ระบบตรวจวัดฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างอาคารโดยเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ

DUST MONITORING SYSTEM IN BUILDING CONSTRUCTION PROJECTS BY UNMANNED AERIAL VEHICLES

ภูมิ ฉั่วสุวรรณ์[1] และ รศ.ดร.ธนิต ธงทอง[1]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, จังหวัดกรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย
*Corresponding author address: tanit.t@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญมาก โดยเมืองใหญ่ทั่วโลกต่างประสบปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กมีค่าเกินมาตรฐาน โดยในบางช่วงเวลานั้นกรุงเทพมหานครติดอันดับเมืองที่มีมลพิษสูงสุดของโลก ซึ่งอุตสาหกรรมการก่อสร้างมักได้รับการวิพากษ์วิจารณ์ว่าเป็นหนึ่งในผู้ก่อมลพิษ โดยเฉพาะโครงการก่อสร้างอาคาร เนื่องจากฝุ่นละอองจากการก่อสร้างอาคารสามารถปลิวหรือฟุ้งกระจายไปได้ไกล งานวิจัยนี้จึงต้องการนำเสนอระบบตรวจวัดฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างอาคาร โดยนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับและเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 มาใช้ในการตรวจวัดการกระจายตัวของฝุ่นละออง เนื่องจากการวัดปริมาณฝุ่นละอองในปัจจุบันนั้นเป็นการติดเครื่องมือวัดไว้ที่จุดใดจุดหนึ่ง ดังนั้นการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับมาใช้นั้นจะทำให้สามารถวัดปริมาณฝุ่นละอองได้ทุกจุดที่ต้องการ ซึ่งเมื่อนำค่าปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้และค่าตำแหน่ง (พิกัด) มาทำการพล็อตกราฟการกระจายตัวใน Building Information Modeling (BIM) จะทำให้เห็นการกระจายตัวของฝุ่นละอองจากการก่อสร้างอาคารไปยังพื้นที่บริเวณโดยรอบ หลังจากนั้นทำการทดลองวัดปริมาณฝุ่นละอองในห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบการทำงานของระบบวัดปริมาณฝุ่นละออง เพื่อให้เกิดความถูกต้องและสะดวกรวดเร็วเมื่อนำไปใช้วัดที่สถานที่จริง

คำสำคัญ: *โครงการก่อสร้างอาคาร, PM 2.5 และ PM 10, อากาศยานไร้คนขับ, เซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง*

Abstract

At present, air pollution is very a prevalent problem since many large cities are facing with dust particles of PM 2.5 and PM 10 exceeding the unhealthy standard value. Bangkok sometimes was ranked as the world's most polluted city. Construction projects have often been criticized as one of the polluters, especially for building constructions that dust from construction activities can spread further than other types of projects. Therefore, this research proposes a dust measurement system for the building construction project by using Unmanned Aerial Vehicles integrated with PM2.5 and PM10 sensors to measure dust dispersion. Nowadays measuring dust particle concentration in building construction sites is done by installing a measuring device at a specific location. Using Unmanned Aerial Vehicles with the designed tool, on the other hand, supports users to measure amount of dust particle dispersed from the construction at any desired areas. By using the measured dust particle concentration and coordinates to plot the dispersion graph in Building Information Modeling (BIM), it will show the dust dispersion from the building construction to the surrounding area. After that, a dust measurement experiment was conducted in the laboratory to test the operation of the dust measurement system to be accurate and convenient when used to measure at the building construction projects.

Keywords: *Building construction projects, PM 2.5 and PM 10, Unmanned Aerial Vehicles, Dust sensors*

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศนับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญมาก โดยเมืองใหญ่ทั่วโลกต่างประสบปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กมีค่าเกินมาตรฐาน ซึ่งข้อมูลจากองค์การอนามัยโลกกำหนดให้ฝุ่นละออง PM2.5 จัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 เป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ตั้งแต่ปี 2556 ซึ่งเป็นสาเหตุให้ 1 ใน 8 ของประชากรโลกเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยอากาศที่มีปริมาณฝุ่นสูงเกินมาตรฐานสามารถทะลุถุงลมปอดเข้าสู่เส้นเลือดทำให้เกิดการอุดตัน เกิดภาวะหัวใจล้มเหลว และยังเป็นสาเหตุในการเกิดโรคมะเร็ง [1]

องค์กร Greenpeace ซึ่งเป็นองค์การสาธารณประโยชน์นานาชาติที่ดำเนินกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อมและสันติภาพระบุอันดับประเทศที่มีสภาพอากาศย่ำแย่ โดยกรุงเทพมหานคร ประเทศไทยติดอันดับมีคุณภาพอากาศแย่เป็นอันดับ 9 ของโลก [2] และในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยถูกจัดอยู่ในอันดับที่ 23 ของโลก ในฐานะประเทศที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีของ PM2.5 มากที่สุด โดยประเทศไทยมักประสบปัญหาฝุ่นละอองในช่วงฤดูหนาว โดย PM 2.5 คือฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน อาจเทียบได้ว่ามี

ขนาดประมาณ 1 ใน 25 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมมนุษย์ ขนาดเล็กมากจนขนจมูกของมนุษย์นั้นไม่สามารถกรองได้ ทำให้ฝุ่นละอองชนิดนี้สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใจ และกระแสเลือด โดยกลุ่มเสี่ยงที่ได้รับผลกระทบได้ง่ายได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับทางเดินหายใจ

ปัญหาฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลนั้นเกิดจากโครงการก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่ การปรับปรุงถนน และการก่อสร้างอาคาร [3] ซึ่งอุตสาหกรรมการก่อสร้างมักได้รับการวิพากษ์วิจารณ์ว่าเป็นหนึ่งในผู้ก่อมลพิษหนักหน่วง ซึ่งในปัจจุบันและอนาคตนั้นมีโครงการก่อสร้างอาคารจำนวนมากในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองเนื่องจากฝุ่นละอองจากการก่อสร้างอาคารสามารถปลิวหรือฟุ้งกระจายไปได้ไกล โดยฝุ่นละอองจากการก่อสร้างอาคารเกิดจากกิจกรรมก่อสร้างมากมาย เช่น การขุดดิน การตัด การเลื่อย การสกัด การขัดผิววัสดุและการทาสี ฝุ่นจากผงปูนซีเมนต์ เป็นต้น นอกจากนั้นโครงการก่อสร้างอาคารบางโครงการมักไม่เอาใจใส่ในการทำมาตรการป้องกันฝุ่นละออง ไม่ทำที่ป้องกัน ไม่มีการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง ทำให้ฝุ่นละอองเกิดการฟุ้งกระจายไปยังบริเวณโดยรอบ ซึ่งสร้างความเดือดร้อนให้แก่ประชาชนที่อาศัยบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ก่อสร้าง

