

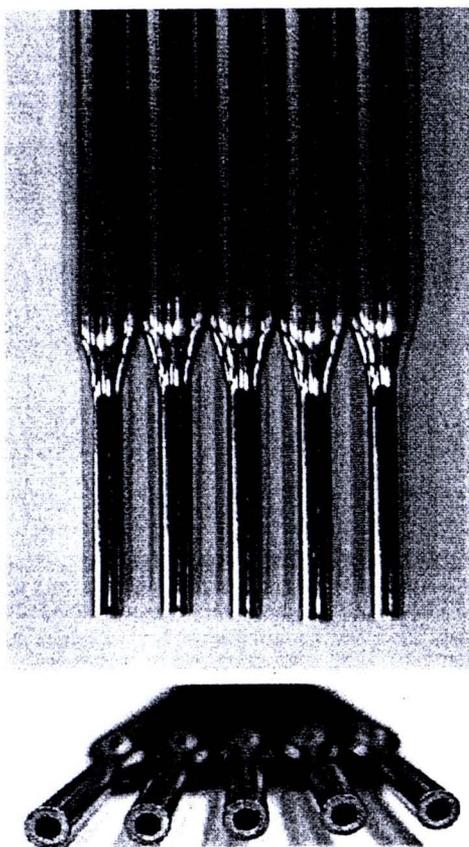
บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

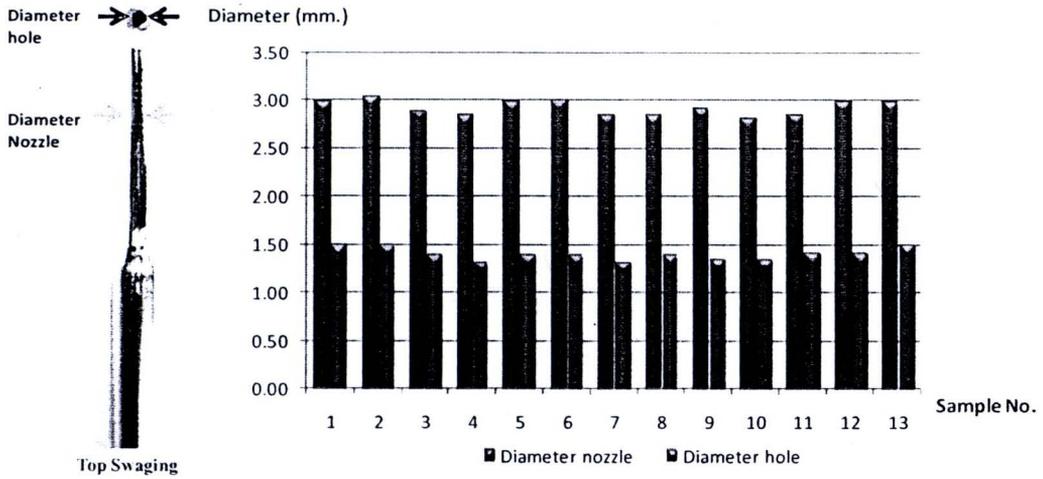
ผลจากการทำชิ้นงานตัวอย่างและผลจากการทดสอบทางความร้อนต่อความร้อนรวมถึง การศึกษาและเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อใช้ในการตัดสินใจในการปรับปรุง เครื่องจักร ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

4.1 ผลของการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างและการตั้งค่าอุปกรณ์ต่างๆ

ในการทำชิ้นงานตัวอย่างจะมีการควบคุมขนาดรูการเดิมสารทำงานอยู่ ซึ่งใช้วิธีสุ่มมาจากกลุ่ม ชิ้นงานตัวอย่างจริง จำนวน 30 ชิ้น โดยควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 1.3 ± 0.2 มิลลิเมตร ตามที่กำหนดในตัวแปรการทดสอบ ซึ่งค่าที่ควบคุมกำหนดจากการสุ่มวัดค่าที่เหมาะสมจากการ ผลิตจริงแบบเชิงปริมาณ ดังรูปที่ 4.2

