

การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้าง Development of personal dust detector for construction activity

ไชยพัฒน์ ทวีทรัพย์พิทักษ์ และ เพชรรัตน์ ลิ้มสุปรีyaratน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

E-mail: chaiyapat.t@rbru.ac.th, petcharatl@eng.buu.ac.th

▶ บทคัดย่อ ◀

กิจกรรมก่อสร้างรวมถึงการซ่อมแซมปรับปรุงเป็นงานที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยต่อมนุษย์เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะนั้นๆ เช่น เนื้อเยื่อปอด งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับผู้ที่ปฏิบัติงานก่อสร้างหรือปรับปรุงสิ่งก่อสร้าง โดยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นต้องมีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน มีราคาถูกกว่าอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ทั่วไป และสามารถแจ้งเตือนผู้ปฏิบัติงานให้ออกจากพื้นที่ที่มีฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานวิธีการดำเนินงานวิจัยเริ่มจากศึกษาข้อมูลฝุ่นละอองและอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นในปัจจุบัน จากนั้นทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้าง โดยพิจารณาจากความสามารถและราคาของอุปกรณ์ เมื่อพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบแล้วจึงนำมาทดสอบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเทียบกับอุปกรณ์วัดฝุ่นละอองที่ได้มาตรฐาน โดยข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดมาตรฐานค่าเฉลี่ยที่ 24 ชั่วโมงของฝุ่นละออง PM 2.5 จะต้องไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการทดลองพบว่าต้นแบบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าฝุ่นละอองได้ เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดฝุ่นที่ได้มาตรฐานและสามารถแจ้งเตือนแก่ผู้ปฏิบัติงานได้ เพื่อให้สามารถหลีกเลี่ยงกิจกรรมก่อสร้างที่เกิดฝุ่นละอองที่เกินค่ามาตรฐานในสถานที่ปฏิบัติกิจกรรมงานก่อสร้างและมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ทั่วไป

▶ คำสำคัญ : ◀

อุปกรณ์วัดฝุ่นละออง; ฝุ่นละออง; กิจกรรมก่อสร้าง

▶ Abstract ◀

Construction activities including repair and renovation produce fine dust particles which are air pollution and affect human health. When particulate matters enter the respiratory system, they can irritate and damage human organ such as lung tissue. Therefore, this research aims to develop a personal dust detector for construction worker who performs tasks such as building construction and renovation. Size of developed device should be suitable for using at the

construction site and its cost must be cheaper than commercial product. This device must be able to warn the construction worker to avoid the area that dust particles exceed safety standard. Methodology begins by reviewing dust particles information and current dust detectors. Then design and developed processes for personal dust detector were done by considering capability and price of selected devices. After the prototype was finished, it was tested by comparing with commercial product. According to information of Pollution Control Department, the acceptable average level of exposure for people during a 24-hour period is 50 mg/m^3 . The findings indicated that the developed prototype can measure dust particles and also alert the practitioners to avoid construction activities which produce excessive amounts of dust particle in the air. The cost of prototype is cheaper than commercial device as well.

Keywords:

dust detector; dust; construction activity

1. บทนำ

การก่อสร้างในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศเป็นอย่างมาก ทำให้เกิดการจ้างงานและการสร้างรายได้โดยตรง และสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีของคนในประเทศ แต่ในการดำเนินงานก่อสร้างหรือปรับปรุงสิ่งก่อสร้างมักก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงานซึ่งเป็นผู้รับผลกระทบโดยตรงและสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อสุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงานที่สำคัญคือมลพิษทางอากาศหรือฝุ่นละออง ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ฝุ่นละอองคืออนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่ลอยลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งเกิดจากวัตถุที่ถูกทุบ ตี บด หรือกระแทกจนแตกออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ เมื่อถูกกระแสลมพัดมักปลิวกระจายตัวอยู่ในอากาศและตกลงสู่พื้น โดยเวลาในการตกลงขึ้นอยู่กับน้ำหนักของอนุภาคฝุ่น โดยปกติฝุ่นละอองจะมีขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งนิยมแบ่งอนุภาคออกเป็น 3 ช่วงขนาด ได้แก่ ฝุ่นรวม (TSP) ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) [1]

ผลกระทบทั่วไปของฝุ่นละอองที่มีมากในสภาพแวดล้อมในการปฏิบัติงาน ทำให้สุขภาพของผู้ที่ได้รับผลกระทบอ่อนแอ จนกระทั่งส่งผลต่อสภาพจิตใจหดหู่ ไม่สดชื่นแจ่มใสจนอาจเกิดภาวะเครียดได้ หากประกอบกับภาวะบีบคั้นอื่นอาจเกิดผลกระทบที่รุนแรงได้ การสัมผัสกับฝุ่นละอองโดยตรงทำให้เกิดการอักเสบที่ตา ผิวหนังและทางเดินหายใจ รวมถึงระบบประสาทด้วย ฝุ่นละอองยังสามารถส่งผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้อีกด้วย เช่น การสึกกร่อนของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ ความสกปรกของวัตถุ เป็นต้น [2] ปัจจุบันกฎหมายในการจัดการฝุ่นละอองที่เกิดจากการดำเนินกิจกรรมก่อสร้างอาคารมีผลบังคับใช้เฉพาะเขตกรุงเทพมหานครเท่านั้น ไม่ได้ครอบคลุมทั่วประเทศ แต่ยังมีส่วนกฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการจัดการฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง ซึ่งแต่ละฉบับไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการจัดการฝุ่นละอองจากการก่อสร้างโดยเฉพาะ ทำให้ไม่สามารถนำกฎหมายมาใช้ในการจัดการฝุ่นละอองได้อย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพมากพอ จึงเกิดปัญหาและอุปสรรคอยู่หลายครั้ง [3] ดังนั้นผู้ดำเนินงานก่อสร้างจึงจำเป็นต้องระมัดระวังและป้องกันสถานที่ก่อสร้างไม่ให้

