

Comparative Analysis of Air Pollution Control Systems for Implementation in an Iron Wire Factory

Theerapong Rattanawongpiboon¹ and Rangsan Kiatpanont^{1*}

¹ Innovative Entrepreneurship Management Program, Graduate School of Management and Innovation,
King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT), Thailand

* Corresponding author. E-mail: Rangsan.k@mail.kmutt.ac.th

ABSTRACT

This article aimed (1) to compare and analyze air pollution treatment technologies suitable for resolving pollution issues in an iron wire factory; and (2) to derive valuable insights from the practical implementation of the chosen air pollution treatment system. Employing a qualitative research approach, data collection utilized technology-related article analyses and participatory action research, where the researcher actively engaged in mitigating pollution issues within the production processes of the case study company. Data analysis employs narrative descriptions to reflect the researcher's experiential insights gained from the research process. The findings underscore wet pollution treatment technology as the optimal choice, given its capacity to generate water mist in the treatment tank, effectively absorb viscous oil mist, and mitigate explosion risks. Furthermore, its vertical configuration requires minimal installation space. Subsequent system implementation demonstrated a substantial reduction in pollution levels. Whereas the system's simplicity, requiring minimal equipment and ease of maintenance without the need for specialized personnel, translates to low operational costs.

Keywords: Wet Scrubber, Pollutants from Fuel Oil Combustion, Iron Wire Factory

การวิเคราะห์เปรียบเทียบระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศ เพื่อทดลองสร้าง และใช้งาน ในโรงงานผลิตเหล็กกลวดัดตรง

ธีรพงศ์ รัตนวงศ์พิบูลย์¹ และ รังสรรค์ เกียรติภานนท์^{1*}

¹ สาขาวิชาการจัดการสำหรับการเป็นผู้ประกอบการเชิงนวัตกรรม บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประเทศไทย

* Corresponding author. E-mail: Rangsan.k@mail.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีบำบัดมลภาวะทางอากาศที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาของโรงงานผลิตเหล็กกลวดัดตรง และ (2) เพื่อถอดบทเรียนจากประสบการณ์การใช้ระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศที่สร้างขึ้น การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ การวิเคราะห์บทความที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี และการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม ซึ่งผู้วิจัยเข้าไปมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาของกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การพรรณนาเล่าเรื่องเพื่อสะท้อนประสบการณ์ที่ผู้วิจัยได้รับการจากการมีส่วนร่วมในกระบวนการวิจัยนี้ ผลการศึกษาพบว่า เทคโนโลยีการบำบัดมลภาวะทางอากาศแบบเปียกมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากการสร้างละอองน้ำในถังบำบัด ช่วยชำระล้างความหนืดเหนียวของละอองน้ำมันในไอเสียได้ อีกทั้งช่วยลดความเสี่ยงจากการระเบิดจากการติดไฟของละอองน้ำมันได้ นอกจากนี้ยังเป็นเทคโนโลยีที่ทำงานแนวตั้งจึงใช้พื้นที่การติดตั้งไม่มาก ผลลัพธ์หลังจากการใช้งานระบบพบว่าระบบทำงานได้ดี ช่วยลดมลภาวะได้อย่างมีนัยสำคัญ ระบบไม่ซับซ้อน มีอุปกรณ์ไม่มาก จึงดูแลรักษาได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินการ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจึงต่ำ

คำสำคัญ: ระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศ, มลพิษจากการเผาไหม้น้ำมันเตา, โรงงานผลิตเหล็กกลวดัดตรง

© 2023 JSSP: Journal of Social Science Panyapat

บทนำ

ปัจจุบันปัญหามลภาวะทางอากาศเพิ่มความเสี่ยงด้านสุขภาพ เช่น โรคปอด โรคหัวใจ และโรคหลอดเลือดสมองต่อผู้คนทั่วโลก โดยประชากรกว่า 99% ทั่วโลกยังอาศัยในพื้นที่ที่คุณภาพอากาศแยกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO, 2021) โดยมีสาเหตุสำคัญจากภาคการขนส่ง ภาคการผลิต ภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรม (EEA, 2021) (Pochanaet, 2016) เช่นเดียวกับประเทศไทย ซึ่ง EPIC (2019) พบว่า อายุเฉลี่ยของประชาชนในประเทศไทยลดลงมากกว่า 2 ปี และอาจลดลงมากกว่า 4 ปี ในพื้นที่เมือง หรือพื้นที่อุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากปัญหามลพิษทางอากาศในพื้นที่นั้นๆ ดังนั้นรัฐบาลจึงกำหนดวาระการแก้ไขปัญหาหมอกควันด้านฝุ่นละอองเป็นวาระแห่งชาติแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหาหมอกควันด้านฝุ่นละออง” (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) พร้อมทั้งออกมาตรการที่หลากหลายเพื่อลดความรุนแรงของปัญหา เช่นการเปิดช่องทางร้องเรียนบริษัทที่ก่อให้เกิดมลพิษ ผ่านช่องทางอิเล็กทรอนิกส์พร้อมแนบรูปถ่ายเป็นหลักฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) แต่ก็อาจมีข้อกีดขวางที่กฎหมายโรงงานไม่สามารถควบคุมได้เช่น ธุรกิจก่อมลพิษที่มีกำลังเครื่องจักรไม่เกิน 5 แรงม้า และมีคนงานไม่เกิน 7 คน จะไม่ถือเป็นโรงงานตาม พรบ. โรงงาน 2535 (Jendong, 2022) เป็นต้น