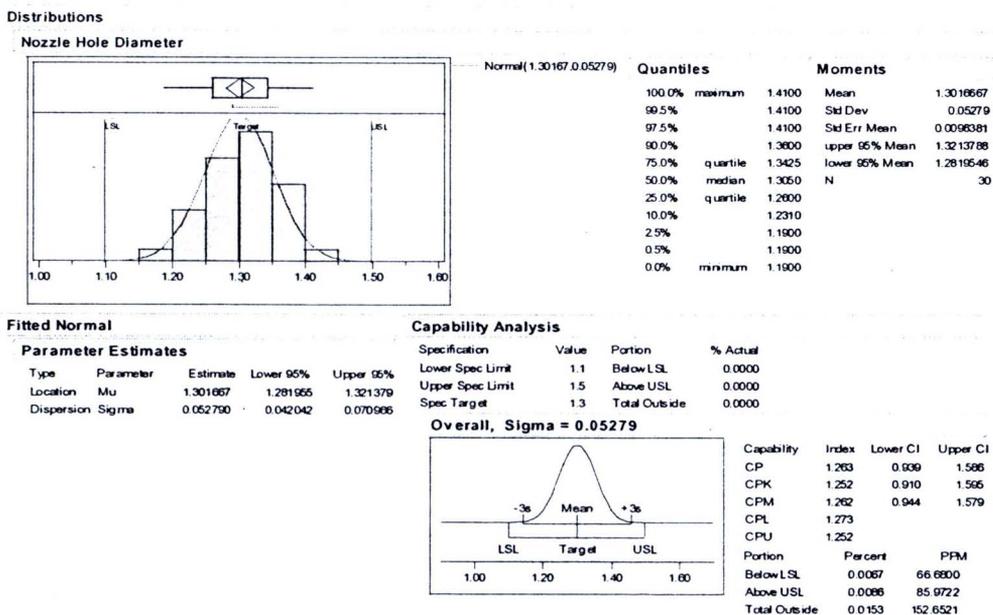


รูปที่ 4.1 ลักษณะของปลายท่อที่ลดรูป (รูปบน) และขนาดรูเดิมสารทำงาน (รูปล่าง)



รูปที่ 4.2 ข้อมูลของขนาดรูเดิมสารจากการสุ่มจำนวน 13 ชิ้นในการผลิตจริงแบบเชิงปริมาณ

จากการวัดสุ่มเบื้องต้นนี้พบว่าค่าเฉลี่ยของขนาดรูเดิมสารมีค่าเท่ากับ 1.39 มิลลิเมตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.028 เมื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนแบบ 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะทำให้ค่าควบคุมอยู่ที่ 1.309 มิลลิเมตร ถึง 1.476 มิลลิเมตร หากแต่ในการผลิตจริงยอมรับค่าความคลาดเคลื่อนได้มากกว่านั้น รวมถึงใช้อุปกรณ์ตรวจสอบเป็นเกจแบบเข็ม (Pin gauge) ที่ค่า 1.1-1.5 มิลลิเมตร ในสายการผลิตจริง ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่าควบคุมขนาดรูเดิมสารที่ 1.3 ± 0.2 มิลลิเมตร ตามสายการผลิตจริง ซึ่งผลของการสุ่มวัดขนาดรูเดิมสารทำงานของชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้น เป็นดังรูป 4.3



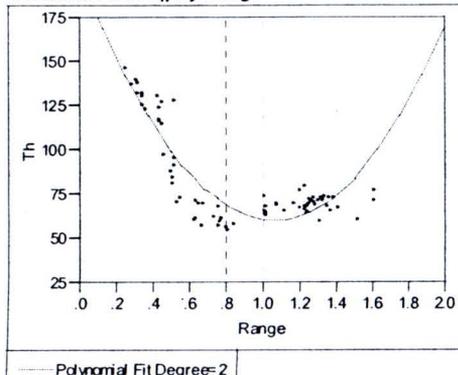
รูปที่ 4.3 ข้อมูลของขนาดรูเดิมสารจากการสุ่มจำนวน 30 ชิ้นในการผลิตชิ้นงานตัวอย่าง

พบว่าผลที่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนดทั้งหมด มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 1.19 มิลลิเมตร และค่าสูงสุดอยู่ที่ 1.41 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.30 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.05279 เมื่อพิจารณาความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ที่ค่า 1.252 แม้ไม่ถึงเกณฑ์มาตรฐานที่ค่า 1.33 แต่การสุ่มวัดนี้มีจุดประสงค์ในการยืนยันผลของตัวแปรที่มีต่อการเดิมสารทำงาน โดยมีได้มุ่งเน้นในการปรับปรุงกระบวนการลดขนาดท่อ (Top swaging) แต่อย่างไรก็ตาม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้สามารถผ่านไปยังกระบวนการถัดไปได้

