

ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย  
สำหรับสมาร์ทซิตี้



นางสาวณิชมล สว่างไสว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2563

AIR QUALITY INDEX DETECTION SYSTEM USING WIRELESS SENSOR  
NETWORKS FOR SMART CITY



NITCHAMON SAWANGSAWAI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Telecommunication and Computer Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2020

## ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับสมาร์ทซิตี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.กิตติ อรรถกิจมงคล)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.ศักดิ์ระวี ระวีกุล)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและ

ประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณิชนล สว่างไสว : ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับ  
สมาร์ทซิตี้ (AIR QUALITY INDEX DETECTION SYSTEM USING WIRELESS SENSOR  
NETWORKS FOR SMART CITY) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก  
ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์, 167 หน้า.

คำสำคัญ : ดัชนีคุณภาพอากาศ/เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย/สมาร์ทซิตี้

ในปัจจุบันเทคโนโลยีและนวัตกรรมเริ่มเข้ามามีบทบาทที่สำคัญในด้านต่าง ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้  
จะนำเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซ  
คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซทั้ง 3 นี้มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ  
และสุขภาพของสิ่งมีชีวิตในระยะยาว การตรวจวัดปริมาณก๊าซจึงมีความสำคัญ งานวิจัยนี้ยังมีการ  
ประยุกต์ใช้งานอินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง เพื่อการบริหารจัดการสมาร์ทซิตี้ในด้านการเฝ้าระวังและ  
ตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างถูกต้องและทันถ่วงทีตามหลักวิชาการเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและ  
แม่นยำถูกต้อง ซึ่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้จะถูกส่งไปที่ระบบประมวลผลแบบกลุ่มเมฆและแสดงผลผ่าน  
แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน โดยการรับส่งและแสดงผลการตรวจวัดถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรล  
เลอร์ นอกจากนี้ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งระบบได้รับ  
พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและพัฒนาแอป  
พลิเคชันแจ้งเตือนดัชนีคุณภาพอากาศ สำหรับตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM  
2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และ  
สามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซ  
คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ สำหรับสมาร์ทซิตี้ ณ บริเวณที่ตั้งสถานีที่ 1 หอพัก  
นักศึกษาสุรนารี 18 สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยีและสถานีที่ 3 อาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
สุรนารี 3

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม  
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา พริศณ.  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา พริศณ.



NITCHAMON SAWANGSAWAI : AIR QUALITY INDEX DETECTION SYSTEM USING  
WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR SMART CITY. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.  
FLT. LT. Dr. PRAYOTH KUMSAWAT, Ph.D., 167 PP.

Keyword : Air Quality Index/ Wireless Sensor Network/ Smart City

Nowadays, technology and innovation began to play an essential role in various fields. In this research, wireless sensor network technology will be applied to measure the quantity of PM 2.5, carbon dioxide and nitrogen dioxide in the atmosphere, which have long-term effects on the respiratory system. In order to prevent the health problem, gas measurement is therefore essential. Moreover, this research also has applications for the Internet of Things, which manage, control and validate air quality in smart cities in order to get efficiency and accuracy results. The measured data from the application will be sent to Cloud computing system and displayed via a smartphone application. A microcontroller controls the transmission and display of measurement results.

The research aims to develop the air quality monitoring system and air quality notification application that helps track air pollution based on user location, including measuring air quality index by using a wireless sensor network. This system can be used as a prototype for measuring air quality index at the smart cities that located in Suranaree University of Technology.

School of Telecommunication Engineering  
Academic Year 2020

Student's Signature N. Sawangswai  
Advisor's Signature P. Kumawat

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

บิดาและมารดา คุณพ่อรุ่งกมล สว่างไสว คุณแม่ณิชนันทน์ สว่างไสว ผู้วิจัยขอขอบคุณพระคุณท่านทั้งสองที่มอบชีวิต ให้ความรักความห่วงใย และให้การเลี้ยงดูอย่างอบอุ่น ความสำเร็จนี้คือความภาคภูมิใจของท่านทั้งสอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร. อาทิตย์ ศรีแก้ว และรองศาสตราจารย์ ดร. กิตติ อรรถกิจมงคล ผู้ให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา และคอยให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งคอยชี้แนะแนวทางในการทำงานวิจัยที่ถูกต้อง

คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้และคำปรึกษาเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาในการเข้าศึกษาและขอบคุณบุคลากรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานของข้าพเจ้า

ขอขอบคุณนายวงศธร ภาธรสุวรรณ นายฉนกร หอประเสริฐวงศ์ นายรัชชนนท์ สุนาพรม บัณฑิตศึกษาทุกท่าน พี่ น้องและเพื่อน รวมถึงมิตรสหายที่คอยให้คำปรึกษา คอยให้กำลังใจและมิตรภาพที่ดีมาโดยตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

ณิชมล สว่างไสว

# สารบัญ

หน้า

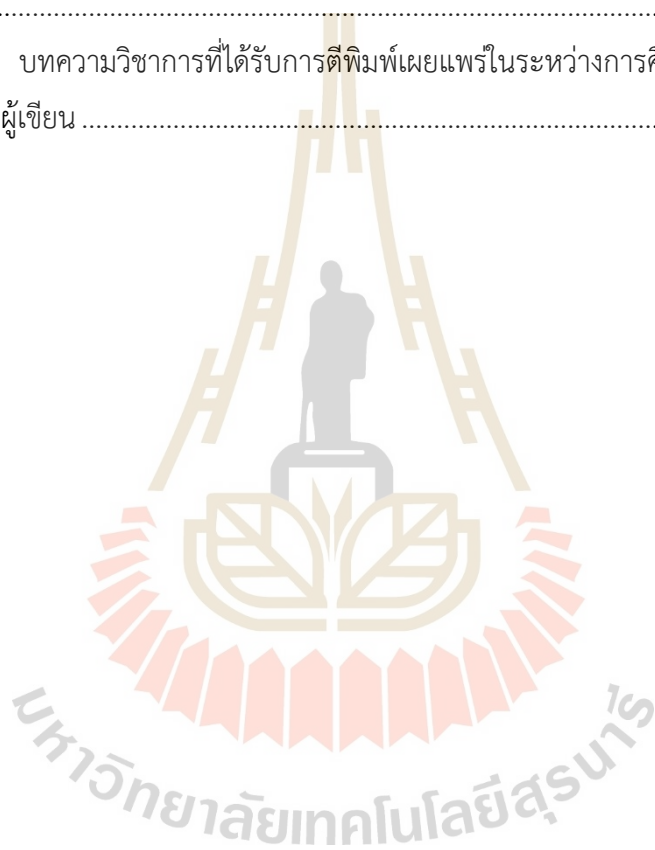
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1    ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2    วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3    ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4    ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5    วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.6    ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	3
1.7    สรุป.....	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี ปรัชมนวัตกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>5</b>
2.1    บทนำ.....	5
2.2    เซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30.....	5
2.3    เซ็นเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	6
2.4    เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ.....	7
2.5    การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI).....	8
2.6    ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence).....	10
2.7    โปรแกรม Jupyter Notebook.....	16
2.8    ปรัชมนวัตกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.9    สรุป.....	21

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน</b> .....	<b>22</b>
3.1 บทนำ.....	22
3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ.....	22
3.3 การออกแบบระบบซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชัน.....	27
3.3.1 การออกแบบโปรแกรม Arduino เพื่อออกแบบระบบตรวจวัด ดัชนีคุณภาพอากาศ.....	27
3.3.2 การออกแบบแอปพลิเคชัน Blynk สำหรับแสดงผลการตรวจวัด.....	28
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยโปรแกรม Jupyter Notebook.....	31
3.5 สรุป .....	32
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน</b> .....	<b>33</b>
4.1 บทนำ.....	33
4.2 การทดสอบเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 เทียบ กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor.....	33
4.3 การทดสอบเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 สถานี ที่ 1 หอพักนักศึกษาสุรนิวศ 18 เทียบกับ แอปพลิเคชัน Air Visual.....	45
4.4 การทดสอบเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 สถานี ที่ 2 อาคาร เทคโนโลยี เทียบกับแอปพลิเคชัน Air Visual.....	60
4.5 การทดลองอุปกรณ์ต้นแบบระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศสถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี .....	69
4.6 การทดลองอุปกรณ์ต้นแบบระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศสถานีที่ 3 อาคารขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี .....	88
4.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยโปรแกรม Jupyter Notebook .....	109
4.8 สรุป .....	118

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการวิจัย .....	120
5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์ .....	120
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไป .....	121
รายการอ้างอิง .....	122
ภาคผนวก ก บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	124
ประวัติผู้เขียน .....	167



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	บริษัทนวัตกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
4.1	การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor .....	34
4.2	การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน.....	46
4.3	การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว .....	50
4.4	การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศระหว่างแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 .....	53
4.5	การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว .....	57
4.6	การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน.....	60
4.7	การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว .....	65
4.8	การเก็บผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์.....	70
4.9	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ได้จากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 .....	74
4.10	การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์คุณภาพอากาศ aqicn.....	76
4.11	การเก็บผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์.....	88
4.12	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ได้จากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 .....	92

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.13	การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ และค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์คุณภาพอากาศ aqicn.....	95
4.14	ผลการวิเคราะห์และทำนาย ณ สถานีที่ 2.....	109
4.15	ผลการวิเคราะห์และทำนาย ณ สถานีที่ 3.....	113





## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่น SPS30.....	5
2.2	รายละเอียดสายสัญญาณของเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 .....	6
2.3	เซ็นเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	6
2.4	เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ .....	7
2.5	ค่าความเข้มข้นฝุ่น PM 2.5 เทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐานสหรัฐอเมริกา .....	9
2.6	โครงสร้างของปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึก .....	12
2.7	ตัวอย่างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม .....	13
2.8	ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งหน่วยแบบหลายอินพุต .....	13
2.9	ต้นไม้การตัดสินใจที่เพิ่มการไล่ระดับสี .....	14
3.1	ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่ออกแบบขึ้น.....	22
3.2	แผนภาพการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ .....	23
3.3	(ก) และ (ข) การติดตั้งอุปกรณ์เซ็นเซอร์ .....	24
3.4	(ก) ติดตั้งที่หอพักนักศึกษาสุรนิวศ 18 และ (ข) ติดตั้งที่อาคารเทคโนโลยีในการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5.....	25
3.5	(ก) ติดตั้งที่อาคารเทคโนโลยี และ (ข) ติดตั้งที่อาคารขนส่งในการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์.....	26
3.6	แผนผังแสดงการทำงานของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ .....	27
3.7	(ก) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 1 บนระบบ iOS (ข) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 1 บนระบบ Android .....	28
3.8	(ก) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 2 บนระบบ iOS (ข) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 2 บนระบบ Android .....	29
3.9	(ก) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 3 บนระบบ iOS (ข) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 3 บนระบบ Android .....	30
3.10	แผนภาพสำหรับกระบวนการที่ออกแบบ .....	31
4.1	(ก) เซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และ (ข) Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor.....	34

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor .....	40
4.3 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor .....	41
4.4 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor.....	41
4.5 กราฟสมการความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor .....	42
4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วย Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว .....	43
4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วย Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว .....	44
4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วย Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว .....	45
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual .....	48
4.10 กราฟสมการความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual .....	49
4.11 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว .....	52
4.12 กราฟความสัมพันธ์ค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual .....	55

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 กราฟสมการความสัมพันธ์ค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual.....	56
4.14 กราฟเปรียบเทียบค่า AQI จากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว .....	59
4.15 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual.....	62
4.16 กราฟสมการความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual .....	63
4.17 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว .....	64
4.18 กราฟความสัมพันธ์ของค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual .....	67
4.19 กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual.....	67
4.20 กราฟเปรียบเทียบค่า AQI จากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว .....	69
4.21 กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ณ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี.....	72
4.22 กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี.....	72
4.23 กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ณ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี.....	73
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ .....	75
4.25 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn .....	79

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26	กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบ ตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ..... 80
4.27	กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัดดัชนี คุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการเปรียบเทียบแล้ว ..... 81
4.28	กราฟความสัมพันธ์ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ กับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ..... 82
4.29	กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนี คุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn..... 83
4.30	กราฟความสัมพันธ์ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ กับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการเปรียบเทียบแล้ว..... 84
4.31	กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัด ดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ..... 85
4.32	กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จาก ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ..... 86
4.33	กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัด ดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการเปรียบเทียบ แล้ว ..... 87
4.34	กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ณ สถานีที่ 3 อาคารขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี..... 90
4.35	กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สถานีที่ 3 อาคาร ขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี..... 91
4.36	กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ณ สถานีที่ 3 อาคาร ขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี..... 91
4.37	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 และค่า ดัชนีคุณภาพอากาศ..... 94
4.38	กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัด ดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ..... 97

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.39	กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จาก ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ..... 98
4.40	กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัด ดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการปรับเทียบ แล้ว ..... 99
4.41	กราฟความสัมพันธ์ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ กับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ..... 100
4.42	กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนี คุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn..... 101
4.43	กราฟความสัมพันธ์ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ กับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว ..... 102
4.44	กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัด ดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ..... 103
4.45	กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จาก ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ..... 104
4.46	กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจ วัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการ ปรับเทียบแล้ว ..... 105
4.47	กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สถานที่ 2 และสถานที่ 3 ..... 106
4.48	กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สถานที่ 2 และสถานที่ 3 ..... 107
4.49	กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สถานที่ 2 และสถานที่ 3 ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว ..... 108
4.50	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์และทำนายผลข้อมูลของสถานที่ 2 ..... 113
4.51	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์และทำนายผลข้อมูลของสถานที่ 3 ..... 117

# บทที่ 1

## บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นการอธิบายถึงความเป็นมา และเหตุจูงใจ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ แนวทางการดำเนินวิทยานิพนธ์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฝุ่นละออง (Particulate Matters) PM 2.5 เป็นอนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยน้อยกว่า 2.5 ไมโครเมตร แขนงลอยอยู่ในอากาศรวมกับไอน้ำ ควีน และก๊าซต่าง ๆ ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองขนาดเล็กดังกล่าวถือเป็นมลพิษต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากขนาดของฝุ่นมีขนาดเล็กมากทำให้สามารถเล็ดลอดผ่านขนจมูกเข้าสู่ปอดและหลอดเลือดได้ง่าย ส่งผลเสียต่อร่างกายในระยะยาว ดังนั้นการตรวจจับปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 การเฝ้าระวังและการแจ้งเตือนปริมาณฝุ่นละอองในอากาศแบบเวลาจริงจึงถือว่ามีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อทราบถึงดัชนีคุณภาพอากาศและเตือนให้ประชาชนได้ระมัดระวังป้องกันตนเองด้วยการสวมหน้ากาก N95 และช่วยในการตัดสินใจของผู้บริหารในการแก้ปัญหาหาก่อนที่ปริมาณฝุ่นจะมีปริมาณที่มากจนส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในระดับที่รุนแรง

สมาร์ตซิตี เป็นเมืองที่ใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ทันสมัยและชาญฉลาด เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เช่น ระบบบริหารจัดการเครือข่ายพลังงานอัจฉริยะ (Smart Grid) ระบบมิเตอร์อัตโนมัติ (Smart Meter) ระบบควบคุมการจราจรอัจฉริยะ เป็นต้น และมีคุณสมบัติเป็นเมืองที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพื่อช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ทำให้สามารถลดปัญหาภาวะได้อย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้จึงนำเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาใช้ในการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เพื่อการบริหารจัดการสมาร์ตซิตีในด้านการเฝ้าระวังและตรวจสอบคุณภาพอากาศอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ผู้วิจัยยังนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things, IoT) มาประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลการตรวจวัดและเชื่อมโยงข้อมูลสถานะฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในเมืองใหญ่ให้เป็นลักษณะของเครือข่ายไร้สายที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง การเฝ้าระวังและตรวจติดตามแบบเวลาจริงผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและแอปพลิเคชันบนมือถือ เพื่อช่วยทำให้ผู้บริหารระดับสูง



สามารถทำการตัดสินใจในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างแม่นยำและทันท่วงที

งานวิจัยที่น่าเสนอ มีการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ SPS30 Particulate Matter Sensor ที่สามารถตรวจจับและวัดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กด้วยหลักการกระเจิงของแสงเลเซอร์ (Laser scattering) เซ็นเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่มีความไวสูงต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำหน้าที่ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยโครงการนี้เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ ทำหน้าที่ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซทั้งสองเป็นมลพิษทางอากาศทั้งหมดและมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจเหมือนกับฝุ่นละออง PM 2.5 จึงตรวจวัดปริมาณก๊าซทั้งสองเพิ่มเติมด้วย

ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ มีการส่งข้อมูลเพื่อรายงานผลการตรวจวัดแบบไร้สาย สามารถเฝ้าระวังตรวจสอบผลการตรวจวัดได้ด้วยแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ทั้งระบบ Android และ iOS ทำงานได้ 24 ชั่วโมง ซึ่งผลการตรวจวัดที่ได้จะมีความแม่นยำเทียบเท่ากับอุปกรณ์ตรวจวัดมาตรฐาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ สำหรับตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

1.2.2 เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแจ้งเตือนดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่

1.2.3 สามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สำหรับสมาร์ตซิตี้

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ดำเนินสร้างต้นแบบระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

1.3.2 ดำเนินการทดสอบการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้



1.4.2 สามารถออกแบบระบบควบคุมการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้

1.4.3 สามารถนำเอาเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาประยุกต์ใช้กับงานด้านการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

### 1.5.1 แนวทางการดำเนินงาน

1.5.1.1 ศึกษากระบวนการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

1.5.1.2 ออกแบบระบบควบคุมการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

1.5.1.3 ทดสอบระบบการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

1.5.1.4 จัดทำรายงานแบบสมบูรณ์

### 1.5.2 สถานที่ติดตั้งระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ

1.5.2.1 ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ สถานีที่ 1 หอพักนักศึกษาสุรนิวเขต 18

1.5.2.2 ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.2.3 ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ สถานีที่ 3 อาคารขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 1.6 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

สำหรับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูล ออกแบบระบบ ทดสอบระบบ วิเคราะห์และสรุปผล โดยประกอบไปด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท

**บทที่ 1** กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ วิธีดำเนินการวิจัยของงานวิจัยนี้

**บทที่ 2** กล่าวถึงแนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

**บทที่ 3** กล่าวถึงวิธีดำเนินการออกแบบฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชันของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ โดยตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์ไร้สาย

**บทที่ 4** กล่าวถึงผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ โดยอุปกรณ์ต้นแบบติดตั้งภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทั้งหมด 3 สถานี และการนำข้อมูลจากการทดลองอุปกรณ์ต้นแบบมาวิเคราะห์ด้วยปัญญาประดิษฐ์

**บทที่ 5** กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัย ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อในอนาคต

## 1.7 สรุป

ปัญหาและความเป็นมาของงานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายและเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อการเชื่อมโยงข้อมูลสถานะฝุ่น PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในเมืองใหญ่ ระบบสามารถทำการเฝ้าระวังและตรวจติดตามข้อมูลแบบเวลาจริงผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและแอปพลิเคชัน จึงช่วยในการแก้ไขปัญหาดัชนีคุณภาพอากาศฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้อย่างแม่นยำและทันที่



## บทที่ 2

### ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับสมาร์ทซิตี้ ดังต่อไปนี้

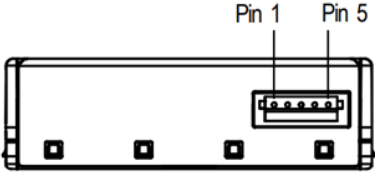
- อุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เซ็นเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ
- การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ ซึ่งประกอบด้วย มลพิษทางอากาศ 6 ชนิด หลักการคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศและตัวอย่างการคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ
- ความหมายและประเภทของปัญญาประดิษฐ์
- ปรัชญาวิศวกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.2 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่น SPS30

Sensirion Particulate Matter Premium PM2.5 Sensor (SPS30) เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับอนุภาคฝุ่นได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  โดยขนาดอนุภาคที่ตรวจจับได้คือ PM1.0, PM2.5, PM4 และ PM10 ขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดที่ตรวจจับได้คือ 0.3  $\mu\text{m}$  สามารถนำไปตรวจสอบสภาพอากาศภายในห้องและภายนอกได้ ทั้งยังมีขนาดกระทัดรัด คุณภาพสูง มีหลักการทำงานแบบ laser scattering อายุการใช้งานถึง 8 ปี ขึ้นอยู่กับการใช้งาน SPS30 ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ สามารถต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ได้ ใช้การสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C หรือ UART ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 5 เส้นเท่านั้น



รูปที่ 2.1 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่น SPS30



Pin	Name	Description	Comments
1	VDD	Supply voltage	5V ± 10%
2	RX	UART: Receiving pin for communication	TTL 5V and LVTTTL 3.3V compatible
	SDA	I <sup>2</sup> C: Serial data input / output	
3	TX	UART: Transmitting pin for communication	TTL 5V and LVTTTL 3.3V compatible
	SCL	I <sup>2</sup> C: Serial clock input	
4	SEL	Interface select	Leave floating to select UART Pull to GND to select I <sup>2</sup> C
5	GND	Ground	

รูปที่ 2.2 รายละเอียดสายสัญญาณของเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30

(ที่มา: <https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/particulate-matter-sensors-pm25/>)

## 2.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)

MG-811 Carbon Dioxide Sensor Module สำหรับตรวจจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) แบบ Metal Oxide Sensor ซึ่งต้องให้ความร้อนที่ตัวถังจนถึงระดับที่กำหนด ด้วยการจ่ายไฟทำให้เกิดไอความร้อน และแยกก๊าซ CO<sub>2</sub> ออกจากอากาศทั่ว ๆ ไป



รูปที่ 2.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(ที่มา: <https://www.analogread.com/product/957/mg-811-carbon-dioxide-sensor-module>)

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1. มีช่วงการตรวจจับ 350 - 10,000 ppm CO<sub>2</sub>

2. เวลาตอบสนองน้อยกว่า 60 วินาที
3. Heater voltage เท่ากับ 6.0 โวลต์

## 2.4 เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ

โครงสร้างของชิปเซ็นเซอร์ก๊าซซิลิกอน ประกอบด้วยกลไกไมโครไดอะแฟรมที่มีความแม่นยำ และตัวต้านทานความร้อนที่ฝังอยู่กับชั้นตรวจจับที่ด้านบน องค์ประกอบตรวจวัดก๊าซที่แยกกันสามชุดถูกรวมเข้าด้วยกัน เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับไอเสียรถยนต์ ก๊าซเสียจากอุตสาหกรรมและการเกษตรได้



รูปที่ 2.4 เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ

(ที่มา: [https://www.myarduino.net/product/3470/](https://www.myarduino.net/product/3470/cjmcu-mics-6814)

cjmcu-mics-6814)

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ

1. โหมดจ่ายแรงดัน: DC4.9V ~ 5.1V
2. สภาพแวดล้อมการทำงานที่อุณหภูมิและความชื้น: -30 ~ 85 องศา 5 ~ 95% RH
3. ขนาดโมดูล: 16.9 มม. \* 14.1 มม. \* 3.2 มม.

ตรวจจับช่วงก๊าซ :

1. คาร์บอนมอนอกไซด์ CO 1 - 1,000 ppm
2. ไนโตรเจนไดออกไซด์ NO2 0.05 – 10 ppm
3. เอทานอล C2H5OH 10 – 500 ppm
4. ไฮโดรเจน H2 1 - 1,000 ppm
5. แอมโมเนีย NH3 1 – 500 ppm
6. มีเทน CH4 > 1,000 ppm
7. โพรเพน C3H8 > 1,000 ppm

## 2.5 การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI)

เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ซึ่งดัชนีคุณภาพอากาศเป็นรูปแบบสากลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย สิงคโปร์ มาเลเซีย และประเทศไทย เป็นต้น

ดัชนีคุณภาพอากาศ 1 ค่า ใช้เป็นตัวแทนค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่

**1. ก๊าซโอโซน ( $O_3$ )** เป็นก๊าซที่ไม่มีสีหรือมีสีฟ้าอ่อน มีกลิ่นฉุน ละลายน้ำได้เล็กน้อย เกิดขึ้นได้ทั้งในระดับบรรยากาศชั้นที่สูงจากผิวโลก และระดับชั้นบรรยากาศผิวโลกที่ใกล้พื้นดิน ก๊าซโอโซนที่เป็นสารมลพิษทางอากาศคือก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศผิวโลก เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีผลกระทบต่อสุขภาพ โดยก่อให้เกิดการระคายเคืองตาและระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและเยื่อต่าง ๆ ความสามารถในการทำงานของปอดลดลง เหนื่อยเร็ว โดยเฉพาะในเด็ก คนชรา และคนที่ เป็นโรคปอดเรื้อรัง

**2. ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ )** เป็นก๊าซที่ไม่มีสีและกลิ่น ละลายน้ำได้เล็กน้อย มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงต่าง ๆ อุตสาหกรรมบางชนิด เป็นต้น ก๊าซนี้มีผลต่อระบบการมองเห็นและผู้ที่มีอาการหอบหืดหรือ โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ

**3. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $CO$ )** เป็นก๊าซที่ไม่มีสี กลิ่น และรส เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ก๊าซนี้สามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้โดยจะไปรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงได้ดีกว่าออกซิเจนประมาณ 200-250 เท่า เมื่อหายใจเข้าไปทำให้ก๊าซชนิดนี้จะไปแย่งจับกับฮีโมโกลบินในเลือด เกิดเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน ( $CoHb$ ) ทำให้การลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายลดน้อยลง ส่งผลให้ร่างกายเกิดอาการอ่อนเพลีย และหัวใจทำงานหนักขึ้น

**4. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $SO_2$ )** เป็นก๊าซที่ไม่มีสี หรืออาจมีสีเหลืองอ่อนๆ มีรสและกลิ่นที่ระดับความเข้มข้นสูง เกิดจากธรรมชาติและการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถัน (ซัลเฟอร์) เป็นส่วนประกอบ สามารถละลายน้ำได้ดี สามารถรวมตัวกับสารมลพิษอื่นแล้วก่อตัวเป็นอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กได้ ก๊าซนี้มีผลกระทบต่อสุขภาพ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อตา ผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจ หากได้รับเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้เป็นโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรังได้

5. ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) เป็นฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาในที่โล่ง กระบวนการอุตสาหกรรม การบด การม่ หรือการทำให้เป็นผงจากการก่อสร้าง ส่งผลกระทบต่อสุขภาพเนื่องจากเมื่อหายใจเข้าไปสามารถเข้าไปสะสมในระบบทางเดินหายใจ

6. ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) เป็นฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้ทั้งจากยานพาหนะ การเผาวัสดุการเกษตร ไฟป่า และกระบวนการอุตสาหกรรม สามารถเข้าไปถึงถุงลมในปอดได้ เป็นผลทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ และโรคปอดต่าง ๆ หากได้รับในปริมาณมากหรือเป็นเวลานานจะสะสมในเนื้อเยื่อปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลมอักเสบ มีอาการหอบหืด

### หลักการคำนวณ AQI

1. พิจารณาค่าความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่ต้องการคำนวณกับตารางช่วงชั้นค่าความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  เทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

ดัชนีคุณภาพอากาศ $PM_{2.5}$ ( $PM_{2.5}$ AQI)			
AQI values	$PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )	Air Pollution Level	Meaning
0-50	0-12	คุณภาพดี	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพทุกคนสามารถประกอบกิจกรรม
51-100	12.1-35.4	คุณภาพปานกลาง	อาจมีผลกระทบต่อคนที่สัมผัสไวต่อมลพิษและอาจต้องพิจารณาจำกัดกิจกรรมต่างๆที่ต้องสัมผัสต่อมลพิษทางอากาศ
101-150	35.5-55.5	มีผลกระทบต่อสุขภาพต่อกลุ่มคนที่สัมผัสไวต่อมลพิษ	เด็ก ผู้สูงอายุและบุคคลทั่วไป รวมถึงผู้ที่เปราะบางและโรคปอดต้องจำกัดการทำกิจกรรมและการออกกำลังกาย
151-200	55.6-150.4	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	คนที่สัมผัสไวต่อมลพิษควรลดทำกิจกรรมและการออกกำลังกาย
201-300	150.5-250.4	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก	ทุกคนควรลดทำกิจกรรมและการออกกำลังกาย
300-500	250.5-500	อันตราย	มีผลกระทบต่อสุขภาพไม่ว่าระดับการออกกำลังกายจะเป็นอย่างไร จำเป็นต้องมีการเตรียมพร้อมปฏิบัติการฉุกเฉิน

รูปที่ 2.5 ค่าความเข้มข้นฝุ่น  $PM_{2.5}$  เทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (ที่มา <https://healthandsafetyinshanghai.com/china-air-quality/> และ <https://www.greenpeace.org/thailand/story/2094/aqi-application-difference/>)



## 2. คำนวณค่า AQI ดังสมการที่ (1)

$$AQI_i = \left\{ \frac{(I_{max} - I_{min})}{(C_{max} - C_{min})} \times (C_i - C_{min}) \right\} + I_{min} \quad (1)$$

$C_i$  คือ ค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM 2.5 ที่จะคำนวณ

$C_{max}$ ,  $C_{min}$  คือ ค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงชั้นความเข้มข้นที่ตรงกับค่าความเข้มข้นที่

คำนวณ

$I_{max}$ ,  $I_{min}$  คือ ค่าสูงสุดและต่ำสุดของช่วงชั้นดัชนีที่ตรงกับค่าความเข้มข้น

ที่จะคำนวณ

### ตัวอย่างในการคำนวณค่า AQI

สมมติค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM 2.5 เท่ากับ  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  จะได้ AQI เท่าไร

1. ดูตารางช่วงชั้นความเข้มข้นและดัชนีคุณภาพอากาศ ว่าค่า  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วงชั้นใดจากตารางช่วงชั้นค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM 2.5 เทียบกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ
2. จากตาราง อ่านค่าได้ดังนี้  $C_{max} = 55.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $C_{min} = 150.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $I_{max} = 200$ ,  $I_{min} = 151$
3. แทนค่าในสมการแล้วคำนวณค่า AQI ตามสมการที่ (1)

$$AQI = \left\{ \frac{(200 - 151)}{(150.4 - 55.6)} \times (100 - 55.6) \right\} + 151 \quad (2)$$

$$AQI = 173.949$$

## 2.6 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)

ปัญญาประดิษฐ์เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์และวิศวกรรม ที่เกี่ยวข้องกับการวิธีการทำให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถคล้ายมนุษย์หรือเลียนแบบพฤติกรรมมนุษย์ โดยเริ่มมีการใช้ในปี 1956 แต่ได้รับความนิยมยิ่งขึ้นในปัจจุบันเนื่องด้วยปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้น อัลกอริทึมที่มีความก้าวหน้าและการพัฒนาในศักยภาพของการคำนวณและการจัดเก็บข้อมูล

ปัญญาประดิษฐ์ถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับตามความสามารถหรือความฉลาด โดยจะวัดจากความความสามารถในการให้เหตุผล การพูดและทัศนคติ ดังนี้

1. ปัญญาประดิษฐ์เชิงแคบ (Narrow AI) หรือ ปัญญาประดิษฐ์แบบอ่อน (Weak AI) คือ ปัญญาประดิษฐ์ที่มีความสามารถเฉพาะทางได้ดีกว่ามนุษย์

2. ปัญญาประดิษฐ์ทั่วไป (General AI) คือ ปัญญาประดิษฐ์ที่มีความสามารถระดับเดียวกับมนุษย์ สามารถทำทุก ๆ อย่างที่มนุษย์ทำได้และได้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับมนุษย์

3. ปัญญาประดิษฐ์แบบเข้ม (Strong AI) คือ ปัญญาประดิษฐ์ที่มีความสามารถเหนือมนุษย์ในหลาย ๆ ด้าน

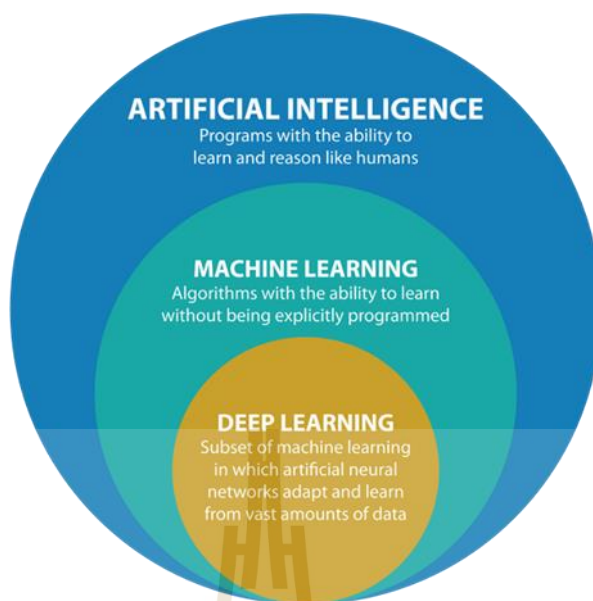
ปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนา และมีการคาดว่าจะมันจะมีความสามารถเหนือมนุษย์ในช่วง Strong AI โดยการที่จะเปลี่ยนผ่านไปสู่ช่วงนั้น เครื่องจำเป็นต้องเรียนรู้วิธีการคิดของมนุษย์ทั้งในด้านเทคนิคและกระบวนการจัดเก็บข้อมูลในสมอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) เป็นส่วนที่ถูกใช้งานเสมือนเป็นสมองของปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งเป็นการสอนให้ระบบคอมพิวเตอร์ทำการเรียนรู้ได้โดยตนเองโดยการใช้ข้อมูลในการฝึกฝนหรือการสอนอัลกอริทึมให้เรียนรู้ทำความเข้าใจและตัดสินใจได้ด้วยตัวเองจากข้อมูลที่ป้อนให้ การเรียนรู้ของเครื่องสามารถถูกแบ่งออกเป็นการเรียนรู้ได้ 2 แบบใหญ่ ๆ ได้แก่ การเรียนรู้แบบผู้สอน (Supervised Learning) และ การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning)

- การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) เป็นอัลกอริทึมที่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลในส่วนสำหรับฝึกฝน (training data) และส่วนที่รับกลับมาเพื่อปรับปรุง (feedback) จากมนุษย์เพื่อที่จะเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ถูกป้อนเข้ามาสู่ข้อมูลที่ออกไป

- การเรียนรู้โดยไม่มีผู้ช่วยสอน (Unsupervised) นั้น อัลกอริทึมจะตรวจสอบเฉพาะข้อมูลที่ป้อนเข้ามาเท่านั้นโดยปราศจากการให้ผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น เมื่อทำนายผลลัพธ์จากชุดข้อมูลจำนวนมากได้มากเท่าไร ก็ยังยิ่งแสดงความสามารถในการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) มากเท่านั้น

2. การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นซับเซตของการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งการเรียนรู้เชิงลึกเป็นเทคนิคในการสร้างปัญญาประดิษฐ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมหรือข่ายงานประสาทเทียมหลายๆ ชั้นเลียนแบบระบบเซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์ (Neural Network) ซึ่งโครงข่ายนี้เรียกว่า “โครงข่ายประสาทเทียม” (Artificial Neural Networks - ANN)

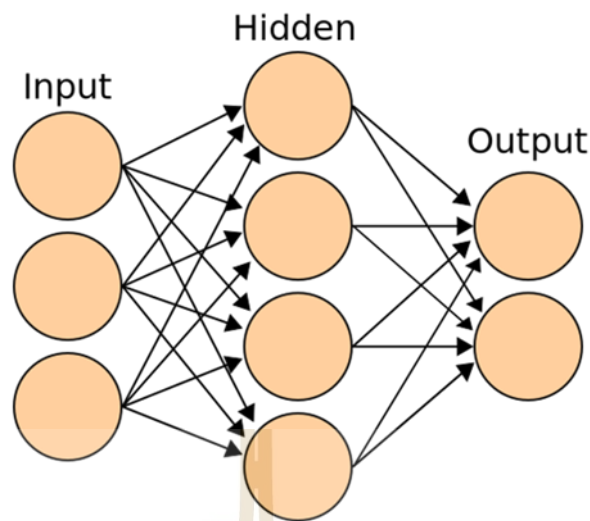


รูปที่ 2.6 โครงสร้างของปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึก  
(ที่มา <https://cloud-ace.co.th/blog/o0v9a6-ai-machine-learning-ml-ai-ml-goog>)

### 2.6.1 โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks)

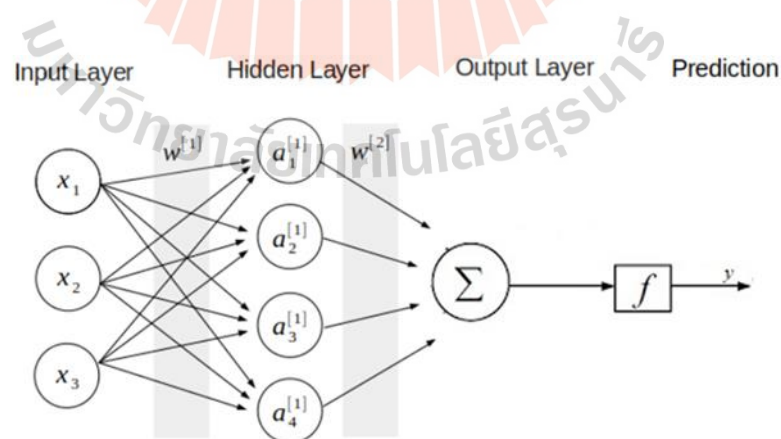
โครงข่ายประสาทเทียม คือระบบคอมพิวเตอร์จากโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการทำงานของระบบประสาทในสมองของมนุษย์ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ที่จะทำงานที่มอบหมายจากการเรียนรู้ผ่านตัวอย่าง โดยโครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วยโหนดและเส้นเชื่อมระหว่างโหนด โดยแบ่งชั้นในการทำงาน 3 ชั้นดังนี้

1. ชั้นอินพุต (Input Layer) คือชั้นที่รับข้อมูลเข้ามาในโครงข่ายประสาท โดยชั้นนี้มีเพียงหนึ่งชั้นเท่านั้นละจำนวนโหนดจะมีเท่ากับจำนวนคุณลักษณะ (Attribute) ของชุดข้อมูล
2. ชั้นซ่อน (Hidden Layer) คือชั้นที่รับข้อมูลต่อมาจากชั้นอินพุตหรือชั้นซ่อนก่อนหน้า โดยในชั้นนี้มีการทำงานเปรียบเสมือนส่วนที่เรียนรู้ ซึ่งในชั้นนี้สามารถมีจำนวนชั้นที่ซ่อนกันได้มากกว่าหนึ่ง
3. ชั้นเอาต์พุต (Output Layer) คือชั้นผลลัพธ์ที่ได้จากชั้นซ่อน จำนวนของโหนดในชั้นนี้ ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่ต้องการจำแนก



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม  
(ที่มา : [guopai.github.io/ml-blog14.html](http://guopai.github.io/ml-blog14.html))

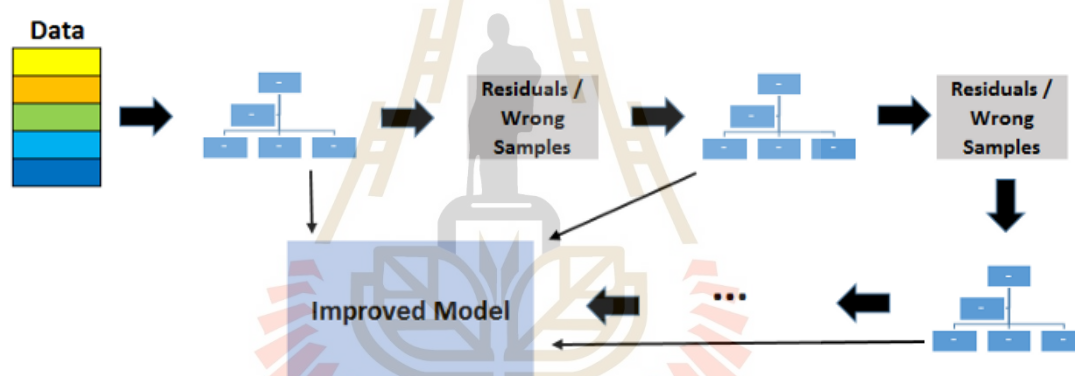
จากรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมที่ภายในมีการเชื่อมต่อระหว่างกันทั้ง 3 ระดับคือ ชั้นอินพุตหนึ่งชั้น จำนวน 3 โหนด ชั้นซ่อนหนึ่งชั้น จำนวน 4 โหนดและชั้นเอาต์พุตหนึ่งชั้น จำนวน 2 โหนด ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมในตัวอย่างนี้จะมีอินพุต 3 ค่าเข้ามาในโครงข่าย  $X(n)$  และแต่ละอินพุตจะถูกคูณด้วยค่าน้ำหนัก (Weight) จากนั้นจะถูกนำมารวมและส่งผ่านฟังก์ชัน (Transfer Function) เพื่อหาเอาต์พุต ซึ่งแสดงได้ดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งหน่วยแบบหลายอินพุต  
(ที่มา : [guopai.github.io/ml-blog14.html](http://guopai.github.io/ml-blog14.html))

## 2.6.2 เทคนิคการจำแนกข้อมูล (Classification)

เป็นหนึ่งในเทคนิคสำหรับการจำแนกประเภทของข้อมูล คือการจัดแบ่งข้อมูลให้อยู่ในประเภทที่กำหนดเป้าหมาย (Target) เป็นลักษณะของคำตอบ (Class) หรือลาเบล (Label) โดยจะทำการแบ่งชุดข้อมูล (Dataset) ออกเป็น 2 ชุด คือชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝน (Training Data) และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Data) โดยมีการแบ่งอัตราส่วนที่ 70 ต่อ 30 หรือ 80 ต่อ 20 ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของชุดข้อมูล จากนั้นนำชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝนป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการเรียนรู้ การสร้างระบบหรือจำแนกข้อมูลในการเรียนรู้อาจจะเลือกใช้แรนด้อมฟอรัลเรสต์ (Random Forest : RF) จากนั้นทำการทดสอบระบบจำแนกข้อมูลโดยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ ซึ่งเป็นชุดข้อมูลคนละชุดกับชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝน และในท้ายที่สุดทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิคการจำแนกข้อมูล คือเทคนิค LightGBM หรือต้นไม้การตัดสินใจที่เพิ่มการไล่ระดับสีอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.9 ต้นไม้การตัดสินใจที่เพิ่มการไล่ระดับสี

(ที่มา : <https://ichi.pro/th/kar-thakhwam-kheaci-lightgbm-131033555708922>)

LightGBM (Light Gradient Boosted Machine) เป็นไลบรารีเพื่อสร้างการทำงาน GBDT (Gradient Boosted Decision Trees) ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ซึ่ง LightGBM ดีกว่าอัลกอริธึมแบบต้นไม้อื่นๆ เนื่องจาก LightGBM สนับสนุนการเรียนรู้ด้วย GPU ซึ่งใช้หน่วยความจำน้อยกว่าและประมวลผลได้เร็วกว่าด้วยชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่

GBDT หรือต้นไม้การตัดสินใจที่เพิ่มการไล่ระดับสี เป็นชุดของแผนผังการเรียนรู้ของต้นไม้ การตัดสินใจในลำดับขั้นตอนที่ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากแผนผังการเรียนรู้ก่อนหน้านี้จะถูกเพิ่มเข้าไป

ยังแผนผังการตัดสินใจใหม่ในการทำซ้ำครั้งต่อไป ซึ่งหมายความว่า การติดตามการเรียนรู้จะสามารถมองเห็นและเรียนรู้ความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์จริงและการคาดคะเน แสดงดังรูปที่ 2.9

LightGBM เริ่มต้นด้วยอัลกอริทึมที่ใช้ฮิสโตแกรมเนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพมากกว่า ปัญหาของอัลกอริทึมที่ใช้ฮิสโตแกรม คืออินสแตนซ์ข้อมูลทั้งหมดจะถูกสแกนเพื่อค้นหาการแยกที่ดีที่สุดเกี่ยวกับการได้รับข้อมูลสำหรับแต่ละคุณสมบัติ ดังนั้นความซับซ้อนของอัลกอริทึมที่ใช้ฮิสโตแกรมจึงถูกครอบงำด้วยจำนวนอินสแตนซ์และคุณสมบัติของข้อมูล เพื่อเอาชนะปัญหานี้ LightGBM ใช้สองเทคนิค ดังนี้

1. การลดขนาดข้อมูลด้วยการสุ่มตัวอย่างด้านเดียวแบบไล่ระดับสี (Gradient-based One-Side Sampling, GOSS)

GOSS เป็นการปรับเปลี่ยนวิธีการเพิ่มเกรเดียนท์ที่เน้นความสนใจไปที่ตัวอย่างการเรียนรู้เหล่านั้นซึ่งส่งผลให้มีการไล่ระดับสีที่กว้างมากขึ้น ซึ่งจะเป็นการเร่งการเรียนรู้และลดความซับซ้อนในการคำนวณของวิธีการ ซึ่งมีเพียงบางส่วนของชุดข้อมูลเท่านั้นที่ถูกสุ่มตัวอย่าง จึงเรียกอัลกอริทึมนี้ว่า การสุ่มตัวอย่างด้านเดียว

- การไล่ระดับสีขนาดเล็ก อัลกอริทึมได้รับการฝึกฝนในอินสแตนซ์นี้และข้อผิดพลาดที่เกี่ยวข้องมีขนาดเล็ก
- การไล่ระดับสีขนาดใหญ่ ข้อผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับอินสแตนซ์นี้มีขนาดใหญ่จึงทำให้ได้รับข้อมูลเพิ่มเติม

2. การลดจำนวนคุณสมบัติด้วยการรวมคุณลักษณะพิเศษ (Exclusive Feature Bundling, EFB)

EFB เป็นแนวทางสำหรับการรวมกลุ่มคุณลักษณะพิเศษเฉพาะบางกลุ่ม เช่น การใส่ตัวแปรตามหมวดหมู่ที่ได้รับการเข้ารหัสแบบใช้ครั้งเดียว จึงเป็นประเภทของการเลือกคุณสมบัติแบบอัตโนมัติ โดยเป็นเทคนิคที่ใช้ฮิสโตแกรมแบบโลภ เพื่อรวมคุณลักษณะพิเศษร่วมกันเหล่านี้ให้เป็นคุณลักษณะเดียวและทำให้มิติข้อมูลลดลง

