

การพัฒนาชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT)

Development of Incinerator Sets for COVID-19 Infected Waste Using Intelligent Control (IoT)

พัชรินทร์ อินทมาส¹ วัสสา รวยรวย² วิทยา วงษ์กลาง³ คณิศราพัทธ์ พรหมเมือง⁴ และพรหมพัทธ์ บุญรักษา⁵

Patcharin Intamas¹ Wassa Ruayruay² Wittaya Wongklang³ Kanitsarapat Prommuang⁴ and Promphak Boonraksa⁵

¹⁻² สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

Industrial Arts Department, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat 80110

³ สาขาวิชาอุตสาหกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

Industrial Mechanical Department, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat 80110

⁴ บริษัท แฟลช เอ็กซ์เพรส จำกัด สาขากำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร 62000

Flash Express Company Limited Kamphaeng Phet Branch, Kamphaeng Phet 62000

⁵ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10160

School of Electrical Engineering, Bangkok Thonburi University, Bangkok 10160

⁵ Corresponding Author: E-mail: promphak.boo@bkkthon.ac.th

Received: 19 Apr. 2022; Revised: 1 Jun. 2022; Accepted: 2 Jun. 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) 2) ทดสอบประสิทธิภาพของชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) และ 3) ศึกษาผลการใช้งานระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย คือ เจ้าหน้าที่และคณะกรรมการจัดการสิ่งปฏิกูลมูลฝอยที่ปฏิบัติหน้าที่ในเขตเทศบาลนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 10 คน โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม และแบบทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลโดย ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ 1) จากผลการสร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) มีคุณภาพการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์สำหรับสร้างนวัตกรรมมากที่สุด 2) ประสิทธิภาพของชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด 99.90% และอัตราการเผาขยะสูงสุดที่ 182 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ควบคุมการทำงานเปิดวาล์วแก๊สได้ และ 3) ผลประเมินร้อยละการใช้งานระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบสามารถควบคุมการเปิดวาล์วแก๊สได้จริง

คำสำคัญ: ขยะติดเชื้อโควิด-19 ระบบควบคุมอัจฉริยะ สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

Abstract

The objectives of this research were to: 1) build an intelligently controlled (IoT) incinerator for COVID-19 infected waste; 2) test the efficiency of an incinerator for COVID-19 infected with an intelligently controlled (IoT), and 3) study the results of using the intelligent control system (IoT) prototype. The sample group in this research included 10 staffs of the Solid Waste Management Committee working in Nakhon Si Thammarat Municipality, Nakhon Si Thammarat Province derived by purposive sampling technique. The research tools used to collect data were questionnaires and experimental models. The data were analyzed by frequency, percentage, mean and standard deviation.

The results of the research can be summarized as follows: 1) the results of the construction of an incinerator for COVID-19 infected waste controlled by an intelligent system (IoT) had the highest quality in selecting materials for innovation. 2) The efficiency of an incinerator set for Covid-19 infected waste, controlled by an intelligent system (IoT), has a maximum combustion efficiency of 99.90% and the maximum waste burning rate of 182 kg per hour with an intelligent control system (IoT) that can control the operation of the gas valve. And 3) the percentage of use of the intelligent control system (IoT) that the prototype can actually control the opening of the gas valve.

Keywords: Covid-19 Infected Waste, Intelligent Control System, Statistics in Data Analysis

1. บทนำ

การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) “หน้ากากอนามัย” จัดเป็นอุปกรณ์ป้องกันการติดเชื้อที่สำคัญในช่วงที่มีการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 และประชาชนมีปริมาณการใช้ที่เพิ่มสูงขึ้นมากอยู่ที่ 1.56 ล้านชิ้นต่อวัน [1] จึงทำให้เกิดขยะหน้ากากอนามัยซึ่งจัดเป็นขยะติดเชื้อเพราะมีเชื้อโรคปะปน [2] กับขยะชุมชนส่งผลให้พนักงานเก็บขนขยะและประชาชนใกล้เคียงมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ COVID-19 และเมื่อถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีที่ไม่ถูกต้องจึงควรมีการจัดการที่เหมาะสมเช่นเดียวกับการกำจัดมูลฝอยชุมชนเพื่อป้องกันเชื้อโรคแพร่กระจายต่อไป [3] ซึ่งจากผลการสำรวจการจัดการขยะในองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจังหวัดนครศรีธรรมราชพบปัญหา ยังไม่มีการกำจัดขยะมูลฝอยที่เป็นพิษหรืออันตรายจากชุมชนอยู่ห่างไกลจากจุดรวบรวม ขยะมูลฝอยที่เป็นพิษหรืออันตรายจากชุมชนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งประชาชนยังไม่มีมาตรการคัดแยกขยะพิษหรืออันตรายจากชุมชน [4] และการบริหารจัดการกับขยะติดเชื้อในพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลนครศรีธรรมราชยังไม่มี

การจัดขยะติดเชื้อด้วยการเผาในเตาเผา เนื่องจากเตาเผาขยะชุมชนมีปริมาณไม่เพียงพอจะมีการซ่อมแซมบำรุงรักษาบ่อยมากเนื่องจากงบประมาณในการซ่อมแซมน้อยไม่มีอะไหล่สำรองโดยเฉพาะอุปกรณ์หัวเผาที่มีปริมาณการชำรุดมากที่สุดทำให้โรงพยาบาลหลายแห่งใช้วิธีเผาฝังดินและเผากลางแจ้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล จากการสำรวจพบว่าโรงพยาบาลมีเตาเผาหลากหลายขนาด ทั้งที่สภาพดีและชำรุดโดยเตาเผาขยะติดเชื้อในปัจจุบันที่มีสภาพดีมีเพียงร้อยละ 22.09 และพบว่าการชำรุดถึงร้อยละ 77.91 [5]

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงพัฒนาชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 เชื่อมต่อโปรแกรมกับการขนส่ง ด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาทำลายขยะติดเชื้อให้ถูกวิธี รวมถึงได้เทคโนโลยีการกำจัดขยะติดเชื้อต้นแบบที่สามารถใช้ประโยชน์ และสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีต่อชุมชนส่วนรวมได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อสร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT)
- 2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT)
- 2.3 เพื่อศึกษาผลการใช้งานระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ

3. สมมติฐานการวิจัย

- 3.1 ชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ มีค่าเฉลี่ยคุณภาพของเครื่องอยู่ในระดับมากขึ้นไป
- 3.2 ชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ มีประสิทธิภาพการเผาไหม้มากกว่า 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
- 3.3 ระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ สามารถควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วแก๊สได้จริงตามระยะทางที่กำหนด

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

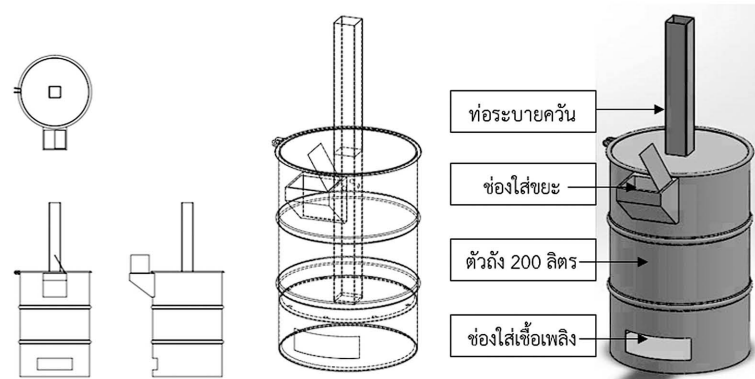
- 1) ประชากร ได้แก่ เจ้าหน้าที่และคณะกรรมการจัดการสิ่งปฏิกูลมูลฝอยพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช
- 2) กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เจ้าหน้าที่และคณะกรรมการจัดการสิ่งปฏิกูลมูลฝอยที่ปฏิบัติหน้าที่ในเขตเทศบาลนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 10 คน โดยการคัดเลือกแบบเจาะจง

4.2 การออกแบบและสร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) มีการศึกษาข้อมูลเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบตามขั้นตอน ดังนี้