บริษัทกรณีศึกษา เป็นโรงงานผลิตเหล็กกลวดัดตรงในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร ที่ประกอบธุรกิจดังกล่าวมาเป็นระยะเวลานานด้วยเทคโนโลยีดั้งเดิมเช่นเมื่อ 20 ปีที่แล้วโดยใช้การเผาไหม้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง จึงมีการปลดปล่อย

มลภาวะทางอากาศในระดับสูง และมีความเสี่ยงสูงที่จะถูกชุมชนรอบข้างร้องเรียนจากปัญหาดังกล่าว ด้วยเหตุนี้ทางบริษัทฯ จึงมีแรงจูงใจที่จะทำงานร่วมกับคณะผู้วิจัยเพื่อแก้ปัญหามลภาวะทางอากาศของโรงงานได้อย่างยั่งยืน และลดความเสี่ยงจากการถูกร้องเรียนจากชุมชนโดยรอบ

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าในปัจจุบันจะมีเทคโนโลยีบำบัดมลภาวะทางอากาศเป็นจำนวน แต่เทคโนโลยีเหล่านี้ต่างก็มีความซับซ้อนด้านเทคนิค และวัตถุประสงค์การใช้งานที่แตกต่างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น Kiatloetnapha (2022) เปรียบเทียบระบบกรองอากาศที่เหมาะสมกับบริบทขนาดใหญ่ระดับเมือง ในขณะที่ Donchai (2022) พัฒนาเครื่องกรองฝุ่นขนาดเล็กสำหรับบริบทของห้องเรียน และ พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล และอุษณีย์ คำพูล (2564) ใช้การออกแบบวิธีการใช้สอยพื้นที่จำกัดของโรงงานเพื่อลดปัญหาฝุ่น ในขณะที่ Pratum (2015) เน้นย้ำความยากลำบากของธุรกิจขนาดเล็กที่ขาดงบประมาณในการติดตั้งระบบบำบัดมลพิษทางอากาศที่มีราคาสูง

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงต้องการปิดช่องว่างข้างต้น โดยผู้วิจัยให้มุ่งเน้นการทำงานร่วมกับบริษัทกรณีศึกษาเพื่อแก้ปัญหามลภาวะทางอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้วิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการอย่างมีส่วนร่วมเพื่อสะท้อนกระบวนการวิเคราะห์ปัญหา ขั้นตอนการสร้างระบบบำบัดมลภาวะ ตลอดจนสะท้อนบทเรียนจากประสบการณ์การสร้างระบบฯ ทั้งนี้เพื่อหวังให้ผลการศึกษาเป็นแนวทางให้โรงงานอื่นที่ใช้เทคโนโลยีและเชื้อเพลิงการเผาไหม้ที่เคียงกัน สามารถได้แนวทางการแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

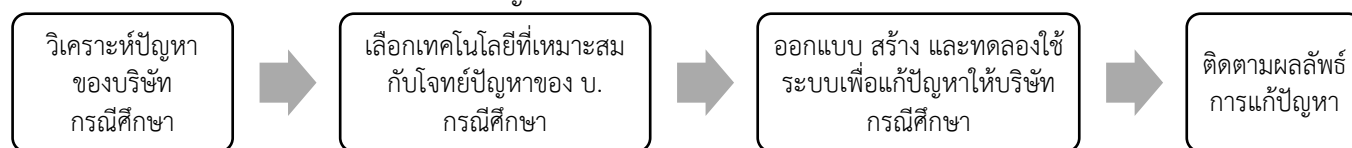
1. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหามลภาวะของบริษัทกรณีศึกษา
2. เพื่อการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลองสร้างระบบบำบัดมลภาวะแบบเปียก สะท้อนเป็นบทเรียนให้กับโรงงานหลักขนาดเล็กอื่น ที่ยังจำเป็นต้องใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นวิธีวิจัยแบบ Participatory Action Research (PAR) โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การวิเคราะห์เปรียบเทียบระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศ เพื่อทดลองสร้าง และใช้งานในโรงงานผลิตเหล็กถลุงโดยตรง เพื่อวิเคราะห์เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหามลภาวะของบริษัทกรณีศึกษา และถอดบทเรียนจากการออกแบบ สร้าง และทดลองใช้ระบบเพื่อแก้ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา โดยแสดงขั้นตอนการดำเนินงานในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2. บริบทของบริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้

บริษัทกรณีศึกษาประกอบธุรกิจผลิตเหล็กถลุงโดยตรง สำหรับใช้กับงานเฟอร์นิเจอร์ หรืองานโครงสร้างที่ไม่ต้องรับแรงมากดังแสดงในภาพที่ 2 โดยการใช้น้ำมันเตาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนเหล็กเส้นก่อนรีดเป็นเหล็กถลุงโดยตรง ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเก่า ส่งผลให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดเขม่าควันดำขนาดใหญ่ลอยเด่นชัดเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลกระทบต่อการดำเนินการของบริษัทที่ไม่สามารถดำเนินการอย่างต่อเนื่องได้ เนื่องจากมีความเสี่ยงที่จะถูกฟ้องร้องจากชุมชนรอบข้างเกี่ยวกับการสร้างมลพิษทางอากาศของโรงงาน



ภาพที่ 2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เหล็กมัดมัดตรงของบริษัทกรณีศึกษา

