

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

วิศวกรรมการเชื่อมประสานเป็นหนึ่งในกระบวนการผลิตที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นสำหรับภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการเรียนการสอนทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม ทุกครั้ง (Fume) เกิดขึ้นทุกครั้ง [1]) โดยเฉพาะการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal Arc Welding; SMAW) ซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในการเชื่อมซ่อม กระบวนการเชื่อมแบบนี้จะทำให้เกิดควันละอองโลหะขึ้นเป็นจำนวนมาก และควันละอองโลหะดังกล่าวจะเป็นอันตรายต่อช่างเชื่อมที่ปฏิบัติงานดังกล่าว [2]-3]) นอกจากนี้กระบวนการเชื่อมยังมีอีกหลายกระบวนการ เช่น การเชื่อมมิก (GMAW) การเชื่อมทิก (GTAW) การเชื่อมแก๊ส (OAW) ฯลฯ รวมถึงกระบวนการตัดด้วยความร้อนต่าง ๆ อีกเป็นจำนวนมาก

ได้มีการทำการวิจัยปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพของช่างเชื่อมที่มีปัจจัยมาจากควันละอองโลหะที่เกิดขึ้น เช่นในกรณีของ Hull, M.J. et al.[4]) ทำการศึกษาติดตามสภาวะสุขภาพของช่างเชื่อม และได้พบถึงความปลอดภัยและความเสียหายที่เกิดขึ้นกับปอดของช่างเชื่อม โดยเฉพาะการเชื่อมอลูมิเนียมและสแตนเลส [5]) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกเป็นจำนวนมากที่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของควันละอองโลหะที่เกิดต่อระบบทางเดินหายใจ เช่นในรูปที่ 1.1 แสดงถึงควันละอองโลหะที่ติดอยู่ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ [6])

บริเวณต่าง ๆ ที่สนใจ เช่น บริเวณที่ทำการเชื่อมด้วยกระบวนการต่าง ๆ บริเวณเวลาที่ทำการตัดด้วยกระบวนการต่าง ๆ บริเวณทางเดิน รวมถึงห้องเรียนที่อยู่ในบริเวณเดียวกับโรงปฏิบัติการ จะมีปริมาณควันละอองโลหะที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อความเสี่ยงที่แตกต่างกันด้วยในแต่ละบริเวณ ซึ่งมีความจำเป็นในการจัดการป้องกันที่แตกต่างกันไปตามความต้องการและความเหมาะสมกับบริเวณนั้น ๆ

1.2. วัตถุประสงค์

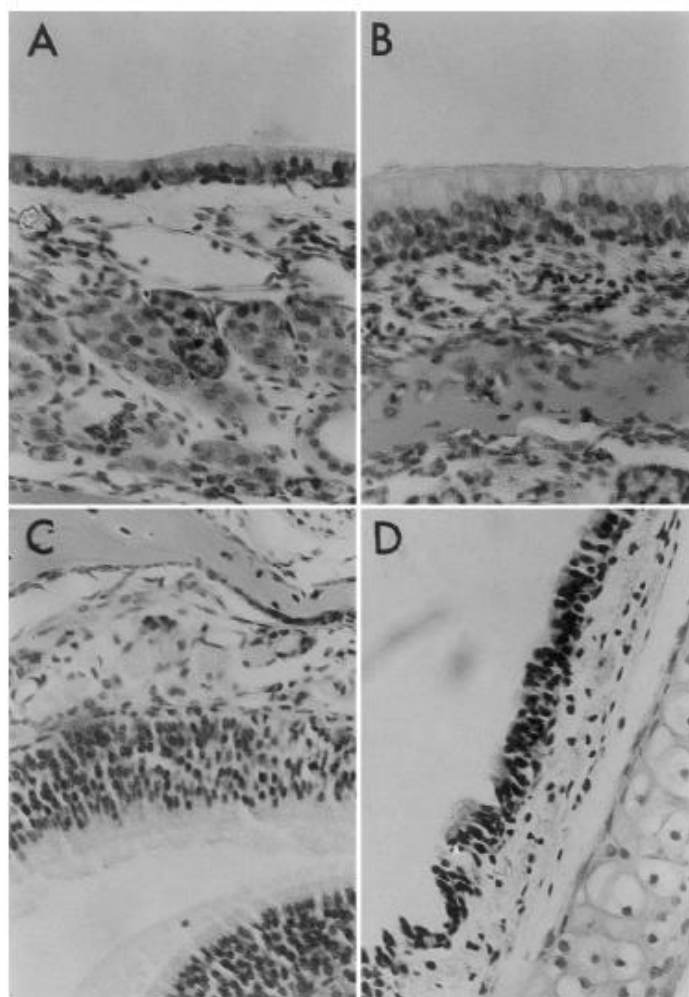
- 1.2.1. เพื่อศึกษาควันละอองโลหะที่เกิดขึ้นในบริเวณ โรงปฏิบัติการวิศวกรรมการเชื่อม
- 1.2.2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของควันละอองโลหะที่มีอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ของโรงปฏิบัติการ วิศวกรรมการเชื่อม

1.3. ขอบเขต

- 1.3.1. ศึกษาปริมาณควันละอองโลหะในบริเวณ โรงปฏิบัติการวิศวกรรมการเชื่อม มจร.
- 1.3.2. ศึกษาควันละอองโลหะจากกระบวนการเชื่อมและตัด

- FCAW
- SMAW
- GMAW
- Plasma Cutting

1.3.3. ศึกษาในขณะที่มีการเชื่อมเกิดขึ้นจริง



รูปที่ 1.1 Localization of welding fume particles on respiratory tract (_100). A, respiratory epithelium in the nasal pathway; B, transitional epithelium in the nasal pathway; C, olfactory epithelium in the nasal pathway; D, trachea. There is no distinct fume particle adsorption on the nasal pathways and the trachea.

No significant pathology was observed on the nasal pathways and the trachea. [6]

1.4. ผลที่คาดว่าจะได้

1.4.1 เพื่อใช้เป็นความรู้และข้อมูลพื้นฐานในการส่งเสริมสุขภาพในที่ปฏิบัติงาน

1.4.2 เพื่อให้ประชาชนตระหนักถึงอันตรายของควันละอองโลหะที่เกิดขึ้นจากการเชื่อม

- 1.4.3 เพื่อให้ภาคธุรกิจตระหนักและหาวิธีการป้องกันอันตรายและส่งเสริมสุขภาพของช่างเชื่อม
- 1.4.4 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการเรียนการสอน
- 1.4.5 สามารถต่อ ยอดถึงกระบวนการป้องกันและกำจัดวันละองโลหะที่เกิดขึ้นได้
- 1.4.6 สร้างความเป็นธรรมระหว่างผู้ประกอบการและช่างเชื่อมในด้านการป้องกันและส่งเสริมสุขภาพของช่างเชื่อม

1.5. ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

- 1.5.1. วันละองโลหะที่เกิดขึ้นในโรงปฏิบัติการวิศวกรรมเชื่อม มจร. มีลักษณะใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นในโรงปฏิบัติการอื่น ๆ
- 1.5.2. วันละองโลหะที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกัน ตามแต่ชนิดของกระบวนการเชื่อม และ/หรือกระบวนการตัด

1.6. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

การเชื่อมประสานเป็นกระบวนการผลิตและซ่อมบำรุงที่ได้รับความนิยมอย่างมากกระบวนการหนึ่ง จึงได้ถูกบรรจุให้เป็นกระบวนการผลิตที่จำเป็นต้องมีการเรียนการสอน อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวจะก่อให้เกิดวันละองโลหะขึ้นในระหว่างการเชื่อม ซึ่งวันละองโลหะนั้นจะประกอบด้วยวันละองและของโลหะหนักหลายประเภทขึ้นอยู่กับงานเชื่อม นั้น ๆ ซึ่งเป็นที่สนใจในการศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างยิ่ง [1]-[8])

ผลกระทบของวันละองโลหะที่เกิดขึ้นในงานเชื่อม จะส่งผลกระทบต่อนักศึกษาหลาย ๆ ด้านไม่ว่าจะเป็นระบบทางเดินหายใจและความเครียดที่จะเกิดขึ้น [9]-[10]) เมื่อมีการตระหนักถึงผลกระทบดังกล่าวแล้วจึงมีความพยายามที่จะลดปริมาณวันละองโลหะที่อยู่ ณ บริเวณปฏิบัติงานให้มากที่สุด [11]) ทั้งนี้เพื่ออาชีวอนามัยของผู้ปฏิบัติงานเอง

นอกเหนือจากการใช้อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment; PPE) เช่น การสวมใส่หน้ากาก แล้วการเอาวันละองโลหะจากการเชื่อมออกจากบริเวณปฏิบัติงานถือเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยได้ อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นที่จะต้องตระหนักถึงวันละองโลหะที่มีอยู่ในบริเวณดังกล่าวด้วย จึงจะสามารถออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง

1.7. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี

- 1.7.1 เผยแพร่ผลงานวิจัยผ่านสื่อในเครือข่ายมหาวิทยาลัย
- 1.7.2 เผยแพร่ผลงานวิจัยในที่ประชุมวิชาการ
- 1.7.3 เผยแพร่ผลงานทางเครือข่ายที่หน่วยงานมีอยู่กับภาครัฐและเอกชน
- 1.7.4 เผยแพร่ผลงานผ่านทางเว็บไซต์ของหน่วยงาน <http://www.kmutt.ac.th>

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. การเชื่อมโลหะ [12]