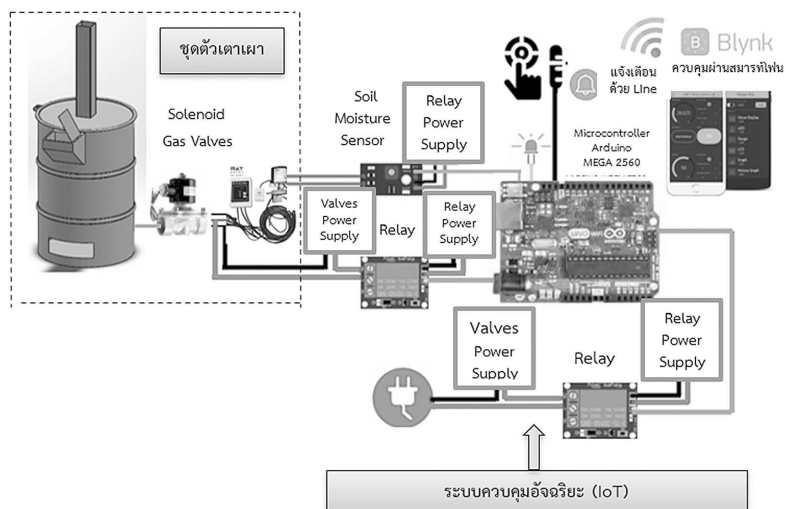
- 1) ศึกษาเทคโนโลยีเตาเผาขยะ การพัฒนาระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) อุปกรณ์ควบคุม ได้แก่ หลักการทำงานของ Arduino MEGA 2560 Arduino Uno, หลักการเซ็นเซอร์ วัดระยะทาง US-100, เซอร์โวมอเตอร์ รวมไปถึงการทดสอบประสิทธิภาพของระบบชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) [6,7,8,9,10]

2) ศึกษาการเขียนภาษาเขียนได้ด้วยภาษา C++ ภาษาซีของ Arduino สำหรับระบบควบคุมด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ผ่านโทรศัพท์มือถือ จากนั้นเขียนโค้ดโปรแกรมภาษา C++ ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 Arduino Uno ด้วยโปรแกรม Arduino IDE ผ่านฟังก์ชัน สำหรับระบบควบคุมการเปิด-ปิดด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ผ่านโทรศัพท์มือถือ และทำการคอมไพล์โปรแกรม Arduino IDE และดาวน์โหลดโปรแกรม Arduino IDE ลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เชื่อมต่อกับโปรแกรมกำกับการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อและดำเนินการทดสอบการทำงานของโปรแกรม

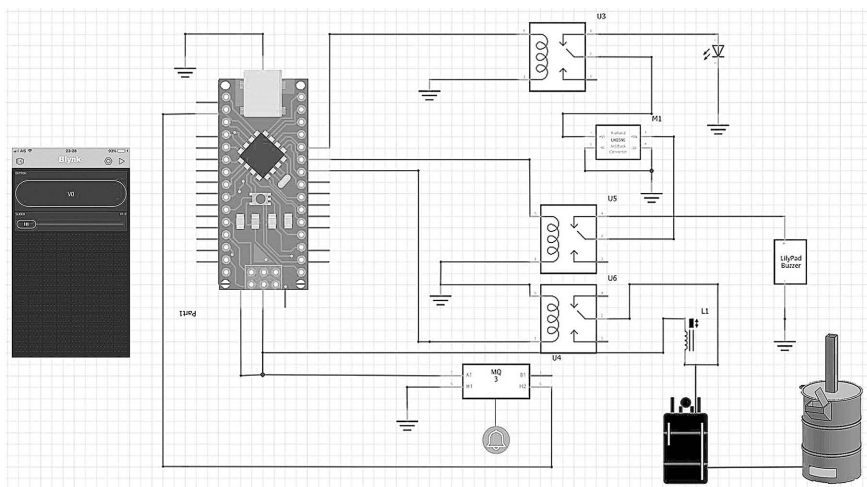
3) การออกแบบระบบควบคุมชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) งานวิจัยนี้เลือกใช้ แอปพลิเคชัน Blynk เนื่องจากเป็นแอปพลิเคชันสำเร็จรูปสำหรับงาน IoT เป็นโปรแกรมที่เขียนง่าย ไม่ต้องเขียน App สามารถใช้งานได้จริง Real Time และสามารถเชื่อมต่อ Device ต่าง ๆ เข้ากับ Internet ได้ ไม่ว่าจะเป็น Arduino, Esp8266, Esp32, Nodemcu, Raspberry Pi นำมาแสดงบนแอปพลิเคชัน ได้อย่างง่ายดาย แล้วที่สำคัญแอปพลิเคชัน Blynk ยังรองรับในระบบ iOS และ Android [11,12] โดยภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบโครงสร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างระบบชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) และภาพที่ 3 แสดงแผนผังวงจรของระบบชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 1 ออกแบบส่วนประกอบโครงสร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT)