มีฝุ่นละอองมากเกินไป เพื่อสุขอนามัยและชีวิตที่ดีของผู้ที่ทำงานในสถานที่ก่อสร้างนั้น รวมถึงประชาชนบริเวณใกล้เคียง ในปัจจุบันเครื่องวัดฝุ่นละอองถูกประดิษฐ์ขึ้นหลากหลายรูปแบบ ส่วนใหญ่มักมีราคาแพง ขนาดใหญ่และไม่เหมาะกับการปฏิบัติงานสำหรับสถานที่ก่อสร้างหรือปรับปรุงสิ่งก่อสร้าง ทำให้ผู้ที่ปฏิบัติงานก่อสร้างหรือปรับปรุงสิ่งก่อสร้างไม่ลงทุนนำเครื่องมือเหล่านี้มาใช้งานหรือติดตั้งในสถานที่ก่อสร้าง ซึ่งทำให้ผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบถึงปัญหาที่เกิดจากฝุ่นละอองและละเลยที่จะป้องกันตนเองจากมลภาวะทางอากาศจากสถานที่ก่อสร้าง

การวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้างนี้มีแนวคิดในการนำอุปกรณ์ที่ใช้ระบบเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดฝุ่นละอองที่สามารถใช้งานในภาคสนามได้ ซึ่งมีราคาที่ไม่สูงและมีขนาดเหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงระดับของฝุ่นละอองในบริเวณสถานที่ก่อสร้างสถานที่นั้นโดยใช้ระบบการแจ้งเตือนด้วยสัญญาณเสียง ผู้ปฏิบัติงานสามารถหลีกเลี่ยงหรือหยุดการปฏิบัติงานในพื้นที่บริเวณดังกล่าวที่เกิดการกระจายของฝุ่นละอองได้ ผู้ปฏิบัติงานสามารถลดความเสี่ยงจากมลภาวะทางอากาศจากสถานที่ก่อสร้างที่ส่งผลเสียต่อสุขอนามัยของผู้ปฏิบัติงานและสามารถปฏิบัติงานได้อย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดโครงการก่อสร้าง

2. ทบทวนวรรณกรรม



2.1 แหล่งที่มาและชนิดของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาและมีลักษณะการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน โดยเกิดได้จากภูมิอากาศและลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาซึ่งมีผลต่อการกระจายของฝุ่นละอองทำให้อนุภาคของฝุ่นละอองมีรูปร่างความหนาแน่น ขนาด การเกาะตัวกัน

องค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป ฝุ่นละอองทำปฏิกิริยากันหรือเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมในอากาศทำให้เกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น

2.1.1 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ [2] แบ่งประเภทแหล่งที่มาของฝุ่นละอองในบรรยากาศไว้ 2 ประเภท ดังนี้

1. ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Particle) เกิดจากการพัดผ่านของกระแสลมตามธรรมชาติ ทำให้เกิดฝุ่นละอองในอากาศ เช่น ดิน ทราย ละอองน้ำ ฝุ่นเกล็ดจากทะเล เขม่าควันจากไฟฟ้า เป็นต้น

2. ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made Particle) มีรายละเอียดของแหล่งที่มา ดังนี้

- การคมนาคมและขนส่งซึ่งใช้รถบรรทุก หิน ทราย ซีเมนต์หรือวัสดุที่ทำให้เกิดฝุ่น ดินโคลนที่ติดอยู่ที่รถขณะเคลื่อนที่อาจมีฝุ่นหล่นอยู่บนถนนแล้วกระจายตัวอยู่ในอากาศ ฝุ่นละอองจากไอเสียจากรถยนต์รวมถึงเครื่องยนต์ดีเซลที่ปล่อยควันดำออกมาเป็นเขม่า ฝุ่น นอกจากนั้นถนนที่สกปรก มีดินทรายอยู่มากหรือมีกองวัสดุต่างๆ ข้างถนน เมื่อมียานพาหนะผ่านอาจทำให้ฝุ่นละอองกระจายตัวไปในอากาศและยังมีฝุ่นที่เกิดจากยางรถยนต์และผ้าเบรก

- การก่อสร้าง ซึ่งกิจกรรมก่อสร้างส่วนใหญ่จะมีการเปิดหน้าดินก่อนการก่อสร้างทำให้เกิดฝุ่นละอองในอากาศได้ง่าย เช่น อาคาร สิ่งก่อสร้าง การปรับปรุงสาธารณูปโภค รวมถึงฝุ่นที่เกิดจากลมที่พัดเศษวัสดุก่อสร้าง เช่น ผงปูนซีเมนต์ ออกมาจากอาคารที่ได้รับการรื้อถอนทำลายที่ตัวอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง โดยเฉพาะการก่อสร้างอาคารสูง

2.1.2 ชนิดของฝุ่นละออง

สถานการณ์ฝุ่นละอองในประเทศไทย แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ ฝุ่นรวม (TSP) ฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) และฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เรียงลำดับจาก ฝุ่นขนาดใหญ่ไปขนาดเล็ก ตามลำดับ

ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate, TSP) เป็นอนุภาคกึ่งของแข็งและของแข็งที่พบ ในอากาศ ขนาดของฝุ่นรวมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 0.005 – 100 ไมครอน โดยกำเนิดมาจาก แหล่งธรรมชาติ ส่วนใหญ่เกิดจากการฟุ้งกระจาย ของดิน ททรายที่สถานที่ก่อสร้าง พื้นผิวต่างๆ (fugitive dust) โดยเกิดจากลมที่พัดมาจากพื้นดิน

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (Particulate Matter, PM10) เป็นสารที่มีมลพิษทางอากาศ มีความ สำคัญที่ลักษณะเป็นอนุภาคกึ่งของแข็งและของแข็ง ขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่น (Dust) ควีน (Smoke) พุ่ม (Fume) เขม่า (Soot) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเส้นผมของมนุษย์

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Particulate Matter, PM2.5) เป็นอนุภาคกึ่งของแข็งหรือของแข็ง ที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-volatile) โดยมีขนาด เท่ากับขนาดของเชื้อโรคหรือไปจนถึงขนาดโมเลกุล ฝุ่นขนาดเล็กจะตกสะสมได้ช้ากว่าขนาดใหญ่มาก ยิ่งขนาดเล็กมากๆ จะคงอยู่ในอากาศได้นานและ ยังเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจไปถึงชั้นถุงลมปอดได้ [1]

2.2 วิธีหรือหลักการตรวจวัดฝุ่นละออง

หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ใช้วิธีแบบกราวิเมตริก (Gravimetric) ด้วยเครื่อง เก็บตัวอย่างอากาศชนิดปริมาตรสูง (High Volume Air Sampler) โดยวิธีการแบบกราวิเมตริกเป็นระบบ ที่ใช้วัดค่าฝุ่นละอองโดยดูดอากาศผ่านแผ่นกรอง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาด 0.3 ไมครอน ถึงร้อยละ 99 แล้วหาน้ำหนักฝุ่นละออง จากแผ่นกรองนั้น [4]