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยใช้วิธีการฝังตัวเป็นส่วนหนึ่งในทีมแก้ปัญหาในบริษัทกรณีศึกษา เพื่อสังเกตกระบวนการ และขั้นตอนการดำเนินการของบริษัทอย่างละเอียด เพื่อค้นหาขั้นตอนที่อาจเป็นต้นเหตุของปัญหามลภาวะทางอากาศของบริษัท

3.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีบำบัดมลภาวะทางอากาศ ผู้วิจัยใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรม ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีบำบัดมลภาวะทางอากาศในระดับอุตสาหกรรม ทั้งในไทยและต่างประเทศ

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการออกแบบ และสร้างระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศ ผู้วิจัยใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรม ที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงาน โครงสร้างและชิ้นส่วนของเทคโนโลยีที่เลือก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดัดแปลงให้เหมาะสมกับปัญหาและข้อจำกัดของบริษัทกรณีศึกษา โดยทำงานร่วมกับพนักงานของบริษัทกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องหาข้อมูลการออกแบบและผลิตชิ้นงาน

3.4 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับติดตามผลลัพธ์การใช้งานระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศ ผู้วิจัยติดตามผลลัพธ์การใช้งานระบบบำบัดมลภาวะทางอากาศ โดยใช้การวัดผลตามแนวทางของกรมควบคุมมลพิษ รวมถึงการเฝ้าสังเกตการประชุมร่วมกันระหว่างพนักงานฝ่ายผลิต และฝ่ายซ่อมบำรุงเครื่องจักรภายหลังการใช้งานจริงเป็นระยะเวลา 1 ปี 1 เดือน เพื่อถอดบทเรียนที่ได้จากการใช้งานจริง

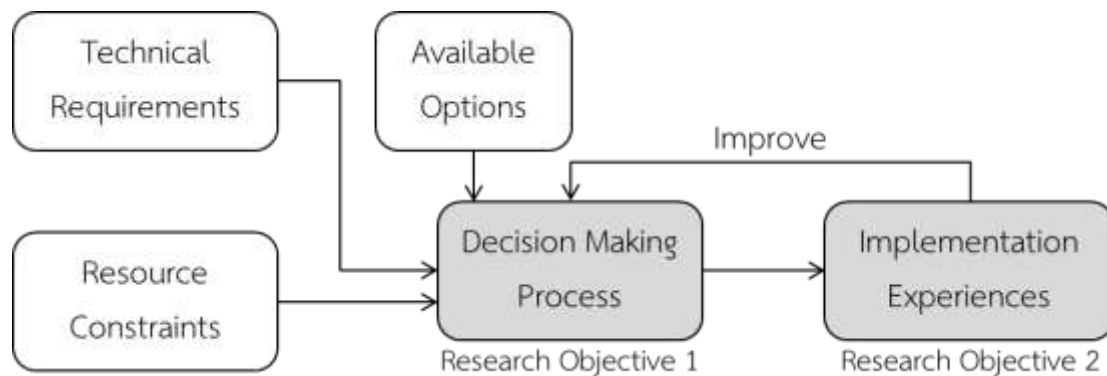
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบ Participatory Action Research (PAR) ซึ่งผู้วิจัยมีส่วนร่วมในการศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลความต้องการ วิเคราะห์เทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อแก้ปัญหาให้กับบริษัทกรณีศึกษา วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยนี้จึงใช้การพรรณนาเล่าเรื่อง (Narrative) เพื่อสะท้อนประสบการณ์ที่ผู้วิจัยได้รับการจากการมีส่วนร่วมในกระบวนการวิจัยนี้

กรอบแนวคิดในการวิจัย

เพื่อตอบคำถามวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยจึงเลือกวิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมแบบมีส่วนร่วม โดยมีกรอบแนวคิดการวิจัยดังแสดงในภาพที่ 3 โดยทำงานร่วมกับบริษัทกรณีศึกษาในการพิจารณาเงื่อนไขของปัญหาในมิติต่างๆ เช่น ความต้องการเชิงเทคนิค ข้อจำกัดเชิงพื้นที่และทรัพยากร รวมถึงข้อดีข้อเสียและกรณีใช้งานที่เหมาะสมของเทคโนโลยีบำบัดมลภาวะแบบต่างๆ สร้างเป็นกระบวนการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับบริบทใช้งานของบริษัทกรณีศึกษา จากนั้นจึงทดลองสร้างระบบดังกล่าวขึ้นจริง ทั้งนี้เพื่อยืนยันว่าเทคโนโลยีบำบัดมลภาวะที่ถูกเลือกในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ถูกต้องเหมาะสม และสามารถแก้ไขปัญหาได้จริง นอกจากนี้ผู้วิจัยได้มีการถอดบทเรียนจากประสบการณ์การสร้างระบบ

บำบัดมลภาวะ เพื่อสร้างเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหามลภาวะของโรงงานเหล็กขนาดเล็กที่อาจมีปัญหาล้ำกัน ให้สามารถหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่ผู้วิจัยเคยเผชิญมาก่อนได้



ภาพที่ 3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัย พบว่า

1. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหามลภาวะของบริษัทถลุงเหล็ก

