

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

2.1 บทนำ

จากนโยบายของรัฐบาลด้านการเน้นหนักทางการวิจัยทางวิทยาการและเทคโนโลยี เพื่อสามารถเข้าถึงสุขภาพอนามัยของประชาชน ทั้งในระดับชุมชน และอุตสาหกรรม ซึ่งมีความเสี่ยงในสะสมสารพิษจากทางอากาศจากอุตสาหกรรมต่างๆ โดยความรุนแรงระดับสูงของควันละอองที่มาจากควันละอองที่มีส่วนประกอบของโลหะหนัก สามารถเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต [1] ที่เกี่ยวข้องกับความร้อนที่เร่งให้เกิดการระเหย (Evaporation) เป็นไอโลหะ (Fume) ซึ่งกระบวนการผลิตที่สัมพันธ์กับปรากฏการณ์ดังกล่าว และมีความนิยมใช้กันมากที่สุดสำหรับแรงงานไทยคือ กระบวนการเชื่อม (Welding Process)

จากการสืบค้นทางความเป็นภัยต่อร่างกายมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับควันละอองโลหะจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมนี้ พบว่าในระยะยาวมีผู้เจ็บป่วยจากสาเหตุของควันละอองโลหะดังกล่าวในระดับรุนแรง (เสียชีวิต) ดังรูปที่ 1 Hull, M.J. et al. [2] ทำการศึกษาติดตามสภาวะสุขภาพของช่างเชื่อม และได้พบถึงความเปลี่ยนแปลงและความเสียหายที่เกิดขึ้นกับปอดของช่างเชื่อม ดัง

รูปที่ 1 เป็นปอดของช่างเชื่อมที่ได้ถ่ายภาพรังสีไว้เป็นเวลา 4 เดือนก่อนเสียชีวิต นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกเป็นจำนวนมากที่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของควันละอองโลหะที่เกิดต่อระบบทางเดินหายใจ

งานวิจัยส่วนใหญ่มีความมุ่งหมาย ให้ทราบถึงระดับความรุนแรง และแนวทางที่สามารถลดผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจได้ เพื่อจะเป็นการช่วยส่งเสริมอาชีพอนามัยในสถานประกอบการได้ด้วยอีกทางหนึ่ง ซึ่งในระดับประเทศ และระดับนานาชาติแล้วก็จะเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลอันเกิดจากการทำงานโดยรวมต่อไป จึงเป็นการลดต้นทุนในการดำเนินงานโดยรวมของประเทศด้วยเช่นเดียวกัน

ถึงแม้การวิจัยในระดับนานาชาติ รวมทั้งในประเทศไทย (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) จะทำวิจัยในวิทยาศาสตร์หลายแขนงทางด้านควันละอองโลหะจากการเชื่อม แต่ผลการวิจัยที่มีผลประโยชน์ต่อสุขภาพ และเข้าสู่สังคมที่ยังคงด้อยความรู้นั้นเป็นไปได้ยาก เพราะผลการทดลองยังคงวิเคราะห์อยู่ในระดับที่แคบ เนื่องจากระบบการจัดเก็บตัวอย่างของควันละอองโลหะตามมาตรฐานยังคงให้ความยืดหยุ่นในการปรับแต่งให้เสมือนการเชื่อมจริงในระดับต่ำ และวิธีการจัดเก็บตัวอย่างยังไม่เสมือนในลักษณะงานจริง เพราะในกระบวนการเชื่อมจริงนั้นจะมีการฟุ้งกระจายระหว่างการเชื่อม และภายหลังการเชื่อม ซึ่งในลำดับหลังการเชื่อมนั้นช่างเชื่อม หรือผู้ที่เกี่ยวข้องมักจะทำการถอดเครื่องกรองอากาศออกจากความเข้าใจว่าไม่มีละอองโลหะเจือปนในอากาศ ทำให้เกิดการสูดดมในระดับที่ไม่ทราบค่าความเข้มข้นของควันละอองในบรรยากาศ จนเกิดการสะสมของโลหะหนักในร่างกายได้โดยปรากฏการณ์ของการทำงานดังกล่าวจะพบเจอบ่อยในการทำงานเชื่อมในพื้นที่ที่มีลักษณะแคบ และมีการระบายอากาศที่ยาก (Confine Space) อย่างเช่นการทำงานบำรุงรักษาอุปกรณ์ ในระบบการผลิตในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ในระบบการผลิตอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจะมีระบบของการบำบัดค่าความเป็นกรดต่างของของไหลก่อนทำการปล่อยสู่บรรยากาศ (Vent Gas Wash Tower) ซึ่งมีหลักการในการบังคับ [3] ให้ของไหล

เกิดสภาพเป็นกลาง (Caustic) โดยใช้การบำบัดทางเคมี ดังนั้นสภาวะแวดล้อมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดดังกล่าวจะมีการกัดกร่อนอย่างรุนแรง (Corrosive Environment) โดยการเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์ดังกล่าวมีความจำเป็นต้องใช้วิธีการเชื่อมพอกผิวหน้าที่มีสมบัติต้านทานการกัดกร่อน (Cladding) ได้ ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้วัสดุในการเชื่อมพอกผิวเป็น Nickel-Chromium Alloy อาทิเช่น Incolloy X-750 (73Ni-15Cr), Inconel 625 (61Ni-21.5Cr), Hasterloy X ซึ่งให้ผลทางอายุการใช้งานที่ยาวนาน [4] เป็นต้น ซึ่งในการเชื่อมพอกผิวดังกล่าวจะทำให้เกิดควันละอองโลหะ (Fume) ที่มีส่วนประกอบของอนุภาคโครเมียม (Chromium) หรือการเกิด Hexavalent Chromium (Cr^{+6}) ที่เป็นอนุภาคที่สะสมในร่างกายมนุษย์แล้วมีผลเสียต่อร่างกาย

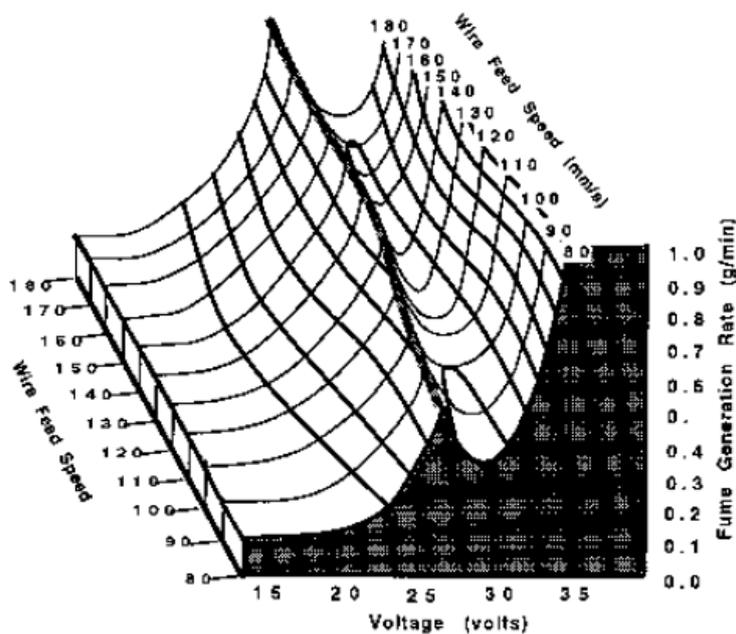
โดยเฉพาะกระบวนการเชื่อมโลหะแบบแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding; GMAW) ซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในการเชื่อมซ่อม และเหมาะกับการเชื่อมพอกผิวแบบต้านทานการกัดกร่อนมาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถป้อนเติมเชื่อมลงสู่โลหะฐานได้รวดเร็ว แต่เนื่องจากกระบวนการ GMAW สามารถเชื่อมได้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาานาน (Continues Wire Feeding) ซึ่งทำให้จำนวนของการเกิดควันละอองจากการเชื่อมมีจำนวนมากขึ้น อีกทั้ง Quimby B. J. และ Ulrich G. D. พบว่าการเชื่อมในกระแสเชื่อมที่สูงจะมีความผันแปรให้อาร์คโวลต์สูงตาม ส่งผลให้เกิดควันละอองโลหะขึ้นเป็นจำนวนมาก (ดังรูปที่ 2) และควันละอองโลหะดังกล่าวจะเป็นอันตรายต่อช่างเชื่อม และผู้ที่เกี่ยวข้อง (ผู้ช่วยช่างเชื่อม และผู้ตรวจสอบงานเชื่อม) ที่ปฏิบัติงาน

จากที่ได้กล่าวถึงพฤติกรรมที่เกิด และพื้นที่ในการทำงานข้างต้นนั้น งานวิจัยส่วนมากมักจะมุ่งเน้นอัตราการเกิดควันละอองในระหว่างการเชื่อม แต่ในการทำงานจริงนั้น เมื่อช่างเชื่อมทำการเชื่อมสิ้นสุดเป็นระยะความยาวที่คาดหวังไว้ จะทำการเปิดหน้ากากป้องกันออกทันที เนื่องจากไม่มีความเข้าใจ และรายงานที่ชี้ปริมาณการตกค้างของควันละอองโลหะภายในพื้นที่ทำงานในลักษณะ Confine Space อีกทั้งในกรณีการเชื่อมวัสดุที่มีส่วนผสมของ โครเมียม และนิกเกิลในระดับสูงนั้น มีสมมุติฐานว่าการอัตราการเกิดควันระหว่างเชื่อม และการตกค้างของควันละอองโลหะภายหลังการเชื่อม จะมีอยู่ในระดับที่มาก และรุนแรงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนทั่วไปที่มีการวิจัยโดยทั่วไป

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาถึงอัตราการเกิดควันละอองจากการเชื่อมวัสดุป้อนเติมจำพวก Nickel-Chromium Alloy (Filler metal) เพื่อใช้จำลองการเกิดควันละอองจากกระบวนการเชื่อมพอกผิวเพื่อการต้านทานการกัดกร่อน (Cladding) โดยวัตถุประสงค์จะมุ่งเน้นเป็น 2 หัวข้อหลัก ซึ่งประกอบด้วย 1) การออกแบบระบบที่สามารถแยกเก็บสิ่งตัวอย่างของควันละอองจากการเชื่อม ทั้งระหว่างการเชื่อม และภายหลังการเชื่อม (FFR between During Welding and After Welding, Dual Gas Exhausts Fume Chamber) โดยให้ผลประโยชน์ทั้งการสร้างเทคโนโลยีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับควันละอองโลหะจากกระบวนการทางความร้อนขึ้นเองภายในประเทศ และ 2) การศึกษาถึงพฤติกรรมที่เกิดควันละอองจากระดับพารามิเตอร์ในการเชื่อม Nickel-Chromium Alloy ด้วยกระบวนการ GMAW เพื่อชี้บ่งได้ถึงระดับความรุนแรงของการเกิดควันละอองที่มีผลต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานจากกระบวนการดังกล่าว



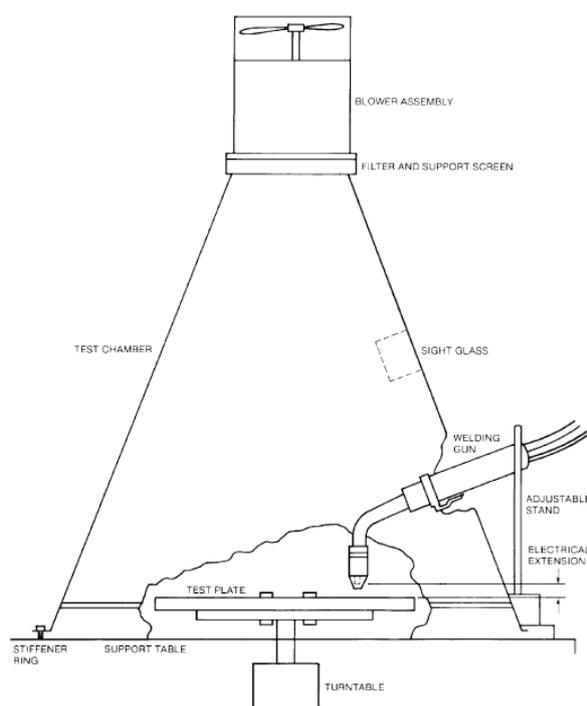
รูปที่ 1 ผลการถ่ายภาพรังสีเอ็กซเรย์บริเวณปอดของช่างเชื่อมในปี ค.ศ. 1995, ซึ่งเป็นระยะเวลา 4 เดือนก่อนการเสียชีวิตของช่างเชื่อมคนนี้



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของการเกิดควันละอองโลหะที่เป็นฟังก์ชันของกระแสเชื่อม และอาร์คโวลต์ จากการเชื่อม GMAW ด้วยแก๊สปกคลุม 92% Ar + 8%CO₂ บนเหล็กกล้าคาร์บอน

ในกรณีวิธีการศึกษาวิจัยอัตราการเกิดควันละอองโลหะจากการเชื่อม โดยทั่วไปจะมีการสร้าง Fume Chamber ตามคำแนะนำของของ AWS F1 .2 [6] ซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้างที่ใช้กับชิ้นงานที่เป็นแผ่น (Plate) ดังแสดงในรูปที่ 3 และใช้กรรมวิธีลำดับขั้นการแยกอนุภาคของโลหะต่างๆที่มีการเจือปนในอากาศดัง AWS F1.4 [7] เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเจือปนของอนุภาคที่จะมีโอกาสเข้าสู่ร่างกาย แต่