2.2.1 หลักการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

1) การตกตัวเป็นหลักการในการเก็บ ตัวอย่างมวลสารอนุภาคโดยใช้วิธีการวิเมตริก หรือ การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นการเก็บตัวอย่าง อนุภาคที่มีมวลเพียงพอที่จะตกตะกอนจากบรรยากาศ โดยแรงโน้มถ่วงโลก หลักการเก็บตัวอย่างคืออนุภาค ที่ตกผ่านตัวกลางมีความเร็วเท่ากับค่าคงที่ค่าหนึ่ง จนเกิดสมดุลระหว่างความต้านทางเชิงโมเลกุลของ ตัวกลางกับแรงโน้มถ่วง

2) การกรองเป็นหลักการที่ใช้เก็บ ฝุ่นละออง โดยใช้เครื่องปั๊มดูดอากาศด้วยอัตรา การไหลคงที่ในช่วงเวลาที่กำหนดผ่านกระดาษกรอง ที่แตกต่างกัน ขึ้นกับประเภทของอนุภาคตัวอย่าง ที่เก็บ จากนั้นนำกระดาษกรองมาชั่งน้ำหนักหลัง การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองเพื่อให้สามารถคำนวณ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองต่อปริมาตรในการเก็บ ตัวอย่างนั้นได้ [1]

2.2.2 หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาด เกิน 10 ไมครอน (TSP) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10)

1) เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุ่ม (High Volume Air Sampler) ดูดอากาศจำนวนหนึ่ง ที่วัดปริมาตรแน่นอนเข้าสู่ช่องทางเข้าอากาศและผ่าน กระดาษกรอง ตลอดช่วงการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง โดยกระดาษกรองที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพในการ กรองฝุ่นขนาด 0.3 ไมครอน ได้อย่างน้อยร้อยละ 99

2) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง หลังจากอบ กระดาษกรองเพื่อไล่ความชื้นแล้ว ทั้งก่อนและหลัง เก็บตัวอย่าง เพื่อหาน้ำหนักสุทธิมวลของฝุ่นละออง โดยปริมาตรทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างต้องปรับแก้ ค่าตามสภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความกดอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท [4]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในประเทศจีนมีการศึกษาการลดมลพิษของฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง จัดทำขึ้นเพื่อให้ข้อมูลเชิงลึกสำหรับฝุ่นละอองที่เกิดจากอุตสาหกรรม การก่อสร้าง และเป็นการพัฒนากฎระเบียบของฝุ่นจากการก่อสร้างในประเทศจีน การตรวจสอบแหล่งที่มาและมาตรการการป้องกันฝุ่นละอองจากสถานที่ปฏิบัติงาน และให้คำแนะนำสำหรับการลดฝุ่นละอองที่เป็นมลพิษในระดับเทศบาล ในการศึกษาทำการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 17 คน แบ่งได้เป็นผู้รับเหมาจำนวน 10 คน นักวิชาการจำนวน 5 คนและเจ้าหน้าที่ของรัฐบาลจำนวน 2 คน ผู้ที่ถูกสัมภาษณ์ทั้งหมดนั้นมีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 5 ปี จากการสัมภาษณ์และนำมาวิเคราะห์ผล พบว่าปัญหามลพิษหมอกควันในประเทศจีนรุนแรงมาก ส่งผลกระทบต่อสังคมและการพัฒนาเศรษฐกิจ ควรแบ่งการทบทวนระเบียบการก่อสร้างเป็น 2 ด้าน คือ ด้านที่เกี่ยวกับการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมและระเบียบการก่อสร้างโดยตรง ซึ่งแหล่งที่มาของฝุ่นละอองยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจน จึงถูกนำมาทำเป็นมาตรการบรรเทาผลกระทบจากฝุ่นละอองและให้คำแนะนำในระดับเทศบาล [5] และมีงานวิจัยของ Gambatese and Jame [6] ได้นำเสนอวิธีการลดฝุ่นละอองจากการเคลื่อนขนย้ายดินในสัปดาห์แรกในบริเวณก่อสร้าง โดยการใช้หัวฉีดน้ำ ติดตั้งที่ตัวรถบรรทุกและทำการฉีดพ่นน้ำในระหว่างที่ทำการเคลื่อนขนย้ายดินมาสู่รถบรรทุก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจายจากดิน ซึ่งถือว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองพบว่าวิธีดังกล่าวสามารถช่วยลดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดจากการเคลื่อนขนย้ายดินมาสู่รถบรรทุกได้ ถือได้ว่าเป็นการช่วยลดการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบริเวณก่อสร้างได้

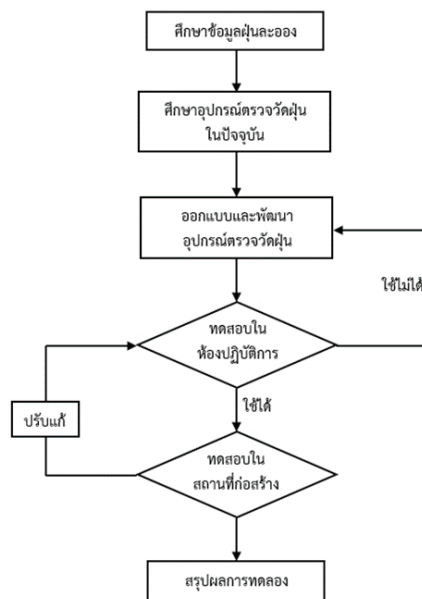
งานวิจัยที่เกิดขึ้นในประเทศไทยนั้น มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการลดฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้าง ได้แก่ การวัดและการลดปริมาณการเกิดฝุ่นละอองจากกิจกรรมในโครงการก่อสร้างถนน กรณีศึกษาการก่อสร้างถนนในเขตจังหวัดลำปาง ได้นำเสนอการศึกษากระบวนการวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมในการก่อสร้างถนนและเสนอแนวทางการลดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมก่อสร้างถนนโดยการปรับปรุงขั้นตอนการก่อสร้าง จากการศึกษาพบว่าสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองจากการก่อสร้างถนนได้ แต่มีต้นทุนสูงกว่าขั้นตอนการก่อสร้างแบบปกติ [7] ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากงานก่อสร้างอาคาร นพดลและยรรยง [8] ได้ศึกษาการวัดและแนวทางการลดปริมาณการเกิดฝุ่นละอองที่ส่งผลกระทบต่อคนงานในหน่วยงานก่อสร้างโดยทำการวัดปริมาณฝุ่นละอองและศึกษาแนวทางในการลดฝุ่นละอองก่อนและหลังของกิจกรรมก่อสร้าง ซึ่งกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนในการปฏิบัติกิจกรรม งานวิจัยนี้เลือก 3 หน่วยงานในการศึกษา จากการศึกษาพบว่าฝุ่นละอองที่ส่งผลกระทบต่อคนงาน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.38 mg/m^3 ถึง 1.75 mg/m^3 และเมื่อมีการปรับปรุงขั้นตอนการก่อสร้างทำให้กิจกรรมการก่อสร้างในส่วนงานสถาปัตยกรรม ได้แก่ งานปูกระเบื้อง และตัดแผ่นฝ้า สามารถลดฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นที่ส่งผลกระทบต่อคนงานในการก่อสร้างได้ 4 และ 6 เท่าตามลำดับ ซึ่งมิงานวิจัยในต่างประเทศที่ทำการศึกษาลดปริมาณฝุ่นละอองจากการก่อสร้างโดยใช้ระบบ Local Exhaust Ventilation (LEV) สำหรับใช้ในการควบคุมการเกิดฝุ่นละอองและผงซิลิกา โดยใช้ในกิจกรรมของการตัดและเจียรระโนคอนกรีต กิจกรรมที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย 1. การตัดวัสดุประสานจากกำแพงอิฐ 2. การขัดเกลามิวน้ำโลหะ 3. การตัด