นอกจากนั้นการทำชิ้นงานตัวอย่างตามแผนงานจะมีทั้งแบบท่อกลมและแบบท่ออัดแบนซึ่งค่าน้ำที่เหมาะสมไม่เท่ากัน ดังนั้นการทำชิ้นงานตัวอย่างจำเป็นต้องหาค่าน้ำที่เหมาะสมของแต่ละแบบแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อพิจารณาเลือกช่วงปริมาณสารทำงานที่เหมาะสมเพียงช่วงเดียวเพื่อทำชิ้นงานตัวอย่างจริงต่อไป โดยจะทำชิ้นงานตัวอย่าง 100 ชิ้นแบบกลมตรง โดยเติมน้ำดีไอออไนซ์ปริมาณการเติมอยู่ในช่วง 0.20-1.60 มิลลิลิตร และทำการทดสอบด้วยฮีตเตอร์ที่กำลังความร้อนสูงสุดตามแผนงานที่ 35 วัตต์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารทำงานและความต้านทานทางความร้อนระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น (R_{e-c}) และ ระหว่างจุดฮีตเตอร์ถึงจุดควบแน่น (R_{h-c}) รวมถึงอุณหภูมิฮีตเตอร์ด้วย ซึ่งผลแสดงในรูปที่ 4.4

หลังจากนั้นจะทำการทาบแบนที่ความหนา 1.9 ± 0.1 มิลลิเมตร และทำการทดสอบซ้ำด้วยฮีตเตอร์ที่กำลังความร้อนสูงสุดตามแผนงานที่ 35 วัตต์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารทำงานและความต้านทานทางความร้อนระหว่างจุดทำระเหยถึงจุดควบแน่น (R_{e-c}) และ ระหว่างจุดฮีตเตอร์ถึงจุดควบแน่น (R_{h-c}) รวมถึงอุณหภูมิฮีตเตอร์ด้วย ซึ่งผลแสดงในรูปที่ 4.5

จากผลการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารทำงานและความต้านทานทางความร้อนหรือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารทำงานและอุณหภูมิฮีตเตอร์จะมีลักษณะเป็นพหุนามกำลังสอง (Quadratic polynomial) โดยการพิจารณาช่วงของปริมาณสารทำงานที่เหมาะสมจะพิจารณาช่วงของปริมาณสารทำงานที่ให้ค่าความต้านทานความร้อนหรืออุณหภูมิฮีตเตอร์ต่ำสุดซึ่งเมื่อพิจารณา ผลของความสัมพันธ์แบบท่อกลมค่าปริมาณสารทำงานที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 0.9 ± 0.1 มิลลิลิตร โดยจะให้ค่าอุณหภูมิของฮีตเตอร์ที่ต่ำสุดอยู่ในช่วง $55-75$ °C และค่า R_{e-c} อยู่ในช่วง $0.06-0.11$ °C/W และ ค่า R_{h-c} อยู่ในช่วง $0.3-0.7$ °C/W ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าแนะนำที่บริษัทกำหนดไว้ในการผลิตจริง 1.0 °C/W ถือว่าค่อนข้างดี และถ้าพิจารณาผลของความสัมพันธ์แบบท่อแบนค่าปริมาณสารทำงานที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 0.8 ± 0.1 มิลลิลิตร โดยจะให้ค่าอุณหภูมิฮีตเตอร์ที่ต่ำสุดอยู่ในช่วง $65-77$ °C และค่า R_{e-c} อยู่ในช่วง $0.01-0.10$ °C/W และ ค่า R_{h-c} อยู่ในช่วง $0.45-0.92$ °C/W ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าแนะนำที่บริษัทกำหนดไว้ในการผลิตจริง 1.0 °C/W ถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

Bivariate Fit of T_h By Range

Polynomial Fit Degree=2

$$T_h = 102.2019 - 42.858816 \text{ Range} + 124.07829 (\text{Range} - 0.89102)^2$$

Summary of Fit

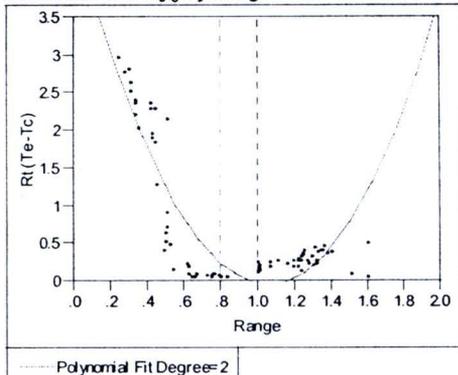
RSquare	0.79886
RSquare Adj	0.793635
Root Mean Square Error	11.78868
Mean of Response	82.93551
Observations (or Sum Wgts)	80

