



การศึกษาการทดสอบความแม่นยำของระบบตรวจวัดมลพิษแบบอัตโนมัติด้วยมาตรฐานอเมริกาและอังกฤษ: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้า

A Study on Accuracy Assessment of An Automated Pollution Monitoring System Based on American and British Standards: A Case Study of A Power Plant

ประเสริฐ สุระขันธ¹, วีรชัย อัสวเมธาพันธ์² และ วรณี มังคละศิริ^{3*}

Prasert Surakhan¹, Weerachai Asawamethapant² and Woranee Mungkalasiri^{3*}

¹ นักศึกษาระดับปริญญาโท, หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

¹ Graduate student, Master of Engineering Program in Energy and Environmental Technology Management, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

^{2,3} รองศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

^{2,3} Associate Professor, Thammasat School of Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

*Corresponding author, E-mail: pworanee@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

จากการที่กระทรวงอุตสาหกรรมได้ออกประกาศให้โรงงานติดตั้งเครื่องมือ เพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบายแบบอัตโนมัติ โดยโรงงานต้องรายงานข้อมูลการปล่อยมลพิษออนไลน์ ให้กรมโรงงานอุตสาหกรรมและเปิดเผยต่อสาธารณะ เพื่อเป็นการเฝ้าระวังการปลดปล่อยมลพิษที่เกินมาตรฐานที่กำหนด หนึ่งในโรงงานที่ต้องติดตั้งระบบตรวจวัดมลพิษคือ โรงไฟฟ้า ซึ่งมีมากกว่า 100 แห่ง ในประเทศไทย ซึ่งต้องติดตั้งระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง (Continuous Emission Monitoring System, CEMS) และต้องทดสอบความแม่นยำของระบบนี้ทุกปี ซึ่งในการประเมินความแม่นยำของระบบ CEMS ปัจจุบันประเทศไทยใช้มาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ซึ่งมีความซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายสูง โดยเฉพาะสำหรับโรงไฟฟ้าที่ต้องเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าให้ได้มากกว่า 50% เพื่อทดสอบความแม่นยำ ดังนั้นการศึกษานี้จึงเสนอการใช้อนุกรมมาตรฐานอังกฤษ (BS EN 14181) ที่มีข้อกำหนดการทดสอบความแม่นยำของการตรวจวัดที่รวดเร็วและเทียบเท่ากับมาตรฐานสหรัฐอเมริกา ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดสอบได้ การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการเปรียบเทียบผลการทดสอบความแม่นยำจากทั้งสองมาตรฐาน เพื่อลดภาระของโรงไฟฟ้าและสามารถนำไปใช้กับโรงงานประเภทอื่นได้โดยผลการดำเนินการทดสอบความแม่นยำประจำปี ระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติของ



โรงไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 ภายใต้มาตรฐานการทดสอบความแม่นยำของสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ แสดงให้เห็นว่าการทดสอบมาตรฐานอังกฤษสามารถลดระยะเวลาในการดำเนินการได้ ซึ่งเป็นผลดีต่อโรงไฟฟ้าที่ไม่ได้เดินเครื่องผลิตไฟฟ้าเต็มตลอดเวลา นอกจากนี้ยังพบว่าการวิเคราะห์ผลการทดสอบความแม่นยำของก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำด้วยมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ส่วนใหญ่จะผ่านมาตรฐานการทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์ แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่ามาตรฐานอังกฤษมีแนวทางและการดำเนินการที่เทียบเท่ากับมาตรฐานสหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถใช้ทดสอบความแม่นยำของระบบ CEMS ได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยลดค่าใช้จ่ายให้กับโรงงานได้

คำสำคัญ: การปล่อยมลพิษ, มาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา, วิธีการตรวจวัดมลพิษจากปล่องแบบอัตโนมัติของอังกฤษ, ระบบตรวจวัดมลพิษจากปล่องแบบอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง

Abstract

The Ministry of Industry is directive requiring industrial to install automated air quality monitoring systems for emission control, industrial have to report real-time emission data online to the Department of Industrial Works and enable public availability. This initiative aims to monitor and prevent excessive pollution beyond regulatory limits. Among the industrial facilities subject to this regulation are power plants, which more than 100 power plants in Thailand. These power plants are required to install continuous emission monitoring systems (CEMS) to continuously measure air pollutants from their stacks. Additionally, an annual accuracy test of the CEMS is mandated. Currently, Thailand adopts the United States environmental protection agency (US.EPA) standards for CEMS accuracy assessment, which involve complex procedures and substantial costs. A major challenge for power plants is the requirement to operate at more than 50% of their capacity during testing, leading to increased operational burdens. This study proposes adopting the British Standard BS EN 14181, which offers more efficient and equally reliable accuracy verification process compared to the US.EPA standard. The objective of this study is to reduce testing duration and associated costs while maintaining regulatory compliance. This research focuses on a comparative analysis of the accuracy assessment results between the two standards, with the aim of alleviate the testing burden for power plants and extend applicability to other industrial facilities. The study examines the results of annual CEMS accuracy testing conducted in 2023 and 2024 under both American and British standards. The results indicate that the British standard significantly reduces the



testing time, benefiting power plants that do not consistently operate at full capacity. Most precision test results for low-concentration gases, based on the United States Environmental Protection Agency (US.EPA) standard, do not satisfy the requirements of the relative accuracy test criteria. Nevertheless, the study confirms that the British standard provides an equivalent approach to the US.EPA standard in ensuring the accuracy of CEMS while offering a cost-effective solution for industrial.

Keywords: BS EN 14181, Continuous Emission Monitoring Systems (CEMS), Emission, US.EPA

บทนำ

ตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 กระทรวงอุตสาหกรรมได้ออกประกาศให้โรงงานประเภทต่าง ๆ ต้องติดตั้งเครื่องมือหรือเครื่องอุปกรณ์พิเศษ เพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศจากปล่องระบายแบบอัตโนมัติ และได้ออกประกาศฉบับล่าสุดปี พ.ศ. 2565 ซึ่งมีความเข้มงวดให้โรงงานตามประกาศต้องติดตั้งเครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษให้ครบทุกปล่องระบาย และรายงานข้อมูลการปล่อยมลพิษอากาศจากปล่องระบายแบบออนไลน์ให้กรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อกำกับดูแลและควบคุมให้มีการปล่อยมลพิษจากปล่องให้เป็นไปตามข้อกำหนด อย่างไรก็ตามหนึ่งในประเภทโรงงานที่มีการปล่อยมลพิษค่อนข้างสูงในประเทศไทย คือ โรงไฟฟ้าซึ่งมีมากกว่า 100 แห่งทั่วประเทศ และเป็นอีกหนึ่งประเภทโรงงานที่ต้องติดตั้งระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติอย่างต่อเนื่องหรือ Continuous Emission Monitoring System (CEMS) เมื่อติดตั้งระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง ของปล่องระบาย โรงไฟฟ้าเสร็จสิ้น จำเป็นต้องมีการทดสอบความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการรายงานค่ามลพิษทางอากาศ ซึ่งต้องมีการทดสอบความแม่นยำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องมือตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องระบายนั้น มีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ในปัจจุบันประเทศไทยอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบความแม่นยำระบบ CEMS ตามข้อกำหนดของสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา United States Environmental Protection Agency (US.EPA) ซึ่งมีข้อกำหนดที่ซับซ้อน ระยะเวลาในการดำเนินการยาวนาน ส่งผลกระทบกับโรงไฟฟ้าต้องเสียค่าดำเนินการในการทดสอบความแม่นยำของระบบ CEMS นี้เพิ่มขึ้น ซึ่งบางโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าโหลดต่ำเพื่อรอคำสั่งผลิตกระแสไฟฟ้าจากส่วนกลาง เมื่อต้องดำเนินการทดสอบความแม่นยำของระบบ CEMS นี้จำเป็นต้องเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าให้ได้มากกว่า 50% ของการทำงานปกติ (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2565)

