ระบบการจัดเก็บควันละอองโลหะแบบสองทางเดิน (Dual Exhaust)

1. การดำเนินการสร้างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างควันละอองโลหะ

วิธีการดำเดินการสร้างอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างควันละอองโลหะจากกระบวนการเชื่อมพอกผิวนั้น มีรูปแบบดังนี้

1.1 โครงสร้างของห้องเก็บตัวอย่างมีความแข็งแรง สามารถทำงานได้ง่ายและมีความยืดหยุ่นให้สามารถพัฒนาร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆเพื่อการศึกษาวิจัยในอนาคตได้

1.2 เพื่อให้เกิดความสามารถในการทำซ้ำของการทดลอง อุปกรณ์ป้อนขับและควบคุมจึงจำเป็นต้องออกแบบให้สามารถควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติได้

1.3 ระบบการดักควันละอองโลหะจากการเชื่อม ต้องสอดคล้องตาม AWS F1.2

1.4 ระบบการจัดเก็บควันละอองโลหะ เป็นแบบ Dual Exhaust (สองท่อดูด) เพื่อใช้คัดแยกควันละอองที่

1.5 เกิดขึ้นต่างเวลาได้ และให้มีความได้เปรียบเชิงการวิจัยพัฒนาจากหน่วยวิจัยอื่น โดยระบบการวัดควันละอองจะมีส่วนพิสูจน์ความสามารถในการวัด หรือ Measurement System Analysis (MSA) เพื่อทำการคัดแยกความผันแปรจากแหล่งต่างๆในการวัด และความผันแปรของกระบวนการวิจัย อีกทั้งยังสามารถระบุได้ถึงความไวในการตรวจจับของระบบการวัด ในงานวิจัยนี้ได้

2. การดำเนินงานทดลองวิจัยอัตราการเกิดควันละอองโลหะจากกระบวนการเชื่อมพอกผิว

2.1 การหาช่วงตัวแปรที่เชื่อมได้สำหรับการเชื่อมพอกผิว เพื่อให้สภาวะการเชื่อมทดลองมีความเหมือนกันกับการทำงานจริง จึงจำเป็นต้องทดลองหาช่วงตัวแปรในการเชื่อมที่จะส่งผลต่อคุณภาพในงานเชื่อมพอกผิว