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	42500.346	21250.2	152.9086
Error	77	10700.922	139.0	Prob > F
C. Total	79	53201.268		<.0001

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	102.2019	3.848707	26.55	<.0001
Range	-42.85882	3.388764	-12.65	<.0001
(Range-0.89102)^2	124.07829	11.38981	10.89	<.0001

Bivariate Fit of R_{e-c} By Range

Polynomial Fit Degree=2

$$R_e-c = 1.3664129 - 1.4387473 \text{ Range} + 4.1954004 (\text{Range} - 0.89102)^2$$

Summary of Fit

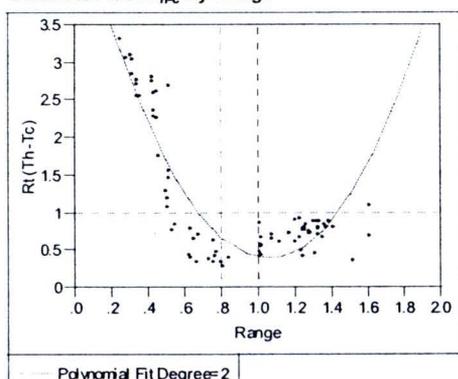
RSquare	0.791332
RSquare Adj	0.785912
Root Mean Square Error	0.406259
Mean of Response	0.72425
Observations (or Sum Wgts)	80

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	48.194586	24.0973	146.0032
Error	77	12.708569	0.1650	Prob > F
C. Total	79	60.903155		<.0001

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	1.3664129	0.132633	10.30	<.0001
Range	-1.438747	0.116783	-12.32	<.0001
(Range-0.89102)^2	4.1954004	0.262512	10.89	<.0001

Bivariate Fit of R_{h-c} By Range

Polynomial Fit Degree=2

$$R_h-c = 1.7915529 - 1.426701 \text{ Range} + 4.2589371 (\text{Range} - 0.89102)^2$$

Summary of Fit

RSquare	0.800568
RSquare Adj	0.795388
Root Mean Square Error	0.395528
Mean of Response	1.170375
Observations (or Sum Wgts)	80

Analysis of Variance

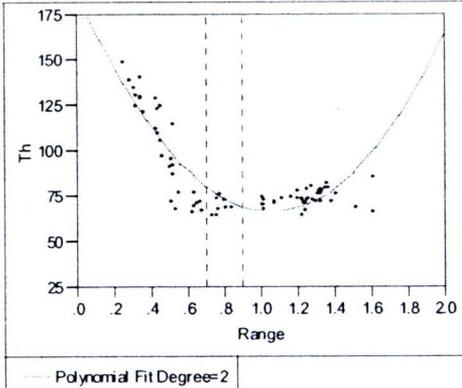
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	48.355997	24.1780	154.5485
Error	77	12.046092	0.1564	Prob > F
C. Total	79	60.402089		<.0001

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	1.7915529	0.12913	13.87	<.0001
Range	-1.42607	0.113698	-12.54	<.0001
(Range-0.89102)^2	4.2589371	0.382146	11.14	<.0001

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารทำงานและความต้านทานทางความร้อน (R_{e-c} , R_{h-c}) และอุณหภูมิฮีตเตอร์ (T_h) แบบท่อกลมที่ กำลังความร้อน 35 วัตต์

Bivariate Fit of T_h By Range



Polynomial Fit Degree=2

$$T_h = 100.66719 - 35.153385 \text{ Range} + 109.13259 (\text{Range} - 0.89554)^2$$

Summary of Fit

RSquare	0.786327
RSquare Adj	0.780629
Root Mean Square Error	10.49837
Mean of Response	85.93276
Observations (or Sum Wgts)	78

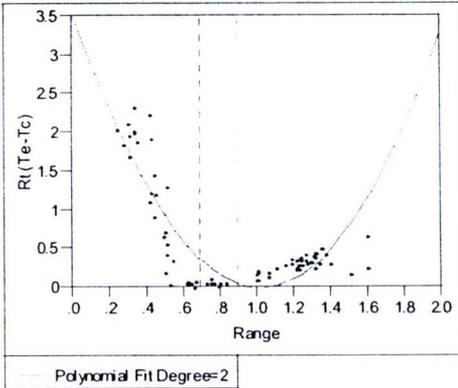
Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	30425.712	15212.9	138.0017
Error	75	8267.753	110.2	Prob > F
C. Total	77	38693.465		<.0001