คอนกรีตบล็อคลูกลน 4. การตัดก้อนอิฐ หลังจากการทดลองพบว่าวิธีดังกล่าวสามารถลดการเกิดฝุ่นละอองและผงซิลิกา โดยหลังจากการทดลองสามารถแสดงผลการทดลองและสามารถทราบปริมาณการลดลงของละอองได้ ดังนี้ 1. การตัดวัสดุประสานจากกำแพงอิฐ ลดได้ 12.8 % 2. การขัดเกลาก้อนผิวหน้าโลหะ ลดได้ 2.2% 3. การตัดคอนกรีตบล็อคลูกลน ลดได้ 9.8% 4. การตัดก้อนอิฐลดได้ 13.6% อีกทั้งยังสามารถสรุปได้ว่าในกิจกรรมการก่อสร้างการทำความสะอาดในโครงการก่อสร้าง เมื่อสิ้นสุดกิจกรรมก่อสร้างทั้งหมดสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองจากการก่อสร้างได้ถึง 90% [9]

3. วิธีดำเนินการ



ในการวิจัยนี้เริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลทั่วไปของฝุ่นละอองโดยศึกษาแหล่งกำเนิดของฝุ่น ชนิดของฝุ่นและกิจกรรมการก่อสร้างที่ทำให้เกิดฝุ่นละออง รวมถึงผลกระทบของฝุ่นที่เกิดขึ้นกับการก่อสร้าง จนเกิดเป็นมลภาวะทางอากาศ และทำการศึกษารูปแบบ ราคา ลักษณะอุปกรณ์วัดฝุ่นที่ได้มาตรฐานในปัจจุบันและเซ็นเซอร์สำหรับวัดฝุ่นเพื่อนำมาประยุกต์กับกิจกรรมก่อสร้าง ในขั้นตอนมาจึงทำการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้าง โดยนำเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่นที่มีลักษณะเหมาะสมต่อการใช้งานสำหรับกิจกรรมก่อสร้างและค่าใช้จ่ายที่ไม่สูงมาใช้ นำอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นที่พัฒนาขึ้นทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ฝุ่นละอองที่จำลองขึ้นมาเป็นตัวทดลอง หลังจากทำการทดสอบและปรับปรุงจนสำเร็จโดยอุปกรณ์สามารถวัดค่าระดับได้ใกล้เคียงกับอุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงนำไปทดสอบการตรวจวัดฝุ่นละอองในสถานที่ก่อสร้างจริงและเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ที่มีมาตรฐาน พร้อมสรุปผล กรอบแนวคิดของการดำเนินงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 1

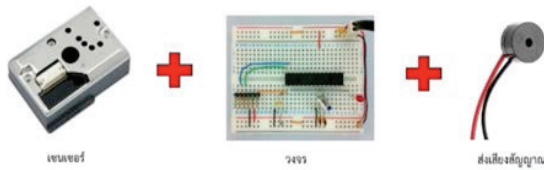


ภาพที่ 1 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้าง

แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้างมุ่งหวังให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถพกพาอุปกรณ์ไปปฏิบัติงานในสถานที่ก่อสร้างต่าง ๆ และสามารถตรวจวัดและแจ้งเตือนให้กับผู้ปฏิบัติงานทราบทันทีเมื่อต้องปฏิบัติงานในสถานที่ที่เกิดฝุ่นละอองเกินมาตรฐาน เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานหลีกเลี่ยงอันตรายจากฝุ่นละอองที่จะเข้าสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงานและลดความเสี่ยงต่อภาวะสุขภาพในระยะยาวที่ไม่ดี

อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็น การนำเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่นละอองมาประกอบรวมเข้ากับตัวส่งเสียงสัญญาณ เมื่อตรวจพบระดับฝุ่นละอองที่มีค่าเกินมาตรฐาน ทำการประกอบกันโดยใช้แผงวงจรเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างตัวเซ็นเซอร์และสัญญาณส่งเสียงเตือน การทำงานของอุปกรณ์สามารถทำงานร่วมกันได้เกิดจากการเขียนคำสั่งงานขึ้นมา ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละออง

ในการนำต้นแบบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้งาน ผู้ปฏิบัติงานต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลไว้บนร่างกายก่อน เมื่อเข้าไปปฏิบัติงานกิจกรรมก่อสร้างในพื้นที่ก่อสร้างและพบกิจกรรมที่เกิดฝุ่นละอองฟุ้งกระจายเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด อุปกรณ์ตรวจวัดต้องตรวจวัดและส่งสัญญาณเตือนให้ออกจากบริเวณพื้นที่ที่เกิดฝุ่นละอองฟุ้งกระจาย และอุปกรณ์จะต้องหยุดส่งสัญญาณเตือนเมื่อผู้ปฏิบัติงานออกจากสถานที่ที่ก่อสร้างที่มีกิจกรรมที่เกิดฝุ่นเกินมาตรฐานแล้ว หลักการทำงานของต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคล

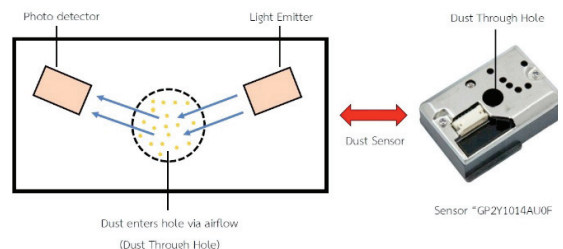
4. ผลการทดสอบอุปกรณ์

4.1 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นในห้องปฏิบัติการ

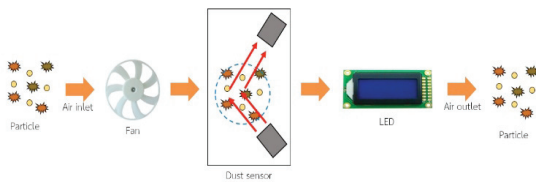
อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้างนี้สามารถวัดค่าฝุ่นละอองตั้งแต่ PM10 ลงไป ซึ่งใช้ เซ็นเซอร์ Arduino โมดูล Dust Sensor GP2Y1010AU0F ที่ใช้สำหรับตรวจจับควัน

และฝุ่นละอองในอากาศ ค่าที่ได้จากการวัดแสดงในรูปแบบ Analog 1-1023 หลักการของเซ็นเซอร์คือหลักการกระเจิงของแสง (light scattering) เมื่อฝุ่นในอากาศไหลผ่านเข้ามาในรูหลอดเซ็นเซอร์จะกระทบกับแสงที่ถูกยิงออกมาและเกิดการหักเหไปกระทบกับไดโอดซึ่งจะแปลงเป็นค่าทางไฟฟ้าที่แตกต่างกันและคำนวณเป็นค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศที่เกิดขึ้นจริง [10] ดังภาพที่ 4

หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้าง แสดงดังภาพที่ 5 เมื่อฝุ่นละอองถูกพัดลมดูดเข้าไปภายในเครื่องมือที่พัฒนาแล้ว เซ็นเซอร์ Arduino โมดูล Dust Sensor GP2Y1010AU0F ที่ใช้สำหรับตรวจจับควันและฝุ่นละอองในอากาศจะทำการวัดค่าฝุ่นละอองโดยใช้หลักการการกระเจิงของแสง เมื่อวัดค่าฝุ่นละอองเรียบร้อยแล้วจะส่งสัญญาณแสดงค่าผ่านไปยังหน้าจอ LED เพื่อแสดงผลในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยเมื่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่นละอองที่มีค่าเกินมาตรฐาน (50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ชุดคำสั่งที่พัฒนาขึ้นจึงสั่งการให้อุปกรณ์แสดงผลผ่านจอแสดงผล LCD ดังภาพที่ 6 และสั่งการส่งสัญญาณไปยังลำโพงขนาดเล็กให้เกิดการแจ้งเตือนขึ้นเพื่อแสดงว่าบริเวณดังกล่าวมีค่าฝุ่นละอองเกินมาตรฐานที่กำหนด



ภาพที่ 4 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์รุ่น GP2Y1010AU0F



ภาพที่ 5 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น
ส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้าง



ภาพที่ 6 อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคล
สำหรับกิจกรรมก่อสร้าง

อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นต้องถูกนำมาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานที่มีจำหน่าย ในการวิจัยนี้เลือกเครื่องตรวจสอบคุณภาพอากาศ รุ่น DC1700 Air Quality Monitor ดังภาพที่ 7 ซึ่งแสดงผลการตรวจวัดได้เป็น 2 ค่า ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (small particles) มีช่วงขนาดฝุ่นละอองอยู่ระหว่าง 0.5 ไมครอนขึ้นไปแต่ไม่ถึง 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (large particles) มีช่วงขนาดของฝุ่นละอองอยู่ระหว่าง 2.5 ไมครอนขึ้นไปแต่ไม่ถึง 10 ไมครอน [7]

ในงานวิจัยนี้ต้องการตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็ก (PM_{2.5}) จึงต้องนำค่าที่ได้มาเทียบกับเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย [7] ซึ่งแบ่งเป็น 5 ระดับ โดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 201 ขึ้นไป แต่ละระดับจะใช้สีเป็นสัญลักษณ์เปรียบเทียบระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ดังแสดงในตารางที่ 1 ดัชนีคุณภาพอากาศ 100 จะมีค่าเทียบเท่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าสูงเกินกว่า 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของ

มลพิษทางอากาศมีค่าเกินมาตรฐานและคุณภาพอากาศในวันนั้นจะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน การคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศรายวันของสารมลพิษทางอากาศแต่ละประเภทสามารถคำนวณจากค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศโดยมีระดับของค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศที่ระดับต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

การทดลองในห้องปฏิบัติการเป็นการนำต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้างที่ได้พัฒนาขึ้นมาวัดค่าฝุ่นละอองที่กำหนดโดยเทียบกับเครื่อง DC1700 Air Quality Monitor ซึ่งนำมาทดสอบในกล่องทดสอบที่สร้างขึ้น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ทดสอบความแม่นยำของเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้าง การทดลองนี้ดำเนินการโดยนำต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้างไปตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในกล่องทดสอบที่สร้างขึ้นและเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่วัดโดยอุปกรณ์มาตรฐาน DC1700 Air Quality Monitor ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 7 อุปกรณ์มาตรฐาน DC1700
Air Quality Monitor



ภาพที่ 8 การวัดค่าฝุ่นละอองตามการทดลองที่ 1

ทำการทดลองเปรียบเทียบค่าฝุ่นละอองในบรรยากาศปกติ และฝุ่นละอองที่เกิดจากการจำลองฝุ่นด้วยการเป่าผงปูนซีเมนต์จำนวน 5 กรัมเข้าไปยังกล่องทดสอบ ผงปูนซีเมนต์ถูกจัดวางอยู่ในตำแหน่งเดียวกันและใช้แรงเป่าเดียวกัน ทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง เพื่อวัดค่าฝุ่นละอองโดยแต่ละครั้งใช้ระยะเวลาห่างกัน 10 วินาที ผลการทดสอบความแม่นยำเซ็นเซอร์ของอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้างในบรรยากาศปกติและการจำลองฝุ่นละอองแสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้างเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน DC1700 Air Quality Monitor ในบรรยากาศทั่วไปพบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่ต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นสามารถตรวจวัดได้ มีค่าเท่ากับ 95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอุปกรณ์มาตรฐานตรวจวัดได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความแตกต่างกัน 2.11%