ในอดีตนั้นเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับหรือโดรน ถูกใช้ในกิจกรรมทางทหารเป็นหลัก แต่ในปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆเนื่องจากสามารถใช้ลดต้นทุนในด้านแรงงาน อากาศยานไร้คนขับไม่จำเป็นต้องใช้ถนนและสามารถเข้าถึงสถานที่ที่ทำได้ยาก ทำให้อากาศยานไร้คนขับสามารถเข้าถึงสภาพแวดล้อมที่อันตรายที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ [4] นอกจากนั้นอากาศยานไร้คนขับได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมโยธามากมาย เช่น เก็บข้อมูลระดับผิวดิน ตรวจสอบความสมบูรณ์ของโครงสร้าง ตรวจสภาพการจราจร เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงต้องการนำเสนอระบบตรวจวัดฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างอาคาร โดยนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับและเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM 2.5 และ PM 10 มาใช้ในการตรวจวัดการกระจายตัวของฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างอาคาร เนื่องจากการวัดปริมาณฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างอาคารในปัจจุบันนั้นเป็นการติดเครื่องมือวัดไว้ที่จุดใดจุดหนึ่ง หรือให้คนงานถือเครื่องมือวัดเดินไปบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ทำให้ทราบค่าปริมาณฝุ่นละอองบริเวณภายในอาคาร หรือภายในโครงการก่อสร้างเท่านั้น ซึ่งค่าปริมาณฝุ่นละอองนี้อาจไม่สะท้อนถึงปัญหาเนื่องจากไม่ทราบค่าที่กระจายไปยังบริเวณโดยรอบ ซึ่งในการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับมาใช้นั้นจะทำให้สามารถวัดปริมาณฝุ่นละอองได้ทุกจุดที่ต้องการอย่างสะดวกและรวดเร็ว ทำให้เห็นการกระจายตัวของฝุ่นละออง เนื่องจากอากาศยานไร้คนขับสามารถบินไปตามตำแหน่งที่ผู้บังคับโดรนบังคับหรือบินตามตำแหน่ง GPS ที่ผู้บังคับสั่งการ นอกจากนั้นยังถ่ายภาพและส่งค่าปริมาณฝุ่นละอองจากเซ็นเซอร์มายังผู้วิจัยได้ทันที ซึ่งเมื่อนำค่าปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้และค่าตำแหน่ง (พิกัด) มาทำการพล็อตกราฟการกระจายตัว (Model 3 มิติ) ใน Building Information Modeling (BIM) จะทำให้เห็นการกระจายตัวของฝุ่นละอองจากโครงการก่อสร้างอาคารไปยังพื้นที่บริเวณชุมชนโดยรอบ หลังจากนั้นทำการทดสอบการทำงานของระบบวัดปริมาณฝุ่นละออง เพื่อให้เกิดความถูกต้องและสะดวกรวดเร็วเมื่อนำระบบวัดปริมาณฝุ่นละอองนี้ไปใช้วัดที่สถานที่จริง

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. *นิยามฝุ่นละออง*

ฝุ่นละออง (Particulate Matter) หมายถึง การผสมของอนุภาคของแข็งและหยดของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ [5]

PM10 หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course Particle) ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน

PM2.5 หมายถึง ฝุ่นละเอียด (Final Particles) ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยเส้นผมของมนุษย์โดยเฉลี่ยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 70 ไมครอน ทำให้มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคละเอียดที่ใหญ่ที่สุดถึง 30 เท่า

2.2. *ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ*

ปัญหาฝุ่นละอองถูกรายงานว่าเป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างร้ายแรง ก่อให้เกิดโรคหัวใจ หลอดเลือดและระบบทางเดินหายใจ ส่งผลให้ประเทศต่างๆทั่วโลกได้กำหนดมาตรฐานทางอากาศที่กำหนดขีดจำกัดสำหรับความเข้มข้นของฝุ่นละออง (PM) [6] โดยค่ามาตรฐานและวิธีการตรวจวัดฝุ่นละอองในประเทศไทยมีดังนี้ [7] ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ในเวลา 24 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในเวลา 1 ปีจะต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในเวลา 24 ชั่วโมงจะต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในเวลา 1 ปีจะต้องไม่เกิน 0.025 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.3. *กิจกรรมก่อสร้างที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง*

สาเหตุหลักของปัญหาฝุ่นละอองในเมืองใหญ่มาจากจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์และจากการก่อสร้าง ซึ่งอุตสาหกรรมการก่อสร้างมักได้รับการวิพากษ์วิจารณ์ว่าเป็นหนึ่งในผู้ก่อมลพิษทางอากาศ โดยงานก่อสร้างปล่อยฝุ่นละอองสู่ชั้นบรรยากาศจำนวนมาก ฝุ่นก่อสร้างมีต้นกำเนิดมาจากกิจกรรมนอกสถานที่หลายประเภท เช่น การขุดเจาะ การขนส่งวัสดุ การเก็บวัสดุในพื้นที่เปิดโล่ง งานคอนกรีตและปูน การตัดและการบรรจุ ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ซึ่งเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ผลกระทบ

จากฝุ่นก่อสร้างก่อความรำคาญแก่คนงานในพื้นที่ก่อสร้างและมีผลกระทบต่อบริเวณชุมชนโดยรอบ [8]

กิจกรรมในหน่วยงานก่อสร้างที่ทำให้เกิดฝุ่นละออง ได้แก่ งานดิน งานคอนกรีต งานไม้ การขนส่ง การจัดเก็บวัสดุ งานสถาปัตยกรรมและการตกแต่ง คือ การตัด การสกัด การขัด การเจาะ และยังมีการฉีดพ่น การทาสี การทำความสะอาด และการเผาไหม้ของเครื่องจักรกล เครื่องยนต์

ฝุ่นละอองจากการก่อสร้างอาคาร คือฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆในการก่อสร้างอาคาร มักจะมีปัญหามากในเมืองใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานคร โดยการก่อสร้างอาคารในประเทศไทยมักมีปัญหาจากการสร้างอาคารที่ชิดติดกับเขตพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งทำให้กระแสลมสามารถพัดพาฝุ่นละอองจากการก่อสร้างอาคารปลิวฟุ้งกระจายไปก่อเหตุเดือดร้อนรำคาญยังอาคารบ้านเรือนที่อาศัยอยู่ใกล้เคียง เนื่องจากฝุ่นละอองจากการก่อสร้างอาคารสูงสามารถปลิวหรือฟุ้งกระจายไปได้ไกล [9]