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob > t
Intercept	100.66719	3.506915	28.71	<.0001
Range	-35.15339	3.05297	-11.51	<.0001
(Range-0.89554)^2	109.13259	10.24771	10.65	<.0001

Bivariate Fit of R_{e-c} By Range



Polynomial Fit Degree=2

$$R_t(T_e - T_c) = 0.8441187 - 0.8929125 \text{ Range} + 3.4354753 (\text{Range} - 0.89554)^2$$

Summary of Fit

RSquare	0.737969
RSquare Adj	0.730982
Root Mean Square Error	0.340335
Mean of Response	0.571667
Observations (or Sum Wgts)	78

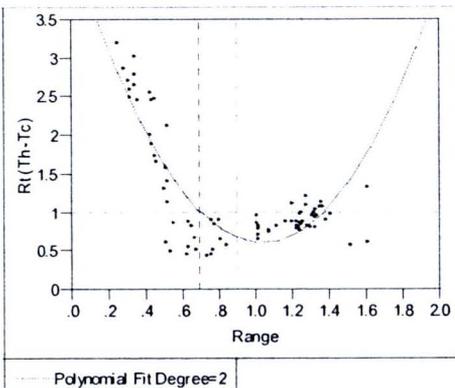
Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	24.465802	12.2329	105.6129
Error	75	8.687082	0.1158	Prob > F
C. Total	77	33.152883		<.0001

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob > t
Intercept	0.8441187	0.113676	7.43	<.0001
Range	-0.892913	0.098661	-9.02	<.0001
(Range-0.89554)^2	3.4354753	0.332177	10.34	<.0001

Bivariate Fit of R_{h-c} By Range



Polynomial Fit Degree=2

$$R_t(T_h - T_c) = 1.6000227 - 1.0278686 \text{ Range} + 3.5880683 (\text{Range} - 0.89554)^2$$

Summary of Fit

RSquare	0.728905
RSquare Adj	0.721676
Root Mean Square Error	0.380458
Mean of Response	1.230128
Observations (or Sum Wgts)	78

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	2	29.189380	14.5947	100.8281
Error	75	10.856119	0.1447	Prob > F
C. Total	77	40.045499		<.0001

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob > t
Intercept	1.6000227	0.127078	12.59	<.0001
Range	-1.027869	0.110628	-9.29	<.0001
(Range-0.89554)^2	3.5880683	0.371339	9.66	<.0001

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารทำงานและความต้านทานทางความร้อน (R_{e-c} , R_{h-c}) และอุณหภูมิฮีตเตอร์ (T_h) แบบท่อแบนที่ กำลังความร้อน 35 วัตต์

โดยสรุปจากการพิจารณาหาค่าความต้านทานทางความร้อนที่ต่ำสุด ท่อความร้อนแบบกลมจะมีค่าปริมาณสารทำงานที่เหมาะสม คือ 0.9 ± 0.1 มิลลิลิตร และท่อความร้อนแบบแบนจะมีค่าปริมาณสารทำงานที่เหมาะสม คือ 0.8 ± 0.1 มิลลิลิตร ดังนั้นเราสามารถพิจารณาเลือกช่วงได้ดังนี้

- ช่วงปริมาณสารทำงานที่รวมกันคือ 0.8-0.9 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 0.85 ± 0.05 มิลลิลิตร
- ช่วงปริมาณสารทำงานที่รวมกันคือ 0.7-1.0 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 0.85 ± 0.15 มิลลิลิตร

อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนในการเติมสารทำงานที่ค่า ± 0.15 มิลลิลิตร มีช่วงค่อนข้างกว้างเกินไป สุดท้ายจึงพิจารณาเลือกช่วงการเติมปริมาณสารทำงานที่ 0.75-0.95 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.85 ± 0.10 มิลลิลิตร