การดำเนินการทดสอบความแม่นยำระบบ CEMS ของโรงไฟฟ้าไฟฟ้า สามารถใช้มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่ากับมาตรฐานสหรัฐอเมริกาได้เช่นกัน ซึ่งมาตรฐานของอังกฤษ (BS EN 14181) สามารถใช้เป็นทางเลือกในการทดสอบความแม่นยำระบบ CEMS เพราะเป็นที่ยอมรับของสากลและมีความเทียบเท่า



กับมาตรฐานการทดสอบความแม่นยำระบบ CEMS ของสหรัฐอเมริกา (Srivastava et al., 2024) ซึ่งมาตรฐานอังกฤษนี้ จะสามารถลดเวลาการเดินเครื่องและช่วงเวลาการตรวจวัดมลสารจากปล่องระบาย เพราะมาตรฐานของอังกฤษในการทดสอบความแม่นยำประจำปี มีข้อกำหนดการตรวจวัดที่ระยะเวลาสั้นกว่า ทำให้โรงงานสามารถเดินระบบการผลิตไฟฟ้าสั้นลง

ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จึงมุ่งเน้นศึกษาการทดสอบความแม่นยำประจำปีของระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติของโรงไฟฟ้าตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ โดยตรวจวัดวิเคราะห์ค่า O_2 , CO , NO_x , SO_2 เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบความแม่นยำประจำปี ระหว่าง 2 มาตรฐาน หากผลของการวิเคราะห์พบว่ามาตรฐานของอังกฤษมีค่าการทดสอบความแม่นยำ เทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับมาตรฐานสหรัฐอเมริกาก็จะสามารถใช้เป็นทางเลือก ในการตรวจสอบความแม่นยำประจำปีของระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติ (CEMS) ของโรงไฟฟ้า ซึ่งสามารถช่วยให้โรงไฟฟ้าลดระยะเวลาในการดำเนินงานด้านการทดสอบความแม่นยำประจำปี และ ประหยัดค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นออกไปได้ และยังสามารถ ขยายผลไปยังโรงงานประเภทอื่นได้อีกด้วย

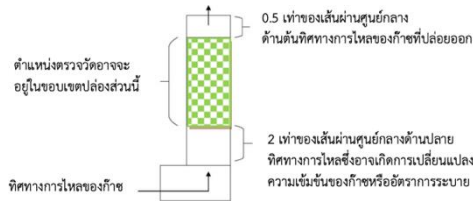
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาเปรียบเทียบการทดสอบความแม่นยำของระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติประจำปีของโรงไฟฟ้าด้วยมาตรฐานสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ เพื่อเป็นแนวทางให้โรงไฟฟ้า สามารถใช้มาตรฐานอังกฤษ ในการทดสอบความแม่นยำระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติประจำปี

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

ในการเข้าตรวจวัดและเก็บข้อมูลค่ามลพิษทางอากาศแบบอัตโนมัติจากปล่องระบายของโรงไฟฟ้า เพื่อการรายงานผลตามมาตรฐานการทดสอบความแม่นยำประจำปี โดยการตรวจวัดแบบคู่ขนานระหว่าง ระบบตรวจวัดมลพิษของโรงไฟฟ้าและระบบตรวจวัดมลพิษของบริษัทที่ปรึกษา มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ ข้อมูลจากระบบมลพิษอากาศแบบอัตโนมัติที่ติดตั้งไว้นั้น สามารถเป็นตัวแทนของการปล่อยมลพิษอากาศ จากปล่อง โดยขั้นตอนที่สำคัญจะเริ่มตั้งแต่การติดตั้งระบบจนถึงการทดสอบการทำงานของระบบให้ เป็นไปตามคุณลักษณะการทำงานตามวิธีการอ้างอิงตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ซึ่งตามมาตรฐานของ สหรัฐอเมริกา United States Environmental Protection Agency (US.EPA) PART 40 CFR 60 และ มาตรฐานอังกฤษ BS EN 14181 มีส่วนสำคัญที่เหมือนกัน คือ การเลือกตำแหน่งการติดตั้ง (CEMS Measurement Location) จุดที่ปลายทางการไหลของอากาศ (Downstream) จากระบบกำจัดมลพิษ ทางอากาศ (Control Device) จุดกำเนิดมลพิษหรือจุดที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษ หรืออัตราการระบายมลพิษอย่างน้อย 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางปล่องหรือท่อ ส่วนจุดที่อยู่ต้นทางการ

ไหล (Upstream) หรือห่างจากระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ โดยให้จุดที่เลือกอยู่ทางด้านต้นทางการไหล นับจากจุดระบายนั้นมาอย่างน้อย 0.5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางปล่องหรือท่อ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม , 2556)