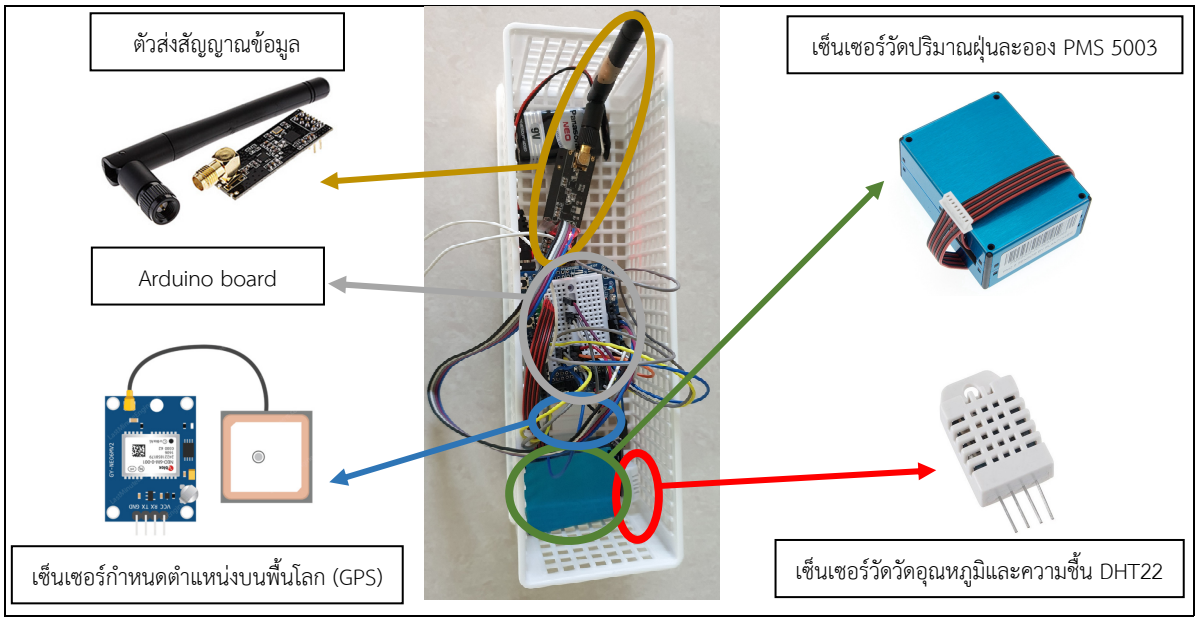
3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนั้นเริ่มจากศึกษาและเก็บข้อมูลปัญหาฝุ่นละอองในโครงการก่อสร้างอาคาร วิธีการตรวจวัดฝุ่นละอองในปัจจุบัน เพื่อนำมาวิเคราะห์สาเหตุและปัญหาที่เกิดขึ้น พบว่าในปัจจุบันนั้นการวัดปริมาณฝุ่นละอองเป็นการติดเครื่องมือวัดไว้ที่จุดใดจุดหนึ่ง หรือให้คนงานถือเครื่องมือวัดเดินไปบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากตัวผู้วัดและยังเป็นการวัดบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ทำให้ทราบค่าปริมาณฝุ่นละอองบริเวณภายในอาคาร หรือภายในโครงการก่อสร้างเท่านั้น จากนั้นทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งพัฒนาระบบที่ใช้ในการวัดปริมาณฝุ่นละออง โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม Arduino IDE กับเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่นละออง (PM2.5 และ PM10) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น เซ็นเซอร์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) และตัวส่งสัญญาณข้อมูล มาติดกับอากาศยานไร้คนขับ เพื่อนำไปบินวัดปริมาณฝุ่นละอองรอบๆตัวอาคาร หลังจากนั้นเซ็นเซอร์จะส่งค่าต่างๆมายังคอมพิวเตอร์ของผู้วิจัยทันที เพื่อนำค่าปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้และค่าตำแหน่ง (พิกัด) มาทำการพล็อตกราฟการกระจายตัวใน Building Information Modeling (BIM) ซึ่งจะทำให้เห็นการกระจายตัวของฝุ่นละอองจากโครงการก่อสร้างอาคารไปยังพื้นที่บริเวณชุมชนโดยรอบ หลังจากนั้นทำการทดสอบการทำงานของระบบวัดปริมาณฝุ่นละออง โดยทำการทดลองวัดปริมาณฝุ่นละอองในห้องปฏิบัติการเพื่อให้เกิดความถูกต้องและสะดวกรวดเร็วเมื่อนำระบบวัดปริมาณฝุ่นละอองนี้ไปใช้วัดที่สถานที่จริง

4. ระบบวัดปริมาณฝุ่นละออง

ระบบที่ใช้ในการวัดปริมาณฝุ่นละอองนั้นประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1. โดรนที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณฝุ่นละออง อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น และอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) 2. เครื่องมือวัดความเร็วลม 3. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล โดยในส่วนของโดรนจะทำการผูกตะกร้าไว้ ซึ่งในตะกร้าจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์คือ เซ็นเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น และเซ็นเซอร์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) โดยเซ็นเซอร์เหล่านี้จะใช้พลังงานจากถ่าน ซึ่งเซ็นเซอร์ทั้งหมดจะต่ออยู่กับบอร์ด Arduino โดยบอร์ด Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ที่ใช้ติดต่อสื่อสารและควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยการเขียนโปรแกรมให้กับ MCU โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE เพื่อควบคุมการรับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าตามเงื่อนไขต่างๆ และโมดูลสื่อสารไร้สาย (ตัวส่งสัญญาณข้อมูล) เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5 และ PM10) อุณหภูมิและความชื้น และตำแหน่งที่ทำการวัดปริมาณฝุ่นละอองจากโดรนมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบไฟล์ Excel หลังจากนั้นนำค่าปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้และค่าตำแหน่ง (พิกัด) มาทำการพล็อตกราฟการกระจายตัวใน Building Information Modeling (BIM) โดยใช้ส่วนเสริม (Add-Ins) ที่ชื่อว่า Dynamo ซึ่งรายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบวัดปริมาณฝุ่นละอองมีดังนี้

รูปที่ 1 รูปภาพแสดงโดรนที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณฝุ่นละออง อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น และอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS)



รูปที่ 2 รูปภาพแสดงอุปกรณ์ในตะกร้าที่ถูกผูกไว้กับโดรน ซึ่งประกอบไปด้วย Arduino board ถ่าน เซ็นเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น เซ็นเซอร์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) และตัวส่งสัญญาณข้อมูล

4.1. *ARDUINO BOARD*

Arduino Board นั้นมีหลากหลายรุ่นโดยผู้วิจัยเลือกใช้รุ่น Arduino Uno มีขนาดประมาณ 68.6 x 53.4 mm. น้ำหนัก 25 กรัม ไมโครคอนโทรลเลอร์คือ ATmega 328 เนื่องจากเป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยม ราคาไม่แพง มีช่องสัญญาณที่สามารถเสียบได้ง่าย ส่วนใหญ่โปรเจคและ Library ต่างๆที่พัฒนาขึ้นมาจะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก นอกจากนั้นหาก MCU เกิดการเสียหายผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย

4.2. *เซ็นเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละออง*

เซ็นเซอร์วัดฝุ่นละอองนั้นใช้อุปกรณ์ของ Digital universal particle concentration sensor (PMS 5003) เนื่องจากสามารถวัดขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองได้ถึง 3 ขนาด คือ PM1 PM2.5 และ PM10 แสดงข้อมูลตามเวลาจริง (Real time) และมีการป้องกันการรบกวนการทำงานจากสภาวะแวดล้อมภายนอก โดย PMS 5003 ใช้เพื่อนับจำนวนอนุภาคแขวนลอยในอากาศ และส่งออกในรูปแบบของอินเทอร์เฟซดิจิตอล

เซ็นเซอร์วัดฝุ่นละออง PMS 5003 นั้นวัดการกระเจิงแสงที่มุม 90 องศาด้วยเครื่องตรวจจับโฟโตไดโอดที่แปลงแสงที่กระจัดกระจายเป็นพัลส์แรงดันไฟฟ้า โดยแหล่งกำเนิดแสงของ PMS 5003 เป็นเลเซอร์ที่ทำงานที่ความยาวคลื่น 680 ± 10 นาโนเมตร เซนเซอร์ถูกแบ่งออกเป็นสองชั้น อากาศจะเข้าสู่เครื่องวัดที่ระดับต่ำกว่าและจะเดินทางผ่านระยะเลเซอร์และโผล่ออกมาผ่านรูในระดับเลเซอร์ จากนั้นอากาศจะเข้าสู่เส้นทางของเลเซอร์และแสงกระจัดกระจายจะถูกใช้เพื่อประเมินความเข้มข้นของฝุ่นละออง (PM) ซึ่งมีพัดลมขนาดเล็กทำหน้าที่ดึงอากาศผ่านอุปกรณ์ จำนวนอนุภาคคำนวณโดยการนับพัลส์จากสัญญาณกระเจิง โดยช่วงการตรวจจับฝุ่นละอองที่มีประสิทธิภาพคือ 0-500 mg/m3 ซึ่งมีความไม่แน่นอนอยู่ที่ ±10 mg/m3 โดยมีอุณหภูมิในการทำงานอยู่ในช่วง -10 ถึง +60 องศาเซลเซียส [10]

ผลลัพธ์ที่ได้จากเซ็นเซอร์วัดฝุ่นละออง PMS 5003 คือจำนวนของแต่ละอนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาดแตกต่างกันต่อหน่วยปริมาตร (PM1 PM2.5 PM10) โดยปริมาตรหน่วยของจำนวนอนุภาคคือ 0.1L และหน่วยของความเข้มข้นของมวลคือ μg/m³

4.3. *เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น*

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นนั้นใช้ DHT22 เนื่องจากเป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นที่มีความแม่นยำสูงในการวัด สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -40 องศาเซลเซียส ถึง +80 องศาเซลเซียส โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.5 องศาเซลเซียส และวัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 0-100 %RH โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 2-5 %RH เป็นเซ็นเซอร์ราคาไม่แพง น้ำหนักเบา เหมาะกับการติดบนโดรนเพื่อวัดความชื้นและอุณหภูมิ

4.4. *เซ็นเซอร์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS)*

เซ็นเซอร์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) นั้นใช้ GPS Module GY-NEO6MV2 เนื่องจากใช้พลังงานต่ำโดยใช้กระแสไฟเพียง 45 mA. (เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่) ราคาไม่แพง ง่ายต่อการเชื่อมต่อ ซึ่งข้อมูลที่ได้รับจะแสดงในรูปอินเทอร์เฟซแบบอนุกรมเป็นประโยค National Marine Electronics Association หรือ NMEA โดย NMEA คือรูปแบบข้อความมาตรฐานสำหรับ

เครื่องรับ GPS เกือบทั้งหมด

NMEA ถูกจัดรูปแบบเป็นบรรทัดข้อมูลที่เรียกว่าประโยค แต่ละประโยคจะคั่นด้วยจุลภาคเพื่อให้ง่ายต่อการแยกวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ ประโยค NMEA เหล่านี้ถูกส่งออกในช่วงเวลาที่เรียกว่าอัตราการอัปเดต โมดูล GPS NEO-6M จะอัปเดตข้อมูลหนึ่งครั้งต่อวินาที (ความถี่ 1Hz) โดยข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่ผู้วิจัยนำมาใช้จะแสดงในรูปละติจูด ลองจิจูด เช่น 13.74448, 100.58209

4.5. *ตัวรับและตัวส่งสัญญาณข้อมูล*

ตัวรับและตัวส่งสัญญาณข้อมูลนั้นใช้อุปกรณ์โมดูลสื่อสารไร้สายรุ่น NRF24L01 เนื่องจากสามารถเขียนโปรแกรมให้เป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่งสัญญาณ มีความเร็ว 2.4 G จึงสื่อสารได้รวดเร็วและไม่จำเป็นต้องใช้เสาอากาศที่ยาว มีขนาดเล็กสะดวกในการต่อใช้งาน สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบโดยสามารถส่งสัญญาณได้ในระยะไม่เกิน 500 เมตร โดยตัวส่งสัญญาณจะส่งค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆที่ติดอยู่กับโดรนมายังตัวรับสัญญาณข้อมูลที่ต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อจัดเก็บข้อมูลในการนำไปวิเคราะห์ต่อไป

4.6. *เครื่องมือวัดความเร็วลม*

เครื่องวัดความเร็วลมนั้นใช้อุปกรณ์คือ เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ (AS816) เนื่องจากอุปกรณ์มีความคงทน ระบบมีความเสถียรมาก มีความแม่นยำสูงในการวัดความเร็วลม ถูกออกแบบให้มีขนาดกระทัดรัด สามารถวัดอุณหภูมิได้ทั้งองศาฟาเรนไฮต์ (32-122 °F) และ องศาเซลเซียส (0-50 °C) และสามารถวัดความเร็วลมได้หลายหน่วยคือ เมตรต่อวินาที (0 - 30 m/s) กิโลเมตรต่อชั่วโมง (0 - 108 km/h) และไมล์ต่อชั่วโมง (0 - 67 mph) โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ±5% ซึ่งความเร็วของลมขณะทำการวัดฝุ่นละอองต้องไม่เกิน 5 เมตรต่อวินาที หากความเร็วลมมากกว่า 5 เมตรต่อวินาที จะทำให้ค่าปริมาณฝุ่นละอองมีความคลาดเคลื่อน โดยผู้วิจัยจะถือเครื่องมือวัดความเร็วลมไปทำการวัดบริเวณโครงการก่อสร้างโดยรอบก่อนทำการบินวัดปริมาณฝุ่นละอองโดยอากาศยานไร้คนขับ