EFB ลดเวลาในการฝึกอบรมของ GBDT โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำมาก เนื่องจากความซับซ้อนของการสร้างฮิสโตแกรมคุณลักษณะนั้นแปรผันตามจำนวนบิตแทนที่จะเป็นจำนวนฟีเจอร์

เมื่อรวมกันแล้วการเปลี่ยนแปลงทั้งสองอย่างนี้สามารถเร่งเวลาการประมวลผลของอัลกอริทึมได้มากถึง 20 เท่าในขณะที่ได้ความแม่นยำเกือบเท่าเดิม ด้วยเหตุนี้ LightGBM จึงอาจได้รับการพิจารณาว่าเป็นแผนผังการตัดสินใจที่ส่งเสริมการไล่ระดับสี (GBDT) ด้วยการเพิ่ม GOSS และ EFB



## 2.7 โปรแกรม Jupyter Notebook

Jupyter Notebook เป็นโปรแกรมหนึ่งในการสร้างการเรียนรู้ของเครื่องหรือ Machine Learning สามารถสร้างและแบ่งปันเอกสารที่มีโค้ด สมการ การสร้างภาพ และข้อความบรรยาย รวมถึงการล้างข้อมูลและการแปลงข้อมูล การจำลองเชิงตัวเลข การสร้างแบบจำลองทางสถิติ การสร้างภาพข้อมูล การเรียนรู้ของเครื่อง และอื่น ๆ อีกมากมาย โดยโปรแกรม Jupyter Notebook รองรับภาษาคอมพิวเตอร์มากกว่า 40 ภาษา ผู้วิจัยเลือกใช้ ไพทอน เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ในการเขียนโปรแกรม

## 2.8 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.1 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี ค.ศ.	ชื่อผู้แต่ง	ชื่อบทความ	รายละเอียดเบื้องต้น
2012	ศิวรินทร์ ดวงแก้ว	องค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศทั่วไปในเมืองกรุงเทพมหานคร บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการตรวจวัดและหาสัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ และยานพาหนะ โดยตรวจวัดด้วยเครื่อง Aethalometer หาความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอน หาสัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอนและสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC ในฝุ่นขนาดเล็ก วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดเล็ก
2013	มุหัมมัด มั่นศรีธา	การประยุกต์ใช้โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายตามมาตรฐาน ZigBee/IEEE802.15.4 สำหรับระบบกันทางรถไฟ	วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการพัฒนาระบบกันทางรถไฟแบบอัตโนมัติโดยใช้โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ZigBee/IEEE802.15.4 โดยออกแบบขั้นตอนวิธีในกระบวนการจัดเส้นทางของ ZigBee แบบโมด API ซึ่งจะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดในการส่งข้อมูล และมีระบบเฝ้าตรวจ โดยจะรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ชนิดแบบเวลาจริง เพื่อ



ตารางที่ 2.1 ปรัชญานวัตกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี ค.ศ.	ชื่อผู้แต่ง	ชื่อบทความ	รายละเอียดเบื้องต้น
			สามารถรับรู้สถานะเครือข่ายเชื่อมโยงสถานะเซ็นเซอร์ตรวจจับรถไฟ สถานะประตูกันทางรถไฟ สถานการณ์ทำงานของโนดในระบบและตำแหน่งของรถไฟแบบเวลาจริงเพื่อให้พนักงานรถไฟได้ทราบถึงการทำงานของเซ็นเซอร์โนด
2014	ณัฐธิดา ขาวสะอาด	การจัดเส้นทางบนพื้นฐานของการเรียนรู้แบบเสริมแรงด้วยเรีฟพิวเทชันของเส้นทางในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อการประยุกต์ใช้ในการเตือนเหตุอุกทกภัย	วิทยานิพนธ์นี้การพัฒนากรอบการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการพัฒนาการเรียนรู้แบบอัตโนมัติ เพื่อช่วยในกระบวนการตัดสินใจเลือกเส้นทางในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยประยุกต์ใช้ในระบบเตือนอุกทกภัยซึ่งในงานวิจัยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบเสริมแรง
2015	ฐิติ สิทธิวงศ์กุล	การพัฒนาต้นแบบโมดและส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์สำหรับงานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาต้นแบบโนด ซึ่งติดตั้งวงจรที่จำเป็นสำหรับใช้งานเป็นโนดเซ็นเซอร์ทั้งหมดรวมไว้บนแผงวงจรเดียวกัน ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ Simple-API ใช้รูปแบบการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุโดยแบ่งเป็น 4 ส่วนตามหน้าที่การทำงานของโนดเซ็นเซอร์ การพัฒนานี้เป็นประโยชน์ต่อการนำเครือข่ายเซ็นเซอร์มาประยุกต์ใช้งานจริงได้สะดวกมากขึ้น

ตารางที่ 2.1 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี ค.ศ.	ชื่อผู้แต่ง	ชื่อบทความ	รายละเอียดเบื้องต้น
2016	ธนาภูมิ แคนมณี	สำวิธีการควบคุมการใช้งานสื่อกลางแบบประหยัดพลังงานหรับอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลในเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย	วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการควบคุมการใช้งานสื่อกลางแบบประหยัดพลังงานสำหรับอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลในเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย ที่ชื่อว่า CU- MAC ที่ออกแบบเพื่อใช้การเชื่อมต่อเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายเข้ากับระบบไอโอทีได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2017	ธนวิษณุ มานิตย์-โชติพิสิฐ	เครือข่ายตัวตรวจรู้แบบไร้สายบลูทูธ - ไวไฟเพื่อใช้วัดอุณหภูมิ ความชื้นและความเข้มแสง	วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนา ระบบเครือข่ายตัวตรวจรู้แบบไร้สายบลูทูธ - ไวไฟ เพื่อใช้วัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง และจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวไปยังฐานข้อมูลตามมาตรฐาน IEEE1888 ซึ่งจะส่งข้อมูลด้วยสัญญาณบลูทูธพลังงานต่ำไปยังเกตเวย์ที่เชื่อมต่ออยู่กับสัญญาณไวไฟ
2017	กฤษฎี วิทิตศานต์	การพัฒนาต้นแบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการทำเกษตรแม่นยำในเรือนเพาะปลูก	วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาต้นแบบระบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการทำเกษตรแม่นยำในเรือนเพาะปลูก ระบบประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์ต่าง ๆ สำหรับวัดค่าพารามิเตอร์เพื่อนำมาเป็นตัวแปรในการควบคุมอุปกรณ์ปรับสภาพอากาศ โดยใช้ Raspberry pi เป็นเกตเวย์และประมวลในการสื่อสารกับอุปกรณ์อื่น ๆ ผ่านการเชื่อมต่อแบบ Wi-Fi ข้อมูลจะถูกนำไปเก็บไว้บนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

ตารางที่ 2.1 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี ค.ศ.	ชื่อผู้แต่ง	ชื่อบทความ	รายละเอียดเบื้องต้น
2017	Anuj Kumar, Ashok Kumar and Abhishek Singh	Energy Efficient and LowCost Air Quality Sensor for Smart Buildings	การพัฒนา IAQ sensor เพื่อให้เหมาะกับการตรวจสอบความเข้มข้นของคุณภาพอากาศภายในอาคาร
2018	ญานินี จิงจรัส-ทรัพย์	การออกแบบระบบการให้น้ำพืชแบบแม่นยำด้วยระบบสมองกลฝังตัว	วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการควบคุมการให้น้ำพืช โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลและควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งมีตัวรับรู้ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในอากาศ ตัวรับรู้ความชื้นในดิน และตัวบ่งชี้ฟักัดพื้นโลก
2018	Amit Kumar Sikder, Abbas Acar, Hidayet Aksu, A. Selcuk Uluagac, Kemal Akkaya and Mauro Conti	IoT-enabled Smart Lighting Systems for Smart Cities	การพัฒนา Lighting System โดยรวมเซ็นเซอร์ชั้นสูงและช่องทางการสื่อสาร เพื่อให้ได้ Smart Lighting System (SLS) ที่สามารถทำงานแบบอัตโนมัติ และมีประสิทธิภาพมากขึ้น
2018	M. Caroline Viola Stella Mary , G. Prince Devaraj , T. Anto Theepak , D. Joseph Pushparaj and J. Monica Esther	Intelligent Energy Efficient Street Light Controlling System based on IoT for Smart City	การควบคุมไฟถนน โดยเปลี่ยนอัตโนมัติ เมื่อมีคนหรือยานพาหนะอยู่บริเวณรอบเสาเมื่อมันมืด ซึ่งประกอบด้วยเซ็นเซอร์ต่าง ๆ และตัวควบคุมที่ทำให้เป็นระบบไฟถนนอัจฉริยะ

ตารางที่ 2.1 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี ค.ศ.	ชื่อผู้แต่ง	ชื่อบทความ	รายละเอียดเบื้องต้น
2018	João Jaime, Ivo Sousa, Maria Paula Queluz and Ant´onio Rodrigues	Planning a Smart City Sensor Network Based on LoRaWAN Technology	การออกแบบและการประเมินผล การติดต่อสื่อสารแบบไร้สายผ่าน LoRa WAN Technology
2018	Laura García, Jose M. Jiménez, Miran Taha, Jaime Lloret	Wireless Technologies for IoT in Smart Cities.	การใช้เทคโนโลยีไร้สายสำหรับ IoT ในสมาร์ทซิตี โดยมีการตรวจสอบ เปรียบเทียบปัญหาและคุณลักษณะ ของแต่ละเทคโนโลยี เพื่อความ เหมาะสมในการใช้งาน
2018	Joe Walsh, Ian Heazlewood, Mike Climstein	Application of gradient boosted trees to gender prediction based on motivations of masters athletes	การใช้แผนภูมิต้นไม้การตัดสินใจที่ ช่วยเพิ่มความลาดชัน และ ตรวจสอบการใช้งานของแผนผัง ต้นไม้เหล่านี้ในฐานะของเทคนิค ทางสถิติในการทำนายเพศตาม โครงสร้างทางจิตวิทยาเพื่อที่จะหา สิ่งที่เป็นแรงจูงใจในการเข้าร่วมกีฬา ระดับอาชีพ
2019	จิตติวัชร สมุหศิลป์	การพัฒนาระบบอ่าน มิเตอร์อัตโนมัติสนับสนุน การจัดการไฟฟ้าดับโดยใช้ เทคโนโลยี LoRaWAN	วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนา และสร้างมิเตอร์ไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยี LoRaWAN มาใช้เป็นระบบการ สื่อสารหลัก โดยมุ่งเน้นการใช้งาน ในการวัดและส่งข้อมูลของระบบ ไฟฟ้าและระบบ OMS หรือระบบ จัดการไฟฟ้าดับ เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพและแก้ไขปัญหาของ ระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้น

ตารางที่ 2.1 ทัศนวิธานวัตกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ปี ค.ศ.	ชื่อผู้แต่ง	ชื่อบทความ	รายละเอียดเบื้องต้น
2019	ณวัฒน์ สุขะไท	ระบบควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างถนนอัจฉริยะโดยใช้การสื่อสารแบบเครือข่าย	วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระบบควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างถนนอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารแบบเครือข่ายซึ่งใช้ LoRaWAN ในการควบคุมการส่องสว่างของไฟถนนในช่วงเวลากลางคืนให้มีการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด โดยระบบใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจสอบการเคลื่อนไหวของวัตถุและทำการตรวจสอบการจราจรบนถนน ข้อมูลจะถูกส่งไปประมวลผลที่ TheThingsNetwork ผ่าน Gateway
2019	Xingcai Qin, Xiaojun Xian, Yue Deng, Di Wang, Francis Tsow, Erica Forzani and Nongjian Tao	Micro-Quartz Tuning Fork-Based PM <sub>2.5</sub> Sensor for Personal Exposure Monitoring	การตรวจวัดความเข้มข้นของ PM 2.5 โดยใช้ MQTF-based sensor ซึ่งมีผลการทดสอบออกมาแล้วบ่งบอกถึงความถูกต้องแม่นยำและความน่าเชื่อถือ

## 2.9 สรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับสมาร์ทซิตี้ ประกอบด้วยหลักการทำงานและส่วนประกอบของเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่นละออง SPS30 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ ความหมายของดัชนีคุณภาพอากาศและมลพิษทางอากาศ หลักการคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ และตัวอย่างการคำนวณดัชนีคุณภาพ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 เท่านั้นในการคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ และกล่าวถึงเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ทัศนวิธานนวัตกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

## บทที่ 3

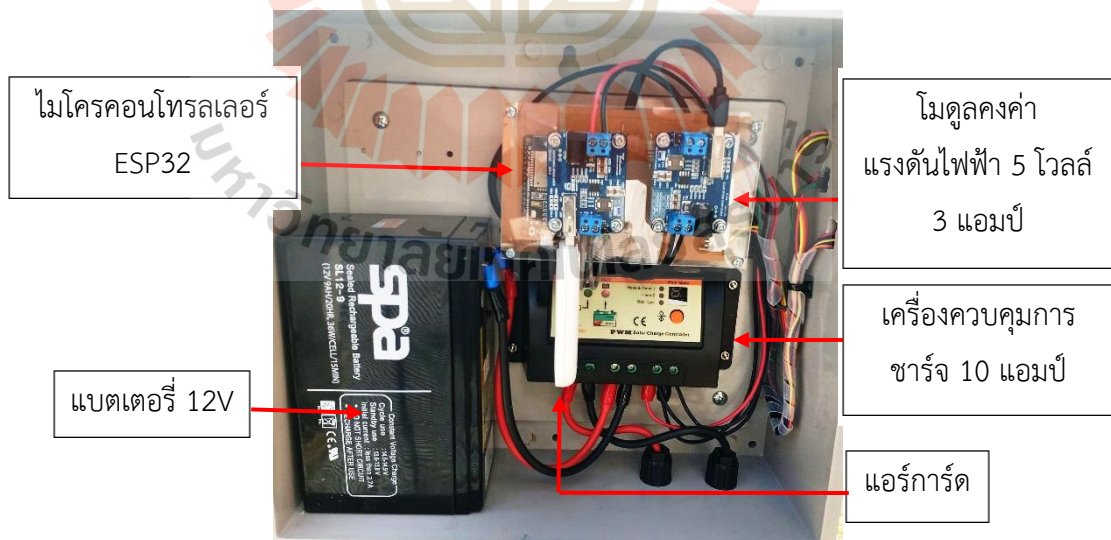
### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 บทนำ

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงการใช้โปรแกรม Arduino ในการเขียนโค้ดคำสั่งลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 รวมไปถึงการเชื่อมต่อและใช้งานเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่นละออง SPS30 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศและแอปพลิเคชัน Blynk เพื่อวิเคราะห์ผลการตรวจวัดและแสดงผลที่เซ็นเซอร์สามารถตรวจวัดได้

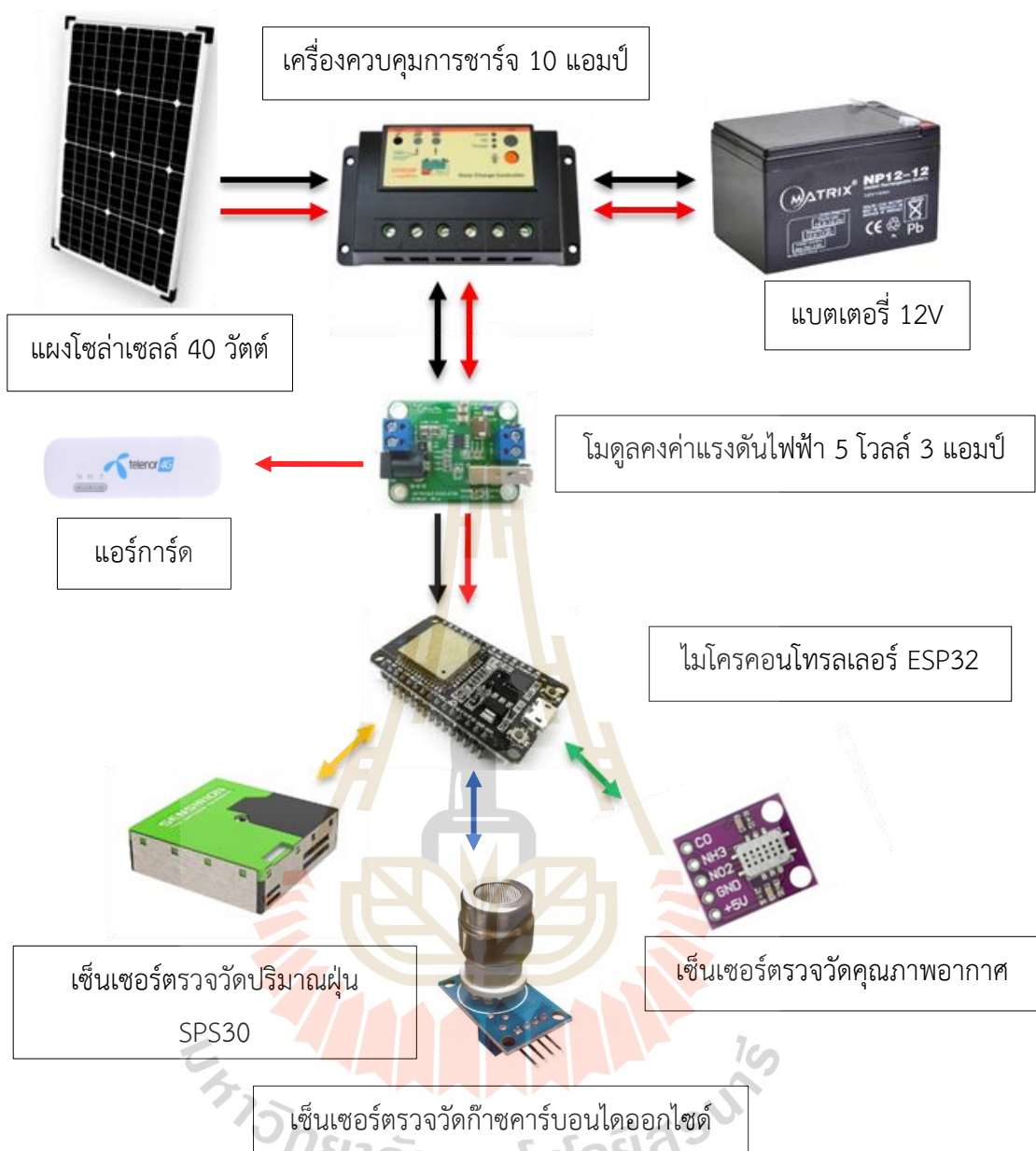
#### 3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ

ในการออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับสมาร์ทซิตี้ มีแผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อเก็บข้อมูลและการประมวลผล ดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่ออกแบบขึ้น

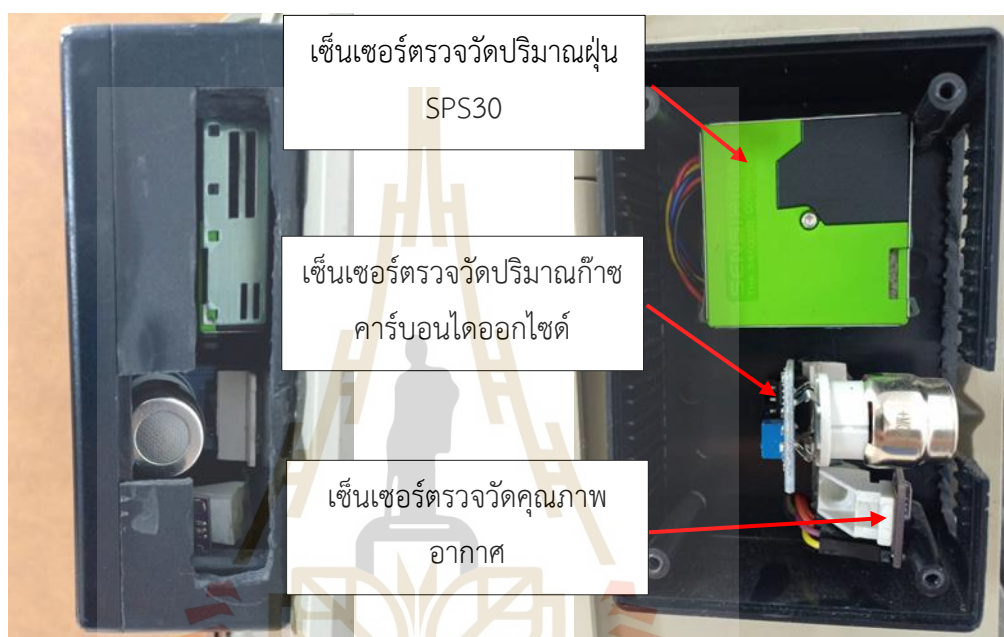




รูปที่ 3.2 แผนภาพการเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ

ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและแผนภาพของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ เป็นดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ตามลำดับ โดยวงจรและระบบที่ออกแบบนั้นจะประกอบไปด้วยแผงโซลาร์เซลล์ เป็นอุปกรณ์แปลงพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีเครื่องควบคุมการชาร์จเป็นอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ลงสู่แบตเตอรี่ เพื่อเก็บกระแสไฟฟ้า และบ่งบอกสถานะพลังงานของแบตเตอรี่ ซึ่งเครื่องควบคุมการชาร์จจะจ่ายไฟให้กับโมดูลคงค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์คงค่าแรงดันไฟฟ้าให้ 5 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับแอร์การ์ดและ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 แอร์การ์ดเป็นอุปกรณ์ปล่อยสัญญาณอินเทอร์เน็ทให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ได้ถูกประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ และควบคุมการส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งจะแสดงผลค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์บนแอปพลิเคชัน Blynk



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.3 (ก) และ (ข) การติดตั้งอุปกรณ์เซ็นเซอร์

การติดตั้งอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่นละออง SPS30 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในกล่อง เพื่อป้องกันความชื้นที่อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ ซึ่งกล่องได้ทำการเจาะช่อง เพื่อให้เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับปริมาณฝุ่นและก๊าซบริเวณโดยรอบได้ แสดงดังรูปที่ 3.3 (ก) และ (ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) ติดตั้งที่หอพักนักศึกษาสุรนารีเขต 18 และ (ข) ติดตั้งที่อาคารเทคโนโลยี  
 ในการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





(ก)

(ข)

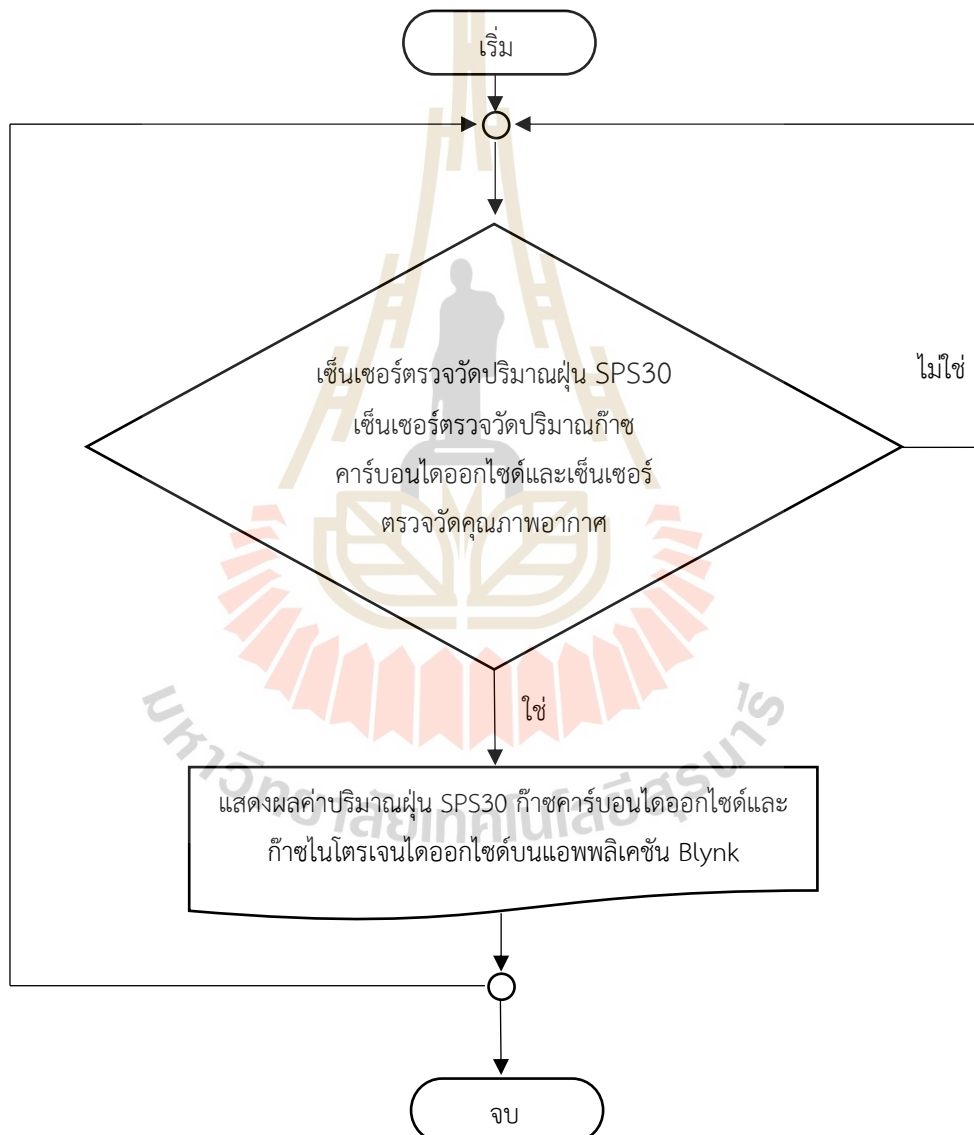
รูปที่ 3.5 (ก) ติดตั้งที่อาคารเทคโนโลยี และ (ข) ติดตั้งที่อาคารขนส่งในการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

รูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) แสดงการติดตั้งและทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศในการทดสอบตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ที่บริเวณหอพักนักศึกษาสุรนารีเขต 18 (สถานีที่ 1) และอาคารเทคโนโลยี (สถานีที่ 2) ในรูปที่ 3.5 (ก) และ (ข) แสดงการติดตั้งและทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศในการทดสอบตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่บริเวณอาคารเทคโนโลยี (สถานีที่ 2) และอาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (สถานีที่ 3) ตามลำดับ โดยแหล่งพลังงานของระบบ คือ พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งมีแผงโซลาร์เซลล์เป็นรับพลังงานแสงและแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่วงจรภายในระบบและในระบบได้ติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัด

ปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศไว้ภายนอกกล่องวงจร เพื่อตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองและก๊าซบริเวณที่ติดตั้ง

### 3.3 การออกแบบระบบซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชัน

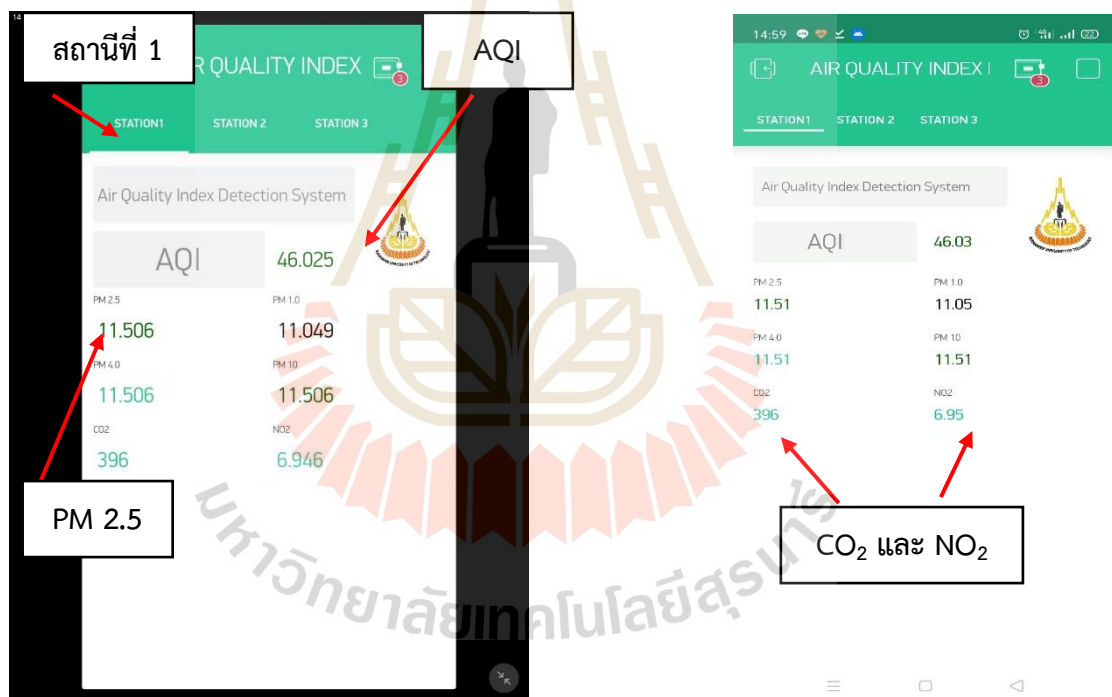
#### 3.3.1 การออกแบบโปรแกรม Arduino เพื่อออกแบบระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการทำงานของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ

การออกแบบระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศมีการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.6 โดยเริ่มต้นป้อนคำสั่งจากโปรแกรม Arduino ไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งควบคุมการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ เมื่อระบบทำงานเซ็นเซอร์ได้รับคำสั่งให้ตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ถ้าเซ็นเซอร์สามารถตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองและก๊าซบริเวณที่ติดตั้งได้จะแสดงผลค่าปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์บนแอปพลิเคชัน Blynk กรณีที่เซ็นเซอร์ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองและก๊าซทั้งสองได้ เซ็นเซอร์จะทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ใหม่อีกครั้ง

### 3.3.2 การออกแบบแอปพลิเคชัน Blynk สำหรับแสดงผลการตรวจวัด



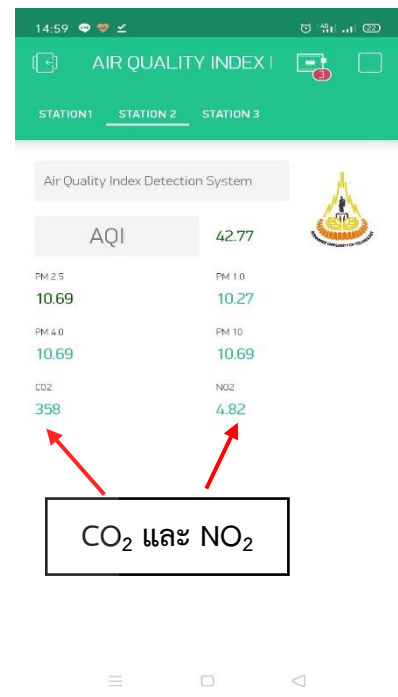
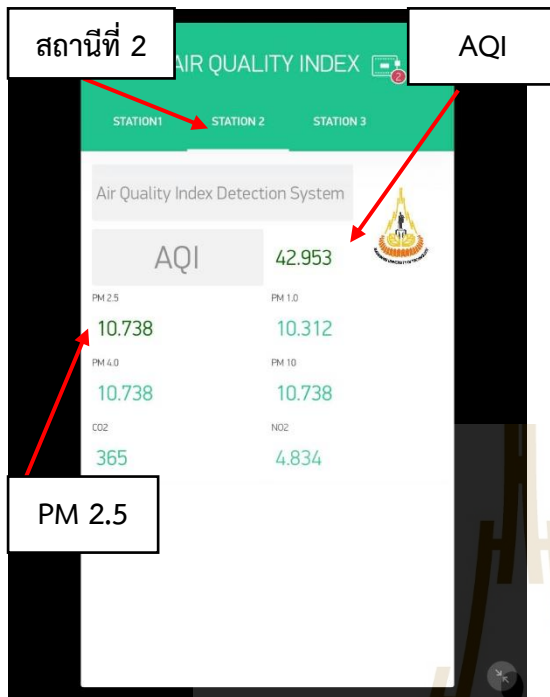
(ก)

(ข)

รูปที่ 3.7 (ก) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 1 บนระบบ iOS

(ข) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 1 บนระบบ Android



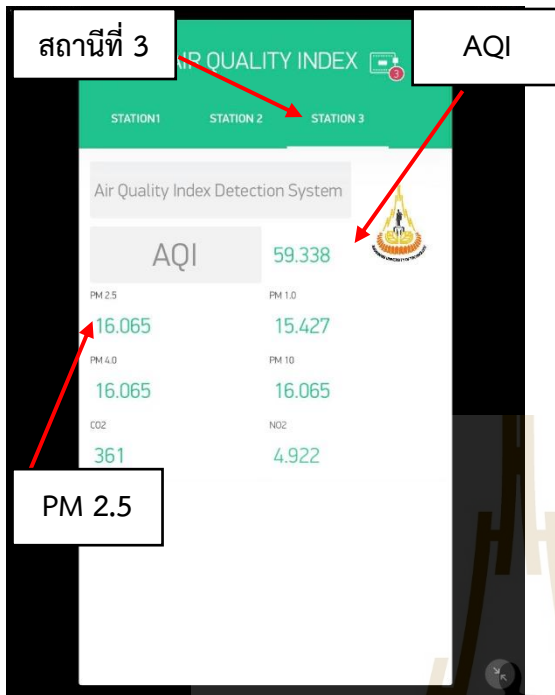


(ก)

(ข)

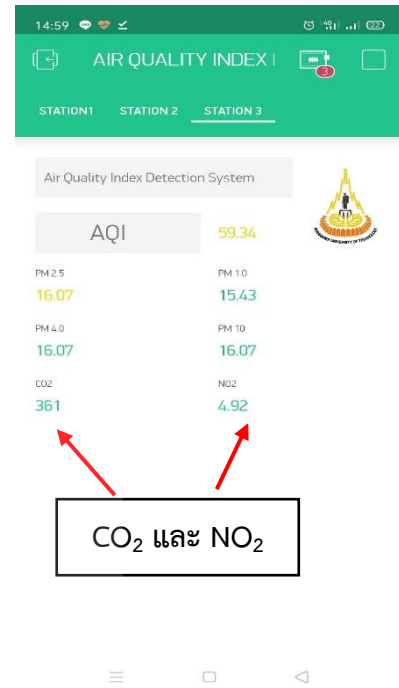
รูปที่ 3.8 (ก) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 2 บนระบบ iOS

(ข) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 2 บนระบบ Android



(ก)

รูปที่ 3.9 (ก) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 3 บนระบบ iOS



(ข)

(ข) แอปพลิเคชัน Blynk สถานีที่ 3 บนระบบ Android

ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และค่า AQI ที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดที่บริเวณหอพักนักศึกษาสุรนิวศ 18 แสดงผลบนแอปพลิเคชัน Blynk ดังรูปที่ 3.7 (ก) และ (ข) แสดงการทำงานของแอปพลิเคชัน Blynk บนระบบ iOS และระบบ Android ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และค่า AQI ที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดที่บริเวณอาคารเทคโนโลยี แสดงผลบนแอปพลิเคชัน Blynk ดังรูปที่ 3.8 (ก) และ (ข) แสดงการทำงานของระบบ iOS และระบบ Android ตามลำดับ และสุดท้ายรูปที่ 3.9 (ก) และ (ข) แสดงผลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และค่า AQI ที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดได้ที่บริเวณอาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีบนแอปพลิเคชัน Blynk ในระบบ iOS และระบบ Android ตามลำดับ โดยค่า AQI ที่แสดงได้จากการคำนวณจากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ที่บริเวณหอพักนักศึกษาสุรนิวศ 18 อาคารเทคโนโลยีและบริเวณอาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยโปรแกรม Jupyter Notebook

ในการออกแบบโมเดลในการวิเคราะห์และทำนายข้อมูลใช้เฟรมเวิร์ก LightGBM ซึ่งเป็นต้นไม้ที่ไม่ได้เติบโตในระดับต้นไม้ที่ละเอียดเช่นเดียวกับการใช้งานอื่น ๆ ส่วนใหญ่ แต่ต้นไม้กลับงอกงามด้วยใบ โดยจะเลือกใบไม้ที่เชื่อว่าจะทำให้การสูญเสียลดลงมากที่สุด LightGBM ใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบต้นไม้การตัดสินใจตามฮิสโตแกรมที่ได้รับการปรับให้เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้ได้เปรียบอย่างมากทั้งในด้านประสิทธิภาพและการใช้หน่วยความจำ ซึ่งช่วยให้อัลกอริทึมทำงานได้เร็วขึ้นในขณะที่รักษาระดับความแม่นยำในระดับสูง เพื่อวิเคราะห์และทำนายผลของข้อมูลที่เก็บจากการทดสอบระบบ



รูปที่ 3.10 แผนภาพสำหรับกระบวนการที่ออกแบบ

การออกแบบโมเดลในการวิเคราะห์และทำนายแสดงดังรูปที่ 3.10 เมื่อทำการเก็บข้อมูลผลการทดสอบระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ทำการอัปโหลดชุดข้อมูลเข้าไปยังโมเดลที่ออกแบบในโปรแกรม Jupyter Notebook โดยโมเดลจะทำการเรียนรู้ชุดข้อมูลที่อัปโหลดเข้าไปทั้งหมด การเรียนรู้ของโมเดลนั้นจะเป็นเรียนแบบเลือกสุ่มข้อมูล จากนั้นแสดงผลค่าการเรียนรู้และค่าความแม่นยำที่ผ่านการสอนและทดสอบจากโมเดล สังเกตค่าความแม่นยำของโมเดล ถ้าค่าความแม่นยำน้อย ทำการเพิ่มชุดข้อมูลเดิมให้โมเดลทบทวนชุดข้อมูลเดิม เพื่อเพิ่มความแม่นยำถูกต้อง ซึ่งจะเพิ่มชุดข้อมูลจนค่าความแม่นยำถูกต้องได้ผลสูงสุดหรือคงที่ ค่าความแม่นยำที่ดีที่สุดคือ 1 หรือ 100% ถ้ามีค่าใกล้เคียงมากแสดงว่าความแม่นยำที่สูง

### 3.5 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีแผงโซลาร์เซลล์เป็นรับพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์และแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีเครื่องควบคุมการชาร์จเป็นอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ลงสู่แบตเตอรี่ และจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ ให้กับแอร์การ์ดและไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 เซ็นเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ จะถูกควบคุมการทำงานภายใต้คำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และแสดงผลค่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และค่า AQI บนแอปพลิเคชัน Blynk

การออกแบบซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชัน โดยผู้วิจัยใช้โปรแกรม Arduino เป็นโปรแกรมในการป้อนคำสั่งต่าง ๆ ลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เมื่อระบบทำงานเซ็นเซอร์ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จากนั้นส่งผลค่าที่ตรวจวัดได้ไปแสดงบนแอปพลิเคชัน Blynk ที่ผู้วิจัยออกแบบ สูดท้ายข้อมูลทั้งหมดจะถูกวิเคราะห์และทำนายด้วยโปรแกรม Jupyter Notebook

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

#### 4.1 บทนำ

บทนี้ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดสอบดังต่อไปนี้

- เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 เทียบกับอุปกรณ์ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor โดยได้ทำการตรวจวัด ณ พื้นที่และเวลาเดียวกัน
- ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 โดยเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 เทียบกับแอปพลิเคชัน Air Visual สถานีที่ 1 หอพักนักศึกษาสุรนิวศ 18 และสถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยีธานี
- ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 โดยเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเซ็นเซอร์ตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์และความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ ณ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยีธานีและสถานีที่ 3 อาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยเลือกใช้โปรแกรม Jupyter Notebook

#### 4.2 การทดสอบเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 เทียบกับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor

##### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor

##### ขั้นตอนการวิจัย

ในขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบมาตรฐานการวัดของเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 โดยใช้เครื่อง Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor ตรวจวัด ณ พื้นที่และเวลาเดียวกัน โดยทำการตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 ทุก ๆ 60 วินาที



ก)



ข)

รูปที่ 4.1 (ก) เซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และ (ข) Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor

### ผลการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor

เวลา	ค่าจาก Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
3:27 PM	21	13.9
3:28 PM	23	13.82
3:29 PM	24	13.6
3:30 PM	24	12.9
3:31 PM	24	12.44
3:32 PM	28	14.06
3:33 PM	24	12.11
3:34 PM	24	12.85
3:35 PM	23	12.5
3:36 PM	25	12.91
3:37 PM	29	13.62
3:38 PM	24	12.78
3:39 PM	23	13.41
3:40 PM	24	12.86
3:41 PM	24	12.61



ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor (ต่อ)

เวลา	ค่าจาก Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
3:42 PM	24	12.29
3:43 PM	30	12.46
3:44 PM	22	13.18
3:45 PM	24	12.78
3:46 PM	21	14.04
3:47 PM	21	12.88
3:48 PM	23	11.66
3:49 PM	21	11.69
3:50 PM	25	12.42
3:51 PM	21	12.72
3:52 PM	21	12.78
3:53 PM	22	11.87
3:54 PM	22	11.71
3:55 PM	21	12.07
3:56 PM	21	13.1
3:57 PM	21	12.09
3:58 PM	23	11.99
3:59 PM	22	11.95
4:00 PM	24	12.62
4:01 PM	23	12.22
4:02 PM	21	11.04
4:03 PM	21	12.18
4:04 PM	23	11.71
4:05 PM	21	11.56
4:06 PM	20	10.88
4:07 PM	20	12.13
4:08 PM	22	10.79

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor (ต่อ)

เวลา	ค่าจาก Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
4:09 PM	21	11.61
4:10 PM	21	11.53
4:11 PM	20	11.23
4:12 PM	23	11.51
4:13 PM	22	11.5
4:14 PM	20	11.86
4:15 PM	21	11.11
4:16 PM	22	10.98
4:17 PM	25	10.68
4:18 PM	19	11.34
4:19 PM	22	11.28
4:20 PM	20	11.21
4:21 PM	19	11.43
4:22 PM	22	9.89
4:23 PM	19	10.52
4:24 PM	17	10.33
4:25 PM	23	10.85
4:26 PM	19	10.2
4:27 PM	19	10.21
4:28 PM	20	9.6
4:29 PM	18	10.75
4:30 PM	26	10.74
4:31 PM	17	10.94
4:32 PM	17	10.69
4:33 PM	21	10.47
4:34 PM	17	10.64
4:35 PM	23	10.8

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor (ต่อ)

เวลา	ค่าจาก Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
4:36 PM	20	10.31
4:37 PM	18	10.61
4:38 PM	18	10.77
4:39 PM	18	10.04
4:40 PM	19	9.48
4:41 PM	25	9.52
4:42 PM	21	9.37
4:43 PM	16	10.27
4:44 PM	20	10.15
4:45 PM	22	10.21
4:46 PM	18	10.22
4:47 PM	19	9.92
4:48 PM	17	10.48
4:49 PM	18	10.2
4:50 PM	24	10.09
4:51 PM	20	10.9
4:52 PM	21	11.01
4:53 PM	18	10.1
4:54 PM	23	10.26
4:55 PM	16	9.7
4:56 PM	17	10.52
4:57 PM	18	9.81
4:58 PM	18	10.51
4:59 PM	16	9.86
5:00 PM	19	9.95
5:01 PM	18	11.27
5:02 PM	19	11.48

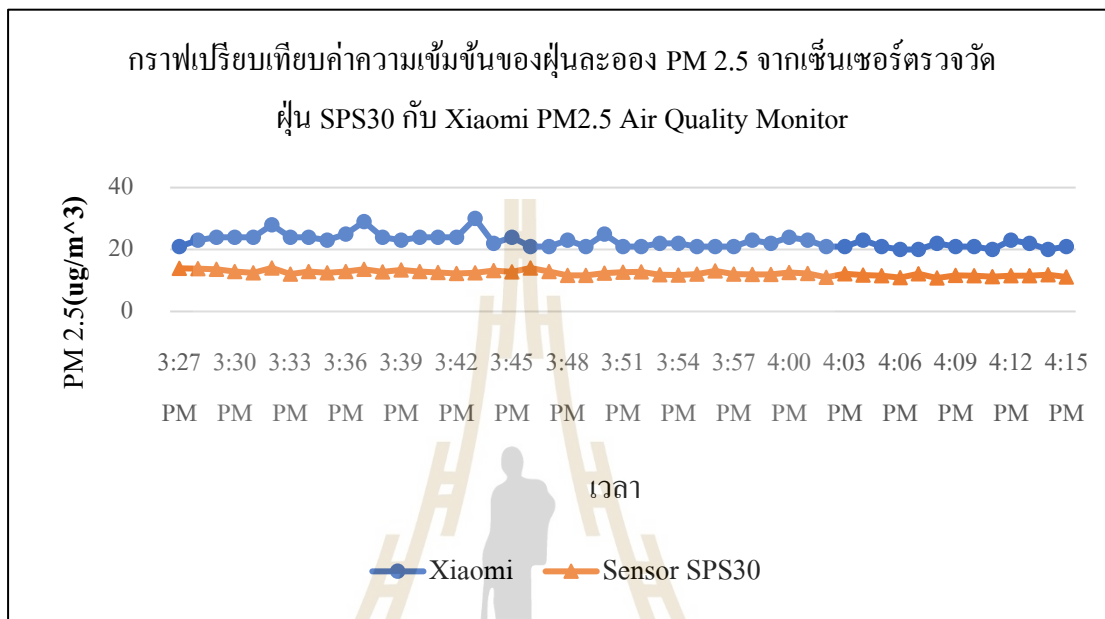
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor (ต่อ)

เวลา	ค่าจาก Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
5:03 PM	22	11.12
5:04 PM	21	10.37
5:05 PM	19	10.92
5:06 PM	20	10.84
5:07 PM	19	10.28
5:08 PM	20	11.44
5:09 PM	21	10.7
5:10 PM	19	10.77
5:11 PM	22	10.45
5:12 PM	18	10.76
5:13 PM	20	10.42
5:14 PM	19	10.81
5:15 PM	19	10.36
5:16 PM	21	9.76
5:17 PM	19	9.55
5:18 PM	21	10.55
5:19 PM	20	10.2
5:20 PM	19	9.14
5:21 PM	19	9.88
5:22 PM	18	11.01
5:23 PM	20	10.3
5:24 PM	17	10.62
5:25 PM	20	10.31
5:26 PM	19	10.13
5:27 PM	17	9.96
5:28 PM	16	11.28
5:29 PM	19	11.02

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor (ต่อ)