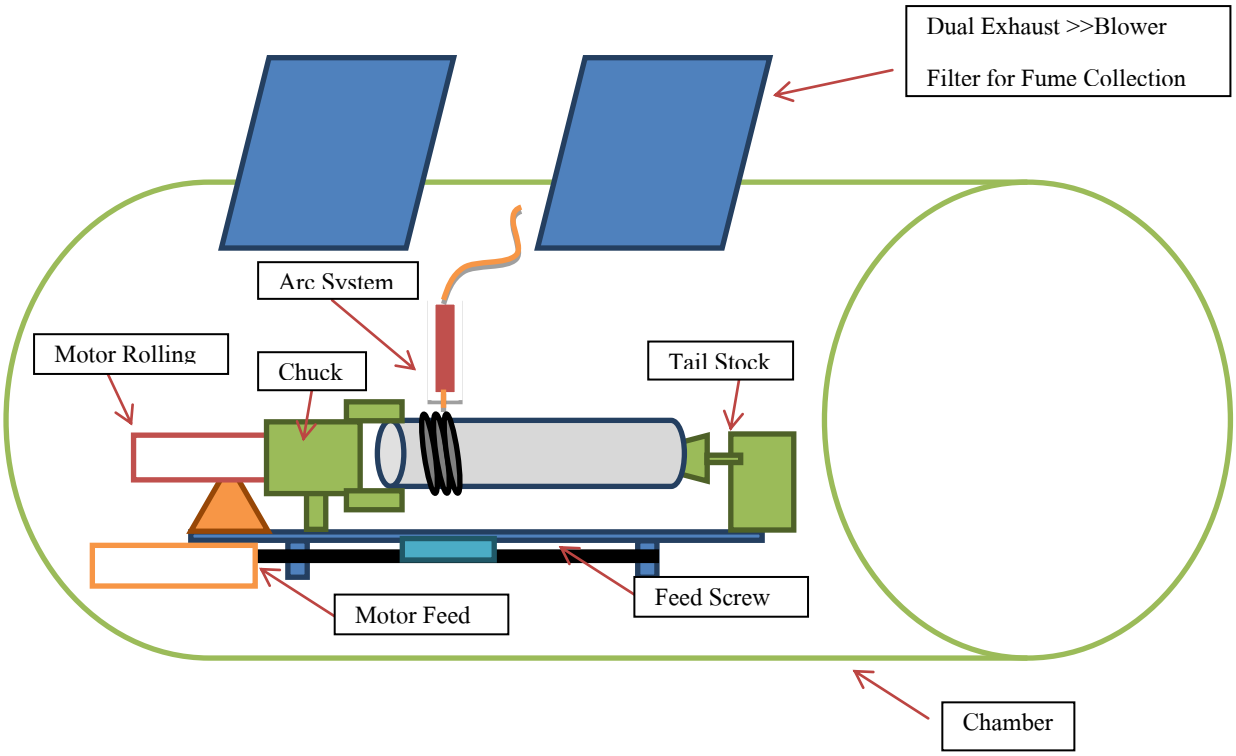
2.2 การดำเนินงานวิจัยทดลอง ประกอบด้วย

- อัตราการเกิดควันละอองโลหะโดยรวม จากผลกระทบของตัวแปรจากการเชื่อม
- ความแตกต่างระหว่างปริมาณควันละอองโลหะที่เกิดระหว่างการเชื่อมและปริมาณที่หลงเหลือหลังการอาร์กสิ้นสุดลง

2.3 การวิจารณ์ผลการวิจัย

2.4 สรุปผลการทดลอง

3. โครงสร้างห้องเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 1หลักการของ Dual Exhausts Fume Chamber

ส่วนประกอบหลักแสดงดังรูปที่ 1

ในส่วนของ Chamber เก็บตัวอย่างออกแบบเป็นรูปทรงกระบอกนอน

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 778มิลลิเมตร
- ความยาว 1228 มิลลิเมตร
- ปริมาตรจุ 583.78 ลิตร
- ส่วนเปลือกถัง มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน
- ส่วนฝาถัง มีความหนา 6 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุแผ่นโพลีคาร์บอเนต
- น้ำหนักโดยรวม 80 กิโลกรัม

รูปที่ 2 แสดงถึง Chamber ที่ผ่านการขึ้นรูปมาด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนหนา มิลลิเมตร โดยจะมีการเตรียมช่องสำหรับถอดประกอบชิ้นงานตัวอย่างเชื่อมขนาด 300x500มิลลิเมตร และช่องสำหรับสองท่อดูด (Dual Exhaust) ขนาดท่อละ 257x257มิลลิเมตร

แนวทางในการเจาะท่อดูดจะอยู่ในแนวอ้างอิงที่1นาฬิกา ซึ่งมีความพยายามให้รูปแบบการดูดควันละอองให้ใกล้กับแนวดิ่ง(12 นาฬิกา) มากที่สุดเพราะว่าธรรมชาติของควันจะลอยขึ้นไปในแนวดิ่งเสมอ

รูปที่ 2 Chamber ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว

4. ระบบควบคุมและระบบขับป้อนงาน

ในส่วนของระบบขับป้อนจะมีหลักการคือ การใช้สกรูส่งกำลังขับผ่านโต๊ะงาน และใช้ความเร็วในการหมุนจากการหมุนของหัวจับ โดยรายละเอียดการคำนวณมีดังนี้

เมื่อ M_1 = มอเตอร์ตัวหมุนชิ้นงาน

M_2= มอเตอร์ตัวขับ Feed Screw

P_1 = ระยะพิตของแนวเชื่อม

P_2 = ระยะพิตของ Feed Screw

rpm_1 = ความเร็วรอบของชิ้นงาน

rpm_2 = ความเร็วรอบของ Feed Screw

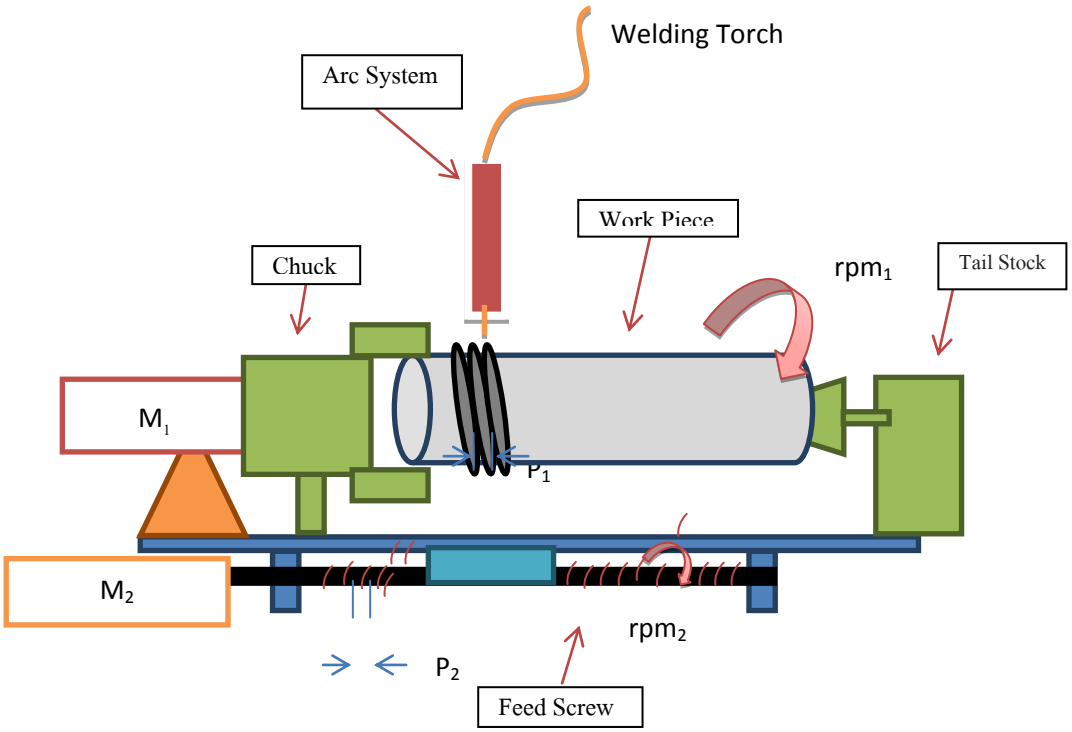
เลือกสกรูที่ใช้ส่งกำลังตามมาตรฐาน ISO ขนาด TR20x4 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย,dm = 18mm. กำหนดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับสกรูเหล็กและแป้นเกลียวเหล็ก,fs = 0.17 มุมของเกลียวที่วัดในระนาบตั้งฉากกับเกลียว ,ϕ= 30/2 = 15°มุมนำเกลียว