ภาพที่ 1 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์

การเลือกตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างบนพื้นที่หน้าตัด (Select Traverse Point) ปล่องกลม กำหนดจุดเก็บตัวอย่างบนพื้นที่หน้าตัด 12 จุด (ในแนวตั้งฉากกันด้านละ 6 จุด) แล้วทำการตรวจวัดค่าความเข้มข้นก๊าซมลพิษแต่ละจุด ในกรณีที่ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษเฉลี่ยมีค่าแตกต่างจากค่าที่ตรวจวัดที่จุดใด ๆ เกินร้อยละ 10 แสดงว่าเกิดการแบ่งชั้นของก๊าซให้กำหนดจุดตรวจวัด 3 จุดที่ระยะร้อยละ 16.7, 50.0 และ 83.3 ของเส้นแนวตรวจวัด สำหรับปล่องเหลี่ยม แบ่งพื้นที่หน้าตัดของปล่องออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมที่มีขนาดเท่ากันอย่างน้อย 9 ช่อง แล้วกำหนดจุดชักตัวอย่างลงบนจุดกึ่งกลางของพื้นที่ ที่แบ่งไว้ ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซมลพิษ จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ยความเข้มข้น ก๊าซของทุกจุดที่เก็บตัวอย่าง ในการทดสอบสามารถเลือกตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างจุดอื่นได้ ภายในรัศมี 3 เซนติเมตรของแนวตรวจวัด แต่ต้องไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร จากผนังปล่องหรือท่อสำหรับทดสอบความแม่นยำของข้อมูลระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติประจำปี ตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (US.EPA) หรือ Relative Accuracy Test Audit (RATA) การทดสอบวิธีนี้จะต้องทำอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง โดยการใช้ข้อมูลการตรวจวัดก๊าซของระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องโรงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (CEMS) และการทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์ด้วยการตรวจวัดอ้างอิงมาตรฐาน โดยบริษัทที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อมหรือ Reference Method (RM) จะทำการเก็บตัวอย่างในขณะที่โรงงานเดินระบบมากกว่าร้อยละ 50 ของการทำงานปกติ หรือตามที่กำหนดไว้ในกฎหมาย โดยมีขั้นตอนการดำเนินการเก็บตัวอย่างดังนี้ (1) ดำเนินการเก็บตัวอย่างแบบรวม (Integrated Sampling) โดยเก็บตัวอย่าง 12 ชุดข้อมูล ใช้เวลาในการเก็บตัวอย่าง 21 นาทีต่อ 1 ชุดข้อมูล (2) มาตรฐาน US.EPA กำหนดให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 9 ชุดข้อมูลจาก 12 ชุดข้อมูล โดยตัดค่าผลการทดสอบที่มีค่าสูง 3 อันดับแรกออก แต่ในรายงานจะต้องรายงานข้อมูลทั้งหมดรวมทั้งข้อมูลที่ตัดออก (3) การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลการทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์ โดยนำข้อมูลของ CEMS และ RM มาเปรียบเทียบกัน และค่าความเข้มข้นของก๊าซต้องอยู่ในสถานะแห้ง (Dry Basis) และต้องปรับแก้ความเข้มข้นก๊าซที่สถานะออกซิเจนส่วนเกินร้อยละ 7 ซึ่งมีสมการคำนวณในขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



1). การปรับแก้ความเข้มข้นของก๊าซที่ตรวจวัดได้ให้อยู่ในสภาวะออกซิเจนส่วนเกิน 7% โดยคำนวณได้จากสมการ

$$C_{@7\%O_2} = C \left(\frac{20.9-7}{20.9-\%O_2} \right) \quad \text{สมการที่ (1)}$$

2). การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต Arithmetic Mean ($\bar{d}$) คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าผลต่าง (d) คำนวณได้จากสมการ

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad \text{สมการที่ (2)}$$

เมื่อ $\sum_{i=1}^n d_i$ คือ ผลรวมของค่าผลต่างของข้อมูล
n คือ จำนวนข้อมูล

3). การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน Standard Deviation (S_d) ของผลต่างของข้อมูลระหว่างค่าจากเครื่องตรวจวัดมลพิษอัตโนมัติของโรงไฟฟ้า (CEMS) และค่าจากวิธีการอ้างอิงมาตรฐานของบริษัทที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อม (RM) คำนวณได้จากสมการ

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n d_i)^2}{n}}{n-1}} \quad \text{สมการที่ (3)}$$

4). การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (Confidence Coefficient, CC) คำนวณได้จากสมการ

$$CC = t_{0.975} \frac{S_d}{\sqrt{n}} \quad \text{สมการที่ (4)}$$

เมื่อ $t_{0.975}$ ใช้ค่าในตาราง t-Value ซึ่งอ้างอิงตามคู่มือการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง (น.3-11), กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556

5). การคำนวณหาความแม่นยำสัมพัทธ์ (Relative Accuracy, RA) ของข้อมูลเพื่อนำค่าที่ได้ไปเทียบมาตรฐานเกณฑ์การยอมรับ คำนวณได้จากสมการ

$$RA = \frac{[|\bar{d}| + |CC|]}{RM} \quad \text{สมการที่ (5)}$$

เมื่อ RA คือ ความแม่นยำสัมพัทธ์
 $\bar{RM}$ คือ ค่าที่ตรวจวัดได้จากวิธีการอ้างอิงมาตรฐาน
 $|\bar{d}|$ คือ ค่าสมบูรณ์ของค่าเฉลี่ยเลขคณิตของผลต่างระหว่างค่า RM และ CEMS ของโรงงาน
ICCI คือ ค่าสมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น



ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของสารมลพิษระหว่างการทดสอบมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 50 ของค่ามาตรฐานมลพิษทางอากาศให้แทนที่ $\overline{RM}$ ด้วยค่ามาตรฐานมลพิษทางอากาศ เกณฑ์การยอมรับค่าความแม่นยำสัมพัทธ์ (RA) คือค่าเปอร์เซ็นต์ที่คำนวณได้จากสมการที่ 5 ต้องไม่เกินเกณฑ์การยอมรับเทียบกับตารางที่ 1 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) หากผลการทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์เกินค่ามาตรฐานต้องดำเนินการแก้ไขระบบของโรงไฟฟ้าจากนั้น ให้ดำเนินการตรวจวัดแบบคู่ขนานซ้ำ และคำนวณวิเคราะห์ผลการทดสอบความแม่นยำซ้ำอีกครั้ง

ตารางที่ 1 เกณฑ์การยอมรับค่าความแม่นยำสัมพัทธ์ (%RA)

พารามิเตอร์	เกณฑ์การยอมรับ	
	เทียบกับ RM	เทียบกับมาตรฐานมลพิษทางอากาศ
SO ₂ , NO _x	20%	10%
CO	10%	5%
O ₂	1.0%	-

สำหรับการทดสอบความแม่นยำของข้อมูลระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศ จากปล่องแบบอัตโนมัติ ประจำปีตามมาตรฐานของมาตรฐานอังกฤษ BS EN 14181 หรือ Annual Surveillance Test (AST) ซึ่งในการทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์ด้วยการอ้างอิงมาตรฐานหรือ Standard Reference Method (SRM) จะทำการเก็บตัวอย่างในขณะที่โรงงานเดินระบบมากกว่าร้อยละ 50 ของการทำงานปกติ หรือตามที่กำหนดไว้ในกฎหมาย โดยมีขั้นตอนการดำเนินการเก็บตัวอย่างดังนี้ (1) ดำเนินการเก็บตัวอย่างแบบรวม (Integrated Sampling) โดยเก็บตัวอย่าง 5 ชุดข้อมูล ใช้เวลาในการเก็บตัวอย่าง 30 นาทีต่อ 1 ชุดข้อมูล (2) สมการการทดสอบความแม่นยำประจำปี (AST) มาตรฐานอังกฤษ BS EN 14181 เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานและฟังก์ชันทดสอบความแม่นยำ โดยทำการตรวจวัดแบบคู่ขนานระหว่างระบบตรวจวัดมลพิษจากปล่องแบบอัตโนมัติของโรงไฟฟ้า Automated Measuring System (AMS) และวิธีการอ้างอิงมาตรฐาน Standard Reference Method (SRM) ซึ่งตรวจวัดโดยบริษัทที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อม (European Standard BS EN 14181, 2014) และนำค่าการตรวจวัดมาคำนวณ เพื่อทดสอบความแปรปรวนระหว่าง AMS และ SRM แล้วนำข้อมูลค่ามลพิษระหว่าง AMS และ SRM มาคำนวณและรายงานผลตามสมการดังต่อไปนี้

1). การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของผลต่างของข้อมูลระหว่างค่าจากเครื่องตรวจวัดมลพิษอัตโนมัติของโรงไฟฟ้า (ASM) และค่าจากวิธีการอ้างอิงมาตรฐานของบริษัทที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อม (SRM) คำนวณได้จากสมการ

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2} \quad \text{สมการที่ (6)}$$



- เมื่อ D_i คือ ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้จาก AMS และ SRM
 $\bar{D}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้จาก AMS และ SRM
 n คือ จำนวนตัวอย่างที่วัดแบบคู่ขนาน

2). การคำนวณหาความไม่แน่นอนสูงสุดที่ยอมรับได้ σ (Maximum Permissible Uncertainty) คำนวณได้จากสมการ

$$\sigma = ELV \times CI/100/1.96 \quad \text{สมการที่ (7)}$$

- เมื่อ ELV คือ ค่าขีดจำกัดของการปลดปล่อยมลพิษ (ใช้ค่าตารางที่ 2)
 CI คือ ช่วงความเชื่อมั่นสูงสุด (ใช้ค่าตารางที่ 2)
 K_v คือ ค่าทดสอบความแปรปรวน (ตารางค่า $K_v (N)$ & $T_{0.95}$) ซึ่งอ้างอิง

จาก Stationary Source Emissions – Quality Assurance of Automated Measuring Systems (European Standard BS EN 14181, 2014)

โดยค่าความไม่แน่นอนสูงสุดที่ยอมรับได้ คือ ถ้า $SD \leq 1.5 \times \sigma \times K_v$ ถือว่าผ่านเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าความความไม่แน่นอนสูงสุดที่ยอมรับได้ และนำไปสู่การวิเคราะห์ค่าทดสอบความแปรปรวนต่อไป

ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานมลพิษทางอากาศและช่วงความเชื่อมั่นสูงสุด

พารามิเตอร์	Emission Limit Value (ELV)	Uncertainty (CI)
O ₂	21	10% of ELV
CO	690	10% of ELV
SO ₂	60/700	20% of ELV
NO _x	200	20% of ELV

3). สมการรับรองผลการทดสอบความแม่นยำ (Calibration Test) ผล AST

$$|\bar{D}| \leq t_{0.95; N-1} \frac{S_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0 \quad \text{สมการที่ (8)}$$

- เมื่อ $|\bar{D}|$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้จาก SRM และ AMS
 σ_0 คือ ค่าความไม่แน่นอนสูงสุดที่อนุญาต
 $t_{0.95; N-1}$ คือ ค่าทดสอบความแปรปรวน

โดยค่าทดสอบแปรปรวนที่ยอมรับได้ คือ ถ้า $|\bar{D}| \leq t_{0.95; N-1} \frac{S_D}{\sqrt{N}} + \sigma_0$ ถือว่าผ่านเกณฑ์การทดสอบความแม่นยำประจำปี และเป็นการรับรองว่าระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติมีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ



วิธีดำเนินการวิจัย

ดำเนินการตรวจวัดและเก็บข้อมูลค่ามลพิษอากาศ ด้วยระบบตรวจวัดมลพิษแบบอัตโนมัติของโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งเก็บข้อมูลการตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องระบายของโรงไฟฟ้า ด้วยวิธีการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องแบบอัตโนมัติ (CEMS) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการรายงานผลการทดสอบแม่นยำระหว่างมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (US.EPA) และมาตรฐานอังกฤษ (BS EN 14181) โดยทำการวัดค่าและวิเคราะห์ค่าก๊าซ 4 ชนิด คือ O_2 , NO_x , CO , SO_2 โดยใช้ข้อมูลค่ามลพิษจากการตรวจวัดปล่องระบายจากโรงไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการทดสอบความแม่นยำของระบบ CEMS ตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกาโดยการคำนวณด้วยสมการความแม่นยำสัมพัทธ์ สมการที่ (1) ถึง (5) และทดสอบความแม่นยำของระบบ CMES ตามมาตรฐานอังกฤษโดยการคำนวณด้วยสมการทดสอบความแม่นยำจากสมการที่ (6) ถึง (8) จากนั้น นำผลการคำนวณที่ได้ไปเทียบมาตรฐานเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกาและมาตรฐานอังกฤษ

ผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการทดสอบความแม่นยำประจำปี ของเครื่องตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (US.EPA) จากข้อมูลที่ได้เข้าไปตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องระบายของโรงไฟฟ้าแห่งหนึ่งในปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 และได้ทำการตรวจวัดวิเคราะห์ค่า O_2 , CO , NO_x , SO_2 ด้วยเครื่องตรวจวัดมลพิษจากปล่องแบบอัตโนมัติ โดยการตรวจวัดแบบคู่ขนานระหว่างระบบตรวจวัดมลพิษแบบอัตโนมัติจากปล่องของโรงไฟฟ้า (CEMS) และระบบตรวจวัดแบบอัตโนมัติอ้างอิงมาตรฐาน โดยบริษัทที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อม Reference Method (RM) ซึ่งในช่วงการตรวจวัดโรงไฟฟ้าได้ทำการเดินเครื่องมากกว่า 50% ของการทำงานปกติตลอดช่วงตรวจวัด เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขของข้อกำหนดของมาตรฐานการตรวจวัดมลพิษจากปล่อง จากนั้นนำค่ามลพิษที่ตรวจวัดได้มาคำนวณตามสมการการทดสอบความแม่นยำของระบบตรวจวัดมลพิษจากปล่อง ผลการทดสอบความแม่นยำระบบตรวจวัดมลพิษตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดแบบคู่ขนานระหว่างเครื่องตรวจวัดมลพิษจากปล่องแบบอัตโนมัติของโรงไฟฟ้า (CEMS) และบริษัทที่ปรึกษา (RM) โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลของผลการตรวจวัดก๊าซ 4 ชนิด ได้แก่ O_2 , CO , NO_x , SO_2 ใช้ระยะเวลาการตรวจวัดทั้งสิ้น 252 นาที ซึ่งวิเคราะห์และบันทึกผลทุก 1 นาที นำค่าก๊าซที่ตรวจวัดได้มาเฉลี่ยทุก ๆ 21 นาที จะได้ทั้งหมด 12 ค่า จากนั้นนำมาคำนวณปรับแก้ความเข้มข้นก๊าซที่ 7% ของออกซิเจนและอยู่ในสถานะแห้ง (โดยค่า CEMS คือค่าการตรวจวัดจากระบบตรวจวัดของโรงไฟฟ้าและค่า RM คือค่าที่ตรวจวัดอ้างอิงมาตรฐานโดยบริษัทที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อม) และคำนวณหาผลต่าง (Difference) ระหว่างค่า CEMS และ RM โดยตัดค่าผลต่างสูงสุด 3 อันดับแรกออกเพื่อให้ได้ชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์กันที่สุดและใช้ข้อมูล 9 ค่าในการคำนวณ ผลการศึกษการทดสอบความแม่นยำระบบตรวจวัดมลพิษจากปล่องโรงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (CEMS) ตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ของโรงไฟฟ้าใน ปี 2566 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำสัมพัทธ์ (%RA) ของก๊าซ O_2 อยู่ที่ 0.36% ก๊าซ