ภาพที่ 2 โครงสร้างระบบชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT)



ภาพที่ 3 ชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) แบบประเมินคุณภาพชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) โดยผู้เชี่ยวชาญ ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบประเมินและตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญตามรายการประเมินคุณภาพสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 เชื่อมต่อโปรแกรมกำกับการขนส่ง ด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) จำนวน 6 ข้อ

2) แบบบันทึกผลการทดลองการใช้งานชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 เชื่อมต่อโปรแกรมกำกับการขนส่ง ด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) เป็นตารางบันทึกผลการตรวจสอบการทำงาน และการแสดงผลของอุปกรณ์ในแต่ละขั้นตอนการทำงาน แล้วสรุปข้อมูลเป็นร้อยละ

3) แบบบันทึกผลเพื่อศึกษาผลการใช้งานระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ โดยนำข้อมูลที่ได้จากตารางบันทึกผลการทดลองมาเขียนเป็นกราฟ แล้วสรุปผลเขียนบรรยายพรรณนาโวหาร

4.4 การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

1) การดำเนินการทดลองหาคุนภาพและประสิทธิภาพของเครื่อง

2) ผู้วิจัยนำชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบที่สร้างขึ้น ไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ทดลองใช้แล้วประเมินคุณภาพตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม [13] โดยการตอบแบบสอบถาม นำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคุณภาพ ด้วยค่าสถิติ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) แล้วนำข้อบกพร่องไปปรับปรุงแก้ไขต่อไป

3) ทดลองใช้ชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) เพื่อทำการทดสอบการทำงาน และหาข้อบกพร่องแล้วทำการแก้ไขก่อนนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญทดลองใช้ และประเมินคุณภาพ

4) การศึกษาผลการใช้งานระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ ดำเนินการทดลองและนำข้อมูลจากตารางผลการทดลองระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ตามตารางที่ 1 ให้กลุ่มตัวอย่างเจ้าหน้าที่และคณะกรรมการจัดการ

สิ่งปฏิกรณ์มูลฝอยที่ปฏิบัติหน้าที่ในเขตเทศบาลนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 10 คน ผู้วิจัยได้ดำเนินการแนะนำวิธีการใช้งานชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) และทดสอบระบบการทำงานชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ตามแนวทางห่วงโซ่คุณค่าของการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อความพึงพอใจการพัฒนานวัตกรรมไปสู่การประยุกต์ใช้ [16] โดยให้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งานจริง เมื่อกลุ่มตัวอย่างทดลองใช้ ชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) แล้ว ผู้วิจัยจึงแจกแบบประเมินผลการทดสอบเพื่อบันทึกผลในตารางแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้จากตารางบันทึกผลการทดลองมาเขียนเป็นกราฟ โดยสรุปผลบรรยายพรรณนาโวหาร

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ค่าสถิติ [12,13,14] ดังนี้

1.1) แบบประเมินคุณภาพชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) โดยผู้เชี่ยวชาญ ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้ตอบแบบประเมิน วิเคราะห์ข้อมูลโดยการแจกแจงความถี่ (Frequencies) และหาค่าร้อยละ (Percentage) และตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ตามรายการประเมินคุณภาพสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 เชื่อมต่อโปรแกรมกำกับการขนส่ง ด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

1.2) แบบบันทึกผลการทดลองการทดสอบประสิทธิภาพชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 เชื่อมต่อโปรแกรมกำกับการขนส่ง ด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการแจกแจงความถี่ (Frequencies) และหาค่าร้อยละ (Percentage) [13,14]

ประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะหาค่าตามได้ดังสมการที่ (1)

$$\eta = \frac{m_i - m_o}{m_i} \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่ η : ประสิทธิภาพการเผาทำลายขยะ (%)

m_i : มวลของขยะก่อนเผา (Kg)

m_o : มวลของขยะที่เหลือหลังเผา (Kg)