$$\alpha = tan^{-1}\left(\frac{\text{ระยะนำเกลียว}}{\pi dm}\right) = 4.05^{o}$$

จากสมการโมเมนต์บิดในการหมุนยกโหลด

$$TR = \frac{W.dm}{2}\left[\frac{(fs + cos\emptyset tan\alpha)}{(cos\emptyset - fs.tan\alpha)}\right]$$

ที่ W=50 kg แทนค่าจะได้ TR = 1.1 Nm.อัตราทด 1:180 ที่ 1800 rpm จะได้ความเร็วรอบของสกรูส่งกำลัง 10 rpm ดังนั้น แรงบิดของมอเตอร์(T)= TR/อัตราทด = 0.0063 *Nm* เพราะฉะนั้นจะได้กำลังของมอเตอร์ P = 2πnTP = 1.2 W ดังนั้นเลือกซื้อมอเตอร์ที่ใช้ขับสกรูส่งกำลัง (M_2)เท่ากับ *36 w* จึงมีสามารถใช้งานได้



รูปที่ 3 ระบบเคลื่อนที่ต่างๆ

การเลือกความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้ขับท่อหมุนและสกรูส่งกำลัง

จากรูป การหมุนของ M_1ที่ความเร็วรอบ rpm_1และมีขนาดชิ้นงาน d การหมุน 1 รอบจะทำให้แนวเชื่อมเคลื่อนที่ไปด้วยระยะ L_1

$$L_1 = \pi d \qquad (1)$$

เมื่อ M_2เป็นตัวขับเคลื่อนในแนวแกนเชิงเส้นตรง ระยะทางเคลื่อนที่ของโต๊ะงานเมื่อสกรูส่งกำลังเคลื่อนที่ 1 รอบ จะเท่ากับระยะพิต หรือ P_2หาก M_2หมุนด้วยความเร็ว rpm_2จะเคลื่อนที่ได้ด้วยระยะ L_2เท่ากับ

$$L_2 = P_2 x\ rpm_2 \qquad (2)$$

ในส่วนของระยะพิตของศูนย์กลางแนวเชื่อม หรือ P_1จะขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่าง rpm_1, rpm_2, P_2หรือเป็นสัดส่วนของความเร็วรอบ

