้าโครงการยังคงดำเนินการงานวิจัยต่อไป โดยงานส่วนที่เหลือคงเป็นการเตรียมการในการหมักปุ๋ยประมาณ 1 ตัน (อยู่ในระหว่างดำเนินการ) ให้เกิดเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งมีคุณสมบัติในการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ (PLA Polylactic acid) ที่เตรียมไว้ประมาณ 60 กก. การหมักปุ๋ยนี้จะใช้วัสดุภายในท้องถิ่นและใช้เวลาประมาณ 2- 4 เดือน เพื่อให้ปุ๋ยและเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยมีปริมาณมากพอที่จะย่อยพลาสติกชีวภาพได้ เมื่อกระบวนการหมักปุ๋ยสำเร็จ ปุ๋ยหมักจะผ่านกระบวนการตรวจสอบโดยวิธีมาตรฐาน และนำไปหมักร่วมกับ PLA สู่กระบวนการทดสอบโดยเครื่องทดสอบการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ เพื่อให้มั่นใจว่าปุ๋ยหมักนี้มีคุณสมบัติในการย่อยพลาสติกชีวภาพได้ หลังจากนั้นจะเป็นกระบวนการทดสอบในขั้นสุดท้าย โดยในการทดสอบเป็นการนำเอาปุ๋ยหมักที่เตรียมไว้ดังกล่าวผสมหมักรวมกับพลาสติกชีวภาพ PLA ใส่ในไบโอรีแอคเตอร์ของโรงงานย่อยพลาสติกชีวภาพดังรูปที่ 1.2 เดินเครื่องให้ได้สภาวะควบคุม ตามต้องการได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น และอากาศ กลับพลิกให้กองปุ๋ยหมักพลาสติกชีวภาพภายในรีแอคเตอร์ โดยคาดหวังว่าโรงงานนี้จะเป็นโรงงานต้นแบบในการย่อยพลาสติกชีวภาพสำหรับโรงงานอื่นในอนาคต

เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

- [1] วิรัตน์ วาณิชศรีรัตน การพัฒนาระบบและการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพเบื้องต้นสำหรับอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพมาตรฐาน ISO 14855-2, 2554
- [2] รายงานสถานการณ์พลาสติกชีวภาพโลกปี 2560 กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ กองอุตสาหกรรม อ้อยน้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม <http://www.ocsb.go.th/upload/bioindustry/fileupload/9661-7153.pdf>
- [3] ประกิต สุขไย และวรวุฒิ ระกิติ คู่มือการจัดตั้งห้องปฏิบัติการย่อยสลายทางชีวภาพ สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ 2554
- [4] บัญชา อุณพานิช การพัฒนาระบบทดสอบการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ การประชุมวิชาการสายสนับสนุนในสถาบันอุดมศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 9 จ. สุรินทร์ 2560
- [5] ISO 14855-1:2005(E) Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions-Method by analysis of evolved carbon dioxide
- [6] D. Garcia-Romeo, H. Fuentes, N. Mwdrano, B. Calvo, P.A. Martinez, C. Azonz, A NDIR-based CO₂ Monitor System for Wireless Sensor Networks ,2008
- [7] จัดการกับขยะมูลฝอยชุมชนอย่างครบวงจร กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 2547
- [8] ข้อมูลเกี่ยวกับ NDIR วันที่ค้นข้อมูล 20 มกราคม 2561
<http://www.gits.kmutnb.ac.th/ethesis/data/4710182512.pdf>
- [9] Jongwon Kwon¹, Gwanghoon Ahn¹, Gysik Kim¹, Jo Chun Kim² and Hiesik Kim^{1*} 1
A Study on NDIR-based CO₂ Sensor to apply Remote Air Quality Monitoring System
- [10] การแสดงผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย Thing Speak
<http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=iot-thingspeak>
- [11] พอร์ตต่างๆของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU32s
<http://forum.fritzing.org/t/esp32s-hiletgo-dev-board-with-pinout-template/5357>
- [12] LIU YuLiang, NI Xiang, Wu Yuan Xi, Zhang Wei, Study on effect of temperature and humidity on the CO₂ concentration measurement, 2017

Datasheet: K-30 Sensor

The K30 sensor is a low cost, infrared and maintenance-free transmitter module intended to be built into different host devices that require CO2 monitoring data.