งานเชื่อมหรือตัดโลหะด้วยอุณหภูมิสูงเป็นส่วนหนึ่งของงานผลิต และซ่อมสร้างเกี่ยวกับงานโลหะทั่วไป เป็นงานที่มีอันตรายหลายประเภทแฝงอยู่ และมีคนงานเป็นจำนวนมากที่ขาดความรู้เกี่ยวกับอันตรายที่กำลังเสี่ยงอยู่เป็นประจำ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการที่ผู้ปฏิบัติงานโดยทั่วไปขาดความระวังภัยที่อาจเกิดขึ้นจากการทำงานนั้น ทำให้มีผู้ประสบอุบัติเหตุและโรคที่เกิดขึ้นจากการทำงานอยู่เสมอ

การเชื่อมโลหะ หมายถึง กรรมวิธีกระบวนการเชื่อมต่อโลหะให้ติดกันอย่างแข็งแรงสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถกระทำได้หลายๆ วิธี ทั้งแบบกรรมวิธีใช้แรงดันและกรรมวิธีการหลอมละลาย ช่างเชื่อมหรือผู้เกี่ยวข้องจะต้องเลือกใช้วิธีการเชื่อมให้ถูกต้องและเหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงาน เพื่อให้ได้งานเชื่อมที่ถูกต้องสมบูรณ์ ประหยัดทั้งเวลา ค่าแรงงาน ค่าวัสดุ และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ [11]

จากกระบวนการเชื่อมที่มีอยู่หลายวิธีนั้น กระบวนการเชื่อมที่เป็นที่นิยม ได้แก่

1. กระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shield Metal Arc Welding Process : SMAW)
2. กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding Process : SAW)
3. กระบวนการเชื่อมโลหะก๊าซคลุม (Gas Metal Arc Welding Process : GMAW)
4. กระบวนการเชื่อมอาร์คทังสเตนก๊าซคลุม (Gas Tungsten Arc Welding)
5. กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยก๊าซออกซิ-อะเซทิลีน (The Oxy-acetylene Welding Process :

OAW)

6. กระบวนการเชื่อมพลาสมา (Plasma Arc Welding : PAW)

2.2. สาเหตุและอันตรายที่เกิดจากงานเชื่อม [13]

สิ่งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเชื่อมมีดังต่อไปนี้

1) แสงจ้าและรังสี งานเชื่อมทำให้เกิดแสงจ้าและรังสีอัลตราไวโอเลตซึ่งเป็นอันตรายต่อสายตา ทำให้ตาเป็นต้อได้ ผิวหนังที่ได้รับรังสีจะเกิดการอักเสบ ปวดแสบปวดร้อนหรืออาจทำให้ผิวหนังไหม้ได้ การบรรเทาอาการเจ็บตาให้ใช้ยาหยอดตาหรือใช้ผ้าเย็นประคบหรืออาจใช้เปลือกกล้วยที่สะอาดปิดเปลือกตาก็ได้

2) ประกายไฟหรือลูกไฟที่เกิดขึ้นจากงานเชื่อมโลหะซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 1200-1600 องศาเซลเซียส ทำให้ผิวหนังไหม้ และอาจเป็นสาเหตุของเพลิงไหม้ งานเชื่อมในที่อับทึบและมีละอองไอน้ำมัน ทำให้เกิดการระเบิดได้

3) ไฟฟ้าลัดวงจร หากมีการชำรุดของสายไฟ จุดต่อสายไฟไม่เป็นตามมาตรฐานจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรได้

4) ความเมื่อยล้า เกิดขึ้นได้หากปฏิบัติงานในท่าทางที่ไม่ถูกต้อง เช่น นั่งยองๆ หรือก้มหลังเชื่อมในระยะเวลาานานๆ อาจทำให้ระบบไหลเวียนของโลหิตไม่ดีอาจทำให้เกิดการเมื่อยล้า เหน็บชา หน้ามืด เป็นต้น

5) อันตรายของสารเคมีในรูปของฟุ้ง เกิดขึ้นเมื่อโลหะหลอมเหลวจนเป็นไอ และเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วเกิดเป็นอนุภาคนาขนาดเล็กมากลอยอยู่ในอากาศ พบได้ในงานเชื่อมโลหะ หลอมโลหะ บัดกรีเข้าสู่ร่างกายได้ทางระบบทางเดินหายใจ และทำให้เกิดโรคต่างๆ ได้หลายชนิด

อันตรายที่เกิดจากการเชื่อม สามารถจำแนกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

- 1) อันตรายที่เกิดจากควันละอองโลหะ หรือฝุ่นโลหะที่เกิดจากการเชื่อม
- 2) อันตรายจากก๊าซที่เกิดจากการเชื่อมหรือก๊าซพิษกลุ่ม
- 3) อันตรายจากรังสีที่เกิดจากการเชื่อม
- 4) อันตรายจากกระแสไฟฟ้า
- 5) อันตรายที่เกิดจากการระเบิดหรือลุกไหม้

ในที่นี้ขอกล่าวถึงเฉพาะอันตรายที่เกิดขึ้นจากควันละอองโลหะ หรือฝุ่นโลหะที่เกิดจากการเสียดสีการเชื่อมซึ่งควัน ละออง หรือฝุ่นโลหะที่จะเกิดขึ้นนั้นหลัก ๆ เป็นละอองหรือฝุ่นโลหะที่เกิดจากการเผาไหม้ของลวดเชื่อม ถ้าวัสดุชิ้นงานเชื่อมจะเกิดเป็นควัน ละออง หรือฝุ่นโลหะที่เป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็กและทองแดงที่ใช้เคลือบลวดเชื่อม นั้น จะสังเกตได้ว่าในขณะที่ทำการเชื่อมระหว่างลวดเชื่อมกับชิ้นงาน จะเกิดการเสียดสีกันทำให้ทองแดงที่เคลือบบริเวณผิวลวดเชื่อมอยู่นั้นหลุดร่อนออกเป็นละอองหรือฝุ่นโลหะ ซึ่งบางครั้งอาจรวมตัวกันแน่นอยู่บริเวณลวดเชื่อม หรืออาจเข้าไปจับตัวกันแน่นอยู่ในท่อนำลวดเชื่อม และบางส่วนก็จะปลิวสู่อากาศ

การหายใจเอาละอองหรือฝุ่นโลหะเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง ทำให้เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและต่อเยื่อเมือก รวมถึงโรคปอด เกิดจากการหายใจเอาละอองหรือฝุ่นโลหะเป็นระยะเวลานานๆ จะทำให้มีการสะสมของสารต่างๆ ในปอด โดยเฉพาะบุคคลที่หายใจซ้ำและลึกจะทำให้ละอองหรือฝุ่นโลหะตกค้างในปอดมากขึ้น การมีสารแปลกปลอมเข้าไปในปอดจะทำให้เนื้อเยื่อปอดเกิดการระคายเคืองอักเสบ ทำให้เกิดพังผืดขึ้นในปอด สมรรถภาพในการทำงานของปอดลดลง ทำให้ผู้ป่วยเกิดอาการเหนื่อยง่าย หอบ น้ำหนักตัวลด เจ็บหน้าอกหายใจลำบาก หายใจถี่ และไอ เป็นต้น

การสัมผัสสะเก็ดองหรือฝุ่นโลหะเมื่อถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองขึ้นได้ และส่งผลให้ผิวหนังแตก แห้ง ผิวหนังพุพองจนเกิดเป็นแผลเรื้อรังเป็นต้น ซึ่งปกติผิวหนังจะมีไขมันและเหงื่อเป็นด่านป้องกันมิให้สารแปลกปลอมแพร่กระจายหรือแทรกซึมเข้าสู่ผิวหนังชั้นในได้โดยง่าย

สำหรับในทางเลือกของช่างเชื่อมนั้น สามารถทำได้คือให้สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตราย และควบคุมบุคคลที่ไม่ได้สวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายออกจากพื้นที่ ต้องจัดการให้มีวิธีการระบายอากาศอย่างเพียงพอ และอีกทางเลือกหนึ่งคือ ใช้ลวดเชื่อมที่ไม่มีทองแดงเคลือบผิว (Copper Free) กล่าวคือ ลวดเชื่อมเปลือย (Solid Wire) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ 1. ลวดเชื่อมที่มีทองแดงเคลือบผิว (Copper coated) 2. ลวดเชื่อมที่ไม่มีทองแดงเคลือบ (Copper free)

2.3. โครงสร้างและการทำงานของระบบหายใจ [14]

มนุษย์ทุกคนต้องหายใจเพื่อมีชีวิตอยู่ การหายใจเข้า อากาศผ่านไปตามอวัยวะของระบบหายใจตามลำดับ ดังนี้

1. จมูก (Nose) เป็นอวัยวะที่เป็นทางผ่านของอากาศ ภายในจมูกบุด้วยเยื่อจมูก ซึ่งมีต่อมน้ำมูกและขนจมูกขึ้นอยู่รอบๆ ผนังของจมูก ขนจมูกจะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศที่หายใจเข้าไปยังช่องจมูกและกรองฝุ่นละอองในอากาศไม่ให้เข้าสู่หลอดลมและปอด ถัดจากจมูกเข้าไปจะเป็นโพรงจมูก ที่มีเยื่อบุชุ่มชื้นก่อนข้างหนาอยู่ทั่วผนังของโพรงจมูก ที่มีเยื่อเมือกประกอบด้วย หลอดเลือดที่จะช่วยปรับอุณหภูมิของลมหายใจ โดยการแผ่รังสีความร้อน ต่อเมือกที่ทำหน้าที่ขับน้ำเมือกออกมาทำให้ลมหายใจมีความชุ่มชื้นและช่วยจับฝุ่นละอองและเชื้อโรคที่ผ่านขนจมูกเข้ามา และมีขนกวัดเล็กๆ ทำหน้าที่ปิดแผ่นน้ำเมือกที่สกปรกให้ไหลไปทางลำคอลงสู่กระเพาะอาหาร