CO อยู่ที่ 18.03% ก๊าซ NO_x อยู่ที่ 8.88% และก๊าซ SO_2 อยู่ที่ 3.36% เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำสัมพัทธ์ (%RA) ของก๊าซทั้ง 4 ชนิด ไปเทียบค่ามาตรฐานจากตารางที่ 1 พบว่าค่าก๊าซ CO ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์ โดยเกณฑ์ยอมรับของการทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์ของมาตรฐานสหรัฐอเมริกา ก๊าซ O_2 เกณฑ์ยอมรับไม่เกิน 1% ก๊าซ CO เกณฑ์ยอมรับไม่เกิน 10% ก๊าซ NO_x และก๊าซ SO_2 เกณฑ์ยอมรับไม่เกิน 20% และผลการศึกษากการทดสอบความแม่นยำระบบตรวจวัดมลพิษจากปล่องโรงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (CEMS) ตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (US.EPA) นอกจากนี้ในปี พ.ศ. 2567 ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำสัมพัทธ์ (%RA) ของก๊าซ O_2 อยู่ที่ 0.17% ก๊าซ CO อยู่ที่ 35.79% ก๊าซ NO_x อยู่ที่ 8.47% และก๊าซ SO_2 อยู่ที่ 3.05% เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำสัมพัทธ์ (%RA) ของก๊าซทั้ง 4 ชนิด ไปเทียบค่ามาตรฐานจากตารางที่ 1 พบว่ามีก๊าซ 3 ชนิดที่ผ่านมาตรฐานเกณฑ์การยอมรับของการทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์ คือ O_2 , NO_x , SO_2 และมีก๊าซ 1 ชนิดคือก๊าซ CO ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการยอมรับความแม่นยำสัมพัทธ์ จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าค่าก๊าซส่วนใหญ่จะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นค่าของก๊าซ CO ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำสัมพัทธ์ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์ทั้ง 2 ปี คือมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำสัมพัทธ์เกิน 10% แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัตินั้น หากพบว่าค่าก๊าซที่ตรวจวัดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าการคำนวณโดยเทียบกับค่าตรวจวัดอ้างอิงมาตรฐานของที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่ มักจะไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับแต่ในข้อกำหนดในมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ในกรณีที่ค่ามลพิษที่ตรวจวัดได้นั้นมีค่าไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของค่ามาตรฐานการปลดปล่อย จะสามารถใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยเป็นตัวหารแทนค่า $\overline{RM}$ ในสมการการทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์ (สมการที่ 5) ได้ ซึ่งเมื่อทำการคำนวณโดยใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยของก๊าซ CO (690 ppm.) เป็นตัวหาร พบว่าผลการคำนวณหาความแม่นยำสัมพัทธ์ของก๊าซ CO ใน ปี พ.ศ.2566 จะมีค่าเท่ากับ 0.05% และในปี พ.ศ. 2567 มีค่าเท่ากับ 0.11% ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้ คือผ่านเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบความแม่นยำประจำปี จึงทำให้สามารถกล่าวได้ว่าระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศแบบอัตโนมัติจากปล่องโรงไฟฟ้าปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 มีความแม่นยำในการรายงานผลค่ามลพิษ และสามารถนำไปใช้รายงานผลตามกฎหมายของประเทศไทยตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมได้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความแม่นยำระบบตรวจวัดมลพิษจากปล่องโรงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (CEMS) ตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ปี พ.ศ. 2566

ค่าที่	เวลา	O_2			CO			NO_x			SO_2		
		CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.
		%			ppm.			ppm.			ppm.		
1	10.00-10.20	3.81	3.46	-0.35	1.23	1.45	0.22	84.74	77.16	-7.59*	115.78	101.98	-13.81*
2	10.21-10.41	3.79	3.43	-0.36	1.28	1.78	0.50*	84.12	76.86	-7.26*	125.59	119.06	-6.53
3	10.42-11.02	3.79	3.43	-0.36	1.56	2.35	0.79*	84.78	77.97	-6.82	135.21	132.82	-2.39
4	11.03-11.23	3.79	3.44	-0.35	1.45	1.25	-0.20	84.74	77.80	-6.94	135.37	136.02	0.65
5	11.24-11.44	3.81	3.45	-0.36	1.34	1.89	0.55	84.56	77.90	-6.66	133.95	143.56	9.62



ตารางที่ 4 (ต่อ)

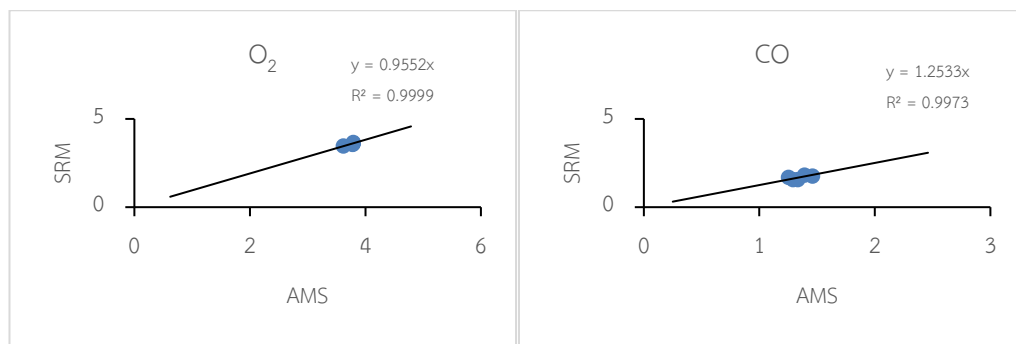
ค่าที่	เวลา	O ₂			CO			NO _x			SO ₂		
		CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.
		%			ppm.			ppm.			ppm.		
6	11.45-12.05	3.81	3.45	-0.36	1.32	1.12	-0.20	83.89	76.74	-7.16*	136.95	150.69	13.74*
7	12.06-12.26	3.78	3.39	-0.39*	1.24	1.19	-0.05	84.76	77.75	-7.02	138.04	154.54	16.50*
8	12.27-12.47	3.82	3.44	-0.38*	2.79	3.12	0.33	84.64	77.76	-6.88	135.66	138.74	3.09
9	12.48-13.08	3.81	3.44	-0.37	1.72	1.34	-0.38	84.62	77.81	-6.81	135.73	126.73	-8.99
10	13.09-13.29	3.82	3.44	-0.38*	2.45	2.78	0.33	84.80	78.31	-6.49	126.96	123.70	-3.25
11	13.30-13.50	3.77	3.40	-0.37	1.33	1.67	0.34	83.84	77.02	-6.82	133.89	135.86	1.97
12	13.51-14.11	3.77	3.40	-0.38	1.24	2.11	0.87*	84.52	77.97	-6.54	132.73	134.11	1.38
ค่าเฉลี่ย	3.80	3.43	-0.36	1.65	1.76	0.10	84.59	77.81	-6.78	132.79	132.29	-0.50	
ค่าที่	เวลา	O ₂			CO			NO _x			SO ₂		
		CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.
		%			ppm.			ppm.			ppm.		
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		0.01			0.32			0.18			5.54		
ช่วงความเชื่อมั่น (CC)		-			0.21			0.14			4.26		
ค่าความแม่นยำย้าพัทธ์ (%RA)		0.36			18.03			8.88			3.60		
≤ 50% of Std.		-			0.05			-			-		