หลังจากการหาค่าปริมาณสารทำงานที่เหมาะสมได้แล้ว ก่อนที่จะทำชิ้นงานตัวอย่างจริงจะต้องปรับตั้งค่าของเครื่องเติมสารทำงานและเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ โดยชิ้นงานตัวอย่างแบบมีการไล่ก๊าซจะเติมสารทำงานให้เกินกว่าค่าที่ต้องการเล็กน้อยแล้วจึงใช้เครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศซึ่งจะมีขั้นตอนการต้มเพื่อไล่ก๊าซก่อนจะคายส่วนเกินออกจากท่อ ซึ่งจะแตกต่างจากการทำชิ้นงานตัวอย่างแบบไม่มีการไล่ก๊าซจะเติมสารทำงานให้พอดีกับค่าที่ต้องการแล้วจึงใช้เครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศในการควบคุมสภาวะสุญญากาศโดยการทดลองเพื่อปรับตั้งเครื่องจะใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial & Error) จนได้ค่าที่ต้องการและจากผลการทดลองพบว่า การเติมสารทำงานแบบมีการไล่ก๊าซจะใช้ความดันสุญญากาศที่ -180 mm. Hg และการเติมสารทำงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซจะใช้ความดันสุญญากาศที่ -130 mm. Hg และเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศต้องกำหนดค่าที่เครื่องตั้งเวลา (Timer) เพื่อดูดอากาศที่ 10 วินาที จุ่มและต้มในน้ำร้อนที่ 40 วินาที และ คายไอน้ำส่วนเกินที่ 6.5 วินาทีในกรณีที่มีการไล่ก๊าซ แต่ในกรณีที่ไม่มีการไล่ก๊าซต้องกำหนดค่าที่เครื่องตั้งเวลา (Timer) เพื่อดูดอากาศที่ 10 วินาที จุ่มและต้มในน้ำร้อนที่ 5 วินาที และ คายไอน้ำส่วนเกินที่ 3 วินาทีในกรณีที่ไม่มีการไล่ก๊าซ ดังในรูปที่ 4.6 และ 4.7 โดยสามารถสรุปการตั้งค่าของเครื่องเติมสารทำงานและเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศเป็นตารางดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.6 การกำหนดค่าที่เครื่องตั้งเวลา (Timer) เพื่อลดอากาศที่ 10 วินาที จุ่มและต้มในน้ำร้อนที่ 40 วินาที และ คายไอน้ำส่วนเกินที่ 6.5 วินาทีในกรณีที่มีการไล่ก๊าซ

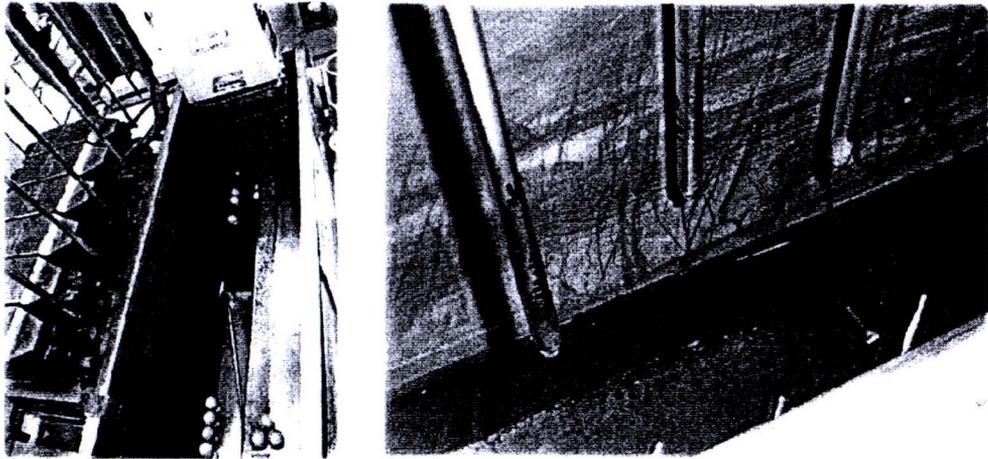


รูปที่ 4.7 การกำหนดค่าที่เครื่องตั้งเวลา (Timer) เพื่อลดอากาศที่ 10 วินาที จุ่มและต้มในน้ำร้อนที่ 5 วินาที และ คายไอน้ำส่วนเกินที่ 3 วินาทีในกรณีที่ไม่มี การไล่ก๊าซ

ตารางที่ 4.1 การตั้งค่าของเครื่องเติมสารทำงานและเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ

ขั้นตอน	ความดันสุญญากาศในการเติมสารทำงาน	เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการควบคุมปริมาณสารทำงาน		
		ลดอากาศ	จุ่มและต้ม	คายส่วนเกิน
แบบไล่ก๊าซ	-180 mm hg	10 วินาที	40 วินาที	6.5 วินาที
แบบไม่ไล่ก๊าซ	-130 mm hg	10 วินาที	5 วินาที	3 วินาที

อย่างไรก็ตามในกรณีที่ไม่มี การไล่ก๊าซซึ่งในขั้นตอนการผลิตมีการจุ่มและต้มที่อุณหภูมิร้อนเนื่องจากไม่ต้องการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการผลิตจึงตั้งเวลาในการจุ่มและต้มไว้ที่ 5 วินาที ระบายน้ำออกจากอ่างแทน ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ควมน้ำร้อนออกเพื่อไม่เกิดการดัมสำหรับการควบคุมปริมาณสารทำงานสำหรับทำ
ท่อความร้อนแบบไมล์ไก๊ซ

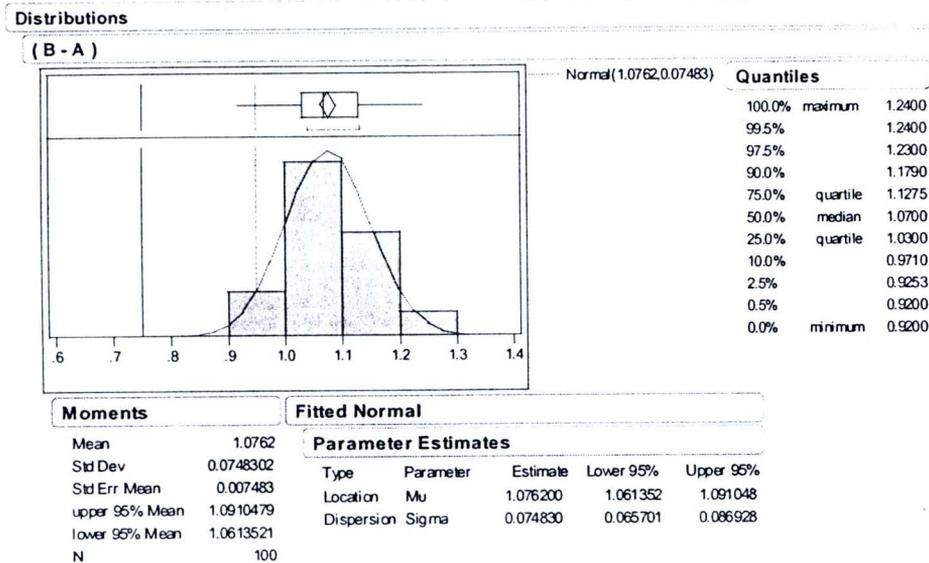
4.2 ผลของการเติมสารทำงานและควบคุมปริมาณสารทำงาน

จากการเตรียมการทั้งหมดในหัวข้อที่ 4.1 จึงได้เริ่มการทำงานอย่างจริงจังทั้งแบบมีการ
ไล้ไก๊ซและไม่มีกรไล้ไก๊ซจำนวนอย่างละ 100 ชิ้น วัดผลของการเติมสารทำงาน ผลของการ
ควบคุมสารทำงาน และ ผลการทดสอบน้ำร้อนเพื่อเปรียบเทียบกัน โดยจะบันทึกข้อมูลของการเติม
สารทำงานและผลของการควบคุมสารทำงานลงในตารางดังตัวอย่างในตารางที่ 4.2

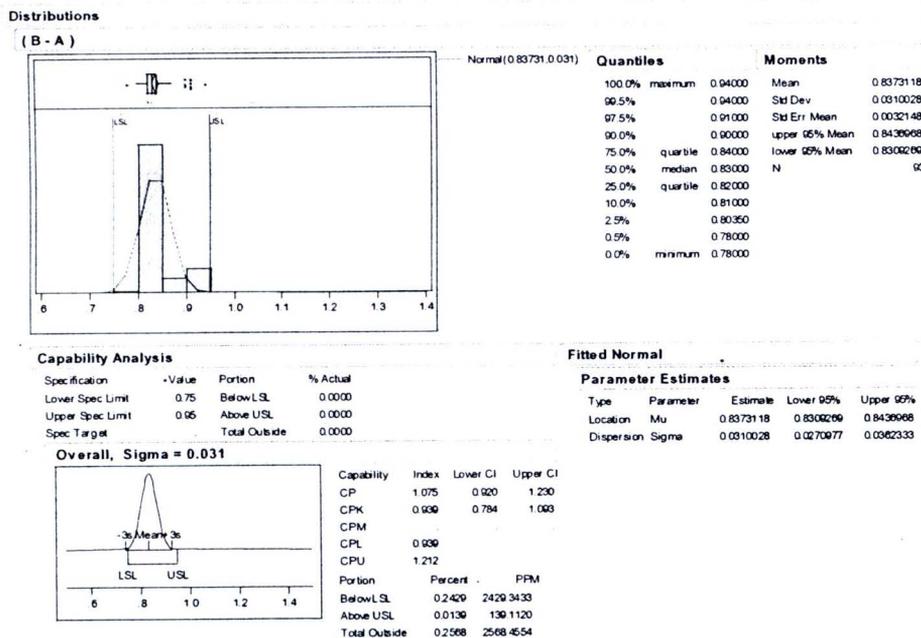
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการบันทึกค่าการเติมสารทำงานและการควบคุมสารทำงานในแต่ละช่วง