2. หลอดคอหรือคอหอย (Pharynx) เมื่ออากาศผ่านจมูกแล้วก็ผ่านเข้าสู่หลอดคอ ซึ่งหลอดคอติดต่อทั้งช่องปากและช่องจมูก จึงแบ่งเป็นหลอดคอส่วนจมูกกับหลอดคอส่วนปาก โดยมีเพดานอ่อนเป็นตัวแยกสองส่วนนี้ออกจากกัน โครงของหลอดคอประกอบด้วยกระดูกอ่อน 9 ชิ้นด้วยกัน ชิ้นที่ใหญ่ที่สุดคือกระดูกขี้นกหรือกระดูกที่เรียกว่า "ลูกกระเดือก" ในผู้ชายเห็นได้ชัดกว่าผู้หญิง

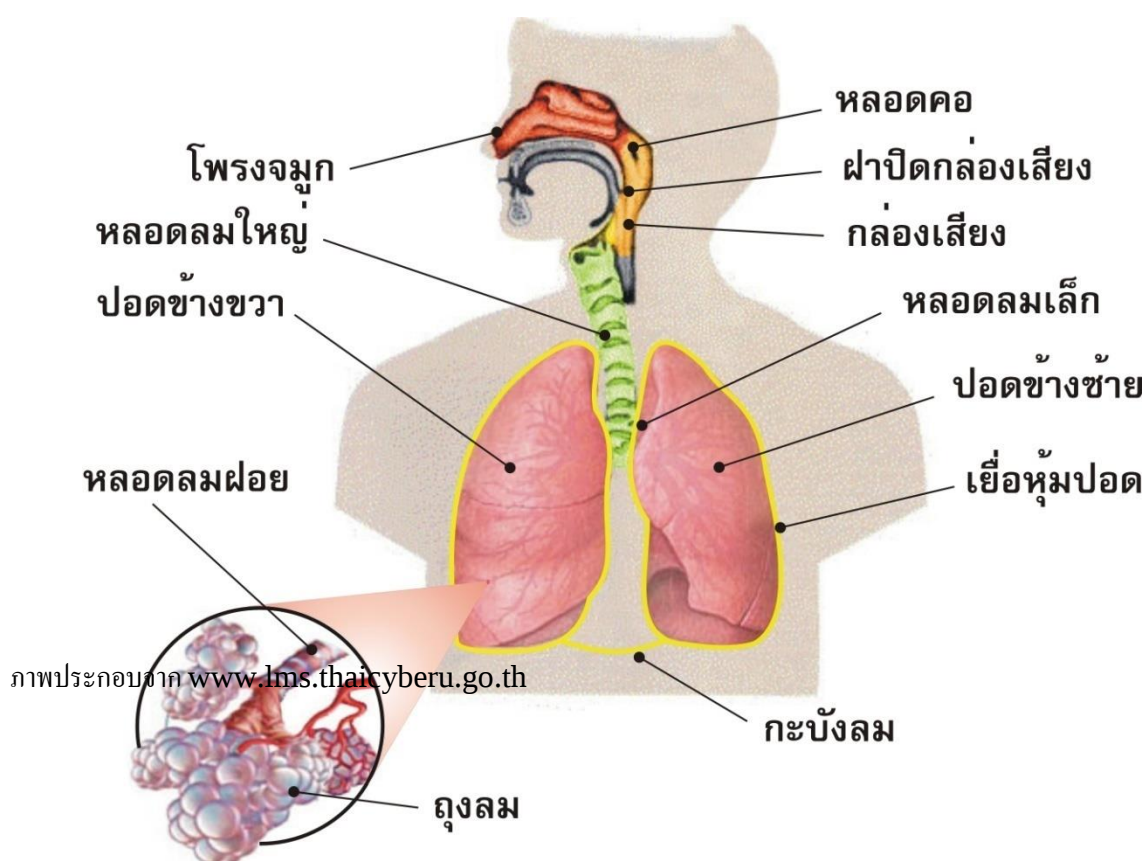
3. กล่องเสียง (Larynx) มีรูปร่างคล้ายกรวย อยู่ถัดเข้ามาจากโคนลิ้นตรงเข้าสู่หลอดลมส่วนต้น ตรงทางเข้าสู่กล่องเสียงจะมีลิ้นปิดหลอดลม ทำหน้าที่ปิดหลอดลมขณะที่เรากลืนอาหาร เพื่อป้องกันไม่ให้อาหารผ่านลงไปสู่หลอดลม ภายในกล่องเสียงจะมีสายเสียงที่ทำให้เกิดเสียงต่างๆ ได้

4. หลอดลม (Trachea) เป็นส่วนที่ต่อออกมาจากกล่องเสียง ยาวลงไปในทรวงอก ประกอบด้วยหลอดลมใหญ่ (Bronchi) เป็นทางเดินหายใจที่ถัดเข้ามาจากกล่องเสียง เป็นกล้ามเนื้อเรียบที่มีกระดูกอ่อนเป็นรูปตัวยูฝังอยู่เป็นชั้นๆ ทำให้คงรูปอยู่ได้ไม่หดแฟบ ผนังด้านในของหลอดลมจะมีเยื่อเมือกที่คอยกักฝุ่นละออง โดยมีขนอ่อนขนาดเล็กคอยโบกพัดฝุ่นละอองให้ขึ้นไปด้านบนให้ออกไปจากหลอดลม หลอดลม

เล็ก (Bronchiole) เป็นหลอดลมที่แยกออกมาจากหลอดลมใหญ่ ไปสู่ปอดทั้ง 2 ข้าง จากนั้น จะแบ่งแยกออกไปเป็นหลอดลมย่อยที่จะสิ้นสุดที่ถุงลม (Alveolus) ภายในปอด

5. ปอด (Lung) ปอดมีลักษณะคล้ายฟองน้ำและมีความยืดหยุ่นมาก มีอยู่สองข้าง อยู่ในทรวงอก ภายในปอดจะมีถุงลมเล็กๆ (Alveolus) จำนวนมาก และมีเส้นเลือดฝอยผ่านเข้าไปในถุงลมเหล่านี้เพื่อทำการแลกเปลี่ยนแก๊ส

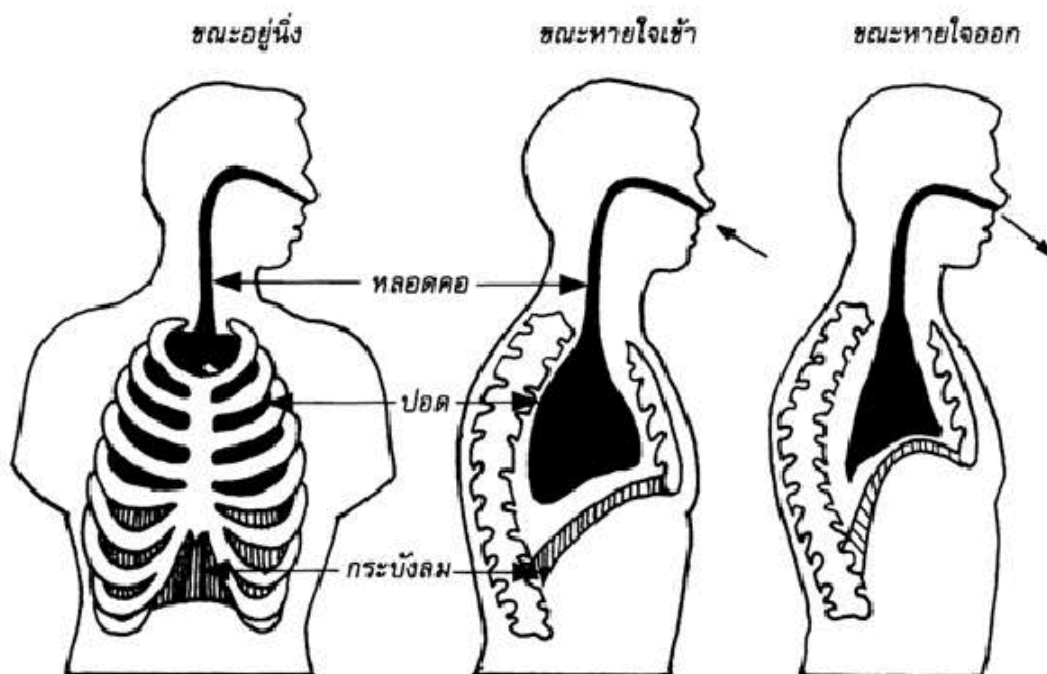
6. เยื่อหุ้มปอด (Pleura) เป็นเยื่อที่บางและละเอียดอ่อน เปียกชื้น และเป็นมันลื่น หุ้มผิวภายนอกของปอด เยื่อหุ้มนี้ ไม่เพียงคลุมปอดเท่านั้น ยังไปบุผิวผนังด้านในของทรวงอกอีก หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า เยื่อหุ้มปอดซึ่งมี 2 ชั้น ระหว่าง 2 ชั้นนี้มี ของเหลวอยู่นิดหน่อย เพื่อลดแรงเสียดสี ระหว่างเยื่อหุ้มมีโพรงว่าง เรียกว่าช่องระหว่างเยื่อหุ้มปอด



รูปที่ 2.1 ระบบทางเดินหายใจ

การหายใจถูกควบคุมโดยศูนย์การหายใจในสมองซึ่งเป็นไปโดยอัตโนมัติ ขณะหายใจเข้า แผ่นกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงจะหดตัวดึงกระดูกซี่โครงให้เลื่อนสูงขึ้นไปทางด้านบนและขยายออกทาง

ด้านข้าง กระบังลมจะเลื่อนต่ำลงทำให้ปริมาตรของช่องอกมีมากขึ้น ความดันอากาศลดต่ำลง อากาศจึงถูกดูดสู่ปอด ขณะหายใจออก แผ่นกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครงจะคลายตัวขยายออกทำให้กระดูกซี่โครงเลื่อนต่ำลงมาสู่ขนาดปกติ กระบังลมจะเลื่อนสูงขึ้น ทำให้ปริมาตรของช่องอกสูงขึ้น อากาศภายในจึงถูกขับออกจากปอดสู่ภายนอก โดยมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะทรวงอกขณะหายใจเข้าและหายใจออก