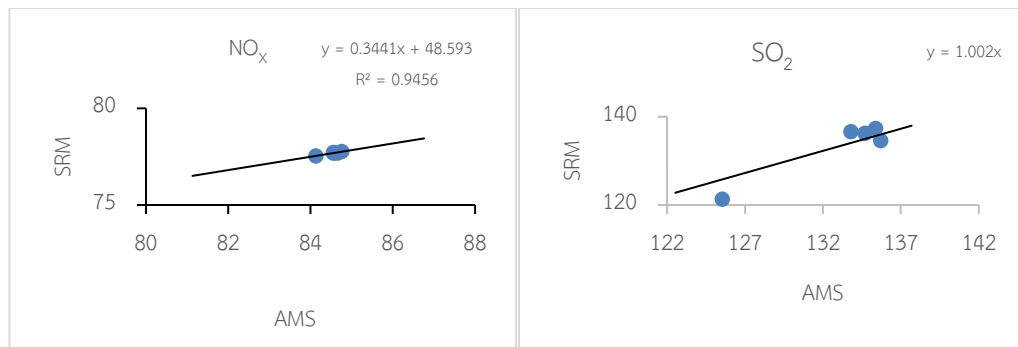
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความแม่นยำระบบตรวจวัดมลพิษจากปล่องโรงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (CEMS)
ตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ปี พ.ศ. 2567

คำที่	เวลา	O ₂			CO			NO _x			SO ₂		
		CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.	CEMS	RM	Diff.
		%			ppm.			ppm.			ppm.		
1	10.00-10.20	3.92	4.15	0.22	1.67	1.57	-0.10	82.58	76.02	-6.56*	150.79	149.97	-0.82*
2	10.21-10.41	3.94	4.14	0.19	1.58	1.67	0.09*	83.76	77.09	-6.66*	133.76	128.91	-4.85
3	10.42-11.02	3.95	4.14	0.18	1.49	1.91	0.42*	80.16	74.22	-5.94	142.38	142.01	-0.37
4	11.03-11.23	3.98	4.15	0.17	1.56	2.06	0.50	82.60	75.46	-7.14	142.71	139.73	-2.98
5	11.24-11.44	3.91	4.09	0.19	1.63	2.23	0.60	80.17	74.23	-5.94	145.05	139.47	-5.58
6	11.45-12.05	3.96	4.11	0.15	1.55	2.40	0.85	81.27	74.32	-6.96*	146.67	147.43	0.75*
7	12.06-12.26	4.06	4.22	0.16*	1.77	2.57	0.80	80.90	75.05	-5.84	140.56	134.32	-6.24*
8	12.27-12.47	4.09	4.26	0.17*	1.84	2.74	0.90	80.96	74.73	-6.23	128.21	124.22	-3.99
9	12.48-13.08	4.10	4.27	0.17	3.60	2.89	-0.71	81.25	74.12	-7.13	136.49	131.52	-4.97
10	13.09-13.29	4.10	4.26	0.17*	5.32	3.11	-2.21	80.02	74.36	-5.66	133.15	131.28	-1.87
11	13.30-13.50	4.08	4.28	0.20	1.44	1.45	0.01	79.24	73.24	-6.00	129.69	122.75	-6.95
12	13.51-14.11	4.09	4.26	0.17	2.15	3.22	1.07*	79.63	73.85	-5.78	128.03	124.26	-3.76
ค่าเฉลี่ย		3.80	3.99	4.17	0.17	1.61	2.06	0.45	80.82	74.75	-6.07	138.02	135.48
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		0.01			0.38			0.35			2.06		
ช่วงความเชื่อมั่น (CC)		-			0.29			0.27			1.58		
ค่าความแม่นยำยัพัทธิ (RA)		0.17			35.79			8.47			3.05		
≤ 50% of Std.		-			0.11			-			-		



สำหรับผลการทดสอบความแม่นยำประจำปีของเครื่องตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติตามมาตรฐานอังกฤษ (BS EN 14181) จากข้อมูลที่ได้เข้าไปตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องระบายของโรงไฟฟ้าแห่งเดียวกันในปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 การวิเคราะห์ข้อมูลของผลการตรวจวัดก๊าซ 4 ชนิด ได้แก่ O_2 , CO , NO_x , SO_2 โดยวิธีการตามมาตรฐานอังกฤษนี้จะใช้ระยะเวลาการตรวจวัดเพียง 150 นาที ซึ่งวิเคราะห์และบันทึกผลทุก 1 นาที นำค่าก๊าซที่ตรวจวัดได้มาเฉลี่ยทุก ๆ 30 นาที จะได้ทั้งหมด 5 ค่า จากนั้นนำมาคำนวณปรับแก้ความเข้มข้นก๊าซที่ 7% ของออกซิเจนและอยู่ในสถานะแห้ง โดยค่า AMS คือค่าการตรวจวัดจากระบบตรวจวัดของโรงไฟฟ้าและค่า SRM คือค่าที่ตรวจวัดอ้างอิงมาตรฐาน โดยบริษัทที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อมจากผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบความแม่นยำของปี พ.ศ. 2566 และปี พ.ศ. 2567 พบว่าเมื่อนำค่าการตรวจวัดระหว่างค่าที่วัดได้จากระบบตรวจวัดมลพิษแบบอัตโนมัติของโรงไฟฟ้า (AMS) และค่าที่ตรวจวัดอ้างอิงมาตรฐานโดยบริษัทที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อม (SRM) มาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของข้อมูลการตรวจวัดก๊าซ O_2 , CO , NO_x , SO_2 (ข้อมูล AMS และ SRM ดังแสดงในตารางที่ 6 และตารางที่ 7) จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าการถดถอยเชิงเส้น (R^2) ของก๊าซทั้ง 4 ชนิด มีค่ามากกว่า 0.90 จึงเป็นผลให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนสูงสุดที่ยอมรับได้และการทดสอบความแปรปรวน เพื่อรับรองผลการทดสอบความแม่นยำตามมาตรฐานอังกฤษได้ จากการคำนวณค่าตามสมการของความไม่แน่นอนสูงสุดที่ยอมรับได้และการทดสอบความแปรปรวนดังสมการที่ (6) ถึง (8) พบว่าการทดสอบความแม่นยำระบบตรวจวัดมลพิษแบบอัตโนมัติของก๊าซทั้ง 4 ชนิด ตามมาตรฐานอังกฤษนั้น ผ่านมาตรฐานการรับรองผลการทดสอบความแม่นยำทั้งหมด และแสดงให้เห็นว่าผลการทดสอบความแม่นยำประจำปี ของระบบตรวจวัดมลพิษจากปล่องโรงไฟฟ้ามีแนวโน้มการรายงานผลการวิเคราะห์ไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 ปี และจากผลวิเคราะห์สามารถรับรองผลการทดสอบความแม่นยำของระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติของโรงไฟฟ้า ว่าระบบมีความแม่นยำในการรายงานค่ามลพิษตามมาตรฐานของอังกฤษ