4.7. *เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล*

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ คือตัวรับสัญญาณข้อมูล เพื่อใช้ในการรับข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง อุณหภูมิและความชื้น และตำแหน่งที่ทำการวัดปริมาณฝุ่นละอองจากตัวส่งสัญญาณข้อมูลที่อยู่ในตะกร้าที่ห้อยไว้กับโดรน โดยผู้วิจัยใช้โปรแกรม Arduino IDE ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เครื่องมือสำหรับพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C หรือ C++ สำหรับควบคุมบอร์ด Arduino และเซ็นเซอร์ต่างๆ จากนั้นใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการแสดงข้อมูลและเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5 และ PM10) อุณหภูมิและความชื้น และตำแหน่งที่ทำการวัดปริมาณฝุ่นละออง ดังรูปที่ 4 เพื่อง่ายต่อการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและนำไปใช้ในการพล็อตกราฟการกระจายตัวของฝุ่นละอองต่อไป

	A	B	C	D	E	F	G
1	เวลา (TIME)	ปริมาณฝุ่นละออง		ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่ง (Decimal Degrees)	
2		PM2.5 (µg/m3)	PM10.0 (µg/m3)			ละติจูด	ลองจิจูด
3	12:03:07 PM	9	10	61	33	13.744389	100.58198
4	12:03:13 PM	10	11	61	33	13.744382	100.58195
5	12:03:15 PM	11	11	61	33	13.744382	100.58195
6	12:03:20 PM	10	11	61	33	13.74438	100.58193
7	12:03:25 PM	10	10	61	33	13.74438	100.58193
8	12:03:38 PM	7	7	62	33	13.74438	100.58193
9	12:03:44 PM	6	6	61	34	13.74438	100.58193
10	12:03:48 PM	6	6	63	34	13.74438	100.58193
11	12:03:50 PM	6	6	65	34	13.74438	100.58193
12	12:04:05 PM	10	10	64	35	13.74438	100.58193
13	12:04:11 PM	11	11	62	35	13.744487	100.58199
14	12:04:40 PM	12	14	54	37	13.74452	100.582
15	12:04:42 PM	15	15	54	36	13.74452	100.582

รูปที่ 3 รูปภาพแสดงข้อมูลเวลา ปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5 และ PM10) อุณหภูมิและความชื้น และตำแหน่งที่ทำการวัดปริมาณฝุ่นละอองในโปรแกรม Microsoft Excel แบบ Real time

4.8. *กราฟการกระจายตัวของฝุ่นละออง*

พล็อตกราฟการกระจายตัวของปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดจากการก่อสร้างอาคารในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของฝุ่นละอองไปยังบริเวณชุมชนโดยรอบ โดยพล็อตเป็นจุดพร้อมกับแสดงค่า PM2.5 และ PM10 ซึ่งจะแสดงจุดเป็นสีตามปริมาณค่าฝุ่นละออง โดยสีเป็นสัญลักษณ์เปรียบเทียบระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

ในการพล็อตกราฟนั้นจะทำการพล็อตในโปรแกรม Autodesk Revit เนื่องจาก Autodesk Revit นั้นเป็นเป็นที่รู้จักมากที่สุดสำหรับโปรแกรมที่ใช้งานด้าน Building Information Modeling (BIM) โดย BIM จะเป็นการใช้ระบบคอมพิวเตอร์มาควบคุมกระบวนการต่างๆ ซึ่งโปรแกรมสามารถสร้างแบบจำลองเสมือนของอาคาร 3 มิติที่แม่นยำ นอกจากนั้น BIM ยังสามารถนำไปใช้ในงานด้านวิศวกรรมโยธาอีกมากมาย เช่น การออกแบบ การเขียนแบบ การประมาณราคา การจัดซื้อ รวมไปถึงการวางแผนงานต่างๆของอาคาร ผู้วิจัยจึงเลือกทำการพล็อตกราฟใน Autodesk Revit เนื่องจากเป็นแบบจำลอง 3 มิติ ทำให้เห็นการกระจายตัวของฝุ่นละอองเนื่องจากกิจกรรมการก่อสร้างอาคาร นอกจากนั้นยังเป็นการประยุกต์ใช้ BIM ในงานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

การพล็อตกราฟในโปรแกรม Autodesk Revit นั้นจะใช้ค่าที่ได้จากไฟล์ Microsoft Excel คือปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5 หรือ PM10) และค่าพิกัดละติจูด ลองจิจูดที่ได้จาก เซ็นเซอร์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) โดยต้องทำการแปลงค่าละติจูด ลองจิจูดเป็นค่าพิกัด X Y (ระบบ UTM) และค่าพิกัด Z (ความสูงในการวัดฝุ่นละออง) ซึ่งได้มาจากเซ็นเซอร์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS)

หรือข้อมูลจากรีโมทบังคับของอากาศยานไร้คนขับขณะทำการบินวัดปริมาณฝุ่นละออง ซึ่งในการพล็อตจุดเป็นสีต่างๆตามปริมาณค่าฝุ่นละอองในโปรแกรม Autodesk Revit นั้นต้องใช้ส่วนเสริม (Add-Ins) ที่ชื่อว่า Dynamo โดย Dynamo คือแพลตฟอร์มการเขียนโปรแกรมเชิงภาพ (Visual Programming) ด้วยการใช้เครื่องมือเชิงภาพในการสร้างชุดขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่สามารถให้ผู้ใช้งานแก้ไข ดัดแปลง หรือนำไปต่อยอดและพัฒนาเป็นเครื่องมือของตนเองได้ นอกจากนั้นยังสามารถใช้เพื่อสร้างรูปทรงเรขาคณิตได้แบบ Real-time โดยทำการเขียนโปรแกรมสร้างแบบ 3 มิติโดยใช้การกำหนดเป็น Diagram ของแนวความคิดซึ่งย่อการทำงานลงเป็นจุดที่เรียกว่า Node โดยการต่อสาย (Wire) เข้ากับปม (Node) ของชุดคำสั่งเพื่อเป็นการระบุการไหลของตรรกะที่เกิดขึ้น ตรรกะนั้นจะต้องไหลจากซ้ายไปขวาเสมอ และต้องมีการนำเข้าข้อมูลและการส่งออกข้อมูลของแต่ละชุดคำสั่ง