ระบบหายใจมีหน้าที่ในการช่วยแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเลือดกับบรรยากาศ เมื่อเราหายใจเข้า อากาศจากภายนอกร่างกายจะผ่านรูจมูกทั้งสองข้างเข้าไปตามช่องจมูก ขน และเยื่อในช่องจมูกจะช่วยกรองฝุ่นละอองที่ปนมากับอากาศไว้ อากาศจะถูกปรับอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสมกับร่างกาย แล้วจึงผ่านจากคอหอยเข้าสู่หลอดลม เยื่อเมือกและขนอ่อนที่หลอดลมจะกักเก็บและพัดโบกฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ปนมากับอากาศไม่ให้ผ่านเข้าสู่ปอด อากาศจะเข้าสู่ปอดและเข้าสู่ถุงลมเล็กๆ จำนวนมากที่มีหลอดเลือดฝอยอยู่ล้อมรอบ จากนั้นก๊าซออกซิเจนในอากาศ ซึ่งปกติในอากาศมีออกซิเจนร้อยละ 20 แต่อากาศที่เราหายใจมีออกซิเจนร้อยละ 13 จะแพร่ผ่านผนังถุงลมเข้าสู่หลอดเลือดฝอย ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเลือดก็จะแพร่ผ่านจากผนังหลอดเลือดฝอยเข้าสู่ถุงลม เมื่อเราหายใจออก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะถูกขับออกจากร่างกาย

ก๊าซออกซิเจนที่แพร่ผ่านผนังถุงลมเข้าสู่หลอดเลือดฝอยจากการหายใจเข้า จะเข้าไปรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเซลล์เม็ดเลือดแดง ทำให้เลือดมีสีแดง แล้วไหลตามหลอดเลือดกลับเข้าสู่หัวใจ หัวใจจะสูบฉีดเลือดไปตามหลอดเลือดแดงไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย ก๊าซแก๊สออกซิเจนจะไปทำปฏิกิริยาเผาผลาญสารอาหารที่อยู่ภายในเซลล์ ปล่อยพลังงานออกมาเพื่อที่ร่างกายได้นำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ซึ่งปฏิกิริยา

เผาผลาญสารอาหารนี้จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่เซลล์ด้วย ดังนั้น ขณะที่ก๊าซออกซิเจนแพร่ผ่านจากเซลล์เม็ดเลือดแดงเข้าสู่เซลล์ในส่วนต่างๆ ของร่างกาย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์เหล่านี้จึงแพร่เข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงด้วย เพื่อจะเข้าสู่หลอดเลือดดำกลับสู่หัวใจ และเข้าไปสู่ปอดเพื่อทำการแลกเปลี่ยนก๊าซต่อไป

ระบบหายใจเป็นระบบที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก หากร่างกายหยุดหายใจเพียง 4-5 นาที จะส่งผลให้เซลล์สมองตายได้เพราะขาดก๊าซออกซิเจน และถ้าอวัยวะต่างๆ ของระบบหายใจผิดปกติหรือเกิดโรค จะส่งผลกระทบต่อทำให้ร่างกายอ่อนแอลงและอาจเสียชีวิตได้ แนวทางการดำรงประสิทธิภาพการทำงานของระบบหายใจ มีดังนี้

1. ออกกำลังกาย เพื่อให้ร่างกายแข็งแรงอยู่เสมอ
2. หลีกเลี่ยงการอยู่ในสถานที่แออัด เพราะจะทำให้มีโอกาสติดเชื้อโรคในระบบทางเดินหายใจ เช่น เชื้อโรคหวัด เชื้อโรควัณโรคปอด เป็นต้น
3. งดสูบบุหรี่ เพราะบุหรี่มีสารที่เป็นอันตรายก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคมะเร็งปอด โรคถุงลมโป่งพอง โรคความดันเลือดสูง เป็นต้น
4. ตรวจสุขภาพเป็นประจำทุกปี

2.4. คิว้นฝุ่นละอองโลหะจากกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ [15])

คิว้นฝุ่นละอองโลหะที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมประกอบด้วย โลหะหนัก โอโซน (O_3) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ซึ่งโอโซนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนภายใน 30 วินาทีเมื่อทำการเชื่อมในเนื้อเยื่อจะสามารถทำลาย DNA ของสิ่งมีชีวิตได้ ขึ้นกับความร้อนที่ใช้ในการอาร์ก คิว้นฝุ่นละอองโลหะดังกล่าวจะเกิดจากกระบวนการเชื่อม Laser beam รวมทั้งเกิดจากกระบวนการเชื่อมกดเสียดทาน (Friction Welding) กระบวนการเชื่อมในสถานะของแข็ง (Solid-State Welding) และแต่โดยทั่วไปยังเกิดขึ้นน้อยมาก

คิว้นฝุ่นละอองโลหะส่วนหนึ่งเกิดจากการหลอมเหลวของลวดเติมหรือลวดเชื่อมกลายเป็นคิว้นฝุ่นละอองโลหะด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงโลหะหลอมเหลวทำปฏิกิริยาเคมีกับสารเคลือบในฟลักซ์ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของอนุภาค โดยอนุภาคของโลหะที่พบในคิว้นฝุ่นละอองโลหะจากกระบวนการเชื่อมประกอบด้วย อลูมิเนียม (Aluminium) เบอริลเลียม (Beryllium) แคดเมียมออกไซด์ (Cadmium Oxides) โครเมียม (Chromium) ทองแดง (Copper) ออกไซด์ของเหล็ก (Iron Oxide) ตะกั่ว (Lead) แมงกานีส (Manganese) โมลิบดีนัม (Molybdenum) นิกเกิล (Nickel) วานาเดียม (Vanadium) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) อนุภาคของก๊าซที่เกิดจากกระบวนการเชื่อม ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ฟลูออไรด์ (Fluorides) ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (Hydrogen Fluoride) ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide) และโอโซน (O_3) โดยผู้ปฏิบัติการเชื่อมสามารถรับคิว้นฝุ่นละอองโลหะได้มากที่สุดต่อเวลาทำงาน 8 ชั่วโมง

ไม่เกินข้อกำหนดในตารางที่ 2.1 กระบวนการเชื่อมทุกชนิดก่อให้เกิดควันฝุ่นละอองโลหะ แต่กระบวนการเชื่อมมักจะเกิดควันฝุ่นละอองโลหะมากที่สุด Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Flux-Cored Arc Welding (FCAW) และ Gas Metal Arc Welding (GMAW)

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Threshold Limit Values [15]

Substance	Threshold Limit Values-8 Hour Time
	Weighted Average
Aluminum metal and insoluble compounds	1 mg/ m ³
Antimony and compounds, as Sb	0.5 mg/ m ³
Arsenic and inorganic arsenic compounds, as As	0.01 mg/ m ³ (A1)
Beryllium and compounds as Be	0.00005 mg/ m ³ (A1)
Cadmium	0.01 mg/ m ³ (A2)
Compounds, as Cd	0.002 mg/ m ³ (A2)
Chromium and inorganic compounds, as Cr	
Metal and Cr III compounds	0.5 mg/ m ³ (A4)
Water-soluble Cr VI compounds	0.05 mg/ m ³ (A1)
Insoluble Cr VI compounds	0.01 mg/ m ³ (A1)
Cobalt and inorganic compounds, as Co	0.02 mg/ m ³ (A3)
Iron Oxide	5 mg/ m ³ (A4)
Lead and inorganic lead compounds, as Pb	0.05 mg/ m ³ (A3)
Manganese and inorganic compounds, as Mn	0.2 mg/ m ³ *
Nickel, as Ni	
Elemental	1.5 mg/ m ³ (A5)
Soluble inorganic compounds	0.1 mg/ m ³ (A4)
Insoluble compounds	0.2 mg/ m ³ (A1)
Zinc oxide	2 mg/ m ³

A1: Confirmed Human Carcinogen

A2: Suspected Human Carcinogen

A3: Confirmed Animal Carcinogen with Unknown Relevance to Humans

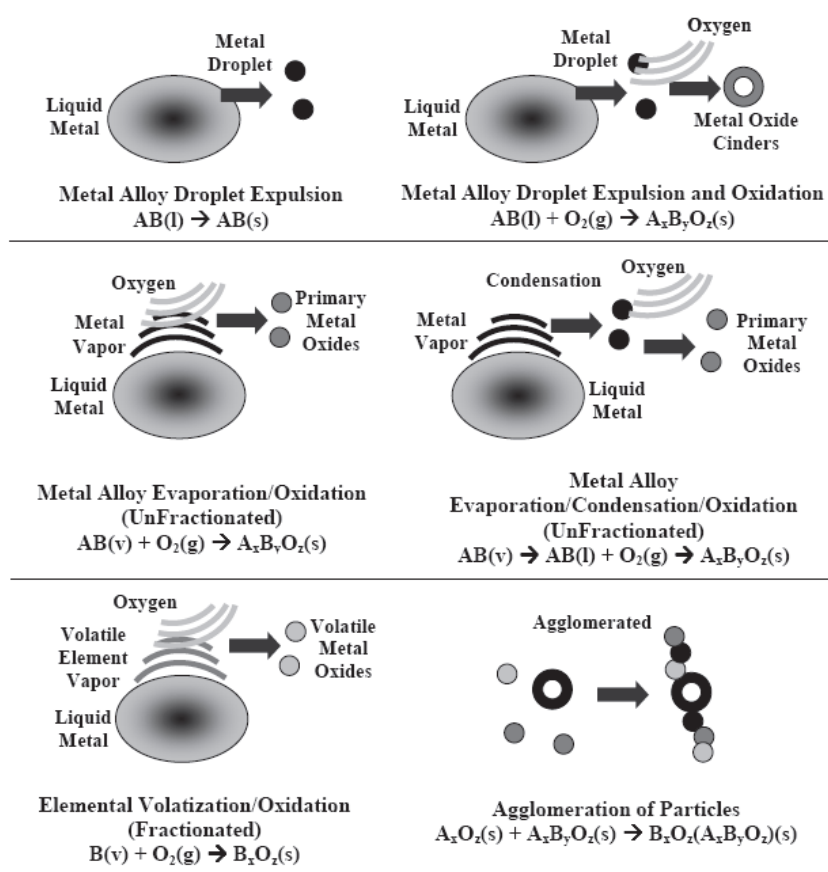
A4: Not Classifiable as a Human Carcinogen