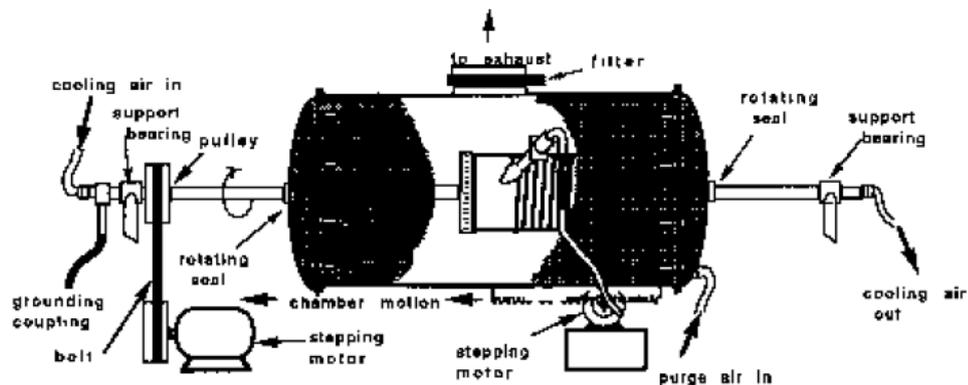
นักวิจัยหลายแห่งได้มีการบ่งชี้ถึงข้อดีของทางความยืดหยุ่นและความแม่นยำของโครงสร้างดังกล่าว โดย Quimby B. J. และ Ulrich G. D. [5] จาก University of New Hampshire (UNS) ได้มีการออกแบบและพัฒนา Fume Chamber ที่ให้ความแม่นยำทางการจัดเก็บอัตราการเกิดควันละอองจากการเชื่อม ดังรูปที่ 4 โดยมีข้อได้เปรียบทางความยืดหยุ่นในการปรับ หรือเปลี่ยนกระบวนการ และการปรับตั้ง พารามิเตอร์ในการเชื่อมที่จะให้ผลออกมาแม่นยำกว่าโครงสร้างแบบเดิม และจากผลการวิจัยยังคงความสามารถในการแยกชดกวางานวิจัยระยะก่อนหน้า [8] ว่าอัตราการเกิดควันละอองไม่ได้เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของการเพิ่มระดับอาร์คโวลต์ และกระแสเชื่อม ซึ่งจากผลการวิจัยนี้ ทำให้เกิดการเร่งพัฒนาการ สร้างระบบที่เพิ่มความสามารถในการแยกชดการจัดการจัดเก็บที่สามารถจำลอง หรือเป็นตัวแทนของประชากรของอนุภาคที่ปะปนในอากาศ ณ บริเวณการทำงาน



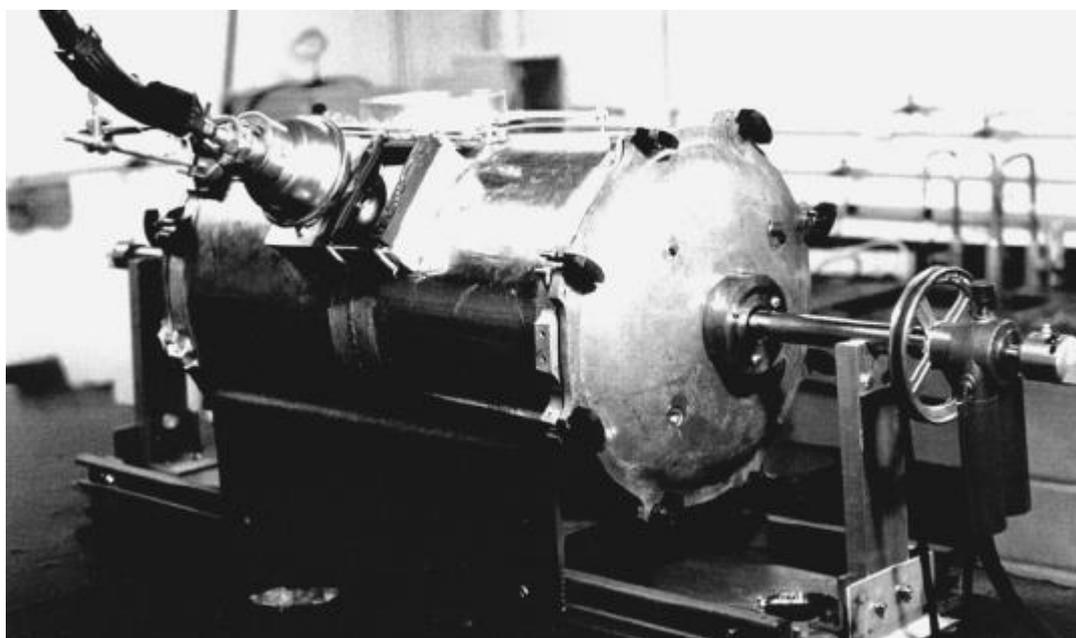
รูปที่ 3 ลักษณะของ Fume Chamber ตามการแนะนำของ AWS F1.2-92

การเชื่อมประสานเป็นกระบวนการผลิตและซ่อมบำรุงที่จำเป็นอย่างมากกระบวนการหนึ่ง แต่อิทธิพลความร้อนจากกระบวนการก่อให้เกิดควันละอองโลหะขึ้นในระหว่างการเชื่อม ซึ่งควันละอองโลหะดังกล่าวจะประกอบด้วยควัน และละอองของโลหะหนักหลายประเภทขึ้นอยู่กับกระบวนการและวัสดุในการเชื่อมนั้น ๆ ซึ่งเป็นที่สนใจในการศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างยิ่ง โดยมีการตีพิมพ์ในวารสารทางการแพทย์และทางอาชีวอนามัย [9-14] ทางผลกระทบของการสูดดมควันละอองดังกล่าว ถึงผลกระทบต่อช่างเชื่อมและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นความเครียดเนื่องจากการทำงาน (Oxidative Stress) รวมทั้งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของช่างเชื่อมเอง เมื่อมีการตระหนักถึงผลกระทบดังกล่าวแล้ว

จึงมีความพยายามที่จะลดปริมาณควันละอองโลหะที่อยู่ ณ บริเวณปฏิบัติงานให้มากที่สุด ทั้งนี้เพื่อ อาชีวอนามัยของช่างเชื่อมและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องเอง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 ลักษณะของ Fume Chamber ที่พัฒนาขึ้นใน University of New Hampshire

Peralta-Zamora, และคณะ มีการทดลองใช้ ZnO ผสมลงไปเนื้อของพลาสติกเพื่อลด ปริมาณควันที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากการเผาไหม้กรณีที่เกิดเพลิงไหม้ได้ สำหรับกรณีของโลหะหนักมีความ พยายามที่จะใช้ ZnO ในการบำบัดสารโลหะหนักที่เกิดขึ้นในน้ำเสียลง โดยอาศัยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดย อาศัยแสง UV [12, 13, 14, 15] ซึ่งในกระบวนการเชื่อมมีแสงจากการอาร์คที่เกิดขึ้นแทบทุกความยาว คลื่นโดยในประเทศไทยได้มีการวิจัยพัฒนา [15] ใช้ ZnO เคลือบบนปลั๊กซบนลวดเชื่อมสำหรับ กระบวนการ SMAW พบว่าปริมาณควันละอองจากการเชื่อมลดลง ทำให้เป็นรากฐานในการพัฒนาการ

ลดควันจากกระบวนการดังกล่าวได้อีกหลายระดับ แต่สำหรับกระบวนการเชื่อม Gas Metal Arc Welding (GMAW) นั้นไม่มีองค์ประกอบใดที่จะประกอบ ZnO เข้าสู่ระบบได้ ซึ่งวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปจะมีแนวทางดังนี้

- การออกแบบระบบระบายอากาศ [16] เพื่อใช้ในการเชื่อม โดยเน้นให้มีการดูดจับอนุภาคระดับนาโนได้ดีขึ้น
- การออกแบบแผนการทำงานที่หลีกเลี่ยงการสูดดมควันละอองจากการเชื่อม และ [17] การปฏิบัติการทางความปลอดภัยโดยการสวมหน้ากากในการเชื่อม
- การเข้าถึงพฤติกรรมทางการเชื่อมของวัสดุ [18] ทางด้านปริมาณการเกิดควันละอองที่เป็นฟุ้งขึ้นจากกระบวนการทางความร้อน

จากการพิจารณาทางทบทวนวรรณกรรมทางด้านควันละอองโลหะจากการเชื่อม พบว่างานวิจัยทุกด้านเพื่อหลีกเลี่ยงหรือป้องกันการสูดดมนั้น ถือเป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ทั้ง และต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมทางวัสดุที่หลากหลายขึ้น เนื่องจากในแต่ละวัสดุ [19] และแต่ละกระบวนการเชื่อมจะให้ปริมาณที่ไม่เท่ากัน ทำให้การให้ระดับความสำคัญทางการป้องกันในการทำงานต้องไม่เท่ากัน

2.1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1 สร้างระบบการจับเก็บควันละอองโลหะแบบ Dual Gas Exhausts Fume Chamber ที่สามารถแยกเก็บสิ่งตัวอย่างของควันละอองระหว่างการเชื่อม และหลังการเชื่อมได้
- 2 เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการศึกษาวิจัยทางควันละอองโลหะจากกระบวนการทางความร้อนขึ้นเองภายในประเทศ
- 3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางอัตราการเกิดควันละอองโลหะจากการเชื่อม Nickel-Chromium Alloy ด้วยกระบวนการ GMAW
- 4 เพื่อเสนอแนวทางส่งเสริมสุขภาพ และวิธีการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม และผู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. สร้างและพัฒนา Dual Gas Exhausts Fume Chamber สำหรับการศึกษ้อัตราการเกิดควันละอองทั้งระหว่างการเชื่อม และหลังการเชื่อม
- 1.2 กระบวนการเชื่อมที่ใช้คือกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแบบแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (GMAW)
- 1.3 ประเภทโลหะป้อนเติมประเภท Nickel- Chromium Alloy ตามข้อกำหนด AWS 5.14 ในชั้นระดับ ERNiCrMo-1 หรือโลหะป้อนเติมที่มีส่วนผสมเทียบเท่า อาทิ AWS A 5.9 ER309
- 1.4 ชิ้นงานเชื่อมที่ใช้คือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยเชื่อมแบบกรรมวิธีการ Cladding

2.1.3 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

- กรรมวิธีในการเก็บสิ่งตัวอย่างของควันละอองโลหะจากการเชื่อมแบบวิธีการแยกเก็บระหว่างการเชื่อม และภายหลังการเชื่อมภายใน Fume Chamber เดียวกัน จะทำให้ทราบถึงระดับความรุนแรงของสองช่วงเวลาได้
- การทราบถึงระดับการตกค้างของการฟุ้งกระจายของควันละอองโลหะจากการเชื่อมในระยะเวลาต่างๆ จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่เกิดความตระหนักต่ออันตรายต่อสุขภาพได้
- กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแบบแก๊สปกคลุมเป็นกรรมวิธีที่ใช้กับการเชื่อมพอกผิวเพื่อต้านทานการกัดกร่อนมากที่สุด
- การเชื่อมพอกผิวเพื่อต้านทานการกัดกร่อนด้วยวัสดุ Nickel- Chromium Alloy มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดควันละอองที่เป็นพิษต่อร่างกายในระดับรุนแรงกว่าวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน
- การเชื่อมพอกผิวเพื่อต้านทานการกัดกร่อน แบบการบำรุงรักษามักจะต้องเชื่อมในพื้นที่แบบ Confine Space ซึ่งมีความเข้มข้นของควันละอองจากการเชื่อมในระดับที่สูงกว่าการเชื่อมผลิตแบบปกติ
- การปรับแต่งระดับพารามิเตอร์ในการเชื่อมพอกผิวที่ต่างกันมีผลให้ Fume Formation Rates แตกต่างกันไป
- ระดับของ Fume Formation Rate ที่เป็นฟังก์ชันของพารามิเตอร์ในการเชื่อม จะสามารถนำไปทำนายผลที่ทำให้เกิดการเกิดฝุ่นละอองในระดับที่ต่ำสุดได้

2.1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 แก้ปัญหาในการดำเนินงานของหน่วยงานที่ทำการวิจัย

- เป็นสร้างเทคโนโลยีขึ้นใช้เองภายในประเทศ ลดการพึ่งพาการสั่งซื้อระบบการจัดเก็บควันละอองจากต่างประเทศ
- เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาองค์ความรู้ให้แก่หน่วยงานที่ทำการวิจัยที่ยั่งยืน
- เนื่องด้วยหน่วยงานต้นสังกัดมีภารกิจในการเผยแพร่ความรู้ทางด้านวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การวิจัยนี้จึงเป็นประโยชน์ต่อภารกิจและการทำงานของหน่วยงานด้วย

2 เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป

- สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษากับวัสดุประเภทอื่นๆที่ยังขาดแคลนข้อมูลที่ส่งผลต่อสุขภาพของผู้ทำงาน
- เพื่อใช้เป็นระบบในการศึกษาวิจัยทางควันละอองโลหะจากการผลิตที่เกี่ยวข้องกับความร้อนได้ในระยะสั้น และระยะยาว
- เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างมาตรการในการทำงานที่ปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้ในระยะยาว
- เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานในการพัฒนาอุปกรณ์ประกอบการเชื่อมอื่น ๆ ที่สามารถลดควันละอองโลหะได้

3 บริการความรู้แก่ประชาชน

- เพื่อให้ประชาชนตระหนักถึงอันตรายของควันละอองโลหะที่เกิดขึ้นจากการเชื่อม

4 บริการความรู้แก่ภาคธุรกิจ

- เพื่อให้ภาคธุรกิจตระหนักและหาวิธีการป้องกันอันตรายและส่งเสริมสุขภาพของช่างเชื่อม
- การพัฒนา Fume Chamber ในแบบใหม่ที่มีความสอดคล้องตามการพัฒนาของ Quimby B. J. และ Ulrich G. D. จะเป็นการเพิ่มความแม่นยำในการวัดระดับของการเกิดควันละอองได้มากขึ้น ซึ่งมีผลให้มีช่องทางในการพัฒนาการอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อม ให้สามารถตอบสนองทางการป้องกัน หรือลดระดับการเกิดการเจ็บปวของอนุภาคโลหะในบรรยากาศได้

5 นำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์

- สามารถต่อยอดถึงเครื่องจักร(Welding Machine)ที่ปรับระดับพารามิเตอร์ที่ให้ปริมาณควันละอองที่น้อยลงในกระบวนการเชื่อมพอกผิวเพื่อต้านทานการกัดกร่อนด้วยโลหะป้อนเติม Nickel-Chromium Alloy

6 เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

- การเพิ่มประสิทธิภาพทางงานวิจัยจะเพิ่มความสามารถในการแยกซัด และโครงสร้างที่สามารถปรับเปลี่ยนกระบวนการทางความร้อนได้มากขึ้น
- เมื่อช่างเชื่อมได้รับการส่งเสริมสุขภาพแล้ว จะสามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก

ยิ่งขึ้น

- สามารถสอดคล้องกับมาตรฐานนานาชาติที่คำนึงถึงควันละอองโลหะที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเชื่อมได้

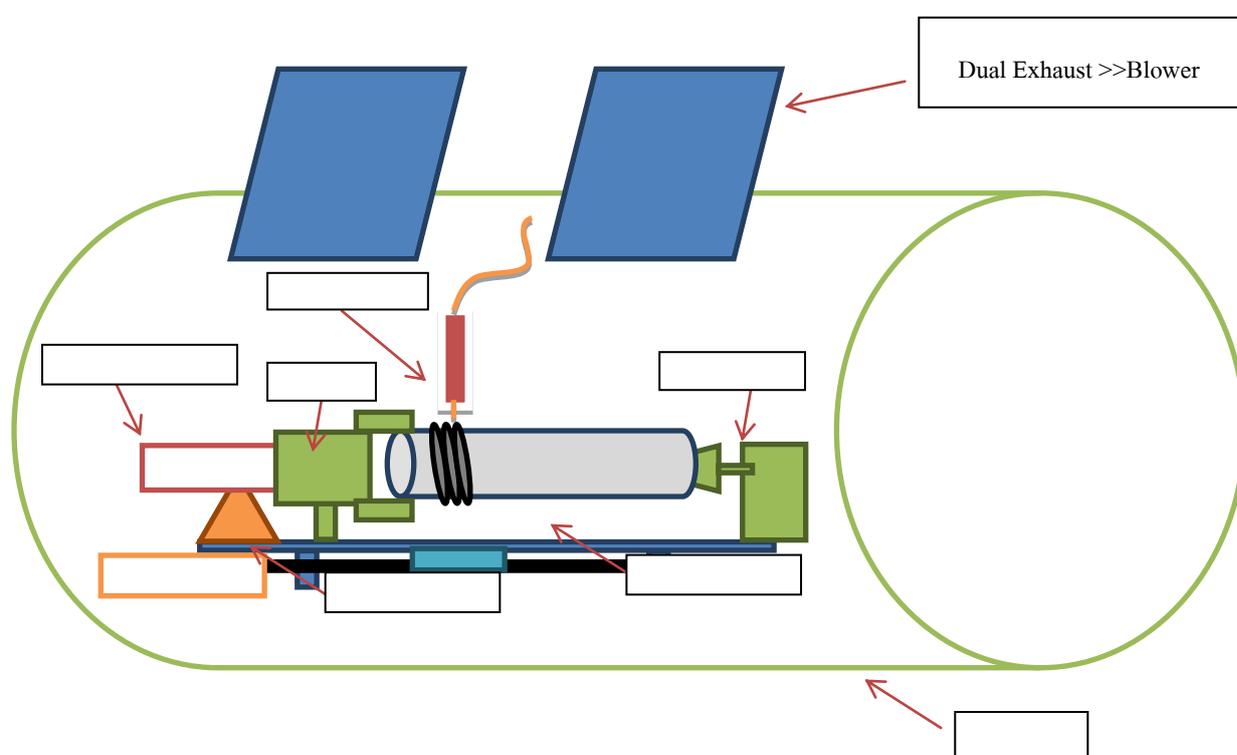
7 เป็นประโยชน์ต่อประชากรกลุ่มเป้าหมาย

- กลุ่มเป้าหมายทางงานวิจัยจะมีเทคโนโลยีดังกล่าวไว้สำหรับทำงานวิจัยได้อย่างต่อเนื่อง
- สามารถนำไปใช้ในการเลือกระดับพารามิเตอร์ในการเชื่อมให้ลดควันละอองโลหะที่เกิดจากการเชื่อมได้
- ส่งเสริมสุขภาพและอาชีพะอนามัยของช่างเชื่อม

2.2 การดำเนินงานวิจัย

2.2.1 การออกแบบระบบการเชื่อมพอกผิวอัตโนมัติ

การออกแบบและสร้างห้องเก็บตัวอย่างควันละอองโลหะแบบกระบวนการเชื่อมพอกผิวอัตโนมัติ



รูปที่ 5 หลักการของ Horizontal Fume Chamber

ส่วนประกอบหลักแสดงดังรูปที่ 5

ในส่วนของ Chamber เก็บตัวอย่างออกแบบเป็นรูปทรงกระบอกนอน

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 778 มิลลิเมตร
- ความยาว 1228 มิลลิเมตร
- ปริมาตรจุ 583.78 ลิตร (0.58378 ลูกบาศก์เมตร)
- ส่วนเปลือกถัง มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน

- ส่วนฝาถัง มีความหนา 6 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุแผ่นโพลีคาร์บอเนต

รูปที่ 6 แสดงถึง Chamber ที่ผ่านการขึ้นรูปมาด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนหนา มิลลิเมตร โดยจะมีการเตรียมช่องสำหรับถอดประกอบชิ้นงานตัวอย่างเชื่อมขนาด 300x500มิลลิเมตร และช่องสำหรับสองท่อดูด (Dual Exhaust) ขนาดท่อละ 257x257มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการแยกระบบจัดเก็บในระหว่างการเชื่อม และหลังการเชื่อม แนวทางในการเจาะท่อดูดจะอยู่ในแนวอ้างอิงที่1นาฬิกา ซึ่งมีความพยายามให้รูปแบบการดูดควันละอองให้ใกล้เคียงกับแนวตั้ง(12 นาฬิกา) มากที่สุดเพราะว่าธรรมชาติของควันจะลอยขึ้นไปในแนวตั้งเสมอ



รูปที่ 6 การขึ้นรูป Chamber

2.2.2 ระบบควบคุมและระบบขับป้อนงาน

ในส่วนของระบบขับป้อนจะมีหลักการคือ การใช้สกรูส่งกำลังขับผ่านโต๊ะงาน และใช้ความเร็วในการหมุนจากการหมุนของหัวจับ โดยรายละเอียดการคำนวณมีดังนี้

เมื่อ M_1 = มอเตอร์ตัวหมุนชิ้นงาน

M_2 = มอเตอร์ตัวขับ Feed Screw

P_1 = ระยะพิทของแนวเชื่อม

P_2 = ระยะพิทของ Feed Screw

rpm_1 = ความเร็วรอบของชิ้นงาน

rpm_2 = ความเร็วรอบของ Feed Screw

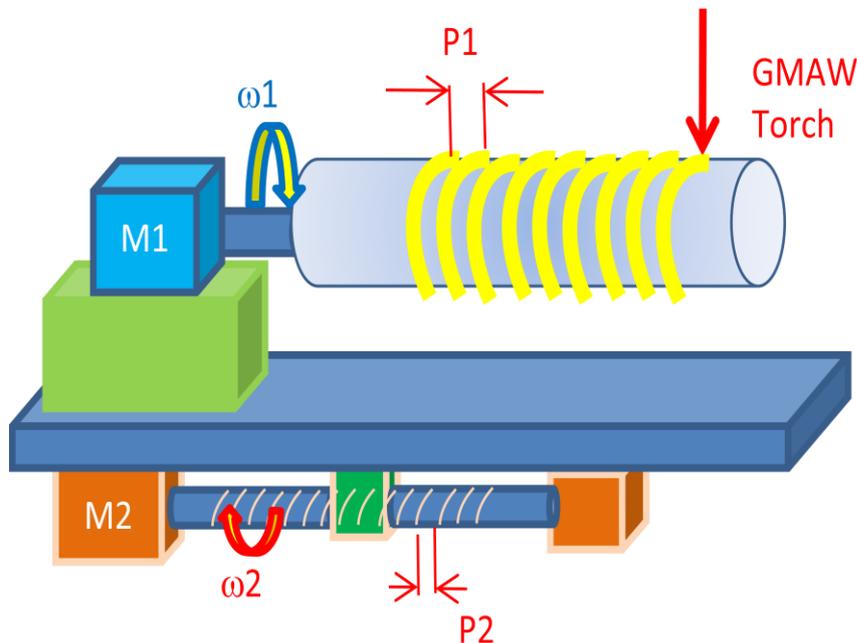
เลือกสกรูที่ใช้ส่งกำลังตามมาตรฐาน ISO ขนาด TR20x4 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย, $d_m = 18\text{mm}$. กำหนดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับสกรูเหล็กและแป้นเกลียวเหล็ก, $f_s = 0.17$ มุมของเกลียวที่วัดในระนาบตั้งฉากกับเกลียว, $\phi = 30/2 = 15^\circ$ มุมนำเกลียว

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{P}{\pi d_m} \right) = 4.05^\circ \quad (1)$$

จากสมการโมเมนต์บิดในการหมุนยกโหลด

$$TR = \frac{W \cdot d_m}{2} \left[\frac{(f_s + \cos\phi \tan\alpha)}{(\cos\phi - f_s \tan\alpha)} \right] \quad (2)$$

ที่ $W=50\text{ kg}$ แทนค่าจะได้ $TR = 1.1\text{ Nm}$. อัตราทด 1:180 ที่ 1800 rpm จะได้ความเร็วรอบของสกรูส่งกำลัง 10 rpm ดังนั้น แรงบิดของมอเตอร์ (T) = $TR/\text{อัตราทด} = 0.0063\text{ Nm}$ เพราะฉะนั้นจะได้กำลังของมอเตอร์ $P = 2\pi n T P = 1.2\text{ W}$ ดังนั้นเลือกซื้อมอเตอร์ที่ใช้ขับสกรูส่งกำลัง (M_2) เท่ากับ 36 w จึงมีสามารถใช้งานได้



รูปที่ 7 หลักการของระบบขับเคลื่อนการเชื่อมพอกผิว

การเลือกความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้ขับท่อหมุนและสกรูส่งกำลัง

จากรูป การหมุนของ M_1 ที่ความเร็วรอบ rpm_1 และมีขนาดชิ้นงาน d การหมุน 1 รอบจะทำให้แนวเชื่อมเคลื่อนที่ไปด้วยระยะ L_1

$$L_1 = \pi d \tag{3}$$

เมื่อ M_2 เป็นตัวขับเคลื่อนในแนวแกนเชิงเส้นตรง ระยะทางเคลื่อนที่ของโต๊ะงานเมื่อสกรูส่งกำลังเคลื่อนที่ 1 รอบ จะเท่ากับระยะพิท หรือ P_2 หาก M_2 หมุนด้วยความเร็ว rpm_2 จะเคลื่อนที่ได้ด้วยระยะ L_2 เท่ากับ

$$L_2 = P_2 \times rpm_2 \tag{4}$$

ในส่วนของระยะพิทของศูนย์กลางแนวเชื่อม หรือ P_1 จะขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่าง rpm_1 , rpm_2 , P_2 หรือเป็นสัดส่วนของความเร็วรอบ

$$\frac{rpm_1}{rpm_2} = \frac{P_2}{P_1} \tag{5}$$

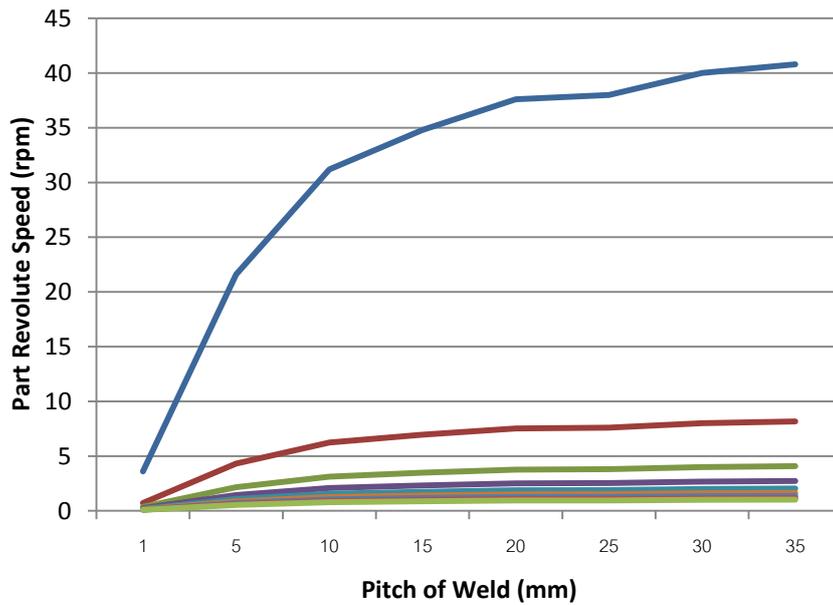
ความเร็วในการเดินแนวจะสูงที่สุดเมื่อเชื่อมด้วยกระแสสูง จนออกมาเป็นโหมดสเปรย์ซึ่งจะมีความเร็วในการเดินแนวอยู่ที่ประมาณ 635 mm/min และชิ้นงานท่อนำมาเชื่อมพอกผิวนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 mm. (4") จากสมการที่ (3) เมื่อมีการหมุน 1 รอบจะทำให้ได้แนวเชื่อม 320 mm. ดังนั้นถ้าความเร็วในการเดินแนวสูงสุดชิ้นงานจะต้องหมุนไป 2 รอบ และจากสมการที่ (4) และ (5) ที่ระยะพิทของสกรูส่งกำลัง 4 mm. ระยะพิทของแนวเชื่อม 20 mm. และความเร็วในการหมุนชิ้นงาน 2 rpm แล้ว จากสมการที่ (5) จะได้รอบของสกรูส่งกำลังเท่ากับ 10 rpm ซึ่งมอเตอร์ที่เลือกมาคือ มอเตอร์ DC ขนาด 24 โวลต์ 36 วัตต์ 1800 rpm เกียวต 1:180 rpm ที่ได้ท้ายเกีย 10 rpm จึงสามารถใช้งานได้

จากหลักในการทดสอบการหมุนของชิ้นงานเชื่อม จะสามารถสร้างตารางความสัมพันธ์ได้ดังตารางที่ 1 และเพื่อการใช้งานที่สะดวก จะถูกออกแบบความเร็วและอัตราทดเพื่อให้ได้ระยะห่างระหว่างแนวเชื่อมดังรูปที่ 8

ตารางที่ 1 ผลเฉลยของการคำนวณความเร็วรอบของงานเชื่อมที่ได้จากการทดรอบของระบบขับในอุดมคติ