1.3) แบบบันทึกผลการใช้งานระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ จำนวน 3 ตอน ตอนที่ 1 ตารางบันทึกผลการทดลอง ตอนที่ 2 แบบสรุปผลการใช้งานวิเคราะห์ข้อมูลโดยการแจกแจงความถี่ (Frequencies) และหาค่าร้อยละ (Percentage) และตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะวิเคราะห์ข้อมูลโดยสรุปความบรรยายพรรณนาโวหาร

2) การแปลผลค่าเฉลี่ยของแบบประเมินคุณภาพและแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยกำหนด

ตารางที่ 1 ผลการประเมินการสร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมินคุณภาพ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. นวัตกรรมมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย	3.90	.70	มาก
2. การออกแบบแบบโครงสร้าง ระบบควบคุมนวัตกรรม	4.00	.63	มาก
3. การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์สำหรับสร้างนวัตกรรม	4.30	.64	มาก
4. รูปแบบนวัตกรรมมีความแข็งแรงและทนทานขนาดและน้ำหนัก	4.20	.87	มาก
5. นวัตกรรมต้นแบบมีขั้นตอนทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขการทำงานให้มีประสิทธิภาพ	3.80	.60	มาก
6. นวัตกรรมต้นแบบมีความเหมาะสม สามารถช่วยแก้ไขปัญหาขยะติดเชื้อโควิด 19 ในชุมชนได้จริง	3.70	.64	มาก
รวม	3.98	.68	มาก

จากตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินการสร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ โดยผู้เชี่ยวชาญ โดยรวมอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ทุกข้ออยู่ในระดับมาก โดยมีคุณภาพการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์สำหรับสร้างนวัตกรรมมากที่สุด รองลงมา คือ รูปแบบนวัตกรรมมีความแข็งแรงและทนทานขนาดและน้ำหนัก และการออกแบบแบบโครงสร้าง ระบบควบคุมนวัตกรรมตามลำดับ

ช่วงคะแนนระดับคุณภาพและระดับความพึงพอใจที่ได้ดังนี้

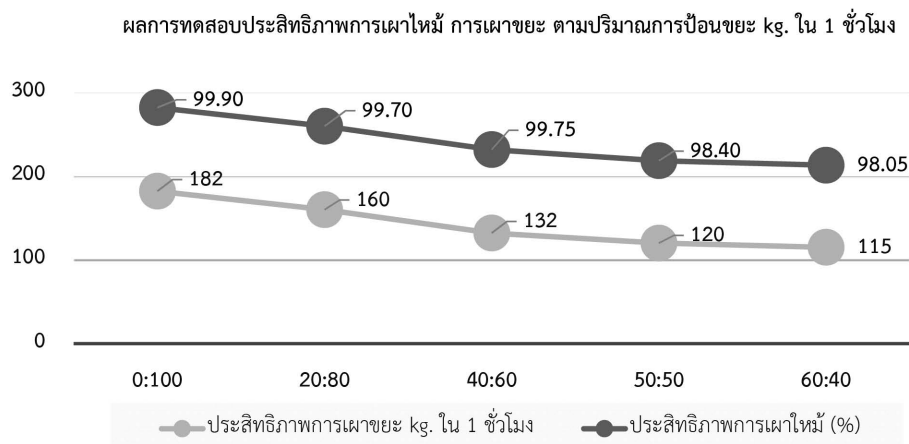
1.00-1.49	หมายถึง	ระดับคุณภาพน้อยที่สุด
1.50-2.49	หมายถึง	ระดับคุณภาพน้อย
2.50-3.49	หมายถึง	ระดับคุณภาพปานกลาง
3.50-4.49	หมายถึง	ระดับคุณภาพมาก
4.50-5.00	หมายถึง	ระดับคุณภาพมากที่สุด

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการประเมินการสร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ โดยตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินคุณภาพชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ โดยผู้เชี่ยวชาญ

5.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน ประกอบด้วยผลการทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยใช้เครื่องมือวัด Testo Flue Gas Analyzer 300 ซึ่งพบว่า ชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด 99.90% และผลการทดสอบประสิทธิภาพการเผาขยะ โดยการชั่งน้ำหนักอัตราการเผาขยะเฉลี่ย กิโลกรัมต่อชั่วโมง สูงสุดที่ 182 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามภาพที่ 4 และตารางที่ 2