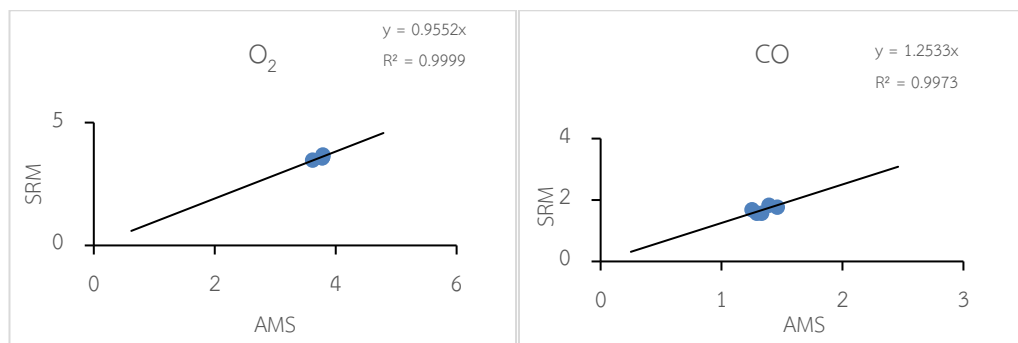


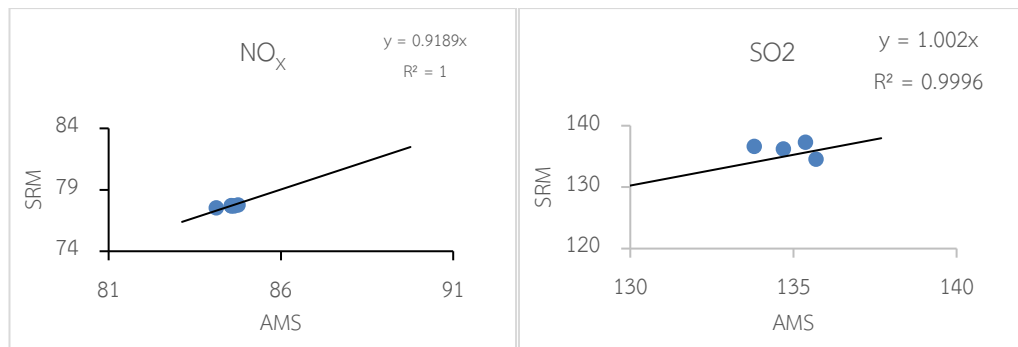


ภาพที่ 2 กราฟแสดงการถดถอยเชิงเส้นของข้อมูลการตรวจวัดก๊าซจาก AMS และ SRM ปี พ.ศ.2566

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความแม่นยำระบบตรวจวัดมลพิษจากปล่องโรงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (CEMS) ตามมาตรฐานอังกฤษ (BS EN 14181) ปี พ.ศ. 2566

ค่าที่	เวลา	O ₂			CO			NO _x			SO ₂		
		AMS	SRM	Diff.	AMS	SRM	Diff.	AMS	SRM	Diff.	AMS	SRM	Diff.
		%	%		ppm	ppm		ppm	ppm		ppm	ppm	
1	10.00-10.29	3.62	3.47	-0.15	1.29	1.57	0.28	84.65	77.69	-6.96	125.53	121.34	-4.19
2	10.30-10.59	3.79	3.68	-0.11	1.46	1.77	0.31	84.56	77.68	-6.88	135.69	134.56	-1.13
3	11.00-11.29	3.78	3.58	-0.20	1.33	1.57	0.24	84.13	77.54	-6.59	134.69	136.23	1.54
4	11.30-11.59	3.79	3.62	-0.17	1.25	1.69	0.44	84.76	77.77	-6.99	133.79	136.65	2.86
5	12.00-12.29	3.78	3.57	-0.21	1.39	1.83	0.44	84.56	77.71	-6.85	135.36	137.32	1.96
Average		3.75	3.58	-0.17	1.34	1.69	0.34	84.53	77.68	-6.85	133.01	133.22	0.21
SD		0.04			0.09			0.16			2.87		
Kv (N=5)		0.9161			0.9161			0.9161			0.9161		
σ		1.07			35.20			20.41			71.43		
$\sigma \times Kv$		0.98			32.25			18.70			65.44		
$1.5 \times \sigma \times Kv$		1.47			48.38			28.04			98.15		
$SD \leq 1.5 \times \sigma \times Kv$		Pass			Pass			Pass			Pass		
$t_{0.95, N-1}$		2.132			2.132			2.132			2.132		
$t_{0.95, N-1} \frac{S_D}{\sqrt{5}} + \sigma_0$		1.11			35.29			20.56			74.17		
$ D \leq t_{0.95, N-1} \frac{S_D}{\sqrt{5}} + \sigma_0$		Pass			Pass			Pass			Pass		





ภาพที่ 3 กราฟแสดงการถดถอยเชิงเส้นของข้อมูลการตรวจวัดก๊าซจาก AMS และ SRM ปี พ.ศ.2567

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความแม่นยำระบบตรวจวัดมลพิษจากปล่องโรงไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (CEMS) ตามมาตรฐานอังกฤษ (BS EN 14181) ปี พ.ศ. 2567