		Pitch of Weld (P1): mm								
		1	5	10	15	20	25	30	35	40
w2 (rpm)	w1 (rpm)									
0.9		3.6	0.72	0.36	0.24	0.18	0.14	0.12	0.1	0.09
5.4		21.6	4.32	2.16	1.44	1.08	0.86	0.72	0.62	0.54
7.8		31.2	6.24	3.12	2.08	1.56	1.25	1.04	0.89	0.78
8.7		34.8	6.96	3.48	2.32	1.74	1.39	1.16	0.99	0.87

9.4	37.6	7.52	3.76	2.51	1.88	1.5	1.25	1.07	0.94
9.5	38	7.6	3.8	2.53	1.9	1.52	1.27	1.09	0.95
10	40	8	4	2.67	2	1.6	1.33	1.14	1
10.2	40.8	8.16	4.08	2.72	2.04	1.63	1.36	1.17	1.02



รูปที่ 8 ผลตอบสนองของความเร็วรอบงานในอุดมคติ

รูปที่ 9 แสดงการประกอบระบบป้อนขั้วงาน ซึ่งมีน้ำหนักโดยรวม 25 กิโลกรัม ความเร็วในการป้อนขั้วต่ำสุด 288 มิลลิเมตร/นาที ความเร็วสูงสุด 1152 มิลลิเมตร/นาที ซึ่งระบบป้อนขั้วนี้มีความสามารถในการจับชิ้นงานท่อเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด 127 มิลลิเมตร และความยาวของงานมากที่สุด 400 มิลลิเมตร



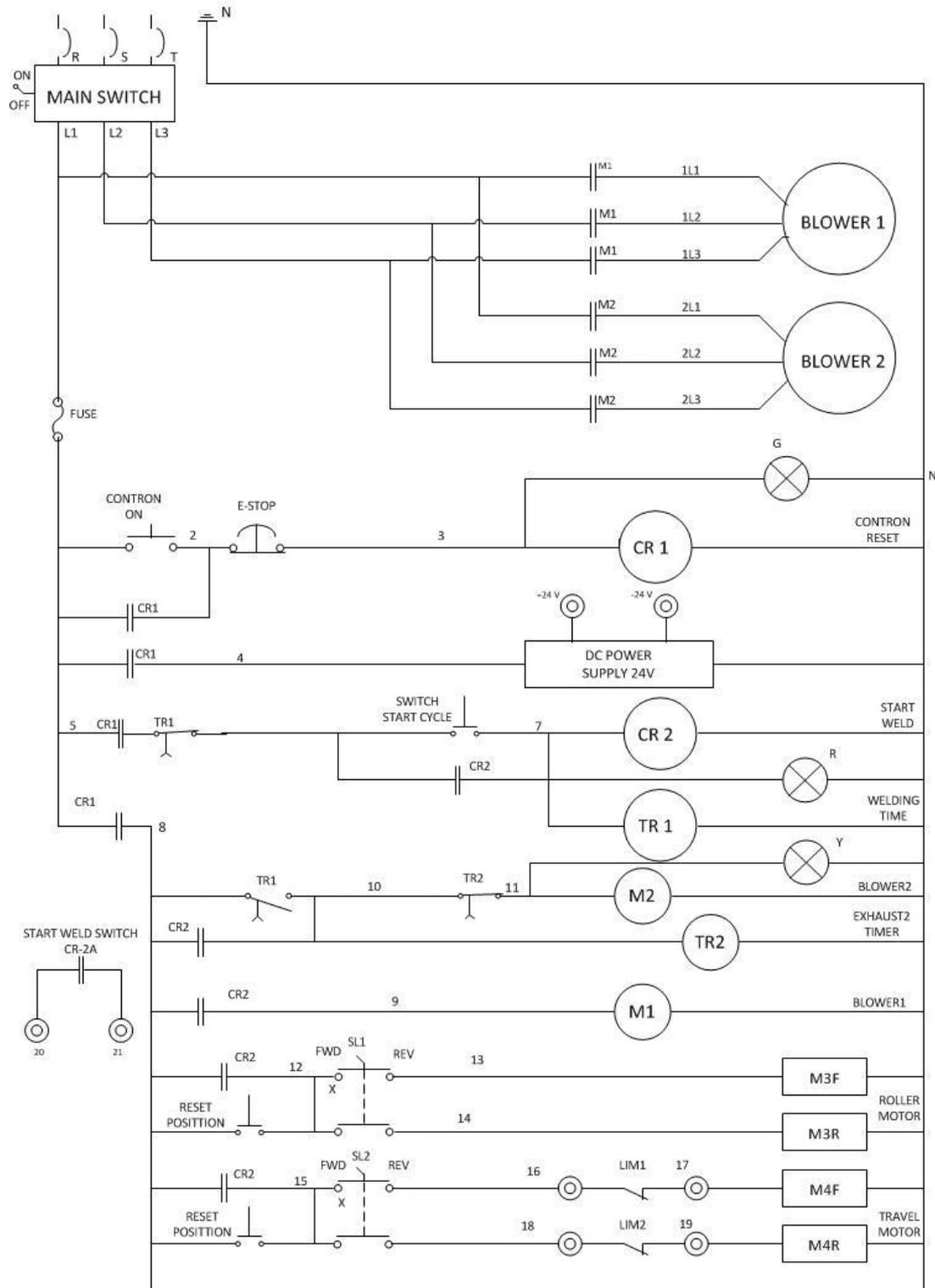
รูปที่ 9 ระบบป้องกันขั้วงานที่กำลังดำเนินการประกอบ -ติดตั้ง

2.2.3 การออกแบบและสร้างวงจรควบคุมการเชื่อมอัตโนมัติ

รูปแบบของวงจรควบคุมที่ใช้ในระบบการเชื่อมนี้ จะมีหลักการดังนี้

- สามารถปรับตั้งพารามิเตอร์ทางความเร็วในการเชื่อมได้จากตู้ควบคุม
- กำหนดระยะเวลาในการเชื่อมได้แบบต่อเนื่อง
- สามารถแยกคำสั่งในการเก็บ (จุด) คิว้นล่องโโลหะได้ตามต้องการ
- มีระบบกำหนดระยะเวลาปลอดภัยของการเคลื่อนที่

รูปที่ 10 แสดงแผนผังวงจรรวมของระบบควบคุม และตารางที่ 2 กำหนดชนิด และข้อมูลเชิงเทคนิคของอุปกรณ์ที่ใช้ในตู้ควบคุม



รูปที่ 10 วงจรควบคุมเครื่องเชื่อม GMAW, ระบบขับเคลื่อน และการดูตควินละองโลหะ

ตารางที่ 2 รายละเอียดอุปกรณ์โดยรวมของระบบการจัดเก็บควันละอองโลหะ

ITEM NO.	ITEM NAME	ITEM SPEC.	CODE NAME	QUANTITY
1	ตู้ CONTROL	CB03		1
2	MOTOR DC	24V 36W	ROLLOR MOTOR	1
3	MOTOR DC	24V 36W	TRAVEL MOTOR	1
4	RELAY "OMRON" WITH SOCKET	MY4N	CR1,CR2	2
5	TIMER "OMRON" WITH SOCKET	H3CR-A8E	TR1,TR2	2
6	MACNATIC CONTACTOR "FUJI"	8C-03	M1,M2,M3F,M3R,M4F,M4R	6
7	PUSH BUTTON SWITCH "TEND"	TN2SS	CONTRON ON,SWITCH START	4
8	SELECTOR "TEND"	T2SSR	SL1,SL2	2
9	RELAY "OMRON" WITH SOCKET	MY4N	CR2-A	1
10	BREAKER	BW50EAG 3P 20A	MAINSWITCH	1
11	DC POWER SUPPLY	24 V	DC POWER SUPPLY	1
12	LIMIT SWITCH "TEND"	TZ6001	LIM1,2	2
13	LAMP R,Y,G	TN2NN	-	3

2.2.4 ระบบการจัดเก็บสิ่งตัวอย่างควันละอองโลหะ

ในระบบการจัดเก็บสิ่งตัวอย่างสำหรับงานวิจัยนี้ มีความประสงค์ในการควบคุมพารามิเตอร์สำหรับจัดเก็บสิ่งตัวอย่างตาม AWS F1.2-92 เพื่อให้วิธีการวิจัยเป็นมาตรฐานและสามารถนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบผลจากกลุ่มวิจัยอื่นได้ โดยมีส่วนประกอบต่างๆประกอบด้วย

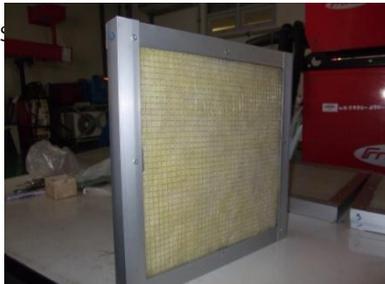
- 1) Filter : ต้องเป็นใยแก้วหรือเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 305 มิลลิเมตร มีความหนาแน่น 4.03 ± 0.8 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และต้องมีความหนา 13 ± 3 มิลลิเมตร ASTM C800-89
- 2) Air Pump : ต้องมีความสามารถในการดูดไม่ต่ำกว่า 709-989 ลิตร/นาที และสามารถสร้างแรงดันตกคร่อมได้ 3-5 นิ้วน้ำ

- 3) เครื่องซั่ง : ต้องมีความไวในการวัดที่ 0.01 มิลลิเมตร
- 4) เตาอบ : ต้องสามารถอบ Filter เพื่อไล่ความชื้นก่อนนำไปเก็บตัวอย่างได้ที่อุณหภูมิ 93-107 C°

จากส่วนประกอบที่ต้องการตามมาตรฐานการเก็บตัวอย่าง ผู้วิจัยได้จัดหาอุปกรณ์และสร้างระบบตามตารางที่ 3

สำหรับ Air Pump หรือโบลเวอร์ที่ใช้ดูดควันละอองโลหะเข้าสู่ผ้ากรอง (Filter) จะต้องมีกำลังดูดเพียงพอให้ควันละอองลอยจากบริเวณอาร์คเข้าสู่ผ้ากรองได้ โดยการมีส่วนของผ้ากรองดักการไหลของลมในท่อดูดจะทำให้แรงดันสถิตที่โบลเวอร์ผลิตได้ลดลง จึงจำเป็นต้องทำการทดลองหาสัมประสิทธิ์ของผ้ากรองที่ทำให้แรงดันตกคร่อม (Pressure Drop) เปลี่ยนแปลง จึงได้ทำการจำลองการไหลของอากาศ ดังการทดลองในรูปที่ 11 ด้วยท่อดูดขนาด 300 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร แบบมีผ้ากรองที่ใช้ในงานวิจัยติดตั้งขวางการไหล โบลเวอร์ขนาด 1 แรงม้า ความเร็วรอบ 1240 rpm ขนาดปากดูด 305 มิลลิเมตร ใบพัดเหล็กแบบใบตรงสามารถดูดอากาศผ่านผ้ากรองได้ที่แรงดันตกคร่อม 3.67 นิ้วน้ำ ซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐาน AWS F1.2-92

ตารางที่ 3 การจัดหาอุปกรณ์ในงานวิจัย และ Specification ของอุปกรณ์

ลำดับ ที่	ชื่ออุปกรณ์	ความต้องการตาม AWS F 1.2	สิ่งที่จัดหาได้ในงานวิจัย
1	Filter	Dia. 305 mm Thick 13±3 mm Density = 4.03±0.8 kg/m ³	Thick 25 mm Dens 
2	Air Pump	Sampling Rate 709-989 l/min $\Delta P = 3-5$ inches of H ₂ O	Sampling Rate over 709-989 l/min $\Delta P = 3.67$ inches of H ₂ O 
3	เครื่องชั่ง	Sensitivity = 0.01 g	G&G JJ1000 Sensitivity = 0.01 g 
4	เตาอบ	สามารถทำอุณหภูมิได้ที่ 93-107 C°	สามารถทำอุณหภูมิได้ที่ 93-107 C°

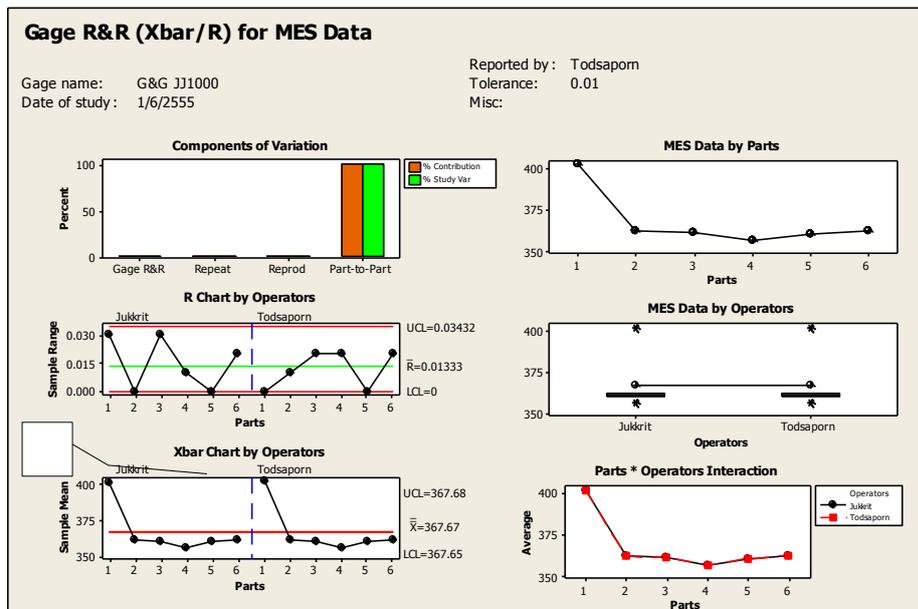


รูปที่ 11 การทดลองหาแรงดันตกคร่อมกับโวลต์เวอร์ขนาด 3 แรงม้า

การเชื่อมต่อการวัดควันทวนละองจาก Chamber เข้าสู่โวลต์เวอร์ใช้ท่ออ่อนอลูมิเนียมขนาด 300 มิลลิเมตร ยาว 2,300 มิลลิเมตร ในการเชื่อมต่อระบบ เพื่อให้ระบบมีน้ำหนักเบาและมีความยืดหยุ่นในการติดตั้ง กว่าที่ใช้ท่อเหล็ก