Applications

The K30 is an accurate, yet low cost gas sensing solution for OEMs who wish to integrate CO2 gas sensing into their product without investing in their own gas sensor development. The compact sized and low powered module is intended to be an add-on component to compliment other microprocessor-based controls and equipment.

The K30 may be software customized in different ways in order to optimize the total system with respect to the OEM application.

The K30 is offered for installation in OEM IAQ sensor housings, OEM air handling units, OEM alarm sensor housings, among other applications. The only restriction for what this product can be used for is the creativity and inventiveness of the customer.

This new product version is a RoHS compliant upgrade replacing the former the K30 product, has the same key product performance, but now has an improved speed of response and a reduced spatial build-in height.



Terminal Descriptions

The table below specifies what terminals and I/O options are available in the general K30 platform (see also the layout picture Fig. 2). Please note, however, that in the K30-STA default configuration, only OUT1, OUT2, OUT3, OUT4, Din1, Din2 and Status have any pre-programmed functions. These are described in the chapter “Default Configuration”.

Functional group	Descriptions and ratings
Power supply	
G+ referred to G0:	Absolute maximum ratings 5.5 to 14V, stabilized to within 10% 5V to 9V preferred operating range. Unprotected against reverse connection!
Serial Communication	
UART (TxD, RxD)	CMOS, ModBus communication protocol. Logical levels corresponds 3.3V powered logics. Refer “ModBus on CO2 Engine K30 “ for electrical specification.
Outputs	
OUT1	Buffered linear output 0..4 or 1..4VDC or 0..10V or 2..10V, depending on specified power supply and sensor configuration. ROUT < 100 W, RLOAD > 5 kW Load to ground only! Resolution 10mV (8.5 bits in the range 0..4V).
OUT2	Buffered linear output 0..4 or 1..4VDC or 0..5V or 1..5V, depending on specified power supply and sensor configuration. ROUT < 100 W, RLOAD > 5 kW Load to ground only! Resolution 5mV Can be used as alternative for OUT1, or for a second data channel, or in an independent linear control loop, such as a housing temperature stabilization
OUT3	CMOS unprotected . Digital (High/Low) output. High Output level in the range 2.3V min to DVDD = 3.3V. (1 mA source) Low output level 0.75V max (4 mA sink)

	Can be used for gas alarm indication, or for status indication etc.
OUT4	CMOS unprotected . Digital (High/Low) output. High Output level in the range 2.3V min to DVDD = 3.3V. (1 mA source) Low output level 0.75V max (4 mA sink) Can be used for gas alarm indication, or for status indication etc.
Status	CMOS unprotected . High Output level in the range 2.3V min to DVDD
	DVDD Regulated Voltage Output 3.3V to 50mA
Inputs	
Din0, Din1, Din2, Din3, Din4	Digital switch inputs, pull-up 120k to DVCC 3.3V. Driving it Low or connecting to ground G0 activates input. Pull-up resistance is decreased to 4..10k during read of input or jumper. Advantages are lower consumption most of the time the input/jumper is kept low and larger current for jumpers read in order to provide cleaning of the contact. Can be used to initiate calibration or to switch output range or to force output to predefined state. All depends on customer needs.
I2C extension.	
See our I2C Comm. guide	Pull-up of SDA and SCL lines to 3.3V

Table 1. I/O notations used in this document for the K30 platform with some descriptions and ratings. Please, beware of **the red colored texts that pinpoint important features** for the system integration!