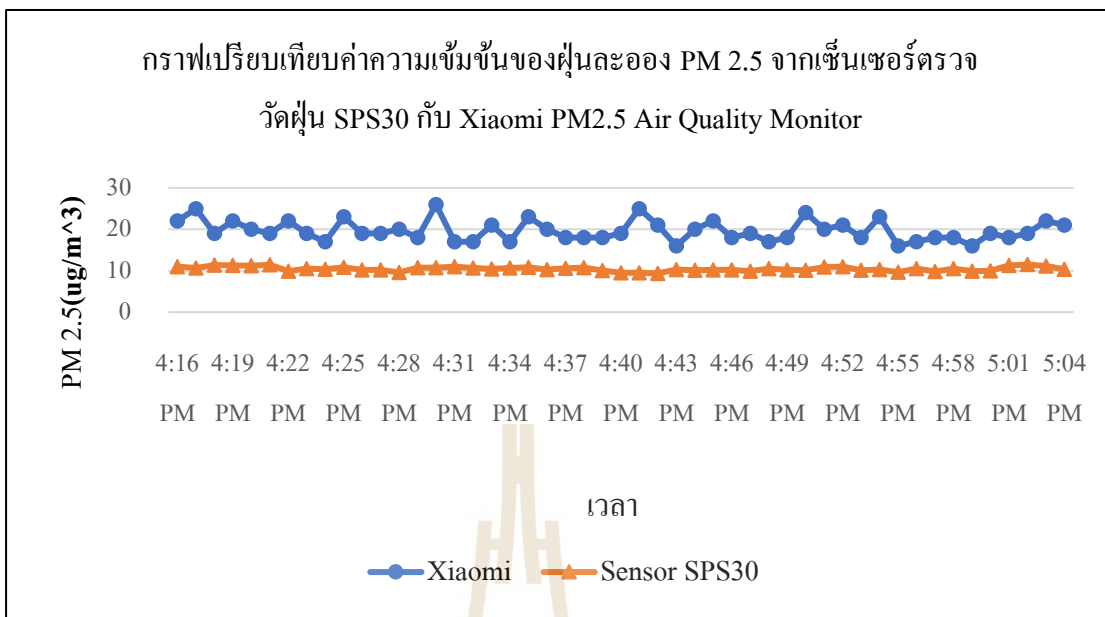
เวลา	ค่าจาก Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
5:30 PM	15	9.75
5:31 PM	18	9.5
5:32 PM	18	9.4
5:33 PM	22	9.36
5:34 PM	16	9.84
5:35 PM	19	9.75
5:36 PM	18	10.1
5:37 PM	18	10.25
5:38 PM	19	9.62
5:39 PM	18	9.7
5:40 PM	20	10.23
5:41 PM	15	9.33
5:42 PM	18	10
5:43 PM	16	10.1
5:44 PM	18	10
5:45 PM	19	9.55
5:46 PM	17	9.37
5:47 PM	17	9.41
5:48 PM	17	9.78
5:49 PM	20	9.69
5:50 PM	15	9.28
5:51 PM	14	9.06
5:52 PM	20	9.32
5:53 PM	18	9.36
5:54 PM	18	9

จากตารางการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor สามารถนำค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ที่ตรวจวัดได้พล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ได้ดังกราฟต่อไปนี้

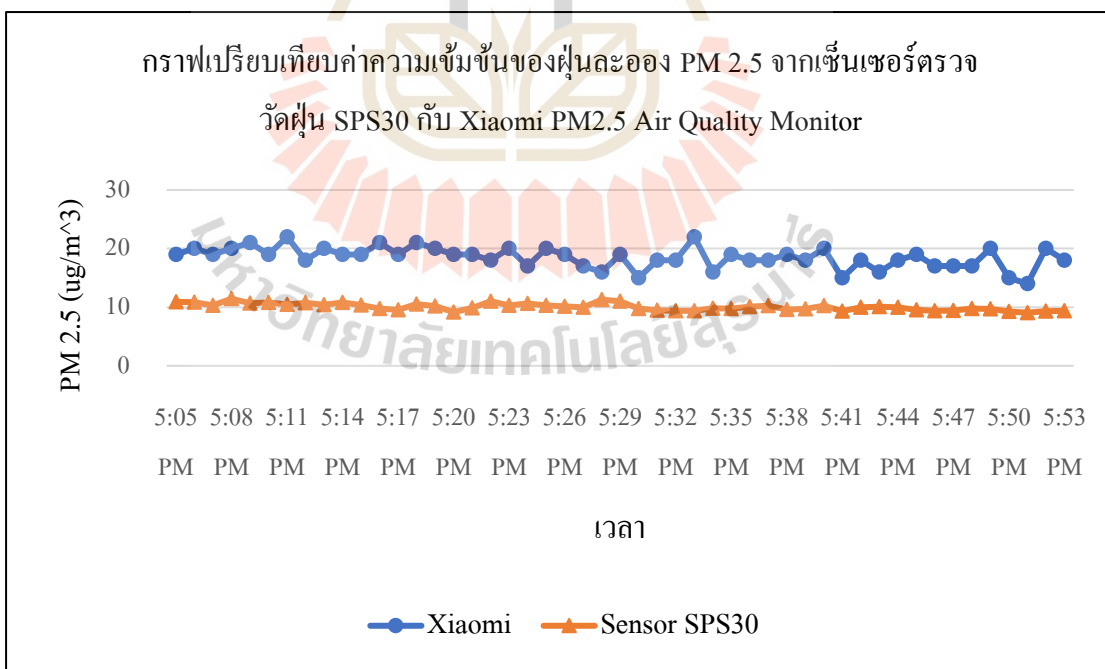


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor

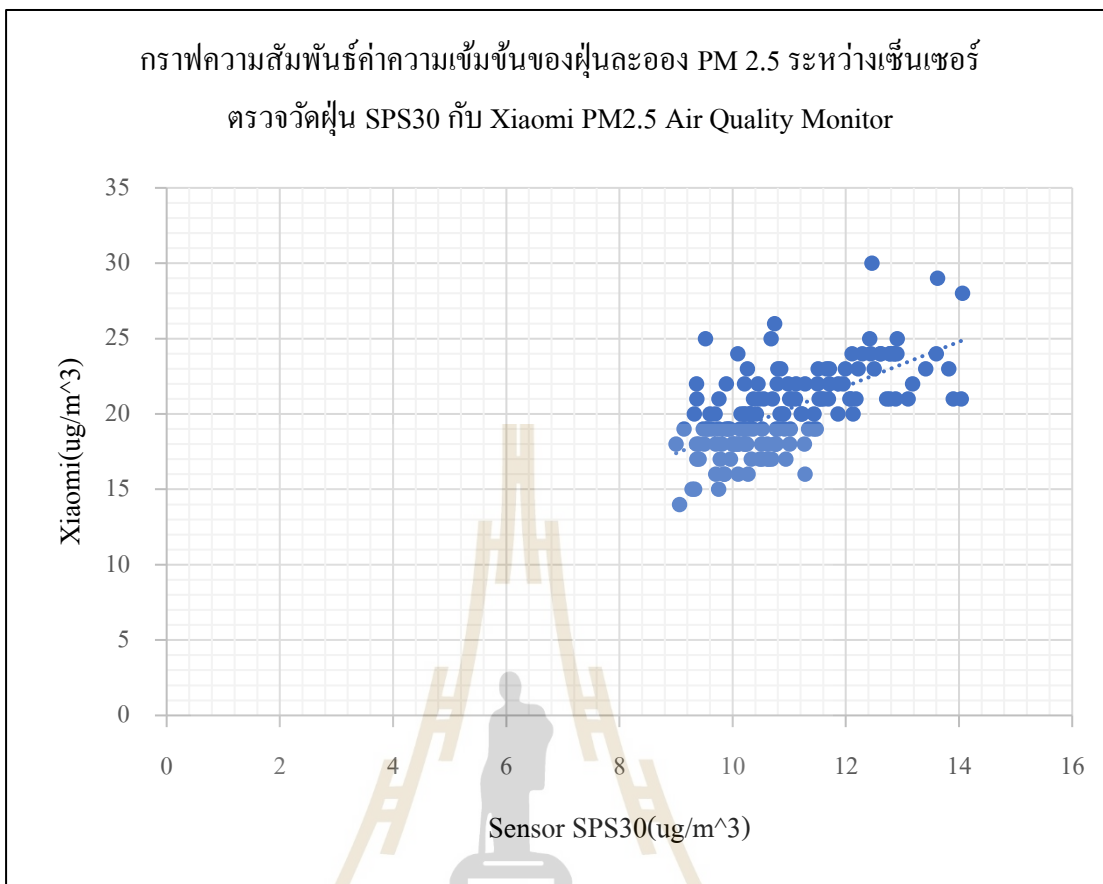




รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor



รูปที่ 4.5 กราฟสมการความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัด  
ฝุ่น SPS30 กับ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor

จากรูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์  
ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และ Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor สามารถหาสมการความสัมพันธ์ค่า  
ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ของทั้งสองอุปกรณ์ ได้ดังสมการที่ (3)

$$y = 1.85x \quad (3)$$

$$R^2 = 0.99 \quad (4)$$

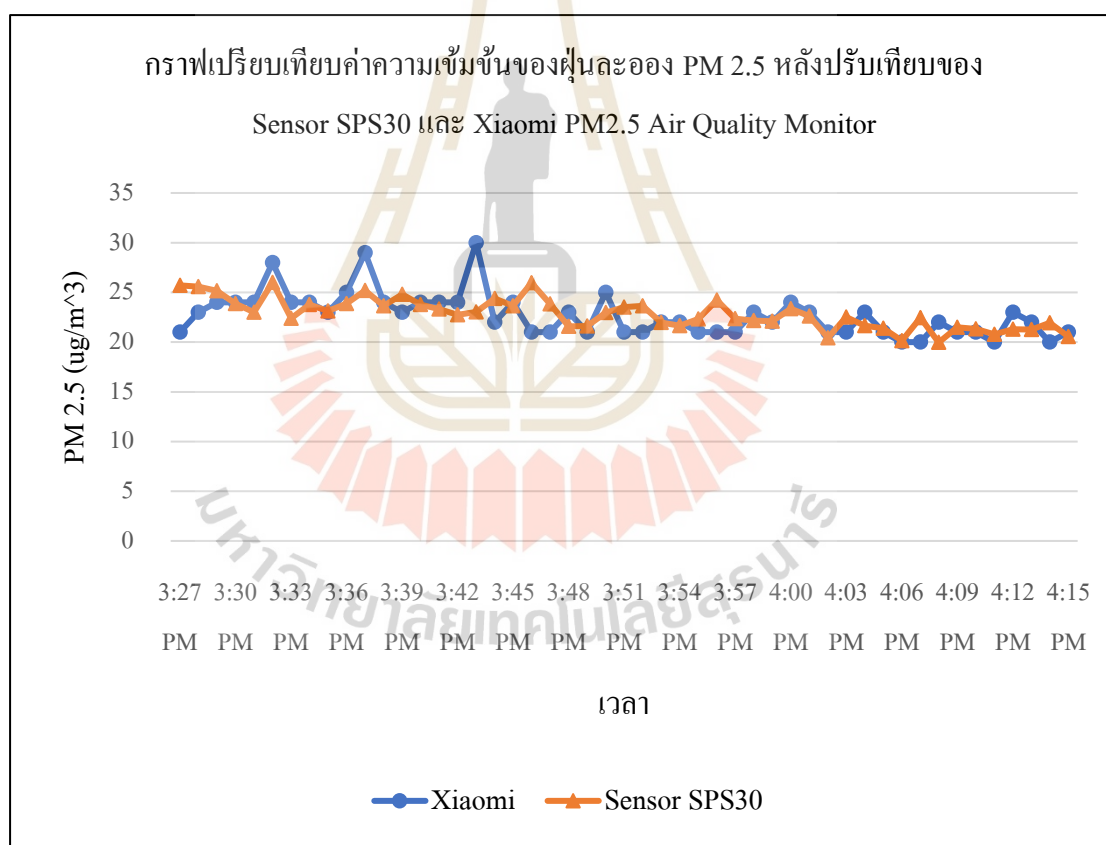
y คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจาก Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor

x คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30

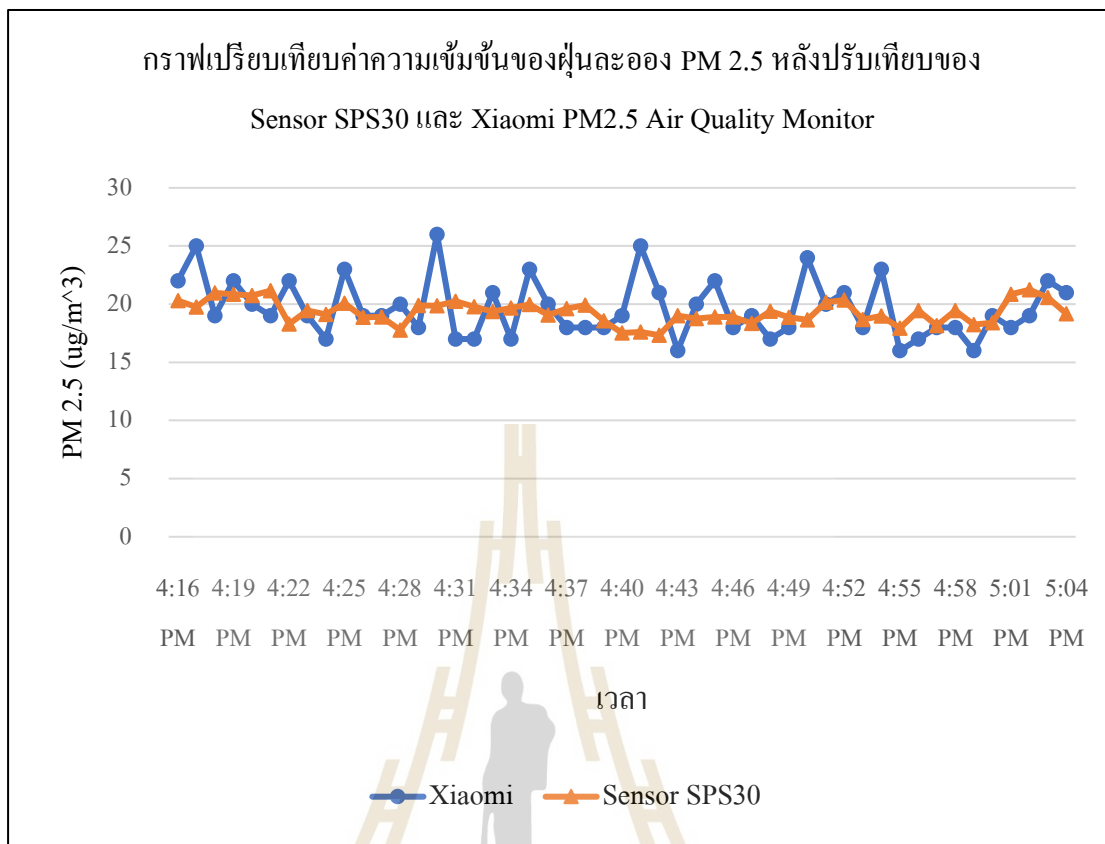
R<sup>2</sup> คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจถูกต้อง

จากสมการที่ได้ พบว่า R-Square หรือ  $R^2$  ที่บ่งบอกนัยแห่งความสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.99 แสดงถึงค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จาก Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor มีค่าใกล้เคียงกัน

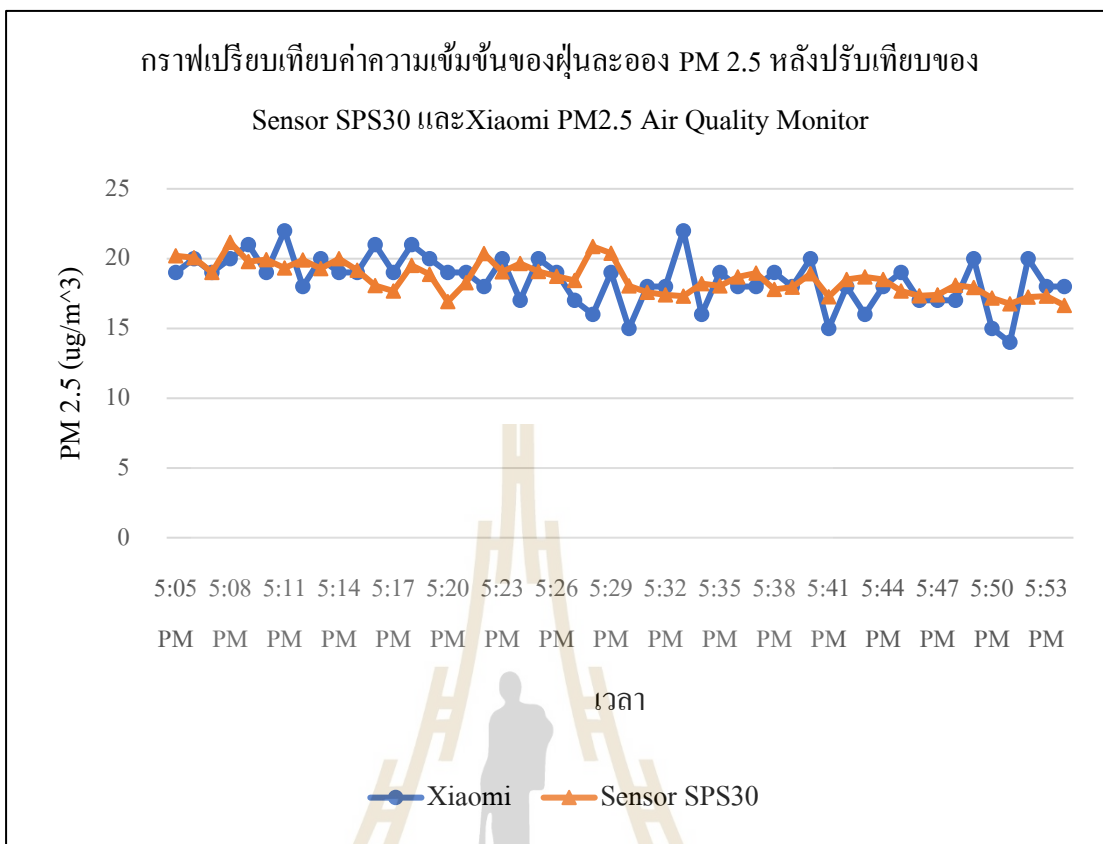
ถ้าตั้งสมมุติฐานว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการอ่านโดยใช้ Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor ถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ให้สอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจาก Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor ได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (3) จะได้ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ที่ผ่านการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.6 รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละออง PM 2.5 มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วย Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วย Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วย Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว

#### 4.3 การทดสอบเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 สถานีที่ 1 หอพักนักศึกษาสุรนิวศ 18 เทียบกับ แอปพลิเคชัน Air Visual

##### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ณ สถานีที่ 1 หอพักนักศึกษาสุรนิวศ 18 กับ แอปพลิเคชัน Air Visual

##### ขั้นตอนการวิจัย

ในขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการปรับเทียบมาตรฐานการวัดเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และ แอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน โดยตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 และ AQI

### ผลการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
20/04/2562	45.5	20.77
23/04/2562	37.9	20.64
24/04/2562	38.3	33.30
25/04/2562	41.2	20.68
26/04/2562	44.9	22.21
27/04/2562	42.3	24.07
30/04/2562	32	9.28
1/05/2562	31.2	10.43
2/05/2562	34.8	10.27
3/05/2562	33.7	7.79
8/05/2562	32	24.48
9/05/2562	26.5	19.18
13/05/2562	24.4	8.99
14/05/2562	20.9	17.55
15/05/2562	25.2	23.14
16/05/2562	28.9	14.74
17/05/2562	36.4	21.25
18/05/2562	41.1	33.14
21/05/2562	29	31.43
31/05/2562	16.8	10.96
1/06/2562	17.1	20.44
3/06/2562	16.9	16.84
4/06/2562	18	21.57
5/06/2562	19	24.59
6/06/2562	20.1	4.02



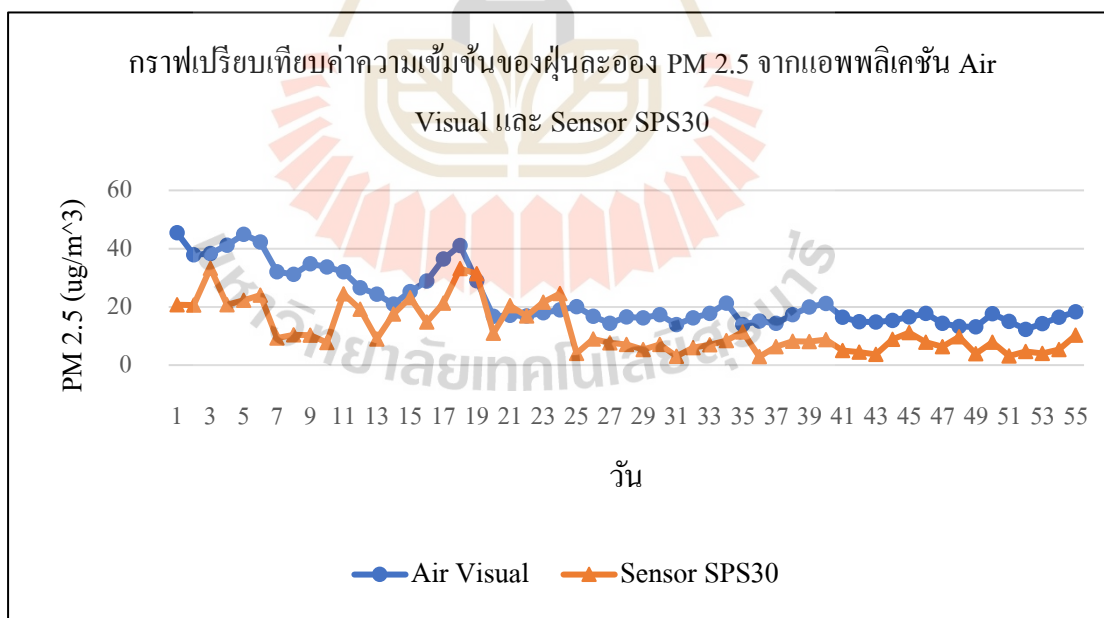
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
7/06/2562	16.8	8.96
10/06/2562	14.3	7.69
11/06/2562	16.6	7.12
12/06/2562	16.2	5.28
13/06/2562	17.3	7.11
17/06/2562	13.9	3.01
18/06/2562	16.2	5.95
19/06/2562	17.8	7.03
20/06/2562	21.3	8.42
27/06/2562	13.9	11.37
28/06/2562	15.1	2.87
30/06/2562	14.3	6.37
2/07/2562	17.3	8.15
12/07/2562	19.9	8.08
13/07/2562	21.2	8.75
14/07/2562	16.4	5.01
15/07/2562	14.9	4.50
16/07/2562	14.8	3.72
17/07/2562	15.3	8.88
18/07/2562	16.5	11.20
19/07/2562	17.8	7.81
20/07/2562	14.4	6.34
21/07/2562	13.2	9.77
22/07/2562	13.1	3.90
23/07/2562	17.6	7.90
24/07/2562	15	3.10
25/07/2562	12.3	4.65

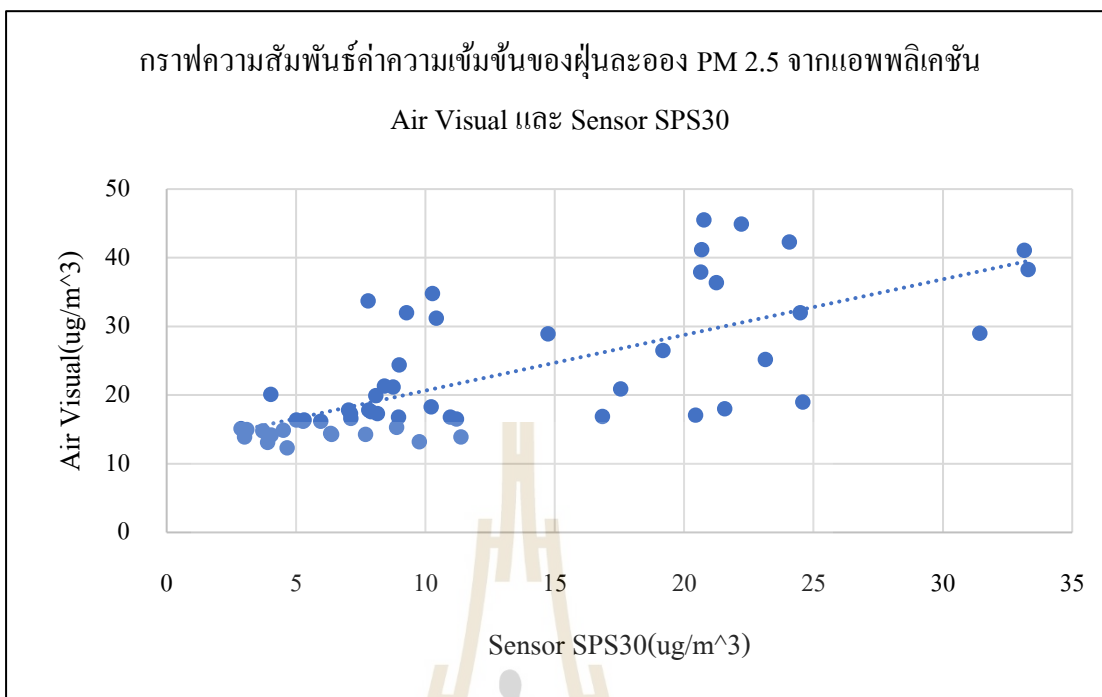
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
26/07/2562	14.2	4.04
27/07/2562	16.4	5.31
28/07/2562	18.3	10.23

จากตารางที่ 4.2 เป็นผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน ที่สถานีที่ 1 หอพักนักศึกษา สुरुนิเวศ 18 สามารถนำค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ที่ตรวจวัดได้มาหาสมการความสัมพันธ์ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการตรวจวัดและพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ของทั้งสองอุปกรณ์ ได้ ซึ่งในรูปที่ 4.9 จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเครื่องตรวจวัดฝุ่นละออง PM 2.5 เมื่อเทียบกับแอปพลิเคชัน Air Visual เป็นจำนวนวันทั้งหมด 55 วันที่ทำการเก็บข้อมูล



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual



รูปที่ 4.10 กราฟสมการความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual

จากกราฟสมการความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ดังรูปที่ 4.10 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5) เมื่อ  $y$  คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากแอปพลิเคชัน Air Visual และ  $x$  คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30

$$y = 1.52x \quad (5)$$

$$R^2 = 0.84 \quad (6)$$

สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองของอุปกรณ์ทั้งสองในการตรวจวัดฝุ่นละออง PM 2.5 แอปพลิเคชัน Air Visual เป็นแอปพลิเคชันสำเร็จรูปที่ใช้ตรวจวัดค่าฝุ่นละอองภายในอากาศที่ได้ติดตั้งตามจังหวัดต่าง ๆ และผู้วิจัยได้ใช้จุดติดตั้งที่จังหวัดนครราชสีมา จากการสังเกตพบว่า สมการของความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ  $R^2$  เท่ากับ 0.84 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกัน

ถ้าตั้งสมมติฐานว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการอ่านโดยใช้แอปพลิเคชัน Air Visual ถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ให้สอดคล้องกับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากแอปพลิเคชัน Air Visual ได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (5) จะได้ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ที่มีการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปแบบที่ 4.11 และตารางที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว

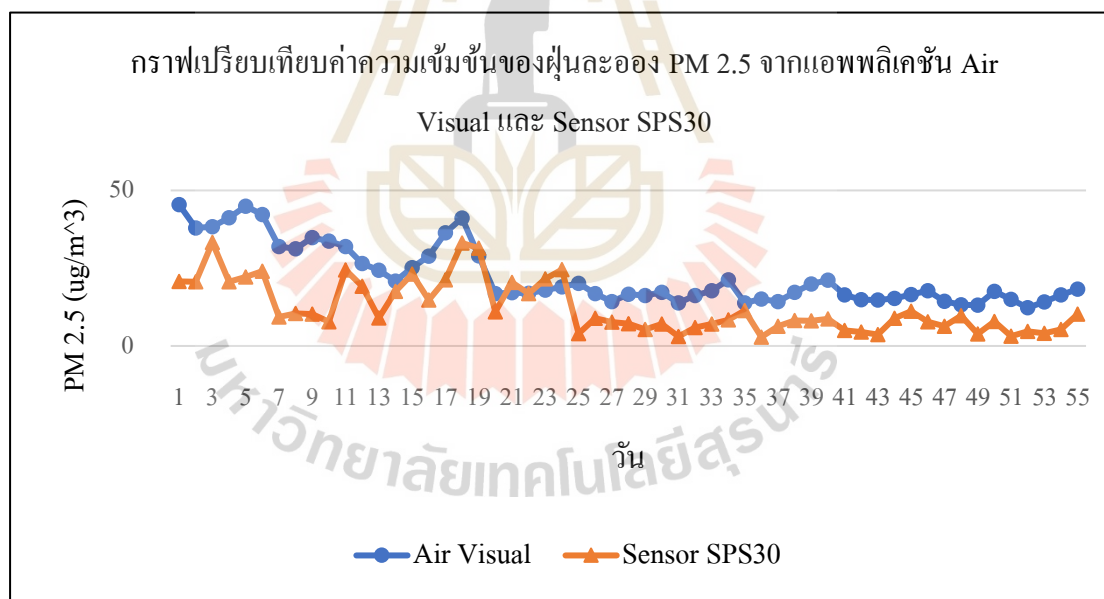
วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
20/04/2562	45.5	31.57
23/04/2562	37.9	31.37
24/04/2562	38.3	50.61
25/04/2562	41.2	31.44
26/04/2562	44.9	33.76
27/04/2562	42.3	36.58
30/04/2562	32	14.10
1/05/2562	31.2	15.85
2/05/2562	34.8	15.62
3/05/2562	33.7	11.84
8/05/2562	32	37.21
9/05/2562	26.5	29.16
13/05/2562	24.4	13.67
14/05/2562	20.9	26.68
15/05/2562	25.2	35.17
16/05/2562	28.9	22.40
17/05/2562	36.4	32.29
18/05/2562	41.1	50.38
21/05/2562	29	47.78
31/05/2562	16.8	16.66

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการเปรียบเทียบแล้ว(ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1/06/2562	17.1	31.07
3/06/2562	16.9	25.60
4/06/2562	18	32.79
5/06/2562	19	37.38
6/06/2562	20.1	6.11
7/06/2562	16.8	13.62
10/06/2562	14.3	11.69
11/06/2562	16.6	10.82
12/06/2562	16.2	8.03
13/06/2562	17.3	10.81
17/06/2562	13.9	4.58
18/06/2562	16.2	9.04
19/06/2562	17.8	10.69
20/06/2562	21.3	12.80
27/06/2562	13.9	17.28
28/06/2562	15.1	4.36
30/06/2562	14.3	9.68
2/07/2562	17.3	12.39
12/07/2562	19.9	12.28
13/07/2562	21.2	13.29
14/07/2562	16.4	7.61
15/07/2562	14.9	6.85
16/07/2562	14.8	5.65
17/07/2562	15.3	13.50
18/07/2562	16.5	17.02
19/07/2562	17.8	11.88
20/07/2562	14.4	9.63

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
21/07/2562	13.2	14.85
22/07/2562	13.1	5.93
23/07/2562	17.6	12.01
24/07/2562	15	4.71
25/07/2562	12.3	7.07
26/07/2562	14.2	6.14
27/07/2562	16.4	8.07
28/07/2562	18.3	15.55



รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว

จากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ที่ตรวจวัดได้ตามตารางที่ 4.2 สามารถแสดงค่าดัชนีคุณภาพอากาศได้ตามตารางที่ 4.4



ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศระหว่างแอฟพลิเคชัน Air Visual  
และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอฟพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
20/04/2562	126	69
23/04/2562	107	69
24/04/2562	108	96
25/04/2562	115	69
26/04/2562	124	72
27/04/2562	118	76
30/04/2562	93	38
1/05/2562	91	43
2/05/2562	99	43
3/05/2562	96	32
8/05/2562	93	77
9/05/2562	81	66
13/05/2562	77	37
14/05/2562	69	62
15/05/2562	78	74
16/05/2562	86	56
17/05/2562	103	70
18/05/2562	115	95
21/05/2562	86	92
31/05/2562	61	45
1/06/2562	61	68
3/06/2562	61	61
4/06/2562	63	71
5/06/2562	65	77
6/06/2562	68	17
7/06/2562	61	37
10/06/2562	56	32

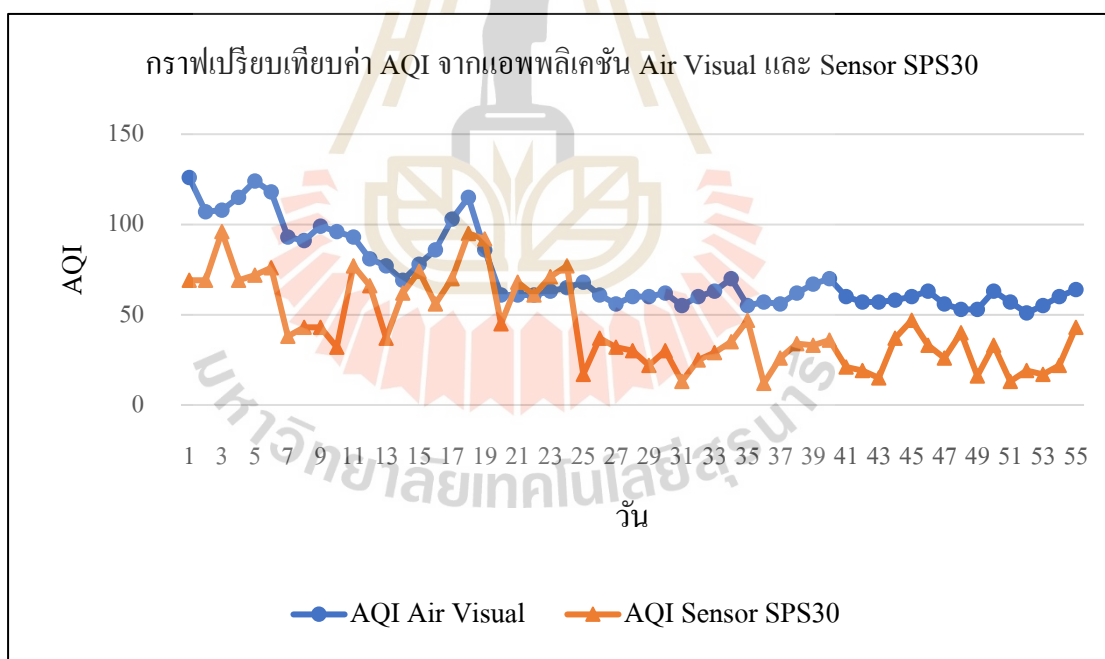
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศระหว่างแอฟฟลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอฟฟลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
11/06/2562	60	30
12/06/2562	60	22
13/06/2562	62	30
17/06/2562	55	13
18/06/2562	60	25
19/06/2562	63	29
20/06/2562	70	35
27/06/2562	55	47
28/06/2562	57	12
30/06/2562	56	26
2/07/2562	62	34
12/07/2562	67	33
13/07/2562	70	36
14/07/2562	60	21
15/07/2562	57	19
16/07/2562	57	15
17/07/2562	58	37
18/07/2562	60	47
19/07/2562	63	33
20/07/2562	56	26
21/07/2562	53	40
22/07/2562	53	16
23/07/2562	63	33
24/07/2562	57	13
25/07/2562	51	19
26/07/2562	55	17
27/07/2562	60	22

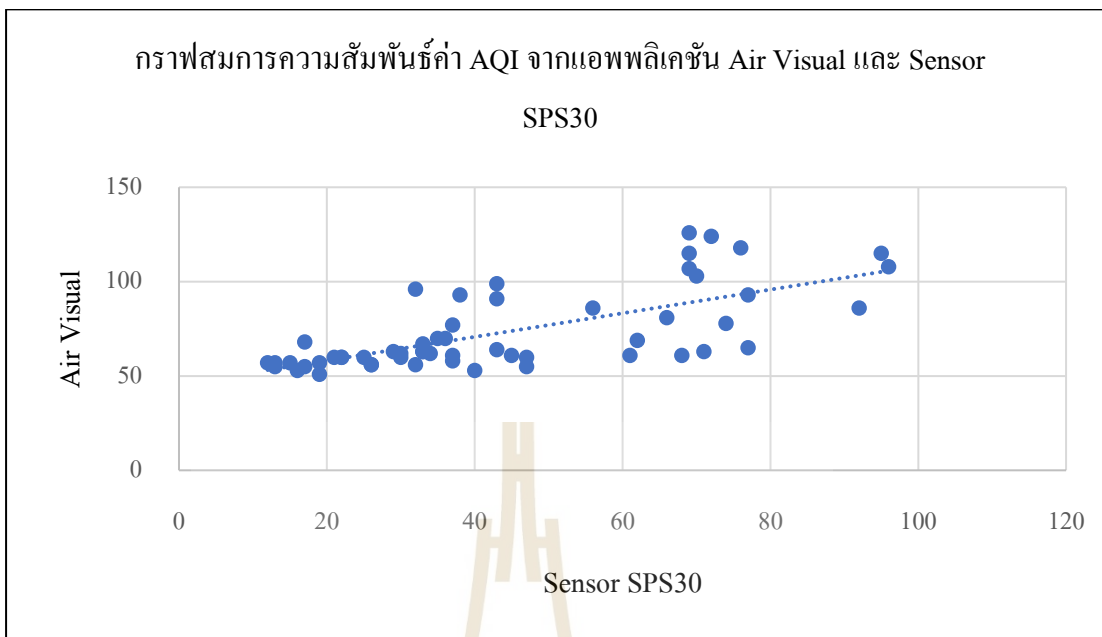
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศระหว่างแอฟพลิเคชั่น Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอฟพลิเคชั่น Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
28/07/2562	64	43

จากตารางที่ 4.4 เป็นผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศ AQI ที่คำนวณได้จากการตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอฟพลิเคชั่น Air Visual ณ วันเดียวกัน สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยีนี้ สามารถนำค่าดัชนีคุณภาพที่ตรวจวัดได้มาหาสมการความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดและพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ของทั้งสองอุปกรณ์ได้ ซึ่งในรูปที่ 4.12 จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเครื่องตรวจวัดฝุ่นละออง PM 2.5 เมื่อเทียบกับแอฟพลิเคชั่น Air Visual เป็นจำนวนวันทั้งหมด 55 วันที่ทำการเก็บข้อมูล



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอฟพลิเคชั่น Air Visual



รูปที่ 4.13 กราฟสมการความสัมพันธ์ค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual

จากรูปที่ 4.13 กราฟสมการความสัมพันธ์ค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (7) เมื่อ  $y$  คือ ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ AQI จากแอปพลิเคชัน Air Visual และ  $x$  คือ ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30

$$y = 1.44x \quad (7)$$

$$R^2 = 0.88 \quad (8)$$

สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดค่า AQI ของอุปกรณ์ทั้งสองในการตรวจวัดค่า AQI ของฝุ่นละออง PM 2.5 แอปพลิเคชัน Air Visual เป็นแอปพลิเคชันสำเร็จรูปที่ใช้ตรวจวัดค่าฝุ่นละอองภายในอากาศที่ได้ติดตั้งตามจังหวัดต่าง ๆ และผู้วิจัยได้ใช้จุดติดตั้งที่จังหวัดนครราชสีมา จากการสังเกตพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ  $R^2$  เท่ากับ 0.88 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกัน

ถ้าตั้งสมมติฐานว่า ค่า AQI จากการอ่านโดยใช้แอปพลิเคชัน Air Visual ถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ให้สอดคล้องกับค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (7) จะได้ค่าการตรวจวัด AQI ที่ผ่านการ

เปรียบเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.5 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการเปรียบเทียบแล้ว

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
20/04/2562	126	99.36
23/04/2562	107	99.36
24/04/2562	108	138.24
25/04/2562	115	99.36
26/04/2562	124	103.68
27/04/2562	118	109.44
30/04/2562	93	54.72
1/05/2562	91	61.92
2/05/2562	99	61.92
3/05/2562	96	46.08
8/05/2562	93	110.88
9/05/2562	81	95.04
13/05/2562	77	53.28
14/05/2562	69	89.28
15/05/2562	78	106.56
16/05/2562	86	80.64
17/05/2562	103	100.8
18/05/2562	115	136.8
21/05/2562	86	132.48
31/05/2562	61	64.8
1/06/2562	61	97.92
3/06/2562	61	87.84
4/06/2562	63	102.24
5/06/2562	65	110.88

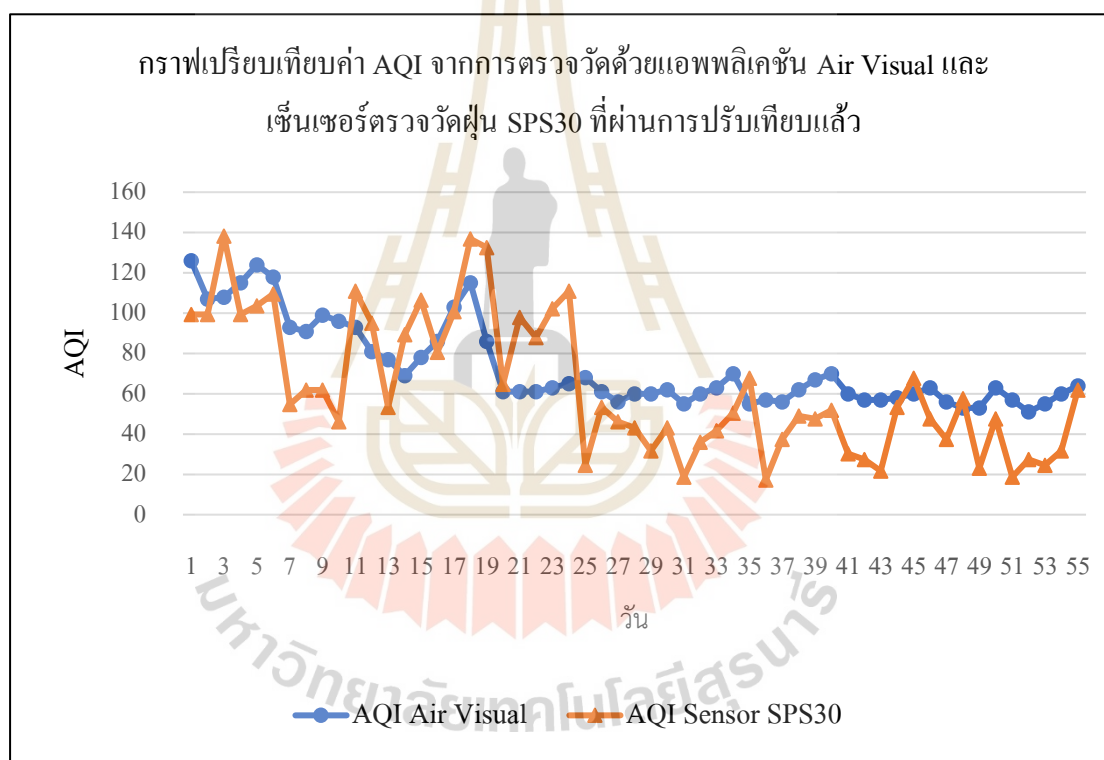
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการเปรียบเทียบแล้ว (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
6/06/2562	68	24.48
7/06/2562	61	53.28
10/06/2562	56	46.08
11/06/2562	60	43.2
12/06/2562	60	31.68
13/06/2562	62	43.2
17/06/2562	55	18.72
18/06/2562	60	36
19/06/2562	63	41.76
20/06/2562	70	50.4
27/06/2562	55	67.68
28/06/2562	57	17.28
30/06/2562	56	37.44
2/07/2562	62	48.96
12/07/2562	67	47.52
13/07/2562	70	51.84
14/07/2562	60	30.24
15/07/2562	57	27.36
16/07/2562	57	21.6
17/07/2562	58	53.28
18/07/2562	60	67.68
19/07/2562	63	47.52
20/07/2562	56	37.44
21/07/2562	53	57.6
22/07/2562	53	23.04
23/07/2562	63	47.52
24/07/2562	57	18.72



ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
25/07/2562	51	27.36
26/07/2562	55	24.48
27/07/2562	60	31.68
28/07/2562	64	61.92



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบค่า AQI จากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว

#### 4.4 การทดสอบเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี เทียบกับแอปพลิเคชัน Air Visual

##### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ณ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี กับแอปพลิเคชัน Air Visual

##### ขั้นตอนการวิจัย

ในขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบมาตรฐานการวัดเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และ แอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน โดยตรวจวัดฝุ่น PM 2.5 และ AQI

##### ผลการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
9/5/2019	26.5	12.24
13/5/2019	24.4	17.98
16/5/2019	28.9	15.08
17/5/2019	36.4	20.11
18/5/2019	41.1	22.48
21/5/2019	29	12.67
22/5/2019	20.5	8.43
24/5/2019	20.8	7.28
25/5/2019	24.2	14.26
26/5/2019	28.5	15.2
27/5/2019	20.3	11.63
28/5/2019	16.2	9.33
29/5/2019	16.3	4.96
30/5/2019	16.5	4.62
31/5/2019	16.8	8.62

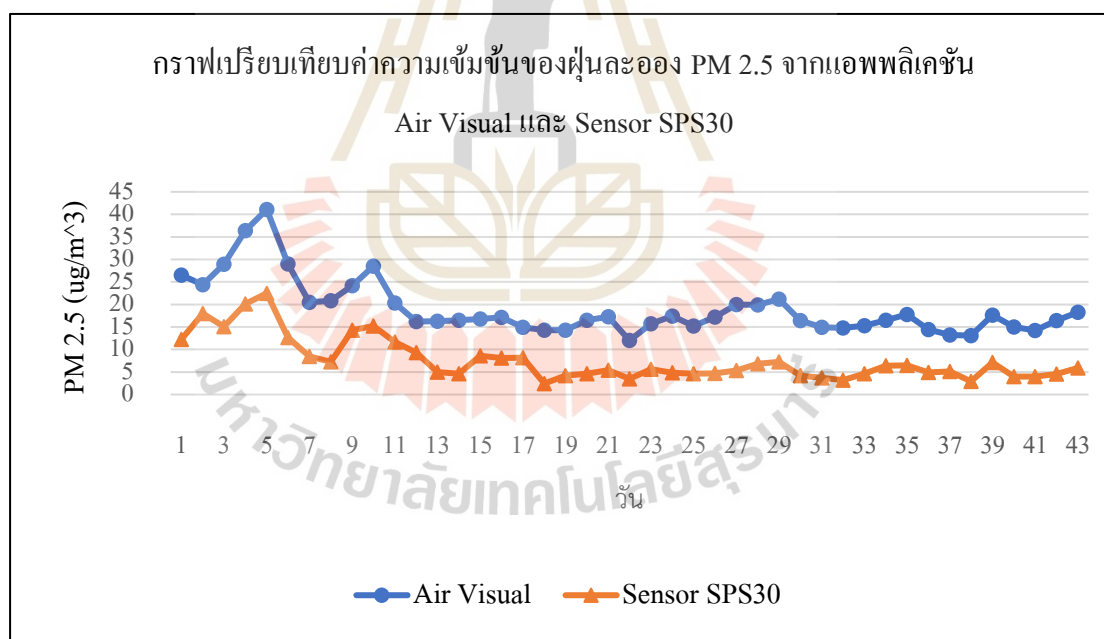
ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
1/6/2019	17.1	8.12
2/6/2019	14.9	8.2
10/6/2019	14.3	2.44
30/6/2019	14.3	4.21
1/7/2019	16.5	4.61
2/7/2019	17.3	5.43
3/7/2019	12	3.46
6/7/2019	15.7	5.59
7/7/2019	17.4	4.87
8/7/2019	15.2	4.6
9/7/2019	17.2	4.66
10/7/2019	20	5.31
12/7/2019	19.9	6.86
13/7/2019	21.2	7.25
14/7/2019	16.4	4.2
15/7/2019	14.9	3.72
16/7/2019	14.8	3.23
17/7/2019	15.3	4.61
18/7/2019	16.5	6.37
19/7/2019	17.8	6.44
20/7/2019	14.4	4.89
21/7/2019	13.2	5.09
22/7/2019	13.1	2.95
23/7/2019	17.6	7.11
24/7/2019	15	3.96
26/7/2019	14.2	3.96
27/7/2019	16.4	4.56