2.2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัดควันทวนละองโลหะ

เพื่อให้ผลของงานวิจัยมีความน่าเชื่อถือในเชิงปริมาณที่ได้จากการวัด และอธิบายผลของอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการได้ การแยกแยะความผันแปร การวิเคราะห์หาขนาดของค่าความผันแปรจากการวัดเป็นสิ่งจำเป็นในการดำเนินการ วิธีการ GR&R แบบ $\bar{X} - R$ ถูกประยุกต์ใช้ในการอธิบายระดับความผันแปรของระบบการวัด โดยใช้โปรแกรม MINITABซึ่งมีการดำเนินการวิเคราะห์และตีความผลการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 12 ผลคำนวณจากโปรแกรม MINITAB จากข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัด

Gage R&R Study Worksheet

Parts: 6 Operators: 2

Replicates: 3 Total runs: 36

Gage R&R Study - XBar/R Method

Gage R&R for MES Data

Gage name: G&G JJ1000

Date of study: 1/6/2555

Reported by: Todsaporn

Tolerance: 0.01

Misc:	%Contribution	
Source	VarComp	(of VarComp)
Total Gage R&R	0.000	0.00
Repeatability	0.000	0.00
Reproducibility	0.000	0.00
Part-To-Part	289.704	100.00
Total Variation	289.704	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0101	0.061	0.06
Repeatability	0.0078	0.047	0.05
Reproducibility	0.0064	0.039	0.04
Part-To-Part	17.0207	102.124	100.00
Total Variation	17.0207	102.124	100.00

Number of Distinct Categories = 2377

ผลของการวิเคราะห์ระบบการวัดผ่าน MINITAB V 16

1. จากแผนภูมิควบคุม R สำหรับพิจารณาจากคุณสมบัติด้านความสม่ำเสมอ พบว่าค่าพิสัยอยู่ในพิกัดควบคุม แสดงว่าค่าที่วัดได้จากระบบการวัดมีความสม่ำเสมอดี
2. อิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานวัดโดยพิจารณาว่ากราฟที่พล็อตซึ่งแสดงถึงค่าวัด ชิ้นงานที่วัดโดยพนักงานแต่ละคนไม่ตัดกัน จึงสามารถใช้ X-Bar-R ในการวิเคราะห์ได้ หรือกล่าวได้ว่า แม้การเปลี่ยนตัวชิ้นงานไป จะไม่เกิดผลทางการวัดที่ขึ้นกับผู้ทำการวัด

3. Number of Distinct Categories: **ndc เท่ากับ 2,377** แสดงว่าระบบการวัดที่ศึกษาทำการแยกประเภทข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 2,377 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งความสามารถในการแยกแยะได้มากนี้ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากกระบวนการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้ แสดงว่ากระบวนการวัดมีคุณสมบัติด้านความไวในการแยกแยะผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ

4. ค่า “StdDev” แสดงความแปรผันจากสิ่งตัวอย่างทดลองโดยค่าประมาณที่ประมาณได้จากค่าพิสัย ในที่นี้พบว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ทดลองทั้งหมดมีค่า **17.0207 กรัม** จะเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ **17.0207 กรัม** และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัด **0.0101 กรัม**

5. ค่า “Study Var” แสดงถึงความแปรผันจากประชากรหรือกระบวนการวัดที่ได้จากการอนุมานสิ่งตัวอย่างด้วยระบบความเชื่อมั่น 99.75% ในที่นี้พบว่าความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดมีค่า **102.124 กรัม** จะเป็นความผันแปรจากกระบวนการผลิต **102.124 กรัม** และมีความแปรผันจากระบบการวัด **0.061 กรัม**

นั่นคือระบบการวัดมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ ± 0.0305 กรัม

6. ค่า “%Study Var” จะแสดงถึงความผันแปรเมื่อมีการประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (TV) หรือ P/TV ในที่นี้พบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการที่ประเมินได้จากข้อมูลวัด เท่ากับ 100 กรัม แล้วจะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต **100 กรัม** และเป็นความผันแปรจากกระบวนการวัด **0.64 กรัม (0.64%)** โดยแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุรีพีทอะบิลิตี **0.05 กรัม** และความผันแปรจากสาเหตุรีโพรดิวซิเบิลิตี **0.04 กรัม**

7. ค่า “Variance” จะแสดงถึงความแปรปรวน ที่หมายถึง “ความผันแปรต่อหน่วยในประชากร” ที่ได้มาจากผลรวมกำลังสองของความเบี่ยงเบนหารด้วยองศาความอิสระ คือ

$$\text{Variance} = \frac{SS}{DF}$$

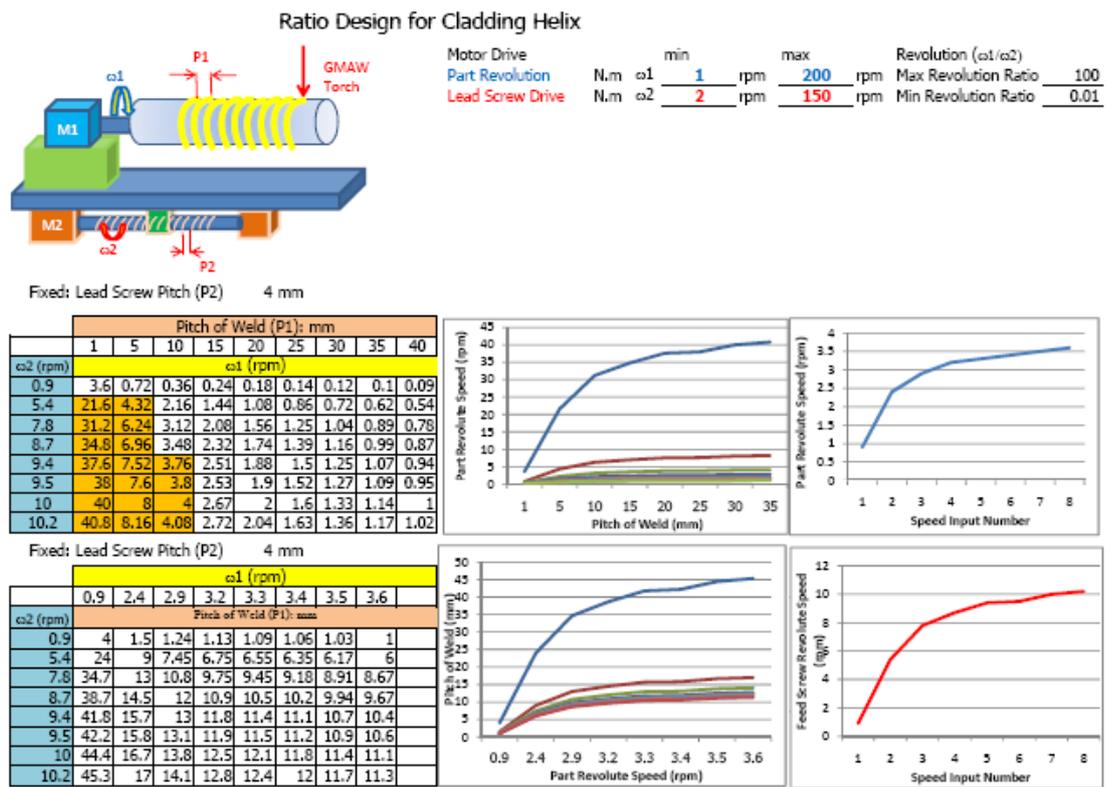
ในที่นี้ความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า **289.704 กรัม²** ซึ่งมาจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต **289.704 กรัม²** และความแปรปรวนของกระบวนการวัด **0 กรัม²** (มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกระบวนการผลิต)

จากความหมายของความแปรปรวนที่มีค่าสูง ในงานวิจัยนี้ขออธิบายถึงการไม่ส่งผลกระทบต่อผลงานวิจัย เนื่องจากความแปรปรวนที่ได้มาจากการวัดบนอุปกรณ์ดักจับวันละเอง ที่ได้จากการประดิษฐ์ขึ้นเฉพาะงานนี้ จะมีความผันแปรในน้ำหนักที่มาก เนื่องจากเป็นการยากในการควบคุมเรื่องน้ำหนักจากการประกอบอุปกรณ์ แต่ชุดอุปกรณ์ดักจับวันละเองในงานวิจัยนี้ จัดทำไว้ทั้งหมด 6 ชุด ประกอบด้วยควันละเองระหว่างเชื่อม 3 ชุด และควันละเองจากการหยุดอาร์ก 3 ชุด และจะใช้ว่าเป็นระบบ ดังนั้นจะสามารถจำแนกเรื่องของระดับความผันแปรในผลงานวิจัยได้

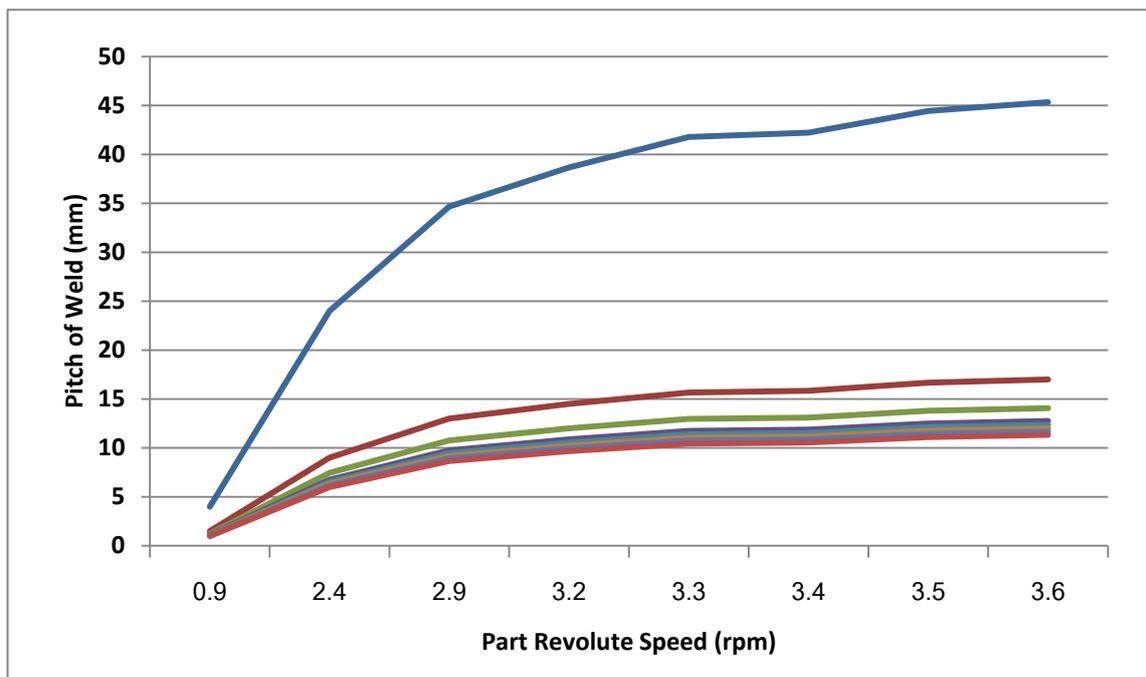
8. ค่า “% Contribution” แสดงถึงความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่ส่งผล ต่อความผันแปรโดยรวม เมื่อทำการเทียบกับค่าร้อยละ หรือ % ซึ่งในที่นี้พบว่าถ้าความแปรปรวนทั้งหมดคือ 100 กรัม² จะเป็นความแปรปรวนที่มีผลมาจากกระบวนการผลิต 100% และจากกระบวนการวัด 0% โดยความผันแปรดังกล่าวนี้มาจากรีพีทอะบิลิตี 0% และอีก 0 % มาจากรีโพรดิวซิเบิลิตี

2.2.6 การดำเนินการทดลองเครื่องจักรในงานวิจัย

ระบบการขับเคลื่อนใน Dual Exhausts Fume Chamber มีการคำนวณถึงความสามารถในการเคลื่อนที่เป็นแบบวงเกลียวได้ โดย ค่าจากการคำนวณในอุดมคติจากตารางที่ 1 นั้น จากการประกอบชุดงานและใช้ระบบเกียร์เข้าทดงาน เพื่อลดรอบและเพิ่มแรงขับหมุนงานนั้น ทำให้รอบจริงที่เกิดขึ้นมีช่วงพิกัดที่ลดลง แต่ยังคงสามารถใช้งานเชื่อมพอกผิวได้อย่างเหมาะสม จากการทดสอบจะได้ผลของการทดลองรวมดังรูปที่ 13 แสดงแผนการคำนวณที่ได้จากการวัดพารามิเตอร์จริง ที่หมุนได้รอบนั้น ผลประโยชน์จากการทดสอบ และเขียนเป็นตารางผลเฉลย จะทำให้การปรับตั้งระบบมีความง่ายต่อผู้ใช้งาน อีกทั้งยังทำซ้ำได้ดี รูปที่ 9 แสดงช่วงที่ระบบที่จัดสร้างขึ้นมาสามารถทำงานได้จริง



รูปที่ 13 แผนงานคำนวณที่ได้จากการวัดพารามิเตอร์จริง ที่หมุนได้รอบ



รูปที่ 14 ช่วงที่ระบบที่จัดสร้างขึ้นมาสามารถทำงานได้จริง

2.2.7 การออกแบบพารามิเตอร์ในการเชื่อม

งานวิจัยนี้ใช้กระบวนการเชื่อม GMAW เป็นกระบวนการศึกษาการเกิดควันละออง โดยเครื่องเชื่อม TIME Synegic เป็นเครื่องที่กำหนดให้ใช้ เพราะมีความเหมาะสมกับการเชื่อมแก๊สผสม โดยพารามิเตอร์ในการเชื่อมทดลองแสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 15 แสดงถึงรูปร่างแนวเชื่อมที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนกระแสในการเชื่อมที่ 80, 160 และ 240 แอมป์



รูปที่ 15 รูปร่างแนวเชื่อมที่ได้จากการเชื่อมด้วยกระแส 160 บนท่อเหล็กกล้าคาร์บอนความหนา 3.5 มิลลิเมตรด้วยลวดเชื่อม ER309 Dia 1.2 มิลลิเมตร แก๊สปกคลุม 10%CO₂+90%Ar