General PCB Overview

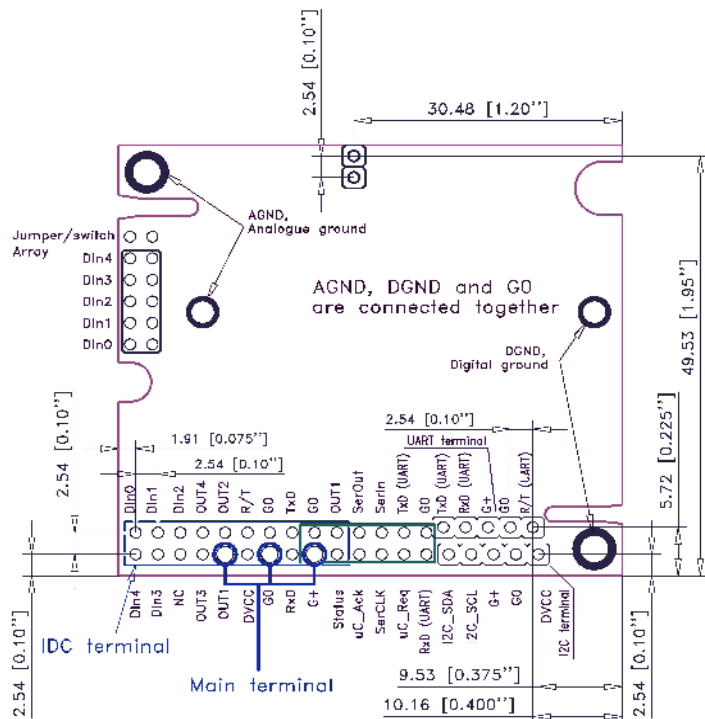


Figure 2. K30 I/O notations, terminal positions and some important dimensions for mounting the K30 platform PCB into a host system (Top view). The blue filled pins are defined by default.