A5: Not suspected as a Human Carcinogen

*ACGIH issued a notice of intended change – TLV may be lowered

2.4.1. กลไกการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะ

มีกลไกกว่า 90% ในกระบวนการเชื่อมที่ก่อให้เกิดควันฝุ่นละอองโลหะจากแกนลวดหรือสารเคลือบในลวดเติมหรือลวดเชื่อม อนุภาคจะเกิดขึ้นเมื่อมีการควบแน่นของละอองโลหะประมาณ 1% รวมตัวกันก่อให้เกิดการก่อตัวของอนุภาค ควันละอองโลหะดังกล่าวจะมีลักษณะแตกต่างกัน อนุภาคไมโครและนาโนของควันฝุ่นละอองประกอบไปด้วยออกไซด์ของโลหะและออกไซด์ของอโลหะ เช่น ฟลูออไรด์และคลอไรด์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของฟลักซ์ อนุภาคทรงกลมจะมีขนาดต่ำกว่า 20 นาโนเมตร โดยเกิดการควบแน่นขณะที่อนุภาคหลักปะทะกัน ขนาดของควันฝุ่นละอองโลหะแบ่งได้ 3 กลุ่ม กลุ่มละเอียดยมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค $0.01 - 0.1 \mu\text{m}$ กลุ่มละเอียด มีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค $0.1 - 2.5 \mu\text{m}$ และกลุ่มหยาบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคมากกว่า $2.5 \mu\text{m}$ ยกตัวอย่าง การเชื่อม GTAW ในบรรยากาศที่เสถียร จะเกิดควันฝุ่นละอองโลหะโดยการกลายเป็นไอและการควบแน่นของธาตุต่างๆ กับแสงจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ควันฝุ่นละอองโลหะจากการเชื่อม FCAW และ SMAW มีผลมาจากการกลายเป็นไอ การควบแน่น และการเกิดปฏิกิริยาของออกไซด์ของโลหะหรือจากฟลูออไรด์ในฟลักซ์ ส่วนผสมทางเคมีของฟลักซ์ก่อให้เกิดควันฝุ่นละอองสูงก่อให้เกิดอันตรายเมื่อเข้าสู่ร่างกายมนุษย์



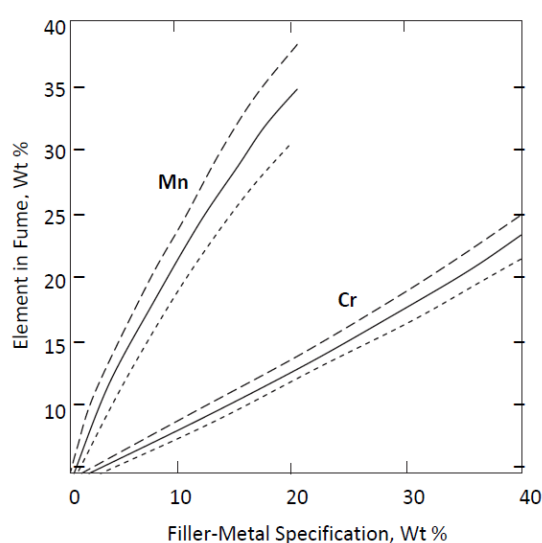
รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการเกิดฝุ่นละอองโลหะ [15]

จากรูปที่ 2.3 จะแสดงให้เห็นวิธีการก่อตัวของควันฝุ่นละอองโลหะโดยทำให้โลหะกลายเป็นของเหลวอย่างรวดเร็ว ผลที่ได้คือควันฝุ่นละอองโลหะขนาดเล็กจะถูกขับออกจากหยดน้ำโลหะ เมื่อสัมผัสกับออกซิเจน แก๊สอาร์กอน หรือฮีเลียมในอากาศแล้วเย็นตัวลงจะกลายเป็นของแข็ง อนุภาคส่วนใหญ่จะเกิดออกไซด์ต่างๆ ถ้าในกรณีที่ไม่ได้ใช้แก๊สปกคลุมอย่างเช่น กระบวนการเชื่อม SMAW หรือ FCAW จะมีการรวมตัวกับออกซิเจนหรือส่วนประกอบของแก๊สในอากาศ เช่น Ar-O_2 หรือ Ar-CO_2 ถ้าความร้อนของโลหะเพียงพอจะมีการรวมตัวของโลหะจนกลายเป็นไอหรือระเหยได้ในสภาวะความดันไอสูงและอุณหภูมิต่ำ สิ่งที่ทำให้เกิดความฝุ่นละออง มีดังนี้

- การเกิดหยดน้ำโลหะ
- การกลายเป็นไอ
- การควบแน่น
- ปฏิกริยาออกซิเดชัน
- การรวมตัว

2.4.3. คุณลักษณะของควันฝุ่นละอองโลหะ

คุณลักษณะของควันฝุ่นละอองโลหะมักนำมาใช้ในการหาส่วนประกอบ โครงสร้าง ขนาด และการกระจายตัวของไอระเหย เพื่อคำนวณว่าแต่ละสภาวะแวดล้อมสามารถเกิดควันฝุ่นละอองได้มากน้อยแค่ไหน ตั้งแต่ส่วนผสมทางเคมี ชนิดของวัสดุและส่วนประกอบของอนุภาค ในบางครั้งสามารถคำนวณได้ว่า Hexavalent Chromium จะเกิดขึ้นปริมาณเท่าใด หรือออกไซด์ที่เกิดขึ้นส่งผลอย่างไรต่อสุขภาพของผู้เชื่อม ในรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณแมงกานีสและโครเมียมที่อยู่ในควันฝุ่นละอองโลหะที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนประกอบของลวดเชื่อม



รูปที่ 2.4 ปริมาณ Mn และ Cr ในควันฝุ่นละอองโลหะจากกระบวนการเชื่อม SMAW [15]

คุณลักษณะของควันฝุ่นละอองโลหะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ทางฟิสิกส์และทางเคมี ซึ่งแบ่งตามความซับซ้อนและช่วงความกว้างของอนุภาคควันฝุ่นละอองโลหะ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงวิธีการตรวจสอบคุณลักษณะเพื่อวิเคราะห์อนุภาคควันฝุ่นละอองโลหะ [15)]

Characterization Method	Size Range (micron)	Detection Limit	Comments
Size Distributions			
Impactors	0.1 – 20		
Aerodynamic Particle Sizer	0.1 – 25		
SEM	0.5 – 50		
TEM	0.001 – 1		
Elemental Composition			
X-ray fluorescence (XRF)	Bulk	100 ppm	*z > 10
Atomic absorption spectroscopy	Bulk	10 ppm	z > 10
SEM-XEDS	1 – 50	0.10%	z > 10
Wavelength dispersive spectroscopy (WDS)	1 – 50	0.10%	z > 4
TEM-XEDS	0.01 – 0.5	0.10%	z > 5
Secondary ion mass spectroscopy (AES)	> 5	10 ppm	Light elements
Auger electron spectroscopy (AES)	> 0.1	0.10%	z > 3
X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)	> 5	0.10%	
Chemical Speciation			
X-ray diffraction (XRD)	Bulk		
X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)	Bulk		
TEM Selected area diffraction (SAD)	0.3		

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองเป็นการดำเนินการในการวิเคราะห์อัตราการเกิดควันละอองโลหะ (Fume Generation Rate) โดยอาศัยการประยุกต์มาตรฐาน AWS F1.2 สำหรับกระบวนการเชื่อมและตัดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. FCAW

- E71T-4

2. SMAW

- E6013
- E7016
- E7010

3. Plasma Cutting

การเลือกพิจารณากระบวนการต่าง ๆ ข้างต้นนั้น พิจารณาจากการเป็นกระบวนการที่ใช้มากในการเชื่อมและตัดสำหรับการผลิตและซ่อมบำรุง รวมถึงกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่สร้างควันละอองโลหะมากในปริมาณที่ยังคงสามารถตรวจจับได้ สำหรับกระบวนการ GTAW เป็นกระบวนการที่มีควันละอองโลหะโดยรวมน้อยอยู่แล้วจึงไม่ถูกนำมาพิจารณา

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน (Mild Steel) ASTM A36 ขนาดความหนา 9 mm มีความกว้าง 300 mm และมีความยาว 300 mm

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า (SMAW)

3.2.2 เครื่องเชื่อมไฟฟ้า (FCAW)

3.2.3 เครื่องตัด Plasma

3.2.4 ตู้ดูดควัน (Fume Hood)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณอัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะ (Fume Generation Rate) ในการทดลอง ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งได้ทำการปรับปรุงตู้ดูดควันมาจากมาตรฐาน AWS F1.2 (Laboratory Method for Measuring Fume Generation Rate and Total Fume Emission of Welding and Allied Process) ซึ่งระบุวิธีการสำหรับการตรวจวัดควันและควันฝุ่นละอองโลหะโดยรวม (Total Fume) ของการเชื่อมและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 3.1 ตู้ดูดควัน (Fume hood)