ตารางที่ 4 Welding Parameter Specification (WPS)

Welding Procedure Specification (WPS)

Process: GMAW

Filler Type: ER309 (AWS A5.9) Filler Size: 1.2 mm

Shielding: Varies>>>>>> 100% CO₂, 10% CO₂+90%Ar, 20% CO₂+80%Ar

Shielding Flow Rate: 17 LPM Gas Cup Size: 15 mm

Base Metal Spec: SS400 Pipe Dia 125 mm Sch 40
Thickness: 3.5 mm Welding Position: Flate

Weld Design: Weld Cladding

Surface Preparation: Solvent Clean

Welding Parameters:

Wire Feed Speed: 2.6, 5.2, 8.2 m/min

Current: 80, 160, 240 Amp

Arc Volt: 17.5, 19.5, 21.5 Volt

Travel Speed: 30 cm/min CTWD: 15 mm

2.2.8 การออกแบบวิธีการเก็บผลการทดลอง

รูปแบบการออกแบบการทดลองและการเก็บผลดังแสดงในตารางที่ 5 โดยจำนวนของสิ่งตัวอย่างในที่นี้เท่ากับ 2 เนื่องจากระบบมีการทำซ้ำได้ดี จึงทำให้การทดลองไม่ต้องสิ้นเปลืองใช้จำนวนสิ่งตัวอย่างที่มาก วิธีการในเมตริกซ์จะใช้การทดลองแบบสุ่มที่มีแบบแผน (Random) เพื่อให้ค่าการทดลองสามารถเฉลี่ยออกจากผลกระทบของการคงค้างต่างๆ

วิธีการวิเคราะห์หลักของงานวิจัยนี้ คือการชี้บ่งให้ได้ถึงระดับของควันละอองที่ยังคงฟุ้งกระจายอยู่ในบริเวณการเชื่อมหลังจากการอาร์กเสร็จจึลึ้นลง เนื่องจากผู้วิจัยมีประสบการณ์สังเกตเห็นการฟุ้งกระจายอยู่จากการเชื่อมเสร็จจึลึ้น และมีผู้ปฏิบัติงานเข้าตรวจสอบแนวเชื่อมในทันทีทันใด ซึ่งเป็นความเข้าใจที่ผิดของหลักการความปลอดภัยที่กระทำกันอยู่

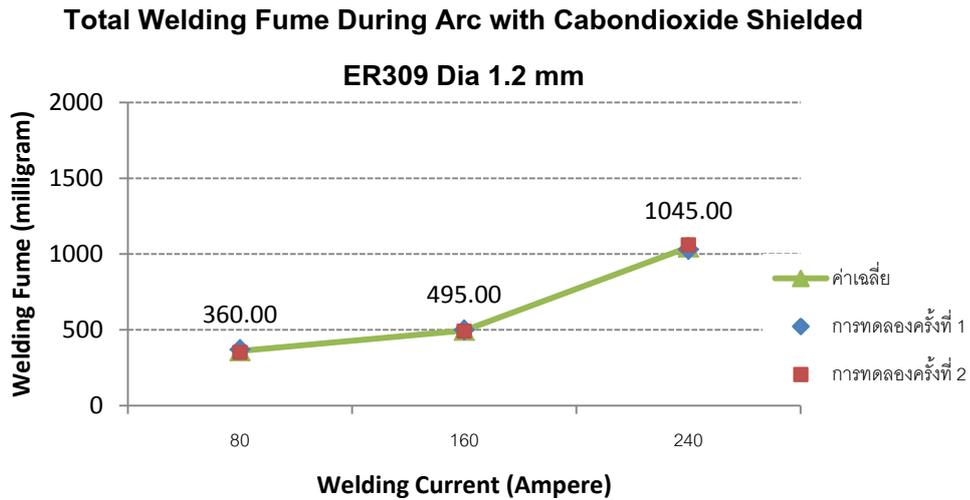
ตารางที่ 5 Matrix of Experiment

การเก็บตัวอย่างควันละอองระหว่างการเชื่อม					การเก็บตัวอย่างควันละอองที่หลงเหลือจากการหยุดอาร์ก			
Amp	ครั้งที่	น้ำหนัก ก่อนตรวจจับ	น้ำหนัก หลังตรวจจับ	ผลต่าง น้ำหนัก	Amp	น้ำหนักก่อนตรวจจับ	น้ำหนักหลังตรวจจับ	ผลต่าง น้ำหนัก
80	1				80			
	2							
			average					average
160	1				160			
	2							
			average					average
240	1				240			
	2							
			average					average

2.2.9 ผลการทดลอง

ผลของควันละอองโลหะจากการเชื่อมด้วยลวด ER309 ด้วยแก๊สปกคลุมคาร์บอนไดออกไซด์ (100% CO₂) ในระหว่างการเชื่อม และการหลงเหลืออยู่จากการเชื่อมตลอดเวลาในการเชื่อม แต่ทำการดูดเก็บควันละอองหลังจากหยุดอาร์ก แสดงดังรูปที่ 16, และ 17 ตามลำดับ วัตถุประสงค์ของวิธีการเลือกเก็บควันละอองที่หลงเหลืออยู่นี้ เพื่อชี้บ่งความเสี่ยงที่ผู้ตรวจสอบงานเชื่อม หรือผู้ที่เกี่ยวข้อง เข้าดูสภาพแนวเชื่อมทันทีหลังการเชื่อมหยุด ซึ่งถือเป็นสิ่งที่ยังไม่มีการตีพิมพ์พฤติกรรมดังกล่าว

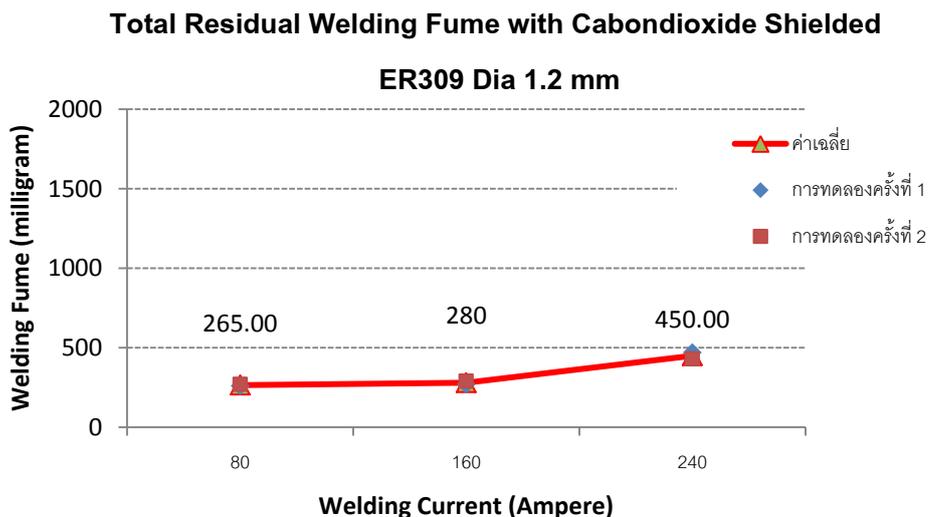
รูปที่ 16 แสดงให้เห็นว่ากระแสเชื่อมมีอิทธิพลในการเกิดควันละอองโลหะ โดยการเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมมีผลให้เกิดควันละอองเพิ่มตาม แต่พฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้นตลอดย่านการทดลองสังเกตได้ว่า การเกิดควันละอองในกระแส 80 แอมป์ จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 360 มิลลิกรัม จากการเชื่อมที่ 3 นาที และเพิ่มเป็น 495 มิลลิกรัม เมื่อใช้กระแสเชื่อม 160 แอมป์ และเกิดการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 240 แอมป์ โดยมีควันละอองเกิดขึ้นถึง 1045 กรัมหรือเพิ่มเป็น 2.9 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 80 แอมป์ และมากกว่า 2.11 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 160 แอมป์



รูปที่ 16 การเกิดควันละอองโลหะโดยรวมระหว่างการเชื่อมด้วยการเชื่อมพอกผิวอัตโนมัติ GMAW เป็นเวลา 3 นาที แก๊สปกคลุม 100% CO₂ โลหะป้อนเติม ER309 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร

รูปที่ 17 แสดงผลของควันละอองที่หลงเหลือในบริเวณการเชื่อม ซึ่งพบว่าปริมาณที่หลงเหลือจากมีอิทธิพลจากกระแสเชื่อมเช่นเดียวกัน โดยการเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมมีผลให้การตกค้างของควันละอองอยู่ในปริมาณที่มากกว่าการใช้กระแสเชื่อมต่ำ สังเกตได้ว่า การตกค้างอยู่ของควันละอองในกระแส 80 แอมป์ จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 260 มิลลิกรัม จากการเชื่อมที่ 3 นาที และเพิ่มเป็น 280 มิลลิกรัมเมื่อใช้กระแสเชื่อม 160 แอมป์ และเกิดการตกค้างในปริมาณที่มากกว่าจากการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 240 แอมป์ โดยมีควันละอองตกค้างอยู่ถึง 450 กรัมหรือเพิ่มเป็น 1.7 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 80 แอมป์ และมากกว่า 1.6 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 160 แอมป์

เปอร์เซ็นต์ของการตกค้างการฟุ้งกระจายของควันละอองโลหะในบริเวณการเชื่อมพอกผิวแบบอัตโนมัติ (ปริมาณตกค้าง/ปริมาณควันทั้งหมดจากการเชื่อม) ในกระแส 80, 160 และ 240 แอมป์ มีค่าเท่ากับ 74%, 57% และ 43% ตามลำดับ

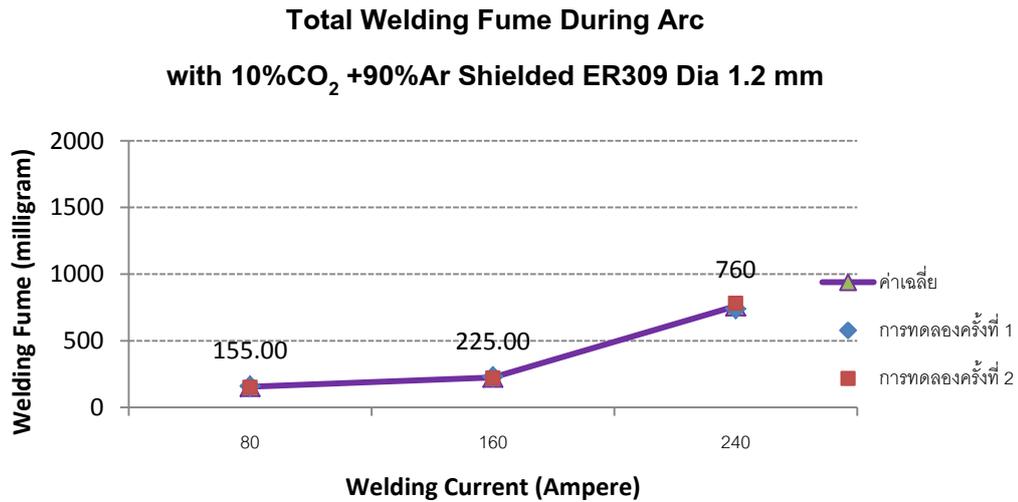


รูปที่ 17 การเกิดควันละอองโลหะโดยรวมที่หลงเหลือจากการเชื่อมพอกผิวอัตโนมัติ GMAW เป็นเวลา 3 นาที แก๊สปกคลุม 100% CO₂ โลหะป้อนเติม ER309 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร

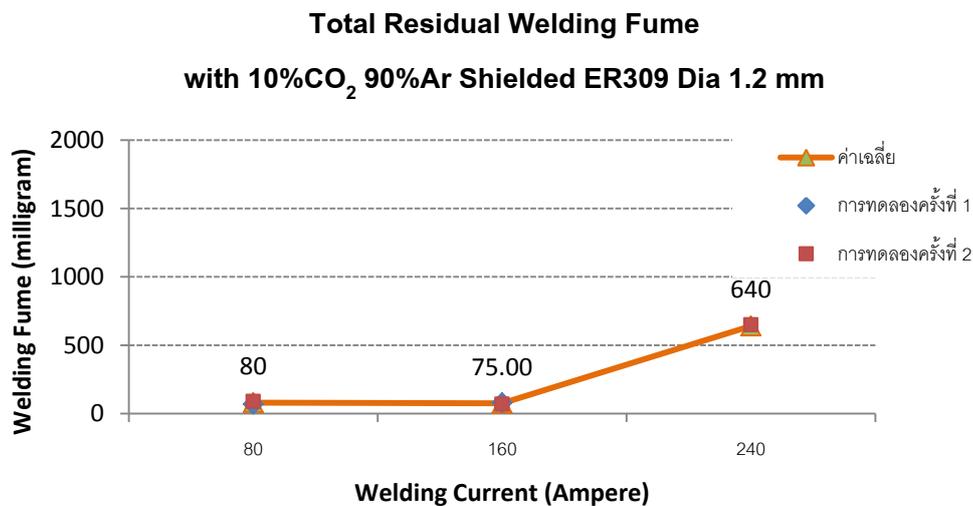
สำหรับการเชื่อมพอกผิวด้วยแก๊สผสมชนิด 10%CO₂+90%Ar ให้ผลการเกิดควันละอองโลหะดังรูปที่18 พบว่าแนวโน้มของกระแสเชื่อมมีอิทธิพลในการเกิดควันละอองโลหะให้ผลเช่นเดียวกันกับการเชื่อมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมมีผลให้การเกิดควันละอองเพิ่มตาม แต่ปริมาณควันละอองอยู่ในระดับที่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณต่ำกว่าการเชื่อมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การเกิดควันละอองในกระแส 80 แอมป์ จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 155 มิลลิกรัม จากการเชื่อมที่ 3 นาที และเพิ่มเป็น 225 มิลลิกรัม เมื่อใช้กระแสเชื่อม 160 แอมป์ และเกิดการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 240 แอมป์ โดยมีควันละอองเกิดขึ้นถึง 760 กรัมหรือเพิ่มเป็น 4.9 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 80 แอมป์ และมากกว่า 3.8 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 160 แอมป์