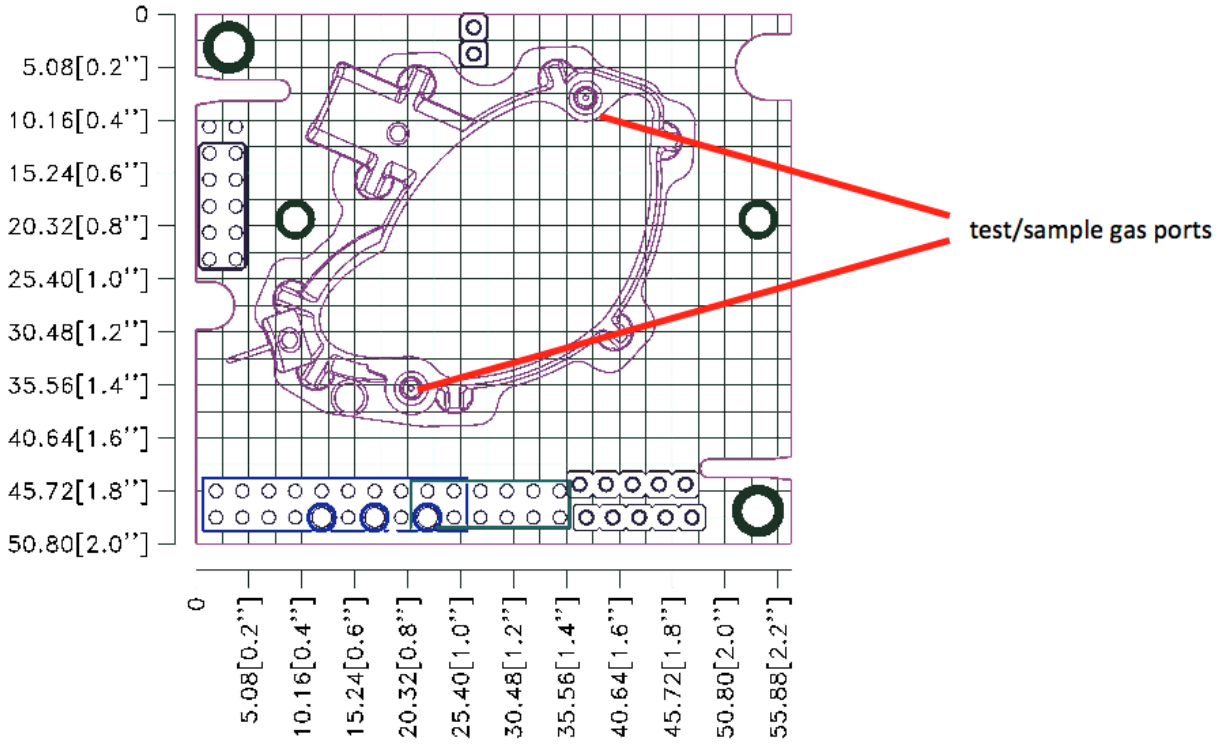


Figure 3. K30 OBA position.

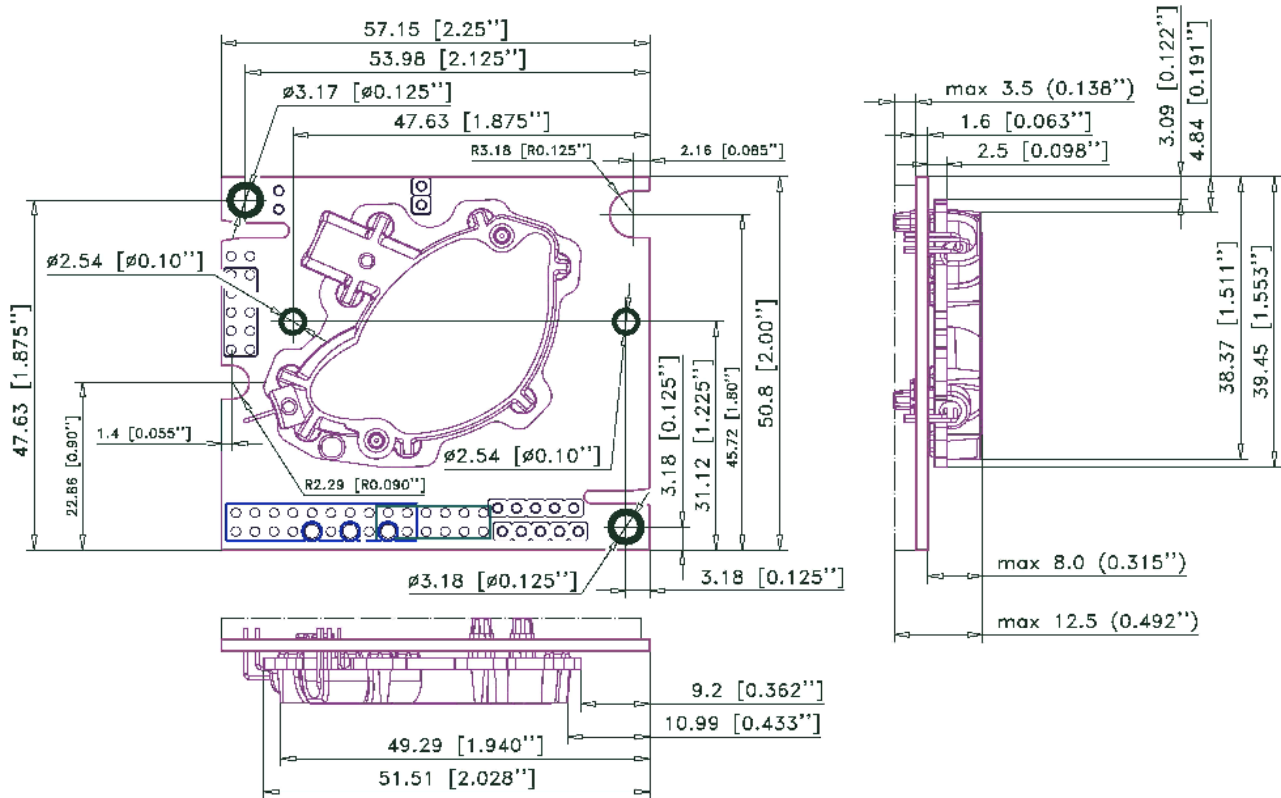


Figure 4. K30 mechanical drawing.