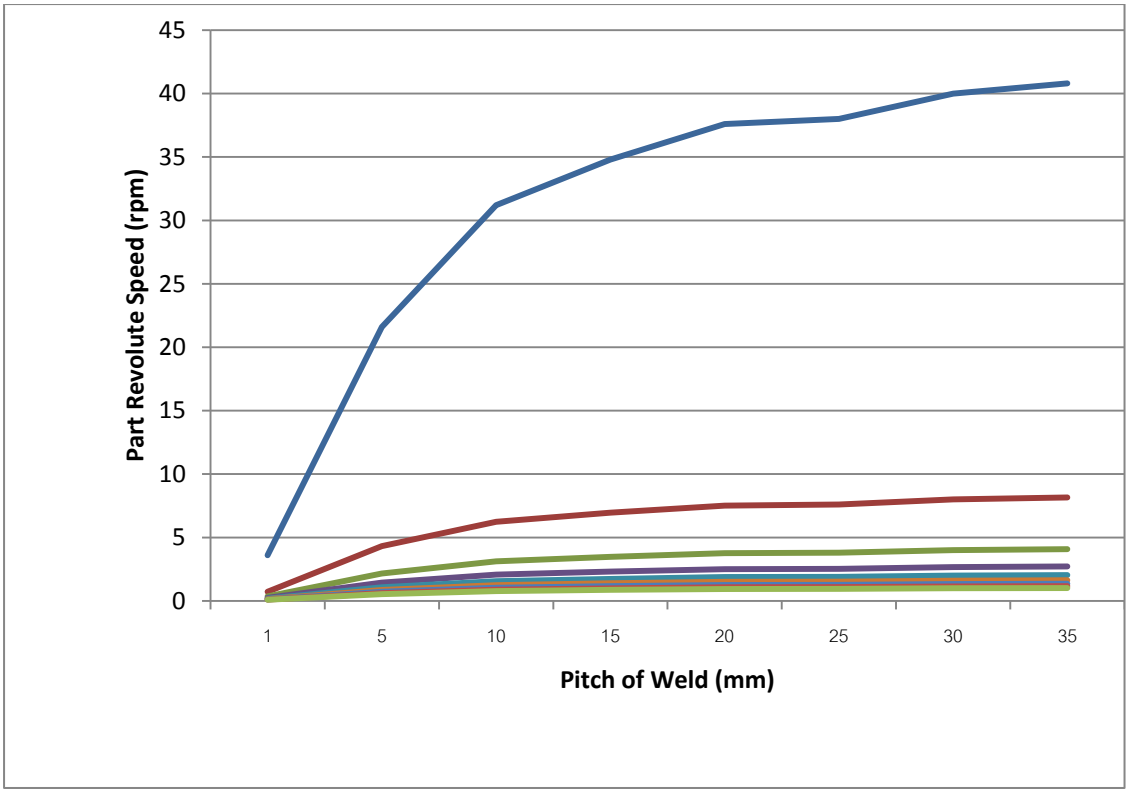
$$\frac{rpm_1}{rpm_2} = \frac{P_2}{P_1} \qquad (3)$$

ความเร็วในการเดินแนวจะสูงที่สุดเมื่อเชื่อมด้วยกระแสสูง จนออกมาเป็นโหมดสเปรย์ซึ่งจะมีความเร็วในการเดินแนวอยู่ที่ประมาณ 635 mm/min และชิ้นงานท่อที่นำมาเชื่อมพอกผิวนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 mm. (4”) จากสมการที่ (1) เมื่อมีการหมุน 1 รอบจะทำให้ได้แนวเชื่อม 320 mm. ดังนั้นถ้าความเร็วในการเดินแนวสูงสุดชิ้นงานจะต้องหมุนไป 2 รอบ และจากสมการที่ (2) และ (3) ที่ระยะพิตของสกรูส่งกำลัง 4 mm. ระยะพิตของแนวเชื่อม 20 mm. และความเร็วในการหมุนชิ้นงาน 2 rpm แล้ว จากสมการที่ (3) จะได้รอบของสกรูส่งกำลังเท่ากับ 10 rpm ซึ่งมอเตอร์ที่เลือกมาคือ มอเตอร์ DC ขนาด 24 โวลต์ 36 วัตต์ 1800 rpm เกียทด 1:180 rpm ที่ได้ท้ายเกีย 10 rpm จึงสามารถใช้งานได้

จากหลักในการทดสอบการหมุนของชิ้นงานเชื่อม จะสามารถสร้างตารางความสัมพันธ์ได้ดังตารางที่ 1 และเพื่อการใช้งานที่สะดวก จะถูกออกแบบความเร็วและอัตราทดเพื่อให้ได้ระยะห่างระหว่างแนวเชื่อมดังรูปที่ 4

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 4 ผลตอบสนองของความเร็วรอบงานในอุดมคติ

รูปที่ 5 แสดงการประกอบระบบป้อนขับงาน ซึ่งมีน้ำหนักโดยรวม 25กิโลกรัม ความเร็วในการป้อนขับต่ำสุด 288มิลลิเมตร/นาที ความเร็วสูงสุด 1152 มิลลิเมตร/นาที

รูปที่ 5 ระบบป้อนขับงานที่กำลังดำเนินการประกอบ –ติดตั้ง

ซึ่งระบบป้อนขับนี้มีความสามารถในการจับชิ้นงานท่อเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด 127 มิลลิเมตร และความยาวของงานมากที่สุด 400 มิลลิเมตร

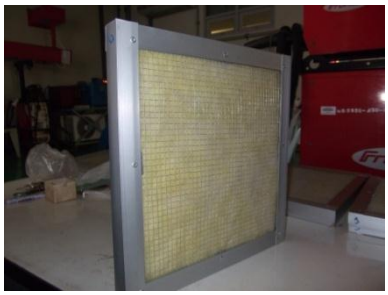
5. ระบบการจัดเก็บสิ่งตัวอย่างควันละอองโลหะ

ในระบบการจัดเก็บสิ่งตัวอย่างสำหรับงานวิจัยนี้ มีความประสงค์ในการควบคุมพารามิเตอร์สำหรับจัดเก็บสิ่งตัวอย่างตาม AWS F1.2-92 เพื่อให้วิธีการวิจัยเป็นมาตรฐานและสามารถนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบผลจากกลุ่มวิจัยอื่นได้ โดยมีส่วนประกอบต่างๆประกอบด้วย