และผลของควันละอองที่หลงเหลือในบริเวณการเชื่อม แสดงดังรูปที่ 19 พบว่าปริมาณที่หลงเหลือจากมีอิทธิพลจากกระแสเชื่อมเช่นเดียวกัน โดยการเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมมีผลให้การตกค้างของควันละอองอยู่ในปริมาณที่มากกว่าการใช้กระแสเชื่อมต่ำ การตกค้างอยู่ของควันละอองในกระแส 80 แอมป์ จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 80 มิลลิกรัม จากการเชื่อมที่ 3 นาที และ 75 มิลลิกรัม เมื่อใช้กระแสเชื่อม 160 แอมป์ และเกิดการตกค้างในปริมาณที่มากกว่าการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 240 แอมป์ โดยมีควันละอองตกค้างอยู่ถึง 640 กรัมหรือเพิ่มเป็น 8 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 80 แอมป์ และมากกว่า 8.5 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 160 แอมป์

เปอร์เซ็นต์ของการตกค้างการฟุ้งกระจายของควันละอองโลหะในบริเวณการเชื่อมพอกผิวแบบอัตโนมัติ (ปริมาณตกค้าง/ปริมาณควันทั้งหมดจากการเชื่อม) ในกระแส 80, 160 และ 240 แอมป์ มีค่าเท่ากับ 52%, 33% และ 84% ตามลำดับ



รูปที่ 18 การเกิดควันละอองโลหะโดยรวมระหว่างการเชื่อมด้วยการเชื่อมพอกผิวอัตโนมัติ GMAW เป็นเวลา 3 นาที แก๊สปกคลุม 10% CO₂ +90%Ar โลหะป้อนเติม ER309 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร



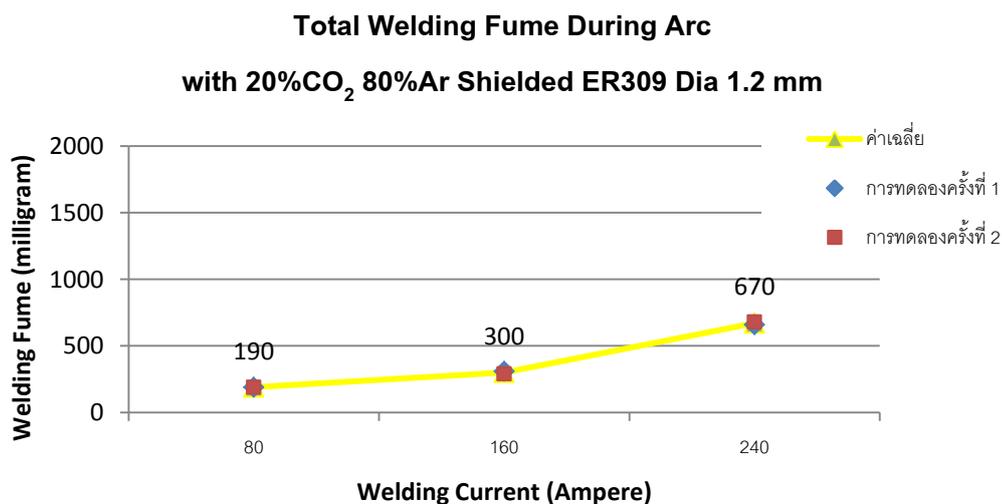
รูปที่ 19 การเกิดควันละอองโลหะโดยรวมที่หลงเหลือจากการเชื่อมพอกผิวอัตโนมัติ GMAW เป็นเวลา 3 นาที แก๊สปกคลุม 10% CO₂ +90%Ar โลหะป้อนเติม ER309 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร

และสำหรับการเชื่อมพอกผิวด้วยแก๊สผสมชนิด 20%CO₂+80%Ar ให้ผลการเกิดควันละอองโลหะดังรูปที่ 20 พบว่าแนวโน้มของกระแสเชื่อมมีอิทธิพลในการเกิดควันละอองโลหะให้ผลเช่นเดียวกันกับการเชื่อมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ 10%CO₂+90%Ar โดยการเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมมีผลให้การเกิดควันละอองเพิ่มตาม แต่ปริมาณควันละอองอยู่ในระดับที่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณต่ำกว่าการเชื่อมด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การเกิดควันละอองในกระแส 80 แอมป์ จะมี

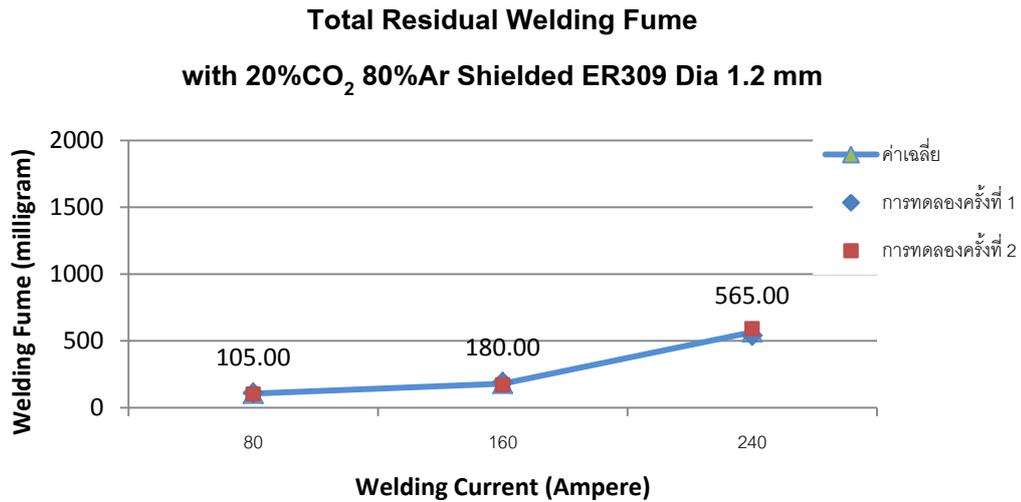
น้ำหนักอยู่ที่ 190 มิลลิกรัม จากการเชื่อมที่ 3 นาที และเพิ่มเป็น 300 มิลลิกรัม เมื่อใช้กระแสเชื่อม 160 แอมป์ และเกิดการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 240 แอมป์ โดยมีควันละอองเกิดขึ้นถึง 670 กรัมหรือเพิ่มเป็น 4.9 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 80 แอมป์ และมากกว่า 3.8 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 160 แอมป์

เปอร์เซ็นต์ของการตกค้างการฟุ้งกระจายของควันละอองโลหะในบริเวณการเชื่อมพอกผิวแบบอัตโนมัติ (ปริมาณตกค้าง/ปริมาณควันทั้งหมดจากการเชื่อม) ในกระแส 80, 160 และ 240 แอมป์ มีค่าเท่ากับ 55%, 60% และ 84% ตามลำดับ

ผลของควันละอองที่หลงเหลือในบริเวณการเชื่อม แสดงดังรูปที่ 21 พบว่าปริมาณที่หลงเหลือจากมีอิทธิพลจากกระแสเชื่อมเช่นเดียวกัน โดยการเพิ่มขึ้นของกระแสเชื่อมมีผลให้การตกค้างของควันละอองอยู่ในปริมาณที่มากกว่าการใช้กระแสเชื่อมต่ำ การตกค้างอยู่ของควันละอองในกระแส 80 แอมป์ จะมีน้ำหนักอยู่ที่ 105 มิลลิกรัม จากการเชื่อมที่ 3 นาที และ 180 มิลลิกรัม เมื่อใช้กระแสเชื่อม 160 แอมป์ และเกิดการตกค้างในปริมาณที่มากกว่าจากการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 240 แอมป์ โดยมีควันละอองตกค้างอยู่ถึง 565 กรัมหรือเพิ่มเป็น 5.38 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 80 แอมป์ และมากกว่า 3.12 เท่าเมื่อเทียบกับกระแส 160 แอมป์



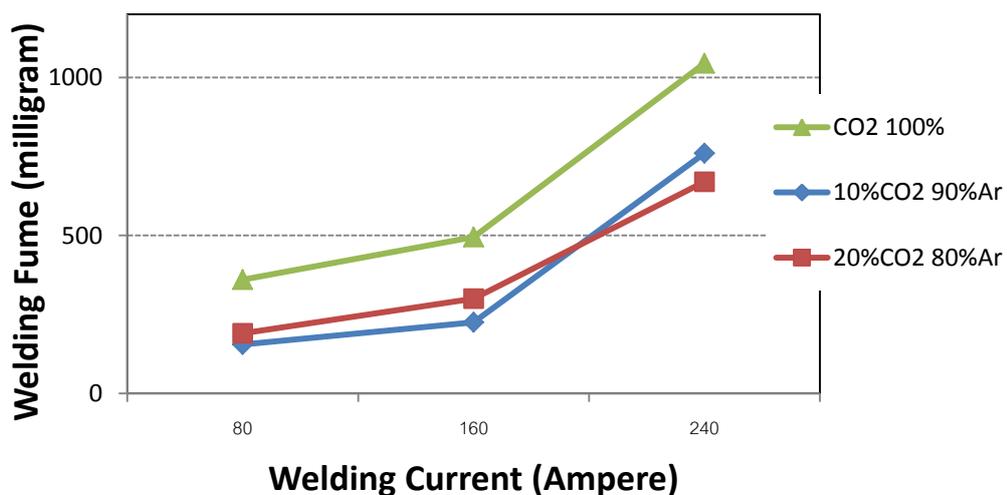
รูปที่ 20 การเกิดควันละอองโลหะโดยรวมระหว่างการเชื่อมด้วยการเชื่อมพอกผิวอัตโนมัติ GMAW เป็นเวลา 3 นาที แก๊สปกคลุม 20% CO₂ +80%Ar โลหะป้อนเติม ER309 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 21 การเกิดควันละอองโลหะโดยรวมที่หลงเหลือจากการเชื่อมพอกผิวอัตโนมัติ GMAW เป็นเวลา 3 นาที แก๊สปกคลุม 20% CO₂ +80%Ar โลหะป้อนเติม ER309 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร

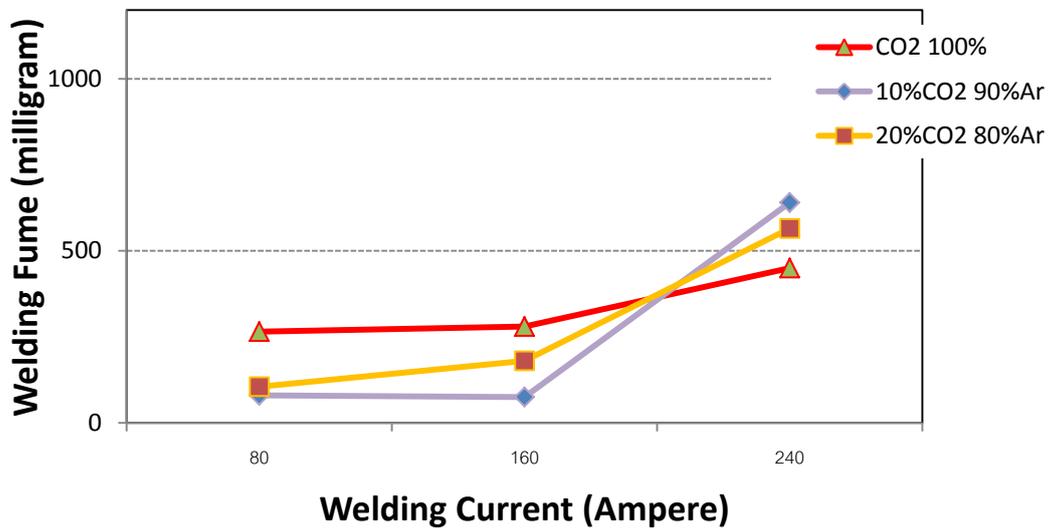
อิทธิพลของกระแสเชื่อม และชนิดของแก๊สปกคลุมในการเชื่อมมีผลกระทบต่อปริมาณควันละอองโลหะทั้ง การเก็บตัวอย่างตลอดเวลาการเชื่อม เพื่อชี้บ่งควันที่เกิดขึ้นทั้งหมด และการเก็บตัวอย่างควันละอองที่ตกค้าง หรือฟุ้งกระจายในบริเวณเชื่อม เพื่อชี้บ่งความเสี่ยงของการเข้าตรวจสอบทันที แสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 22 และ 23 ตามลำดับ

Differential of Total Welding Fume During Arc with Various Shielded Compositions ER309 Dia 1.2 mm



รูปที่ 22 อิทธิพลการเกิดควันละอองโลหะโดยรวมระหว่างการเชื่อมด้วยการเชื่อมพอกผิวอัตโนมัติ GMAW เป็นเวลา 3 นาที ที่ขึ้นกับกระแสเชื่อมและแก๊สต่างชนิด โลหะป้อนเติม ER309 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร

Difference of Total Residual Welding Fume with with Various Shielded Compositions ER309 Dia 1.2 mm



รูปที่ 23 อิทธิพลการเกิดควันละอองโลหะโดยรวมที่หลงเหลือจากการเชื่อมพอกผิวอัตโนมัติ GMAW เป็นเวลา 3 นาที ที่ขึ้นกับกระแสเชื่อมและแก๊สต่างชนิด โลหะป้อนเติม ER309 เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบนัยยะสำคัญทางสถิติด้วยระดับ นัยยะสำคัญ 0.05 แบบ Two-ways ANOVA แสดงผลของการเกิดควันละอองโดยรวมจากอิทธิพลของกระแสเชื่อม และชนิดของแก๊สปกคลุม และระดับการตกค้างของควันละอองโลหะ ดังตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ ผลการคำนวณผ่าน EXCEL 2007 พบว่าผลของกระแสเชื่อมให้ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ แต่อิทธิพลของชนิดของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมนั้น ไม่มีผลความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยการพิจารณาจากรูปที่ 22 และ 23 จะสังเกตได้ว่า ผลของการใช้แก๊สผสม ระหว่าง 10%CO₂+90%Ar และ 20%CO₂+80%Ar จะให้ผลที่คราบเกี่ยวกัน แต่ในส่วนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้น จะมีผลการเกิดควันละอองในอีกช่วงระดับที่สูงกว่า สำหรับการตกค้างของควันละอองที่ทำการเก็บข้อมูลหลังจากการเชื่อมเสร็จสิ้นลง จะพบว่ากระแสเชื่อมจะยังคงมีอิทธิพลของการฟุ้งกระจายอยู่ (แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ) แต่การตกค้าง (ฟุ้งกระจาย) จากอิทธิพลของแก๊สปกคลุมจะเกิดการคราบเกี่ยวกัน (ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ)

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อชี้แจงความแตกต่างของระดับการเกิดควันละอองรวม ที่มีผลของความแตกต่างจากระดับกระแสเชื่อม และชนิดของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม ด้วยระดับนัยยะสำคัญ 0.05

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	3	450	150	10075
Row 2	3	535	178.3333	10508.33
Row 3	3	1655	551.6667	9158.333
Column 1	3	995	331.6667	10558.33
Column 2	3	795	265	105475
Column 3	3	850	283.3333	60908.33

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	301516.7	2	150758.3	11.5156	0.021897	6.9442719
Columns	7116.667	2	3558.333	0.271801	0.775031	6.9442719
Error	52366.67	4	13091.67			
Total	361000	8				

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อชี้แจงความแตกต่างของระดับการเกิดควันละอองตกค้าง ที่มีผลของความแตกต่างจากระดับกระแสเชื่อม และชนิดของแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม ด้วยระดับนัยยะสำคัญ 0.05

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
Row 1	3	255	85	100
Row 2	3	485	161.6667	2358.333
Row 3	3	820	273.3333	77658.33
Column 1	3	905	301.6667	68133.33
Column 2	3	345	115	1425
Column 3	3	310	103.3333	308.3333

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	53816.667	2	26908.33	1.252764	0.378055	6.944272
Columns	74316.667	2	37158.33	1.729971	0.287507	6.944272
Error	85916.667	4	21479.17			
Total	214050	8				

2.3 ข้อวิจารณ์ผลการทดลอง

ความสอดคล้องของงานวิจัยนี้ กับทฤษฎีทางการเชื่อมที่มีปรากฏการณ์การถ่ายโอนน้ำโลหะนี้ ผู้วิจัยพบว่ามีความสอดคล้องกัน ซึ่งสามารถอธิบายผลของการเกิดปริมาณควันละอองโลหะที่เกิดขึ้นในทุกสภาวะการทดลองได้อย่างชัดเจน ดังต่อไปนี้

- แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ [20] เป็นแก๊สปฏิกิริยาและผลของการสันดาปจากความร้อนจะไวต่อการแตกตัวแล้วเกิดความร้อนในการแยก Carbonmonoxide และออกซิเจน ซึ่งให้ความร้อนปริมาณมากพอที่จะทำให้ชิ้นงาน และลวดเชื่อมระเหยเป็นไอโลหะ และปฏิกิริยาการจับตัวกลับ (Recombination) ให้ผลการคลายความร้อนแบบ Exothermic Heating ที่มาก ทำให้เกิดความร้อนซ้ำส่งเสริมให้โลหะเกิดควันละออง
- แก๊สอาร์กอน (Argon: Ar) เป็นแก๊สเฉื่อยที่หน่วงการเกิดปฏิกิริยาต่างในบรรยากาศ ทำให้ผลของการใช้ปกคลุมแนวเชื่อม จะทำให้การเกิดควันละอองน้อยลง แต่ในเชิงปฏิบัตินั้น การปกคลุมแนวเชื่อมเฉพาะแก๊สอาร์กอน จะทำให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมด้อยลง เพราะสร้างความหนืดให้กับการถ่ายโอนลงสู่แนวเชื่อม ดังนั้นการผสมคาร์บอนไดออกไซด์ลงในแก๊สอาร์กอน เพื่อเพิ่มความสามารถในการถ่ายโอนจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการผลิต
- แก๊สผสมระหว่าง อาร์กอนและคาร์บอนไดออกไซด์ จะให้คุณภาพการถ่ายโอนที่ดี ความเสถียรของการอาร์กิตี และผลของการเกิดควันละอองโลหะ จะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในทุกๆกระแสเชื่อม การเลือกใช้สัดส่วนการผสมจะให้ผลที่ไม่แตกต่างในเชิงปริมาณควันละอองโลหะ แต่ในเชิงการผลิตนั้น การผสมคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากเกินไปจนความจำเป็น จะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดพลาสมาไม่เสถียรในกรณีใช้กระแสเชื่อมที่สูงสำหรับลวดป้อนเติมขนาดผ่านศูนย์กลาง 1.2 มิลลิเมตร กระแสมากกว่า 200 แอมแปร์ เป็นกระแสที่ให้ความรุนแรงการอาร์กในระดับสูง (ให้การถ่ายโอนแบบ Spray Transfer) การแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีผลให้อัตราการเกิดควันละอองโลหะมีค่าที่สูงมากขึ้น ดังนั้นการผสมคาร์บอนไดออกไซด์ในสัดส่วนที่ 10-15% ลงในแก๊สอาร์กอน จะให้ผลที่ดีในทั้งการเชื่อมที่ดี และการควบคุมระดับควันละอองจากการเชื่อมที่ต่ำ
- กรณีการฟุ้งกระจาย หรือควันละอองที่หลงเหลือภายหลังการเชื่อมเสร็จสิ้น จากผลการทดลองจะพบว่า มีระดับที่เกิดควันละอองอยู่สูงถึง 74% ของควันละอองทั้งหมดที่ได้จากเวลาเชื่อม 3 นาที ในการเชื่อมคาร์บอนไดออกไซด์ 100% ที่กระแสเชื่อม 80 แอมป์ และสูงสุดถึง 84% ในการเชื่อมกระแส 240 แอมป์ ของทั้งการเชื่อมด้วย 10%CO₂+90%Ar และ 20%CO₂+80%Ar
- จากปริมาณของควันละอองที่ดักจับได้หลังการเชื่อมเสร็จสิ้น (ควันที่หลงเหลือ) ในแก๊สผสมที่มีปริมาณมากกว่า คาร์บอนไดออกไซด์นั้น สามารถอธิบายได้ด้วย การเชื่อมคาร์บอนไดออกไซด์ จะเกิดสะเก็ดเชื่อม (Spatter) หรืออนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าการใช้แก๊สผสม จึงทำให้อนุภาคที่ฟุ้งกระจายนั้นมีน้ำหนักมาก จึงล่องลอยได้ง่าย หรือการฟุ้งกระจายต่อเวลามีค่าน้อย แตกต่างจากควันละอองรวมที่ได้จากการเชื่อมแก๊สผสมที่มีอนุภาคละเอียดน้ำหนักเบา สามารถลอยอยู่ในอากาศได้นาน และแรงดันอากาศที่ได้จากการเชื่อม หรือความร้อนในการเชื่อมแบบอัตโนมัติที่ยาวนาน มีผลให้เกิดความร้อนที่ยกให้อนุภาคขนาดเล็กลอยตัวได้นาน จึงทำให้ปริมาณที่หลงเหลือในบริเวณการเชื่อมมีค่ามาก

- ซึ่งพฤติกรรมของการหลงเหลือของควันละอองโลหะในบริเวณการเชื่อมนี้ เป็นสิ่งที่ต้องชี้แจง หรือ พิจารณาถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานที่มีความคุ้นเคยกับการปฏิบัติงานเชื่อมอัตโนมัติ มักจะผ่อนคลาย หรือไม่ใส่ใจในการป้องกันควันละอองที่หลงเหลืออยู่ แต่มักจะใส่ใจในเนื้องานที่จะเกิดขึ้น ทันทีทันใดหลังการอาร์กเสร็จสิ้น ทำให้เกิดการสูดดม อนุภาคโลหะขนาดเล็กเข้าสู่สมในร่างกายโดยไม่รู้ตัว
- ในสายการผลิตงานเชื่อมโดยทั่วไป จะทำการต่อวงจรการดูดควันละอองให้ทำงานสัมพันธ์กับ เครื่องเชื่อม มีวงจรไฟฟ้าของงานเชื่อมทำงาน ระบบดูดควันจะทำงานตาม และจะหยุดพร้อมกัน ซึ่งมีความเสี่ยงที่ควันละอองจะหลงเหลืออยู่ในระบบ

2.4 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยด้านการพัฒนาระบบการจัดเก็บอัตราการเกิดควันละอองโลหะสำหรับ กระบวนการพอกผิวต้านทานการกัดกร่อนบนวัสดุ Nickel-Chromium Alloy ในกระบวนการเชื่อมอาร์ค โลหะแบบแก๊สปกคลุม มีผลการดำเนินงานที่เสร็จสิ้นตามวัตถุประสงค์ของข้อเสนอโครงการ ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงาน และผลการทดลองได้ดังนี้

1 ผลของการจัดสร้างระบบการจัดเก็บควันละอองโลหะ Dual Exhausts ที่เป็นการสร้างเทคโนโลยีใช้เอง ในประเทศ ให้ผลระบบการเชื่อมแบบอัตโนมัติแบบ GMAW ได้สำเร็จ โดยมีข้อมูลเชิงเทคนิคดังนี้

- Chamber เก็บตัวอย่างออกแบบเป็นรูปทรงกระบอกนอน
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 778 มิลลิเมตร
- ความยาว 1228 มิลลิเมตร
- ปริมาตรจุ 583.78 ลิตร (0.58378 ลูกบาศก์เมตร)
- ส่วนเปลือกถัง มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน
- ส่วนฝาถัง มีความหนา 6 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุแผ่นโพลีคาร์บอเนต
- ระยะพิทการเชื่อมพอกสั้นสุดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ระยะพิทยาวสุดเท่ากับ 40 มิลลิเมตร
- การดูดควันละอองด้วย โบลเวอร์ขนาด 3 แรงม้า ความเร็วรอบ 1240 rpm ขนาดปากดูด 305 มิลลิเมตร ใบพัดเหล็กแบบใบตรงสามารถดูดอากาศผ่านผ้ากรองได้ที่แรงดันตกคร่อม 3.67 นิ้วน้ำ ซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐาน AWS F1.2-92

2 การพัฒนาเทคโนโลยีการวิจัยควันละอองจากกระบวนการทางความร้อน สำหรับงานวิจัยนี้สามารถผลิต อุปกรณ์ตามกล่าวไว้ในข้อที่ 2.4.1 โดยเป็นข้อได้เปรียบทางการควบคุมพารามิเตอร์ในงานเชื่อมที่มีความสามารถในการทำซ้ำได้ดี อีกทั้งเครื่องจักรที่ผลิตได้นั้นมีความง่ายกว่าการทำงานแบบเดิมที่ใช้ ศึกษาวิจัยอยู่

3 ผลของการเกิดควันละอองที่ขึ้นพารามิเตอร์ในการเชื่อมสามารถสรุปได้ดังนี้

- การใช้กระแสเชื่อมสูงขึ้นทำให้ปริมาณควันละอองโลหะเพิ่มขึ้น
 - แก๊สปกคลุมคาร์บอนไดออกไซด์ ให้ปริมาณควันละอองรวมแบบการจัดเก็บระหว่างการเชื่อมสูงสุดที่ การเชื่อม 240 แอมป์ เท่ากับ 1045 มิลลิกรัม จากการเชื่อม 3 นาที
 - ในการทดลองการตกค้างของควันละอองในบริเวณการเชื่อมอับอากาศ ด้วยการดูดเก็บควันหลังจาก อาร์กหยุด, การเชื่อมด้วย 10%CO₂+90%Ar และ 20%CO₂+80%Ar ที่กระแสเชื่อม 240 แอมป์ มี ปริมาณควันละอองหลงเหลือในระบบถึง 84% จากสัดส่วนที่หลงเหลือต่อปริมาณทั้งหมดระหว่าง เชื่อม
- ผลการทดลองเชิงตัวเลขแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดลองควันละอองโลหะตามระดับกระแสและชนิดแก๊สปกคลุม

CO ₂ 100%				
Welding Current (Amp)	WF Arc (milligram)	During (milligram)	Residual (milligram)	%WF ที่หลงเหลือ
80	360.00		265.00	74%
160	495.00		280.00	57%
240	1045.00		450.00	43%
10%CO ₂ +90%Ar				
Welding Current (Amp)	WF Arc (milligram)	During (milligram)	Residual (milligram)	%WF ที่หลงเหลือ
80	155.00		80.00	52%
160	225.00		75.00	33%
240	760.00		640.00	84%
20%CO ₂ 80%Ar				
Welding Current (Amp)	WF Arc (milligram)	During (milligram)	Residual (milligram)	%WF ที่หลงเหลือ
80	190.00		105.00	55%
160	300.00		180.00	60%
240	670.00		565.00	84%

4 ข้อเสนอแนะทางความปลอดภัย

- ระบบดูดอากาศ หรือป้องกันการฟุ้งกระจายเป็นสิ่งจำเป็นในการทำงานเชื่อม แม้ระบบอัตโนมัติจะไม่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ในระหว่างทำงาน แต่จะเกิดการฟุ้งกระจายอยู่รอบด้าน
- ความเสี่ยงของการไม่เข้าใจในการฟุ้งกระจาย ที่หลงเหลือจากการเชื่อมเสร็จสิ้น จะทำให้ช่างผู้ควบคุมระบบเชื่อม หรือผู้ตรวจสอบงานเชื่อม มีการสูดดมจากการตรวจสอบงานเชื่อม

วิธีการความปลอดภัยที่เหมาะสม คือการควบคุมการดูดอากาศที่เพียงพอตลอดเวลา หรือมีขั้นตอนปฏิบัติงานที่เหมาะสมกับการหลงเหลือของควันในบรรยากาศ

5 ข้อเสนอแนะ

- 1) การวิจัยทางด้านการออกแบบวิธีการเชื่อมจากระบบต้นแบบการเชื่อมพอกผิวแบบเกลียวนั้น จะทำให้สามารถออกแบบ Texture ของพื้นผิวที่จะเชื่อมลงบนวัสดุปกติได้
- 2) การวิจัยด้านควันละอองจากกระบวนการอื่น ที่เป็นรูปแบบอัตโนมัติจะสามารถต่อยอดจากอุปกรณ์ต้นแบบได้
- 3) การวิจัยทางความรุนแรงของรังสีอาร์กเป็นหัวเรื่อง ด้านอาชีพะอนามัย ที่ต้องวิจัย และส่งเสริมผลออกสู่ภาคอุตสาหกรรม