Installation

The modules are factory calibrated and ready for use directly after power up. There are several alternative ways to connect the K30 to a host system (see also Figure 2):

1. Using “UART connector”, including terminals for power supply (G+ and G0), UART (TxD, RxD).
2. Using the 3 pins main terminal. Available signals are power supply (G+ and G0) and the buffered analogue output (OUT1). A variety of user selections exist for this option regarding standard 5.08 mm pitch components and mounting alternatives (top/bottom).
3. Using 20 pin connector strips, or IDC connector, most of the system information is reached.

Host Integration Considerations and EMI Shielding

If an IDC connector is being used to connect the K30 module to a host PCB, this connector can in some situations be used as the only fixture. If instead fixing the K30 PCB using mechanical poles and screws, no more than 2 positions should be considered. This is because the PCB should not be exposed to any mechanical stress, and it is small and lightweight enough for just 2 attachment points.

To provide means for attachments, there are 4 possible screw holes available, all of them having a collar that is electrically connected to ground (G0). These connections are, however, not totally equivalent:

The two screw points in the upper left corner (having the IDC and edge connectors faced downwards, as in Figure 2) are connected to the analogue ground. They are the preferred choice for connection to some EMI shield, if so is required. This is normally necessary only if the application is such that large EMFs are foreseen. If this option is being used, precaution must be taken so as to exclude any power supply currents! Sensor reading instability is an indication of the need for shielding, or of improper enclosure system groundings.

The two screw points in the right bottom corner are connected to the digital ground. Connection to some EMI housing shield is less effective when this option is used, but on the other hand the sensor may be powered via these connections.

Note 1: To avoid ground loops, one should avoid connecting the analogue and digital grounds externally! They are connected internally on the K30 PCB.

Note 2: The terminals are not protected against reverse voltages and current spikes! Proper ESD protection is required during handling, as well as by the host interface design.

Default Functions / Configuration

Outputs

The basic K30-STA configuration is a simple analogue output sensor transmitter signal directed to OUT1 and OUT2. Via the edge connector serial communication terminal, the CO2 readings are available to an even higher precision (Modbus protocol), together with additional system information such as sensor status, analogue outputs, and other variables.

Terminals	Output	Correspondence
OUT1	0,0...4,0 VDC	0...2,000 ppm CO2
OUT2	1,0...5,0 VDC	0...2,000 ppm CO2

Table 2. Default analogue output configuration for K30-STA

The basic K30-STA configuration provides digital outputs to indicate if CO2 concentration exceeds alarm threshold.

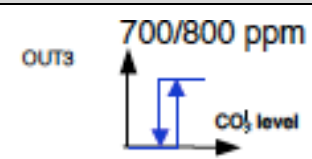
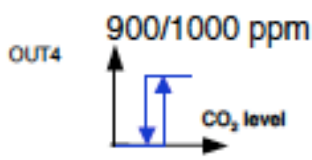
Terminals	Output	Correspondence
OUT3	Logical levels: Low < 0.75V High = 5V	
OUT4	Logical levels: Low < 0.75V High = 5V	

Table 3. Default digital output configuration for K30-STA

Calibration

The default sensor OEM unit is maintenance free in normal environments thanks to the built-in self-correcting ABC algorithm (Automatic Baseline Correction). This algorithm constantly keeps track of the sensor’s lowest reading over a 7.5 days interval and slowly corrects for any long-term drift detected as compared to the expected fresh air value of 400 ppm CO2.

Defaults

- K30 Sensors – ABC on by default
- K30 SDKs – ABC off by default
- For applications where the sensor will never read 400ppm (fresh) air, the K30 should be ordered with ABC disabled.