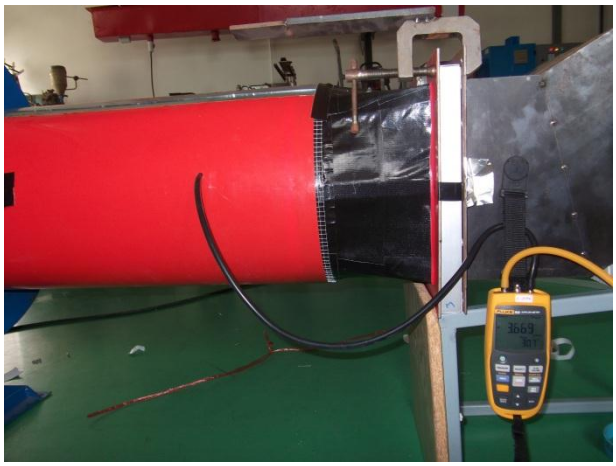
1) Filter : ต้องเป็นใยแก้วหรือเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 305 มิลลิเมตร มีความหนาแน่น 4.03±0.8 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และต้องมีความหนา 13±3 มิลลิเมตร ASTM C800-89
2) Air Pump : ต้องมีความสามารถในการดูดไม่ต่ำกว่า 709-989 ลิตร/นาที และสามารถสร้างแรงดันตกคร่อมได้ 3-5 นิ้วน้ำ
3) เครื่องชั่ง : ต้องมีความไวในการวัดที่ 0.01 มิลลิเมตร
4) เตาอบ : ต้องสามารถอบ Filter เพื่อไล่ความชื้นก่อนนำไปเก็บสิ่งตัวอย่างได้ที่อุณหภูมิ93-107 C°

จากส่วนประกอบที่ต้องการตามมาตรฐานการเก็บสิ่งตัวอย่าง ผู้วิจัยได้จัดหาอุปกรณ์และสร้างระบบตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจัดหาอุปกรณ์ในงานวิจัย และ Specification ของอุปกรณ์

ลำดับที่	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. Density = 16 kg/m^3 
2	Air Pump	Sampling Rate 709-989 l/min ΔP = 3-5 inches of H_2O	Sampling Rate over 709-989 l/min ΔP = 3.67 inches of H_2O
3	เครื่องชั่ง	Sensitivity = 0.01 mm.	G&G JJ1000 Sensitivity = 0.01 mm.
4	เตาอบ	สามารถทำอุณภูมิได้ที่ 93-107 C°	สามารถทำอุณภูมิได้ที่ 93-107 C°

สำหรับ Air Pump หรือโบลเวอร์ที่ใช้ดูดควันละอองโลหะเข้าสู่ผ้ากรอง (Filter) จะต้องมีกำลังดูดเพียงพอให้ควันละอองลอยจากบริเวณอาร์คเข้าสู่ผ้ากรองได้ โดยการมีส่วนของผ้ากรองดักการไหลของลมในท่อดูดจะทำให้แรงดันสถิตที่โบล์เวอร์ผลิตได้ลดลง จึงจำเป็นต้องทำการทดลองหาสัมประสิทธิ์ของผ้ากรองที่ทำให้แรงดันตกคร่อม (Pressure Drop) เปลี่ยนแปลง จึงได้ทำการจำลองการไหลของอากาศ ดังการทดลองในรูปที่ 6ด้วยท่อดูดขนาด 300 มิลลิเมตร ยาว 1000 มิลลิเมตร แบะมีผ้ากรองที่ใช้ในงานวิจัยติดตั้งขวางการไหล โบล์เวอร์ขนาด 3 แรงม้า ความเร็วรอบ 1240 rpm ขนาดปากดูด 305 มิลลิเมตร ใบพัดเหล็กแบบใบตรงสามารถดูดอากาศผ่านผ้ากรองได้ที่แรงดันตกคร่อม 3.67นิ้วน้ำ ซึ่งสอดคล้องตามมาตรฐานAWS F1.2-92