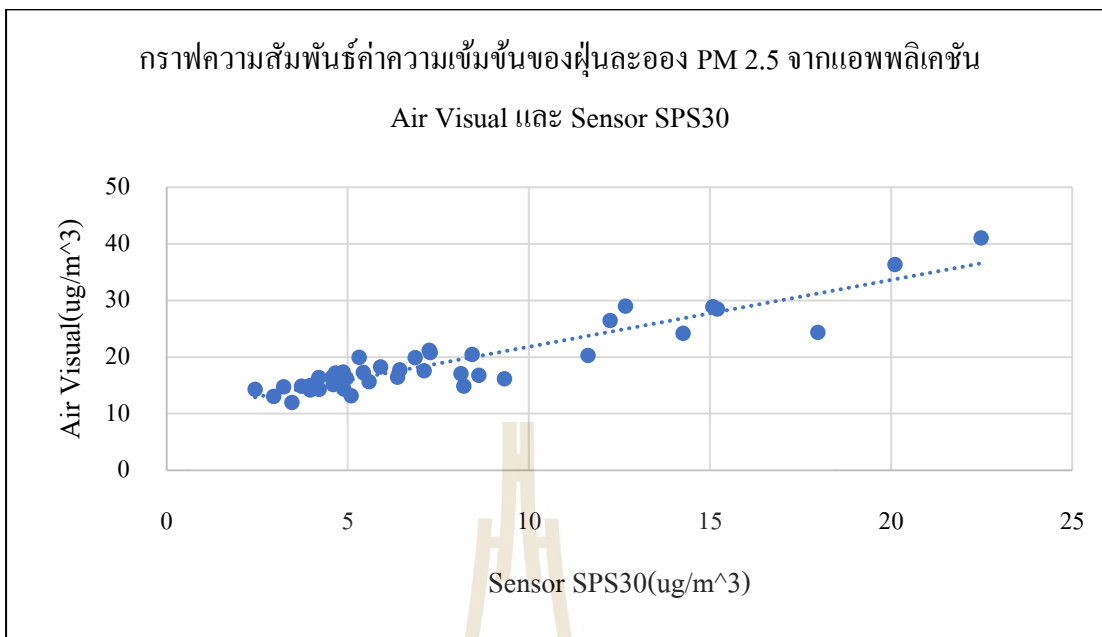
ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
28/7/2019	18.3	5.91

จากตารางการเปรียบเทียบเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ณ วันเดียวกัน สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี สามารถนำค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ที่ตรวจวัดได้มาหาสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการตรวจวัดและพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ของทั้งสองอุปกรณ์ได้ ซึ่งในรูปที่ 4.15 จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเครื่องตรวจวัดฝุ่นละออง PM 2.5 เมื่อเทียบกับแอปพลิเคชัน Air Visual เป็นจำนวนวันทั้งหมด 43 วันที่ทำการเก็บข้อมูล



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual



รูปที่ 4.16 กราฟสมการความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual

จากกราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 กับแอปพลิเคชัน Air Visual ดังรูปที่ 4.16 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (9) เมื่อ y คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากแอปพลิเคชัน Air Visual และ x คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30

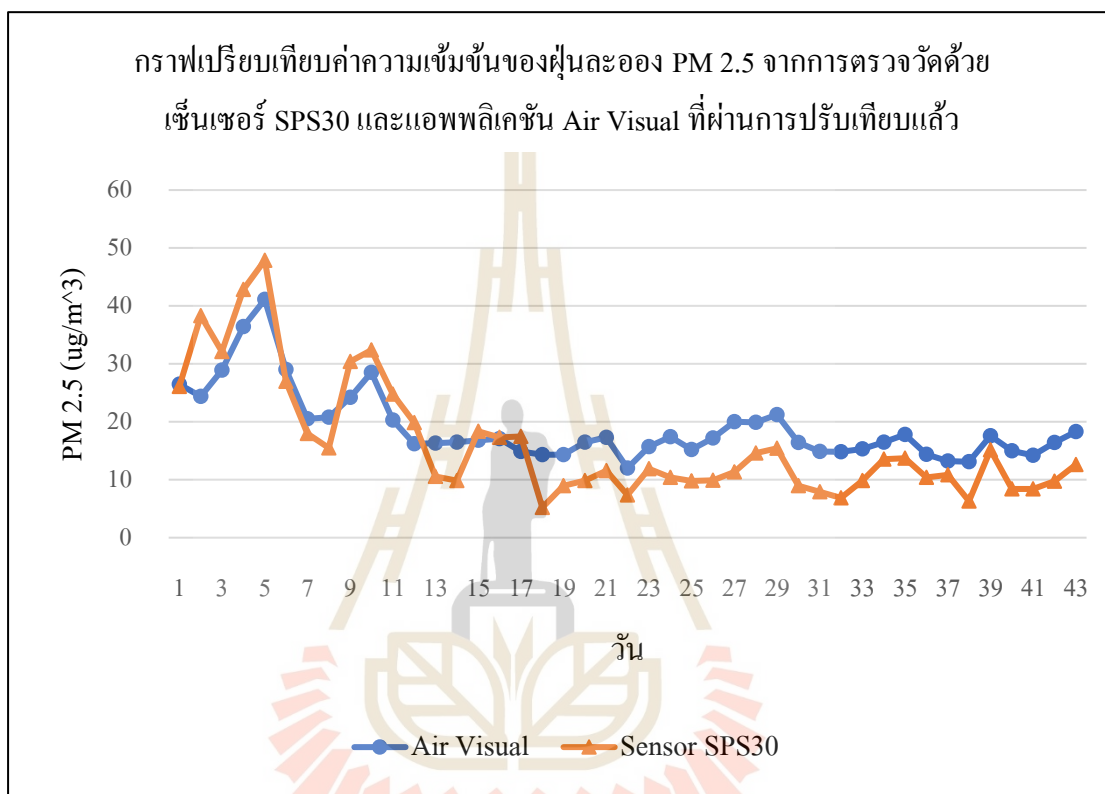
$$y = 2.13x \quad (9)$$

$$R^2 = 0.92 \quad (10)$$

สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ของอุปกรณ์ทั้งสองในการตรวจวัดฝุ่นละออง PM 2.5 แอปพลิเคชัน Air Visual เป็นแอปพลิเคชันสำเร็จรูปที่ใช้ตรวจวัดค่าฝุ่นละอองภายในอากาศที่ได้ติดตั้งตามจังหวัดต่าง ๆ และผู้วิจัยได้ใช้จุดติดตั้งที่จังหวัดนครราชสีมา จากการสังเกตพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ  $R^2$  เท่ากับ 0.92 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกัน

ถ้าตั้งสมมติฐานว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการอ่านโดยใช้แอปพลิเคชัน Air Visual ถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5

จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ให้สอดคล้องกับค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (9) จะได้ค่าการตรวจวัดฝุ่นละออง PM 2.5 ที่มีการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และ เซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว

จากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ที่ตรวจวัดได้ตามตารางที่ 4.6 สามารถแสดงค่าดัชนีคุณภาพอากาศได้ตามตารางที่ 4.7



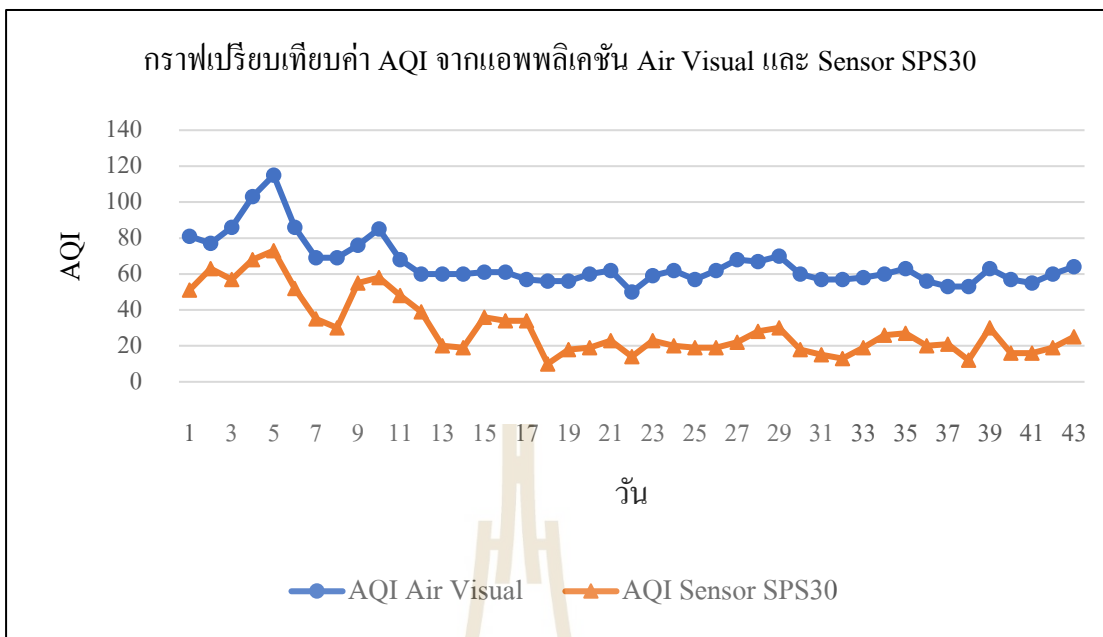
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
9/5/2019	81	51
13/5/2019	77	63
16/5/2019	86	57
17/5/2019	103	68
18/5/2019	115	73
21/5/2019	86	52
22/5/2019	69	35
24/5/2019	69	30
25/5/2019	76	55
26/5/2019	85	58
27/5/2019	68	48
28/5/2019	60	39
29/5/2019	60	20
30/5/2019	60	19
31/5/2019	61	36
1/6/2019	61	34
2/6/2019	57	34
10/6/2019	56	10
30/6/2019	56	18
1/7/2019	60	19
2/7/2019	62	23
3/7/2019	50	14
6/7/2019	59	23
7/7/2019	62	20
8/7/2019	57	19
9/7/2019	62	19
10/7/2019	68	22

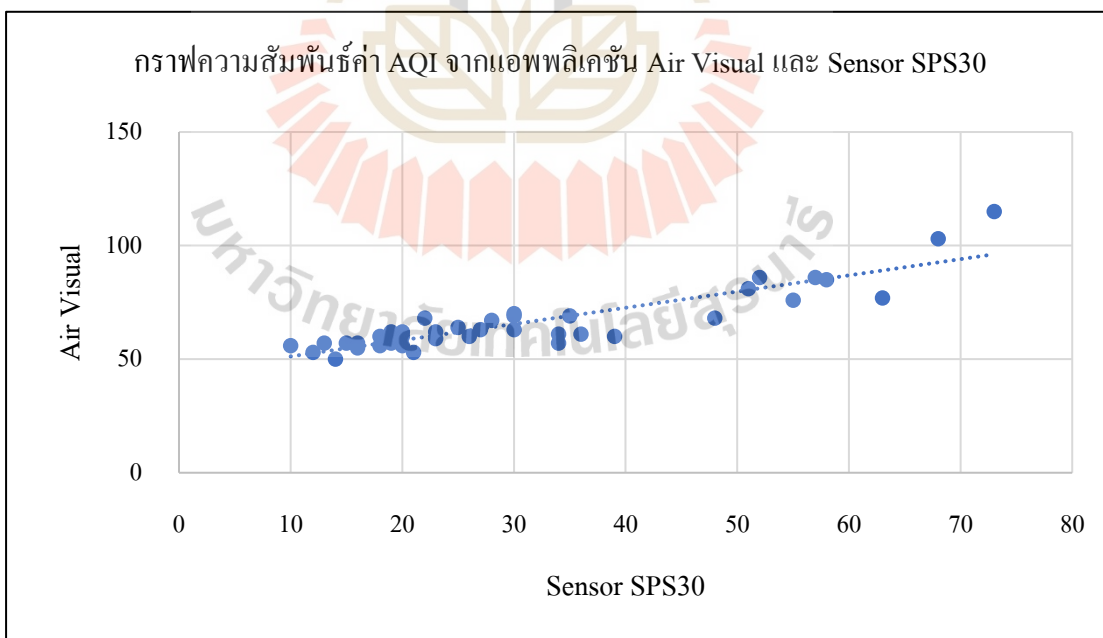
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดด้วยแอฟพลีเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการเปรียบเทียบแล้ว (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าจากแอฟพลีเคชัน Air Visual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
12/7/2019	67	28
13/7/2019	70	30
14/7/2019	60	18
15/7/2019	57	15
16/7/2019	57	13
17/7/2019	58	19
18/7/2019	60	26
19/7/2019	63	27
20/7/2019	56	20
21/7/2019	53	21
22/7/2019	53	12
23/7/2019	63	30
24/7/2019	57	16
26/7/2019	55	16
27/7/2019	60	19
28/7/2019	64	25

จากตารางที่ 4.7 เป็นผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีคุณภาพอากาศ AQI ที่สามารถคำนวณได้จากการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอฟพลีเคชัน Air Visual สามารถนำค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ตรวจวัดได้มาหาสมการความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการตรวจวัดและพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศของทั้งสองอุปกรณ์ ซึ่งในรูปที่ 4.18 จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของเครื่องตรวจวัดฝุ่นละออง PM 2.5 เมื่อเทียบกับแอฟพลีเคชัน Air Visual เป็นจำนวนทั้งหมด 43 วันที่ทำการเก็บข้อมูล



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ของค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual



รูปที่ 4.19 กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual

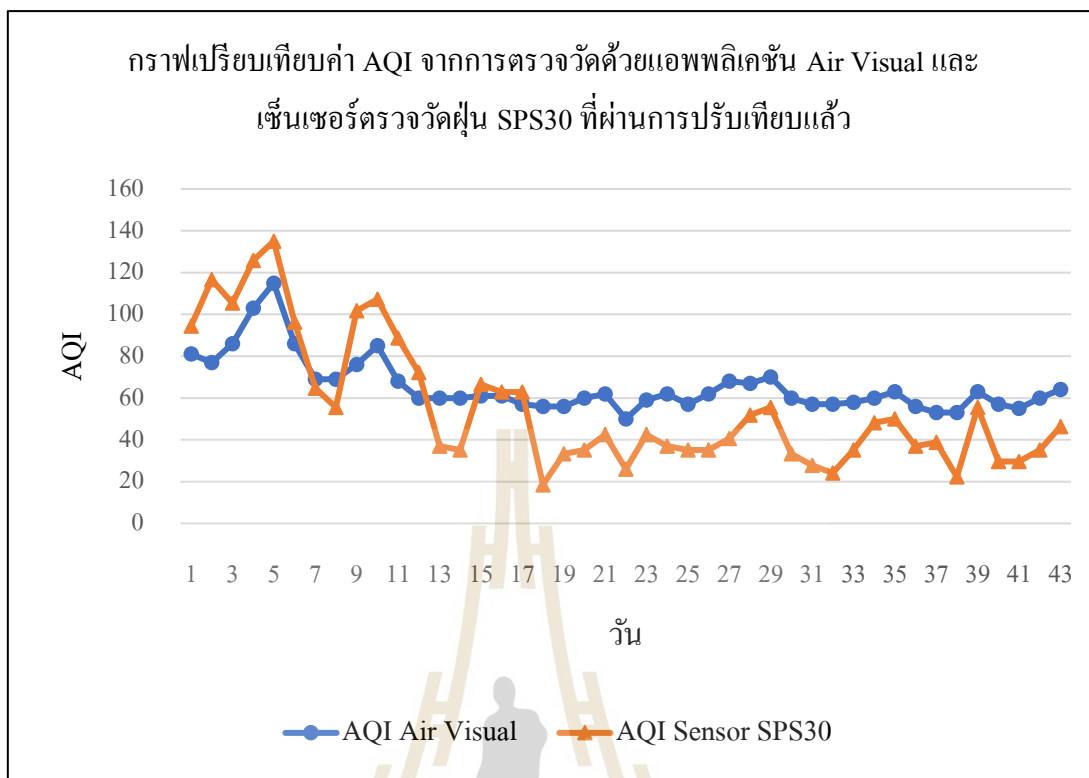
จากกราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศ AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 และแอปพลิเคชัน Air Visual ดังรูปที่ 4.19 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (11) เมื่อ  $y$  คือ ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากแอปพลิเคชัน Air Visual และ  $x$  คือ ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30

$$y = 1.85x \quad (11)$$

$$R^2 = 0.89 \quad (12)$$

สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพอากาศของอุปกรณ์ทั้งสองในการตรวจวัดค่า AQI ของฝุ่นละออง PM 2.5 แอปพลิเคชัน Air Visual เป็นแอปพลิเคชันสำเร็จรูปที่ใช้ตรวจวัดค่าฝุ่นละอองภายในอากาศที่ได้ติดตั้งตามจังหวัดต่าง ๆ และผู้วิจัยได้ใช้จุดติดตั้งที่จังหวัดนครราชสีมา จากการสังเกตพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ  $R^2$  เท่ากับ 0.89 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกัน

ถ้าตั้งสมมติฐานว่า ค่า AQI จากการอ่านโดยใช้แอปพลิเคชัน Air Visual ถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่า AQI จากเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ให้สอดคล้องกับค่าจากแอปพลิเคชัน Air Visual ได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (11) จะได้ค่าการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ AQI ที่มีการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.20 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น



รูปที่ 4.20 กราฟเปรียบเทียบค่า AQI จากการตรวจวัดด้วยแอปพลิเคชัน Air Visual และเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 ที่ผ่านการปรับเทียบมาตรฐานแล้ว

#### 4.5 การทดสอบระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี

##### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จากเซ็นเซอร์

##### ขั้นตอนการวิจัย

ในขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยทำการเก็บผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยเซ็นเซอร์ SPS30 เซ็นเซอร์ตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ ตามลำดับ เป็นเวลา 30 วัน

## ผลการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 4.8 การเก็บผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

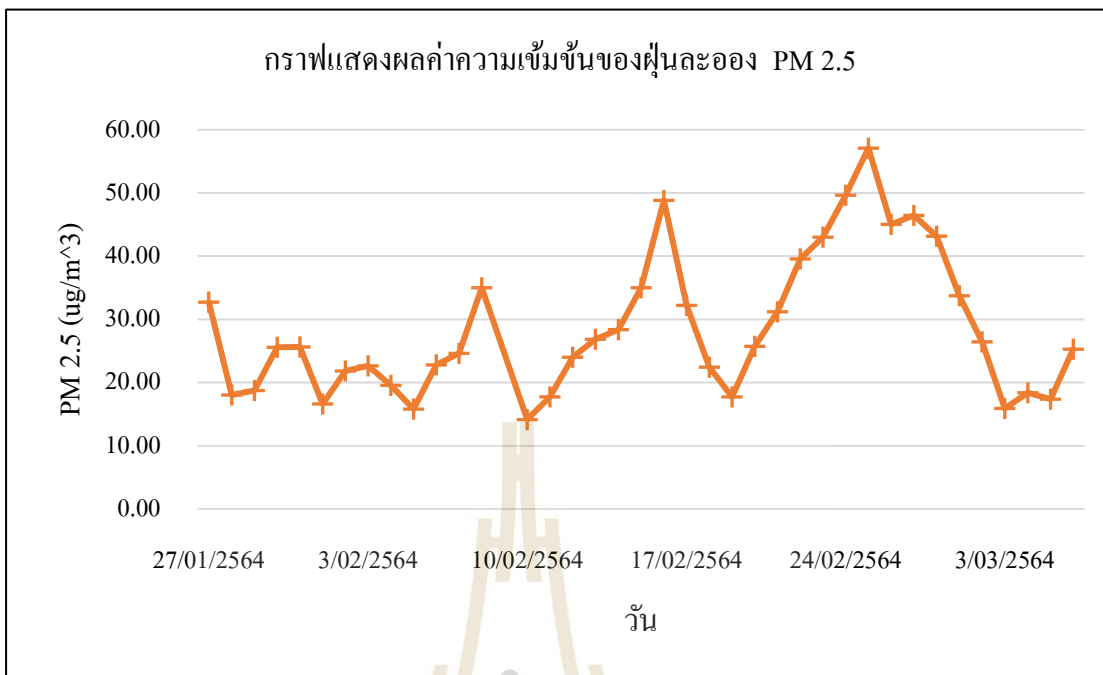
วัน/เดือน/ปี	ค่าความเข้มข้นของ ฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าความเข้มข้นของ คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	ค่าความเข้มข้นของ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)
27/01/2564	32.71	333.09	4.34
28/01/2564	18.02	305.09	5.87
29/01/2564	18.75	307.30	7.31
30/01/2564	25.56	341.39	8.04
31/01/2564	25.64	433.89	8.07
1/02/2564	16.62	232.96	8.30
2/02/2564	21.83	400.10	8.58
3/02/2564	22.65	395.45	9.12
4/02/2564	19.56	350.02	8.94
5/02/2564	15.79	352.55	8.58
6/02/2564	22.79	358.37	8.54
7/02/2564	24.61	340.28	8.71
8/02/2564	35.02	345.83	8.75
10/02/2564	14.16	364.40	7.95
11/02/2564	17.71	365.39	8.66
12/02/2564	24.03	480.18	9.19
13/02/2564	26.85	370.98	9.17
14/02/2564	28.35	497.37	9.18
15/02/2564	35.03	353.35	9.48
16/02/2564	48.85	351.26	8.68
17/02/2564	32.24	359.86	8.00
18/02/2564	22.44	374.03	8.66
19/02/2564	17.73	341.99	9.32

ตารางที่ 4.8 การเก็บผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ต่อ)

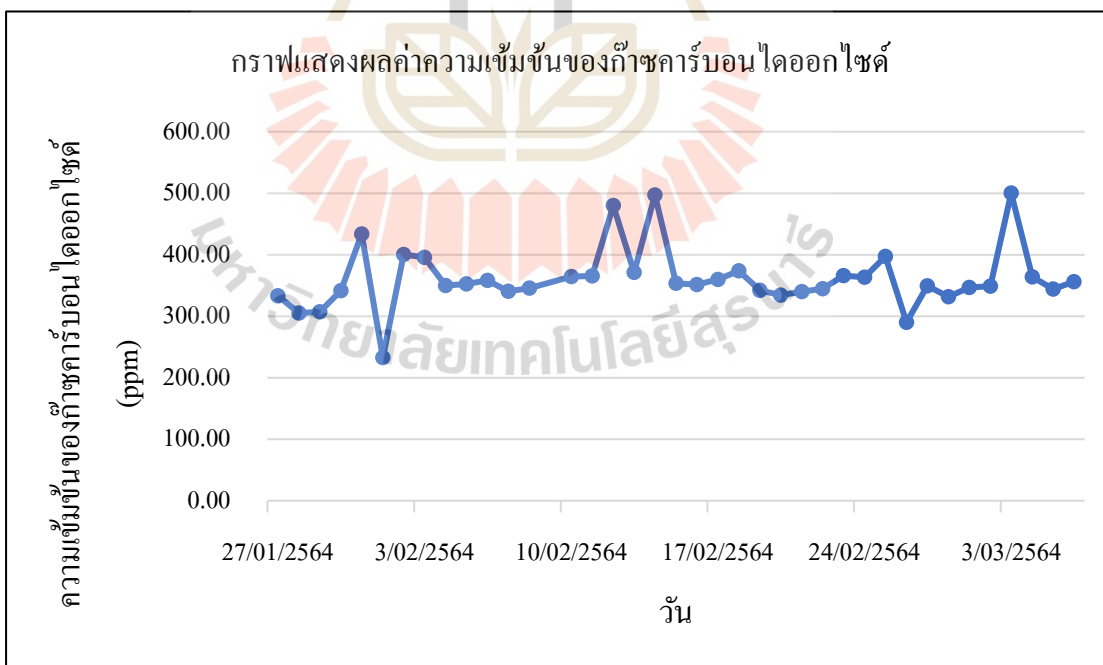
วัน/เดือน/ปี	ค่าความเข้มข้นของ ฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าความเข้มข้นของ คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	ค่าความเข้มข้นของ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)
20/02/2564	25.72	334.24	9.36
21/02/2564	31.23	339.73	9.54
22/02/2564	39.56	344.63	9.47
23/02/2564	43.03	366.19	9.11
24/02/2564	49.64	363.13	8.89
25/02/2564	57.10	397.06	7.72
26/02/2564	45.03	290.00	9.82
27/02/2564	46.48	349.41	9.17
28/02/2564	43.14	331.67	9.15
1/03/2564	33.72	346.67	9.30
2/03/2564	26.43	348.96	8.76
3/03/2564	15.92	500.20	9.04
4/03/2564	18.39	363.89	9.25
5/03/2564	17.38	344.32	8.25
6/03/2564	25.27	355.92	9.26

จากตารางผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ดัชนีคุณภาพอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ สามารถนำข้อมูลทั้งหมดมาพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ดังรูปที่ 4.21 4.22 และ 4.23 ซึ่งเป็นผลการเก็บข้อมูลของสถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี นวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

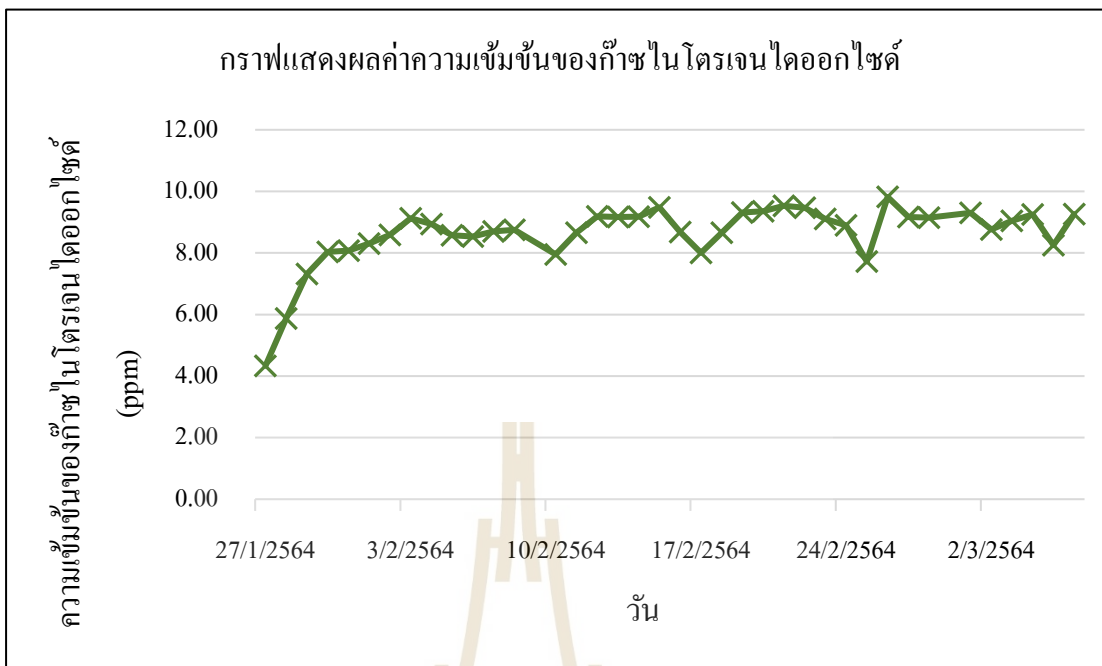




รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ณ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์  
ณ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์  
ณ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยี

จากรูปที่ 4.21 4.22 และ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่า AQI ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งจะเห็นว่าแนวโน้มของค่าความเข้มข้นของทั้ง 4 ไปในทิศทางเดียวกันในแต่ละวัน หมายความว่าเมื่อบริเวณนั้นมีค่าความเข้มข้น PM 2.5 มาก ค่าความเข้มข้นของค่าดัชนีคุณภาพ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ก็จะ มีมากเช่นกัน อาจเนื่องจากช่วงวันนั้นหรือเวลานั้น บริเวณที่ติดตั้งระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศมี ยานพาหนะขับผ่านหรือมีการทำกิจกรรม ณ บริเวณที่ติดตั้ง ทำให้วันนั้นหรือช่วงเวลานั้นมีค่าความเข้มข้นของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน ออกไซด์มาก

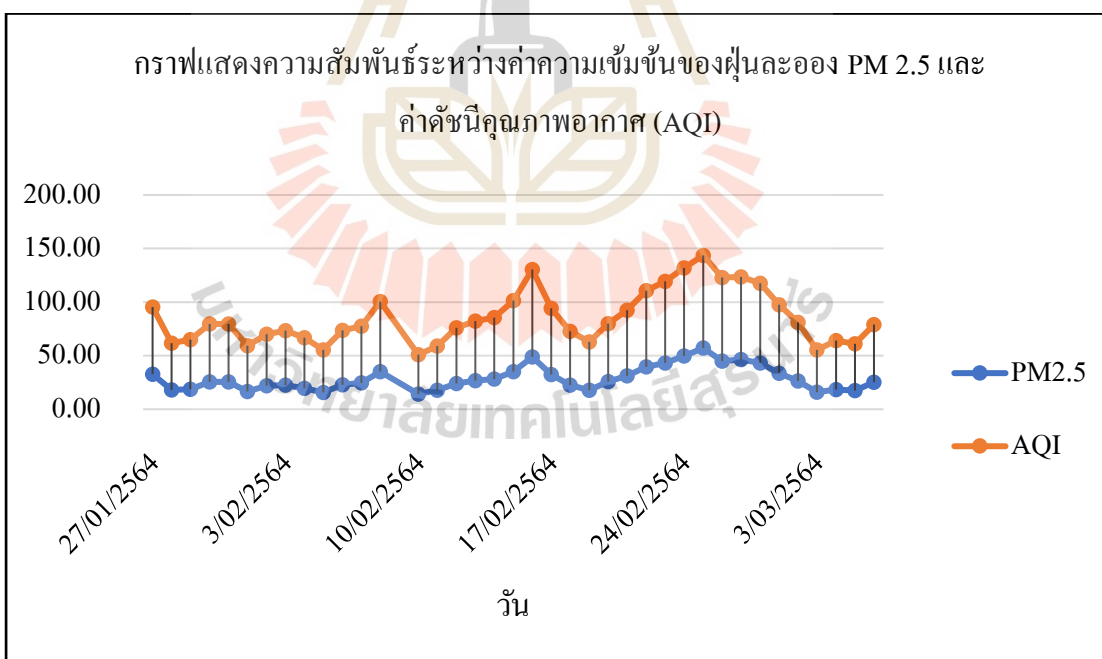
จากตารางการเก็บผลการตรวจวัดสามารถนำค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 แสดง เป็นค่าดัชนีคุณภาพอากาศได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ได้จากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5

วัน/เดือน/ปี	ค่าความเข้มข้นของฝุ่น ละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ
27/01/2564	32.71	95.47
28/01/2564	18.02	61.58
29/01/2564	18.75	64.98
30/01/2564	25.56	79.73
31/01/2564	25.64	79.73
1/02/2564	16.62	59.38
2/02/2564	21.83	70.03
3/02/2564	22.65	73.21
4/02/2564	19.56	66.70
5/02/2564	15.79	55.26
6/02/2564	22.79	73.54
7/02/2564	24.61	77.54
8/02/2564	35.02	100.55
10/02/2564	14.16	50.85
11/02/2564	17.71	58.89
12/02/2564	24.03	76.04
13/02/2564	26.85	82.28
14/02/2564	28.35	85.70
15/02/2564	35.03	101.39
16/02/2564	48.85	130.49
17/02/2564	32.24	94.24
18/02/2564	22.44	94.24
19/02/2564	17.73	62.83
20/02/2564	25.72	79.95
21/02/2564	31.23	92.55
22/02/2564	39.56	110.59
23/02/2564	43.03	119.27
24/02/2564	49.64	132.04

ตารางที่ 4.9 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ได้จากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าความเข้มข้นของฝุ่น ละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ
25/02/2564	57.10	143.61
26/02/2564	45.03	123.08
27/02/2564	46.48	123.53
28/02/2564	43.14	117.53
1/03/2564	33.72	97.43
2/03/2564	26.43	81.23
3/03/2564	15.92	55.40
4/03/2564	18.39	64.14
5/03/2564	17.38	60.98
6/03/2564	25.27	79.15



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5  
และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

จากผลการเก็บข้อมูลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ซึ่งเป็นเว็บไซต์แสดงค่าคุณภาพอากาศทั่วโลก โดยจำแนกตามดัชนีคุณภาพอากาศของ USEPA และผู้วิจัยได้ใช้จุดติดตั้งที่จังหวัดนครราชสีมา แสดงดังตารางที่ 10 (ที่มา : <https://aqicn.org/>)

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ และเว็บไซต์คุณภาพอากาศ aqicn

วัน/เดือน/ปี	ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ			เว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn		
	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)
27/01/2564	32.71	95.47	4.34	111	179.64	15
28/01/2564	18.02	61.58	5.87	119	183.77	7
29/01/2564	18.75	64.98	7.31	81	164.13	9
30/01/2564	25.56	79.73	8.04	107	177.57	12
31/01/2564	25.64	79.73	8.07	113	180.67	14
1/02/2564	16.62	59.38	8.30	113	180.67	9
2/02/2564	21.83	70.03	8.58	88	167.75	7
3/02/2564	22.65	73.21	9.12	104	176.02	11
4/02/2564	19.56	66.70	8.94	96	171.88	13
5/02/2564	15.79	55.26	8.58	94	170.85	15
6/02/2564	22.79	73.54	8.54	104	176.02	11
7/02/2564	24.61	77.54	8.71	105	176.53	15
8/02/2564	35.02	100.55	8.75	127	187.91	10
10/02/2564	14.16	50.85	7.95	60	153.27	14
11/02/2564	17.71	58.89	8.66	89	168.26	12

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ และเว็บไซต์คุณภาพอากาศ aqicn (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ			เว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn		
	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)
12/02/2564	24.03	76.04	9.19	104	176.02	14
13/02/2564	26.85	82.28	9.17	113	180.67	13
14/02/2564	28.35	85.70	9.18	119	183.77	16
15/02/2564	35.03	101.39	9.48	125	186.87	14
16/02/2564	48.85	130.49	8.68	145	197.21	11
17/02/2564	32.24	94.24	8.00	141	195.14	6
18/02/2564	22.44	94.24	8.66	94	170.85	8
19/02/2564	17.73	62.83	9.32	92	169.81	10
20/02/2564	25.72	79.95	9.36	93	170.33	17
21/02/2564	31.23	92.55	9.54	127	187.91	22
22/02/2564	39.56	110.59	9.47	141	195.14	19
23/02/2564	43.03	119.27	9.11	145	197.21	17
24/02/2564	49.64	132.04	8.89	154	204.47	15
25/02/2564	57.10	143.61	7.72	150	199.79	16
26/02/2564	45.03	123.08	9.82	142	195.66	6
27/02/2564	46.48	123.53	9.17	154	204.47	8.5
28/02/2564	43.14	117.53	9.15	143	196.18	9
1/03/2564	33.72	97.43	9.30	132	190.49	10
2/03/2564	26.43	81.23	8.76	111	179.64	8
3/03/2564	15.92	55.40	9.04	97	172.40	7
4/03/2564	18.39	64.14	9.25	73	159.99	13

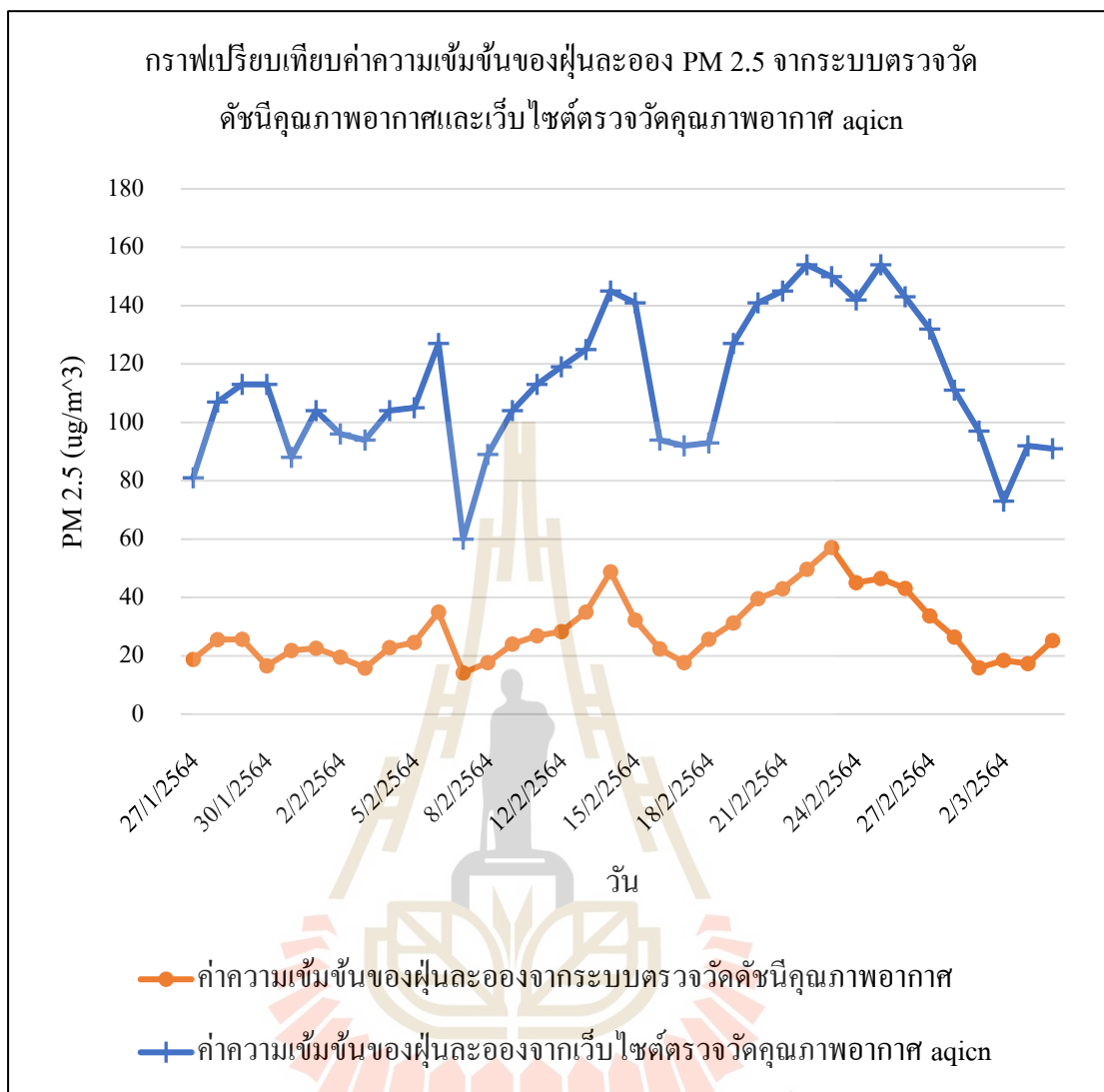
ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์คุณภาพอากาศ aqicn (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ			เว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn		
	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)
5/03/2564	17.38	60.98	8.25	92	169.81	10
6/03/2564	25.27	79.15	9.26	91	169.30	10

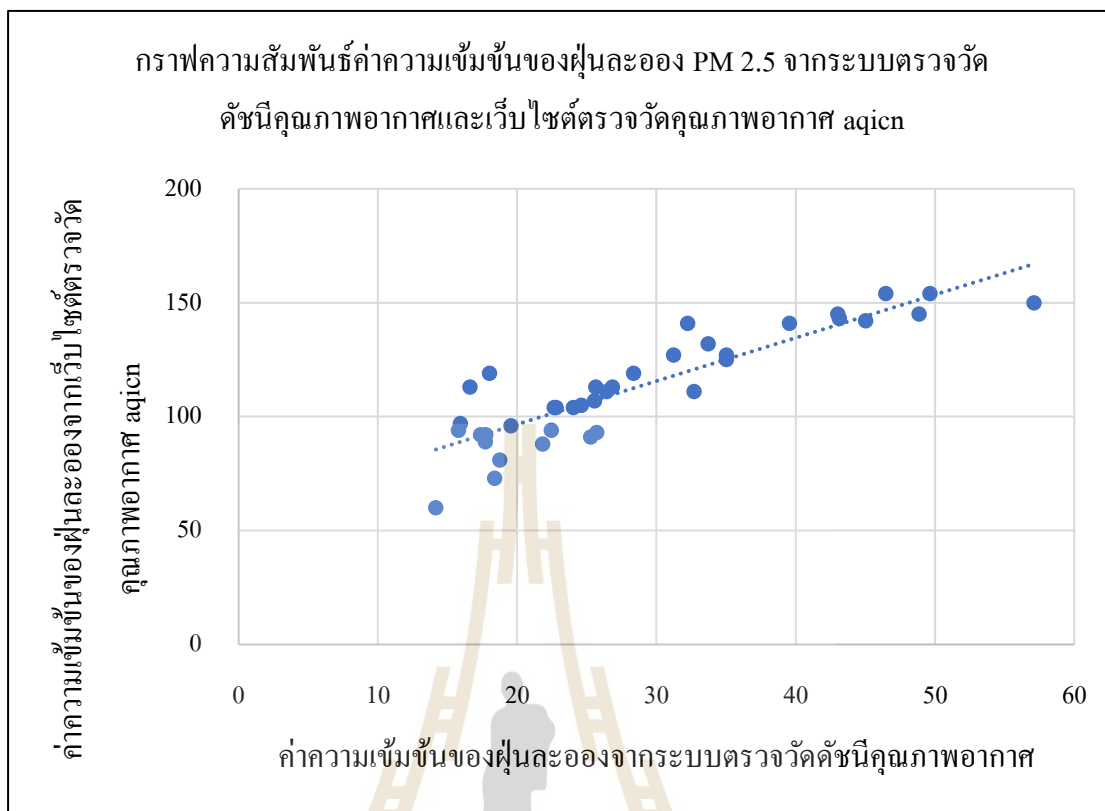
จากตารางการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมา สามารถพล็อตเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของทั้งสองได้ดังรูปที่ 4.25 4.28 และ 4.31 ตามลำดับ







รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัดดัชนี  
คุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn



รูปที่ 4.26 กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn

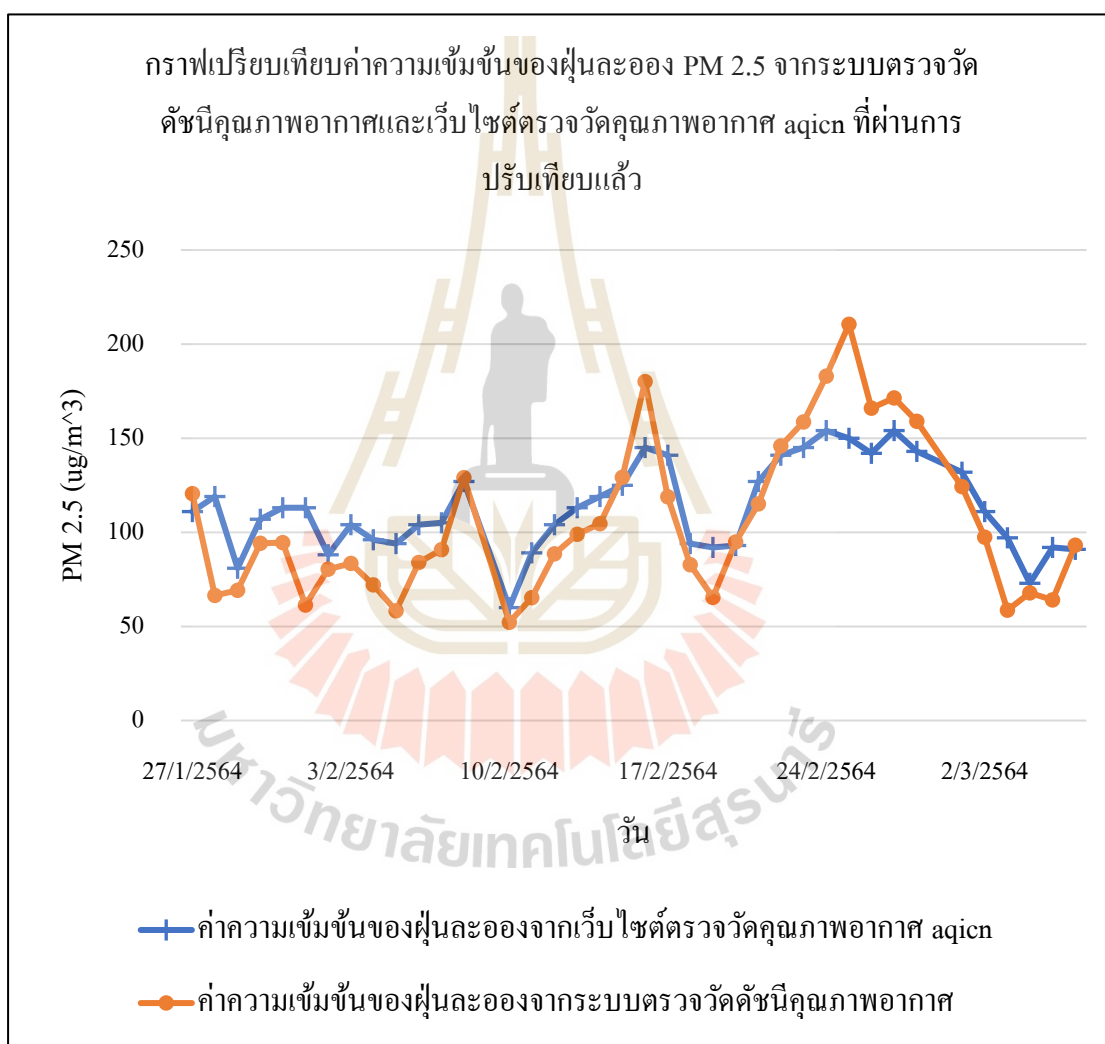
จากกราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมา ดังรูปที่ 4.26 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (13) เมื่อ  $y$  คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาและ  $x$  คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่ออกแบบ

$$y = 3.69x \quad (13)$$

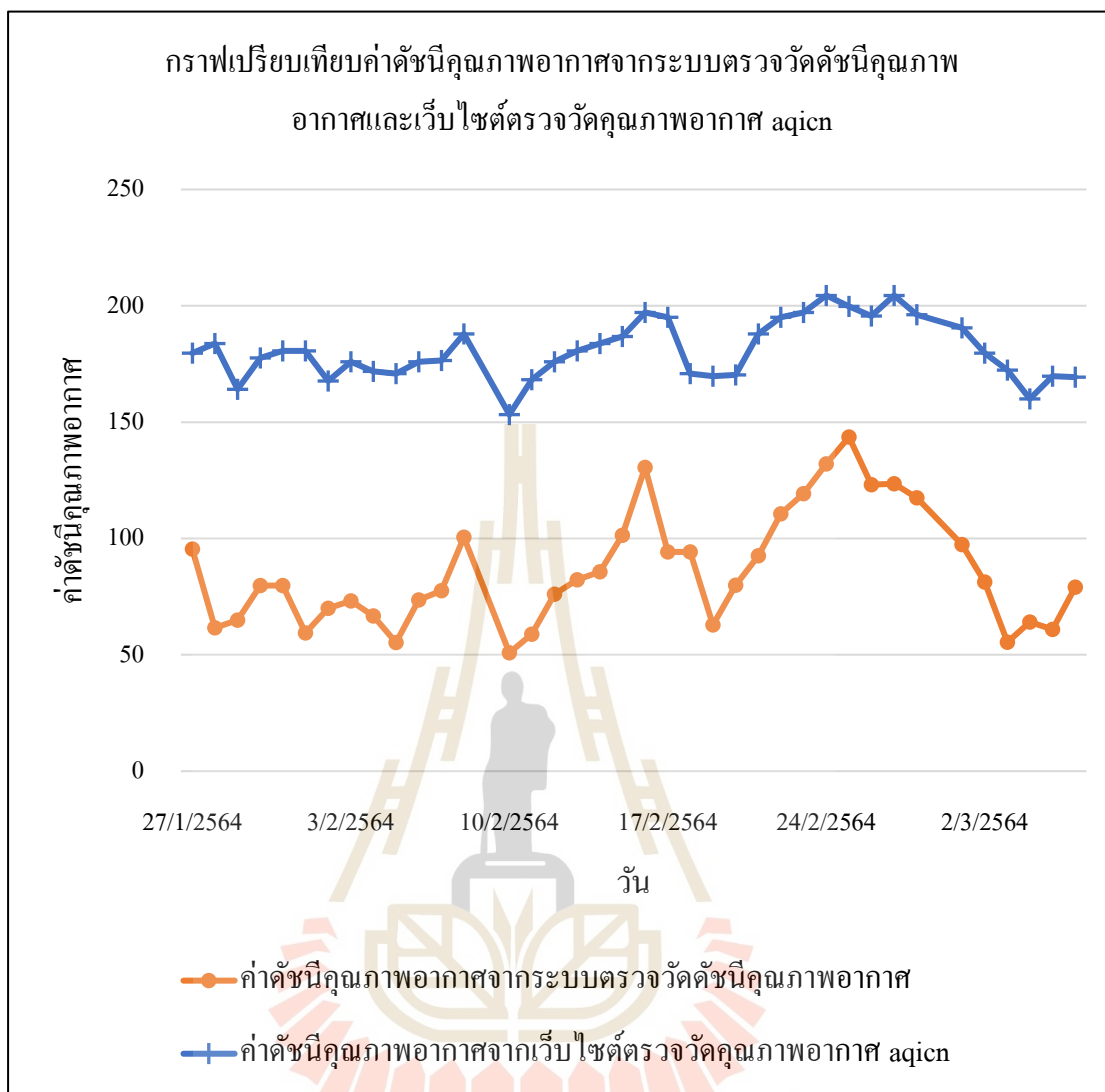
$$R^2 = 0.96 \quad (14)$$

สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองของอุปกรณ์ทั้งสองในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง จากการสังเกตพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ  $R^2$  เท่ากับ 0.96 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกันและยอมรับได้

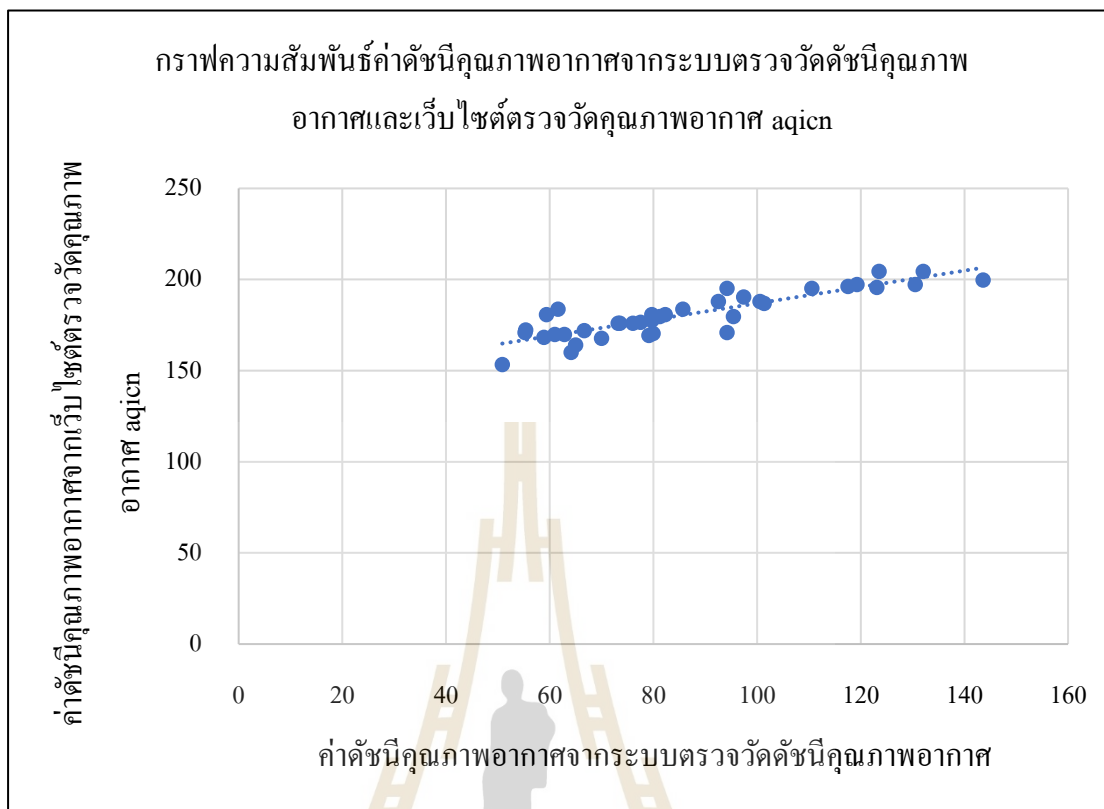
ถ้าตั้งสมมติฐานว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการอ่านของเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศให้สอดคล้องกับค่าจากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (13) จะได้ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.27 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ  
กับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn



รูปที่ 4.29 กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn

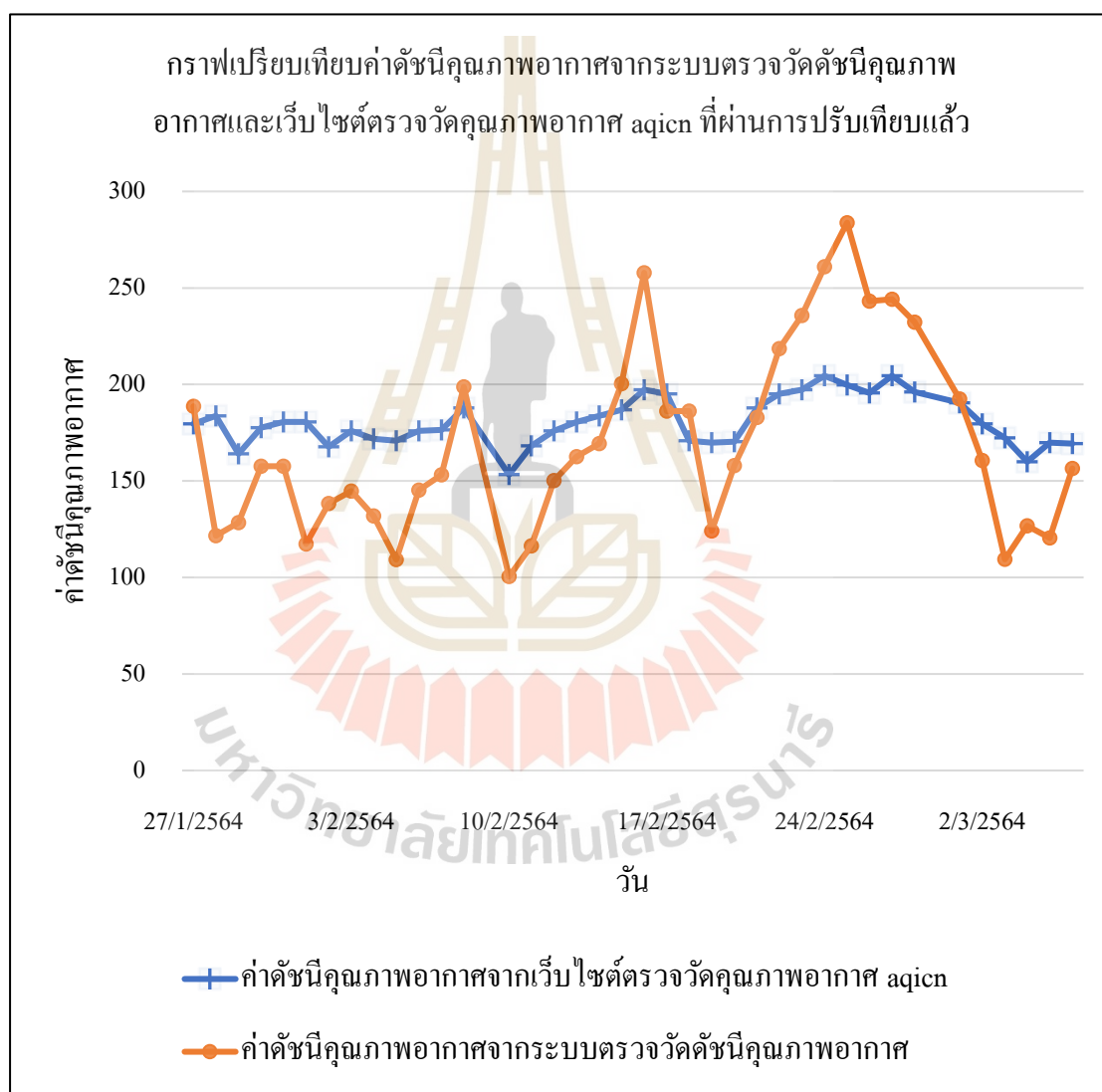
จากกราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมา ดังรูปที่ 4.29 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (15) เมื่อ y คือ ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาและ x คือ ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่ออกแบบ

$$y = 1.98x \quad (15)$$

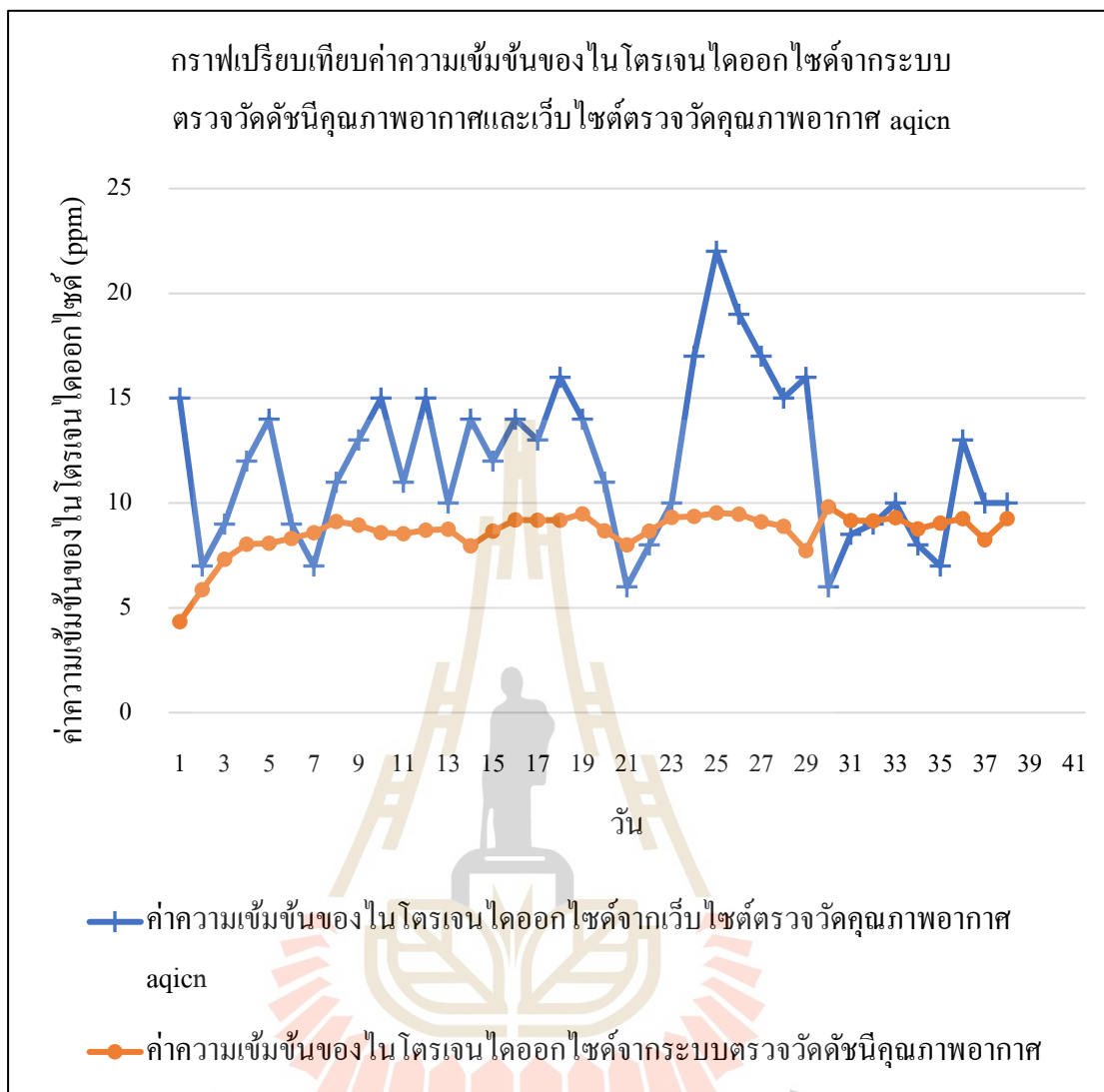
$$R^2 = 0.96 \quad (16)$$

สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพอากาศของอุปกรณ์ทั้งสองในการตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพอากาศ จากการสังเกตพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ  $R^2$  เท่ากับ 0.96 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกัน

ถ้าตั้งสมมติฐานว่า ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการอ่านของเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศให้สอดคล้องกับค่าจากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (15) จะได้ค่าการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่มีการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.30 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

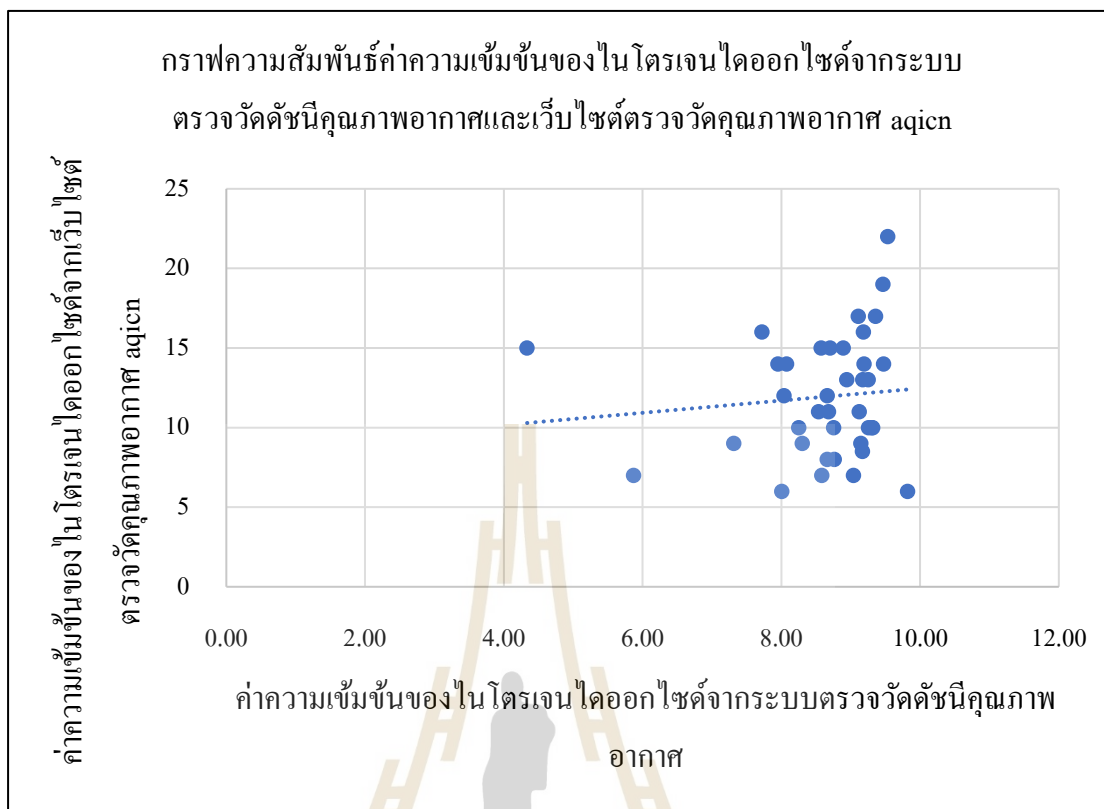


รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว



รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัด  
ดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn





รูปที่ 4.32 กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn

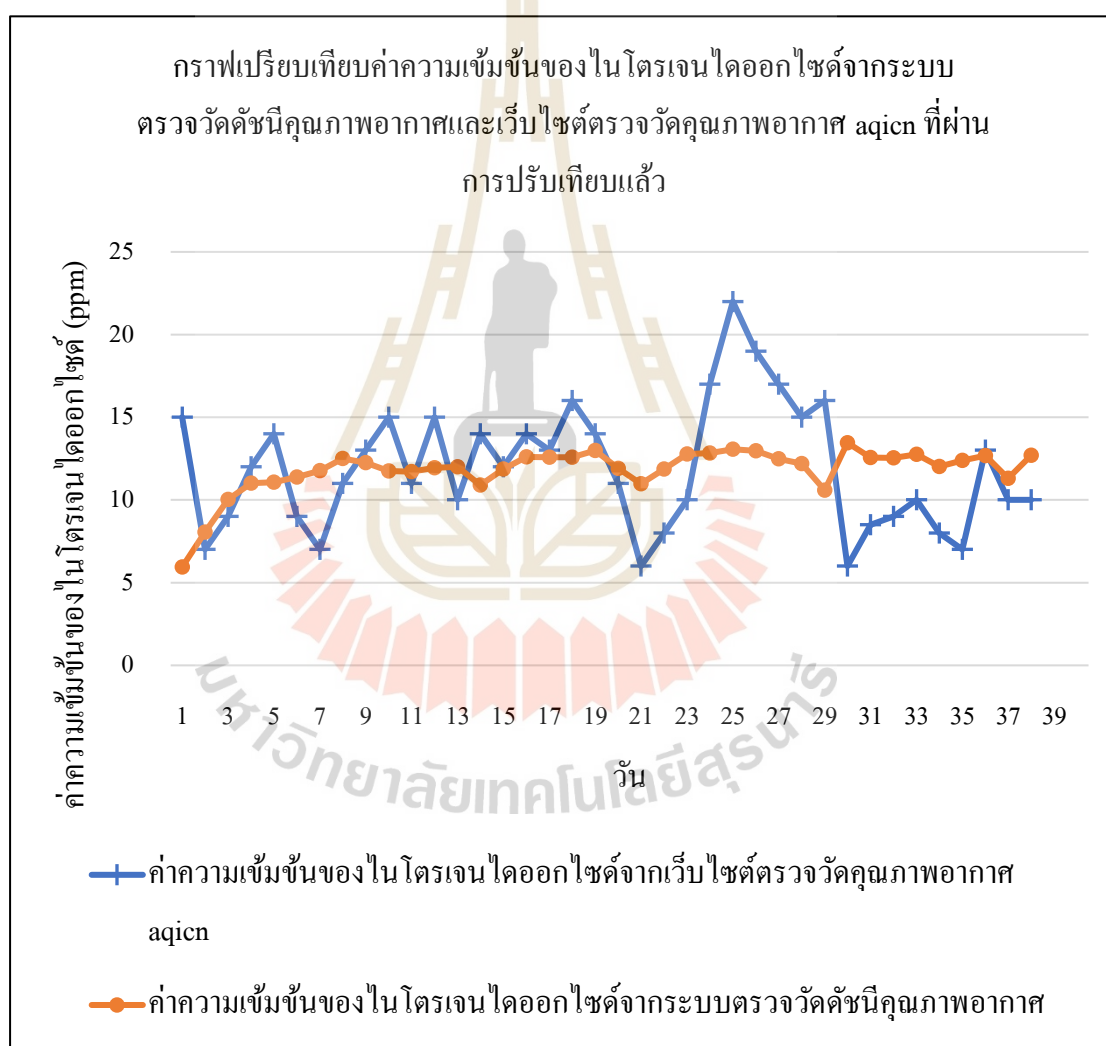
จากกราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมา ดังรูปที่ 4.32 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (17) เมื่อ  $y$  คือ ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาและ  $x$  คือ ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่ออกแบบ

$$y = 1.37x \quad (17)$$

$$R^2 = 0.91 \quad (18)$$

สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ของอุปกรณ์ทั้งสอง จากการสังเกตพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ  $R^2$  เท่ากับ 0.91 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกัน

ถ้าตั้งสมมติฐานว่า ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากการอ่านของเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ให้สอดคล้องกับค่าจากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (17) จะได้ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.33 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น



รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว

#### 4.6 การทดสอบระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ สถานีที่ 3 อาคารขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

##### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

##### ขั้นตอนการวิจัย

ในขั้นตอนการวิจัย ผู้วิจัยทำการเก็บผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จากเซ็นเซอร์ SPS30 เซ็นเซอร์ตรวจวัดคาร์บอนไดออกไซด์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ เป็นเวลา 30 วัน

##### ผลการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 4.11 การเก็บผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

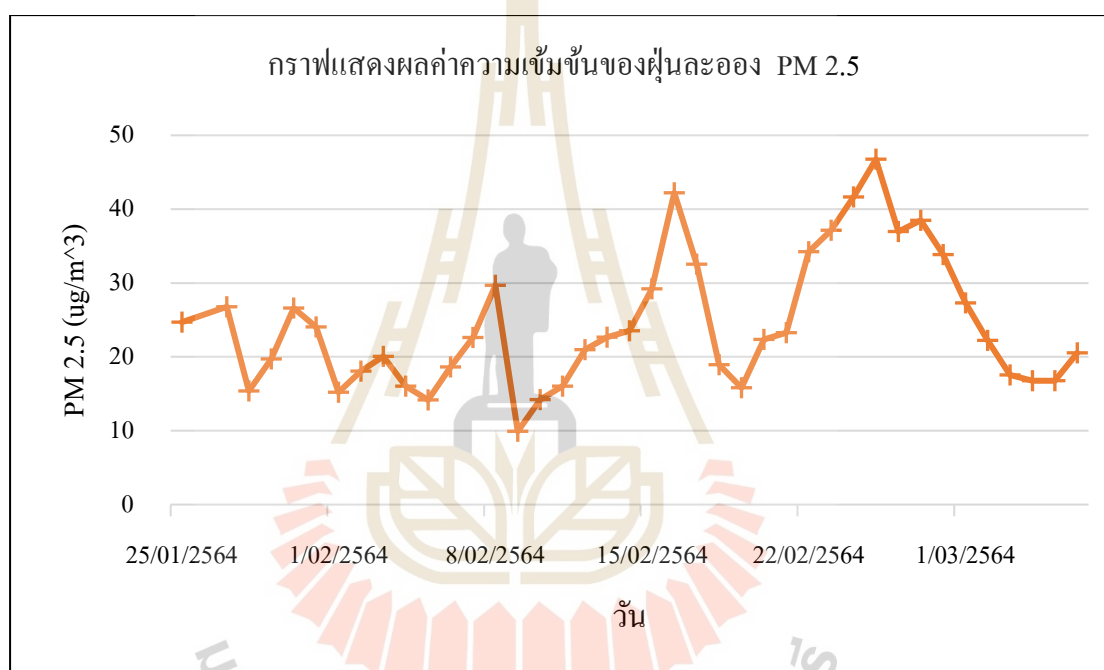
วัน/เดือน/ปี	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)
25/01/2564	24.71	240.78	2.32
27/01/2564	26.78	382.53	5.49
28/01/2564	15.37	211.93	5.97
29/01/2564	19.73	26.55	5.68
30/01/2564	26.62	304.07	7.36
31/01/2564	24.04	126.81	6.99
1/02/2564	15.20	87.61	6.73
2/02/2564	18.06	73.77	6.63
3/02/2564	20.04	480.08	7.55
4/02/2564	16.05	573.18	8.06
5/02/2564	14.18	267.03	7.82
6/02/2564	18.62	55.52	7.62

ตารางที่ 4.11 การเก็บผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ต่อ)

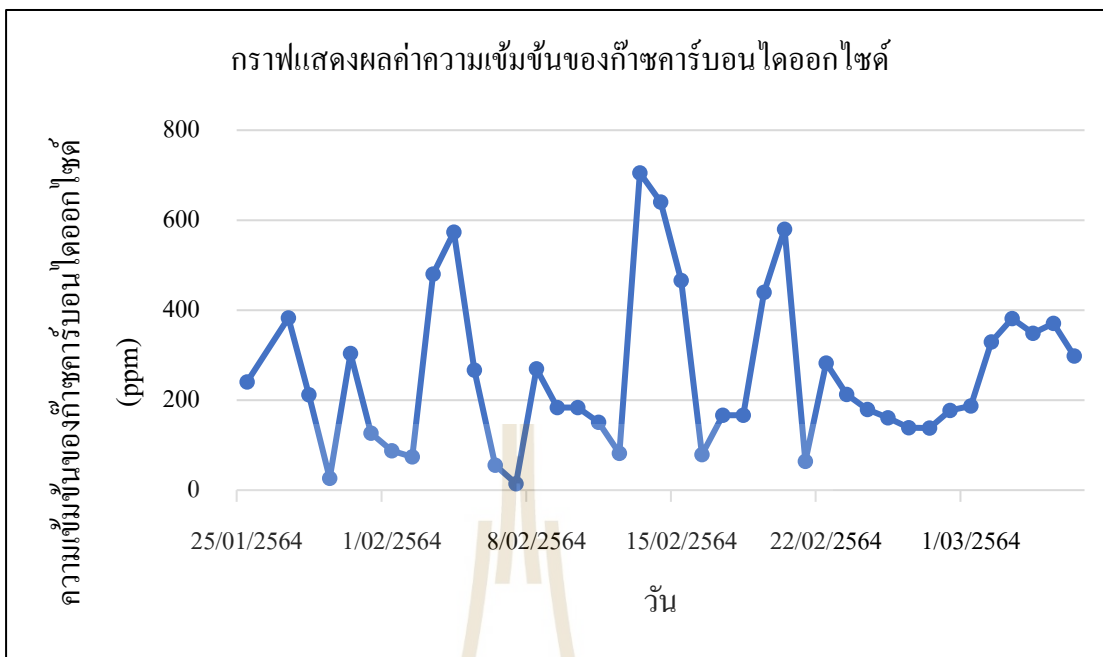
วัน/เดือน/ปี	ค่าความเข้มข้นของฝุ่น ละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าความเข้มข้นของ คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	ค่าความเข้มข้นของ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)
7/02/2564	22.61	14.53	7.35
8/02/2564	29.69	269.50	6.50
9/02/2564	9.91	183.88	6.54
10/02/2564	14.19	183.87	7.62
11/02/2564	16.03	150.95	7.69
12/02/2564	20.99	81.55	8.04
13/02/2564	22.68	705.24	7.85
14/02/2564	23.54	640.25	7.45
15/02/2564	29.20	466.19	8.23
16/02/2564	42.22	78.91	8.48
17/02/2564	32.57	166.54	7.86
18/02/2564	18.93	166.80	9.19
19/02/2564	15.81	439.46	9.33
20/02/2564	22.38	579.91	8.97
21/02/2564	23.28	63.90	8.45
22/02/2564	34.24	282.53	8.84
23/02/2564	37.16	212.95	8.49
24/02/2564	41.67	179.55	8.69
25/02/2564	46.75	160.64	9.12
26/02/2564	36.97	138.64	8.03
27/02/2564	38.47	137.68	8.61
28/02/2564	33.84	177.36	8.46
1/03/2564	27.30	187.06	8.53
2/03/2564	22.23	329.16	8.90
3/03/2564	17.56	381.07	9.60

ตารางที่ 4.11 การเก็บผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ต่อ)

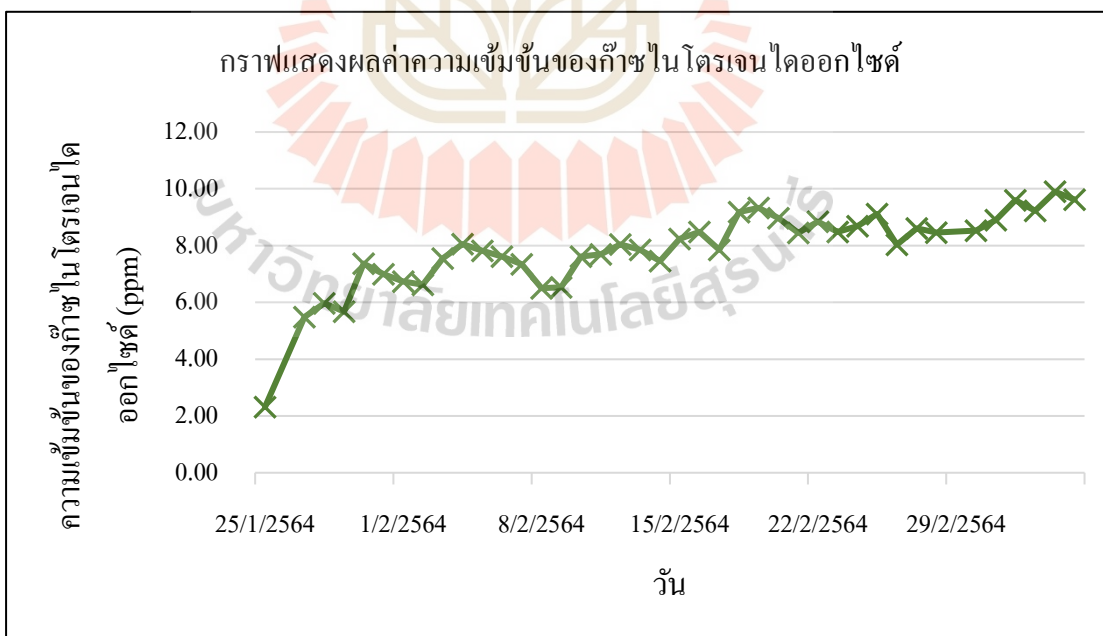
วัน/เดือน/ปี	ค่าความเข้มข้นของฝุ่น ละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าความเข้มข้นของ คาร์บอนไดออกไซด์ (ppm)	ค่าความเข้มข้นของ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)
4/03/2564	16.79	348.32	9.23
5/03/2564	16.78	370.98	9.90



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ณ สถานีที่ 3 อาคารขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สถานีที่ 3 อาคารขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงผลค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ณ สถานีที่ 3 อาคารขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากรูปที่ 4.34 4.35 และ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของค่าความเข้มข้นของทั้ง 3 ไปในทิศทางเดียวกันในแต่ละวัน หมายความว่าเมื่อบริเวณอาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีค่าความเข้มข้น PM 2.5 มาก ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มีมากเช่นกัน อาจเนื่องจากช่วงวันนั้นหรือเวลานั้นบริเวณที่ติดตั้งระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศมียานพาหนะขับผ่านหรือมีการทำกรรมบริเวณสถานที่ติดตั้ง ทำให้วันนั้นหรือช่วงเวลานั้นมีค่าความเข้มข้นของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์มาก

จากตารางการเก็บผลการตรวจวัดสามารถนำค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 มาคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ได้จากการคำนวณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5

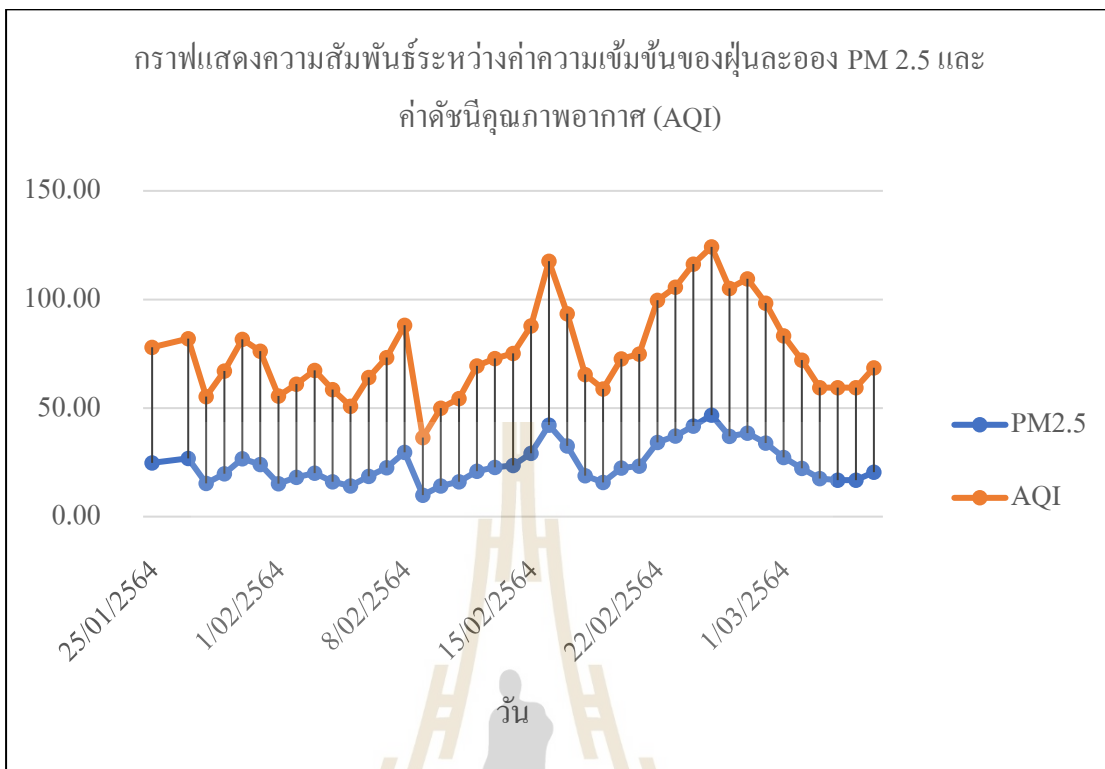
วัน/เดือน/ปี	ค่าความเข้มข้นของฝุ่น ละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ
25/01/2564	24.71	78.03
27/01/2564	26.78	81.88
28/01/2564	15.37	55.32
29/01/2564	19.73	67.05
30/01/2564	26.62	81.69
31/01/2564	24.04	76.23
1/02/2564	15.20	55.55
2/02/2564	18.06	61
3/02/2564	20.04	67.35
4/02/2564	16.05	58.53
5/02/2564	14.18	50.85
6/02/2564	18.62	64.11
7/02/2564	22.61	73.21
8/02/2564	29.69	88.2
9/02/2564	9.91	36.46
10/02/2564	14.19	49.92
11/02/2564	16.03	54.33



ตารางที่ 4.12 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ได้จากการคำนวณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ค่าความเข้มข้นของฝุ่น ละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ
12/02/2564	20.99	69.38
13/02/2564	22.68	72.76
14/02/2564	23.54	75.11
15/02/2564	29.20	87.86
16/02/2564	42.22	117.64
17/02/2564	32.57	93.42
18/02/2564	18.93	65.38
19/02/2564	15.81	58.8
20/02/2564	22.38	72.69
21/02/2564	23.28	74.92
22/02/2564	34.24	99.7
23/02/2564	37.16	105.76
24/02/2564	41.67	116.32
25/02/2564	46.75	124.22
26/02/2564	36.97	105.1
27/02/2564	38.47	109.55
28/02/2564	33.84	98.35
1/03/2564	27.30	83.33
2/03/2564	22.23	72.04
3/03/2564	17.56	59.36
4/03/2564	16.79	59.47
5/03/2564	16.78	59.45
6/03/2021	20.54	68.56

จากตารางสามารถพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ได้ดังรูปที่ 4.37



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 และค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

จากผลการเก็บข้อมูลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์สามารถเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ซึ่งเป็นเว็บไซต์แสดงค่าคุณภาพอากาศทั่วโลก โดยจำแนกตามดัชนีคุณภาพอากาศของ USEPA และผู้วิจัยได้ใช้จุดติดตั้งที่จังหวัดนครราชสีมา แสดงดังตารางที่ 13 (ที่มา : <https://aqicn.org/>)

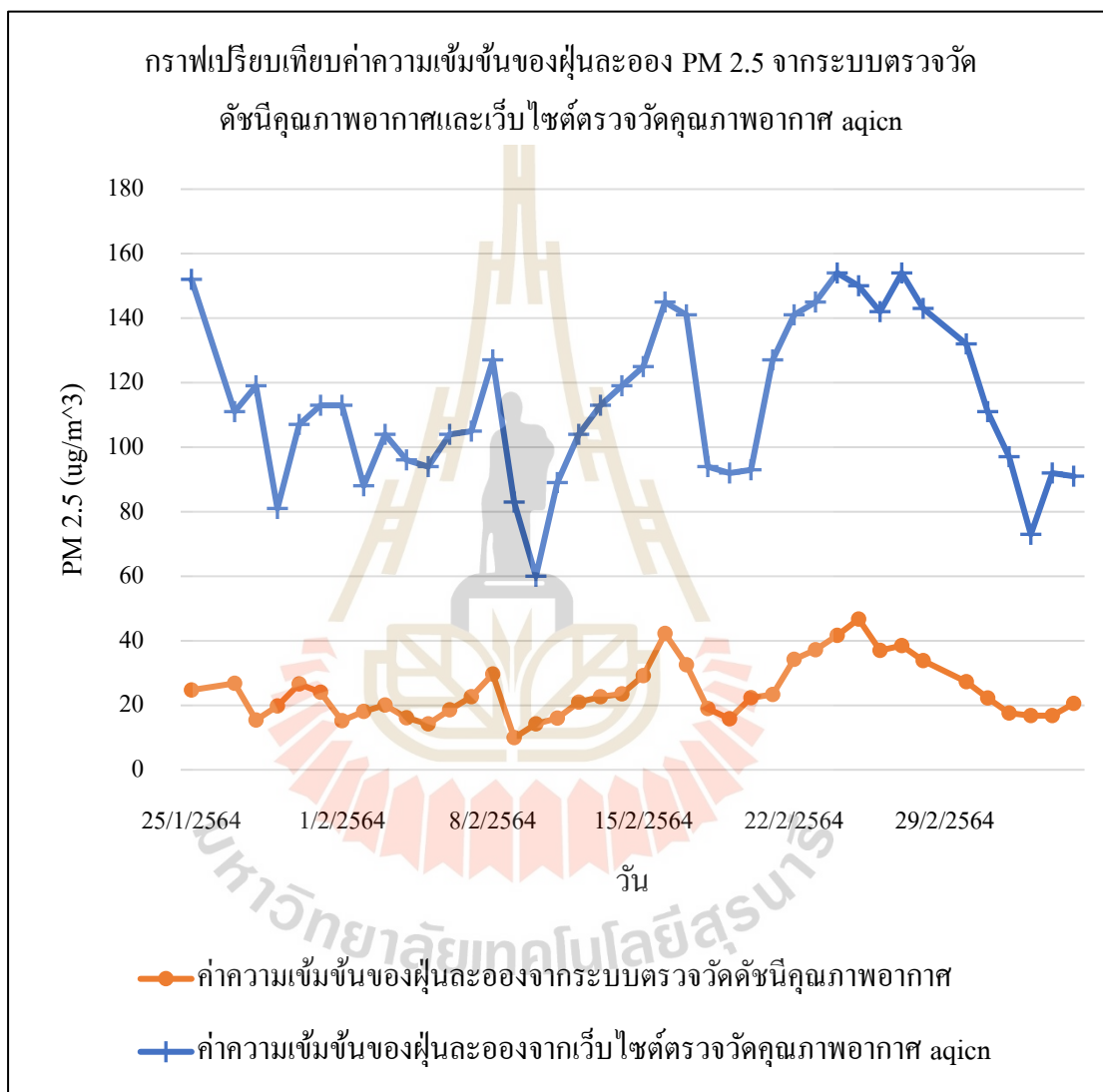
ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ และเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn

วัน/เดือน/ปี	ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ			เว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn		
	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)
25/01/2564	24.71	78.03	2.32	152	202.49	17
27/01/2564	26.78	81.88	5.49	111	179.64	15
28/01/2564	15.37	55.32	5.97	119	183.77	7
29/01/2564	19.73	67.05	5.68	81	164.13	9
30/01/2564	26.62	81.69	7.36	107	177.57	12
31/01/2564	24.04	76.23	6.99	113	180.67	14
1/02/2564	15.20	55.55	6.73	113	180.67	9
2/02/2564	18.06	61	6.63	88	167.75	7
3/02/2564	20.04	67.35	7.55	104	176.02	11
4/02/2564	16.05	58.53	8.06	96	171.88	13
5/02/2564	14.18	50.85	7.82	94	170.85	15
6/02/2564	18.62	64.11	7.62	104	176.02	11
7/02/2564	22.61	73.21	7.35	105	176.53	15
8/02/2564	29.69	88.2	6.50	127	187.91	10
9/02/2564	9.91	36.46	6.54	83	165.16	10
10/02/2564	14.19	49.92	7.62	60	153.27	14
11/02/2564	16.03	54.33	7.69	89	168.26	12
12/02/2564	20.99	69.38	8.04	104	176.02	14
13/02/2564	22.68	72.76	7.85	113	180.67	13
14/02/2564	23.54	75.11	7.45	119	183.77	16
15/02/2564	29.20	87.86	8.23	125	186.87	14

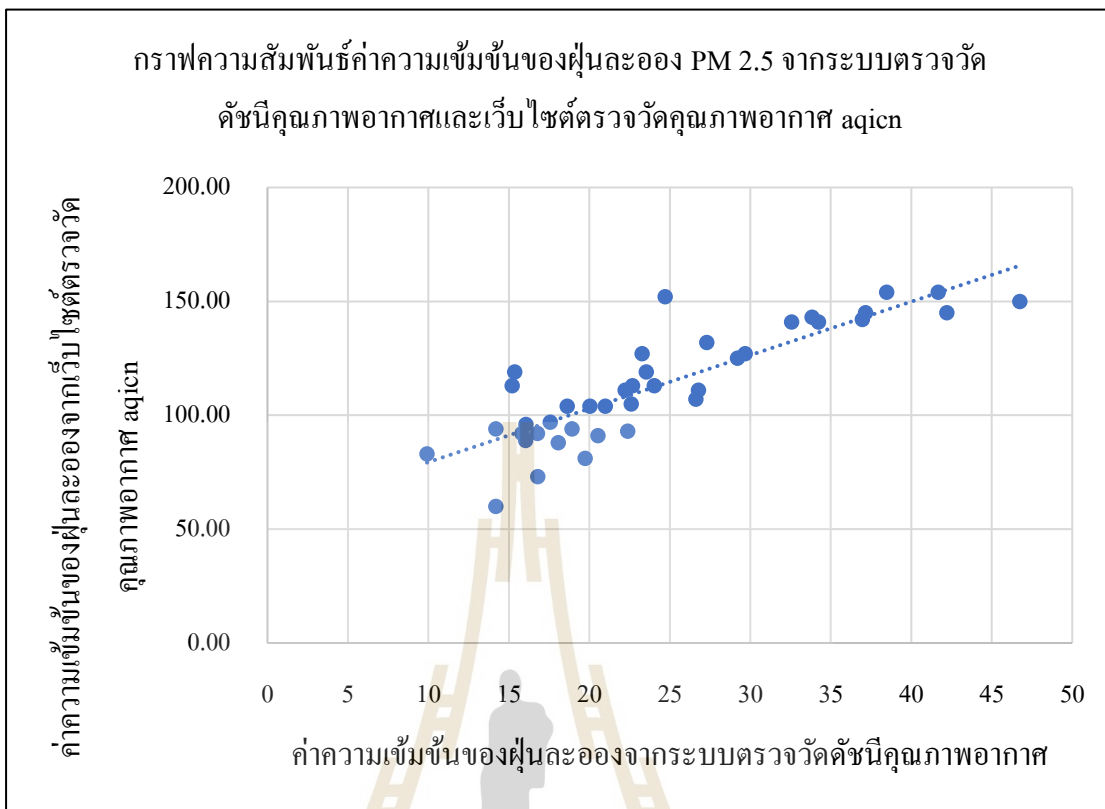
ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศและค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากการระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ และเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ			เว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn		
	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)	ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppm)
16/02/2564	42.22	117.64	8.48	145	197.21	11
17/02/2564	32.57	93.42	7.86	141	195.14	6
18/02/2564	18.93	65.38	9.19	94	170.85	8
19/02/2564	15.81	58.8	9.33	92	169.81	10
20/02/2564	22.38	72.69	8.97	93	170.33	17
21/02/2564	23.28	74.92	8.45	127	187.91	22
22/02/2564	34.24	99.7	8.84	141	195.14	19
23/02/2564	37.16	105.76	8.49	145	197.21	17
24/02/2564	41.67	116.32	8.69	154	204.47	15
25/02/2564	46.75	124.22	9.12	150	199.79	16
26/02/2564	36.97	105.1	8.03	142	195.66	6
27/02/2564	38.47	109.55	8.61	154	204.47	8.5
28/02/2564	33.84	98.35	8.46	143	196.18	9
1/03/2564	27.30	83.33	8.53	132	190.49	10
2/03/2564	22.23	72.04	8.90	111	179.64	8
3/03/2564	17.56	59.36	9.60	97	172.40	7
4/03/2564	16.79	59.47	9.23	73	159.99	13
5/03/2564	16.78	59.45	9.90	92	169.81	10
6/3/2021	20.54	68.56	9.62	91	169.30	10

จากตารางการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ และค่าความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ได้จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมา สามารถพล็อตเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของทั้งสองได้ดังรูปที่ 4.38 4.41 และ 4.44 ตามลำดับ



รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn



รูปที่ 4.39 กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn

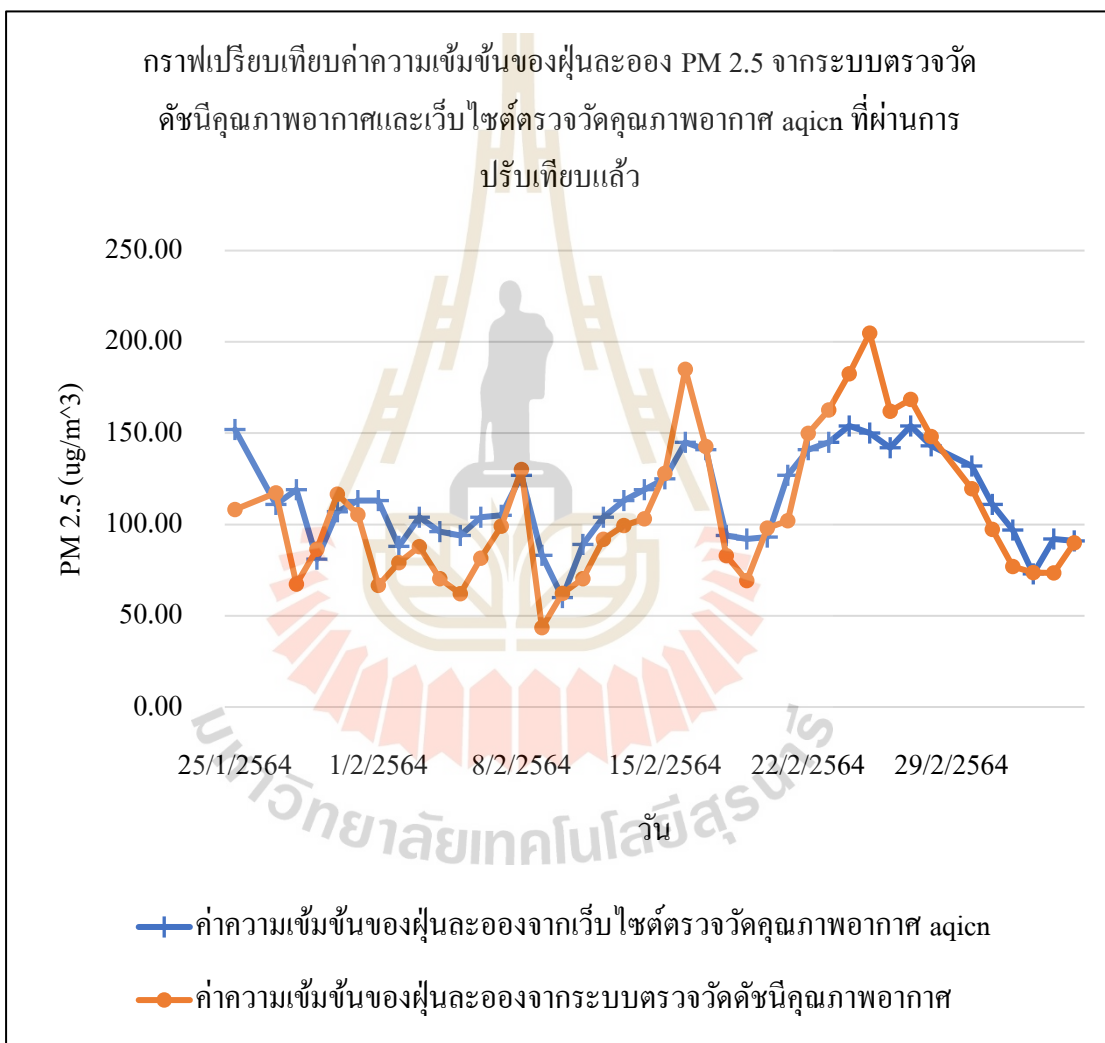
จากกราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมา ดังรูปที่ 4.39 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (19) เมื่อ y คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาและ x คือ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่ออกแบบ

$$y = 4.38x \tag{19}$$

$$R^2 = 0.96 \tag{20}$$

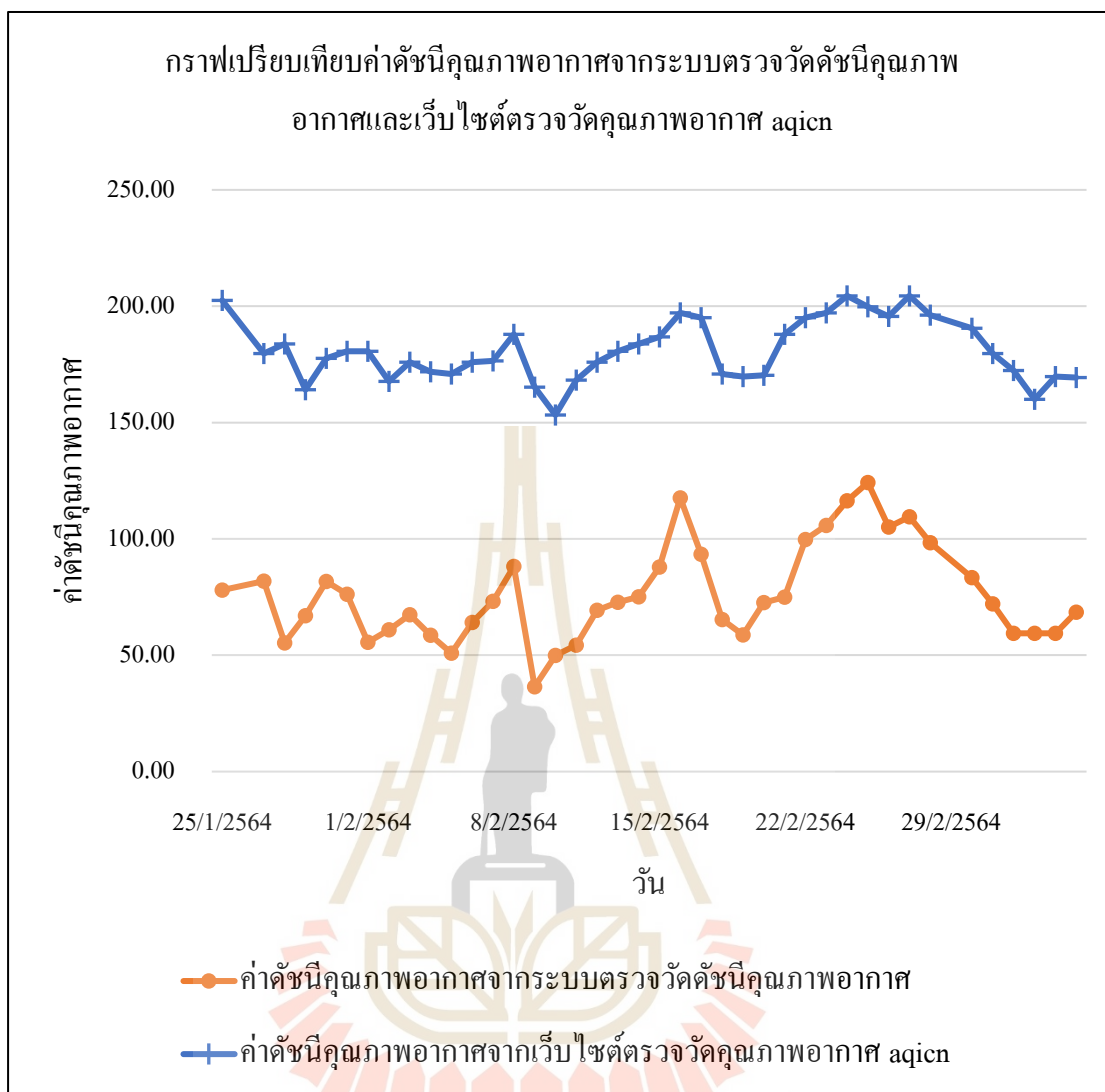
สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองของอุปกรณ์ทั้งสองในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง จากการสังเกตพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.96 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกันและยอมรับได้

ถ้าตั้งสมมติฐานว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากการอ่านของเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศให้สอดคล้องกับค่าจากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (19) จะได้ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.40 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

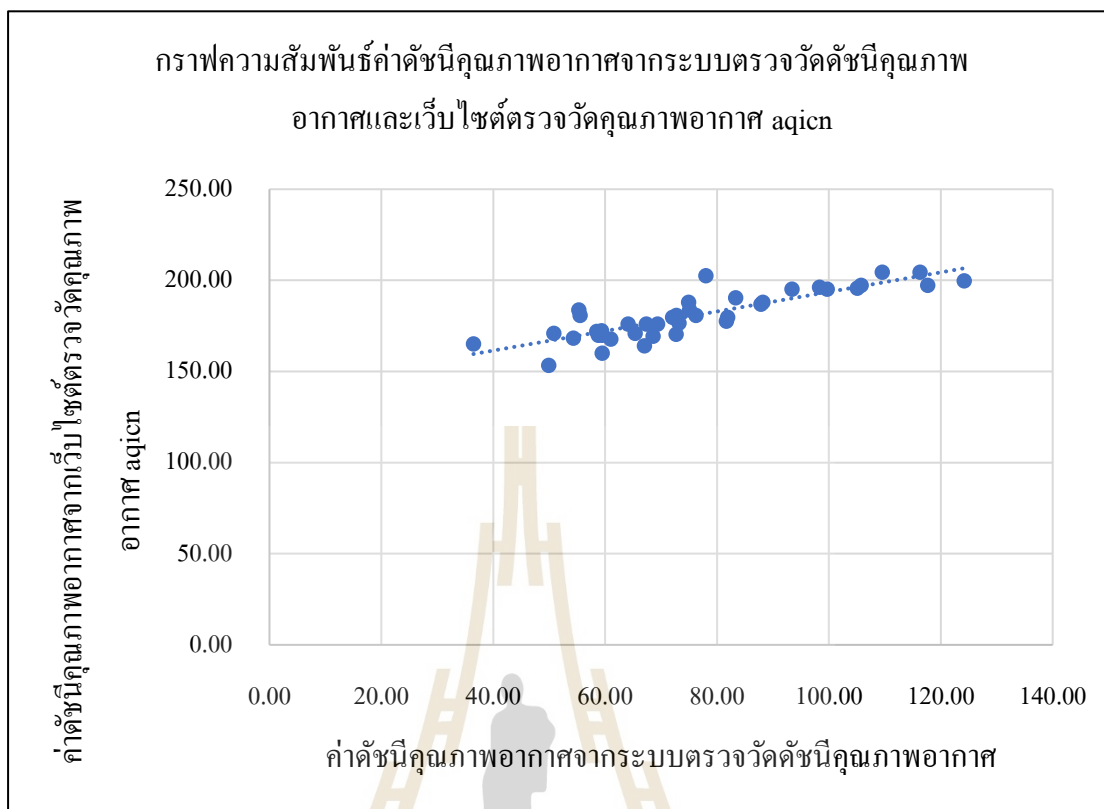


รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว





รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์คุณภาพอากาศของจังหวัดนครราชสีมา



รูปที่ 4.42 กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn

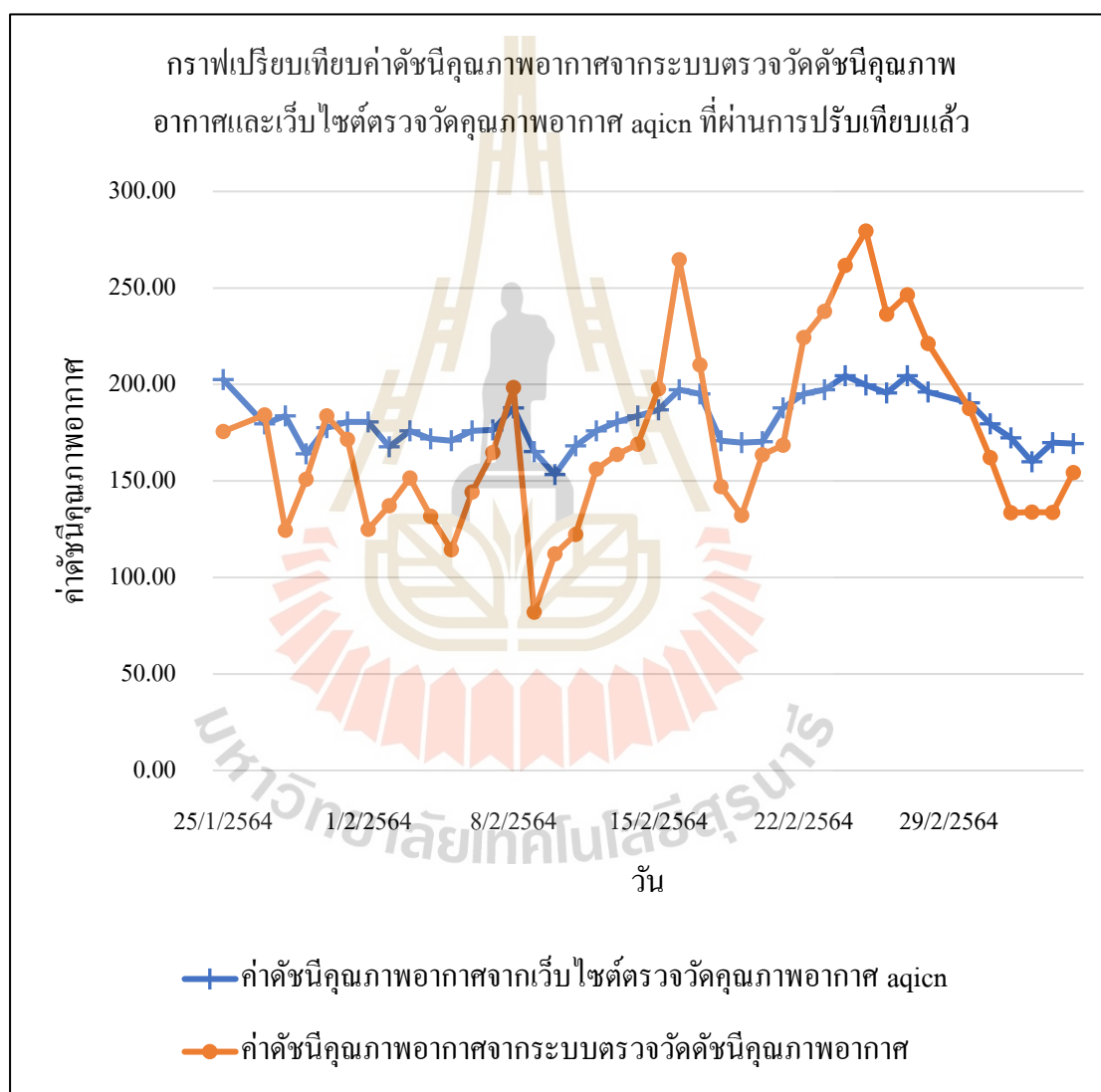
จากกราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมา ดังรูปที่ 4.42 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (21) เมื่อ  $y$  คือ ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาและ  $x$  คือ ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่ออกแบบ

$$y = 2.25x \quad (21)$$

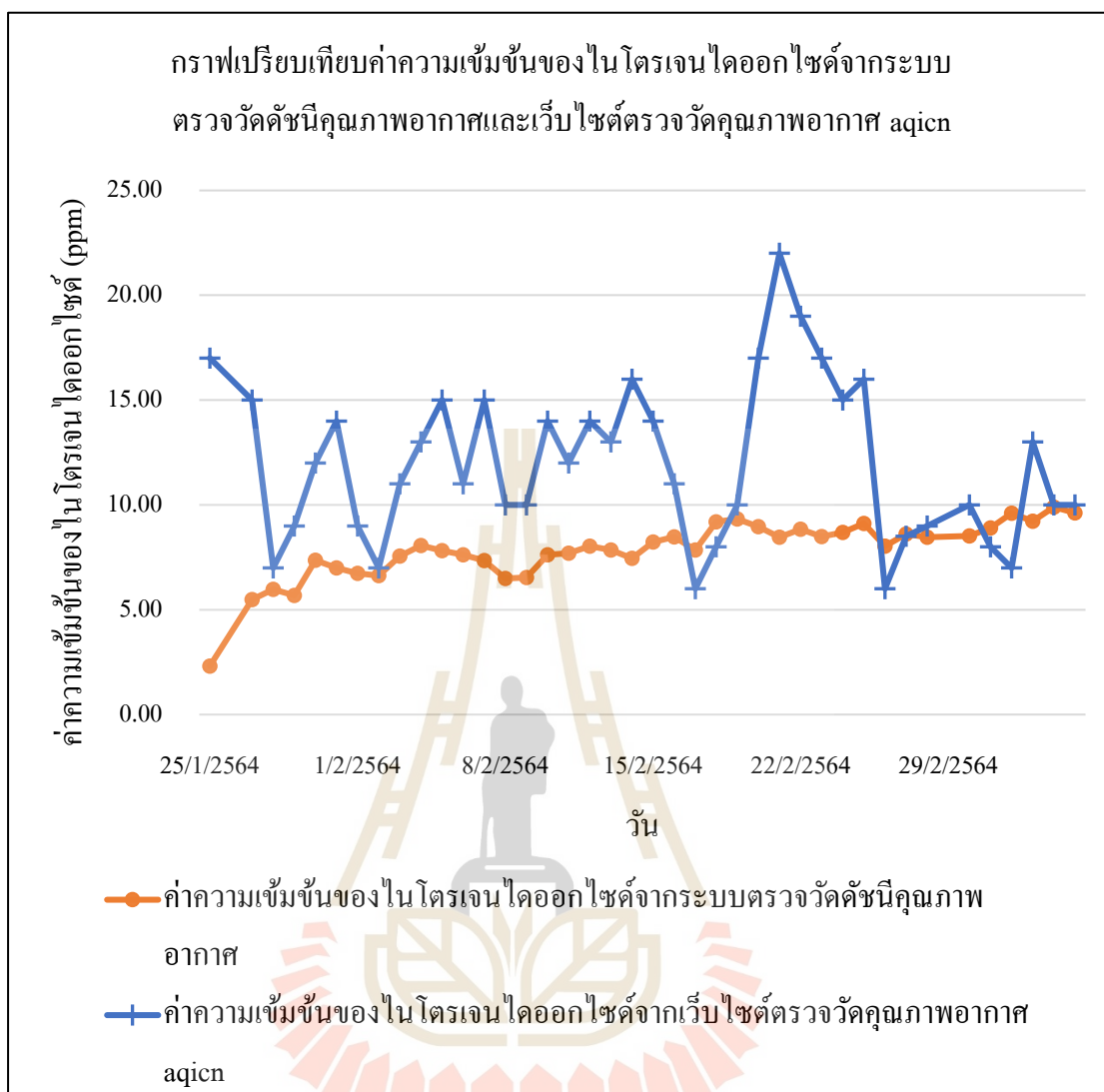
$$R^2 = 0.96 \quad (22)$$

สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพอากาศของอุปกรณ์ทั้งสองในการตรวจวัดค่าดัชนีคุณภาพอากาศ จากการสังเกตพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ  $R^2$  เท่ากับ 0.96 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกัน

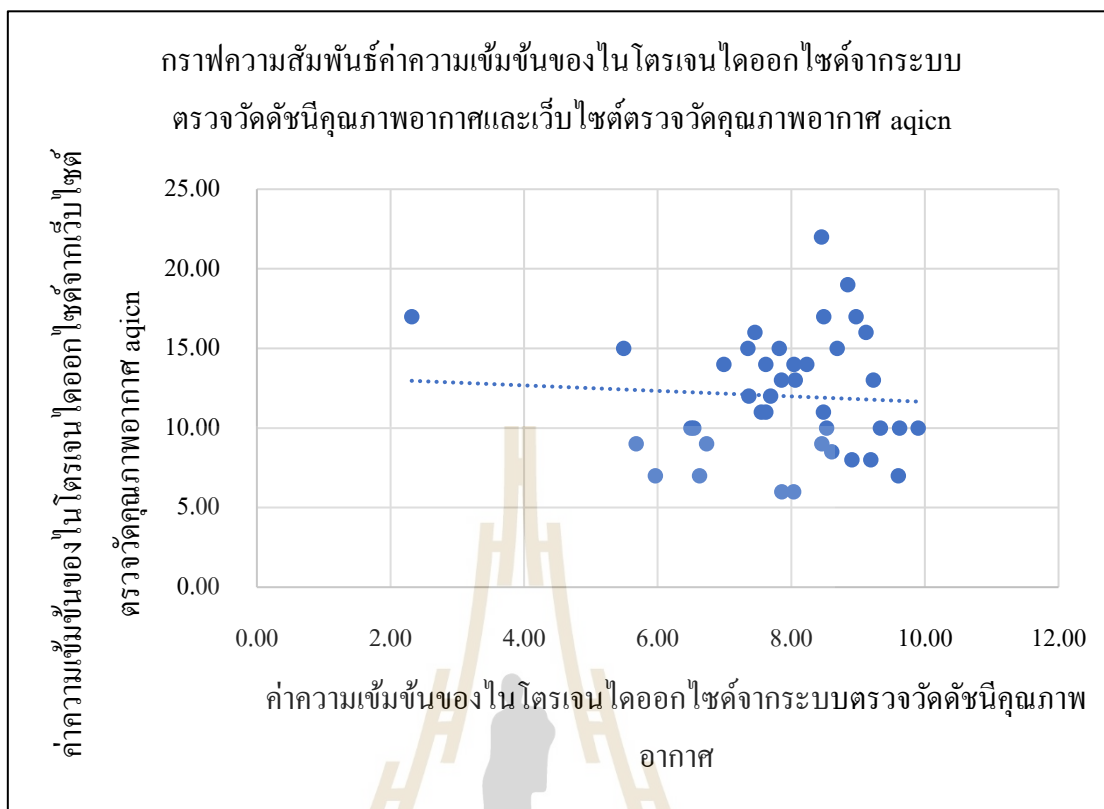
ถ้าตั้งสมมติฐานว่า ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากการอ่านของเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศให้สอดคล้องกับค่าจากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (21) จะได้ค่าการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่มีการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.43 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น



รูปที่ 4.43 กราฟความสัมพันธ์ค่าดัชนีคุณภาพอากาศจากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว



รูปที่ 4.44 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัด  
ดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์คุณภาพอากาศของจังหวัดนครราชสีมา



รูปที่ 4.45 กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn

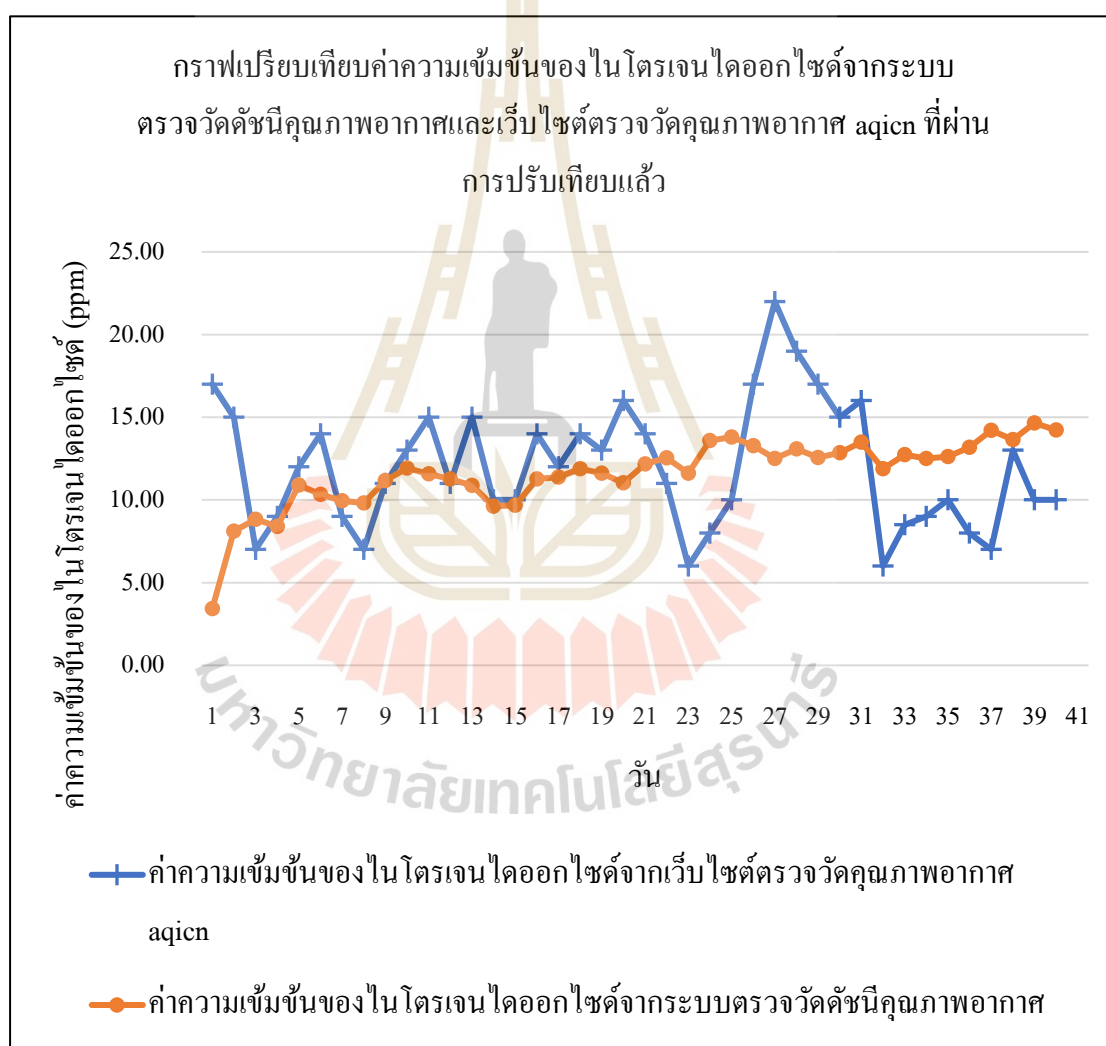
จากกราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศและเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมา ดังรูปที่ 4.45 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (23) เมื่อ  $y$  คือ ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาและ  $x$  คือ ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่ออกแบบ

$$y = 1.48x \quad (23)$$

$$R^2 = 0.88 \quad (24)$$

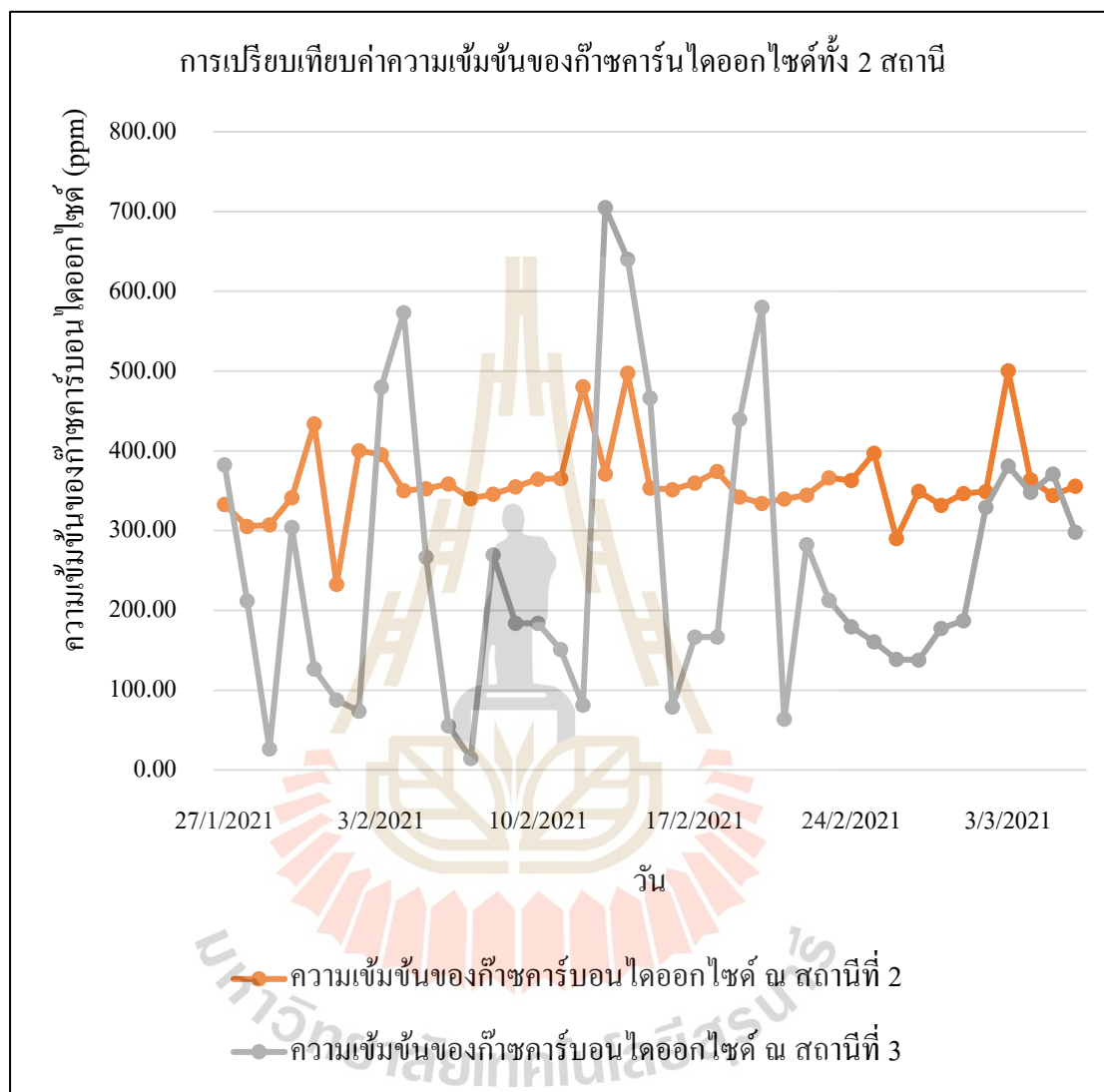
สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ของอุปกรณ์ทั้งสอง จากการสังเกตพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ  $R^2$  เท่ากับ 0.88 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกันและยอมรับได้

ถ้าตั้งสมมติฐานว่า ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากการอ่านของเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาถูกต้อง (เป็นมาตรฐาน) เราสามารถปรับค่าการอ่านค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ให้สอดคล้องกับค่าจากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่จุดติดตั้งจังหวัดนครราชสีมาได้ โดยการแทนค่าในสมการที่ (23) จะได้ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.46 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น



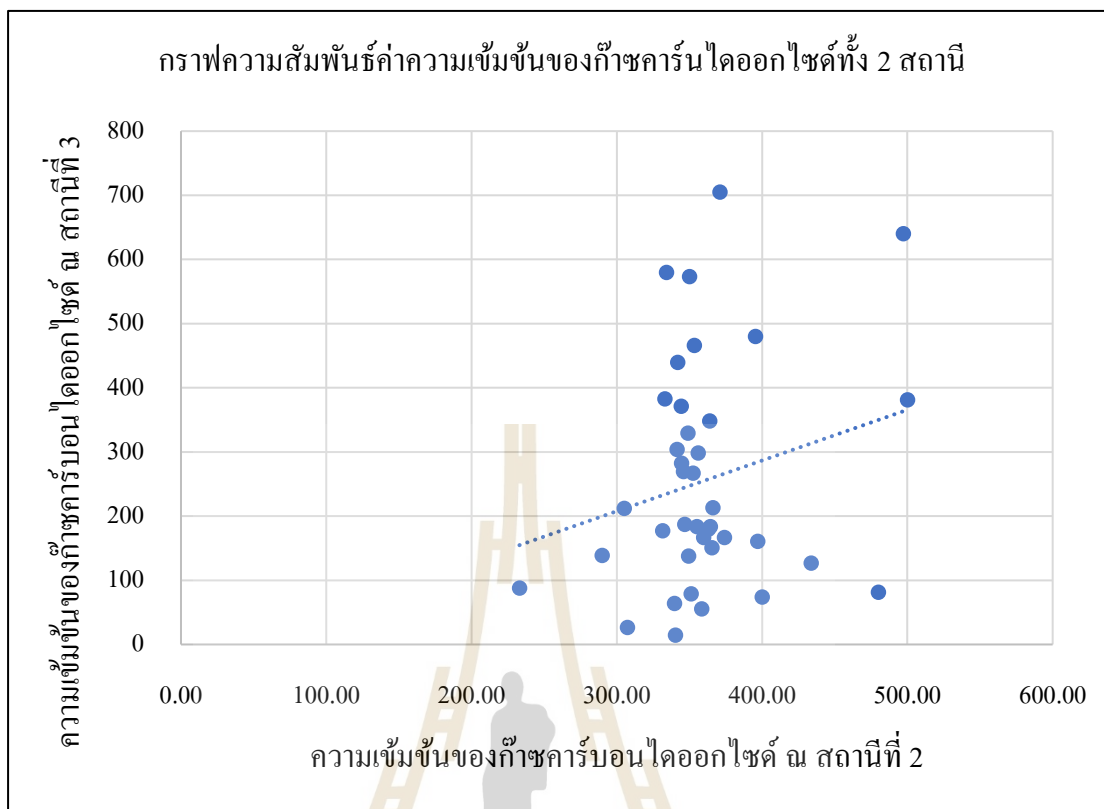
รูปที่ 4.46 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว

จากตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.11 สามารถพล็อตเป็นกราฟการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งสถานีที่ 2 และสถานี 3 ได้ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สถานีที่ 2 และสถานีที่ 3





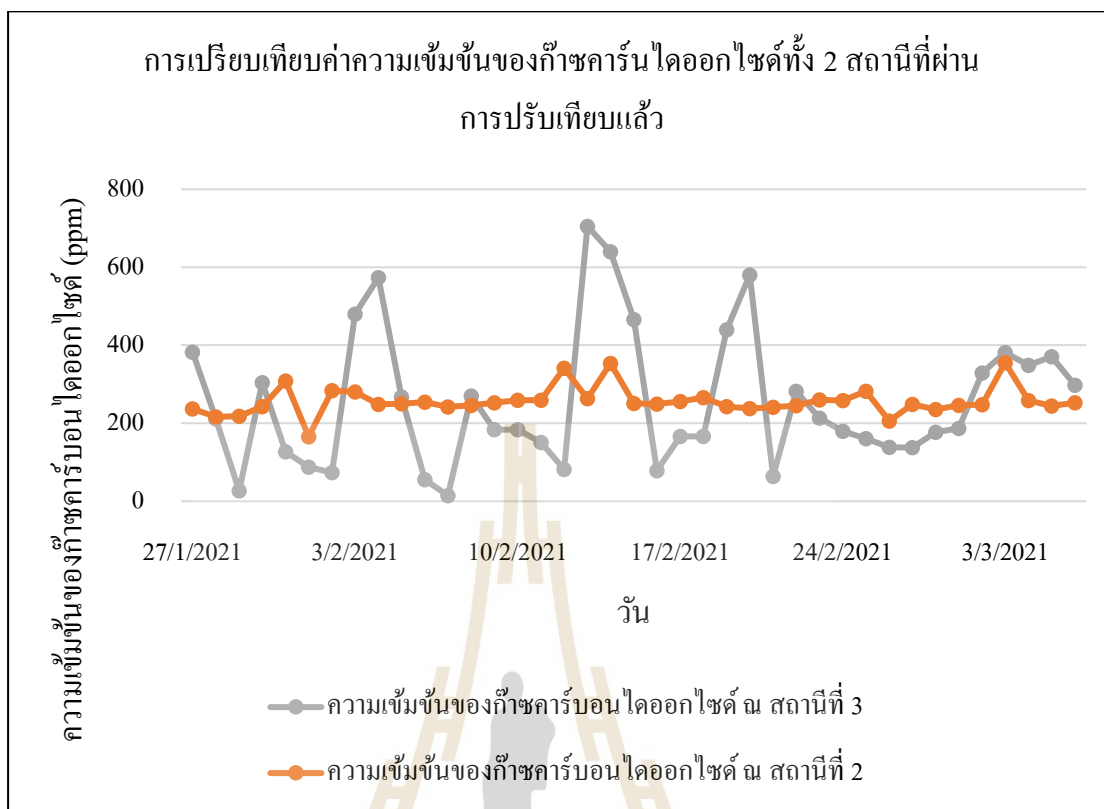
รูปที่ 4.48 กราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สถานีที่ 2 และสถานีที่ 3

จากกราฟสมการความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ณ สถานีที่ 2 และสถานีที่ 3 ดังรูปที่ 4.48 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (25) เมื่อ  $y$  คือ ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ณ สถานีที่ 3 และ  $x$  คือ ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ณ สถานีที่ 2

$$y = 0.71x \quad (25)$$

$$R^2 = 0.70 \quad (26)$$

สมการที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของทั้งสองสถานี จากการสังเกตพบว่า สมการความสัมพันธ์ที่มีค่า R-Square หรือ  $R^2$  เท่ากับ 0.70 ซึ่งกล่าวได้ว่ามีความใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.49 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สถานีที่ 2 และสถานีที่ 3 ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว

เนื่องจากไม่มีเอกสารหรืออุปกรณ์มาตรฐานในการปรับเทียบ ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่า ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการอ่านของระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ณ สถานีที่ 3 อาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงกับสถานีติดตั้งที่ 2 เป็นมาตรฐานในการปรับเทียบ เพื่อดูการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เราสามารถปรับค่าการอ่านค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ณ สถานีที่ 2 ให้สอดคล้องกับระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ ณ สถานีที่ 3 โดยการแทนค่าในสมการที่ (25) จะได้ค่าการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีการปรับเทียบให้มีความถูกต้องมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.49 ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกันมากขึ้น

## 4.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยโปรแกรม Jupyter Notebook

### 4.7.1 การการวิเคราะห์ด้วยปัญญาประดิษฐ์ โดยโปรแกรม Jupyter Notebook

ในการวิเคราะห์และทำนายผลข้อมูลการทดสอบระบบดัชนีคุณภาพอากาศ ใช้โมเดล LightGBM ในการวิเคราะห์และทำนายข้อมูล โดยจะในโมเดลเรียนรู้ข้อมูลเป็นชุด จากนั้นเพิ่มชุดข้อมูลเดิมเข้าไปให้โมเดลทบทวนข้อมูลเดิม เพื่อเพิ่มความแม่นยำถูกต้องของข้อมูลชุดนั้น ผลการวิเคราะห์และทำนายแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์และทำนายข้อมูลของสถานีที่ 2

วัน	ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศจากการทำนาย
2/1/2021	59.37951
2/1/2021	59.37951
2/1/2021	59.37951
3/1/2021	97.42843
3/1/2021	97.42843
3/1/2021	97.42843
27/1/2021	95.47186
28/1/2021	61.57579
28/1/2021	61.57579
28/1/2021	61.57579
29/1/2021	64.98435
29/1/2021	64.98435
29/1/2021	64.98435
30/1/2021	79.73353
31/1/2021	79.72864
31/1/2021	79.72864
2/2/2021	70.02500
2/2/2021	70.02500
2/2/2021	70.02500
3/2/2021	81.23179
13/2/2021	82.27850
13/2/2021	82.27850

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์และทำนายข้อมูลของสถานีที่ 2 (ต่อ)

วัน	ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศจากการทำนาย
13/2/2021	82.27850
13/2/2021	82.27850
13/2/2021	82.27850
13/2/2021	82.27850
14/2/2021	85.70416
16/2/2021	130.49153
16/2/2021	130.49153
16/2/2021	130.49153
16/2/2021	130.49153
17/2/2021	94.23968
17/2/2021	94.23968
18/2/2021	72.79277
18/2/2021	72.79277
18/2/2021	72.79277
19/2/2021	62.83056
19/2/2021	62.83056
19/2/2021	62.83056
20/2/2021	79.94702
20/2/2021	79.94702
20/2/2021	79.94702
21/2/2021	92.55073
21/2/2021	92.55073
21/2/2021	92.55073
22/2/2021	110.58797
22/2/2021	110.58797
22/2/2021	110.58797
23/2/2021	119.26719
23/2/2021	119.26719
23/2/2021	119.26719

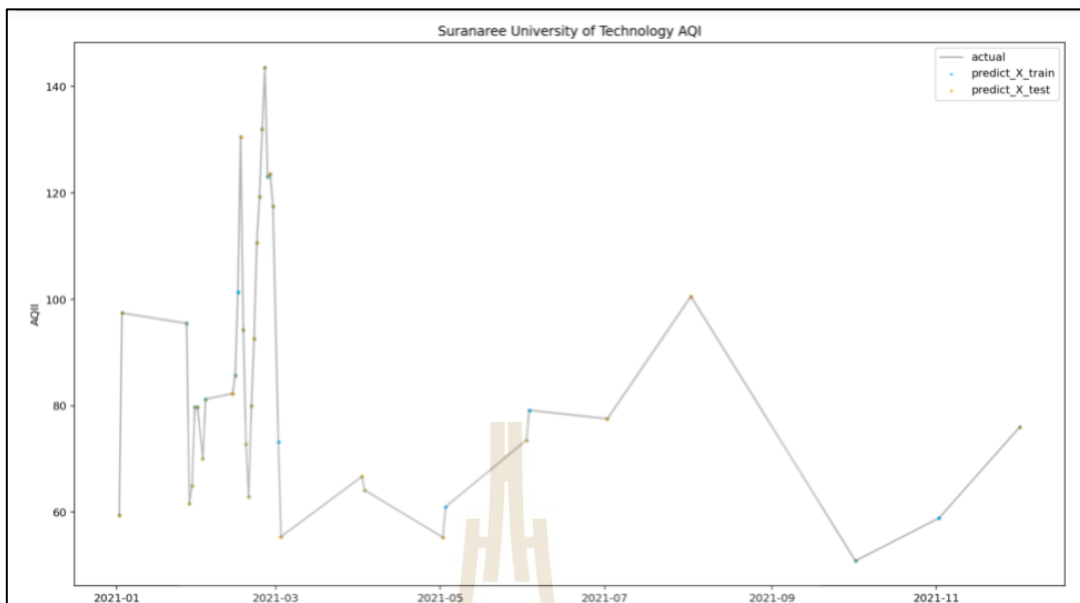
ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์และทำนายข้อมูลของสถานีที่ 2 (ต่อ)

วัน	ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศจากการทำนาย
24/2/2021	132.03938
24/2/2021	132.03938
24/2/2021	132.03938
25/2/2021	143.61391
25/2/2021	143.61391
26/2/2021	123.07531
27/2/2021	123.52688
27/2/2021	123.52688
27/2/2021	123.52688
27/2/2021	123.52688
28/2/2021	117.53060
28/2/2021	117.53060
3/3/2021	55.39539
3/3/2021	55.39539
3/3/2021	55.39539
3/3/2021	55.39539
3/3/2021	55.39539
2/4/2021	66.69665
2/4/2021	66.69665
2/4/2021	66.69665
2/4/2021	66.69665
2/4/2021	66.69665
3/4/2021	64.13694
3/4/2021	64.13694
3/4/2021	64.13694
2/5/2021	55.26468
2/5/2021	55.26468
2/5/2021	55.26468
2/5/2021	55.26468

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์และทำนายข้อมูลของสถานีที่ 2 (ต่อ)

วัน	ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศจากการทำนาย
2/6/2021	73.54346
2/6/2021	73.54346
2/6/2021	73.54346
2/7/2021	77.54300
2/7/2021	77.54300
2/7/2021	77.54300
2/7/2021	77.54300
2/8/2021	100.54621
2/8/2021	100.54621
2/8/2021	100.54621
2/8/2021	100.54621
2/8/2021	100.54621
2/10/2021	50.85111
2/12/2021	76.03890
2/12/2021	76.03890

จากตารางแสดงค่าข้อมูลที่ได้จากการเรียนรู้ผ่านการสอนและการทดสอบของโมเดล LightGBM ซึ่งการเรียนรู้จะสุ่มข้อมูลที่ละ 1 ตัวเป็นจำนวน 200 รอบ และแสดงค่าออกมา 10% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด โดยข้อมูลของสถานีที่ 2 มีทั้งหมด 960 ข้อมูลหรือ 25 ชุดข้อมูล ผลที่ได้เท่ากับ 96 ข้อมูลสามารถพล็อตเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.50 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์และทำนายผลข้อมูลของสถานีที่ 2

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์และทำนายข้อมูลของสถานีที่ 3

วัน	ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศจากการทำนาย
2/1/2021	55.55277
2/1/2021	55.55277
3/1/2021	83.32751
3/1/2021	83.32751
3/1/2021	83.32751
3/1/2021	83.32751
25/1/2021	78.03032
27/1/2021	81.87917
27/1/2021	81.87917
27/1/2021	81.87917
28/1/2021	55.32115
28/1/2021	55.32115
28/1/2021	55.32115
28/1/2021	55.32115



ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์และทำนายข้อมูลของสถานีที่ 3 (ต่อ)

วัน	ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศจากการทำนาย
29/1/2021	67.05016
29/1/2021	67.05016
29/1/2021	67.05016
30/1/2021	81.68927
31/1/2021	76.23039
31/1/2021	76.23039
3/2/2021	72.04008
3/2/2021	72.04008
3/2/2021	72.04008
13/2/2021	72.7592
13/2/2021	72.7592
13/2/2021	72.7592
13/2/2021	72.7592
15/2/2021	87.85964
15/2/2021	87.85964
16/2/2021	117.6386
16/2/2021	117.6386
17/2/2021	93.41959
17/2/2021	93.41959
17/2/2021	93.41959
18/2/2021	65.38016
19/2/2021	58.8012
19/2/2021	58.8012
20/2/2021	72.69068
20/2/2021	72.69068
21/2/2021	74.91042
21/2/2021	74.91042
21/2/2021	74.91042
21/2/2021	74.91042