1.1. วิเคราะห์ความต้องการของโจทย์ปัญหา

ผลการศึกษากระบวนการผลิตของบริษัทถลุงเหล็ก สามารถแสดงกระบวนการผลิตอย่างง่ายในภาพที่ 3 ทั้งนี้สาเหตุของปัญหาไอเสียเกิดจากขั้นตอนการเผาเหล็กเส้นโดยใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเตา ดังแสดงในภาพที่ 4 ส่งผลให้เกิดเขม่าควันดำความร้อนสูงจากการเผาไหม้น้ำมันเตาที่ไม่สมบูรณ์ มีละอองน้ำมันที่มีโอกาสติดไฟได้ และมีลักษณะเหนียวหนืดของคราบไอน้ำมันหากเขม่าดังกล่าวเกาะติดบนพื้นผิววัสดุ



ภาพที่ 4 กระบวนการผลิตอย่างง่ายของบริษัทถลุงเหล็ก



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานที่พบปัญหา

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังพบข้อจำกัดของบริษัทถลุงเหล็ก เกี่ยวกับพื้นที่ที่สามารถติดตั้งระบบบำบัดไอเสียได้นั้น มีขนาดพื้นที่ไม่เกิน 50 ตร.ม. อีกทั้งงบประมาณลงทุนในระบบดังกล่าวต้องไม่เกิน 1 ล้านบาท

1.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา

จากตารางที่ 1 แสดงผลสรุปการวิเคราะห์ความเหมาะสมของแต่ละเทคโนโลยีเทียบกับโจทย์ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา โดยแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ความเหมาะสมของแต่ละเทคโนโลยี เทียบกับความต้องการด้านเทคนิคของบริษัทกรณีศึกษาในตารางที่ 2 ซึ่งครอบคลุมการพิจารณาโจทย์ใน 3 ประเด็นได้แก่ ทำงานกับไอน้ำมันที่ติดมีโอกาสดูดไฟได้ ทำงานกับไอเสียความร้อนสูง 500°C ได้ และทำงานกับไอเสียที่มีอนุภาคหนืดเหนียวได้

ตารางที่ 1 สรุปผลวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยีต่างๆ เทียบกับโจทย์ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา

	Cyclone collectors	Bag filter	Electrostatic	Thermal oxidizer	Wet scrubber
ทำงานกับไอน้ำมันที่ติดมีโอกาสดูดไฟได้	✗	✗	✗	✓	✓
ทำงานกับไอเสียความร้อนสูง 500°C ได้	✓	✓	✓	✓	✓
ทำงานกับไอเสียที่มีอนุภาคหนืดเหนียว	✗	✗	✗	✓	✓
งบก่อสร้างต่ำกว่า 1 ล้านบาท	✓	✗	✗	✗	✓
พื้นที่มีอยู่อย่างจำกัดไม่เกิน 50 ตร.ม.	✓	✗	✗	✗	✓

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยี เทียบกับความต้องการด้านเทคนิค

Cyclone Collector	แม้เทคโนโลยีนี้สามารถใช้บำบัดไอเสียความร้อนสูงได้ แต่ก็ไม่เหมาะกับไอเสียที่มีโอกาสดูดไฟได้ เนื่องจากมีความเสี่ยงที่จะเกิดการระเบิด อีกทั้งความหนืดเหนียว ของคราบไอน้ำที่จะไปเกาะบนพื้นผิวระบบ ยังส่งผลให้การสร้างการหมุนวนของอากาศทำได้แย่งลง
Bag Filter	เทคโนโลยีนี้ไม่เหมาะกับไอเสียความร้อนสูง และละอองน้ำมันที่มีโอกาสดูดไฟ เนื่องจากถุงเก็บฝุ่น มีโอกาสดูดไฟได้ นอกจากนี้อนุภาคที่หนืดเหนียวยังทำให้แผ่นกรองอุดตัน และลดอายุการใช้งาน
Electrostatic	แม้เทคโนโลยีนี้สามารถใช้บำบัดไอเสียความร้อนสูงได้ แต่ก็ไม่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับบำบัดไอเสียที่มีอนุภาคที่มีโอกาสดูดไฟได้ เนื่องจากการทำงานของระบบใช้ไฟฟ้าแรงดันสูงปล่อยประจุแบบโคโรนา (Corona Discharge) เพื่อให้อากาศแตกตัวเป็นไอออนลบ จึงมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดประกายไฟ และเสี่ยงต่อการระเบิดหากใช้กับอนุภาคติดไฟได้
Thermal oxidizer	แม้เทคโนโลยีนี้สามารถใช้กับอนุภาคที่มีโอกาสดูดไฟได้ และไม่มีปัญหากับอนุภาคที่หนืดเหนียวของละอองน้ำมัน และไอเสียความร้อนสูง เนื่องจากอนุภาคเหล่านี้ถูกทำลายด้วยความร้อนได้ แต่เป็นวิธีการบำบัดที่สิ้นเปลืองและไม่สมเหตุผลเท่าใดนัก เพราะต้องมีค่าใช้จ่ายต้นทุนค่าเชื้อเพลิงสะอาดเพิ่มเติม สำหรับการเผาไหม้ไอเสียจากเชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในขั้นตอนการผลิต
Wet scrubber	เทคโนโลยีนี้ใช้ละอองน้ำเป็นตัวดูดซับอนุภาคบนแป้นต่างๆ ในไอเสีย จึงเหมาะสมกับการใช้บำบัดไอเสียความร้อนสูง และมีโอกาสดูดไฟ เนื่องจากละอองน้ำช่วยลดความเสี่ยงการระเบิด อีกทั้งยังเหมาะกับไอเสียที่มีอนุภาคหนืดเหนียวของละอองน้ำมันเนื่องจาก ละอองน้ำช่วยลดความหนืดเหนียวลงได้