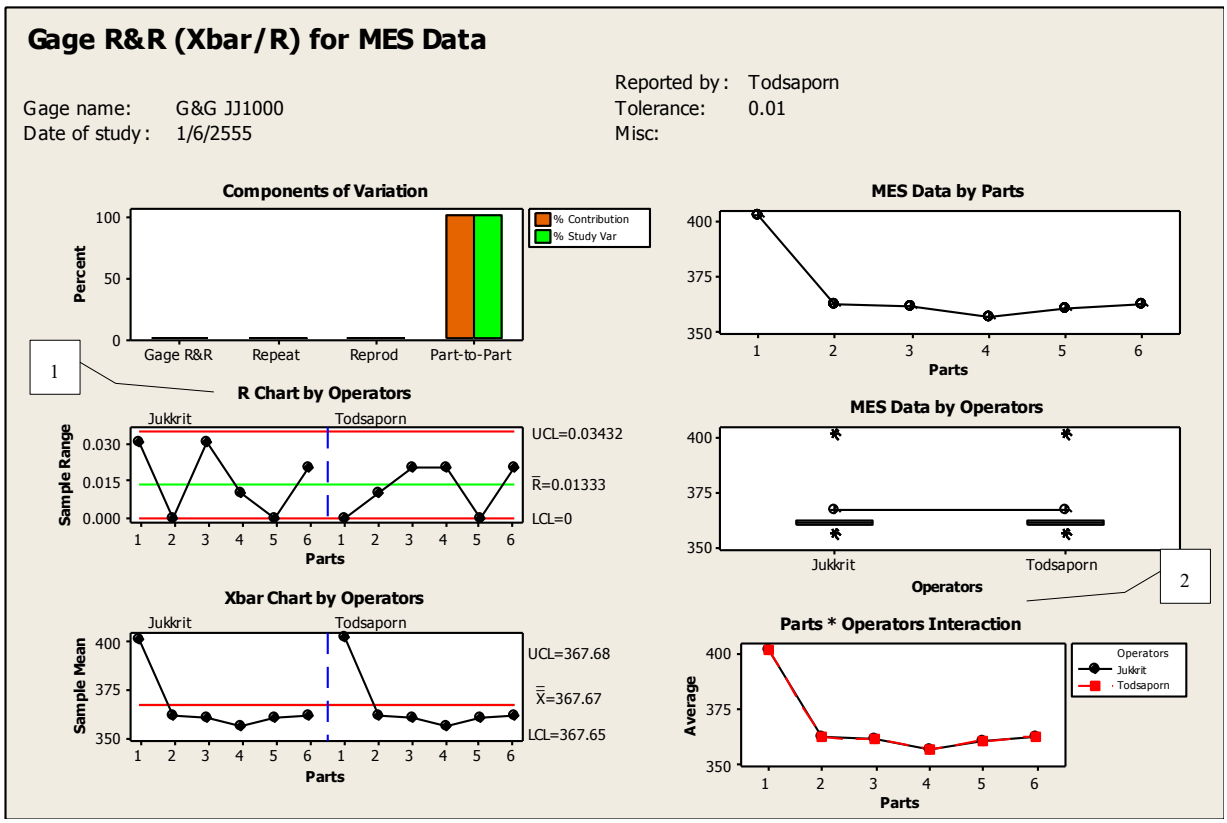


รูปที่ 6 แสดงการทดลองหาแรงดันตกคร่อมกับโบล์เวอร์ขนาด 3 แรงม้า

การเชื่อมต่อการดูดควันละอองจาก Chamber เข้าสู่โบล์เวอร์ใช้ท่ออ่อนอลูมิเนียมขนาด 300 มิลลิเมตร ยาว 2,300 มิลลิเมตร ในการเชื่อมต่อระบบ เพื่อให้ระบบมีน้ำหนักเบาและมีความยืดหยุ่นในการติดตั้งกว่าการใช้ท่อเหล็ก

6. การวิเคราะห์ระบบการวัดควันละอองโลหะ

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



รูปที่ 7 แสดงผลจากโปรแกรม 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:

Source	VarComp	%Contribution (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 พบว่าค่าพิสัยอยู่ภายในพิกัดควบคุมแสดงว่าค่าที่วัดได้จากระบบการวัดมีความสม่ำเสมอดี

2. อิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานวัดโดยพิจารณาว่ากราฟที่พล็อตซึ่งแสดงถึงค่าวัดชิ้นงานที่วัดโดยพนักงานแต่ละคนไม่ตัดกัน จึงสามารถใช้ X-Bar-R ในการวิเคราะห์ได้ หรือกล่าวได้ว่า แม้การเปลี่ยนตัวชิ้นงานไป จะไม่เกิดผลทางการวัดที่ขึ้นกับผู้ทำการวัด

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

4. ค่า “StdDev” แสดงความแปรผันจากสิ่งตัวอย่างทดลองโดยค่าประมาณที่ประมาณได้จากค่าพิสัย ในที่นี้พบว่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ทดลองทั้งมีค่า **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 แล้วจะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของ**กระบวนการผลิต 100 กรัม** และ**เป็นความผันแปรจากกระบวนการวัด 0.64 กรัม (0.64%)** โดยแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุ**รีพีททะบิลิตี้ 0.05 กรัม** และความผันแปรจากสาเหตุ**รีโปรดิวซะบิลิตี้0.04 กรัม**

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

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

ในที่นี้**ความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 289.704 กรัม^2** ซึ่งมาจาก**ความแปรปรวนของกระบวนการผลิต 289.704 กรัม^2** และ**ความแปรปรวนของกระบวนการวัด 0 กรัม^2** (มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับกระบวนการผลิต)