3.2.5 เครื่องชั่ง

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดปริมาณน้ำหนักของวัตถุเป็นเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ความละเอียด 0.01 กรัม ยี่ห้อทางการค้า คือ G&G Electronic Scale JJ1000 ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.2.6 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าขณะที่ทำการเชื่อมเพื่อให้ทราบว่าเครื่องเชื่อมสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการหรือไม่ ยี่ห้อทางการค้า คือ Fluke 117 Digital Multimeter

3.2.7 Air Pump

เป็นเครื่องดูดแรงดันสูงเพื่อดูดควันฝุ่นละอองโลหะให้สามารถลอยขึ้นไปถึงแผ่นกรองอากาศที่อยู่เหนือตู้ดูดควันได้ ยี่ห้อทางการค้า คือ Crompton Induction Motor

3.2.8 Plate Movement

เป็นเครื่องมือในการควบคุมการหมุนของเหล็กทดสอบให้สามารถหมุนได้ด้วยความเร็วคงที่ในขณะทำการเชื่อม

3.2.9 Pressure Drop Gauge

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ Air Pump ว่ามีแรงดันมากพอที่สามารถดูดควันฝุ่นละอองโลหะได้ค่าตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน AWS F1.2 (Laboratory Method for Measuring Fume Generation Rate and Total Fume Emission of Welding and Allied Process) ซึ่งระบุปริมาณควันฝุ่นละอองโลหะโดยรวม (Total Fume) ของการเชื่อมเพื่อสอบเทียบอุปกรณ์

3.2.10 นาฬิกาจับเวลา

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับเวลาในการเชื่อม

3.3 การสอบเทียบอุปกรณ์ (Calibration)

1. ประกอบหัวเชื่อมเข้ากับตัวยึดจับไว้เหนือ Plate Movement
2. ประกอบ Blower เข้ากับตู้ดูดควันด้วยท่อลม
3. ไล่ชิ้นงานบน Plate Movement แล้วติดตั้งตู้ดูดควันไว้เหนือ Plate Movement เป็นระยะ 76.2 mm โดยครอบชิ้นงานไว้
4. ตั้งเวลาการหมุนของ Plate Movement เป็นเวลา 60 วินาที
5. ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อม ดังนี้
 - อัตราป้อนลวด 127 mm/s
 - กระแสไฟฟ้า 225 A DCEP

- แรงดันไฟฟ้า 24 V
 - ใช้ Constant Voltage
 - อัตราการไหลของก๊าซ CO₂ 10 - 12 liters/min
 - Travel speed 6 mm/s
6. ชั่ง Filter ก่อนทำการเชื่อม แล้วบันทึกน้ำหนัก
 7. ถอดบีมลมออกแล้วใส่ Filter ลงไปใน Fume Hood
 8. นำบีมลมใส่เข้าไปบนตู้ดูดควัน เปิดสวิตช์เพื่อให้บีมลมทำงาน
 9. กดสวิตช์เครื่องเชื่อมเพื่อทำการเชื่อมพร้อมกับกดสวิตช์หมุน Plate Movement
 12. เมื่อทำการเชื่อมเสร็จ ทิ้งไว้ 30 วินาที แล้วจึงปิดสวิตช์
 13. ถอด Filter เพื่อทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล
 14. ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 7-10 ซ้ำอีก 11 ครั้ง
 15. เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็น 26 V และ 28 V แล้วทำซ้ำขั้นตอนที่ 5-14 โดยทำซ้ำแรงดันละ 12 ครั้ง
 16. เมื่อได้ค่าที่ได้จากการคำนวณไม่เกิน $\pm 10\%$ ตามมาตรฐาน จึงดำเนินการทดลองต่อไป

3.4 การออกแบบการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้เป็นวิเคราะห์ถึงควันละอองโลหะจากกระบวนการเชื่อมและตัด ทั้งนี้ใช้ตัวแปรกำหนด (Parameters) ในการดำเนินกระบวนการตามความเหมาะสมของกระบวนการ หรือที่ใช้ในทางปฏิบัติทั่วไป เพื่อจำลองถึงสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในภาคอุตสาหกรรม และทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดค่าอัตราการเกิดควันละอองโลหะ

3.4.1 วิธีการทดลองเก็บค่าควันฝุ่นละอองโลหะ

ในกระบวนการทดลองได้ทำการเชื่อมภายใต้ตู้ดูดควัน (Fume Hood) ซึ่งได้มีการดัดแปลงมาจากมาตรฐาน AWS F1.2 (Laboratory Method for Measuring Fume Generation Rate and Total Fume Emission of Welding and Allied Process) มีการติดตั้งแผ่นกรองอากาศ (Filter) บริเวณด้านบนของตู้ดูดควันเพื่อช่วยในการดักจับควันฝุ่นละอองโลหะ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เตรียมตู้ดูดควันตามมาตรฐานที่กำหนด
2. กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนเครื่องเชื่อม SMAW
3. ชั่งน้ำหนัก Filter pad แล้วบันทึกน้ำหนักที่ได้

4. ชั่งน้ำหนักหลอดเชื่อมที่ยังไม่ผ่านการเคลือบ และหลอดเชื่อมที่ผ่านการเคลือบ แล้วบันทึกน้ำหนัก
5. ใส่ Filter Pad บนตู้ดูดควัน
6. ใส่ชิ้นงานลงบน Plate Movement
7. เริ่มการเชื่อมพร้อมเปิดสวิตช์ให้ Plate Movement หมุนเป็นเวลา 60 วินาที
8. ปิดสวิตช์ Plate Movement
9. นำ Filter Pad มาชั่งน้ำหนักหลังทำการทดลอง บันทึกค่าที่ได้
10. ชั่งน้ำหนักหลอดเชื่อม และบันทึกค่าที่ได้
11. เปลี่ยนความเร็วของ Plate Movement
12. ทำการเชื่อม ตามขั้นตอนที่ 7-11 ซ้ำอีก 11 ครั้ง
13. คำนวณอัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะ (Fume Generation Rate, FGR) จากสมการที่ (3.1)

$$\text{FGR (g/min)} = \frac{\text{Final filter wt.} - \text{initial filter wt.}}{\text{Test time}} \quad (3.1)$$

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด (Fume Hood)

ก่อนที่จะเริ่มทำการทดลองหาอัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะได้นั้น จะต้องมีการ Calibration อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บค่าควันฝุ่นละอองโลหะ ตามมาตรฐาน AWS F1.2 ซึ่งกำหนดวิธีการและตัวแปรต่างๆ ในการ Calibration อุปกรณ์ เพื่อทดสอบและเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้อุปกรณ์มีความสามารถในการใช้งานตรงตามมาตรฐานอ้างอิง AWS F1.2 และสามารถนำมาใช้ในการทดลองได้ผลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้หรือไม่ โดยผลการทดลองต้องมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% ของตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ามาตรฐานการ Calibration [7]

Arc Volts	Melt-off Rate		FGR (g/min)	Weight of Fume/Weight of Electrode Consumed , %
	lb/hr	kg/hr		
28	8.4	3.8	0.63	0.99
26	8.4	3.8	0.55	0.88
24	8.4	3.8	0.43	0.67

เมื่อทำการ Calibration ตามตัวแปรในตารางข้างต้นตามมาตรฐาน พบว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บค่าควันฝุ่นละอองโลหะในการทดลองครั้งนี้ มีผลการทดลองอยู่ในช่วงความเป็นไปได้ของค่าความคลาดเคลื่อน 10% เป็นไปตามมาตรฐานดังกล่าว จึงสรุปผลว่า อุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นนี้สามารถนำมาใช้ในการทดลองได้โดยให้ผลถูกต้อง แม่นยำ และเชื่อถือได้ จึงได้แสดงค่าผลการ Calibration ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะจากการ Calibration

Arc Volts	Current (Amp)	FGR (g/min) ตามมาตรฐาน	ช่วงความเป็นไปได้		FGR (g/min) ที่ได้
			Max	Min	
28	225	0.63	0.73	0.53	0.634
26	225	0.55	0.65	0.45	0.511
24	225	0.43	0.53	0.33	0.424

เมื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นไปตามมาตรฐาน AWS F1.2 จึงสามารถทำการทดลองในการเก็บค่าอัตราการเกิดควันละอองโลหะจากกระบวนการต่าง ๆ ต่อไป

4.2 Flux Cored wire Arc Welding (FCAW)

ในการทดลองการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมไส้ฟลักซ์ (FCAW) จะมีการทดลองย่อยเพื่อพิจารณาทั้งอัตราการเกิดควันละอองโลหะโดยทั่วไป และผลกระทบของประเภทอิเล็กโทรดต่อการเกิดควันละอองโลหะ

4.2.1 ประเภทอิเล็กโทรด (Electrode Types)

การทดลองนี้ทำการพิจารณาถึงอัตราการเกิดควันละอองโลหะของอิเล็กโทรดที่มาจากผู้ผลิต 2 ราย โดยเรียกว่า Electrode A และ Electrode B และทำการทดลองภายใต้รูปแบบการถ่ายโอนน้ำโลหะ (Transfer Modes) 2 รูปแบบ คือ แบบลัดวงจร (Short Circuit) และแบบละออง (Spray)

ตารางที่ 4.3 อัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะจาก Electrode A