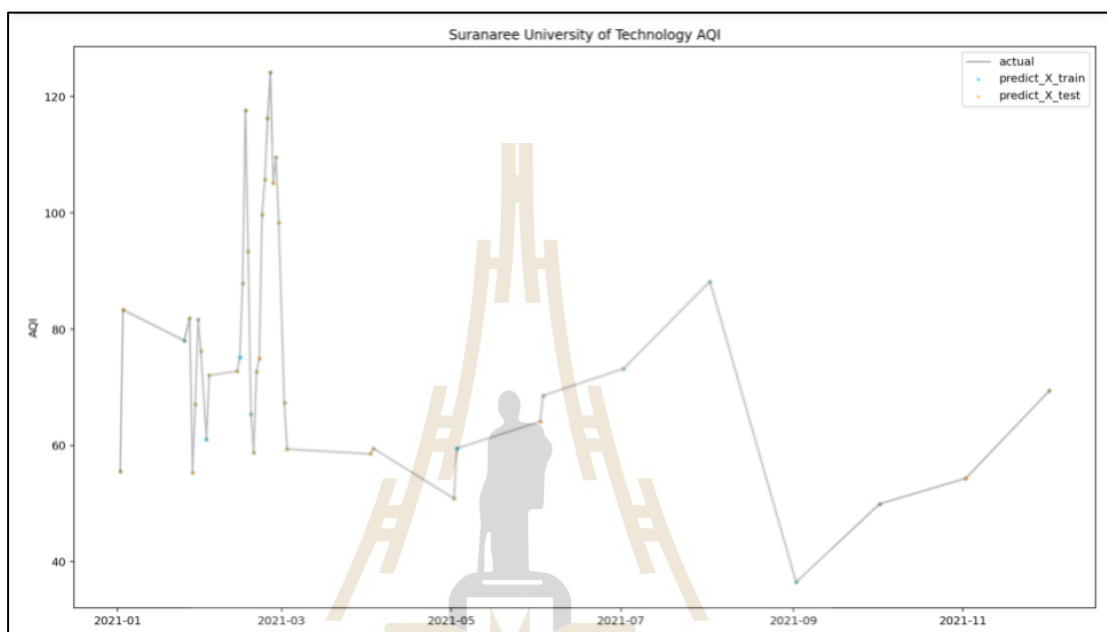
ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์และทำนายข้อมูลของสถานีที่ 3 (ต่อ)

วัน	ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศจากการทำนาย
21/2/2021	74.91042
21/2/2021	74.91042
22/2/2021	99.70632
22/2/2021	99.70632
22/2/2021	99.70632
22/2/2021	99.70632
23/2/2021	105.7595
23/2/2021	105.7595
23/2/2021	105.7595
24/2/2021	116.3189
24/2/2021	116.3189
24/2/2021	116.3189
25/2/2021	124.2182
25/2/2021	124.2182
26/2/2021	105.0998
26/2/2021	105.0998
26/2/2021	105.0998
26/2/2021	105.0998
27/2/2021	109.5485
27/2/2021	109.5485
28/2/2021	98.34963
28/2/2021	98.34963
28/2/2021	98.34963
28/2/2021	98.34963
2/3/2021	67.34704
2/3/2021	67.34704
3/3/2021	59.36393
3/3/2021	59.36393
3/3/2021	59.36393

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์และทำนายข้อมูลของสถานีที่ 3 (ต่อ)

วัน	ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศจากการทำนาย
2/4/2021	58.53095
2/4/2021	58.53095
2/4/2021	58.53095
2/4/2021	58.53095
2/4/2021	58.53095
3/4/2021	59.46921
3/4/2021	59.46921
3/4/2021	59.46921
2/5/2021	50.8516
2/5/2021	50.8516
2/6/2021	64.11063
2/6/2021	64.11063
2/6/2021	64.11063
2/6/2021	64.11063
2/6/2021	64.11063
3/6/2021	68.55982
3/6/2021	68.55982
2/7/2021	73.20992
2/8/2021	88.19935
2/9/2021	36.46137
2/10/2021	49.92079
2/11/2021	54.33048
2/11/2021	54.33048
2/11/2021	54.33048
2/11/2021	54.33048
2/11/2021	54.33048
2/11/2021	54.33048
2/12/2021	69.37982
2/12/2021	69.37982

จากตารางแสดงค่าข้อมูลที่ได้จากการเรียนรู้ผ่านการสอนและการทดสอบของโมเดล LightGBM ซึ่งการเรียนรู้จะสุ่มข้อมูลที่ละ 1 ตัวเป็นจำนวน 200 รอบ และแสดงค่าออกมา 10% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด โดยข้อมูลของสถานีที่ 3 มีทั้งหมด 1000 ข้อมูลหรือ 25 ชุดข้อมูล ผลที่ได้เท่ากับ 100 ข้อมูลสามารถพล็อตเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์และทำนายผลข้อมูลของสถานีที่ 3

จากรูปที่ 4.50 และรูปที่ 4.51 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ยังไม่ผ่านเรียนรู้และข้อมูลที่ผ่านการเรียนรู้จากโมเดลแล้ว ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบระบบตรวจดัชนีคุณภาพ ณ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยีและสถานีที่ 3 อาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์และทำนายผ่านโมเดลนั้นคือข้อมูลค่าดัชนีคุณภาพอากาศทั้งหมด ผลที่ได้ของข้อมูลที่ผ่านการเรียนรู้โดยการสอบและทดสอบของโมเดลมีค่าดัชนีคุณภาพอากาศค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากข้อมูลก่อนการเรียนรู้จากโมเดล ทำให้มีค่าความแม่นยำถูกต้องสูง

#### 4.7.2 การทดสอบความแม่นยำของโมเดล

เป็นขั้นตอนการทดสอบและชี้วัดความแม่นยำของโมเดลหรือค่า R-Square ( $R^2$ ) เมื่อค่า R-Square มีค่าใกล้ 1 หรือ 100% จะแสดงถึงความแม่นยำของโมเดลมีความแม่นยำมาก โดยการทดสอบความแม่นยำนี้จะใช้วิธี .score ของ scikit-learn ในการตรวจสอบ ซึ่งผลแสดงค่าความแม่นยำของโมเดลได้ดังนี้

- สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยีธานี ในการสอนมีค่าเท่ากับ 99.99% และค่าความแม่นยำในการทดสอบมีค่าเท่ากับ 99.99%
- สถานีที่ 3 อาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการสอน มีค่าเท่ากับ 99.99% และค่าความแม่นยำในการทดสอบ มีค่าเท่ากับ 99.99% ซึ่งค่าที่ทดสอบได้ทั้งหมด มีค่าใกล้เคียง 100 % แสดงถึงโมเดลมีการทำงานที่มีความแม่นยำและสามารถยอมรับได้

#### 4.8 สรุป

1. ผลการทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 โดยใช้อุปกรณ์ Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor เป็นมาตรฐานการเปรียบเทียบการอ่านค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 โดยสามารถคำนวณได้ค่า R-Square ของการทดสอบเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 เทียบกับ Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor มีค่าเท่ากับ 0.99 และกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง Pm 2.5 ของทั้งสองอุปกรณ์ มีค่าใกล้เคียงกัน

2. ผลการทดสอบเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 สถานีที่ 1 หอพักนักศึกษาสุรนารีเขต 18 เทียบกับแอปพลิเคชัน Air Visual มีค่าเท่ากับ 0.84 ค่า R-Square ของค่า AQI มีค่าเท่ากับ 0.88 และกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ของทั้งสองอุปกรณ์ มีค่าใกล้เคียงกัน

3. การทดสอบเซ็นเซอร์ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยีธานี เทียบกับแอปพลิเคชัน Air Visual มีค่าเท่ากับ 0.92 ค่า R-Square ของค่า AQI มีค่าเท่ากับ 0.89 และกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 ของทั้งสองอุปกรณ์ มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองของทั้ง 3 การทดสอบพบว่า ได้ค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากต่างสถานที่กันและปริมาณฝุ่นบริเวณที่ติดตั้งมีปริมาณไม่เท่ากัน ทำให้ได้ค่าออกมาไม่เท่ากัน แต่สังเกตจากค่า R-Square ที่คำนวณได้สามารถบ่งบอกการทำงานของระบบตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 เป็นมาตรฐานที่สามารถยอมรับได้ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์และแอปพลิเคชันที่ผู้วิจัยใช้เป็นมาตรฐาน

4. ผลการทดสอบระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ สถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยีธานีเทียบกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn โดยค่า R-Square ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 และ AQI มีค่าเท่ากับ 0.96 ค่า R-Square ของค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 0.91 และกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 กราฟความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศและกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn มีค่าใกล้เคียงกัน

5. ผลการทดสอบระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศ สถานีที่ 3 อาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเทียบกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn โดยค่า R-Square ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5 และ AQI มีค่าเท่ากับ 0.96 ค่า R-Square ของค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 0.88 และกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM 2.5, กราฟความสัมพันธ์ของค่าดัชนีคุณภาพอากาศและกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เมื่อปรับเทียบกับเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn มีค่าใกล้เคียงกัน

6. ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ณ สถานีที่ 2 และสถานี 3 โดยค่า R-Square มีค่าเท่ากับ 0.70 และกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 2 สถานีเมื่อปรับเทียบกันมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

7. ผลการวิเคราะห์และทำนายข้อมูลโดยโปรแกรม Jupyter Notebook ในการทดสอบความแม่นยำของสถานีที่ 2 อาคารเทคโนโลยีและสถานีที่ 3 อาคารขนส่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการสอนและการทดสอบ ผลการเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 99.99% ซึ่งแสดงถึงโมเดลมีการทำงานที่มีความแม่นยำถูกต้องและสามารถยอมรับได้

## บทที่ 5

### สรุปการวิจัยและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

#### 5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบันปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และก๊าซมลพิษต่าง ๆ เป็นปัญหาสำคัญมากขึ้นเนื่องจากมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในระยะยาว ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาใช้ในการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เพื่อการบริหารจัดการสมาร์ตซิตี้ในด้านการเฝ้าระวังและตรวจสอบคุณภาพอากาศ ระบบสามารถทำการเฝ้าระวังและตรวจติดตามผลการตรวจวัดได้แบบเวลาจริงผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ซึ่งช่วยให้สามารถตัดสินใจในการแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง PM 2.5 และก๊าซทั้งสองได้อย่างแม่นยำและทันท่วงที ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศที่นำเสนอ มีการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ SPS30 Particulate Matter Sensor ที่สามารถตรวจจับและวัดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กด้วยหลักการกระเจิงของแสงเลเซอร์ (Laser scattering) ผู้วิจัยสามารถทำการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดกับอุปกรณ์ Xiaomi PM2.5 Air Quality Monitor, แอปพลิเคชัน Air Visual และเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ได้อย่างถูกต้องใกล้เคียงกัน ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบระหว่างสองสถานที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบและสุดท้ายใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดคุณภาพอากาศในการตรวจวัดปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดกับผลที่ได้จากเว็บไซต์ตรวจวัดคุณภาพอากาศ aqicn ได้อย่างถูกต้องใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพื่อเป็นการยืนยันว่าอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ใช้มีความแม่นยำในการตรวจวัดและสามารถทำการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดกับเครื่องมือวัดแบบมาตรฐาน

2. ผู้ใช้งานสามารถเฝ้าระวังตรวจสอบผลการตรวจวัดได้ด้วยแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นทั้งในระบบ Android และระบบ iOS รวมทั้งมีระบบประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud Computing) ในการสำรองข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง

3. ระบบสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์และมีการสำรองพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เพื่อการใช้งานในเวลากลางคืน สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบในการตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับสมาร์ตซิตี้ได้เป็นอย่างดี



4. ระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศเมื่อผ่านการวิเคราะห์และทำนาย โดยโมเดล LightGBM บนโปรแกรม Jupyter Notebook สามารถเรียนรู้ได้ดีและแสดงผลการเรียนรู้ที่มีความแม่นยำถูกต้องและยอมรับได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนาต่อไป

ผลการทดสอบระบบตรวจวัดดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับสมาร์ตซิตี้ มีแนวทางการพัฒนาในอนาคตดังนี้

1. พัฒนาระบบซอฟต์แวร์ให้สามารถใช้งานร่วมกับเครือข่ายไร้สาย เพื่อให้งานวิจัยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและทำให้สามารถทำงานสะดวกเพิ่มขึ้น
2. พัฒนาระบบซอฟต์แวร์ในส่วนของปัญญาประดิษฐ์ให้มีความสามารถยิ่งขึ้น เพื่อในขั้นตอนวิเคราะห์และทำนายผลการตรวจวัดสามารถทำได้แบบสะดวก รวดเร็วและถูกต้อง สวยงามมากยิ่งขึ้น
3. พัฒนาแอปพลิเคชันให้สวยงามและสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพและสะดวกมากยิ่งขึ้น ทั้งในระบบ Android และระบบ iOS



## รายการอ้างอิง

- กฤษฎี วิทิตสานต์. (2560). การพัฒนาต้นแบบโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการทำเกษตรแม่นยำในเรือนเพาะปลูก. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิตติวัชร สมุทสิลป์. (2562). การพัฒนาระบบอ่านมิเตอร์อัตโนมัติสนับสนุนการจัดการไฟฟ้าดับโดยใช้เทคโนโลยี LoRaWAN. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่น SPS30 เข้าถึงได้จาก <https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/particulate-matter-sensors-pm25/>
- ญาณินี จิงจรัสทรัพย์. การออกแบบระบบการให้น้ำพืชแบบแม่นยำด้วยระบบสมองกลฝังตัว. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.
- ฐิติ สิทธิวงค์กุล. (2558). การพัฒนาต้นแบบโมดและส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์สำหรับงานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณธวัฒน์ สุขะไท. (2562). ระบบควบคุมไฟฟ้าแสงสว่างถนนอัจฉริยะโดยใช้การสื่อสารแบบเครือข่าย. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐธิดา ขาวสะอาด. (2557). การจัดเส้นทางบนพื้นฐานของการเรียนรู้แบบเสริมแรงด้วยเรีฟพิวเทชันของเส้นทางในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อการประยุกต์ใช้ในการเตือนเหตุอุทกภัย. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดัชนีคุณภาพอากาศ PM 2.5 ( PM 2.5 AQI ) เข้าถึงได้จาก <https://www.healthandsafetyinshanghai.com/china-air-quality.html> และ <https://www.greenpeace.org/thailand/story/2094/aqi-application-difference/>
- ธนาภูมิ แคนมณี. (2559). วิธีการควบคุมการใช้งานสื่อกลางแบบประหยัดพลังงานสำหรับอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลในเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนวิษณุ มานิตย์โชติพิสิฐ. (2560). เครือข่ายตัวตรวจรู้แบบไร้สายบลูทูธ-ไวไฟเพื่อใช้วัดอุณหภูมิ ความชื้นและความเข้มแสง. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บริษัท อีสต์เทิร์น เอ็นเนอร์ยี จำกัด. วัตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. เข้าถึงได้จาก <http://www.easternenergy.net/product-en-507685-Carbon+Dioxide.html> (เข้าถึงเมื่อ 29 เมษายน 2564).

มูหัมมัด มั่นศรีธา. (2556). การประยุกต์ใช้โครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายตามมาตรฐาน ZigBee/IEEE802.15.4 สำหรับระบบกั้นทางรถไฟ. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิวรินทร์ ดวงแก้ว. องค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศทั่วไปในเมืองกรุงเทพมหานครบริเวณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

Air Visual เข้าถึงได้จาก <https://www.airvisual.com/>

Kumar, A., Kumar, A. and Singh, A. (2017). "Energy efficient and low cost air quality sensor for smart buildings," *2017 3rd International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICIT)*. pp. 1-4.

Mary, M. C. V. S., Devaraj, G. P., Theepak, T. A., Pushparaj, D. J. and Esther, J. M. (2018). "Intelligent Energy Efficient Street Light Controlling System based on IoT for Smart City," *2018 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*. pp. 551-554.

Jaime, J., Sousa, I., Queluz, M. P. and Rodrigues, A. (2018). "Planning a Smart City Sensor Network Based on LoRaWAN Technology," *2018 21st International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*. pp. 35-40.

Taha, M. et al. (2018). "Wireless Technologies for IoT in Smart Cities." เข้าถึงได้จาก [https://www.researchgate.net/publication/324460686\\_Wireless\\_Technologies\\_for\\_IoT\\_in\\_Smart\\_Cities](https://www.researchgate.net/publication/324460686_Wireless_Technologies_for_IoT_in_Smart_Cities)

Sikder, A. K. et al. (2018). "IoT-enabled smart lighting systems for smart cities." เข้าถึงได้จาก <https://ieeexplore.ieee.org/document/8301744>

Qin, X. et al. (2019). "Micro Quartz Tuning Fork-Based PM<sub>2.5</sub> Sensor for Personal Exposure Monitoring." เข้าถึงได้จาก <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8576635>

Theepak, T. A. et al. (2018). "Intelligent Energy Efficient Street Light Controlling System based on IoT for Smart City." เข้าถึงได้จาก <https://ieeexplore.ieee.org/document/8748324>

Walsh, J. et al. (2018). "Application of gradient boosted trees to gender prediction based on motivations of masters athletes." *Model Assisted Statistics and Applications*. pp. 235-252.



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

- P. Kumsawat, N. Sawangsawai, W. Pathonsuwan, T. Hoprasertwong, K. Attakitmongcol, and A. Srikaew, “**PM 2.5 Monitoring System Using Wireless Sensor Networks for Smart City**”, Proc. Of The SUT International Virtual Conference on Science and Technology (IVCST 2020), pp. 123-128., August 28, 2020, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- P. Kumsawat, W. Pathonsuwan, N. Sawangsawai, T. Hoprasertwong, K. Attakitmongcol, and A. Srikaew, “**Design of the RF Measuring Sensor Network for Low – power Radio Frequency Transceiver Detection System**”, Proc. Of The SUT International Virtual Conference on Science and Technology (IVCST 2020), pp. 109-115., August 28, 2020, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- P. Kumsawat, T. Hoprasertwong, W. Pathonsuwan, N. Sawangsawai, K. Attakitmongcol, and A. Srikaew, “**Comparative Study of Machine Learning Models for Important Feature Selection in the LEDs Intensity Detection**”, Proc. Of The SUT International Virtual Conference on Science and Technology (IVCST 2020), pp. 116-122., August 28, 2020, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- P. Kumsawat, W. Pathonsuwan, N. Sawangsawai, T. Hoprasertwong, A. Srikaew, and K. Attakitmongcol, “**PM 2.5 Monitoring System Using Wireless Sensor Networks for Smart City**”, Suranaree J. of Science and Technology (SJST), June 18, 2021 (Accepted), Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. (In the process of publication)

EAT0022

## PM 2.5 Monitoring System using Wireless Sensor Networks for Smart City

P Kumsawat<sup>1,\*</sup>, N Sawangsawai<sup>1</sup>, W Pathonsuwan<sup>1</sup>, T Hoprasertwong<sup>1</sup>,  
K Attakitmongcol<sup>2</sup> and A Srikaew<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 111 University Avenue, Nakhon Ratchasima, Thailand.

<sup>2</sup> School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 111 University Avenue, Nakhon Ratchasima, Thailand.

\* Corresponding Author: prayoth@sut.ac.th

**Abstract.** Air pollution caused by fine particulate matter 2.5 (PM 2.5) is a leading health crisis for people around the world including Thailand. This paper proposes a low-cost and real-time PM 2.5 monitoring system using wireless sensor network and the Internet of Things (IoT). The system is designed to monitor PM 2.5 via Blynk application on smart phone and via LCD monitor by showing the detection results in the Air Quality Index (AQI) which is easy to understand. Furthermore, our system is calibrated with the standard instrument to ensure accuracy and reliability. The results show that our low-cost system is able to provide a reliable real-time monitoring of the PM 2.5 condition.

**Keywords:** Air quality index, particulate matter 2.5, wireless sensor network, smart city

### 1. Introduction

PM 2.5 (particulate matter less than 2.5 micrometers in diameter) is a harmful air pollutant which is one of the major environmental risk to health. The sources of PM 2.5 are from, for example, engine combustion of vehicles, open burning, industry and power plants. It can be related to the cause of lung cancer, ischemic heart disease, stroke, asthma and other problems in respiratory system. Therefore, it is urgent to look for ways to monitor the PM 2.5 pollution in order to protect oneself by wearing specific mask or avoiding the area where PM 2.5 concentration exceeds the guideline.

In this paper, a real-time PM 2.5 monitoring system is developed by using particulate matter sensor (SPS 30 sensor) [1] which is a high quality sensor. It uses laser scattering technique to radiate suspending particle in the air. Since there have been many studies on the Internet of Thing (IoT) and the wireless sensor network (WSN) for smart cities [2-5], we have applied both of them to our system for monitoring and recording the PM 2.5 information and also for creating a medium to share it. We use a powerful microcontroller ESP32 with built-in Wi-fi and Bluetooth to implement the IoT. It will share the information received from the

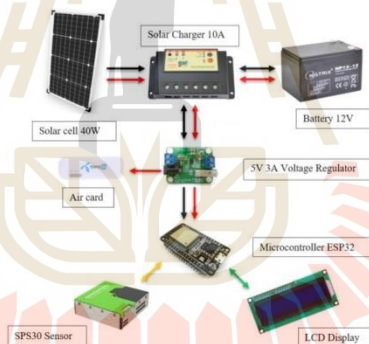


WSN by using air card to the LCD display and the Blynk application on smart phone. The result of PM 2.5 concentration will be shown in the Air Quality Index (AQI) and color code which is easy to interpret. Our system can run on solar power and batteries which can operate 24 hours a day.

The paper is structured as follows. In section 2, we describe the methodology of the design of our PM 2.5 monitoring system. The experimental results of the system from testing and actual recording are given and explained in section 3. Finally, the conclusion will be discussed in section 4.

## 2. The Proposed Methods

In this section, we explain the module of our proposed PM 2.5 monitoring system. Our system is equipped with a 40W solar panel as a power source and a 12 V battery as a power storage. There is also a component called solar charger which is connected between solar panel and battery in order to avoid overcharging which can cause permanent battery damage and loss of functionality over time. Then, there is a 5V 3A voltage regulator board which will supply constant 5 V to all other devices including air card and microcontroller ESP32. Air card is a wireless adapter for transmitting and receiving data in a cellular network to microcontroller ESP32. The microcontroller ESP32 was applied to control the operation of SPS30 sensor and control the wireless data transmission. SPS30 is the main sensor which is used to measure the concentration of PM 2.5. It is a compact, high quality, optical particle sensor. The detection result will also be shown on the LCD display. The hardware connection of the proposed system is given in Figure. 1. and Figure 2(a).



**Figure 1.** Diagram for hardware connection of PM 2.5 Monitoring System.

Figure 2(b) shows our PM 2.5 monitoring setup at the station 1. In our experiment, there will be total of 3 stations. The system can transmit PM 2.5 information to the ThingSpeak cloud computing. By using the smart phone and Blynk application, anyone can see the PM 2.5 monitoring results of all 3 stations.

## 3. Experimental Results

In this section, we show the result of PM 2.5 monitoring. Figure 3 gives a result PM 2.5 concentration at Station 1 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . The results from our system with SPS30 sensor are also compared with the ones from Air Visual application [6] which has become one of the most



reliable sources of air quality data. The solid and the dashed lines represent the PM 2.5 dust concentration by the SPS30 sensor of PM 2.5 monitoring system and Air Visual application, respectively. From the result, we found that the data obtained by the SPS30 sensor and Air Visual application is related. The relationship can be written by

$$y = 1.52x \quad (1)$$

$$R^2 = 0.84 \quad (2)$$

where  $y$  is the PM 2.5 dust concentration by Air Visual application and  $x$  is the PM 2.5 dust concentration by SPS30 sensor of PM 2.5 monitoring system. The  $R^2$  (R-square) is 0.84 or 84%. The values of  $x$  can be calibrated by using Equation (1). Figure 4 shows the comparison between both data after calibration.

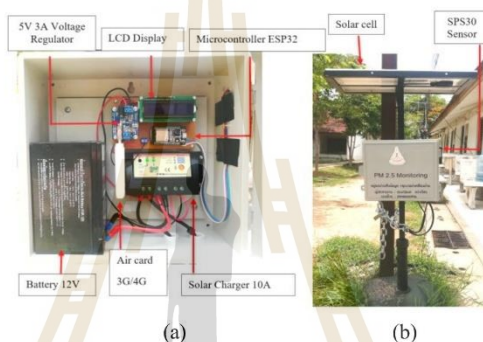


Figure 2. (a) Hardware Connection and (b) System setup of Station 1.

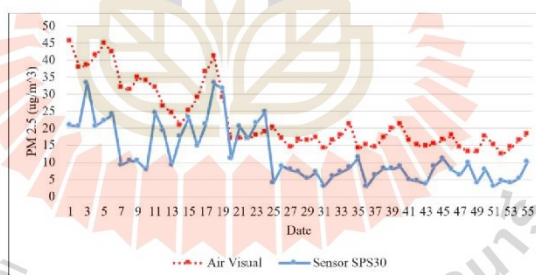


Figure 3. Comparison of PM 2.5 dust concentration from Air Visual and SPS30 sensor.

In Figure 5, the comparison is made in Air Quality Index (AQI). The concentration of PM 2.5 in Figure 1 can be converted to the Air Quality Index by using the following Equation [7]

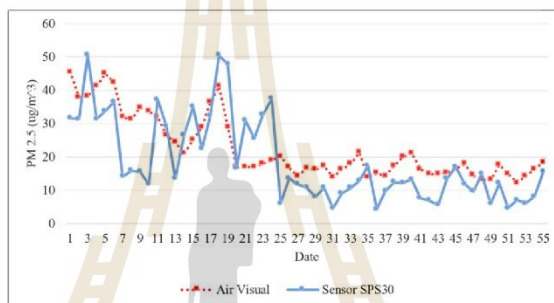
$$[AQI]_i = \left\{ \left( \frac{I_{\max} - I_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} \right) \times (C_i - C_{\min}) + I_{\min} \right\} \quad (3)$$

where  $AQI_i$  is the Air Quality Index.  $C_i$  is the PM 2.5 concentration from the sensor.  $C_{max}$  and  $C_{min}$  are the maximum and minimum of PM 2.5 dust concentration range.  $I_{max}$  and  $I_{min}$  are the maximum and minimum values of Air Quality Index corresponding to  $C_{max}$  and  $C_{min}$ , respectively. The PM 2.5 concentration in Air Quality Index from both sources are also found to be related. The relationship can be described by

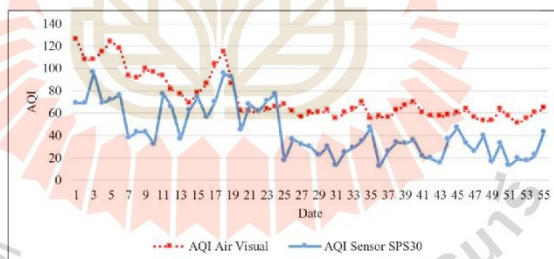
$$y = 1.44x \tag{4}$$

$$R^2 = 0.88 \tag{5}$$

where  $y$  is the PM 2.5 dust concentration by Air Visual application and  $x$  is the PM 2.5 dust concentration by SPS30 sensor in Air Quality Index. The  $R^2$  (R-square) is 0.88 or 88%. Figure 6 shows the comparison between both data after the value of  $x$  is calibrated.



**Figure 4.** Comparison of PM 2.5 dust concentration from Air Visual and SPS30 sensor after calibration.



**Figure 5.** Comparison of Air Quality Index from Air Visual and SPS30 sensor.

In Figure 6, it can be seen that the Air Quality Index from the Air Visual is slightly higher than the one from the SPS30 sensor. This might be because the two sensors are not exactly installed at the same place. The location of the Air Visual sensor is closer to the center of the city where there is more traffic than the one of the SPS30 sensor.

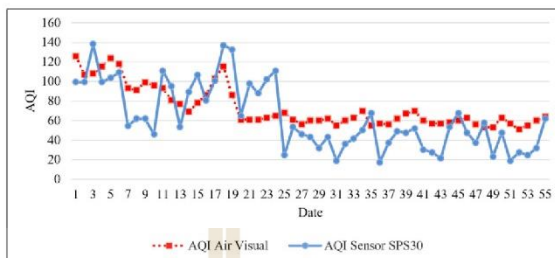


Figure 6. Comparison of Air Quality Index from Air Visual and SPS30 sensor after calibration.

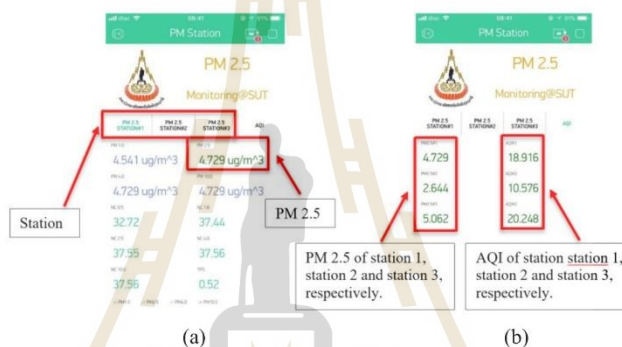


Figure 7. (a) PM 2.5 of station 1, station 2 and station 3 and (b) PM 2.5 and AQI of station 1, station 2 and station 3 on Blynk application.

**4. Conclusions**

We propose a method for PM 2.5 monitoring system by using wireless sensor networks and the SPS30 sensor which can detect small particles using laser scattering technique. The microcontroller ESP32 was applied to control the operation of SPS30 sensor and control the wireless data communication. It also shares the information received from the WSN to the LCD display and the Blynk application on smart phone. The system can operate 24 hours by using electrical power from solar cells and battery. Our results have been compared and calibrated with the ones from Air Visual application to ensure reliability. The results show that our proposed low-cost system is able to provide a reliable real-time monitoring of the PM 2.5 condition. Thus, it can be used as a prototype of PM 2.5 monitoring product for smart cities. For suggestion, in order to reduce the error of AQI between Air visual application and our PM 2.5 monitoring system, one might try to move the SPS30 sensor closer to the position where the sensor of Air visual is installed.

**Acknowledgments**

This work was supported by a grant from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.

**References**

- [1] Livio, L. Sensirion Particulate Matter Premium PM 2.5 Sensor (SPS30). [Internet] Switzerland: Environmental Sensors. Available at: <https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/particulate-matter-sensors-pm25/> [updated 2019 Dec 23].
- [2] Taha, M., Garcia, L., Jimenez, J.M. and Lloret, J. 2018. Wireless technologies for IoT in smart cities. *Network Protocols and Algorithms*, p. 23-64.
- [3] Sikder, A.K., Acar, A., Aksu, H., Uluagac, A.S., Akkaya, K. and Conti, M., 2018. IoT-enabled smart lighting systems for smart cities. 2018 *IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, Las Vegas, p. 639-645.
- [4] Mary, M.C.V.S., Devaraj, G.P., Theepak, T.A., Pushparaj, D.J. and Esther, J.M., 2018. Intelligent energy efficient street light controlling system based on IoT for smart city. *2018 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, Tirunelveli, India, p. 551-554.
- [5] Qin, X., Xian, X., Deng, Y. and Wang, D. 2019. Micro quartz tuning fork-based PM2.5 sensor for personal exposure monitoring. *IEEE Sensors J.*, 19(7):2482-2489.
- [6] Airvisual.com, [Internet] Thailand: Air Visual. Available at: <https://www.airvisual.com/thailand/nakhon-ratchasima>. [updated 2019 Dec 23].
- [7] Wikipedia.org. Air Quality Index [Internet]. Computing the AQI and the table of air quality index level. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_quality\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Air_quality_index). [updated 2019 Dec 27]



EAT0020

## Design of The RF Measuring Sensor Network for Low-power Radio Frequency Transceiver Detection System

P. Kumsawat<sup>1,\*</sup>, W. Pathonsuwan<sup>1</sup>, N. Sawangsawai<sup>1</sup>, T. Hoprasertwong<sup>1</sup>,  
R. Wongsan<sup>1</sup>, K. Attakitmongcol<sup>2</sup>, and A. Srikaew<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 111 University Avenue, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand.

<sup>2</sup> School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 111 University Avenue, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand.

\* Corresponding Author: prayoth@sut.ac.th

**Abstract.** This paper presents a design and development of the RF measuring sensor network for low-power RF transceiver detection system. The proposed system uses an active directional antenna and spectrum analyzer to detect interfering frequencies and power spectrum of the wireless signals. Furthermore, we apply microcontroller to control the RF switch in order to select detection methods whether using a spectrum analyser or service set identifiers using a WIFI receiver module. The microcontroller module is connected to the GPS and digital compass modules mounted on the active directional antenna for determining the position and direction of the antenna. This method is able to accurately measure the power of signal, triangulate the source of interference, and identify WIFI access points.

**Keywords:** Low-power detection system, RF measuring sensor network, radio frequency interference.

### 1. Introduction

Nowadays, the trend of using wireless devices in various areas is increasing rapidly and consequence, there is a great chance of radio frequency interference. This problem can cause a severe impact on the operation of neighboring communication devices to the point that it cannot be used. For example, the radio frequency radiation from the mobile base station interferes with the operation of the BTS train control in Bangkok. This causes the train delay and affects a lot of passengers. Therefore, having a highly accurate interference detector will help us to fix the problems quickly and efficiently. In Thailand, the National Broadcasting and Telecommunication Commission (NBTC) has a duty under the law to manage the frequency spectrum and to ensure the efficient use of the frequency spectrum in order to prevent severe frequency interference. The Office of the NBTC is responsible for monitoring and supervising the frequency usage to support all spectrum management information in Thailand. The frequency allocation can be divided into 2 types which are the frequency that must be licensed



and frequency bands that do not need a license. However, the non-licensed frequency band requires a low transmission power and does not cover any interference that may occur. If a frequency that does not require a license is requested to be inspected, the Office of NBTC needs to know the location of the frequency interference source exactly to effectively monitor the use of the frequency. However, in the event that an interference occurs and the location of the WIFI access point is unclear or they want to check the distribution of the WIFI usage in one area, it will take a long time to solve these problems.

This paper presents a design and development of the RF measuring sensor network (RFMSN) for low-power RF transceivers. This is to enable the Office of NBTC to have an effective inspection system in the future. In this work, the RF measuring sensor network based on 3G/4G mobile phone network and Lora WAN technology have been implemented. The proposed network can monitor the usage of low-power RF transceivers in the inspection areas. Furthermore, we have developed a smart tracking scheme using GPS module and digital compass. The software coding of the implementation was accomplished by using C/C++ and Python.

This paper is organized as follows. In Section 2, the literature review of tracking system and the RF measuring sensor network are given and discussed. The design and development of our radio frequency detection system for low-power RF transceivers is described in Section 3. In Section 4, the experimental results are shown. Finally, the conclusions are presented in Section 5.

## 2. Literature Review

In recent years, GPS and GSM modules are widely used in the field of vehicle tracking because of its high efficiency and easy realization [1-3]. For instance, [1] presented a vehicle tracking system with high performance GPS/GPRS. This system also has LPG gas leakage sensor and temperature sensor. If there is a problem of the LPG gas leak, it will send a warning message to mobile phone of the vehicle owners using SIM908 module. Thengal *et al.* proposed an efficient vehicle tracking system using the GPS and the GSM modules [2]. The information of vehicle location is displayed in the form of a map on a web server. Hattarge *et al.* proposed a GPS tracking on Lorawan technology combined with an Android application for a smart transport system [3]. This system can be implemented in a real-life environment. Lora is a type of communication technology that focuses on the long-range communication and low power. Zourmand *et al.* presented a Lora technology and applied it to the Internet of Things (IoT) [4]. Lora is responsible for testable quality and efficiency of the Lora network. Yang proposed a detection and control of machine operation in various environmental condition using Lora technology [5]. National instruments presented an introduction to wireless LAN measurement [6]. For wireless LAN communication, the spectrum measurements can characterize the performance of the transmitters.

## 3. Proposed Method

This section presents the design of the RF measuring sensor network (RFMSN) which consists of the RF measuring sensor node and the RF measuring sensor gateway for installation in mobile vehicles. The main devices of the RFMSN node system include active directional antenna, spectrum analyzer, WIFI transceiver, RF switch, GPS module, and digital compass module. The RFMSN gateway is equipped with a raspberry Pi microprocessor module and a Lora module. The RFMSN gateway also has a 3G/4G mobile communication module connected to its interface board, allowing TCP/IP, USB or RS232 serial communication with the cloud computing. Furthermore, we have used a dedicated LAN connection for connecting the RFMSN gateway to laptop computer.

In our proposed system, an active directional antenna and spectrum analyser are applied to determine the type and frequency of interfering signal, especially for narrow band interference. Furthermore, GPS and digital compass mounted on that antenna are used to triangulate the source of the signal interference. Therefore, the designed system is able to precisely detect the source of interference signal.

The RF measuring sensor network can be used to detect frequency interferences in any areas that have been requested for inspection. If there is a 3G/4G mobile network in the inspection area, the system will send all the captured data to the Google Firebase database via the 3G/4G mobile network, which is considered as the main datalink of the proposed system. The block diagram of the communication system in this case is shown in Figure 1.

If there is no 3G/4G mobile network in the inspection area, the data transmitted from the signal detector will be sent outside that area via the supported datalink Lorawan to the RFMSN gateway that has access to the 3G/4G mobile phone network. Then, the RFMSN gateway will upload the relevant information to the Google Firebase database. In our proposed system, the range of Lorawan to achieve wireless communication is up to 3 km with a maximum data rate of 256 kbps. The block diagram of the communication system in this case is shown in Figure 2. Experimental setup and device connection are presented in Figure 3.

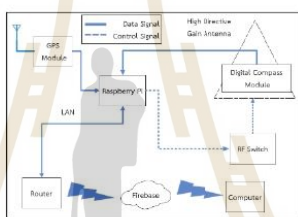


Figure 1. Block diagram of the communication system with 3G/4G mobile phone network.

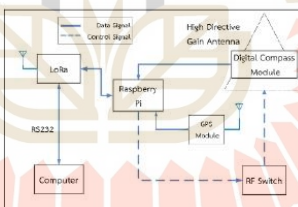


Figure 2. Block diagram of the communication system without 3G/4G mobile phone network.

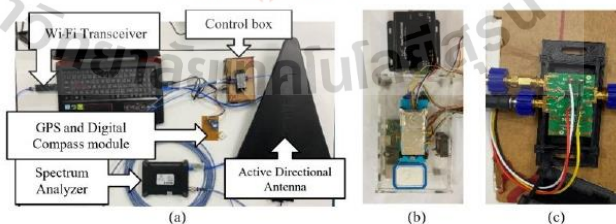


Figure 3. (a) Experimental setup and device connection, (b) control box and (c) RF Switch.



#### 4. Experimental Results and Discussion

In this section, some experimental results are given to demonstrate the effectiveness of the proposed wireless signal detection system. The experimental results and discussion are as follows:

##### 4.1. Testing the signal received from the WIFI transmitter

Firstly, we performed a preliminary study to see how the type of antenna would affect the performance of the detection system. The test was performed by sending the WIFI signal at the 2.4 GHz Channel 11 (2.451-2.473 GHz) using the original monopole antenna that came with the WIFI transmitter WAVLINK AC600 model, and using the Hyper LOG active directional antenna as a receiving antenna. Then, we change the transmitting antenna to Vivaldi antenna, and perform testing with the distance between the transmitter and receiver varying from 5 m to 200 m. In addition, the antenna is sent and received with horizontal polarization. The signal levels received from spectrum analyzer are shown in Table 1. From Table 1, changing the transmitting antenna from the monopole antenna to the Vivaldi antenna yields higher power level about 5 dBm

**Table 1.** Measuring result of the receiving signal from WIFI transmitter.

Distance (m)	Received power (dBm)		Effective Radiated Power (dBm)	
	Monopole Antenna	Vivaldi Antenna	Monopole Antenna	Vivaldi Antenna
5	3.5	4.0	12.5	13.0
25	-3.0	1.0	20.0	24.0
50	-10.0	-3.0	19.0	26.0
100	-23.0	-14.0	12.0	21.0
150	-28.0	-23.0	10.6	15.2
200	-31.0	-26.0	10.1	15.1

By measuring the value of received power, we can calculate the value of effective radiated power (*ERP*). To check if the *ERP* of the WIFI transmitters found meets the requirement by law, *ERP* was calculated using the Equation (1), where  $P_r$  is the power that can be received in front of the antenna,  $R$  is the distance between the WIFI receiver and the WIFI transmitter,  $G_r$  is gain of the receiver antenna (The antenna tested has gain 45 dBi) and  $\lambda$  is the wavelength.

$$ERP(dBm) = P_r(dBm) - G_r(dBi) + 20\log_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) \quad (1)$$

##### 4.2. Testing the RF switch controller

In our proposed system, the RF switch is installed in the RF measuring sensor network. It is used as an optional connection of the active directional antenna to the spectrum analyzer or to the WIFI transceiver. Therefore, the RF switch is controlled by a microcontroller to select the detection methods, whether to take the signal received from the antenna to analyze the frequency spectrum and signal strength or to find the SSID of the WIFI transmitter. Figure 3(c) shows the RF switch model EV1HMC8038LP4C. In this work, an RF signal received from active directional antenna is applied to the incoming transmission line of the RF switch. The Signal Vu- PC software provides users ability to analyze RF and vector signals. Furthermore, we have used WIFI analyzer software to identify nearby WIFI access points. To

validate the RF switch performance, several tests were conducted with the focus on WIFI signal strength and frequency spectrum of the wireless signal. The test results of the RF Switch are as follows:

In case of the RF switch “ON”, the received signal is pass through the spectrum analyzer. The proposed detection system can measure the magnitude of an input signal versus frequency. Figure 4 presents the spectral results of the wireless signal detection using spectrum analyzer. From the Figure 4 (a), the spectrum displaying on the Signal Vu-PC program will appear and the magnitude spectrum of the signal will be higher. On the other hand, in case of the RF switch “OFF”, the received signal is pass through the WIFI transceiver. The proposed detection system cloud finds all the SSID of the WIFI access point from that signal. Figure 4 (b) presents the wireless signal detection system using WIFI transceiver. In this case, spectrum measurement results have not changed since the spectrum analyzer is not used. The results confirm that the RF switch can actually select the desired path of signal.

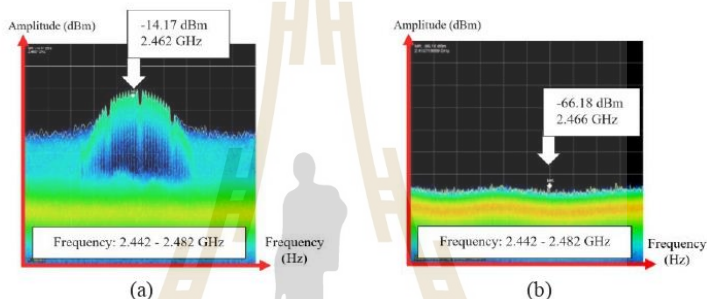


Figure 4. Spectral of the signal in question, (a) RF switch “ON” and (b) RF switch “OFF”.

4.3 Testing GPS and digital compass

GPS and digital compass serve to determine the location of the antenna, the direction of the antenna and the orientation of the antenna in three axes. In this work, GPS and digital compass are connected to the microcontroller for reading the relevant information and sending the data to the Fires base, a cloud computing database. The results of the GPS module positioning are compared with the portable satellite receiver (Garmin eTrex 10 GPS). In comparison of the coordinates of the position, there is an average error of 2.5 m which is within the acceptable range. A cloud computing database is shown in Figure 5.



Figure 5. A cloud computing database.



Figure 6. The location of the WIFI signal source shown on the Google map.



Figure 7. Radio frequency detection system GUI.

#### 4.4 Testing the radio frequency detection system for low-power RF transceivers.

The test scenario began with the installation of a high-power WIFI access point device in the building. The WIFI access point is assumed as one of the interfering sources. Then, we have used the proposed system to detect the interfering source. In this work, the active directional antenna and real-time spectrum analyzer can rapidly identify most interference sources and signal strength. Furthermore, GPS and digital compass mounted on the antenna are used to determine the position and direction of the antenna. From the principles of triangulation, it can calculate the intersection of the antenna direction to determine the location of the interfering source. Figure 6 presents the location of the WIFI access point device on the Google map. Radio frequency detection system GUI and display are also presented in Figure 7. With the user-friendly GUI of our software, this mapping allows bearing lines to be marked on the map to triangulate the source of the signal interference on the Google map. Therefore, the proposed system can enable interference hunting and easily triangulate the interfering source.

#### Conclusion

This article presents a design and development of the RF measuring sensor network for low-power RF transceivers detection system. In the proposed network, an active directional antenna and spectrum analyzer were applied to determine the type and frequency of interfering signal. The microcontroller was connected to GPS and digital compass modules for determining the position and direction of the active directional antenna. Furthermore, GPS and digital compass mounted on the active directional antenna were used to triangulate the source of the signal interference. The data communication between sensor node and gateway is based on technology used in the 3G/4G mobile phone network and LoRaWAN technology. Therefore, this method is able to accurately measure the power of wireless signal, triangulate the source

of interference, and identify user groups. The experimental results show that the designed system can precisely detect the sources of the interfering signal.

#### Acknowledgments

This work was supported by a grant from Office of The National Broadcasting and Telecommunications Commission under Grant BT2-01/2-61. The authors also would like to thank Suranaree University of Technology for all great supports.

#### References

- [1] Shinde P.A. and Mane, Y.B. 2015. Advanced vehicle monitoring and tracking system based on Raspberry Pi. *IEEE 9<sup>th</sup> International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*, pp.1-6.
- [2] A.P. Saikia, Thengal, N. Rastogi, A Medhi, R. Srivastava and K. Datta, 2017. Parameter sensing and object tracking using global positioning system," 2016 Sixth International Symposium on Embedded Computing and System Design (ISED), p. 289-293.
- [3] Hattarge, S. Kekre A. and Kothari, A. 2019. LORAWAN based GPS tracking of city-buses for smart public transport system. *First International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC)*, p.265-269.
- [4] Zoumand, A. Kun Hing, A.L. Wai Hung C. and Abdul Rehman, M. 2019. Internet of Things (IoT) using Lora technology. *IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)*, p. 324-330.
- [5] Yang, Y. 2020. Design and application of intelligent agriculture service system with Lora-based on wireless sensor network. *International Conference on Computer Engineering and Application (ICCEA)*, p.712-716.
- [6] National Instruments, "Introduction to Wireless LAN Measurements," 2019, [pdf] Available at: <[http://download.ni.com/evaluation/rf/Introduction\\_to\\_WLAN\\_Testing.pdf](http://download.ni.com/evaluation/rf/Introduction_to_WLAN_Testing.pdf)>.





EAT0021

## Comparative Study of Machine Learning Models for Important Feature Selection in the LEDs Intensity Detection

P. Kumsawat<sup>1,\*</sup>, T. Hoprasertwong<sup>1</sup>, W. Pathonsuwan<sup>1</sup>, N. Sawangawai<sup>1</sup>, K. Attakitmongcol<sup>2</sup>, and A. Srikaew<sup>2</sup>

<sup>1</sup> School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand.

<sup>2</sup> School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand.