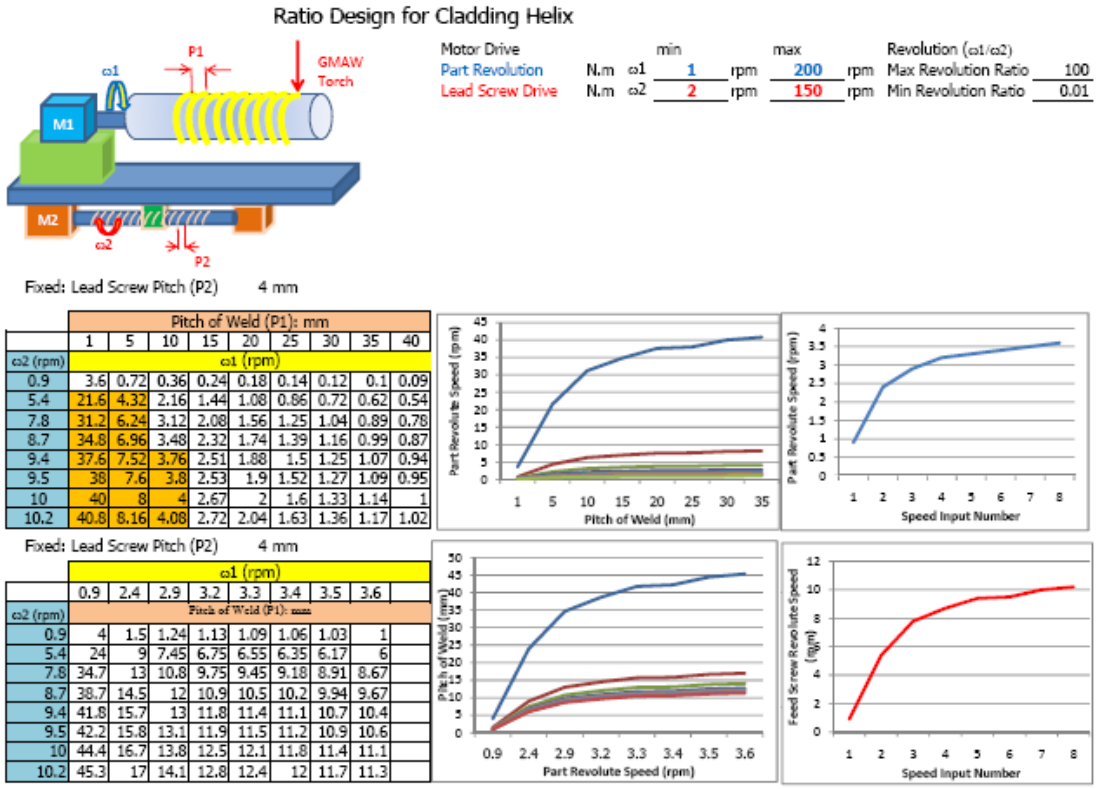
จากความหมายของความแปรปรวนที่มีค่าสูง ในงานวิจัยนี้ขออธิบายถึงการไม่ส่งผลกระทบของผลงานวิจัย เนื่องจากความแปรปรวนที่ได้มาจากการวัดบนอุปกรณ์ดักจับควันละออง ที่ได้จากการประดิษฐ์ขึ้นเฉพาะงานนี้ จะมีความผันแปรในน้ำหนักที่มาก เนื่องจากเป็นการยากในการควบคุมเรื่องน้ำหนักจากการประกอบอุปกรณ์ แต่ชุดอุปกรณ์ดักจับควันละอองในงานวิจัยนี้ จัดทำไว้ทั้งหมด 6 ชุด ประกอบด้วยควันละอองระหว่างเชื่อม 3 ชุด และควันละอองจากการหยุดอาร์ก 3 ชุด และจะใช้อย่างเป็นระบบ ดังนั้นจะสามารถจำแนกเรื่องของระดับความผันแปรในผลงานวิจัยได้

8. ค่า “% Contribution” แสดงถึงความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่ส่งผล ต่อความผันแปรโดยรวม เมื่อทำการเทียบกับค่าร้อยละ หรือ % ซึ่งในที่นี้พบว่าถ้าความแปรปรวนทั้งหมดคือ 100 กรัม^2 จะเป็นความแปรปรวนที่มีผลมาจากกระบวนการผลิต 100% และจากกระบวนการวัด 0% โดยความผันแปรดังกล่าวนี้มาจากรีพีททะบิริตี้ 0% และอีก 0 % มาจากรีโปรดิวซิบิลิตี้

การดำเนินการทดลองเครื่องจักรในงานวิจัย

ระบบการขับป้อนใน Dual Exhausts Fume Chamber มีการคำนวณถึงความสามารถในการเคลื่อนที่เป็นแบบวงเกลียวได้ โดย ค่าจากการคำนวณในอุดมคติจากตารางที่ 1 นั้น จากการประกอบชุดงานและใช้ระบบเกียร์เข้าทดงาน เพื่อลดรอบและเพิ่มแรงขับหมุนงานนั้น ทำให้รอบจริงที่เกิดขึ้นมีช่วงพิกัดที่ลดลง แต่ยังคงสามารถใช้ในงานเชื่อมพอกผิวได้อย่างเหมาะสม จากการทดสอบจะได้ผลของการทดลองรวมดังรูปที่ 8 แสดงแผ่นการคำนวณที่ได้จากการวัดพารามิเตอร์จริง ที่หมุนได้รอยนั้น ผลประโยชน์จากการทดสอบ และเขียนเป็นตารางผลเฉลย จะทำให้การปรับตั้งระบบมีความงายต่อผู้ใช้งาน อีกทั้งยังทำซ้ำได้ดี รูปที่ 9 แสดงช่วงที่