แสดงการทดลองการใช้งานระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ
ของชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วย



ภาพที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ

ตารางที่ 2 การทดลองการใช้งานระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) โดยแทนค่า 1 หมายถึง ผลการทดลองทำงานตามคำสั่ง และ 0 หมายถึง ผลการทดลองไม่ทำงานตามคำสั่ง และ % หมายถึง ร้อยละ การทำงานตามคำสั่งของระบบควบคุมได้จริง

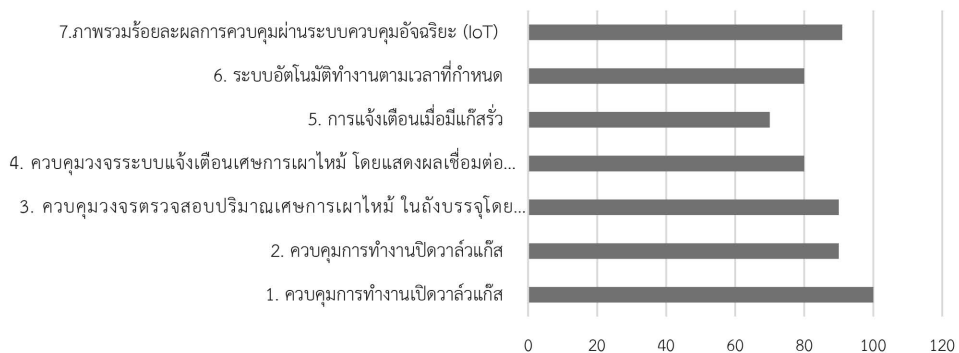
รายการที่ทดลองใช้งาน	ผลการทดลองการใช้งานครั้งที่ 1-10 ที่ระยะทาง 2-20 เมตร										
	2 ม.	4 ม.	6 ม.	8 ม.	10 ม.	12 ม.	14 ม.	16 ม.	18 ม.	20 ม.	%
1. ควบคุมการทำงานเปิดวาล์วแก๊ส	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100
2. ควบคุมการทำงานปิดวาล์วแก๊ส	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	90
3. ควบคุมวงจรตรวจสอบปริมาณ เศษการเผาไหม้ ในถังบรรจุโดย แสดงผลผ่านมือถือ	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	90
4. ควบคุมวงจรระบบแจ้งเตือน เมื่อเศษการเผาไหม้ ในถังบรรจุเต็ม โดยแสดงผลเชื่อมต่อโปรแกรมกับการ การขนส่ง	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	80
5. การแจ้งเตือนเมื่อมีแก๊สรั่ว	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	70
6. ระบบอัตโนมัติทำงานตามเวลา ที่กำหนด	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	80
รวม (%)	100	80	90	100	100	100	100	80	80	80	91

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองการใช้งานระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ของชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ พบว่า ในภาพรวมสามารถทำงานตามคำสั่งได้ 91% โดยเมื่อพิจารณาตามระยะทางมีอัตราการควบคุมการทำงานตามคำสั่งสูงสุด 100% ที่ระยะทาง 2 เมตร และเมื่อพิจารณาตามรายการที่ทดลองใช้งาน พบว่า สามารถทำงานตามคำสั่งควบคุมการทำงานเปิดวาล์วแก๊ส ได้สูงสุด 100% รองลงมา คือ ควบคุมการทำงานปิดวาล์วแก๊ส กับควบคุมวงจรตรวจสอบปริมาณเศษการเผาไหม้ ในถังบรรจุโดยแสดงผลผ่านมือถือ ซึ่งมีค่าการทำงานตามคำสั่งเท่ากับ คือ 90% และควบคุมวงจรระบบแจ้งเตือนเมื่อเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ในถังบรรจุเต็ม โดยแสดงผลเชื่อมต่อ

ระบบอัตโนมัติทำงานตามเวลาที่กำหนด ซึ่งมีค่าการทำงานตามคำสั่งเท่ากับ คือ 80% ตามลำดับ