Manual Calibration

Rough handling and transportation may reduce sensor reading accuracy. With time, the ABC function will tune the readings back to the correct numbers. The default “tuning speed” is however limited to about 30 ppm/week. For post calibration convenience, in the event that one cannot wait for the ABC algorithm to cure any calibration offset, or if ABC is disabled, two switch inputs - Din1 and Din2 - select of two prepared calibration codes. If Din1 is shorted to ground for a minimum of 8 seconds, the internal calibration code bCAL (background calibration) is executed, in which case it is assumed that the sensor is operating in a fresh air environment (400 ppm CO2). If Din2 is shorted for a minimum of 8 seconds, the alternative operation code CAL (zero calibration) is executed in which case the sensor is assumed to be in a gas mixture free from CO2 (i.e. Nitrogen or Soda Lime CO2 scrubbed air).

Input Switch Terminal (normally open)	Default function (when closed for minimum 8 seconds)
Din1	bCAL (background calibration) assuming 400 ppm CO2 sensor exposure
Din2	CAL (zero calibration) assuming 0 ppm CO2 sensor exposure

Table 3. Switch input default configurations for K30

Manual Calibration Procedure

The 0ppm CO2 calibration procedure is as follows. For fresh air, skip steps 1-2.

1. Connect the sensor on top with a tube (soft tubing 2x4 mm) and a nipple (nylon tubing 30x0.8x2.2 mm), see Figure 4 below. There are 2 alternative positions for nipple attachment.
2. Let a gas mixture flow into the sensor through the applied tube. The flow shall be in the range of 0.3 – 1.0 liter/minute during 3 minutes. Keep the gas mixture flowing during the whole procedure.
3. Short circuit the Din2 (Din1 for fresh air) for a minimum of 8 seconds.
4. Verify the zero calibration. The meter will show 0 ppm CO2 (400ppm for fresh air).
5. If zero calibration is not executed (sensor detects unstable gas concentration) wait 10 sec and repeat steps 3 and 4 again.

Human breath contains 300,000ppm CO2. Do not breath anywhere near the sensor, or the fresh air will be contaminated!



Figure 4. K30 with connected tube

Self-Diagnostics

The system contains complete self-diagnostic procedures. A full system test is executed automatically every time the power is turned on. In addition, constantly during operation, the sensor probes are checked against failure by checking the valid dynamic measurement ranges. All EEPROM updates, initiated by the sensor itself, as well as by external connections, are checked by subsequent memory read back and data comparisons. These different system checks return error bytes to the system RAM. If this byte is not zero, the logic output terminal Status will be put into Low level state. The full error codes are available from the UART port or via I2C communication. Offset regulation error and Out of Range are the only bits that are reset automatically after return to normal state. All other error bits have to be reset after return to normal by UART overwrite, or by power off/on.

Output Terminal	Default function
Status	High level = OK ; Low level = Fault

Table 5. Default Logic output configured for K30

Error Codes and Action Plan

Error codes can be read via one of communication channels.

Bit #	Error code	Error description	Suggested action
0	1	Fatal Error	Try to restart sensor by power OFF/ON. Contact local distributor.
1	2	Offset regulation error	Try to restart sensor by power OFF/ON. Contact local distributor.
2	4	Algorithm Error. Indicate wrong EEPROM configuration.	Try to restart sensor by power OFF/ON. Check detailed settings and configuration with software tools. Contact local distributor.
3	8	Output Error Detected errors during output signals calculation and generation.	Check connections and loads of outputs. Check detailed status of outputs with software tools.
4	16	Self-Diagnostic Error. May indicate the need of zero calibration or sensor replacement.	Check detailed self-diagnostic status with software tools. Contact local distributor.
5	32	Out Of Range Error Accompanies most of other errors. Can also indicate overload or failures of sensors and inputs. Resets automatically after source of error disappearance.	Check connections of temperature and relative humidity probe (if mounted). Try sensor in fresh air. Perform CO2 background calibration. Check detailed status of measurements with software tools. <i>See Note 1!</i>
6	64	Memory Error Error during memory operations.	Check detailed settings and configuration with software tools.
7	128	Reserved	

Note 1. Any probe is out of range. Occurs, for instance, during over-exposure of CO2 sensor, in which case the error code will automatically reset when the measurement values return to normal. Could also indicate the need of zero point calibration. If the CO2 readings are normal, and still the error code remains, any other sensor probe mounted (if any) can be defect, or the connection to this probe is broken.