ระบบที่จัดสร้างขึ้นมาสามารถทำงานได้จริง

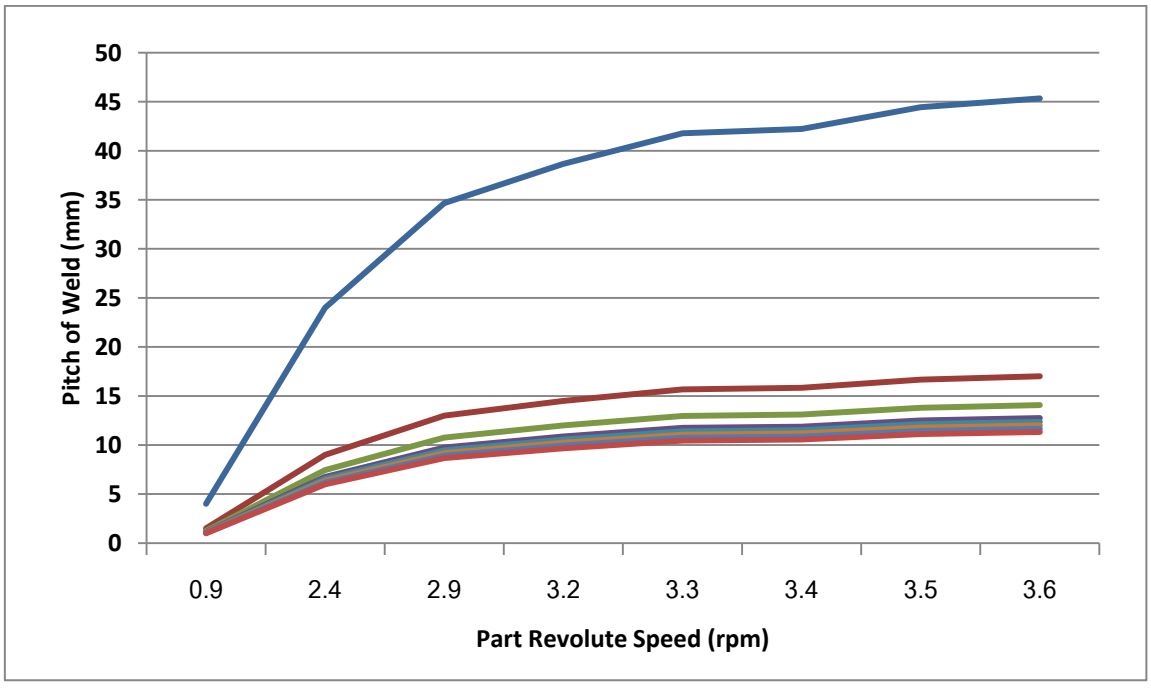


	Pitch of Weld (P1): mm								
	1	5	10	15	20	25	30	35	40
ω2 (rpm)	ω1 (rpm)								
0.9	3.6	0.72	0.36	0.24	0.18	0.14	0.12	0.1	0.09
5.4	21.6	4.32	2.16	1.44	1.08	0.86	0.72	0.62	0.54
7.8	31.2	6.24	3.12	2.08	1.56	1.25	1.04	0.89	0.78
8.7	34.8	6.96	3.48	2.32	1.74	1.39	1.16	0.99	0.87
9.4	37.6	7.52	3.76	2.51	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

Fixed: Lead Screw Pitch (P2) 4 mm

	ω1 (rpm)							
	0.9	2.4	2.9	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
ω2 (rpm)	Pitch of Weld (P1): mm							
0.9	4	1.5	1.24	1.13	1.09	1.06	1.03	1
5.4	24	9	7.45	6.75	6.55	6.35	6.17	6
7.8	34.7	13	10.8	9.75	9.45	9.18	8.91	8.67
8.7	38.7	14.5	12	10.9	10.5	10.2	9.94	9.67
9.4	41.8	15.7	13	11.8	11.4	11.1	10.7	10.4
9.5	42.2	15.8	13.1	11.9	11.5	11.2	10.9	10.6
10	44.4	16.7	13.8	12.5	12.1	11.8	11.4	11.1
10.2	45.3	17	14.1	12.8	12.4	12	11.7	11.3

รูปที่ 8 แผ่นงานคำนวณที่ได้จากการวัดพารามิเตอร์จริง ที่หมุนได้รอบ



รูปที่ 9 ช่วงที่ระบบที่จัดสร้างขึ้นมาสามารถทำงานได้จริง