เมื่อนำค่าที่ตรวจวัดได้เทียบค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศในตารางที่ 2 อยู่ในช่วง AQI มากกว่า 200 หรือสีแดง หมายความว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพทุกคนควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูงหรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น หากมีอาการทางสุขภาพควรปรึกษาแพทย์

ตารางที่ 1 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย [11]

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	คำอธิบาย
0 – 25	คุณภาพอากาศดีมาก	ฟ้า	คุณภาพอากาศดีมาก เหมาะสำหรับกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยว
26 – 50	คุณภาพอากาศดี	เขียว	คุณภาพอากาศดี สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและการท่องเที่ยวได้ตามปกติ
51 – 100	ปานกลาง	เหลือง	ประชาชนทั่วไป : สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ : หากมีอาการเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง
101 – 200	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	ส้ม	ประชาชนทั่วไป : ควรเฝ้าระวังสุขภาพ ถ้ามีอาการเบื้องต้น เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น ผู้ที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ : ควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น ถ้ามีอาการทางสุขภาพ เช่น ไอ หายใจลำบาก ตาอักเสบ แสบหน้าอก ปวดศีรษะ หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย ควรปรึกษาแพทย์
201 ขึ้นไป	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	แดง	ทุกคนควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้ง หลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีมลพิษทางอากาศสูงหรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมีความจำเป็น หากมีอาการทางสุขภาพควรปรึกษาแพทย์

ตารางที่ 2 ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศ [11]

AQI	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ (ppb)	CO (ppm)	NO ₂ (ppb)	SO ₂ (ppb)
	เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง		เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง		เฉลี่ย 1 ชั่วโมง	
0 – 25	0 – 25	0 – 50	0 – 35	0 – 4.4	0 – 60	0 – 100
26 – 50	26 – 37	51 – 80	36 – 50	4.5 – 6.4	61 – 106	101 – 200
51 – 100	28 – 50	81 – 120	51 – 70	6.5 – 9.0	107 – 170	201 – 300
101 – 200	51 – 90	120 – 180	71 – 120	9.1 – 30.0	171 – 340	301 – 400
มากกว่า 200	91 ขึ้นไป	181 ขึ้นไป	121 ขึ้นไป	30.1 ขึ้นไป	341 ขึ้นไป	401 ขึ้นไป

ช่วงเวลาเฉลี่ย และหน่วยสารมลพิษทางอากาศที่ใช้ในการคำนวณ

- PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ มคก./ลบ.ม. หรือ $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- PM₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ มคก./ลบ.ม. หรือ $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- O₃ เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ส่วนในล้านส่วน หรือ ppb หรือ 1/1,000,000,000

- CO เฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อเนื่อง : ส่วนในล้านส่วน หรือ ppm หรือ 1/1,000,000

- NO₂ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง : ส่วนในล้านส่วน หรือ ppb หรือ 1/1,000,000,000

- SO₂ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง : ส่วนในล้านส่วน หรือ ppb หรือ 1/1,000,000,000

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองตามการทดลองที่ 1 (บรรยากาศทั่วไป)

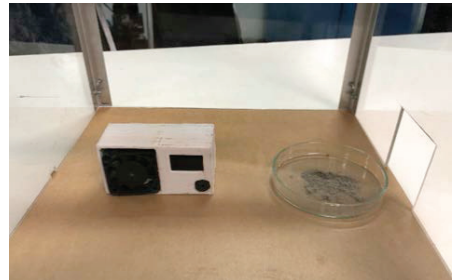
การทดลองครั้งที่	อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้าง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เครื่องวัดฝุ่น DC1700 Air Quality Monitor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	98	98
2	98	96
3	96	95
4	93	92
5	93	92
6	94	91
7	95	92
8	95	93
9	96	93
10	94	90
เฉลี่ย	95	93

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองตาม การทดลองที่ 1 (จำลองฝุ่นละออง โดยการใช้ผงปูนซีเมนต์)

การทดลอง ครั้งที่	อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น ส่วนบุคคลสำหรับ กิจกรรมก่อสร้าง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เครื่องวัดฝุ่น DC1700 Air Quality Monitor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	765	774
2	792	787
3	850	831
4	865	867
5	880	896
6	786	780
7	792	779
8	820	794
9	857	824
10	839	813
เฉลี่ย	825	815

ตารางที่ 4 นำเสนอผลการทดสอบ ความแม่นยำของอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคล สำหรับกิจกรรมก่อสร้าง เมื่อเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน โดยจำลองฝุ่นละอองด้วยผงปูนซีเมนต์จำนวน 5 กรัม พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ ที่ต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นสามารถตรวจวัดได้ มีค่าเท่ากับ 825 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ค่าที่อุปกรณ์มาตรฐานตรวจวัดได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 815 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันประมาณ 1.2% เมื่อนำค่าที่ตรวจวัดได้เทียบค่า ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับ ค่าดัชนีคุณภาพอากาศในตารางที่ 2 อยู่ในช่วง AQI มากกว่า 200 หรือสีแดง

การทดลองที่ 2 เป็นการทดสอบระบบ การส่งเสียงสัญญาณเตือนเมื่อต้นแบบอุปกรณ์ ทำการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองได้เกิน 50 ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร ใช้วิธีการจำลองฝุ่นละอองด้วยการนำ ผงปูนซีเมนต์ปริมาณ 2 กรัม มาเป่าลมให้ฟุ้งกระจาย อยู่ภายในกล่องทดสอบ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การทดลองที่ 2

ผลการทดลองปรากฏว่าเมื่อเป่าลมให้ ผงปูนซีเมนต์ฟุ้งกระจายทั่วกล่องทดสอบ ต้นแบบ อุปกรณ์ที่พัฒนาสามารถตรวจวัดค่าความเข้มข้น ของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนี คุณภาพอากาศที่อยู่ในช่วงมากกว่า 200 ที่ PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ซึ่งเสียงสัญญาณจะดังต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าฝุ่นละอองจะต่ำกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร เสียงสัญญาณจึงหยุดลง เมื่อเทียบกับเกณฑ์ ของดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย อยู่ในช่วง 201 ขึ้นไป คือ มีผลกระทบต่อสุขภาพ ทุกคนควร หลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีมลพิษ ทางอากาศสูง หรือใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองหากมี ความจำเป็น หากมีอาการทางสุขภาพควรปรึกษา แพทย์ และอุปกรณ์ส่งเสียงสัญญาณเตือนมาเป็น ระยะเวลา เพื่อเตือนให้ผู้ที่อยู่บริเวณนั้นออกจากสถานที่ ที่มีฝุ่นละอองเกินมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษกำหนด โดยจะเทียบกับเวลา 24 ชม.