นอกจากนี้ ตารางที่ 3 ยังแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ความเหมาะสมของเทคโนโลยี เทียบกับข้อจำกัดด้านทรัพยากรของบริษัทกรณีศึกษา ได้แก่ มีพื้นที่สำหรับติดตั้งระบบฯไม่เกิน 50 ตร.ม. และมีงบประมาณลงทุนในระบบดังกล่าวไม่เกิน 1 ล้านบาท

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของแต่ละเทคโนโลยี เทียบกับข้อจำกัดของบริษัทกรณีศึกษา

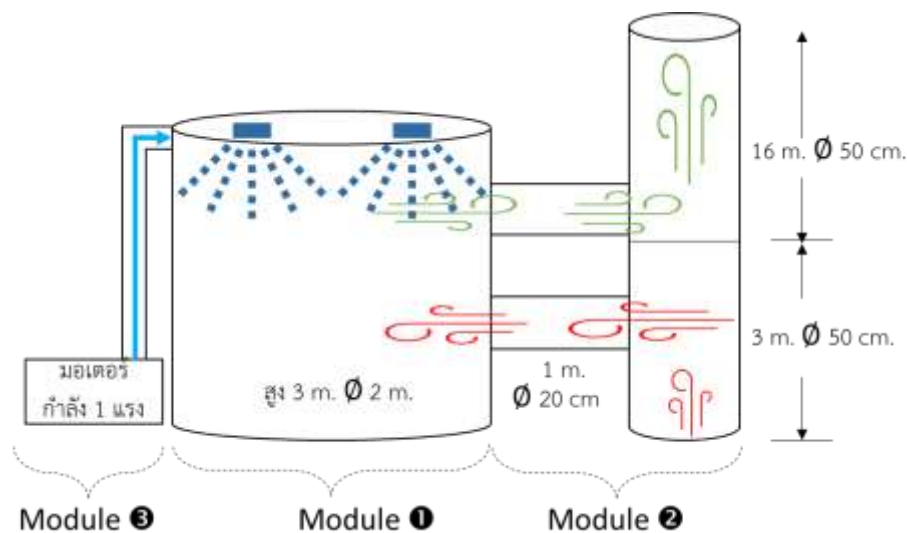
Cyclone Collector	ด้วยกลไกการทำงานที่สร้างการหมุนวนของอากาศในแนวตั้ง ส่งผลให้ระบบแบบนี้ใช้พื้นที่แนวราบไม่มาก อีกทั้งระบบมีกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อนส่งผลให้ งบประมาณต่ำ อยู่ที่ราว 420,000 – 540,000 บาท
Bag Filter	แม้ว่าเทคโนโลยีนี้จะเรียบง่ายไม่ซับซ้อน แต่เทคโนโลยีนี้มีความสิ้นเปลืองที่ต้องเปลี่ยนถุงกรองเป็นประจำ ต้องการงบประมาณติดตั้งระบบนี้ราว 1600,000 – 5,300,000 บาท อีกทั้งการจัดวางระบบจำเป็นต้องทำเป็นแนวนอนระนาบไปกับพื้นทำให้ใช้พื้นที่เกินกว่า 50 ตร.ม.
Electrostatic	เทคโนโลยีนี้ขึ้นส่วนประกอบด้านอิเล็กทรอนิกส์ค่อนข้างมากทำให้ต้องมีการลงทุนสูง ส่วนประกอบเป็นขดลวดนำไฟฟ้า ซึ่งต้องการเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งการจัดวางระบบจำเป็นต้องทำเป็นแนวนอนระนาบไปกับพื้นทำให้ใช้พื้นที่เกินกว่า 50 ตร.ม.โดยราคาเริ่มต้นอยู่ที่ 3,500,000 บาท
Thermal oxidizer	กลไกการนำความร้อนเข้ามาเพื่อกำจัดอนุภาคก๊าซหรือกลิ่นโดยเฉพาะ มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่มาก ส่งผลให้ต้องมีการลงทุนสูง เพราะต้องมีค่าใช้จ่ายสำหรับทรัพยากรที่นำมาใช้สำหรับทำความร้อนด้วย อีกทั้งการจัดวางระบบจำเป็นต้องทำเป็นแนวนอนระนาบไปกับพื้นทำให้ใช้พื้นที่เกินกว่า 50 ตร.ม.โดยราคาเริ่มต้นอยู่ที่ 3,500,000 บาท
Wet scrubber	ด้วยกลไกการทำงานที่คล้ายกับ Cyclone Collector ที่สร้างการหมุนวนของอากาศในแนวตั้ง และอาศัยละอองน้ำเป็นตัวดูดซับอนุภาค จึงใช้พื้นที่ไม่เกิน 50 ตร.ม. อีกทั้งราคาเริ่มต้นอยู่ที่ ไม่เกิน 1 ล้านบาท

ด้วยเหตุนี้ ผลจากการวิเคราะห์ใน ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 พบว่าเทคโนโลยีบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียก (Wet scrubber) จึงเหมาะสมกับโจทย์ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ละอองน้ำ ดักจับอนุภาคน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ติดไฟได้ มีความร้อนสูง และมีลักษณะหนืดเหนียวได้ โดยปราศจากความเสี่ยงการระเบิด อีกทั้งเป็นเทคโนโลยีที่ทำงานในแนวตั้ง จึงใช้พื้นที่ไม่มาก ระบบไม่ซับซ้อน มีอุปกรณ์ไม่มาก ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการดูแล จึงต้องการเงินลงทุนไม่มาก และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ

2. ผลการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลองสร้างระบบบำบัดมลภาวะแบบเปียก สะท้อนเป็นบทเรียนให้กับโรงงานเหล็กขนาดเล็กอื่น ที่ยังจำเป็นต้องใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

2.1 การออกแบบและสร้างเครื่อง Wet Scrubber

ในสำหรับขั้นตอนการออกแบบและสร้างเทคโนโลยีผู้วิจัยได้ทำการสรุปออกมาเป็นรูปภาพเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการแสดงอุปกรณ์และขั้นตอนที่จำเป็นออกมาเป็นแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้ตามภาพที่ 6 ซึ่งแสดงส่วนประกอบอย่างง่ายของระบบบำบัดมลพิษแบบ Wet Scrubber ประกอบด้วย 3 โมดูลย่อยได้แก่ (1)โมดูลถังดูดซึม (Absorption Tower Module) (2) โมดูลท่อไหลเวียนของอากาศพิษ(Pollutants Flow Module) และ (3) โมดูลการฉีดละอองน้ำ (Water Spray Module)



ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของระบบ Wet Scrubber

Module ① : โมดูลถังดูดซึม (Absorption Tower Module) โมดูลนี้เป็นการสร้างถังดูดซึม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อากาศเสียจะไหลมาเจอกับละอองน้ำที่ไหลสวนทิศทางการไหล ส่งผลให้เกิดการดักจับฝุ่นและก๊าซที่ละลายน้ำได้ออกจากอากาศเสีย โดยขั้นตอนการสร้างถังดูดซึมเริ่มจากการนำแผ่นเหล็ก 4 แผ่นมาทำการเชื่อมติดกันเป็นแผ่นยาว และนำเข้าเครื่องม้วนโลหะดังแสดงใน ภาพที่ 7 เป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร สูง 3 เมตร ดังแสดงใน ภาพที่ 7



ภาพที่ 7 เครื่องจักร Steel Plate Rolling Machine สำหรับสร้าง Absorption Tower

Module ② : โมดูลท่อไหลเวียนของอากาศมลพิษ (Pollutants Flow Module) โมดูลที่สองเป็นการสร้างท่ออากาศเพื่อลำเลียงอากาศเสียที่มาจากเครื่องจักรและอากาศดีที่ผ่านการบำบัดเรียบร้อยแล้วโดยการใช้เครื่องม้วนโลหะคล้ายกับโมดูลก่อนหน้า เพื่อสร้างท่อทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร นำมาเชื่อมต่อกันเป็นทรงสูงแต่มีแผ่นเหล็กกั้นกลางเพื่อแยกอากาศดีและเสียออกจากกัน ทั้งนี้เพื่อการประหยัดพื้นที่ติดตั้ง ดังแสดงใน ภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตัวอย่างท่อลำเลียงอากาศ

Module ③: โมดูลการฉีดละอองน้ำ (Water Spray Module) โมดูลนี้เป็นโมดูลการสร้างละอองน้ำเพื่อฉีดพ่นในถังดูดซึม โดยเริ่มจากการติดตั้งปั้มน้ำไฟฟ้าหอยโข่งขนาด 1 แรงม้า ซึ่งสามารถปั้มน้ำได้สูงที่สุดที่ 20 เมตร และมีอัตราการไหลที่ 300 ลิตร/นาที ลำเลียงไปตามท่อเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร เพื่อส่งน้ำขึ้นไปยังส่วนบนสุดของถังดูดซึมไปยังหัวสปริงเกอร์ที่ถูกติดตั้งอยู่ภายในถังดูดซึมด้านบน เพื่อพ่นละอองน้ำจากบนลงล่าง สวนทางกับไอเสียที่จะไหลจากล่างขึ้นบน

2.2 ผลลัพธ์จากการใช้เทคโนโลยี

จากภาพที่ 9 แสดงผลลัพธ์หลังทำการติดตั้งระบบ พบว่าเขม่าควันลดลงอย่างชัดเจน โดยวัดค่าความทึบแสงเฉลี่ยเหลือเพียงร้อยละ 14 ลดลงอย่างมากจากค่าความทึบแสงเฉลี่ยร้อยละ 73 ก่อนติดตั้งระบบ



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบการวัดความทึบแสงของกลุ่มควันก่อนติดตั้งระบบ (ซ้าย) และหลังติดตั้งระบบ (ขวา)

2.3 ถอดบทเรียนจากการใช้งานจริง

ภายหลังจากการใช้ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียก เป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือน มิถุนายน 2565 ถึงกรกฎาคม 2566 พบว่าระบบทำงานได้ดี สามารถลดมลภาวะทางอากาศลงได้อย่างชัดเจน การบำรุงรักษาทำได้ง่าย โดยใช้น้ำยาเคมีภัณฑ์ล้างเครื่องจักรอุตสาหกรรม EC-15 ผสมน้ำก่อนปั้มเข้าระบบในสัดส่วน 1:50 แล้วจึงเปิดปั้มน้ำให้น้ำยาไหลผ่านไปตามท่อผ่านหัว Nozzle และจะถูกพ่นกระจายไปโดยรอบ เพื่อทำความสะอาดทั้ง Nozzle และพื้นที่ภายในถังบำบัด