\* Corresponding Author: prayoth@sut.ac.th

**Abstract:** Detection of LEDs light intensity is an important part of the automated greenhouse lighting control system. In order to precisely control the LEDs light intensity, we have applied machine learning techniques to implement important feature selection for the LEDs light intensity detection. The most suitable machine learning model can provide the most accurate LEDs light intensity detection results. In this work, we have compared 3 machine learning models which are SVM with Gaussian kernel model, decision tree model, and random forest model. Then, we proposed a feature selection method using the Sequential Backward Selection algorithm with our data to find the best model. In this work, we have used digital cameras to capture images to detect LEDs light intensity in different light intensity conditions. Experimental results show that the proposed process provides high accuracy in the detection of LEDs light intensity.

**Keywords:** Machine learning, regression model, sequential backward selection algorithm.

### 1. Introduction

Weather condition plays an important role in determining the pace of plant growth. Extreme weather has frustrated many vegetable gardeners and farmers. However, the need of healthy food such as vegetables and fruits has increased dramatically. Thus, various methods were invented to help with this matter. One way to work around these issues is the development of LEDs artificial lighting equipment in the greenhouse. The cultivation in greenhouse allows us to control the environment, resulting in maximum resource efficiency. There are some previous researches about the effects of LED to plant growth [1], the method to increase production efficiency with LED [2], and LED improvement to increase efficiency [3]. In order to precisely control the LEDs light intensity, we have used machine learning (ML) techniques to control the LEDs artificial light intensity. To the best of our knowledge, most of the practical machine

learning techniques use supervised learning. However, the supervised learning requires feature extraction process for real world data and then converts it to a dataset for use during training and testing. Therefore, we must verify that the feature extraction is effective enough for the machine learning models.

The procedure of choosing the suitable machine learning model is as follows. First, pictures of LEDs are obtained by using the digital camera for LEDs light intensity detection. Next, we extracted the outstanding feature using our method. Then, we got and assigned our dataset to class label. Our dataset is divided into 2 types which are input dataset and target dataset. We have chosen 3 models for comparison which are the Support Vector Machine with Gaussian kernel model [4], Decision tree model [5] and Random forest model [6]. Each model will be applied to the Sequential Backward Selection (SBS) algorithm [7]. Finally, the model which gives the best feature selection is the most suitable model for our work. In this paper, we propose a comparison study of machine learning models for importance feature selection in LEDs intensity detection. The feature extraction must be effective enough for the machine learning algorithm.

This paper is organized as follows. In Section 2, the proposed method for feature importance selection in the LEDs intensity detection, dataset collection and preparation are given and discussed. In Section 3, the experimental results are shown. Finally, the conclusions are presented in Section 4.

## 2. Proposed Methods

This section presents the details of comparative study of machine learning models for importance feature selection in LEDs intensity detection. The details of the proposed method can be characterized into 4 steps as: data collection, data preparation, applying learning curves and feature selections. The block diagram of the proposed method is shown in Figure 1.

First, we collect data and define a data class which consists of input classes and target classes. The data preparation is applied to use with the machine learning model from Scikit-learn [8] which is accomplished by standardizing data. Next, we employ the standardized data as the input to machine learning model and plot the learning curve to analyze and prove the accuracy and suitability of our data. Then, we use the machine learning model to cooperate with SBS algorithm. At this process, we can distinguish the differences in the quality of our data and the machine learning model. Finally, we have a suitable and efficient machine learning model. Then, we plot the classification accuracy to analyze feature importance. These results will be applied to the light control system for the greenhouse.

Our experiment was performed on a laptop computer with AMD Ryzen 5 2500U central processing unit and Radeon Vega mobile graphic processing unit. We have used Python as our creative platform and Sublime text 3 as a code creator. In data preparation process, we have stored dataset with a proper format and defined input class and target class for stored dataset. Figure 1 shows the block diagram of our proposed method.

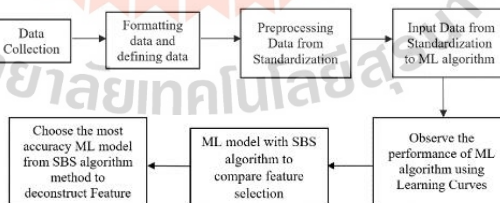
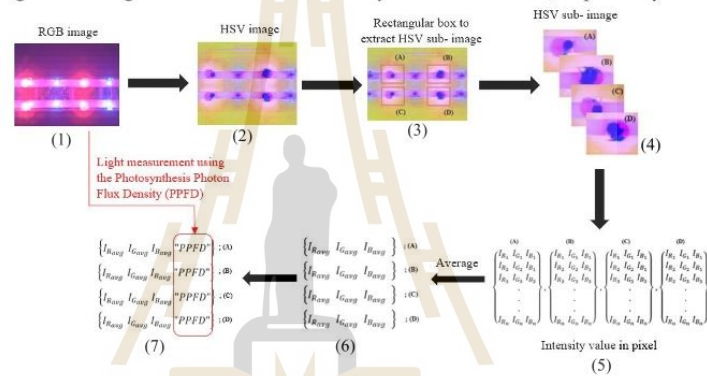


Figure 1. Block diagram of the proposed method.

### 2.1 Data Collection

To train the model for performing various actions, we simulate various events with red and blue color channels. We snap pictures of LED from simulation using Logitech C310 HD Webcam. Next, we convert the images from RGB to HSV color spaces using image processing algorithm in MATLAB R2018b [9]. Then, we define a rectangular box to extract HSV sub-image from the original HSV image. This process is based on RGB color channel intensity. Then, we calculate the average values of the intensity and store them in a table which will be later used as a condition with the light measurement using the Photosynthesis Photon Flux Density (PPFD) [10]. Figure 2 shows data collection process of the proposed method. Subfigures (1)-(4) show input image from Logitech C310 HD Webcam, converted image from RGB to HSV image, rectangular box to extract HSV sub-image and HSV sub-image with intensity extraction in each pixel, respectively. Subfigures (5)-(7) show the red, green, blue color intensity of each pixel for each sub-image, average values of the color intensity for each sub-image and average values of the color intensity with PPFD values, respectively.



**Figure 2.** Data collection process of the proposed method.

### 2.2 Data Preparation

Since each machine learning model has different performance characteristics, to choose the most accurate model, we have to make comparison and decide which one is the most appropriate. The class labels are encoded as integer values.

We have prepared dataset and divided it into 2 types are as follows [11].

1.) Input data from feature extraction, consisting of red, blue, green color channels (intensity) and PPFD measurement.

2.) Target data from circumstance consisting of red intensity of 25%, 50%, 75%, 100% blue intensity 25%, 50%, 75%, and 100%.

Next, we perform encoding on this data. Obviously, the input data is an integer, but the target data is still a string. Hence, we converted it from a string to an integer, which will get 8 labels. Labels 1-4 are 25% - 100% red intensity and labels 5-8 are 25% - 100% blue intensity. To simplify and enhance training, we have used standardization technique proposed in [12]. The equation of feature scaling technique is given in Equation (1).

$$F_{std} = \frac{F - \mu_F}{\sigma_F} \quad (1)$$

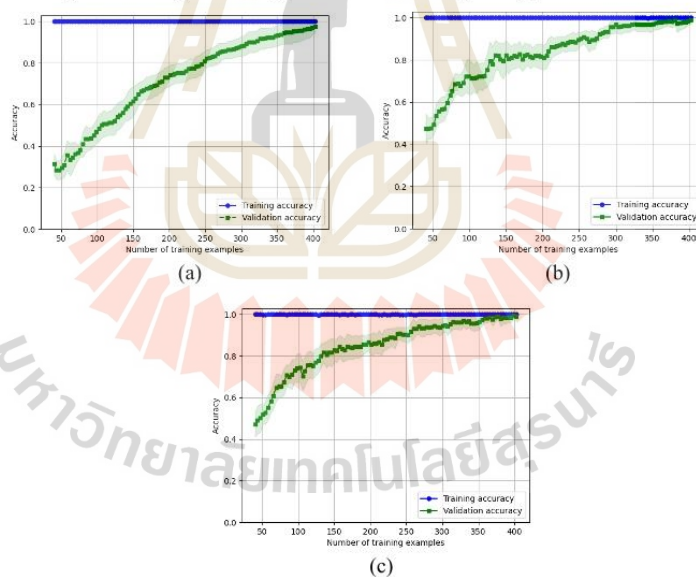


where  $F_{std}$  represents the new data,  $F$  is input data,  $\mu_F$  is the sample mean of a particular feature, and  $\sigma_F$  is the standard deviation.

### 2.3 Applying Learning Curves

Learning curves are a diagnostic tool in machine learning. It is created by plotting the model learning performance over experience. In this Sub-Section, we have used Equation (1) to prepare the data and applied it to 3 various models. Figure 3(a)-3(c) show the learning curves using SVM with Gaussian kernel model, Decision tree model, and Random forest model, respectively. The learning curves and validation curves cultivate the performance of a learning algorithm.

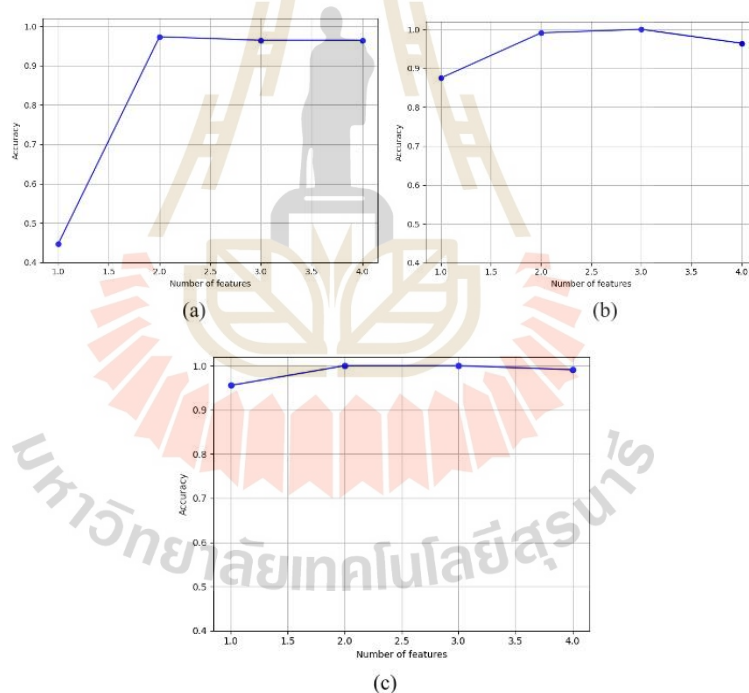
Furthermore, the vertical axis represents the accuracy of the training and validation sections in term of probability from 0-1 which is equivalent to accuracy from 0-100%. The horizontal axis is the number of training examples from 0-400. We have used learning curves to distinguish whether a learning algorithm has a riddle. From Figure 3, the learning curves of 3 models have the same trend where the blue line (training accuracy) in the Y axis equals 1(100%) as desired accuracy. However, all 3 curves in green line (Validation accuracy) have different trend. We have analyzed these differences and found that the accuracy at the starting point of 3 green curves are different. Figure 3(a) is at 0.312 while Figure 3(b) is at 0.481 and Figure 3(c) is at 0.49 accuracy. All 3 methods are performed using the same number of training examples at 75. By comparing the results at the beginning of the Validation accuracy curve, The SVM with Gaussian kernel model in Figure 3(a) seems to be the lowest, followed by the Decision tree model shown in Figure 3(b). The best model is the Random forest model which gives the highest accuracy at starting point as shown in Figure 3(c).



**Figure 3.** Plot of the learning curves. (a) SVM with Gaussian kernel model, (b) Decision tree model, and (c) Random forest model.

#### 2.4 Feature Selection

Feature selection is the process of selecting a subset of relevant features for use in the machine learning model construction. It is also called variable selection or attribute selection. In this work, we have used the Sequential Backward Selection as a feature selection algorithm. By comparison of the number of features per feature, high accuracy can be achieved. First, we took the information from previous sub-sections for training through the relevant model. Then, we apply SBS which is effective in selecting the important features. The results of classification accuracy are shown in Figure 4. In case when the number of features equals 1, the SVM model has an accuracy of 0.3, while the Decision tree model and the random forest have an accuracy of 0.88 and 0.95, respectively. From Figure 4, the vertical axis represents the classification accuracy in term of probability from 0-1 which is equivalent to accuracy from 0-100%. The horizontal axis is the number of features from 1 to 4 as red, green, blue, and PPF measurement. the result shows that the optimal performance is the random forest model. Next, we identify the highest accuracy of each models. The results show that the SVM, Decision tree and random forest models have accuracy of 0.975, 1.0 and 1.0, respectively. Finally, we perform the analysis of the number of features that affects the classification accuracy. When we compare the number of features that has the highest accuracy among 3 cases, the results are as follows: In Figure 4(a) for SVM, the number of features that has the highest accuracy equals 2 including the red color channel and the PPF measurement.



**Figure 4.** Plots of the classification accuracy. (a) SVM with Gaussian kernel model, (b) Decision tree model, and (c) Random forest model.

In Figure 4(b) for Decision tree, the number equals 3 including Red color channel, Green color channel and PPFD measurement. Finally, in Figure 4(c) for Random forest, there are two numbers of features that give the same highest accuracy which are 2 and 3. We choose numbers of features 2 including Red color channel and PPFD measurement. For a fair comparison, we have compared the accuracy at the number of features which is equal to 2 among all 3 models. From the results, we are able to choose the appropriate method for feature importance selection. The main conclusion here is that the Random forest model is the best model.

### 3. Experimental results

In our experiment, we apply the Sequential Backward Selection (SBS) algorithm for features selection to Support Vector Machine with Gaussian kernel model (SVM – Radial Basis Function), Decision tree model, and Random forest model. The experimental results and discussion are as follows:

We compare 3 machine learning models to find the optimal model for specifying feature importance values. The results we obtained show that the Random Forest model is the best algorithm for selecting features importance in our dataset. Figure 5 shows a plot that ranks the feature importance in horizontal bar. From Figure 5, 4 features in our comparison consist of “Red intensity”, “Green intensity”, “Blue intensity”, and “PPFD measurement”. We choose Random forest model from our comparative study to assess feature importance. We also considered the classification accuracy by plotting the accuracy vs the number of training examples as in the Figure 4. From experimental results, we can conclude from assessing feature importance with the Random Forest model that PPFD measurement, Red intensity are the most classification extraction features in the LEDs intensity dataset. From Figure 5, the feature importance values of PPFD measurement and Red intensity are 0.300619 and 0.299217, respectively. They are the most feature significations. If we define the threshold value of the classification accuracy with a value of 0.5, both features are extremely important in setting a feature label to classification, prediction, and system enhancement.

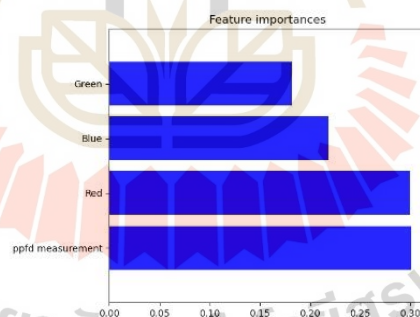


Figure 5. Plot of the different features in the LEDs intensity datasets.

### 4. Conclusion

In this work, we evaluated feature signification based on Sequential Backward Selection algorithm. First, we have compared 3 machine learning models: SVM with Gaussian kernel model, decision tree model, and random forest model to see which one is the most effective and suitable model for our dataset. Then, we applied the Sequential Backward Selection

algorithm to learn appropriate behaviour in both training and testing sections. Finally, we found that the best model is random forest model. Thus, we applied this model to assess feature importance and obtained a satisfied and highly reliable response to our LEDs light intensity. The results of this work can be applied to implement automated greenhouse LEDs lighting control system.

##### 5. Acknowledgments

This work was supported by a grant from Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.

##### 6. References

- [1] Olle M. and Viršile A., 2013. *The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality*. Agricultural and food science. pp. 223-234.
- [2] Gómez C. and Izzo L. G., 2018. *Increasing efficiency of crop production with LEDs*. AIMS Agriculture and Food. pp. 135.
- [3] Jou J. H., Yu H. H., Tung F. C., Chiang C. H., He Z. K. and Wei M. K., 2017. *A replacement for incandescent bulbs: high-efficiency blue-hazard free organic light-emitting diodes*. Journal of Materials Chemistry C. pp. 176-182.
- [4] Cortes C. and Vladimir V., 1995. *Support-vector networks*. Machine learning. pp. 273-297.
- [5] Freund Y. and Llew M., 1999. *The alternating decision tree learning algorithm*. International Conference on Machine Learning. pp. 124-133.
- [6] Breiman L. 2001. *Random forests*. Machine learning. pp. 5-32.
- [7] Reeves S. J. and Zhao Z., 1999. *Sequential algorithms for observation selection*. IEEE Transactions on Signal Processing. pp. 123-132.
- [8] Pedregosa F., et al. 2011. *Scikit-learn: Machine learning in Python*. the Journal of machine Learning research. pp. 2825-2830.
- [9] Gonzalez R. C., Richard E. W. and Steven L. E. 2004. *Digital image processing using MATLAB*. Pearson Education India.
- [10] waveformlighting.com, 2020. *Convert Lux to PPF*. [Internet] Available at: <<https://www.waveformlighting.com/horticulture/convert-lux-to-ppfd-online-calculator>> [updated 2020 Jan 24].
- [11] McKinney W., 2010. *Data structures for statistical computing in python*. Proceedings of the 9th Python in Science Conference. pp. 51-56.
- [12] Kaleem A. B. D. U. L., et al. 2011. *Address standardization using supervised machine learning*. International Conference on Computer Communication and Management. pp. 441-445.
- [13] Oliphant T. E., 2006 *NumPy: A guide to NumPy*. USA: Trelgol Publishing.
- [14] Hunter J. D. 2007. *Matplotlib: A 2D graphics environment*. Computing in science & engineering. pp. 90-95.



1 **PM 2.5 MONITORING SYSTEM USING WIRELESS**  
2 **SENSOR NETWORKS FOR SMART CITY**

3

4 **Running head: PM 2.5 detection using Wireless Sensor**

5

6 **Prayoth Kumsawat\*, Nitchamon Sawangsawai, Wongsathon**  
7 **Pathonsuwan, Thanakorn Hoprasertwong, Arthit Srikaew,**  
8 **and Kitti Attakitmongcol**

9

10 *School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree*  
11 *University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand.*

12 *E-mail: prayoth@sut.ac.th*

13 *\* Corresponding author*

14

15 **Abstract**

16 **Air pollution caused by fine particulate matter 2.5 (PM 2.5) is a leading health**  
17 **crisis for people around the world including Thailand. This paper proposes a**  
18 **low-cost and real-time PM 2.5 monitoring system using wireless sensor**  
19 **network and the Internet of Things (IoT). The system is designed to monitor**  
20 **PM 2.5 via Blynk application on smart phone and via LCD monitor by showing**  
21 **the detection results in the Air Quality Index (AQI) which is easy to**  
22 **understand. Furthermore, our system is calibrated with the standard**

23 **instrument to ensure accuracy and reliability. The results show that our low-**  
24 **cost system is able to provide a reliable real-time monitoring of the PM 2.5**  
25 **condition.**

26

27 **Keywords: air quality index, particulate matter 2.5, wireless sensor network,**  
28 **smart city**

29

### 30 **Introduction**

31 PM 2.5 (particulate matter less than 2.5 micrometers in diameter) is a harmful air  
32 pollutant which is one of the major environmental risk to health. The sources of PM  
33 2.5 are from, for example, engine combustion of vehicles, open burning, industry  
34 and power plants. It can be related to the cause of lung cancer, ischemic heart  
35 disease, stroke, asthma and other problems in respiratory system. Therefore, it is  
36 urgent to look for ways to monitor the PM 2.5 pollution in order to protect oneself  
37 by wearing specific mask or avoiding the area where PM 2.5 concentration exceeds  
38 the guideline.

39 In this paper, a real-time PM 2.5 monitoring system is developed using  
40 particulate matter sensor or SPS 30 sensor (Livio, 2019) which is a high quality  
41 sensor. It uses laser scattering technique to radiate suspending particle in the air and  
42 uses Sensirion's innovative anti-contamination technology. Thus, a sensor service  
43 life can be last over eight years. This technology enables accurate measurements  
44 from the device's first use, which comes with miniature and ultra-slim. Moreover,  
45 the SPS30 sensor provides users with the estimated mass concertation and the

46 number of particles of PM 1.0, PM 2.5, PM 4.0, and PM 10.0 which the mass  
47 concentration range of the sensor is between 1 to 1000 ug/m<sup>3</sup>. Since there have  
48 been many studies on the Internet of Thing (IoT) and the wireless sensor network  
49 (WSN) for smart cities (Mary *et al.*, 2018; Sikder *et al.*, 2018; Taha *et al.*, 2018;  
50 Qin *et al.*, 2019), we have applied both of them to our system for monitoring and  
51 recording the PM 2.5 information and also for creating a medium to share it. We  
52 use a powerful microcontroller ESP32 with built-in Wi-fi and Bluetooth to  
53 implement the IoT. It will share the information received from the WSN by using  
54 air card to the LCD display and the Blynk application on smart phone. The result  
55 of PM 2.5 concentration will be shown in the Air Quality Index (AQI) and color  
56 code which is easy to interpret. Our system can run on solar power and batteries  
57 which can operate 24 hour a day. The accurate results of the PM 2.5 monitoring  
58 system are referred to and compared from the Air Visual application.

59 The paper is structured as follows. In section 2, we describe the  
60 methodology of the design of our PM 2.5 monitoring system. The experimental  
61 results of the system from testing and actual recording are given and explained in  
62 section 3. Finally, the conclusion will be discussed in section 4.

### 64 **The Proposed Methods**

65 In this section, we explain the module of our proposed PM 2.5 monitoring system.  
66 Our system is equipped with a 40 watt solar panel as a power source and a 12 volt  
67 battery as a power storage. There is also a component called solar charger which is  
68 connected between solar panel and battery in order to avoid overcharging which



69 can cause permanent battery damage and loss of functionality over time. Then, there  
70 is a 5 volt 3 amp voltage regulator board which will supply constant 5 volt to all  
71 other devices including air card and microcontroller ESP32. Air card is a wireless  
72 adapter for transmitting and receiving data in a cellular network to microcontroller  
73 ESP32. The microcontroller ESP32 was applied to control the operation of SPS30  
74 sensor and control the wireless data transmission. SPS30 sensor is the main sensor  
75 which is used to measure the concentration of PM 2.5. It is a compact, high quality,  
76 optical particle sensor. The detection result will also be shown on the LCD display.  
77 The hardware connection of the proposed system is given in Figures 1 and 2(a). PM  
78 2.5 concentration result from the monitor system is used to compare with two  
79 standard PM 2.5 detection monitors. Firstly, the Xiaomi PM 2.5 Air Quality  
80 Monitor, the standard equipment for PM 2.5 detection in real-time, uses light  
81 scattering techniques to detect particles in the air and can offer accurate  
82 information. Secondly, the Air Visual application which is widely used for detect  
83 PM 2.5, AQI, temperature, weather and also direction and speed of wind in real-  
84 time, supports both iOS and Android. Moreover, the application will show the color  
85 level of air quality in the measured area and provides a graph of air pollution trends  
86 for 24 hours retrospective that is free to use. One of the Air Visual detection system  
87 station is located in Nakhon Ratchasima, this application is able to check the  
88 backward data and forecast the air quality in a specific area of globalization.

89 In Figure 2(b) shows our PM 2.5 monitoring setup at the station 1. In our  
90 experiment, there will be total of 3 stations. The system can transmit PM 2.5

91 information to the ThingSpeak cloud computing. By using the smart phone and  
92 Blynk application, anyone can see the PM 2.5 monitoring results of all 3 stations.

93

#### 94 **Experimental Setup**

95 In this section, we show the results of PM 2.5 monitoring system and compare them  
96 with the ones using Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor with Air Visual application  
97 that detecting simultaneously. Figure 3 and Figure 4 give the results of PM 2.5  
98 concentration from SPS30 sensor in  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ . The results from our system with SPS30  
99 sensor are also compared with the ones from Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor.  
100 The solid and the dashed lines represent the PM 2.5 dust concentration by the SPS30  
101 sensor of PM 2.5 monitoring system and Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor,  
102 respectively. From the result, we found that the data obtained by the SPS30 sensor  
103 and Xiaomi PM 2.5 Air Quality Monitor is related. The relationship can be written  
104 by

$$105 \quad y = 1.85x \quad (1)$$

$$106 \quad R^2 = 0.99 \quad (2)$$

107 where  $y$  is the PM 2.5 dust concentration by Air Visual application and  $x$  is the PM  
108 2.5 dust concentration by SPS30 sensor of PM 2.5 monitoring system. The  $R^2$  (R-  
109 square) is 0.99 or 99%. The values of  $x$  can be calibrated by using Equation (1).  
110 Figure 5 and Figure 6 show the comparison between both data after calibration.

111 The results from our system with SPS30 sensor are also compared with the  
112 ones from Air Visual application (Air visual, 2019) which has become one of the  
most reliable sources of air quality data show in Figure 7. The solid and the dashed

113 lines represent the PM 2.5 dust concentration by the SPS30 sensor of PM 2.5  
 114 monitoring system and Air Visual application, respectively. From the result, we  
 115 found that the data obtained by the SPS30 sensor and Air Visual application is  
 116 related. The relationship can be written by

$$117 \quad y = 1.52x \quad (3)$$

$$R^2 = 0.84 \quad (4)$$

118 where  $y$  is the PM 2.5 dust concentration by Air Visual application and  $x$  is the PM  
 119 2.5 dust concentration by SPS30 sensor of PM 2.5 monitoring system. The  $R^2$  (R-  
 120 square) is 0.84 or 84%. The values of  $x$  can be calibrated by using Equation (3).  
 121 Figure 8 shows the comparison between both data after calibration.

122 In Figure 9, the comparison is made in Air Quality Index (AQI). The  
 123 concentration of PM 2.5 in Figure 1 can be converted to the Air Quality Index by  
 124 using the following equation (Air Quality Index, 2019)

$$125 \quad [AQI]_i = \left\{ \left( \frac{I_{max} - I_{min}}{C_{max} - C_{min}} \right) \times (C_i - C_{min}) \right\} + I_{min} \quad (5)$$

126 where  $AQI_i$  is the Air Quality Index.  $C_i$  is the PM 2.5 concentration from the  
 127 sensor.  $C_{max}$  and  $C_{min}$  are the maximum and minimum of PM 2.5 dust  
 128 concentration range in the Table 1.  $I_{max}$  and  $I_{min}$  are the maximum and minimum  
 129 values of Air Quality Index corresponding to  $C_{max}$  and  $C_{min}$ , respectively. The PM  
 130 2.5 concentration in Air Quality Index from both sources are also found to be  
 131 related. The relationship can be described by

$$132 \quad y = 1.44x \quad (6)$$

$$R^2 = 0.88 \quad (7)$$

133 where  $y$  is the PM 2.5 dust concentration by Air Visual application and  $x$  is the PM  
134 2.5 dust concentration by SPS30 sensor in Air Quality Index. The  $R^2$  (R-square) is  
135 0.88 or 88%. Figure 10 shows the comparison between both data after the value of  
136  $x$  is calibrated

137 In Figure 10, it can be seen that the Air Quality Index from the Air Visual  
138 is slightly higher than the one from the SPS30 sensor. This might be because the  
139 two sensors are not exactly installed at the same place. The location of the Air  
140 Visual sensor is closer to the center of the city where there is more traffic than the  
141 one of the SPS30 sensor.

142

### 143 **Conclusions**

144 We propose a method for PM 2.5 monitoring system by using wireless sensor  
145 networks and the SPS30 sensor which can detect small particles using laser  
146 scattering technique. The microcontroller ESP32 was applied to control the  
147 operation of SPS30 sensor and control the wireless data communication. It also  
148 shares the information received from the WSN to the LCD display and the Blynk  
149 application on smart phone shown in Figure 11. The system can operate 24 h by  
150 using electrical power from solar cells and battery. Our results have been compared  
151 and calibrated with the ones from Air Visual application to ensure reliability. The  
152 results show that our proposed low-cost system is able to provide a reliable real-  
153 time monitoring of the PM 2.5 condition. Thus, it can be used as a prototype of PM  
154 2.5 monitoring product for smart cities. For suggestion, in order to reduce the error  
155 of AQI between Air visual application and our PM 2.5 monitoring system, one

156 might try to move the SPS30 sensor closer to the position where the sensor of Air  
157 visual is installed.

158

### 159 **Acknowledgement**

160 This work was supported by a grant from Suranaree University of Technology,  
161 Nakhon Ratchasima, Thailand.

162

### 163 **References**

164 Livio, L. (2017). Sensirion Particulate Matter Premium PM 2.5 Sensor (SPS30).

165 Available from: [https://www.sensirion.com/en/environmental-](https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/particulate-matter-sensors-pm25/)  
166 [sensors/particulate-matter-sensors-pm25/](https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/particulate-matter-sensors-pm25/). Accessed date: Dec 23, 2019.

167 García-García, L., Jimenez, J.M., Abdullah, M.T.A., and Lloret, J. (2018). Wireless  
168 technologies for IoT in smart cities. *Network Protocols and Algorithms*,  
169 10(1):23-64.

170 Sikder, A.K., Acar, A., Aksu, H., Uluagac, A.S., Akkaya, K., and Conti, M. (2018).  
171 IoT-enabled smart lighting systems for smart cities. 2018 IEEE 8th Annual  
172 Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). Las  
173 Vegas, p. 639-645.

174 Mary, M.C.V.S., Devaraj, G.P., Theepak, T.A., Pushparaj, D.J., and Esther, J.M.  
175 (2018). Intelligent energy efficient street light controlling system based on  
176 iot for smart city. 2018 International Conference on Smart Systems and  
177 Inventive Technology (ICSSIT). Tirunelveli, India, p. 551-554.

- 178 Qin, X., Xian, X., Deng, Y., Wang, D., Tsow, F., Forzani, E., and Tao, N. (2018).  
179 Micro Quartz Tuning Fork-Based PM 2.5 Sensor for Personal Exposure  
180 Monitoring. IEEE Sensors Journal, 19(7):2,482-2,489.
- 181 Airvisual.com. Thailand: Air Visual. Available from: [https://www.airvisual.com/  
182 thailand/nakhon-ratchasima](https://www.airvisual.com/thailand/nakhon-ratchasima). Accessed date: Dec 23, 2019.
- 183 Wikipedia.org. Computing the AQI and the table of air quality index level.  
184 Available from: [https://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_quality\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Air_quality_index). Accessed  
185 date: Dec 27, 2019.
- 186





187 **Table 1. Air Quality Index PM 2.5 (PM 2.5 AQI)**

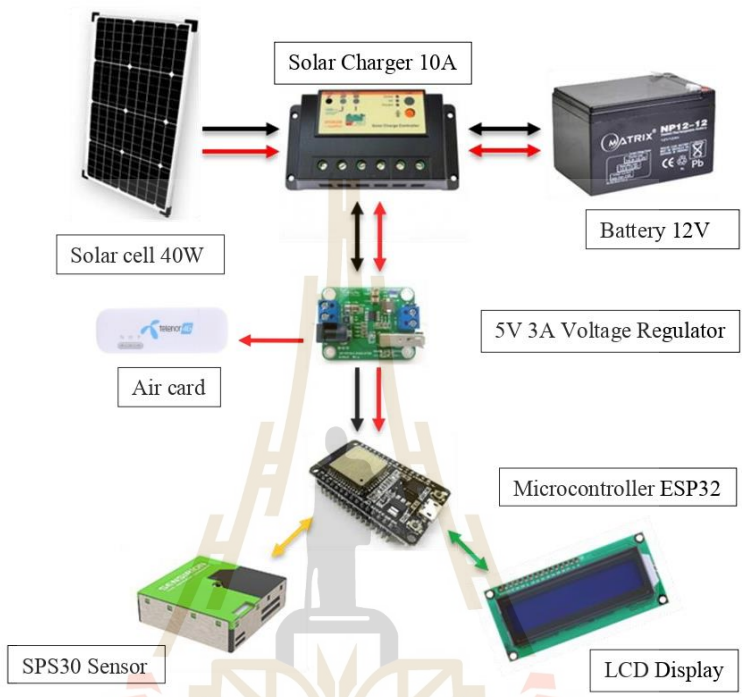
AQI values	PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Air Pollution Level	Healthy Implication
0-50	0-12	Good	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
51-100	12.1-35.4	Moderate	Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution.
101-150	35.5-55.5	Unhealthy for Sensitive Groups	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is not likely to be affected.
151-200	55.6-150.4	Unhealthy	Everyone may begin to experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
201-300	150.5-250.4	Very Unhealthy	Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected.
300-500	250.5-500	Hazardous	Health alert; everyone may experience more serious health effects.

188

189



190



191

192

193

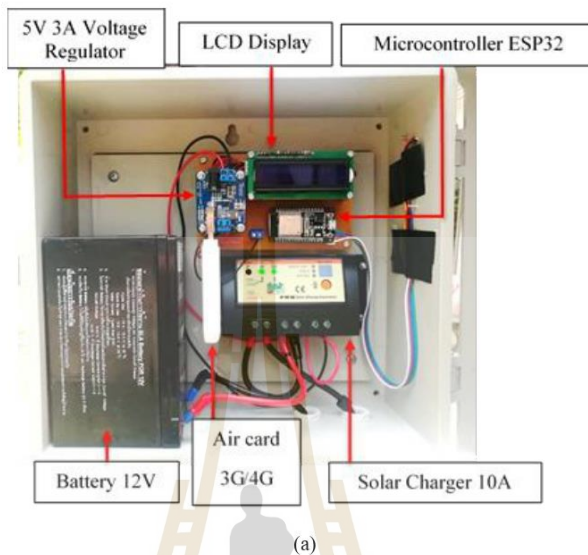
194

195

Figure 1. Diagram for hardware connection of PM 2.5 Monitoring System

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

196  
197

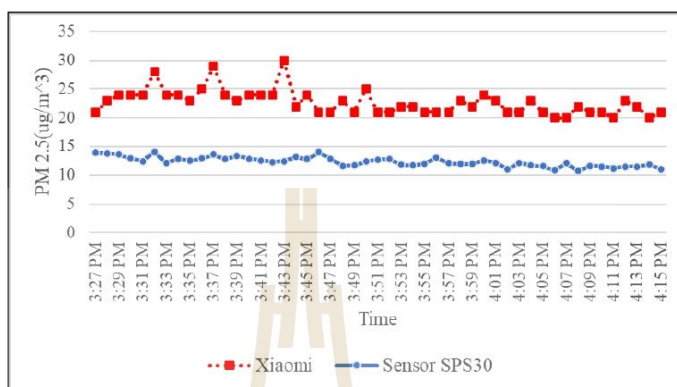


198  
199  
200



Figure 2. (a) Hardware Connection and (b) System setup of Station 1

201



202

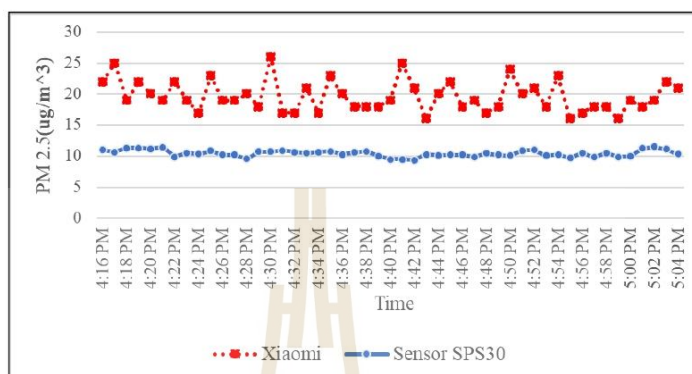
203

204 **Figure 3. Comparison of PM 2.5 dust concentration from Xiaomi PM 2.5 Air**  
 205 **Quality Monitor**

206



207



208

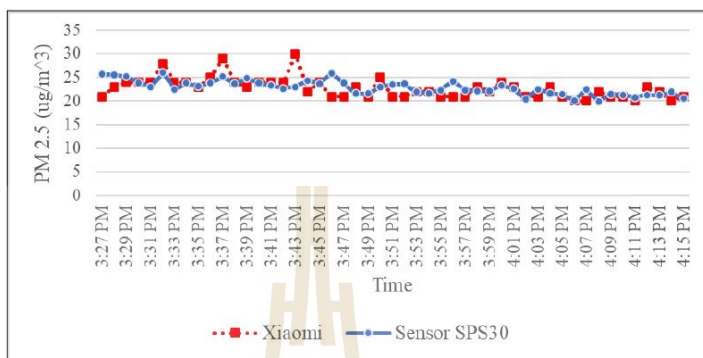
209

210 **Figure 4. Comparison of PM 2.5 dust concentration from Xiaomi PM 2.5 Air**211 **Quality Monitor**

212



213



214

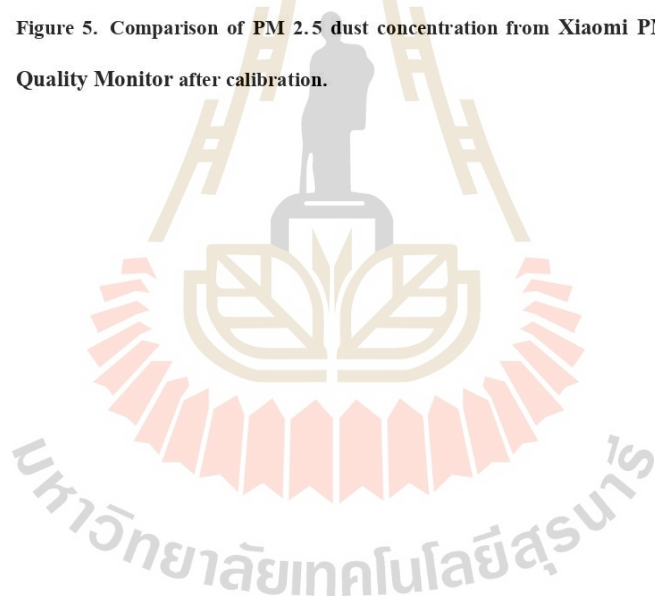
215

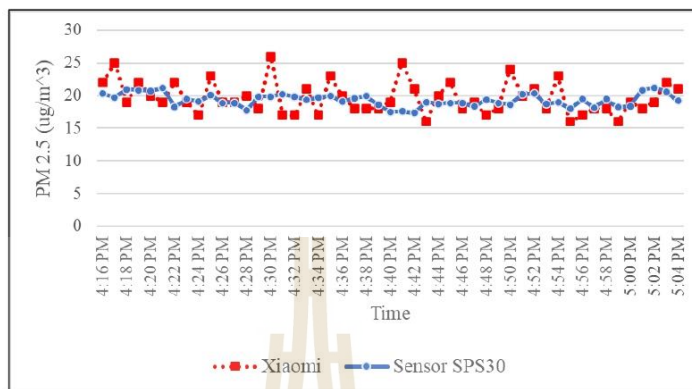
216 **Figure 5. Comparison of PM 2.5 dust concentration from Xiaomi PM 2.5 Air**

217 **Quality Monitor after calibration.**

218

219





220

221

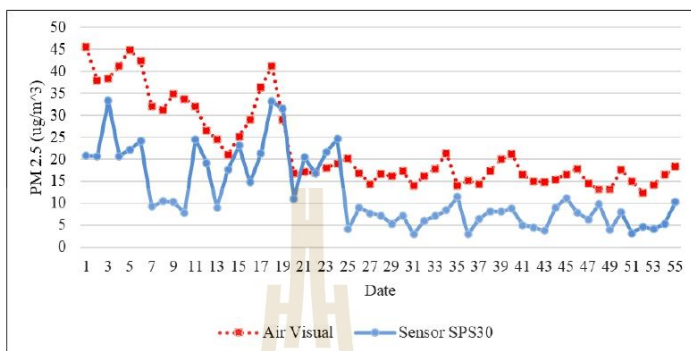
222 **Figure 6. Comparison of PM 2.5 dust concentration from Xiaomi PM 2.5 Air**223 **Quality Monitor after calibration**

224

225

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

226



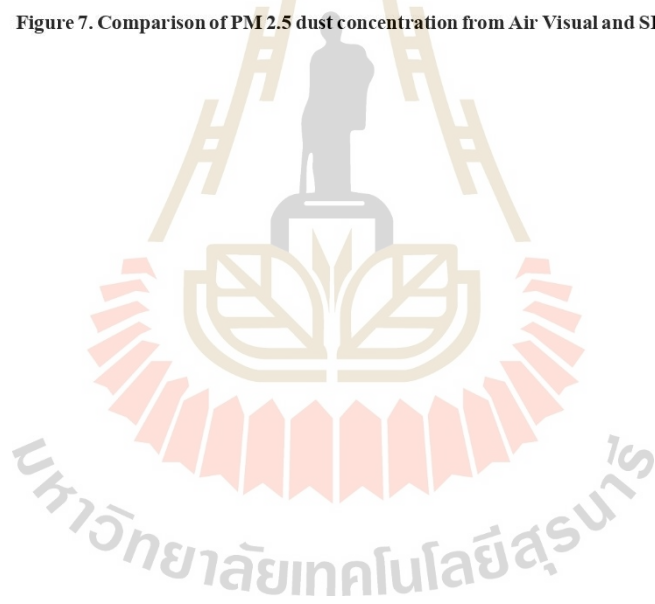
227

228

229 **Figure 7. Comparison of PM 2.5 dust concentration from Air Visual and SPS30 sensor**

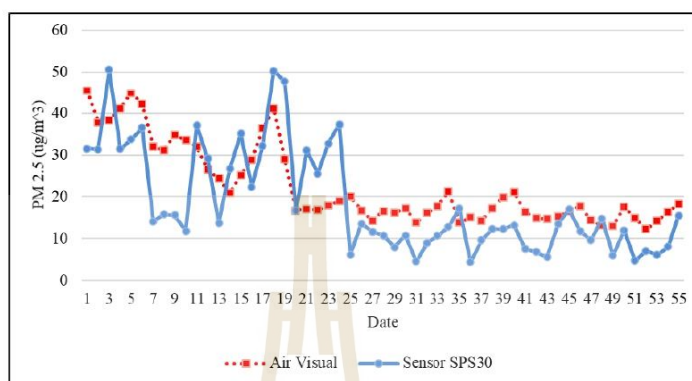
230

231





232

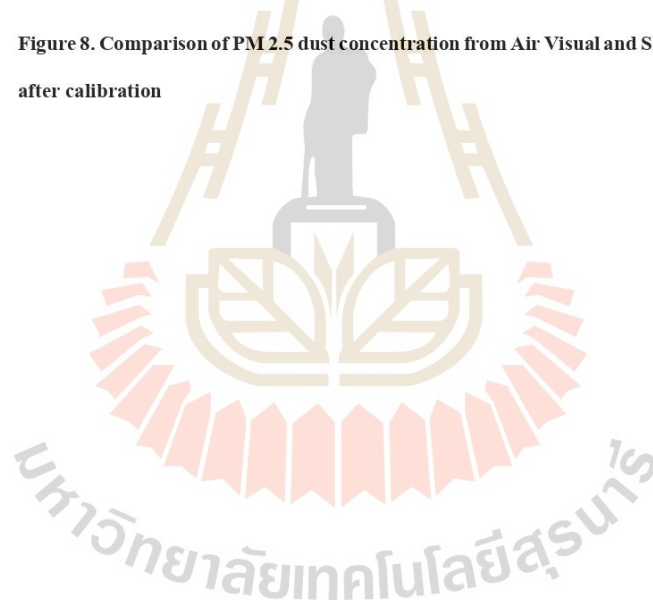


233

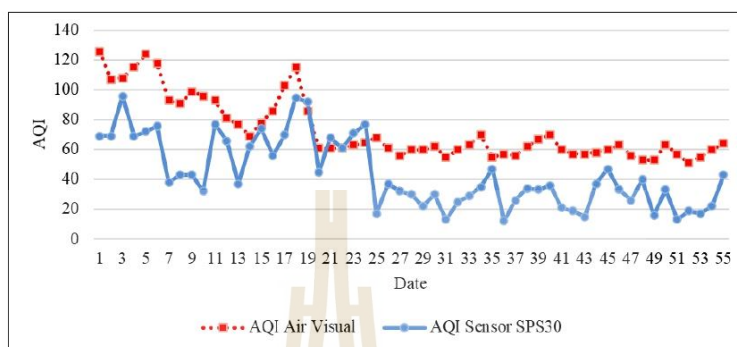
234

235 **Figure 8. Comparison of PM<sub>2.5</sub> dust concentration from Air Visual and SPS30 sensor**236 **after calibration**

237



238



239

240

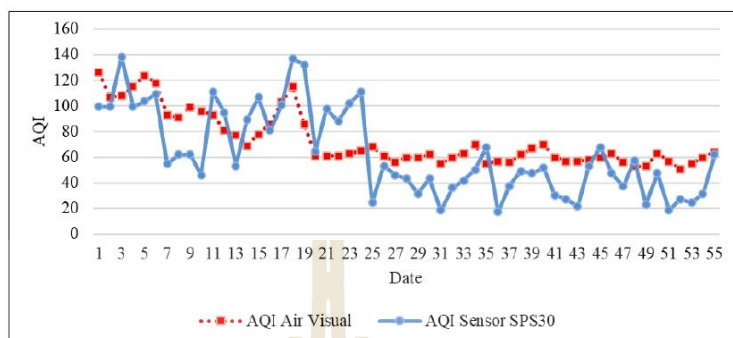
241

Figure 9. Comparison of Air Quality Index from Air Visual and SPS30 sensor

242

243





244

245

246 **Figure 10. Comparison of Air Quality Index from Air Visual and SPS30 sensor after**247 **calibration**

248



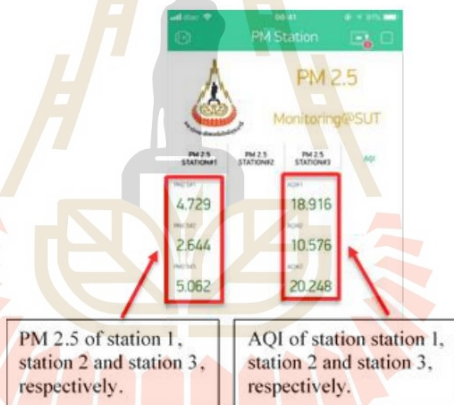
249



250

251

(a)



252

253

(b)

254 Figure 11. (a) PM<sub>2.5</sub> of station 1, station 2 and station 3 and (b) PM<sub>2.5</sub> and AQI of  
 255 station 1, station 2 and station 3 on Blynk application

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวณิชมล สว่างไสว เกิดเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พุทธศักราช 2539 ภูมิลำเนาอยู่ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนวัดสระแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุรธรรมพิทักษ์ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมาและสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากนั้นได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา

ระหว่างศึกษาได้นำเสนอบทความและเข้าร่วมประชุมในงานประชุมนานาชาติ The SUT International Virtual Conference on Science and Technology (IVCST 2020) ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา วันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2563



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี