



การศึกษาเชิงสำรวจ: การใช้การวิเคราะห์งานและกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยสำหรับงานตรวจวัดการระบายอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องด้วยเครื่องวัดฝุ่นละอองโดยหลักการไฟฟ้าสถิต

พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี^{1*}, ณัฐ จันท์ครบ², พานิข อินตะ³, วิสาข์นภัสต์ รัตนจันทร์⁴, และปพน สะอาดยวง⁵

Received: January 26, 2025

Revised: July 6, 2025

Accepted: September 13, 2025

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาอันตรายและวิเคราะห์งานเพื่อนำมากำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานที่ปลอดภัยให้มีความชัดเจนยิ่งขึ้น สำหรับการติดตั้งเครื่องวัดการระบายอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องด้วยเครื่องวัดอนุภาคฝุ่นด้วยประจุไฟฟ้าที่รายงานผลข้อมูลการวัดแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง การศึกษานี้ดำเนินการโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย หรือ Job Safety Analysis (JSA) และการกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานที่ปลอดภัย (Safety Standard Operation Procedure: SSOP) ซึ่งพิจารณาถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยส่วนบุคคลของผู้ปฏิบัติงาน และลักษณะเฉพาะของงาน เพื่อกำหนดเงื่อนไขการทำงานที่ปลอดภัยสูงสุด จากนั้นได้จัดทำการวิเคราะห์เบื้องต้น (Preliminary Analysis) เพื่อนำไปสู่วิธีการทำงานที่ปลอดภัย และนำระบบไปทดลองใช้จริงในสถานประกอบการแห่งหนึ่ง โดยการติดตั้งระบบตรวจวัดการระบายอนุภาคฝุ่นละอองของปล่องระบายอากาศ เพื่อทดสอบและประเมินความเหมาะสมของแนวปฏิบัติงานจริง ผลการศึกษาพบว่า การกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานที่ปลอดภัยด้วย SSOP ที่มีความชัดเจน ครอบคลุม สำหรับการติดตั้งเครื่องวัดฝุ่นละอองจากปล่องระบายอากาศแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง ทำให้เกิดการทำงานที่ปลอดภัย สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงในภาคสนาม นอกจากนี้ยังสามารถประเมินย้อนกลับ เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย / มาตรฐานวิธีปฏิบัติงานที่ปลอดภัย / ปล่อง / อนุภาคฝุ่น

* ผู้รับผิดชอบบทความ: ผศ.ดร.พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี 19/1 มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ หน่วยส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160 E-mail: phonniphab@sau.ac.th

¹ปร.ด. อาจารย์, สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

²ศ.ม. อาจารย์, สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

³ว.ศ.ด. หัวหน้าหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม, วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 98 หมู่ 8 ตำบลป่าป้อ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220

⁴ศ.ม. ผู้ช่วยนักวิจัยหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในงานวิศวกรรม, วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 98 หมู่ 8 ตำบลป่าป้อ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220

⁵ว.ศ.ด. อาจารย์, สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000



An Exploratory Study: Using the job analysis and safety standard operation procedure for real-time measurement of particulate matter emissions (PM1.0, PM2.5, and PM10) from stacks an electrostatic principle

Phonnipha Boriboonsuksri^{1*}, Natth Jun-Krob², Panich Intra³, Wisanapat Rattanachan⁴, and Papol Sardyoung⁵

Abstract

This article presents an exploratory study with the objectives of identifying hazards and analyzing tasks to clearly establish safety standard operation procedures for installing PM1.0, PM2.5 and PM10 particle emission measurement devices from the stack using an ionized particle emission meter that continuously reports measurement data online in real-time. This study was conducted using the Job Safety Analysis (JSA) process and the development of Safety Standard Operation Procedure (SSOP) to ensure safe working conditions for the installation of real-time online continuous particulate emission monitoring systems in stack emissions. The analysis considered environmental factors, individual worker conditions and specific job characteristics to establish the safest possible working conditions. A preliminary analysis was then carried out to develop safe working procedures, which were subsequently implemented and tested in a real industrial setting through the installation of a particulate emission monitoring system on an exhaust stack, in order to evaluate the suitability and practicality of the proposed work practices. The results showed that establishing a comprehensive and well-defined SSOP significantly improved workplace safety and was practically applicable in the field. Additionally, the developed SSOP allowed for effective retrospective evaluations, enabling continuous and efficient improvement of the work process.

Keywords: Job Safety Analysis / Safety Standard Operation Procedure / Stack / Dust Particles

* **Corresponding Author:** Asst.Prof.Dr.Phonnipha Boriboonsuksri, 19/1 Southeast Asia University, Safety and Environmental Technology Promotion Unit, Faculty of Engineering Department of Safety Engineering, Phetkasem Road, Nong-khang phlu Subdistrict, Khaem District, Bangkok, 10160, E-mail: phonniphab@sau.ac.th

¹Ph.D. (Occupational and Environmental Health) Lecturer, Department of Safety Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia University, Nong-khang phlu Subdistrict, Khaem District, Bangkok, 10160

²M.Eng. (Electrical Engineering) Lecturer, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia University, Nong-khang phlu Subdistrict, Khaem District, Bangkok, 10160

³Ph.D. (Mechanical Engineering), Lecturer and Leader of Research Unit of Applied Electric Field in Engineering (RUEE), College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, 98 Pa Pong Subdistrict, Doi Saket District, Chiang Mai Province, 50220

⁴M.Eng. (Environmental Engineering), Assistant researcher of Research Unit of Applied Electric Field in Engineering (RUEE), College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, 98 Pa Pong Subdistrict, Doi Saket District, Chiang Mai Province, 50220

⁵Ph.D. (Electrical Engineering), Lecturer, Industrial Electrical Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University, Narai Maharaj Road, Thale Chup Son Subdistrict, Mueang District, Lopburi Province, 15000





1. บทนำ

ในสภาพแวดล้อมการทำงานที่เกี่ยวข้องกับปล่อยระบายอากาศของโรงงานอุตสาหกรรม การตรวจวัดฝุ่นละอองแขวนลอยในอากาศ (Particulate Matter: PM) ถือเป็นกิจกรรมสำคัญเพื่อควบคุมคุณภาพอากาศให้เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย โดยเฉพาะค่าฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 ซึ่งสามารถแทรกซึมเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งระยะสั้นและระยะยาวได้ เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ หลอดเลือด และหัวใจ (World Health Organization [WHO], 2023) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาเครื่องมือและเทคโนโลยีสำหรับการตรวจวัดฝุ่นที่สามารถวัดได้อย่างต่อเนื่อง (Real-time) ด้วยเทคนิคไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Method) ซึ่งสามารถให้ข้อมูลฝุ่นได้แบบทันที ลดเวลาในการประมวลผล และเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการปล่อยมลพิษ (Gaurangkumar & Jayesh, 2021) อย่างไรก็ตาม กระบวนการติดตั้งเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองบนปล่อยระบายอากาศ โดยทั่วไปจะอยู่ระดับสูงจากพื้นดิน จึงยังมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การพลัดตก ความเมื่อยล้า หรือการสัมผัสสารอันตราย งานลักษณะนี้จำเป็นต้องใช้แนวทางในการประเมินอันตรายอย่างรอบคอบ โดยการใช้ Job Safety Analysis (JSA) ช่วยวิเคราะห์ลักษณะงานเพื่อระบุอันตรายที่อาจเกิดขึ้น พร้อมทั้งพัฒนาขั้นตอนปฏิบัติงานมาตรฐานด้านความปลอดภัย (Safety Standard Operation Procedure: SSOP) เพื่อใช้เป็นแนวทางป้องกันและลดความเสี่ยงระหว่างการปฏิบัติงาน (Samma et al., 2021) ดังนั้น การวิเคราะห์อันตรายผ่าน JSA ควบคู่กับการกำหนด SSOP ที่ชัดเจนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อสร้างความปลอดภัยในการทำงาน และสอดคล้องกับหลักการของระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัยสากล (International Organization for Standardization [ISO], 2018) ซึ่งวิธีการตรวจวัดอนุภาคฝุ่นละอองจากปลายปล่อยโรงงานอุตสาหกรรมจะมีระเบียบวิธีตรวจวัดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของอนุภาคฝุ่นละออง (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ฉบับที่ 10) พ.ศ. 2538, 2538) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป คือ วิธีตรวจวัดมาตรฐาน Federal Reference Method (FRM) ตามที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม แห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนด (ระบบกราวิเมตริก) และตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ (ประกาศกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ.2562, 2562) กำหนด โดยวิธีการตรวจวัดและวิธีเก็บตัวอย่าง ต้องเป็นไปตาม Federal Equivalent Method (FEM) ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศ สหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency; US EPA) กำหนด โดยอยู่ภายใต้ข้อกำหนด 40 CFR part 50 (Federal Register, 2015) และกระบวนการวิธีการของ U.S. EPA Method 201A (U.S. Environmental Protection Agency [U.S. EPA], 2023) แต่เทคนิคใหม่สำหรับการตรวจวัดนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Intra et al. (2013) ซึ่งวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองด้วยการวัดประจุไฟฟ้าที่ติดอยู่บนอนุภาคฝุ่นละอองโดยการอัดประจุไฟฟ้าเข้าไปและกำจัดไอออนส่วนเกินออกก่อนการตรวจวัด ได้ผลเป็นอย่างดีและมีความแม่นยำ อย่างไรก็ตาม หลักปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน มีความจำเป็นที่ต้องตระหนักและเข้าใจควบคู่กันไปในการดำเนินการตรวจวัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการสำรวจ การสังเกต การค้นหาอันตราย การวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย และกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานด้วย





ความปลอดภัย โดยการติดตั้งระบบนวัตกรรมการตรวจวัดฝุ่นแบบใหม่นี้ ให้มีกลไกในการนำเครื่องมือวัดไปใช้ประโยชน์ได้จริง และครอบคลุมการทำงานที่มีลักษณะการปฏิบัติงานบนที่สูงให้มีความปลอดภัยและเป็นไปตามมาตรฐานกำหนดด้วย (กฎกระทรวงอันตรายการตกจากที่สูง พ.ศ.2564, 2564)

2. วัตถุประสงค์

2.1 ค้นหาอันตรายและวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยสำหรับงานตรวจวัดการระบายอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องที่ใช้หลักการสนามไฟฟ้าสถิต

2.2 กำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยสำหรับงานตรวจวัดการระบายอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องที่ใช้หลักการสนามไฟฟ้าสถิต

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจค้นหา (Exploratory research) โดยมีเป้าหมายมุ่งเน้นการเพิ่มความปลอดภัยในการทำงานให้เด่นชัดขึ้นสำหรับสถานี่งานตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 ที่ปลดปล่อยจากปล่องอุตสาหกรรมด้วยเทคนิควิธีไฟฟ้าสถิต เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลวิจัยครั้งนี้ คือ การสัมภาษณ์, แบบสังเกตด้วยวิธี Check list, แบบประเมินการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (JSA), การทบทวนเอกสาร และการสนทนากลุ่มโดยนักอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ระดับเชี่ยวชาญและระดับชำนาญการ

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษานี้เก็บข้อมูลจากประชากรผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการติดตั้งระบบตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องด้วยเครื่องวัดฝุ่นละอองด้วยหลักการไฟฟ้าสถิต ณ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษแห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 1 แห่ง โดยการจัดกิจกรรมกระบวนการตรวจวัดดังกล่าว จำนวนทั้งหมด 5 รายๆ ละครั้ง แต่ละครั้งเก็บข้อมูลการตรวจวัดจำนวน 3 ชุด ซึ่งเกณฑ์การคัดเข้า (inclusion criteria) คือ ต้องเป็นผู้ปฏิบัติงานที่มีความรู้ในกระบวนการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่น ที่ใช้เทคนิคไฟฟ้าสถิต ณ สถานที่แห่งนี้ เพื่อควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

เครื่องมือวิจัยทางด้านวิธีปฏิบัติงาน ประกอบด้วย การสัมภาษณ์, แบบสังเกตด้วยวิธี Check list, แบบประเมินการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (JSA) การทบทวนเอกสาร และการสนทนากลุ่มโดยนักอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ระดับเชี่ยวชาญและระดับชำนาญการ วิเคราะห์เนื้อหาและประมวลผลร่วมกับการใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) วิเคราะห์ข้อมูล ค่าเฉลี่ย ในการอธิบายลักษณะของระดับความเสี่ยงที่เหลืออยู่ (Residual Risk)





ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลผลตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ตรวจพบถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ตรวจวัดด้วยวิธีดั้งเดิมคือ U.S. EPA method 201A โดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติแบบจับความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค Simple Linear Regression

3.3 การวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานเพื่อความปลอดภัยและการประเมินระดับความเสี่ยงสำหรับกระบวนการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องด้วยเครื่องวัดฝุ่นละอองด้วยหลักการไฟฟ้าสถิต

ขั้นตอนการทำงานเพื่อความปลอดภัยในกระบวนการดังกล่าว ครอบคลุมกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอนที่ (1) การเตรียมอุปกรณ์ ขั้นตอนที่ (2) การป้อนขึ้น-ลง สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์และทำงานบนที่สูง และขั้นตอนที่ (3) การเก็บหรือรื้อถอนการติดตั้ง/ทดสอบและการทำความสะอาดอุปกรณ์ เพื่อค้นหาอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้ปฏิบัติงานและระบุวิธีการทำงานที่ปลอดภัย เพื่อลดความเสี่ยงและเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งผู้ที่ทำการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยคือ นักอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ระดับเชี่ยวชาญและระดับชำนาญการ ที่ได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพควบคุม สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ตามข้อบังคับสภาวิชาชีพวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ข้อบังคับสภาวิชาชีพวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2566, 2566) ซึ่งดำเนินการโดยพิจารณาการดำเนินงานตรวจวัดจริงในสถานประกอบการแห่งหนึ่ง จำนวน 5 ครั้ง แล้วนำผลที่ได้ มาประมวลวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย (JSA) และกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานที่ปลอดภัย (SSOP) สำหรับงานประเภทนี้

สำหรับการประเมินระดับความเสี่ยงในกระบวนการตรวจวัดความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นดังกล่าว ผู้วิจัยได้ดำเนินการระบุเพื่อค้นหาอันตราย โดยแบบตรวจสอบประกอบด้วย รายการตรวจสอบผลการตรวจสอบ และบันทึกผล เพื่อนำผลจากการตรวจสอบมาทำการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงด้วยแบบสังเกตวิธี Check list ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะอันตราย มาตรการควบคุมและป้องกันอันตราย ข้อเสนอแนะ และผลระดับความเสี่ยงตามเกณฑ์ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2543) โดยพิจารณาจากโอกาสและความรุนแรง แล้วนำผลการวิเคราะห์ดังกล่าวไปประเมินระดับความเสี่ยงและกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานที่ปลอดภัย (SSOP)

4. ผลการวิจัย

4.1 การค้นหาอันตรายและวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยสำหรับงานตรวจวัดการระบายอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องที่ใช้หลักการสนามไฟฟ้าสถิต

การสังเกตอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากขั้นตอนการดำเนินงานติดตั้งระบบตรวจวัดการระบายอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องที่ใช้หลักการสนามไฟฟ้าสถิต แบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง อาจส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุจากการทำงานได้ ดังนั้นการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย จึงถูกนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยง เพื่อระบุถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการทำงาน และนำไปสู่การออกแบบวิธีการทำงานหรือกำหนดเป็นมาตรการการทำงานที่ปลอดภัยได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1





ตารางที่ 1 การค้นหาอันตรายและการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยสำหรับการตรวจวัดการระบาย
PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง

ขั้นตอนการทำงาน	อันตรายที่จะเกิดขึ้น	วิธีการทำงานที่ปลอดภัย
1. เตรียมอุปกรณ์	1. อุปกรณ์ของมีคมบาด 2. ชิ้นงานหล่นทับเท้า 3. ไฟฟ้าลัดวงจร	1. อบรมให้ ความรู้ เกี่ยวกับ ความปลอดภัยในการทำงานบนที่สูง แก่ผู้ปฏิบัติทุกคน ก่อนปฏิบัติงาน 2. กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานสวมใส่ อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลทุกครั้งก่อนปฏิบัติงาน ได้แก่ อุปกรณ์ ป้องกันการตกจากที่สูง, ถุงมือ, รองเท้า Safety ที่ได้มาตรฐาน 3. ตรวจสอบความปลอดภัยของ อุปกรณ์ทุกชิ้นก่อนใช้งาน, หากมีการใช้ไฟฟ้าต้องมีการติดตั้งสายดิน และผู้ปฏิบัติงานต้องผ่านการอบรม ความปลอดภัยเกี่ยวกับฟ้าผ่า
2. ปีนขึ้น-ลง สำหรับการติดตั้ง อุปกรณ์และทำงานบนที่สูง	1. อุปกรณ์/ชิ้นงานหล่น 2. พื้น, บันได ขณะปีนขึ้น-ลง สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ ไม่สมดุล 3. การทำงานบนที่สูง 4. ท่าทางการทำงานที่ผิด ธรรมชาติ/ผิดหลักการยศาสตร์ 5. สัมผัสฝุ่น, พุ่ม, ควั่น และ หรือความร้อน	2. อบรมให้ ความรู้ เกี่ยวกับ ความปลอดภัยในการทำงานบนที่สูง แก่ผู้ปฏิบัติทุกคนก่อนดำเนินการ 3. บริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ต้องสมดุล หากไม่สมดุลต้องปรับพื้นที่ให้มีความ สมดุล และ ตรวจสอบ ความปลอดภัยก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง 4. กำหนดให้มีเพื่อนร่วมงานช่วยกัน ประคองชิ้นงาน ระหว่างขึ้น-ลงทุกครั้ง และมีอุปกรณ์ป้องกันการตก 5. อบรมให้ความรู้ เกี่ยวกับการยศาสตร์ เช่น ท่าทางการทำงานที่ถูกต้องให้ ผู้ปฏิบัติงานทราบก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง เลือกใช้ เครื่องทุ่นแรงขณะติดตั้ง อุปกรณ์ที่เหมาะสม





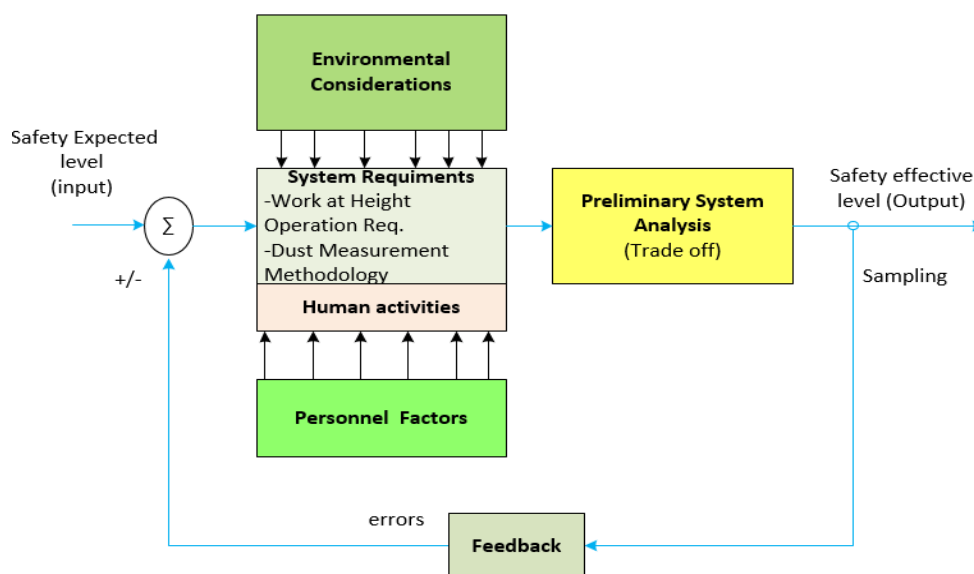
ตารางที่ 1 การค้นหาอันตรายและการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยสำหรับการตรวจวัดการระบาย
PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง (ต่อ)

ขั้นตอนการทำงาน	อันตรายที่จะเกิดขึ้น	วิธีการทำงานที่ปลอดภัย
2. ปีนขึ้น-ลง สำหรับการติดตั้ง อุปกรณ์และการทำงานบนที่สูง (ต่อ)		6. กำหนดให้สวมใส่อุปกรณ์ป้องกัน อันตรายส่วนบุคคลทุกครั้ง ก่อน ปฏิบัติงาน ได้แก่ อุปกรณ์ป้องกัน การตกจากที่สูง, หน้ากากป้องกันฝุ่น, ถุงมือ, แวนตา, รองเท้า Safety
3. เก็บหรือถอดถอนการติดตั้ง/ ทดสอบและการทำงานความสะอาด อุปกรณ์	1. อุปกรณ์ของมีคมบาด 2. ไฟฟ้าลัดวงจร	1. กำหนดให้ ผู้ปฏิบัติงานสวมใส่ อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลทุก ครั้งก่อนปฏิบัติงาน 2. ตรวจสอบความปลอดภัยระบบไฟฟ้า ทุกครั้งก่อนดำเนินการถอนการติดตั้ง ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องห้ามเข้าในพื้นที่

4.2 การกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัย (Safety Standard Operation Procedure: SSOP) ในกระบวนการทำงานตรวจวัดการระบายอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องด้วยเครื่องวัดอนุภาคฝุ่นด้วยประจุไฟฟ้าที่รายงานผลข้อมูลการวัดแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง

ผลจากการทบทวนเอกสาร การสนทนากลุ่ม และการสังเกต ข้อมูลที่ตรวจพบ เมื่อกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัย โดยประยุกต์แนวทางของบลันชาร์ด (Blanchard & Fabrycky, 1990) ซึ่งมีกระบวนการพิจารณาครอบคลุมปัจจัยขององค์ประกอบที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และให้เป็นไปตามหลักการของวิศวกรรมมนุษย์ปัจจัย (พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี, 2555) ซึ่งการปฏิบัติงานบนที่สูงสำหรับงานตรวจวัดการระบายอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องด้วยเครื่องวัดอนุภาคฝุ่นด้วยประจุไฟฟ้าที่ได้นำมาเป็นประเด็นในการศึกษาครั้งนี้ พิจารณาตามหลักระบบวิศวกรรมความปลอดภัยได้ ดังภาพที่ 1





ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมระบบการสร้างกลไกการทำงานที่ปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

4.2.1 System requirements

ระบบมีความต้องการฟังก์ชันการปฏิบัติ 2 ส่วน คือ ความต้องการลักษณะการทำงานบนที่สูงอย่างปลอดภัย และความต้องการลักษณะการทำงานติดตั้งเดินระบบเครื่องมือวัดอนุภาคฝุ่นละอองในปล่องที่ใช้เทคนิคประจุไฟฟ้าสถิตได้อย่างปลอดภัย ซึ่งทั้งสองมีความต้องการทักษะจำเป็นดังนี้

- (i) ทักษะการเชื่อมต่อระบบเครื่องมือวัดอนุภาคที่ถูกต้อง
- (ii) ทักษะการปีนขึ้นปล่อง, ปีนลงปล่อง และทักษะการใช้อุปกรณ์ส่วนบุคคลสำหรับการทำงานบนที่สูงอย่างปลอดภัย
- (iii) ทักษะการใช้งานเครื่องมือวัดอนุภาคฝุ่นละอองด้วยความเชี่ยวชาญและถูกต้อง
- (iv) ทักษะการติดตั้งอุปกรณ์การทำงานบนที่สูงให้มั่นคงและปลอดภัย

4.2.2 Human Activities

ปัจจัยด้านกิจกรรมของผู้ปฏิบัติงานที่เกิดขึ้นเมื่อเข้าไปในพื้นที่การทำงาน ประกอบด้วย:

4.2.2.1 Job operation

สิ่งที่ต้องทำในงาน ได้แก่ การเชื่อมต่อระบบเครื่องมือวัดอนุภาคฝุ่นละอองอย่างถูกต้องตามคู่มือปฏิบัติการ ได้แก่ การใส่ HEPA ฟิลเตอร์เข้าตลับกรองอย่างถูกต้อง, การปรับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงสำหรับอัดประจุไฟฟ้าอย่างถูกต้อง, การปรับแรงดันไฟฟ้าแรงสูงสำหรับเก็บกวาดไอออนส่วนเกินที่เหลืออย่างถูกต้อง, การเตรียมระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าป้อนระบบอย่างถูกต้องและต้องให้แล้วเสร็จโดยถูกต้องสมบูรณ์ ตั้งแต่ต้นก่อนการปีนขึ้นไปเก็บตัวอย่าง, การเลือกและสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลหรือ Personal Protective Equipment (PPE) สำหรับการทำงานบนที่สูงได้อย่างถูกต้อง ตลอดจนการปีนขึ้นและลงจากปล่องด้วยความปลอดภัยและการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอนุภาคฝุ่นละอองอย่างถูกต้อง





4.2.2.2 สัดส่วนช่วงเวลาที่ต้องทำงานกับเวลารวมการหยุดพัก (Duty)

ประเมินจากงานปีนปล่อง หากกำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานไม่มีเวลาพัก (Duty = 1) จึงต้องมั่นใจว่าสมรรถนะร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน ต้องมีสุขภาพแข็งแรง มีพลังงานเพียงพอในการปีนจนถึงที่หมายจุดตรวจวัดได้โดยไม่มีการหยุดพัก เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะเกิดความปลอดภัยระหว่างการปีน, การทำงานติดตั้งเครื่องมือวัดอนุภาคฝุ่นละอองบนปล่อง, การกำหนดให้มีเวลาหยุดพักบนปล่อง ณ จุดตรวจวัด จึงต้องให้มีพื้นที่ฐานรองรับที่มั่นคงรอบปล่องเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้ยืนพักและยืนทำงานได้อย่างสะดวกและปลอดภัย

4.2.2.3 งานที่ต้องปฏิบัติ (Task)

งานที่ต้องปฏิบัติ ประกอบด้วย (i) การเตรียมพร้อมเครื่องมือวัดอนุภาคฝุ่นละอองและอุปกรณ์ประกอบ (ii) การเตรียมตัวผู้ปีนปล่องเพื่อปฏิบัติงาน (iii) การ Operate ระบบขณะติดตั้ง, ทดสอบและใช้งานตรวจวัด (iv) การตรวจสอบและ monitor ระบบ

4.2.3 Environmental Considerations

ปัจจัยที่ด้านสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยในการทำงาน ปัจจัยแรกที่สำคัญ คือ นิเวศวิทยา ซึ่งประกอบด้วย สภาพแวดล้อมหน้าที่เป็นการทำงานบนที่สูง ซึ่งต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดว่าด้วยความปลอดภัยในการทำงานบนที่สูงเป็นสำคัญ และต้องพิจารณาความเหมาะสมในสภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศในสถานการณ์ปัจจุบัน ณ ที่ทำงานด้วยว่ามีความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานขณะทำการปีนป่ายและขณะทำการติดตั้งระบบตรวจวัดอนุภาคบนปล่องมากน้อยเพียงใด ปัจจัยที่สองรองลงมา คือ ข้อควรพิจารณาทางด้านเทคโนโลยี ซึ่งเครื่องมือวัดอนุภาคฝุ่นละอองในปล่องด้วยระบบนี้ เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้การวัดความเข้มข้นอนุภาคผ่านการตรวจนับความหนาแน่นประจุไฟฟ้าที่ชาร์จโดยการสร้างอิทธิพลลงบนอนุภาคฝุ่น ทำให้ขั้นตอนระเบียบวิธีการปฏิบัติงานมีความแตกต่างจากเครื่องมือวัดอนุภาคแบบดั้งเดิมในหลายขั้นตอน จึงต้องอบรมให้ความรู้ด้านความปลอดภัยในการทำงานแก่ผู้ปฏิบัติงานทุกคน เพื่อเน้นย้ำให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความรู้ความเข้าใจวิธีการปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัย ตั้งแต่ก่อนปฏิบัติงาน

4.2.4 Personnel factors

หมายถึง ปัจจัยส่วนบุคคลของผู้ปฏิบัติงานที่เป็นความสามารถที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานติดตั้งระบบฯ นี้ ซึ่งจำเป็นต้องมีทักษะความสามารถสำคัญ 2 ด้าน ได้แก่

4.2.4.1 ด้านทักษะความสามารถในการทำงานบนที่สูง

มีข้อพิจารณาย่อยด้านทักษะความสามารถในการทำงานบนที่สูงอยู่หลายปัจจัย ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่ผ่านการพิจารณาปัจจัยองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้

(1) ปัจจัยทางมนุษย์วิทยา (Anthropometric factors) เช่น ขนาดรูปร่าง สัดส่วนร่างกายมิติต่างๆ เหมาะสมกับงานปีนป่ายหรือการทำงานบนที่สูงได้ โดยอย่างน้อยต้องเป็นคนในกลุ่มคน 90 เปอร์เซ็นไทล์ ของผู้คนที่มียืนในสังคม

(2) ปัจจัยทางความสามารถในการรับรู้สัมผัส (Human sensory factors) เช่น ต้องไม่มีพฤติกรรมที่ส่อว่ามีอาการเมาเมากังหรือพักผ่อนไม่เพียงพอ ขณะเริ่มปฏิบัติงาน ฯลฯ





(3) ปัจจัยทางสรีรวิทยา (Physiological factors) เช่น ความสมบูรณ์ขององค์ประกอบร่างกายที่ต้องครบและความแข็งแรงของร่างกายที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานบนที่สูง

(4) ปัจจัยทางจิตวิทยาของมนุษย์ (Psychological factors) เช่น ต้องไม่เป็นคนกลัวความสูง, ไม่กลัวไฟฟ้าสถิต, เป็นคนใจเย็น-ไม่โกรธง่าย, จิตใจ-อารมณ์ต้องไม่มีความแปรปรวนสูง เป็นต้น และอาจมีปัจจัยด้านอื่นๆ (Other factors) ที่เกี่ยวข้องและพบว่าเป็นความเสี่ยงที่จะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานหรือจนงานสำเร็จก็สามารถเพิ่มเติมได้ โดยพิจารณาปรึกษาหารือร่วมกับเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ (จป.ว) ของสถานประกอบการที่ปฏิบัติงานหรือบุคคลผู้มีใบอนุญาตนักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีควบคุม สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

4.2.4.2 ทักษะความสามารถในการปฏิบัติงาน (Operate) กับระบบเครื่องตรวจวัดอนุภาคฝุ่นละอองด้วยประจุไฟฟ้าและส่งข้อมูลแบบต่อเนื่องด้วยเวลาจริง

พิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการเชื่อมต่อระบบก่อนการติดตั้ง, ระหว่างการติดตั้ง และการปฏิบัติงาน (Operate ระบบ) หรือการเฝ้าระวัง (Monitor) หลังการติดตั้ง ซึ่งทักษะความสามารถที่กล่าวมานี้จำเป็นต้องพิสูจน์ให้เป็นที่ทราบแน่นอนว่ามีความสามารถในระดับ “ผ่าน” จริงโดยเชิงประจักษ์

4.2.5 Preliminary Analysis

การทดสอบกระบวนการทำงานที่ออกแบบไว้ โดยนำมาทดสอบเก็บรายละเอียดผลการดำเนินงาน การประเมินผลที่ได้พิจารณาผลของความต่างระหว่างระดับความปลอดภัยที่คาดหวังกับผลระดับความปลอดภัยประสิทธิผลที่ได้ แล้วนำผลต่างซึ่งเป็นผลลัพธ์อันไม่พึงประสงค์ที่ถูกตรวจพบย้อนกลับไปปรับปรุงกระบวนการทำงาน เพื่อให้ได้ผลต่างดังกล่าวนี้ลดลงให้ได้มากที่สุด ซึ่งอาจต้องทวนสอบหลายๆ รอบเพื่อให้ได้ผลระดับปัจจัยความปลอดภัยประสิทธิผลออกที่ดีที่สุด ตามเป้าหมายความคาดหวังที่ตั้งไว้ในหลักการ ดังจะเห็นกระบวนการได้ตามที่แสดงในภาพที่ 1 ซึ่งในการออกแบบระบบครั้งนี้หลังการออกแบบและวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย ตามลักษณะงานของการติดตั้งระบบตรวจวัดอนุภาคฝุ่นด้วยประจุไฟฟ้าแล้วนำไป implement ในสถานปฏิบัติงานจริง แล้วใช้แบบสังเกตในการตรวจการณ์สังเกตหาผลลัพธ์ที่ไม่พึงประสงค์หรือไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ทวนสอบแล้วแก้ไขข้อบกพร่อง และวนทำ implement ซ้ำสังเกตและแก้ไขจำนวน 5 รอบ ปรับปรุงจนได้คำตอบที่เป็นคู่มือความปลอดภัยในการทำงานที่ดี ที่แสดงถึงกระบวนการทำงานติดตั้งระบบตรวจวัดอนุภาคฝุ่นด้วยประจุไฟฟ้าบนที่สูงนี้ นำไปสู่การปฏิบัติงานด้วยความปลอดภัยในการทำงานมากที่สุด

4.2.6 การกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน สำหรับงานติดตั้งระบบการตรวจวัดอนุภาคฝุ่นละอองด้วยประจุไฟฟ้าที่ดีในรูปแบบของอนุกรมเวลา

เนื่องจากขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบการวัด PM2.5 และ PM10 กับวิธีมาตรฐาน EPA Method 201A และขั้นตอนการทดสอบภาคสนาม ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องปฏิบัติงาน ณ หน่วยงานจริงซึ่งเป็นการทำงานบนที่สูง และด้วยลักษณะงานที่ผู้ปฏิบัติงานอาจเสี่ยงได้รับสัมผัสกับสิ่งคุกคามสุขภาพทั้งทางด้านเคมี ด้านกายภาพ ด้านชีวภาพและด้านการยศาสตร์ เช่น ฝุ่นละอองจากโรงงาน, ความร้อน, เสียง,





แสงสว่าง, ความเครียดจากการทำงาน หรืออันตรายอื่นๆ ที่ส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน (วันที พันธุ์ประสิทธิ์, 2560) คณะผู้วิจัยได้ตระหนักและให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งกับหลักความปลอดภัยในการทำงาน จึงได้ออกแบบกระบวนการทำงาน โดยเริ่มต้นที่การดำเนินการประเมินความเสี่ยงโดยวิธีการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัย เพื่อค้นหาสิ่งคุกคามสุขภาพหรืออันตรายที่แฝงอยู่ในแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติงาน และนำมากำหนดเป็น Work procedure ซึ่งวิธีการปฏิบัติงานที่ปลอดภัย (Safety Standard Operation Procedure: SSOP) เพื่อควบคุมและป้องกันการได้รับสัมผัสสิ่งคุกคามสุขภาพและ/หรืออันตรายที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานได้ และให้สามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ โดยแสดงถึงวิธีการปฏิบัติงานที่ปลอดภัย บนกระบวนการทำงานติดตั้งเครื่องวัดอนุภาคฝุ่นละอองด้วยประจุไฟฟ้าและส่งข้อมูลแบบต่อเนื่องด้วยเวลาจริงที่ดี มีขั้นตอนในกิจกรรมต่างๆ แบบที่ละขั้นตอนที่ผสมผสานกับข้อกำหนดว่าด้วยความปลอดภัยในการทำงานสำหรับประเภทงานลักษณะนี้ ซึ่งสามารถออกแบบระบบการทำงานเป็นรูปแบบตามอนุกรมเวลาได้ดังนี้

4.2.7 การเตรียมการก่อนเริ่มงาน

4.2.7.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน ได้แก่

- การดำเนินการประเมินความเสี่ยงอย่างละเอียดแต่ละขั้นตอนการทำงาน เพื่อระบุอันตรายที่อาจเกิดขึ้น เช่น โอกาสการพลัดตกจากการทำงานบนที่สูงหรือการปีนป่อง, โอกาสการสัมผัสกับการปล่อยมลพิษที่เป็นอันตราย, โอกาสการได้รับสัมผัสอันตรายจากไฟฟ้า และ/หรือโอกาสการเกิดอันตรายจากสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติงาน เป็นต้น

- พัฒนาการวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับงานตรวจวัดอนุภาคฝุ่นที่ใช้ระบบสนามไฟฟ้า โดยระบุการควบคุมอันตรายแต่ละประเภทหรือขั้นตอนการทำงานของแต่ละเนื้องาน

- การเตรียมสถานที่ ต้องตรวจสอบปล่องควันและพื้นที่โดยรอบเพื่อดูความสมบูรณ์ของโครงสร้าง และให้แน่ใจว่าปลอดภัยสำหรับการทำงาน

- ตรวจสอบว่าจุดยึดและเชือกนิรภัยสำหรับการป้องกันการตกอยู่ในสภาพดีและได้รับการจัดอันดับอย่างเหมาะสม

4.2.7.2 ขั้นตอนการให้ความรู้ด้านความปลอดภัยในการทำงานบนที่สูงให้กับผู้ปฏิบัติงาน

- ให้แน่ใจว่าผู้ปฏิบัติงานทุกคนได้รับการฝึกอบรมในการทำงานบนที่สูง, การใช้ระบบป้องกันการตกจากการทำงานบนที่สูง และขั้นตอนเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน

- จัดให้มีการฝึกอบรมเกี่ยวกับวิธีการตรวจวัดอนุภาคฝุ่นด้วยเทคนิคประจุไฟฟ้า และการวัดตาม EPA Method 201A และให้แน่ใจว่าผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจแนวคิดของข้อกำหนดของ 40 CFR part 50 อย่างถูกต้อง





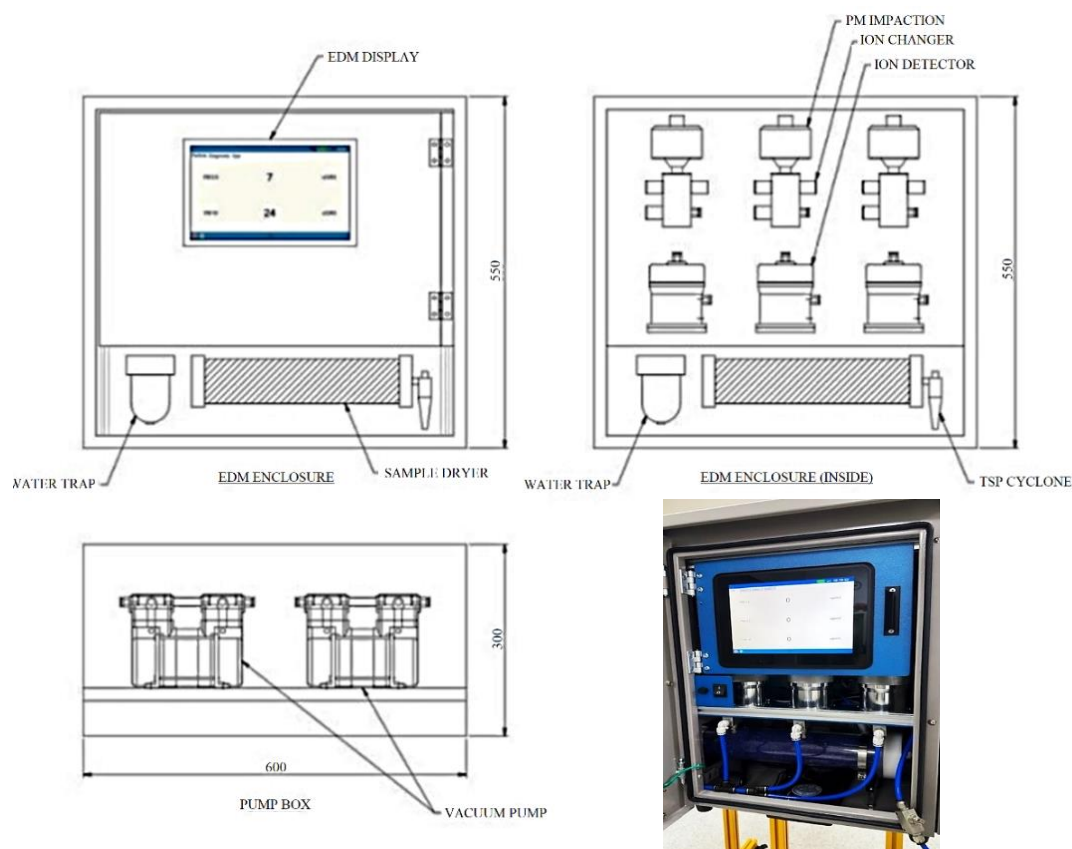
4.2.7.3 ขั้นตอนเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

- ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูง รวมถึงสายรัดแบบเต็มตัว เชือกคล้อง และหมวกกันน็อก
- อาจต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจ ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ปฏิบัติงานที่อาจมีลักษณะการปล่อยมลพิษที่อาจเกิดขึ้น
- อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลในส่วนที่เพิ่มเติมซึ่งอาจรวมถึงรองเท้าเซฟตี้, ถุงมือ, แว่นตานิรภัย, และเสื้อผ้าทนไฟหรือชุดกันความร้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับโอกาสการได้รับสัมผัสอันตรายจากปล่องเป็นการเฉพาะตามลักษณะสถานที่ทำงาน
- จัดให้มีการฝึกอบรมเกี่ยวกับวิธีการตรวจวัดอนุภาคฝุ่นด้วยเทคนิคประจุไฟฟ้า และการวัดตาม EPA Method 201A และให้แน่ใจว่าผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจแนวคิดของข้อกำหนดของ 40 CFR part 50 อย่างถูกต้อง

4.2.8 การตรวจสอบก่อนปฏิบัติการ

- ขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ ประกอบด้วย
- ตรวจสอบอุปกรณ์ป้องกันการตกทั้งหมด รวมถึงสายรัด เชือกคล้อง และจุดยึด
 - ตรวจสอบสภาพและการสอบเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดอนุภาคฝุ่นที่ใช้วัดการปล่อยมลพิษจากปล่องควัน
 - ตรวจสอบให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องและอยู่ในสภาพการทำงานที่ดี โดยเฉพาะการเชื่อมต่อความพร้อมในการทำงานเครื่องวัดอนุภาคฝุ่นด้วยประจุไฟฟ้าที่ต้องพิจารณาถึงความถูกต้องของการเชื่อมต่อทั้งระบบไฟฟ้าและระบบท่อดูดตัวอย่างอากาศ, ระดับแรงดันไฟฟ้าและระบบแรงดันดูดตัวอย่างอากาศที่ระบบจำเป็นต้องใช้, ระยะความลึกของ Probe เก็บตัวอย่างที่จำเป็นต้องหยั่งลึกเข้าไปในปล่องตามระดับที่โปรโตคอลต้องการ อัตราความเร็วลมที่ต้องใช้ในการเก็บตัวอย่าง ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งต้องมั่นใจว่าอยู่ในสภาพที่ถูกต้องและพร้อมใช้งานทันที และต้องมีความปลอดภัยเมื่อติดตั้งเข้าตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว ซึ่งโครงสร้างของอุปกรณ์ควบคุมระบบการสื่อสารข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดส่งให้ปลายทางด้วยคอมพิวเตอร์และ EDM (Terminal node controller) เซิร์ฟเวอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2





ภาพที่ 2 ชุดควบคุมการประมวลผลและส่งข้อมูล (EDM-Terminal node controller)

ขั้นตอนการตรวจสอบแผนฉุกเฉิน ประกอบด้วย

- ตรวจสอบและสื่อสารแผนรับมือเหตุฉุกเฉินกับทีมงาน
- ระบุสถานี่ปฐมพยาบาล อุปกรณ์ป้องกัน เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินและอุปกรณ์สื่อสารที่ใกล้ที่สุดที่สามารถเข้าถึงยามฉุกเฉินได้

ขั้นตอนการประเมินสภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย

- ประเมินความเสี่ยงอันตรายจากสภาพอากาศก่อนเริ่มปฏิบัติงานทุกครั้ง ได้แก่ ระดับลม, ฝนตกหรือฟ้าแลบ ฯลฯ ซึ่งต้องกำหนดวันปฏิบัติงานใหม่หากสภาพภูมิอากาศมีความเสี่ยงต่อการปฏิบัติงาน

4.2.9 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

4.2.9.1 การกำหนดความสามารถในการเข้าถึงไซต์งานและการตั้งค่า

- กำหนดแนวทางหรือมาตรการรักษาความปลอดภัยของบริเวณรอบพื้นที่ปฏิบัติงาน เพื่อป้องกันการเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต

- ติดตั้งป้ายชี้บ่งขอบเขตการเข้าพื้นที่เฉพาะผู้ปฏิบัติงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องเท่านั้น และจัดให้มีป้ายเตือนรอบพื้นที่ปฏิบัติงาน

- ตรวจสอบว่าอุปกรณ์ป้องกันการตกจากที่สูงทั้งหมดติดตั้งอย่างถูกต้องก่อนเป็นขึ้นไปปฏิบัติงาน





4.2.9.2 ขั้นตอนการปีนป่อง

- ใช้บันไดแบบยึดกับกรงหรือบันไดที่มีระบบหยุดตก
- รักษาจุดสัมผัส 3 จุดตลอดเวลาขณะทำการปีนป่องขึ้นไป
- ตรวจสอบให้แน่ใจว่าเครื่องมือและอุปกรณ์ได้รับการยึดอย่างแน่นหนาและให้ยกขึ้น

โดยใช้กระเปาะเครื่องมือหรือเชือก หลีกเลี่ยงการถือสิ่งของขณะปีนป่ายขึ้นไป ดังในภาพที่ 3 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 (ก) การกระทำที่ไม่คำนึงถึงปลอดภัยในการทำงาน (ข) การทำงานตามหลักความปลอดภัย

4.2.9.3 ขั้นตอนดำเนินการติดตั้งเครื่องวัดอนุภาคฝุ่นด้วยประจุไฟฟ้า

- เมื่อถึงจุดตรวจวัดอนุภาคฝุ่น ให้ผู้ปฏิบัติงานยึดตัวเองด้วยระบบป้องกันการตก
- ตั้งค่าอุปกรณ์วัดการระบายฝุ่นจากปล่องตามคู่มือวิธีการติดตั้งเครื่องวัดอนุภาคฝุ่น
- ให้แน่ใจว่ามีการรวบรวมข้อมูลที่ถูกต้องและเป็นไปตามข้อกำหนด โดยปฏิบัติตาม

ขั้นตอนวิธีการที่กำหนด

4.2.9.4 ขั้นตอนการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

- ตรวจสอบความเสถียรของพื้นที่ทำงาน สภาพอากาศ และสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาทำงาน

- จัดให้มีผู้สังเกตการณ์หรือหัวหน้างานอยู่ที่ระดับพื้นราบเพื่อรักษาการสื่อสารและให้ความช่วยเหลือหากจำเป็น

4.2.10 ขั้นตอนหลังการปฏิบัติงาน

4.2.10.1 ขั้นตอนการปิดระบบการทำงานและการถอดอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- ถอดปลั๊กตามลำดับก่อน-หลังอย่างปลอดภัยและนำเครื่องมือและอุปกรณ์ลงสู่พื้นอย่างระมัดระวัง





- ปีนลงจากปล่องอย่างระมัดระวังโดยใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลที่สวมใส่ป้องกันการพลัดตกจากที่สูง

- ถอดสิ่งกีดขวาง บ้ายเตือน และรักษาความปลอดภัยในพื้นที่ที่ปฏิบัติงาน

- ตรวจสอบว่าได้จัดเก็บอุปกรณ์ทั้งหมดอย่างถูกต้องและตรวจสอบความเสียหายหรือมาตรการรักษาความปลอดภัยของบริเวณรอบพื้นที่ปฏิบัติงาน เพื่อป้องกันการเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต

- กรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน ควรจัดให้มีแผนฉุกเฉินเมื่อเกิดเหตุพลัดตก โดยมีแผนกู้ภัยฉุกเฉินเมื่อเกิดการพลัดตก และผู้ปฏิบัติงานได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับขั้นตอนด้านความปลอดภัยในการทำงานบนที่สูงและการปฐมพยาบาลเบื้องต้น โดยจัดเตรียมข้อมูลติดต่อการบริการฉุกเฉินให้พร้อมทุกครั้ง

4.2.10.2 ขั้นตอนการบันทึกข้อมูล ประกอบด้วย

- จัดทำเอกสาร ผลการตรวจวัดและตรวจสอบให้แน่ใจว่าบันทึกข้อมูลทั้งหมดตามมาตรฐานของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา

- รายงานอุบัติการณ์ (Incidence), เหตุการณ์เกือบเกิดอุบัติเหตุ (Near miss) หรืออุปกรณ์ขัดข้องระหว่างทำงานให้หน่วยงานความปลอดภัยทราบทุกครั้งที่ปฏิบัติงานเพื่อกำหนดมาตรการป้องกันที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อไป

4.3 ผลการประเมินระดับความเสี่ยงที่เหลืออยู่ หลังจากกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยสำหรับกระบวนการตรวจวัดฝุ่น PM1.0, PM2.5 และPM10 จากปล่องแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง





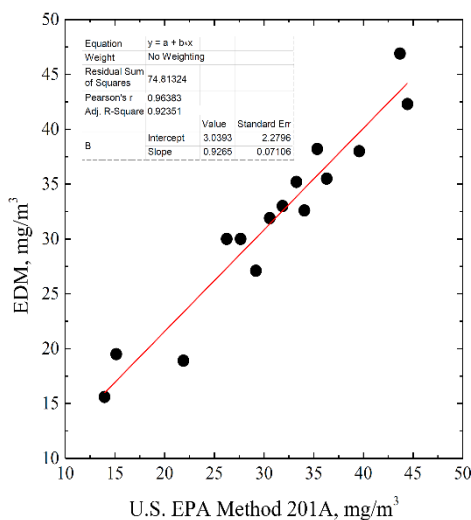
ตารางที่ 2 การประเมินระดับความเสี่ยงที่เหลืออยู่ หลังจากกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยสำหรับกระบวนการตรวจวัดฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง

ขั้นตอนการทำงาน	อันตรายที่จะเกิดขึ้นจากการกำหนดมาตรการความปลอดภัย SSOP	การประเมินระดับความเสี่ยงจากการกำหนดมาตรการความปลอดภัย SSOP			
		โอกาส	ความรุนแรง	ผลลัพธ์	ระดับความเสี่ยงที่เหลืออยู่
1. เตรียมอุปกรณ์	1. อุปกรณ์ของมีคมบาด	1	1	1	ความเสี่ยงเล็กน้อย
	2. ชิ้นงานหล่นทับเท้า	1	1	1	ความเสี่ยงเล็กน้อย
	3. ไฟฟ้าลัดวงจร	1	4	4	ความเสี่ยงยอมรับได้
2. ปีนขึ้น-ลง สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์และทำงานบนที่สูง	1. อุปกรณ์/ชิ้นงานหล่น	1	1	1	ความเสี่ยงเล็กน้อย
	2. พื้น, บันได ขณะปีนขึ้น-ลง สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ไม่สมดุล	1	2	2	ความเสี่ยงเล็กน้อย
	3. ตกจากที่สูง	1	3	3	ความเสี่ยงยอมรับได้
	4. ทำทางการทำงานที่ผิดธรรมชาติ	3	1	3	ความเสี่ยงยอมรับได้
2. ปีนขึ้น-ลง สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์และทำงานบนที่สูง (ต่อ)	5. สัมผัสฝุ่น, พุ่ม, ควั่น และหรือความร้อน	2	1	2	ความเสี่ยงเล็กน้อย
3. เก็บหรือรื้อถอนการติดตั้ง/ทดสอบและการทำความสะอาดอุปกรณ์	1. อุปกรณ์ของมีคมบาด	1	1	1	ความเสี่ยงเล็กน้อย
	2. ไฟฟ้าลัดวงจร	1	4	4	ความเสี่ยงยอมรับได้

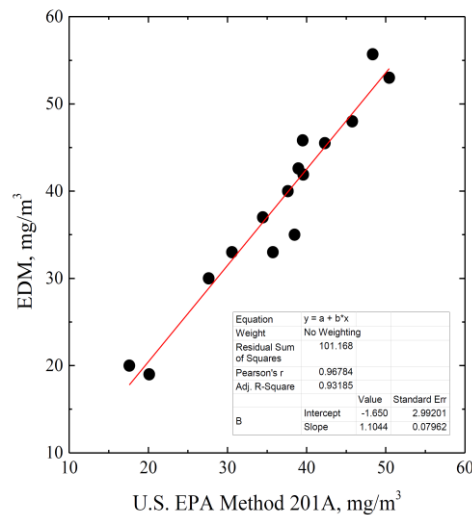




4.4 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากปล่องแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง เทียบกับวิธี U.S. EPA method 201A



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 (ก) ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่น PM2.5 (ข) PM10 เทียบกับวิธี U.S.EPA method 201A เมื่อนำตัวอย่างข้อมูลความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่น PM2.5 และ PM10 จากปล่องแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง มาเปรียบเทียบกับผลที่ตรวจวัดด้วยวิธีมาตรฐาน U.S. EPA method 201A และวิเคราะห์เชิงสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ ด้วยวิธี Simple Linear Regression พบว่า ผลการตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองจากปล่องแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง เทียบกับ วิธี U.S. EPA method 201A มีความสอดคล้องกันดี โดยอนุภาคฝุ่น PM2.5 มีความสัมพันธ์ตามสมการ $y = 0.9265x + 3.039$ ที่ระดับ $R^2 = 0.9638$ ส่วนอนุภาคฝุ่น PM10 มีความสัมพันธ์กันตามสมการ $y = 1.1044x - 1.65$ ที่ระดับ $R^2 = 0.9678$

5. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์งานเพื่อความปลอดภัยโดยใช้กระบวนการ Job Safety Analysis (JSA) ร่วมกับการกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัย หรือ Safety Standard Operation Procedure (SSOP) ในการทำงานให้มีความชัดเจนและครอบคลุมทุกขั้นตอนของงานติดตั้งเครื่องวัดการระบายอนุภาคฝุ่น PM1.0, PM2.5 และ PM10 จากปล่องด้วยเครื่องวัดอนุภาคฝุ่นด้วยประจุไฟฟ้าที่รายงานผลข้อมูลการวัดแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง ส่งผลให้การดำเนินงานมีความปลอดภัยสูงขึ้น ลดความเสี่ยงจากอันตรายในการทำงานบนที่สูงและการสัมผัสฝุ่นละอองโดยตรงได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการประเมินระดับความเสี่ยง และนำมาสู่การกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน จนทำให้ระดับความเสี่ยงที่เหลืออยู่ มีค่าอยู่ในระดับเล็กน้อยและเป็นระดับที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ผลการวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ได้จากการตรวจวัดวิธีนี้ สามารถยืนยันความถูกต้องด้วยความสอดคล้องกันระดับดีมาก จากการทำ Linear regression เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐาน U.S. EPA method 201A โดยมีค่า $R^2 = 0.96$ ของสมการโมเดลที่ได้



6. การอภิปรายผล

การกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัยสำหรับกระบวนการตรวจวัดฝุ่นจากปล่องเป็นมาตรการความปลอดภัยที่ช่วยลดความเสี่ยงจากการตกจากที่สูงอันเนื่องจากการปีนขึ้นปล่องเพื่อเก็บตัวอย่าง โดยระบบสามารถแสดงผลข้อมูลได้บนเวลาจริง ช่วยให้การติดตามและตอบสนองต่อสถานการณ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Gaurangkumar & Jayesh, 2021; U.S. EPA, 2023) ในส่วนของการออกแบบ SSOP ที่ผ่านการวิเคราะห์งานจริงในสถานประกอบการช่วยสร้างมาตรฐานการทำงานที่ปลอดภัย และสามารถนำกลับมาประเมินซ้ำ เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสม ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญของระบบบริหารจัดการความปลอดภัยตามแนวทางของ ISO 45001:2018 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการ Gravimetric แบบดั้งเดิม พบว่าระบบใหม่ที่ใช้เทคนิคไฟฟ้าสถิต ไม่เพียงแต่ลดความเสี่ยงอันตราย แต่ยังช่วยลดขั้นตอนที่ซับซ้อนในการเก็บตัวอย่าง และลดโอกาสที่ผู้ปฏิบัติงานจะสัมผัสกับอนุภาคฝุ่นในระหว่างการทำงาน (WHO, 2023) ความสามารถในการรายงานข้อมูลอย่างต่อเนื่องและทันเวลาเป็นอีกปัจจัยที่สนับสนุนให้หน่วยงานสามารถดำเนินการควบคุมมลพิษทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผลการดำเนินการตาม SSOP ที่พัฒนาขึ้นยังแสดงให้เห็นว่าแนวปฏิบัติที่มีการวางแผนอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การเตรียมอุปกรณ์ การอบรมผู้ปฏิบัติงาน ไปจนถึงการจัดการหลังการปฏิบัติงาน มีส่วนช่วยลดความผิดพลาดจากมนุษย์ (Human Error) (พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี, 2555) และส่งเสริมวัฒนธรรมความปลอดภัยในองค์กร ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในแนวทางอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (Samma et al., 2021) สำหรับแนวทางที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้กับงานติดตั้งอุปกรณ์บนที่สูงอื่นๆ และสามารถส่งเสริมความปลอดภัยในการทำงานในภาคอุตสาหกรรมที่ต้องการเทคโนโลยีการตรวจวัดมลพิษที่ทันสมัยและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

การตรวจวัดอนุภาคฝุ่นละอองจากปล่องด้วยประจุไฟฟ้าที่รายงานผลข้อมูลการวัดแบบต่อเนื่องออนไลน์ด้วยเวลาจริง นับเป็นวิธีการตรวจวัดแบบใหม่ ที่ผู้ตรวจวัดจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในระเบียบวิธีการวัดที่ถูกต้อง การฝึกอบรมให้ความรู้และการกำหนดมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัย (SSOP) ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการตรวจวัดฝุ่นจากปล่องจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง และการรายงานผลด้วยเวลาจริง (Real-time) ทำให้ผลการตรวจวัดที่ได้สื่อสารไปถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ และลดความยุ่งยากซับซ้อนลง ดังนั้นในทางปฏิบัติ สถานประกอบการที่ต้องการศึกษาข้อมูลด้านฝุ่นละอองดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาข้อมูลได้

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ซี.พี.ดี.ซีทเบอร์ด จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบระบบการปฏิบัติงานการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะผู้วิจัยและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี





9. เอกสารอ้างอิง

- กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานในสถานที่ที่มีอันตรายจากการตกจากที่สูงและที่ลาดชัน จากวัสดุ กระเด็น ตกหล่นและพังทลาย และจากการตกลงไปในภาชนะเก็บหรือรองรับวัสดุ พ.ศ. 2564. (2564, 2 มีนาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 138 ตอนที่ 15 ก. หน้า 51-56.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2543). *ระเบียบกรมโรงงานอุตสาหกรรมว่าด้วยหลักเกณฑ์การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยงและจัดทำแผนบริหารจัดการความเสี่ยง พ.ศ. 2543*. กรมโรงงาน อุตสาหกรรม.
- ข้อบังคับสภาวิชาชีพวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ว่าด้วยการประกอบวิชาชีพวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ควบคุม สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย พ.ศ. 2566. (2566, 2 มิถุนายน). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 140 ตอนพิเศษ 130 ง. หน้า 47-52.
- ประกาศกรมควบคุมมลพิษ พ.ศ.2562 เรื่อง เครื่องวัดและวิธีตรวจวัดค่าเฉลี่ยของก๊าซหรือฝุ่นละออง ในบรรยากาศโดยทั่วไประบบอื่นหรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ. (2562, 18 ตุลาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 136 ตอนพิเศษ 259 ง. หน้า 37-38.
- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ฉบับที่ 10) พ.ศ. 2538 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศ ในบรรยากาศโดยทั่วไป. (2538, 5 กันยายน). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 112 ตอนที่ 71 ง. หน้า 243-246.
- พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี. (2555). การยศาสตร์กับการทำงาน. *วิศวกรรมสารเอเชียอาคเนย์*, 8(2), 51-58.
- วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์. (2560). *สุขศาสตร์อุตสาหกรรม: กลยุทธ์ ประเมิน ควบคุม และจัดการ*. เบสท์ กราฟฟิค เพรส.
- Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (1990). Ch.15 Design for Manability. In W. J. Fabrycky & J. H. Mize (Eds), *System Engineering and Analysis* (pp. 434- 459). Prentice- Hall International Ed.
- Federal Register. (2015). *Part II, Environmental Protection Agency, 40 CFR Parts 50*. <https://archive.epa.gov/ttn/ozone/web/pdf/40cfr50.pdf>
- Gaurangkumar, H. B., & Jayesh, R. (2021). Studies on development of online measurement of PM2.5 and PM10 releasing from industrial flue gas stack. *The ADBU Journal of Engineering Technology (AJET)*, 10(2), 2348-7305.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018 – Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use*. <https://www.iso.org/standard/63787.html>
- Intra, P., Yawootti, A., & Tippayawong, N. (2013). An electrostatic sensor for continuous monitoring of particulate air pollution. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 30(12), 2205–2212. <https://doi.org/10.1007/s11814-013-0168-7>





Samma, M. Y., Jaya Dipraja, E. A., & Harun, A. A. (2021). The application of job safety analysis (JSA) method in identifying the risk of work accidents in charged manpower in Bungkutoko Port, Kendari City: job safety analysis. *Indonesian journal of health sciences research and development (IJHSRD)*, 3(1), 8–17.
<https://doi.org/10.36566/ijhsrd/Vol3.Iss1/46>

U.S. Environmental Protection Agency. (2023). *Revised method 201A for PM emission determination*. https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/method_201a_0.pdf

World Health Organization. (2023). *Air pollution and health*. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