อย่างไรก็ตาม จากประสบการณ์ใช้งานของบริษัทการศึกษาพบว่า ชิ้นส่วนอุปกรณ์ของระบบมีความเสี่ยงต่อการชำรุดเสื่อมสภาพได้แก่ การผุกร่อนของถังบำบัดเนื่องจากความชื้นภายในตัวถัง ดังนั้นวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นตัวถังควรทนทานต่อความชื้นได้ดีเช่นสแตนเลส เป็นต้น

อภิปรายผล

ผลการเปรียบเทียบเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาหมอกควันของ บริษัทการศึกษา พบว่า ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียก มีความเหมาะสมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีบำบัดมลพิษทางอากาศทั้ง 5 เทคโนโลยี สำหรับการแก้ไขปัญหาเชิงเทคนิค และข้อจำกัดเชิงทรัพยากรของบริษัทการศึกษา เนื่องจากสามารถใช้งานกับไอเสียน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีลักษณะหนืดเหนียว และมีโอกาสติดไฟได้ โดยอาศัยการสร้างละอองน้ำเพื่อดักจับอนุภาคต่างๆ ให้ออกจากอากาศ และชำระล้างภายในถังบำบัดอยู่เสมอ รวมถึงเป็นเทคโนโลยีที่ทำงานแนวตั้ง ใช้พื้นที่ไม่มากจึงเหมาะสำหรับบริษัทการศึกษาที่มีพื้นที่อยู่อย่างจำกัด ซึ่งผลวิจัยข้างต้นช่วยสร้างแนวทางให้แก่ผู้ประกอบการที่ต้องการวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีการบำบัดมลพิษทางอากาศชนิดต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียก ซึ่งใช้งานได้ดี มีต้นทุนการติดตั้งและการดูแลรักษาต่ำสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Calvert, 1972) ซึ่งศึกษาหลักการทำงานเชิงวิศวกรรมของระบบบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียก นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้แสดงขั้นตอนการสร้าง พร้อมทั้งผลลัพธ์หลังติดตั้ง และประสบการณ์การใช้งานระบบ คล้ายกับแนวทางของ Donchai (2022) ซึ่งแสดงขั้นตอนการพัฒนาเครื่องกรองฝุ่นสำหรับห้องเรียน เพียงแต่งานวิจัยนี้ขยายผลในขอบเขตการประยุกต์ใช้ที่ใหญ่กว่า ได้แก่ ในบริบทของโรงงานขนาดเล็ก 1 แห่ง

ผลการถอดบทเรียนจากประสบการณ์การใช้ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศที่สร้างขึ้น พบว่า ผู้วิจัยค้นพบจากประสบการณ์จากการออกแบบ สร้าง และทดลองใช้ระบบในบริษัทการศึกษาว่า ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียก มีหลักการทำงานของระบบที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อนทำให้การออกแบบและการสร้างระบบ สามารถทำได้ง่ายโดยช่างฝีมือทั่วไป ระบบทำงานได้ดี สามารถลดมลพิษทางอากาศลงได้อย่างชัดเจน การบำรุงรักษาทำได้ง่าย โดยควรเลือกใช้วัสดุที่ทนทานต่อการเกิดสนิมมาใช้สร้างเป็นตัวถังบำบัดเพื่อยืดอายุการใช้งานของระบบ การสะท้อนประสบการณ์จริงจากการทดลองสร้าง และใช้งานระบบนี้ ช่วยเติมเต็มงานของ (Kiatloetnapha, 2022) ซึ่งวิเคราะห์เปรียบเทียบเครื่องกรองฝุ่นสำหรับเมือง โดยใช้ข้อมูลสถิติภูมิทัศน์ ทั้งนี้ผู้วิจัยหวังให้ผลวิจัยข้างต้นช่วยให้ผู้ประกอบการเห็นแนวทางการนำผลลัพธ์ดังกล่าว ไปประยุกต์กับการแก้ปัญหาหมอกควันทางอากาศในกระบวนการผลิตของตนเอง ลดความเสี่ยงของธุรกิจจากการถูกร้องเรียน และถูกสั่งยุติการดำเนินการ

องค์ความรู้ใหม่

องค์ความรู้ใหม่ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ การนำวิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการอย่างมีส่วนร่วม (Participatory Action Research) มาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาหมอกควันทางอากาศของโรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลให้ผลลัพธ์การวิจัยที่ได้สะท้อนมุมมองของผู้ประกอบการโรงงานหลักซึ่งมีข้อพิจารณาในหลายมิติมากกว่ามุมมองเชิงเทคนิคของวิศวกรโรงงานเพียงอย่างเดียว โดยที่ผลการวิจัยนี้ ช่วยสร้างแนวทางตัวอย่างการวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาหมอกควันจากการเผาไหม้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในโรงงานขนาดเล็ก พร้อมทั้งแบ่งปันประสบการณ์การสร้างและใช้งานจริง ผู้ประกอบอื่นๆ จึงสามารถใช้องค์ความรู้นี้เป็นแนวทางในการเลือกใช้เทคโนโลยีระบบบำบัดมลพิษทางอากาศให้เหมาะสมกับบริบทของตนต่อไป

สรุปผลการวิจัย

ระบบบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียก เหมาะกับการแก้ปัญหาของ บริษัทการศึกษามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีบำบัดมลพิษทางอากาศทั้ง 5 เทคโนโลยี เนื่องจากสามารถใช้งานกับไอเสียน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีลักษณะหนืดเหนียว และมีโอกาสติดไฟได้ดี สามารถลดมลพิษทางอากาศลงได้อย่างชัดเจน การออกแบบ สร้าง และติดตั้งระบบบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียก ทำได้ง่ายโดยช่างฝีมือทั่วไป การบำรุงรักษาทำได้ง่ายโดยผสมน้ำยาเคมีภัณฑ์ล้างเครื่องจักร