5. การทดลองวัดฝุ่นละอองในห้องปฏิบัติการ

ทำการทดลองวัดฝุ่นละอองในห้องปฏิบัติการ (สเกลขนาดเล็ก) โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. ทำการทดลองขณะที่มีความเร็วลม 0-1 เมตรต่อวินาที (สภาพอากาศปกติ) 2. ทำการทดลองขณะที่มีการเป่าลมเข้าไปในบริเวณที่ทำการทดลองซึ่งมีความเร็วลม 4-5 เมตรต่อวินาที หากความเร็วลมขณะวัดปริมาณฝุ่นละอองมากกว่า 5 เมตรต่อวินาที จะทำให้ค่าปริมาณฝุ่นละอองมีความคลาดเคลื่อน โดยบริเวณพื้นที่ที่ทำการทดลองมีขนาด 180 เซนติเมตร × 180 เซนติเมตร แบ่งจุดที่ทำการวัดออกเป็นด้านละ 7 จุด แต่ละจุดห่างกัน 30 เซนติเมตร รวมทั้งหมด 49 จุด โดยจะทำการวัดทั้งหมด 3 ระดับความสูง คือ 15 เซนติเมตร 30 เซนติเมตร และ 45 เซนติเมตร รวมจุดที่ทำการทดลองวัดทั้งหมด 147 จุด โดยอาคารจำลองอยู่บริเวณกึ่งกลางของพื้นที่ที่ทำการทดลอง (พิกัด X=0 และ Y=0) โดยอาคารจำลองมีขนาดความสูง 22.5 เซนติเมตร บนอาคารจำลองได้ทำการจุดธูปเพื่อให้เกิดฝุ่นละอองบริเวณโดยรอบพื้นที่ทดลอง ซึ่งในการวัดปริมาณฝุ่นละอองนั้นจะวัดค่า PM2.5 ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ผลที่ได้จากการทดลองแบบที่ 1 ทำการทดลองขณะที่ลมพัดปกติ (สภาพอากาศปกติ) ซึ่งมีความเร็วลม 0-1 เมตรต่อวินาที เป็นดังรูปที่ 4 โดยสภาพอากาศปกติขณะนั้นมีค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5) เท่ากับ 31-35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5) ต่ำที่สุดที่วัดได้จากการทดลองเท่ากับ 31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5) สูงที่สุดที่วัดได้เท่ากับ 595 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5) บริเวณพื้นที่ทดลองขณะทำการทดลองเท่ากับ 108.13 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากการนำค่า PM2.5 และค่าพิกัดไปพล็อตกราฟเพื่อดูการกระจายตัวของฝุ่นละอองใน

พิกัด			ปริมาณฝุ่นละออง	พิกัด			ปริมาณฝุ่นละออง
x (cm.)	y (cm.)	z (ความสูง,cm.)	pm2.5 (µg/m3)	x (cm.)	y (cm.)	z (ความสูง,cm.)	pm2.5 (µg/m3)
-90	90	15	55	0	90	30	106
-90	60	15	67	0	60	30	97
-90	30	15	53	0	30	30	269
-90	0	15	595	0	0	30	154
-90	-30	15	279	0	-30	30	500
-90	-60	15	58	0	-60	30	297
-90	-90	15	51	0	-90	30	69
-60	90	15	55	30	90	30	69
-60	60	15	58	30	60	30	68
-60	30	15	401	30	30	30	94
-60	0	15	185	30	0	30	239
-60	-30	15	68	30	-30	30	165
-60	-60	15	58	30	-60	30	130
-60	-90	15	67	30	-90	30	85
-30	90	15	81	60	90	30	77
-30	60	15	69	60	60	30	71
-30	30	15	66	60	30	30	124
-30	0	15	490	60	0	30	388
-30	-30	15	181	60	-30	30	253
-30	-60	15	63	60	-60	30	73
-30	-90	15	53	60	-90	30	67
0	90	15	63	90	90	30	69
0	60	15	62	90	60	30	69
0	30	15	76	90	30	30	65
0	0	15	85	90	0	30	68
0	-30	15	67	90	-30	30	70
0	-60	15	64	90	-60	30	64
0	-90	15	245	90	-90	30	215
30	90	15	155	-90	90	45	32
30	60	15	85	-90	60	45	31
30	30	15	69	-90	30	45	183
30	0	15	64	-90	0	45	145
30	-30	15	82	-90	-30	45	191
30	-60	15	101	-90	-60	45	187
30	-90	15	79	-90	-90	45	59
60	90	15	74	-60	90	45	36
60	60	15	72	-60	60	45	34
60	30	15	75	-60	30	45	122
60	0	15	94	-60	0	45	210
60	-30	15	101	-60	-30	45	109
60	-60	15	88	-60	-60	45	35
60	-90	15	75	-60	-90	45	33
90	90	15	66	-30	90	45	33
90	60	15	71	-30	60	45	33
90	30	15	72	-30	30	45	35
90	0	15	78	-30	0	45	33
90	-30	15	72	-30	-30	45	432
90	-60	15	87	-30	-60	45	356
90	-90	15	146	-30	-90	45	161
-90	90	30	67	0	90	45	43
-90	60	30	125	0	60	45	46
-90	30	30	107	0	30	45	49
-90	0	30	154	0	0	45	53
-90	-30	30	90	0	-30	45	51
-90	-60	30	75	0	-60	45	73
-90	-90	30	72	0	-90	45	87
-60	90	30	71	30	90	45	39
-60	60	30	68	30	60	45	51
-60	30	30	68	30	30	45	412
-60	0	30	74	30	0	45	235
-60	-30	30	67	30	-30	45	190
-60	-60	30	66	30	-60	45	84
-60	-90	30	74	30	-90	45	42
-30	90	30	84	60	90	45	53
-30	60	30	89	60	60	45	81
-30	30	30	80	60	30	45	82
-30	0	30	73	60	0	45	71
-30	-30	30	66	60	-30	45	44
-30	-60	30	70	60	-60	45	43
-30	-90	30	68	60	-90	45	44
				90	90	45	48
				90	60	45	35
				90	30	45	32
				90	0	45	33
				90	-30	45	47
				90	-60	45	52
				90	-90	45	41

รูปที่ 4 รูปภาพแสดงตารางผลการทดลองที่ได้จากการทดลองแบบที่ 1 ทำการทดลองขณะที่มีความเร็วลม 0-1 เมตรต่อวินาที (สภาพอากาศปกติ)

โปรแกรม Autodesk Revit โดยกำหนดให้ค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5) ที่อยู่ในช่วง 0-50 µg/m3 เป็นสีเขียว, 51-100 µg/m3 เป็นสีน้ำเงิน, 101-150 µg/m3 เป็นสีชมพู, 151-200 µg/m3 เป็นสีแดง และ 201 µg/m3 ขึ้นไปเป็นสีส้ม พบว่าปริมาณฝุ่นละอองจะมีค่ามากบริเวณที่จุดธูป (จุดกึ่งกลางพื้นที่ทดลองซึ่งมีพิกัด X=0 และ Y=0) และมีการกระจายตัวของฝุ่นละอองไม่เป็นระเบียบ