5.3 ผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานที่มีต่อชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบในพื้นที่เทศบาลเมืองนครศรีธรรมราชจากการใช้งานจริง การใช้งานชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ แสดงดังภาพที่ 5 และตารางที่ 3 แสดงแสดงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานที่มีต่อชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ

ร้อยละผลการควบคุมผ่านระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) เฉลี่ยที่ระยะทาง 1-20 เมตร



ภาพที่ 5 การใช้งานชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของผลการประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานที่มีต่อชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ

รายการประเมินความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. เป็นเทคโนโลยีที่สะดวกต่อการใช้งาน	4.10	.70	มาก
2. การออกแบบโครงสร้าง วัสดุ ระบบควบคุม	4.20	.60	มาก
3. สามารถใช้ประโยชน์ได้จริง	4.50	.50	มากที่สุด
4. มีระบบกลไกการทำงานที่เหมาะสม ปลอดภัยต่อการใช้งาน	4.40	.80	มาก
5. สามารถต่อยอดในเชิงพาณิชย์ได้	4.00	.63	มาก
6. มีคู่มือการใช้งานที่สะดวกต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่ชุมชน	3.90	.70	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.18	.66	มาก

จากตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย (X) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของผลการประเมินความพึงพอใจผู้ที่ใช้งานที่มีต่อชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบโดยรวมอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ส่วนใหญ่อยู่ในระดับมากโดยมีความพึงพอใจสามารถใช้ประโยชน์ได้จริง อยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมาคือ มีระบบกลไกการทำงานที่เหมาะสม ปลอดภัยต่อการใช้งานอยู่ในระดับมาก และการออกแบบโครงสร้างวัสดุ ระบบควบคุม อยู่ในระดับมาก ตามลำดับ

6. สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลและอภิปรายผล

1) จากผลการสร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบ มีคุณภาพการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์สำหรับสร้างนวัตกรรมมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของสถาบันวิจัยสังคม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [8] ประเมินผลการใช้งานเตาเผาขยะชีวมวลไร้ควัน มีความสามารถในการใช้งานเตาเผาขยะชีวมวลไร้ควันที่มีการประกอบ วัสดุโครงสร้างมีคุณภาพอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้เนื่องจากขนาดของเตามีความเหมาะสมต่อการใช้งานเช่นเดียวกัน [14]

2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพของชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด 19 ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด 99.90% และอัตราการเผาขยะเฉลี่ยกิโลกรัมต่อชั่วโมง สูงสุดที่ 182 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) การทำงานเปิดวาล์วแก๊สได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับธนพร และคณะ [9] ได้การออกแบบและสร้างเตาผลิตถ่านจากชีวมวลและขยะมูลฝอยระดับ มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดมากกว่า 90.00% ขึ้นไป และอัตราการเผาขยะสูงสุดมากกว่า 180 กิโลกรัมต่อชั่วโมงขึ้นไป เช่นเดียวกันทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบระบบการเผาไหม้ภายในเตาได้เหมาะสม [15,16]

3) ผลประเมินร้อยละการใช้งานระบบควบคุมอัจฉริยะ (IoT) ต้นแบบสามารถควบคุมการเปิดวาล์วแก๊สได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับสมพร และพลอยไพลิน [10] ได้จัดทำเตาเผาขยะไร้ควันไร้กลิ่น โดยผู้ใช้งาน พบว่า ระบบ

ควบคุมอัจฉริยะ (IoT) มีประโยชน์สามารถควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วแก๊สได้จริง ซึ่งช่วยเอื้อประโยชน์เพิ่มความสะดวกให้กับประชาชนในชุมชนได้เป็นอย่างดี

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรจัดหาเครื่องวัดอุณหภูมิในห้องเผา หรือการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อจะได้ควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการเผาให้คงที่และสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาในการเผาขยะมูลฝอย

2) ควรมีการการควบคุมระยะเวลาในการเผาไหม้ อุณหภูมิ การผสมของขยะในห้องเผาเพื่อป้องกันการเกิดเขม่าที่อาจทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรรณิการ์ ธรรมพานิชวงศ์ และวิศิณี วิบุลผลประเสริฐ. (2563). ฮาวทูทิ้ง: ทิ้งหน้ากากอนามัยอย่างไรให้ปลอดภัยกับสังคมและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: กรมอนามัย.
- [2] ผู้จัดการออนไลน์. (2563). [ออนไลน์]. หน้ากากอนามัยแบบใช้แล้วทิ้ง อย่าทิ้งมั่ว อาจเป็นขยะติดเชื้อ. [สืบค้นเมื่อวันที่ 3 สิงหาคม 2563]. จาก <https://mgronline.com/greeninnovation/detail/9630000035228>.
- [3] พิชา รักรอด. (2563). [ออนไลน์]. วิกฤตโควิด-19 กำลังซ้ำเติมวิกฤตขยะพลาสติกหรือไม่. [สืบค้นเมื่อวันที่ 3 สิงหาคม 2563]. จาก <https://www.greenpeace.org/thailand/story/16270/plastic-single-use-1plastic-crisis-in-covid-9-situation>.
- [4] วิเชียร จุ่งรุ่งเรือง สุนิ ปิยะพันธุ์พงศ์ สุวิทย์ ชัดติวงศ์ และวชิรา แสงศรี. (2557). กรมควบคุมมลพิษลงพื้นที่ติดตามการแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยนครศรีธรรมราช. วารสารหมายเหตุมลพิษ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 11(24), 2-4.
- [5] สำนักงานเลขาธิการคณะกรรมการบริหารงานจังหวัดแบบบูรณาการจังหวัดนครศรีธรรมราช. (2562). แผนพัฒนาจังหวัดนครศรีธรรมราช (พ.ศ. 2561-2565) ฉบับทบทวน. นครศรีธรรมราช: องค์การปกครองส่วนท้องถิ่นนครศรีธรรมราช.

- [6] กอบเกียรติ สระอุบล. (2561). พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino และ Raspberry Pi. กรุงเทพมหานคร: อินเทอร์เน็ตมีเดีย.
- [7] นิตยา นักระนาด มิสัน. (2555). เตาเผาขยะชีวมวลไร้ควัน. วารสาร GREEN RESEARCH, 9(21), 6-7.
- [8] สถาบันวิจัยสังคม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2558). โครงการติดตามประเมินผลการใช้เตาเผาขยะชีวมวลไร้ควัน. กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [9] ธนพร เทพสมุทร และคณะ. (2564). การออกแบบและสร้างเผาผลิถ่านจากชีวมวลและขยะมูลฝอยระดับชุมชน. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 27(1), 25-31.
- [10] สมพร เหล่าดี และพลอยไพลิน โคตรตาแสง. (2563). เตาเผาขยะไร้ควันไร้กลิ่น. โครงการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (1 โรงเรียน 1 นวัตกรรม ประจำปี 2563 ในโรงเรียนคุณภาพประจำตำบล). ภาพสนธิ์: โรงเรียนโคกเคเรือวิทยา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาภาพสนธิ์ เขต 2.
- [11] โสภณวิษณุ เขียวคำจัน และชัยพร เขมะภาดพันธุ์. (2562). การเปรียบเทียบการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ IoT สำหรับโทรศัพท์มือถือระหว่าง IoT Cloud Platform Application และ End-to-End Application กรณีศึกษาเครื่องให้อาหารปลา. วารสารบัณฑิตศึกษา, 7(3), 946-960.
- [12] วรศิษฐ์ รัตนนิมิตร์ วุฒิชัย เกษพานิช และสุทธิลักษณ์ ชุนประวดี. (2562). การติดตั้งเซิร์ฟเวอร์สำหรับตรวจสอบข้อมูลสมาร์ทฟาร์มผ่านแอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือ. วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 6(1), 37-42.
- [13] วิวัฒน์ มีสุวรรณ. (2561). วิจัยทางเทคโนโลยีการศึกษา. พิษณุโลก: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [14] ณัฐกร สงคราม. (2557). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อการเรียนรู้ (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [15] English, Lyn D. & King, Donna. (2017). Engineering education with fourth-grade students: Introducing Design-based problem-solving. International Journal of Engineering Education, 33(1), 346-360.
- [16] ชโลธร แก่นสันติสุขมงคล. (2563). นวัตกรรมเทคโนโลยีกับการพัฒนาเศรษฐกิจสีเขียว. กรุงเทพมหานคร: คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.