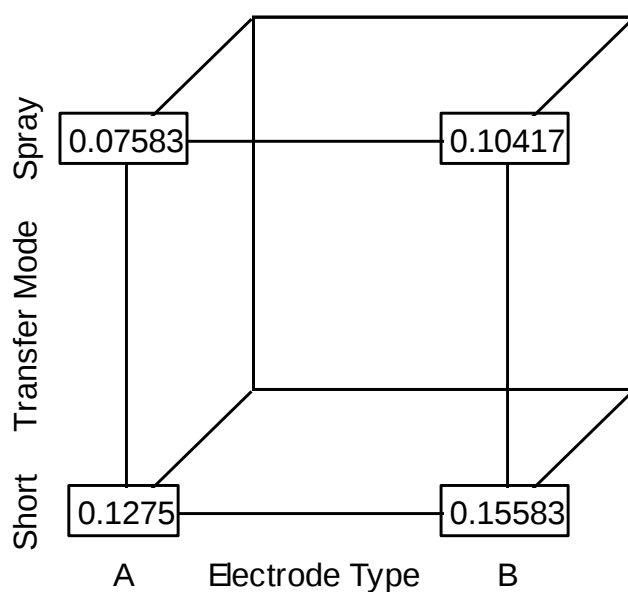
Electrode type	FGR (g/min)	W (before)	W2 (after)	Time (sec)
short[a]	0.11	30.31	30.42	60
short[a]	0.13	37.29	37.42	60
short[a]	0.14	46.12	46.26	60
spray[a]	0.1	25.39	25.49	60
spray[a]	0.06	27.31	27.37	60
spray[a]	0.07	31.64	31.71	60

ตารางที่ 4.4 อัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะจาก Electrode B

Electrode type	FGR (g/min)	W (before)	W2 (after)	Time (sec)
short[b]	0.15	24.29	24.44	60
short[b]	0.17	33.04	33.21	60
short[b]	0.15	27.46	27.61	60
spray[b]	0.1	31.56	31.66	60
spray[b]	0.12	35.24	35.36	60
spray[b]	0.09	35.26	35.35	60

อัตราการเกิดควันละอองโลหะจากอิเล็กโทรดแต่ละประเภทแสดงดัง ตารางที่ 4.3 และ

ตารางที่ 4.4 และทำการเปรียบเทียบในเชิงสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ผลแสดงถึงความแตกต่างดังรูปที่ 4. 1 ทั้งนี้รายละเอียดแสดงในเอกสารการเผยแพร่ จะพบทั้งประเภทของอิเล็กโทรดและรูปแบบการถ่ายโอนน้ำโลหะมีผลต่ออัตราการเกิดควันละอองโลหะ โดยการถ่ายโอนแบบละออง (Spray) จะมีอัตราการเกิดควันน้อยกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร (Short Circuit)



รูปที่ 4. 1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเกิดควันละอองโลหะจากอิเล็กโทรดและรูปแบบการถ่ายโอน

4.2.2 อัตราการเกิดควันละอองโลหะโดยทั่วไป (ทดสอบอ้างอิงมาตรฐาน)

หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงผู้ดูแลควันและสอบเทียบให้ใกล้เคียงกับมาตรฐาน AWS F1.2 แล้ว จึงทำการวัดควันละอองโลหะที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ FCAW โดยใช้ตัวแปรกำหนดทั่ว ๆ ไปที่เหมาะสมกับชิ้นงานตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะโดยทั่วไป

	AVG Before	AVG After	AVG after - AVG Before
1	27.693	28.303	0.610
2	28.243	28.803	0.560
3	27.853	28.433	0.580

4.3 Shield Metal Arc Welding (SMAW)

การวัดอัตราการเกิดควันละอองโลหะจากกระบวนการเชื่อม SMAW ในการวิจัยนี้ ใช้ลวดเชื่อม (Welding Electrode) หลายประเภท ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเกิดควันฯ แตกต่างกันไปดังนี้

4.3.1 E6013

ลวดเชื่อมเกรดนี้ มีสารพอกหุ้ม (Flux) ประเภทรูไทล์ (Rutile) เป็นลวดเชื่อมที่ใช้โดยทั่วไปมีอัตราการเกิดควันฯ พอประมาณ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 อัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะจากกระบวนการ SMAW ด้วยลวด E6013

	AVG Before	AVG After	AVG after - AVG Before
1	28.200	28.727	0.527
2	30.563	31.093	0.530
3	30.093	30.607	0.513

4.3.2 E7016

ลวดเชื่อมประเภทนี้มีสารพอกหุ้มประเภทเบสิก (Basic) ใช้สำหรับการเชื่อมที่ต้องการไฮโดรเจนต่ำ โดยปกติแล้วลวดเชื่อมประเภทนี้มีอัตราการเกิดควันฯ ที่ต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 อัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะจากกระบวนการ SMAW ด้วยลวด E7016

	AVG Before	AVG After	AVG after - AVG Before
1	28.263	28.490	0.227
2	31.007	31.247	0.240
3	28.417	28.637	0.220

4.3.3 E7010

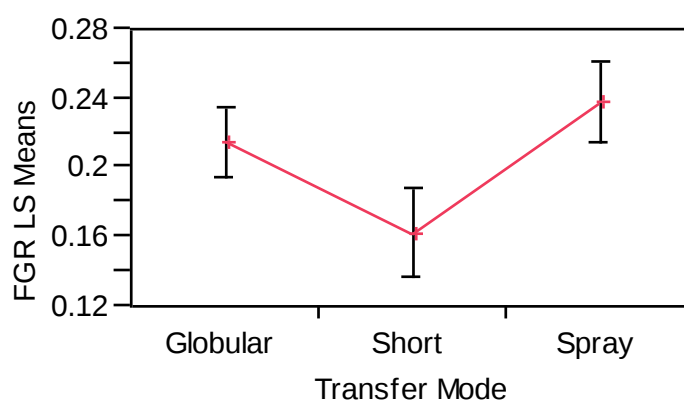
ตารางที่ 4.8 อัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะจากกระบวนการ SMAW ด้วยลวด E7010

	AVG Before	AVG After	AVG after - AVG Before
1	29.423	30.193	0.770
2	28.987	29.783	0.797
3	28.240	29.020	0.780

สำหรับงานที่ต้องการอัตราการหลอมลึก (Penetration) สูง ลวดเชื่อมประเภทนี้เป็นที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม การหลอมลึกดังกล่าวเกิดจากการที่มีปริมาณไฮโดรเจนที่สูง จากสารพอกหุ้มประเภทเซลลูโลส (Cellulose) ที่ให้อัตราการเกิดควันฯ ที่สูง ดังแสดงในตารางที่ 4.8

4.4 Gas Metal Arc Welding (GMAW)

สำหรับการวัดอัตราการเกิดควันฯ ในกระบวนการ GMAW ได้ดำเนินวิจัยถึงรูปแบบการถ่ายโอนน้ำโลหะที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดควันฯ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่ารูปแบบการถ่ายโอนน้ำโลหะส่งผลต่ออัตราการเกิดควันฯ อย่างมีนัยสำคัญ โดยการถ่ายโอนแบบลัดวงจร (Short Circuit) มีอัตราการเกิดควันฯ น้อยที่สุด และเพิ่มขึ้นในส่วนของการถ่ายโอนแบบหยด (Globular) สำหรับการถ่ายโอนแบบละออง (Spray) มีอัตราการเกิดควันฯ สูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเกิดควันละอองโลหะจากรูปแบบการถ่ายโอน

ตารางที่ 4.9 ผลของรูปแบบการถ่ายโอนต่ออัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะในกระบวนการ GMAW

Transfer Mode	FGR (g/min)	W (before)	W2 (after)	Time (sec)
Short	0.17	29.85	30.02	60
Short	0.18	33.26	33.44	60
Short	0.16	30.99	31.15	60
Short	0.14	28.15	28.29	60
Globular	0.25	34.93	35.18	60
Globular	0.19	37.49	37.68	60
Globular	0.23	37.54	37.77	60
Globular	0.17	23.1	23.27	60
Globular	0.23	28.95	29.18	60
Globular	0.22	40.71	40.93	60
Spray	0.43	38.54	38.97	60
Spray	0.26	29.73	29.99	60
Spray	0.22	36.98	37.2	60
Spray	0.43	38.54	38.97	60
Spray	0.24	37.91	38.15	60
Spray	0.25	38.3	38.55	60
Spray	0.22	30.3	30.52	60

4.5 Plasma Cutting

สำหรับกระบวนการตัด พิจารณาเฉพาะกระบวนการ Plasma Cutting เท่านั้น เนื่องจากเกิดควันๆ มากที่สุด โดยแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าอัตราการเกิดควันจะอยู่ในช่วง 0.4 – 0.5 g/min อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ตรวจวัดได้นั้นเป็นเพียงควันละอองโลหะที่เกิดขึ้นเท่านั้น ซึ่งในการกรณีของการตัดกระบวนการนี้ มีมวลของโลหะที่ถูกตัดป่นออกมาด้วย และจะส่งผลต่อความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายประเภทอื่น ๆ เช่น การลวกพุพอง ฯลฯ

ตารางที่ 4.10 อัตราการเกิดควันฝุ่นละอองโลหะในกระบวนการ Plasma Cutting

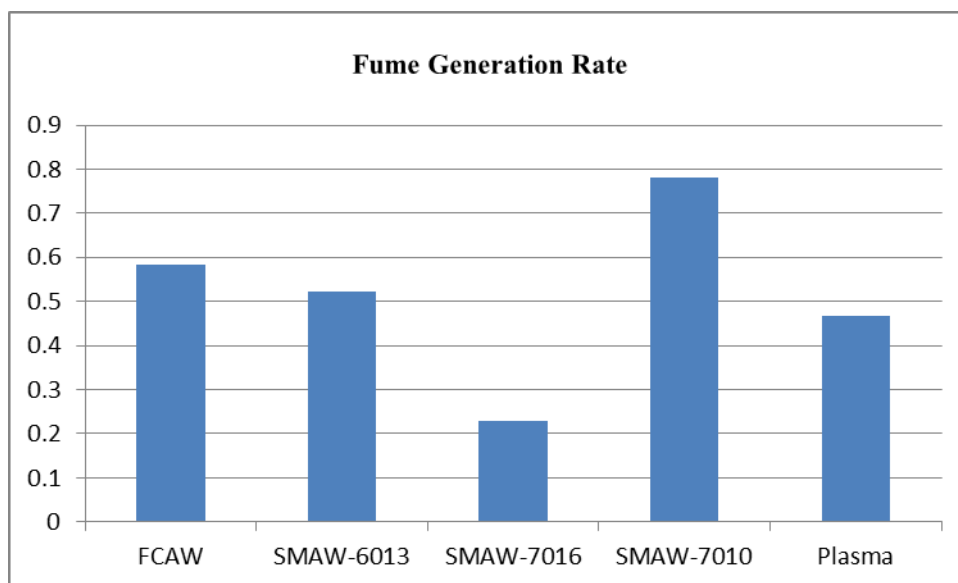
Plasma Arc Cutting	AVG Before	AVG After	AVG after - AVG Before
1	30.930	31.407	0.477
2	32.257	32.680	0.423
3	29.657	30.117	0.460
4	30.930	31.427	0.497
5	31.097	31.590	0.493
6	32.710	33.163	0.453
7	30.583	31.067	0.483
8	28.580	29.020	0.440
9	27.843	28.320	0.477
10	31.017	31.473	0.457