เนื่องจากขณะทำการวัดทิศทางของลมไม่แน่นอน ดังรูปที่ 6

พิกัด			ปริมาณฝุ่นละออง	พิกัด			ปริมาณฝุ่นละออง
x (cm.)	y (cm.)	z (ความสูง,cm.)	pm2.5 (µg/m3)	x (cm.)	y (cm.)	z (ความสูง,cm.)	pm2.5 (µg/m3)
-90	90	15	75	0	90	30	295
-90	60	15	81	0	60	30	388
-90	30	15	69	0	30	30	413
-90	0	15	58	0	0	30	66
-90	-30	15	55	0	-30	30	41
-90	-60	15	61	0	-60	30	41
-90	-90	15	50	0	-90	30	39
-60	90	15	86	30	90	30	231
-60	60	15	73	30	60	30	117
-60	30	15	42	30	30	30	105
-60	0	15	43	30	0	30	48
-60	-30	15	40	30	-30	30	38
-60	-60	15	40	30	-60	30	39
-60	-90	15	46	30	-90	30	39
-30	90	15	91	60	90	30	115
-30	60	15	142	60	60	30	96
-30	30	15	140	60	30	30	56
-30	0	15	133	60	0	30	47
-30	-30	15	51	60	-30	30	42
-30	-60	15	41	60	-60	30	40
-30	-90	15	38	60	-90	30	39
0	90	15	323	90	90	30	84
0	60	15	350	90	60	30	63
0	30	15	158	90	30	30	35
0	0	15	45	90	0	30	34
0	-30	15	38	90	-30	30	34
0	-60	15	37	90	-60	30	35
0	-90	15	40	90	-90	30	35
30	90	15	175	-90	90	45	65
30	60	15	185	-90	60	45	55
30	30	15	235	-90	30	45	53
30	0	15	147	-90	0	45	45
30	-30	15	40	-90	-30	45	41
30	-60	15	67	-90	-60	45	40
30	-90	15	42	-90	-90	45	40
60	90	15	134	-60	90	45	69
60	60	15	108	-60	60	45	67
60	30	15	58	-60	30	45	36
60	0	15	44	-60	0	45	38
60	-30	15	44	-60	-30	45	38
60	-60	15	41	-60	-60	45	37
60	-90	15	41	-60	-90	45	38
90	90	15	126	-30	90	45	188
90	60	15	106	-30	60	45	173
90	30	15	53	-30	30	45	213
90	0	15	42	-30	0	45	110
90	-30	15	43	-30	-30	45	59
90	-60	15	43	-30	-60	45	37
90	-90	15	44	-30	-90	45	39
-90	90	30	69	0	90	45	92
-90	60	30	71	0	60	45	113
-90	30	30	50	0	30	45	122
-90	0	30	47	0	0	45	142
-90	-30	30	40	0	-30	45	35
-90	-60	30	42	0	-60	45	36
-90	-90	30	41	0	-90	45	37
-60	90	30	92	30	90	45	89
-60	60	30	74	30	60	45	139
-60	30	30	39	30	30	45	158
-60	0	30	38	30	0	45	79
-60	-30	30	37	30	-30	45	63
-60	-60	30	39	30	-60	45	37
-60	-90	30	41	30	-90	45	36
-30	90	30	107	60	90	45	72
-30	60	30	185	60	60	45	65
-30	30	30	204	60	30	45	43
-30	0	30	165	60	0	45	44
-30	-30	30	115	60	-30	45	35
-30	-60	30	42	60	-60	45	35
-30	-90	30	37	60	-90	45	35
				90	90	45	46
				90	60	45	48
				90	30	45	44
				90	0	45	46
				90	-30	45	47
				90	-60	45	47
				90	-90	45	40

รูปที่ 5 รูปภาพแสดงตารางผลการทดลองที่ได้จากการทดลองแบบที่ 2 ทำการทดลองขณะที่มีการเป่าลมเข้าไปในบริเวณที่ทำการทดลองซึ่งมีความเร็วลม 4-5 เมตรต่อวินาที

ผลที่ได้จากการทดลองแบบที่ 2 ทำการทดลองขณะที่มีการเป่าลมเข้าไปในบริเวณที่ทำการทดลองด้วยความเร็วลมประมาณ 4-5 เมตรต่อวินาที เป็นดังรูปที่ 5 ค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5) ต่ำที่สุดที่วัดได้จากการทดลองเท่ากับ 34 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5) สูงที่สุดที่วัดได้เท่ากับ 413 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5) บริเวณพื้นที่ทดลองที่วัดได้เท่ากับ 80.27 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากการนำค่า PM2.5 และค่าพิกัดไปพล็อตกราฟเพื่อดูการกระจายตัวของฝุ่นละอองในโปรแกรม Autodesk Revit พบว่าปริมาณฝุ่นละอองจะมีค่าน้อยบริเวณใกล้กับที่ทำการเป่าลมเข้าไป และมีค่ามากบริเวณที่จุดธูป (จุดกึ่งกลางพื้นที่ทดลอง) และบริเวณที่ลมจากเครื่องกำเนิดลมพัดพาไป โดยการกระจายตัวของฝุ่นละอองจะกระจุกตัวเป็นสีชมพู แดงและส้ม (ปริมาณฝุ่นละอองมีค่ามาก) ดังรูปที่ 7 ที่บริเวณด้านท้ายลมเนื่องจากลมพัดพาฝุ่นละอองไปยังบริเวณดังกล่าว

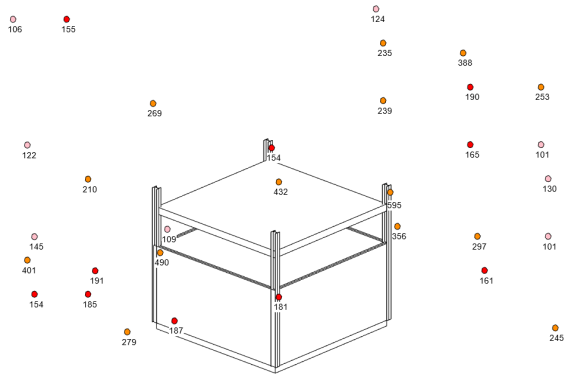
จากการทดลองทั้ง 2 แบบพบว่าแบบที่ 1 นั้นมีการกระจายตัวของฝุ่นละอองไม่เป็นระเบียบ เนื่องจากขณะทำการวัดทิศทางของลมไม่แน่นอน ในขณะที่แบบที่ 2 ปริมาณฝุ่นละอองจะกระจุกตัวเป็นสีชมพู แดงและส้ม (ปริมาณฝุ่นละอองมีค่ามาก) ที่บริเวณด้านท้ายลมเนื่องจากมีการเป่าลมเข้าไปยังบริเวณที่ทำการทดลอง โดยลมที่เป่าเข้าไปนั้นพัดพาฝุ่นละอองไปยังบริเวณดังกล่าวนอกจากนั้นแบบที่ 2 ยังมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละออง (PM2.5) ในบริเวณพื้นที่ทดลองน้อยกว่าแบบที่ 1 เนื่องจากแบบที่ 2 มีการเป่าลมเข้าไปในบริเวณพื้นที่ที่ทำการทดลอง ทำให้ฝุ่นละอองมีการฟุ้งกระจายไปยังบริเวณข้างเคียง ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละออง แบบที่ 2 จึงน้อยกว่าแบบที่ 1