4.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นในสถานที่ก่อสร้าง

เมื่อนำต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้างที่พัฒนาขึ้นไปทดลองในห้องปฏิบัติการเรียบร้อยแล้ว จึงนำต้นแบบอุปกรณ์ไปทดลองในสถานที่ก่อสร้างจริงที่มีการดำเนินกิจกรรมก่อสร้างจำนวน 4 กิจกรรม ได้แก่ งานตกแต่งโครงสร้างคอนกรีต งานตัดอิฐมวลเบา งานตัดพื้นกระเบื้อง และงานตัดแต่งแผ่นฝ้าเพดาน ในการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบทำการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองโดยมีระยะห่างจากจุดกำเนิดฝุ่นละอองไม่เกิน 1 เมตร เพื่อให้ทราบถึงค่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานในแต่ละกิจกรรม ดังภาพที่ 10 ถึง 13 ตามลำดับ



ภาพที่ 10 การทดสอบต้นแบบอุปกรณ์สำหรับงานตกแต่งโครงสร้างคอนกรีต



ภาพที่ 11 การทดสอบต้นแบบอุปกรณ์สำหรับงานตัดอิฐมวลเบา



ภาพที่ 12 การทดสอบต้นแบบอุปกรณ์สำหรับงานตัดพื้นกระเบื้อง



ภาพที่ 13 การทดสอบต้นแบบอุปกรณ์สำหรับงานตัดแต่งแผ่นฝ้าเพดาน

ในการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบถูกนำมาตรวจวัดและเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นมาตรฐาน DC1700 Air Quality Monitor เพื่อตรวจสอบความแม่นยำและการส่งสัญญาณเตือนเมื่อมีค่าฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดซึ่งเท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เฉลี่ย 24 ชั่วโมง พร้อมทั้งพิจารณาข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองของอุปกรณ์ทั้งสองแบบในแต่ละกิจกรรม แสดงดังตารางที่ 5-8 โดยผลการทดสอบการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในสถานที่ก่อสร้างสำหรับกิจกรรมตกแต่งโครงสร้างคอนกรีต แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองที่

ตรวจวัดได้ด้วยอุปกรณ์ต้นแบบและอุปกรณ์มาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 283 และ 315 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอยู่ที่ 10.16%

สำหรับการทดสอบการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองจากกิจกรรมตัดอิฐมวลเบาที่แสดงในตารางที่ 6 พบว่า ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ด้วยอุปกรณ์ต้นแบบและอุปกรณ์มาตรฐานมีค่าเท่ากับ 396 และ 406 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างกัน 2.46%

ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมตัดพื้นกระเบื้อง ซึ่งมีผลการทดสอบดังตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ด้วยอุปกรณ์ต้นแบบและอุปกรณ์มาตรฐานมีค่าเท่ากับ 213 และ 245 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าความแตกต่างเท่ากับ 13.06%

จากตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบและอุปกรณ์มาตรฐานมีค่าเท่ากับ 196 และ 218 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยทั้งสองอุปกรณ์มีความแตกต่างกันเท่ากับ 10.09% เมื่อนำค่าฝุ่นละอองที่ตรวจวัดจากการดำเนินกิจกรรมก่อสร้างทั้ง 4 กิจกรรมเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เทียบเท่ากับค่าดัชนีคุณภาพอากาศในตารางที่ 2 พบว่า อยู่ในช่วง AQI มากกว่า 200 หรือสีแดง

นอกจากนั้น ในการทดสอบทั้ง 4 กิจกรรมพบว่า ต้นแบบอุปกรณ์ทำการส่งเสียงแจ้งเตือนเมื่อตรวจวัดค่าฝุ่นละอองที่มีค่าเกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานออกจากบริเวณนั้นได้ แต่เนื่องจากบริเวณสถานที่ก่อสร้างเป็นสถานที่เปิดและมีฝุ่นละอองเป็นจำนวนมาก โดยไม่สามารถถ่ายภาพออกมาได้อย่างชัดเจนแต่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงทำให้ต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่งเสียงตลอดเวลาเมื่อฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองของต้นแบบอุปกรณ์และอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับงานตกแต่งโครงสร้างคอนกรีต

การทดลองครั้งที่	อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับกิจกรรมก่อสร้าง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เครื่องวัดฝุ่น DC1700 Air Quality Monitor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	265	287
2	279	311
3	287	321
4	291	326
5	287	326
6	281	315
7	275	309
8	277	319
9	307	325
10	284	313
เฉลี่ย	283	315

ตารางที่ 6 ผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองของต้นแบบ
อุปกรณ์และอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับ
งานตัดอิฐมวลเบา

การทดลอง ครั้งที่	อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น ส่วนบุคคลสำหรับ กิจกรรมก่อสร้าง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เครื่องวัดฝุ่น DC1700 Air Quality Monitor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	387	402
2	388	400
3	394	405
4	391	406
5	398	411
6	402	415
7	405	407
8	396	408
9	395	402
10	399	405
เฉลี่ย	396	406

ตารางที่ 7 ผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองของต้นแบบ
อุปกรณ์และอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับ
งานตัดพื้นกระเบื้อง

การทดลอง ครั้งที่	อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น ส่วนบุคคลสำหรับ กิจกรรมก่อสร้าง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เครื่องวัดฝุ่น DC1700 Air Quality Monitor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	201	236
2	208	237
3	193	238
4	211	240
5	197	243
6	217	246
7	221	247
8	224	256
9	236	253
10	219	252
เฉลี่ย	213	245

ตารางที่ 8 ผลการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองของต้นแบบ
อุปกรณ์และอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับ
งานตัดแต่งฝ้าเพดาน

การทดลอง ครั้งที่	อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น ส่วนบุคคลสำหรับ กิจกรรมก่อสร้าง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	เครื่องวัดฝุ่น DC1700 Air Quality Monitor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	187	216
2	192	218
3	195	218
4	193	218
5	197	219
6	200	220
7	208	223
8	203	216
9	197	215
10	191	213
เฉลี่ย	196	218