ค่าที่	เวลา	O ₂			CO			NO _x			SO ₂		
		AMS	SRM	Diff.	AMS	SRM	Diff.	AMS	SRM	Diff.	AMS	SRM	Diff.
		%	%		ppm	ppm		ppm	ppm		ppm	ppm	
1	10.00-10.30	3.97	4.21	0.24	1.59	1.61	0.02	82.36	77.64	-4.72	150.65	149.58	-1.07
2	10.31-11.01	3.89	4.20	0.31	1.61	1.79	-0.02	84.36	75.65	-8.71	134.33	129.65	-4.68
3	11.02-11.32	3.87	4.19	0.32	1.57	1.89	0.03	83.65	74.65	-9.00	142.89	143.23	0.34
4	11.33-12.03	3.89	4.15	0.26	1.49	2.11	0.97	83.45	75.68	-7.77	142.89	139.99	-2.90
5	12.04-12.34	3.87	4.23	0.36	1.58	1.98	0.94	86.21	75.98	-5.23	146.62	145.65	-0.97
Average		3.90	4.20	0.30	1.57	1.88	0.39	84.01	75.92	-7.09	143.48	141.62	-1.86
SD		0.05			0.52			1.99			1.96		
Kv (N=5)		0.9161			0.9161			0.9161			0.9161		
σ		1.07			35.20			20.41			71.43		
$\sigma \times Kv$		0.98			32.25			18.70			65.44		
$1.5 \times \sigma \times Kv$		1.47			48.38			28.04			98.15		
$SD \leq 1.5 \times \sigma \times Kv$		Pass			Pass			Pass			Pass		
$t_{0.95, N-1}$		2.132			2.132			2.132			2.132		
$t_{0.95, N-1} \frac{S_D}{\sqrt{5}} + \sigma_0$		1.12			35.70			22.30			73.29		
$ D \leq t_{0.95, N-1} \frac{S_D}{\sqrt{5}} + \sigma_0$		Pass			Pass			Pass			Pass		

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบผลการทดสอบความแม่นยำประจำปีของระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจาก ปล่องด้วยมาตรฐานสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ

มาตรฐาน	ปี พ.ศ.	ผลการทดสอบ			
		O ₂	CO	NO _x	SO ₂
สหรัฐอเมริกา	2566	Pass	Fail/ Pass	Pass	Pass
อังกฤษ	2566	Pass	Pass	Pass	Pass
สหรัฐอเมริกา	2567	Pass	Fail/ Pass	Pass	Pass
อังกฤษ	2567	Pass	Pass	Pass	Pass



จากตารางที่ 8 พบว่าผลวิเคราะห์การทดสอบความแม่นยำของระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศระหว่างมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาและอังกฤษในปี พ.ศ.2566 และ พ.ศ.2567 มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ผลการทดสอบผ่านมาตรฐานการทดสอบความแม่นยำทั้ง 2 มาตรฐาน แต่ผลการวิเคราะห์ก๊าซ CO ด้วยมาตรฐานอเมริกาในปี พ.ศ.2566 และ พ.ศ.2567 พบว่าในการวิเคราะห์ตามสมการโดยตรงจะยังไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบความแม่นยำ แต่เนื่องจากค่าของก๊าซ CO มีความเข้มข้นต่ำกว่า 50% ของค่ามาตรฐานการปลดปล่อยจึงสามารถใช้ค่ามาตรฐานการปลดปล่อยมาคำนวณในสมการนั้น แทนได้ส่งผลทำให้ผลการทดสอบความแม่นยำนั้นผ่านมาตรฐาน ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วถือว่าระบบการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติของโรงไฟฟ้า มีความน่าเชื่อถือและรายงานผลค่ามลพิษได้อย่างแม่นยำ ภายใต้มาตรฐานการทดสอบความแม่นยำประจำปีด้วยมาตรฐานสหรัฐอเมริกาและมาตรฐานอังกฤษ

สรุปผลการศึกษา

จากการดำเนินการทดสอบความแม่นยำประจำปี ระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติของโรงไฟฟ้า ระหว่างปี พ.ศ. 2566 ถึงปี พ.ศ. 2567 ภายใต้มาตรฐานการทดสอบความแม่นยำของสหรัฐอเมริกาและอังกฤษ แสดงให้เห็นว่าการทดสอบความแม่นยำตามมาตรฐานอังกฤษมีความแตกต่างจากสหรัฐอเมริกาในแง่ของระยะเวลาในการดำเนินการที่สั้นลงซึ่งเป็นผลดีกับโรงไฟฟ้า เนื่องจากมีหลายโรงไฟฟ้าที่ไม่ได้เดินเครื่องแบบปกติตลอดช่วงระยะดำเนินงาน เมื่อต้องปฏิบัติตามกฎหมายในการทดสอบความแม่นยำของระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศ จากปล่องจำเป็นจะต้องมีการเดินเครื่องให้ได้ 50% ส่งผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และผลการศึกษาี้แสดงให้เห็นว่าผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลการรายงานผลการทดสอบความแม่นยำของก๊าซ 4 ชนิด มีแนวโน้มการรับรองผลการทดสอบความแม่นยำไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 มาตรฐาน แต่พบข้อสังเกตว่าในการใช้มาตรฐานสหรัฐอเมริกาในการทดสอบความแม่นยำของก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำ มักจะไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบความแม่นยำสัมพัทธ์โดยตรง ในทางปฏิบัติแล้วต้องใช้ค่ามาตรฐานในการปล่อยมลพิษเป็นตัวหารแทนค่าเฉลี่ยของการตรวจวัดด้วยวิธีอ้างอิงมาตรฐานโดยบริษัทที่ปรึกษา แต่อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่ามาตรฐานอังกฤษมีแนวทาง และการดำเนินการที่เทียบเท่ากับมาตรฐานสหรัฐอเมริกาสามารถนำมาใช้ในการทดสอบความแม่นยำประจำปี ของระบบตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติได้ ซึ่งประเทศไทยเองก็มีความพยายามที่จะนำมาตรฐานอังกฤษมาใช้เป็นทางเลือกให้กับผู้ประกอบการ เพื่อลดผลกระทบและลดภาระค่าใช้จ่ายให้กับผู้ประกอบการอื่น ๆ นอกจากโรงไฟฟ้า เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ประกอบการในการปฏิบัติตามกฎหมายมากที่สุด



ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลจากโรงงานหลาย ๆ ประเภท ซึ่งจะมีความเข้มข้นของก๊าซแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบการทดสอบความแม่นยำของระบบตรวจวัดมลพิษอากาศจากปล่องระบายแบบอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและสามารถเป็นแนวทางในการเลือกใช้มาตรฐานของโรงงานอื่น ๆ ได้อย่างเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- Srivastava, R. P., Kumar, S., & Tiwari, A. (2024). Continuous emission monitoring systems (CEMS) in India: Performance evaluation, policy gaps and financial implications for effective air pollution control. J Environ Manage, 359, 120584.
- European Standard BS EN 14181 (2014). Stationary source emissions – Quality assurance of automated measuring systems. London : BSI Standards Limited.
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดให้โรงงานต้องติดตั้งเครื่องมือหรือเครื่องอุปกรณ์พิเศษเพื่อรายงานมลพิษอากาศจากปล่องโรงงาน พ.ศ. 2565. (2565, 10 มิถุนายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 139 ตอนพิเศษ 131 ง. หน้า 14-18.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2556). การตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องแบบอัตโนมัติอย่างต่อเนื่อง (Continuous Emission Monitoring Systems; CEMS). สืบค้นเมื่อ 14 มกราคม 2568 จาก https://www.iemcdiv.com/iemc/public/uploads/downloads/20240614125257_CEMS-handbook.pdf