6. บทสรุป

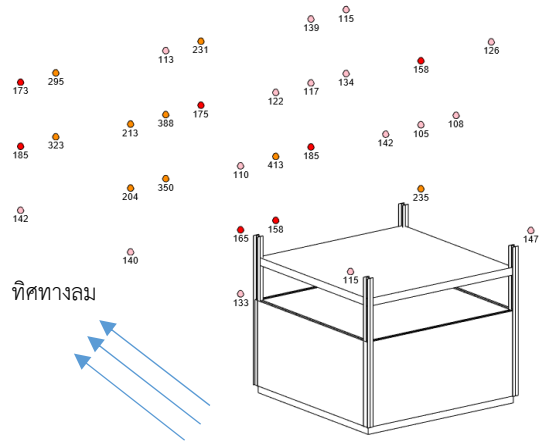
ในปัจจุบันนั้นการวัดปริมาณฝุ่นละอองเป็นการติดเครื่องมือวัดไว้ที่จุดใดจุดหนึ่ง ทำให้ทราบค่าปริมาณฝุ่นละอองบริเวณภายในอาคาร หรือภายในโครงการก่อสร้างเท่านั้น ทำให้ไม่ทราบค่าที่กระจายไปยังบริเวณชุมชนโดยรอบ ผู้วิจัยจึงพัฒนาระบบที่ใช้ในการวัดฝุ่นละออง โดยประยุกต์ใช้เซนเซอร์ตรวจวัดฝุ่นละอองมาติดกับอากาศยานไร้คนขับ ทำให้สามารถวัดปริมาณฝุ่นละอองได้ทุกจุดที่ต้องการอย่างสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งจากการทดลองวัดปริมาณฝุ่นละอองในห้องปฏิบัติการพบว่าระบบวัดปริมาณฝุ่นละอองให้ค่าที่รวดเร็วและแม่นยำ โดยค่าพิกัดที่ได้จากการทดลองเป็นค่าพิกัดที่กำหนดขึ้นเองโดยผู้วิจัย แต่เมื่อไปวัดบริเวณพื้นที่ก่อสร้างจริงค่าพิกัดที่ได้จะมาจากเซ็นเซอร์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) ซึ่งจะอยู่ในรูปละติจูดและลองจิจูด จึงต้องทำการแปลงค่าละติจูดลองจิจูดเป็นค่าพิกัด X Y (ระบบ UTM) และค่าพิกัด Z (ความสูงในการวัดฝุ่นละออง) ซึ่งได้มาจากเซ็นเซอร์กำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) หรือข้อมูลจากรีโมทบังคับของอากาศยานไร้คนขับขณะทำการบิน หลังจากนั้นนำค่าปริมาณฝุ่นละอองและค่าพิกัด X Y และ Z ที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่ผูกติดอยู่กับโดรนซึ่งแสดงผลอยู่ในรูปไฟล์ Microsoft Excel ไปพล็อตกราฟการกระจายตัวของฝุ่นละอองในโปรแกรม Autodesk Revit จะทำให้เห็นการกระจายตัวของฝุ่น

ละอองในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างและบริเวณพื้นที่ข้างเคียง ทำให้สามารถนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆต่อได้ เช่น

โครงการก่อสร้างอาคารคือสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาฝุ่นละออง PM2.5 การมีวัสดุป้องกันฝุ่นละออง (Protection) ช่วยป้องกันฝุ่นละอองได้จริง หรือเปรียบเทียบฝุ่นละอองจากกิจกรรมก่อสร้างต่างๆ ที่กระจายไปยังบริเวณชุมชนโดยรอบ เป็นต้น ซึ่งผลการทดสอบที่สถานที่ก่อสร้างจะนำเสนอในบทความทางวิชาการต่อไป



รูปที่ 6 รูปภาพแสดงกราฟการกระจายตัวของฝุ่นละอองในโปรแกรม AUtodesk revit ของการทดลองแบบที่ 1 โดยแสดงเฉพาะสีชมพู สีแดงและสีส้ม (ปริมาณฝุ่นละอองมากมีค่าอยู่ในช่วง 101 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรขึ้นไป) ซึ่งฝุ่นละอองมีการกระจายตัวไม่เป็นระเบียบ



รูปที่ 7 รูปภาพแสดงกราฟการกระจายตัวของฝุ่นละอองในโปรแกรม AUtodesk revit ของการทดลองแบบที่ 2 โดยแสดงเฉพาะสีชมพู สีแดงและสีส้ม (ปริมาณฝุ่นละอองมากมีค่าอยู่ในช่วง 101 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรขึ้นไป) ซึ่งฝุ่นละอองมีค่ามากบริเวณที่จุดธูป (จุดกึ่งกลางพื้นที่ทดลอง) และบริเวณที่ลมจากเครื่องกำเนิดลมพัดพาไป

7. การอ้างอิง

[1] Theerapong, B. (2018). The Crisis Lessons from PM 2.5 Air Pollution. EAU Heritage Journal Science and Technology, 13(3), 44-58.

[2] Sanook. กรุงเทพฯ ทำสถิติขึ้นอันดับ 9 เมืองที่มีคุณภาพอากาศแย่ที่สุดในโลก. ออนไลน์ [2019], แหล่งที่มา : https://www.sanook.com/news/7642562/ [3 ตุลาคม 2562]

[3] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2019). สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี2561 . หจก .ส .มงคลการพิมพ์, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, 19-33.

[4] Otto, A., Agatz, N., Campbell, J., Golden, B., & Pesch, E. (2018). Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey. Networks, 72(4), 411-458.

[5] United State Environment Protection Agency. Particulate matter. [Online]. 2008. Available from https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM.[2008], August 7]

[6] Vahlsing, C. and Smith, K. R. (2012). "Global review of national ambient air quality standards for PM10 and SO2 (24 h)." Air Quality, Atmosphere & Health 5(4): 393-399.

[7] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2003). คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, 4-32.

[8] Jinding, X., Ye, K., Zuo, J. and Jiang, W. (2018). "Control Dust Pollution on Construction Sites: What Governments Do in China?" Sustainability 10: 2945

[9] วสวัตติ์ เอกพานิช .ปัญหากฎหมายในการจัดการฝุ่นละอองจากการก่อสร้างอาคาร .มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2555. กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

[10] Sayahi, T., Butterfield, A. and Kelly, K.E. (2019). "Long-term field evaluation of the Plantower PMS low-cost particulate matter sensors." Environmental Pollution 245: 932-94