4.6 การเปรียบเทียบอัตราการเกิดควันละอองโลหะจากกระบวนการต่าง ๆ

กระบวนการเชื่อมและตัดซึ่งประกอบด้วย FCAW, SMAW, และ Plasma Cutting เท่านั้นที่ได้รับ การแสดงผลของอัตราการเกิดควันละอองโลหะเชิงเปรียบเทียบในส่วนนี้ โดยแสดงในรูปที่ 4.3 ปริมาณควัน ละอองโลหะที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ SMAW ด้วยลวดเชื่อมประเภทเซลลูโลส (E7010) มีอัตราการเกิด ควันฯ สูงที่สุด ในขณะที่ลวดเชื่อมประเภทเบสิก (E7016) มีอัตราการเกิดควันฯ ต่ำสุด

สำหรับกระบวนการ Plasma Cutting และ FCAW มีอัตราการเกิดควันฯ ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากกระบวนการเชื่อม FCAW มีสารพอกหุ้มเช่นเดียวกับลวดเชื่อมประเภทรูไทล์ (E6013) ซึ่งมีอัตรา การเกิดควันฯ ใกล้เคียงกัน เมื่อทำการเชื่อมสารพอกหุ้มจะสลายตัวกลายเป็นไอทำให้เกิดองค์ประกอบหนึ่งของ ควันละอองโลหะ

ในส่วนของ Plasma Cutting เนื่องจากมีอัตราการให้ความร้อนที่สูง ทำให้ชิ้นงานโลหะหลอม ละลาย ควันละอองของโลหะชิ้นงานจึงเกิดขึ้นมาก รวมถึงการเกิดการแตกตัวของอากาศในบริเวณรอบข้าง ทำให้เกิดไอออนมากขึ้น พร้อมทั้งจะจับกับละอองโลหะเกิดเป็นควันละอองโลหะมากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเกิดควันละอองโลหะจากกระบวนการต่าง ๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

- 5.1.1 การสร้างตู้ดูดควันโดยการประยุกต์มาตรฐาน AWS F1.2 สามารถดำเนินการได้ อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้อาจจะแตกต่างจากที่กำหนดโดยมาตรฐานบ้าง
- 5.1.2 กระบวนการ SMAW ด้วยลวดเชื่อม E7010 เกิดควันละอองโลหะสูงที่สุด ในขณะที่กระบวนการ SMAW ด้วยลวดเชื่อม E7016 เกิดควันละอองโลหะต่ำที่สุด
- 5.1.3 ในกระบวนการ FCAW ประเภทเล็กโตรดส่งผลต่ออัตราการเกิดควันละอองโลหะ
- 5.1.4 ในกระบวนการ FCAW รูปแบบการถ่ายโอนน้ำโลหะส่งผลต่ออัตราการเกิดควันละอองโลหะ โดยการถ่ายโอนแบบละอองมีอัตราการเกิดควันฯ น้อยกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร
- 5.1.5 ในกระบวนการ GMAW เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ไม่มีสารพอกหุ้ม การถ่ายโอนแบบลัดวงจรมีอัตราการเกิดควันฯ น้อยที่สุด และเพิ่มขึ้นไปยังการถ่ายโอนแบบหยดและการถ่ายโอนแบบละออง ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ตู้ดูดควันที่พัฒนาขึ้นนั้น ยังไม่สอดคล้องกับมาตรฐาน AWS F1.2 โดยสมบูรณ์ ทำให้ไม่สามารถหาค่าสัมบูรณ์ได้ แต่ยังคงสามารถวัดปริมาณควันละอองโลหะที่เกิดขึ้นในเชิงเปรียบเทียบได้อยู่
- 5.2.2 ทำการทดลองซ้ำ ภายหลังจากปรับปรุงตู้ดูดควันให้มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับ AWS F1.2 มากยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้ผลการทดลอง เป็นลักษณะค่าสัมบูรณ์ (Absolute) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่อไป (ปัจจุบันได้เพียงค่าเชิงเปรียบเทียบ (Relative) เท่านั้น)
- 5.2.3 วัสดุกรองอากาศ ที่ใช้นั้น เริ่มหายากในประเทศ ทำให้อาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนเป็นเกรดใหม่ จึงจำเป็นจะต้องทำค่าอ้างอิงใหม่
- 5.2.4 ทดลองปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดควันละอองโลหะมากขึ้น เช่น รูปแบบของกระแสไฟฟ้า (Standard Current/Pulse) ในกรณีที่เป็นไปได้
- 5.2.5 การนำผลการทดลองไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอน ควรจะต้องระวังในเรื่องของการดูค่าความหนาแน่นของควันละอองโลหะในกรณีที่ใช้กระบวนการที่เกิดควันละอองโลหะสูง

5.3 ผลงานเผยแพร่

- ผลกระทบของข้อกำหนดอิเล็กทรอนิกส์ต่อการเกิดวันละองโลหะในกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อม
ไส้ฟลักซ์ (เอกสารแนบ)
- ผลกระทบของรูปแบบการถ่ายโอนน้ำโลหะต่อการเกิดวันละองโลหะในกระบวนการเชื่อม GMAW
(เอกสารแนบ)

เอกสารอ้างอิง

- 1) Zimmer, A.T., Biswas, P., 2001. Characterization of the aerosols resulting from arc welding processes. *Journal of Aerosol Science* 32: 993 – 1008
- 2) American Welding Society. 2001. *Welding Handbook*. Volume 1. 9th Edition. Miami: 724-733.
- 3) Dennis, J.H., French, M.J., Hewitt, P.J., Mortazavi, S.B., and Redding, C.A.J., 2002. Control of Occupational Exposure to Hexavalent Chromium and Ozone in Tubular Wire Arc-welding Processes by Replacement of Potassium by Lithium or by Addition of Zinc. *Ann. Occup. Hyg.* 46 (1): 33 – 42
- 4) Li, G.J., Zhang, L.L., Lu, L, Wu, P., and Zheng, W., 2004. Occupational Exposure to Welding Fume among Welders: Alterations of Manganese, Iron, Zinc, Copper, and Lead in Body Fluids and the Oxidative Stress Status. *JOEM* 46 (3): 241 – 248
- 5) Hull, M.J. and Abraham, J.L., 2002. Aluminum Welding Fume-Induced Pneumoconiosis. *Human Pathology* 33 (8):819 – 825
- 6) Yu, I.J., Kim, K.J., Chang, H.K., et al, 2000. Pattern of deposition of stainless steel welding fume particles inhaled into the respiratory systems of Sprague–Dawley rats exposed to a novel welding fume generating system. *Toxicology Letters* 116: 103 – 111
- 7) American Welding Society, 1992ANSI/AWS F1.2-92: Laboratory Method for Measuring Fume Generation Rates and Total Fume Emission of Welding and Allied Processes. American Welding Society, Florida, USA
- 8) Antonini, J.M., Lewis, A.B., Roberts, J.R., and Whaley, D.A., 2003. Pulmonary Effects of Welding Fumes: Review of Worker And Experimental Animal Studies. *American Journal of Industrial Medicine* 43:350–360
- 9) Chung, K.Y.K, and Carter, G.J, 1996. Breathing Zone Sampling of Welding Fume. *J. Aerosol Sci.* 26: S347 – S348
- 10) Akbar-Khanzadeh, F. 1993. Short-term Respiratory Function Changes in Relation to Workshift Welding Fume Exposures. *Int Arch Occup Environ Health* 64:393 – 397
- 11) Lee, M.H, McClellan, W.J., Candela, J., Andrews, D., and Biswas, P., 2007. Reduction of Nanoparticle Exposure to Welding Aerosols by Modification of the Ventilation System in a Workplace . *Journal of Nanoparticle Research* 9:127 – 136
- 12) วันชัย ลีลาทวิวงศ์, “งานเชื่อมโลหะ”, ออนไลน์, http://www.eng.su.ac.th/me/elearning/615282ManufacturingProcessesTechnology/01_Welding.pdf [เข้าถึงวันที่ 27 ธันวาคม 2553]

- 13) สุรศักดิ์ ช่อนกลิ่น, “ความปลอดภัยเกี่ยวกับงานเชื่อมไฟฟ้า”, ออนไลน์, <http://www.jorpor.com/SH/SSS/ElectricWeldingSafety.pdf> [เข้าถึงวันที่ 28 ธันวาคม 2553]
- 14) “ระบบหายใจ ระบบหายใจมนุษย์ ระบบทางเดินหายใจ คืออะไร”, ออนไลน์, <http://www.konmun.com/Article/id4814.aspx> [เข้าถึงวันที่ 27 ธันวาคม 2553]
- 15) Matthew Gonser, Theodore Hogan, **Arc Welding Health Effects, Fume Formation Mechanisms, and Characterization Methods**, Northern Illinois University, College of Engineering & Engineering Technology, USA, pp. 299-307.

ภาคผนวก ก: เอกสารเผยแพร่