Remark: If several errors are detected at the same time the different error code numbers will be added together into one single error code!

Maintenance

The K30 is basically maintenance free in normal environments if the ABC algorithm is active. When checking the sensor accuracy, note that the sensor accuracy is defined as after 3 weeks of continuous operation.

General Performance

Storage Temperature Range	-30 to +70 °C
Sensor Life Expectancy	> 15 years
Maintenance Interval	no maintenance required
Self-Diagnostics	complete function check of the sensor module
Warm-up Time	≤ 1 min
Conformance with the standards.....	Emission: EN61000-6-3:2001 Immunity: EN61000-6-2:2001 RoHS directive 2002/95/EG
Operating Temperature Range	0 to 50 °C
Operating Humidity Range	0 to 95% RH (non-condensing)
Operating Environment	Residential, commercial, industrial spaces and Potentially dusty air ducts used in HVAC (Heating Ventilation and Air-Conditioning) systems.

CO2 Measurement

Measurement Range	0 – 5,000 ppm vol., within specifications 0 – 10,000 ppm vol. total CO2 detection range
Sensing Method	non-dispersive infrared (NDIR) waveguide technology with ABC automatic background calibration algorithm
Sampling Method	Diffusion
Response Time (T _{1/e})	20 sec diffusion time
Response Rate	2 sec
Sensitivity	± 20 ppm ± 1 % of measured value within specifications
Accuracy	± 30 ppm ± 3 % of measured value within specifications
Pressure Dependence.....	+ 1.6 % reading per kPa deviation from normal pressure, 100 kPa
On-board calibration support	Din1 switch input to trigger Background Calibration @ 400 ppm CO2 Din2 switch input to trigger Zero Calibration @ 0 ppm CO2

Electrical/Mechanical

Power Input.....	5-14 VDC, stabilized to within 10%
Current Consumption	40 mA average < 150 mA peak current (averaged during IR lamp ON, 120 msec) < 300 mA peak power (during IR lamp start-up, the first 50 msec)
Dimensions	5.1 x 5.7 x 1.4 cm (Length x Width x approximate Height)
Electrical Connections	Terminals not mounted (G+, G0, OUT1, OUT2, Din1, Din2, Status, TxD, RxD)

Linear Signal Outputs

D/A Conversion Accuracy.....	± 2 % of reading ± 20 mV
OUT1 D/A Resolution	10 mV
Linear Conversion Range	0 - 4 VDC for 0 - 2 000 ppm vol.,
Electrical Characteristics	ROUT < 100 W, RLOAD > 5 kW , Power input > 4.5 V
OUT1 D/A Resolution	5 mV
Linear Conversion Range	0 - 5 VDC for 0 - 2 000 ppm vol.,
Electrical Characteristics	ROUT < 100 W, RLOAD > 5 kW , Power input > 5.5 V

Digital Outputs

Electrical Characteristics	High Output level in the range 2.3V min to DVDD = 3.3V. (1 mA source) Low output level 0.75V max (4 mA sink). Protection 56R resistor in series.
Function	High level at CO ₂ High
OUT3, CO ₂ High Alarm /Reset Level ...	800/700 ppm
OUT4, CO ₂ High Alarm /Reset Level ...	1000/900 ppm

UART Serial COM Port

Protocol	MODBUS open protocol, refer specification and registers definitions
Hardware interface	CMOS UART with Rx/D, Tx/D and R/T
Baud Rate	9600