อุตสาหกรรม EC-15 กับน้ำในสัดส่วน 1:50 แล้วจึงเปิดปั๊มให้น้ำยาไหลเข้าเครื่องผ่านไปยัง Nozzle และจะถูกพ่นกระจายไปโดยรอบเพื่อทำความสะอาดตัวถัง

อย่างไรก็ตาม การสร้างระบบบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียกขึ้นเองเพื่อใช้งานนั้น วัสดุที่เลือกใช้ทำถังบำบัดควรใช้เป็นวัสดุที่เป็นสนิมได้ยากเช่น แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304 เป็นต้น ทั้งนี้ เนื่องจากในระบบทำให้เกิดความชื้นภายในถังบำบัดตลอดเวลาที่ใช้งาน ซึ่งหากวัสดุตัวถังเป็นสนิมได้ง่าย อายุการใช้งานของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

เพื่อเปลี่ยนผ่านภาคการผลิตของประเทศ ไปสู่การใช้กระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ลดการปล่อยมลพิษหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีบทบาทด้านการกำกับดูแล ควรเพิ่มบทบาทเชิงรุก โดยเชื่อมโยงกับพันธมิตร เพื่อให้ความรู้ด้านเทคโนโลยี ให้การสนับสนุนด้านเงินทุน และเป็นแกนกลางในการสร้างชุมชนของโรงงานที่ดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างยอดเยี่ยม ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกให้เกิดการแพร่กระจายองค์ความรู้ (Knowledge Spillover) และเพิ่มแรงจูงใจในการเปลี่ยนผ่านเทคโนโลยี

2. ข้อเสนอแนะด้านการวิจัยครั้งต่อไป

เนื่องจากเทคโนโลยีบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียกใช้การปล่อยละอองน้ำในถังบำบัดเพื่อดักจับอนุภาคมลภาวะ ส่งผลให้น้ำเสียที่เต็มไปด้วยคราบฝุ่นละอองไหลรวมไปสะสมตกตะกอนอยู่ที่ด้านล่างของระบบ ดังนั้นแนวทางในการต่อยอดงานวิจัย จึงอาจเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบ โดยอาจใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม หรือวิธีวิจัยเชิงทดลอง เพื่อออกแบบและสร้างส่วนต่อขยายของระบบบำบัดมลพิษทางอากาศแบบเปียก เพื่อบำบัดมลพิษของน้ำเสียที่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยระบบที่ไม่ซับซ้อน และลงทุนต่ำ

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2563). การร้องเรียนปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและมลพิษ. สืบค้น 24 มกราคม 2566. จาก <https://www.pcd.go.th/faqs/การร้องเรียนปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและมลพิษ>.
- _____. (2564). แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ การแก้ไขปัญหาหมอกควันและฝุ่นละออง. สืบค้น 24 มกราคม 2566. จาก <https://www.pcd.go.th/strategy/แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ-การแก้ไขปัญหาหมอกควันและฝุ่นละออง>.
- พจมาน เตียวัฒนรัฐติกาล และ อุษณีย์ คำพูล. (2564). การปรับปรุงแผนผังโรงงาน เพื่อลดมลภาวะทางเสียงและฝุ่นของโรงงานหล่อโลหะ. *วารสารวิชาการศรีปทุมชลบุรี*, 18(2), 14-24.
- Calvert, S. (1972). *Final report on Wet Scrubber System Study*. Retrieved 2 September 2022. from <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9101LF9J.PDF?Dockey=9101LF9J.PDF>.
- Donchai, K. (2022). Development of a dust filter PM2.5 version 4 of Chiangrai Technical College. *Vocational Education Innovation and Research Journal*, 6(2), 11-22.
- EEA. (2021). *Sources and emissions of air pollutants in Europe*. Retrieved 2 September 2022. from <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/sources-and-emissions-of-air>.
- EPIC. (2019). *Thailand Analysis: Air Pollution Cuts Lives Short by More Than Four Years in the Most Polluted Areas*. Energy Policy Institute at the University of Chicago. Retrieved 2 September 2022. from <https://epic.uchicago.edu/news/thailand-analysis-air-pollution-cuts-lives-short-by-more-than-four-years-in-the-most-polluted-areas/>.

- Jendong, P. (2022). The Amendment of the Definition of “Factory” in the Amended Factory Act 2535 B.E. and the Air Pollution Problems A case study of a small business in the rice mill type in Phayao Province. *The Journal of Law, Public Administration and Social Science. School of Law Chiang Rai Rajabhat University*, 6(1), 265-286.
- Kiatloetnapha, D. (2022). Comparative Guide of PM2.5 Metropolitan Air Purifier. *KKU Journal for Public Health Research*, 15(1), 1-13.
- Pochanaet, P. (2016). The present state of urban air pollution problems in Thailand’s large cities: cases of bangkok, Chiang mai, and rayong. *Journal of Environmental Management*, 12(1), 114–133.
- Pratum, C. (2015). Feasibility Study of Carbon Dioxide Recycling Using a Biological Wastewater Treatment System for Industrial Sources. *Journal of Environmental Management*, 11(2), 106–133.
- WHO. (2021). *WHO global air quality guidelines*. Retrieved 2 September 2022. from <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf>.