การนำอุปกรณ์ทั้ง 2 แบบ ตรวจวัดค่า
ฝุ่นละอองในสถานที่ปฏิบัติงานจริงนั้น พบว่าอุปกรณ์
ทั้งสองชนิดวัดค่าฝุ่นละอองได้เนื่องจากบริเวณ
สถานที่ก่อสร้างจริงมีปริมาณฝุ่นละอองจำนวนมาก
ในอากาศทั้งที่มองเห็นได้และไม่สามารถมองเห็นได้
ทำให้อากาศบริเวณนั้นมีค่าเกินมาตรฐานและอาจ
เป็นอันตรายที่ส่งผลต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงานได้
การดำเนินกิจกรรมในพื้นที่โล่งทำให้ฝุ่นละอองฟุ้ง
กระจายไปในวงกว้างทำให้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้น
ตรวจวัดฝุ่นละอองได้อยู่ตลอดเวลา จึงทำให้
ผลการทดสอบมีค่าที่แตกต่างกับการทดสอบใน
ห้องปฏิบัติการ เพราะในห้องปฏิบัติการเป็นการ
จำลองพื้นที่ที่มีขนาดชัดเจน และปริมาณตัวอย่าง
ฝุ่นละอองที่กำหนดได้

5. สรุปผลการวิจัย



จากผลการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลสำหรับผู้ปฏิบัติงานก่อสร้างหรือปรับปรุงสิ่งก่อสร้างโดยมีแนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์ให้มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน มีราคาถูกลงกว่าอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ทั่วไป และสามารถแจ้งเตือนผู้ปฏิบัติงานให้ออกจากพื้นที่ที่มีฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐาน พบว่าต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าฝุ่นละอองได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดฝุ่นละอองมาตรฐาน DC1700 Air Quality Monitor โดยสามารถวัดค่าฝุ่นละอองอยู่ในเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) เดียวกัน พร้อมทั้งยังสามารถแจ้งเตือนผู้ปฏิบัติงานในสถานที่เกิดฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานที่มีค่าเท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กจากกรมควบคุมมลพิษ อุปกรณ์สามารถแจ้งเตือนตลอดเวลาจนกว่าค่าฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้จะมีค่าต่ำกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อุปกรณ์ต้นแบบสามารถพกพาได้สะดวกสำหรับกิจกรรมก่อสร้างและราคาถูกลงกว่าอุปกรณ์ที่มีขายอยู่ทั่วไป เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการทดลองที่มีราคาขายประมาณ 14,000 บาท ในขณะที่ต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นส่วนบุคคลที่พัฒนานี้มีต้นทุนประมาณ 500 บาท ซึ่งมีความแตกต่างประมาณ 13,500 บาท หากทำการผลิตเป็นจำนวนมากอาจลดต้นทุนการผลิตได้อีก

อย่างไรก็ตามเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้ในต้นแบบอุปกรณ์นี้เป็นเซ็นเซอร์ที่มีราคาถูกและมีส่วนที่ทำให้ฝุ่นละอองที่เข้ามาในอุปกรณ์ผ่านตัวเซ็นเซอร์มีการติดกับตัวตรวจจับฝุ่นละอองจึงต้องมีการทำความสะอาดบ่อยครั้ง โดยถอดชิ้นส่วนเซ็นเซอร์เพื่อทำความสะอาดตัวตรวจจับฝุ่นละออง อาจทำให้อุปกรณ์เกิดการเสียหายหรือชำรุดได้ง่ายเมื่อต้องถอดสายไฟจากแผงวงจรที่ต่อกับตัวเซ็นเซอร์หลายครั้ง นอกจากนั้นปริมาณและขนาดพื้นที่ที่ทำการตรวจวัด เช่น พื้นที่ปิดหรือเปิด ส่งผลต่อความแม่นยำของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมา ปริมาตรหรือขนาดพื้นที่น้อยหรือสถานที่ปิด อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัดฝุ่นละอองได้ดีกว่า เพราะพัดลมที่นำมาใช้นั้นเป็นพัดลมที่มีขนาดเล็ก ทำให้มีความสามารถในการดูดฝุ่นละอองไม่สูงมาก อย่างไรก็ตาม ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของฝุ่นละอองที่อยู่ในอากาศด้วย เช่น ในสถานที่ที่มีปริมาณมากหรือสถานที่เปิดแต่มีฝุ่นละอองเป็นจำนวนมาก อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นยังคงสามารถนำฝุ่นละอองเข้าอุปกรณ์ไปตรวจวัดค่าได้

6. กิตติกรรมประกาศ



งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนบางส่วนจากกองทุนวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยบูรพา ในการจัดตั้งหน่วยวิจัยวิศวกรรมโยธาและโครงสร้างพื้นฐานเพื่อความยั่งยืน

7. เอกสารอ้างอิง



- [1] วนิตา จินศาสตร์ (2551). มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เข้าถึงได้จาก <https://www.pcd.go.th>
- [3] วสวัตต์ เอกพานิช (2555). ปัญหากฎหมายการจัดการฝุ่นละอองจากการก่อสร้างอาคาร. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, คณะนิติศาสตร์ สาขากฎหมายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [4] ส่วนคุณภาพในบรรยากาศ สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ (2546). คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. กรุงเทพฯ.
- [5] Wu Z., Zhang X. and Wu M. (2016). Mitigating construction dust pollution: state of the art and the way forward. *Journal of Cleaner Production*, 11: 1658-1666.
- [6] Gambatese J. A. and James D. E. (2001). Dust Suppression Using Truck-Mounted Water Spray System. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127: 53-59.
- [7] สมจินตนา แชนงแก้ว (2559). การวัดและการลดปริมาณการเกิดฝุ่นละอองจากกิจกรรมในโครงการก่อสร้างถนน กรณีศึกษาการก่อสร้างถนนในเขตจังหวัดลำปาง. วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] นพดล จอกแก้ว และยรรยง อาภาอนันต์ (2553). การวัดและแนวทางการลดปริมาณการเกิดฝุ่นละอองที่ส่งผลกระทบต่อคนงานในหน่วยงานก่อสร้าง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, 21-32.
- [9] Croteau G.A, Guffy S.E., Flanagan M.E. and Seixas N.S. (2000). The effect of local exhaust ventilation controls on dust exposures during concrete cutting and grinding activities. *AIHA*, 63: 458-467.
- [10] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (2020). Dynamic Light Scattering (DSL). เข้าถึงได้จาก www.nanotec.or.th 28 พฤษภาคม 2562
- [11] กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง (2544). เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่นละออง. เข้าถึงได้จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/air_dust.htm 28 พฤษภาคม 2562