No.	น้ำหนัก ท่อเปล่า (A)	น้ำหนักท่อ หลังเติมน้ำ (B)	น้ำหนักท่อหลัง ควบคุมปริมาณน้ำ (C)	ปริมาณน้ำที่ เติม (B - A)	ปริมาณน้ำที่ เหลือ (C - A)	ปริมาณน้ำที่ คาซออก (B - C)
1	16.06	17.07	16.86	1.01	0.80	0.21
2	15.95	17.01	16.87	1.07	0.92	0.14
3	15.94	17.05	16.82	1.10	0.87	0.23
4	16.02	17.07	16.88	1.06	0.87	0.19
5	15.98	17.15	16.89	1.17	0.90	0.27
6	16.01	16.95	16.89	0.94	0.88	0.05
7	15.98	17.05	16.82	1.07	0.84	0.23
8	16.02	17.13	16.93	1.11	0.91	0.21
9	15.92	16.98	16.74	1.07	0.83	0.24
10	15.94	17.05	16.79	1.11	0.86	0.26

ผลของการเติมสารทำงานทั้งแบบมีการ ไล้ก๊าซและ ไม่มีการ ไล้ก๊าซเป็นดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 ผลของการเติมสารทำงานแบบมีการ ไล้ก๊าซซึ่งจะเติมเกินจากค่าที่ต้องการ

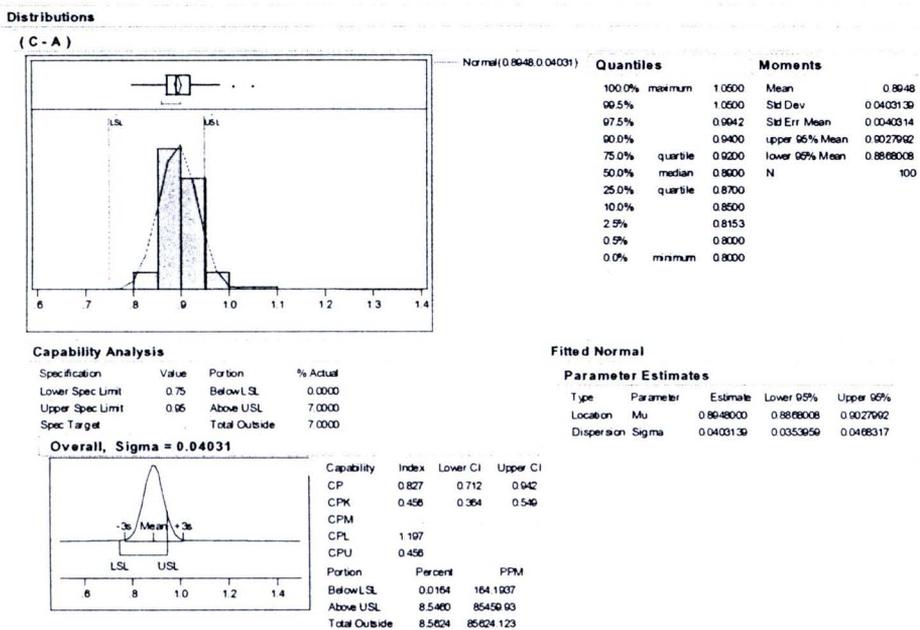


รูปที่ 4.10 ผลของการเติมสารทำงานแบบไม่มีการ ไล้ก๊าซซึ่งจะเติมพอดีกับค่าที่ต้องการ

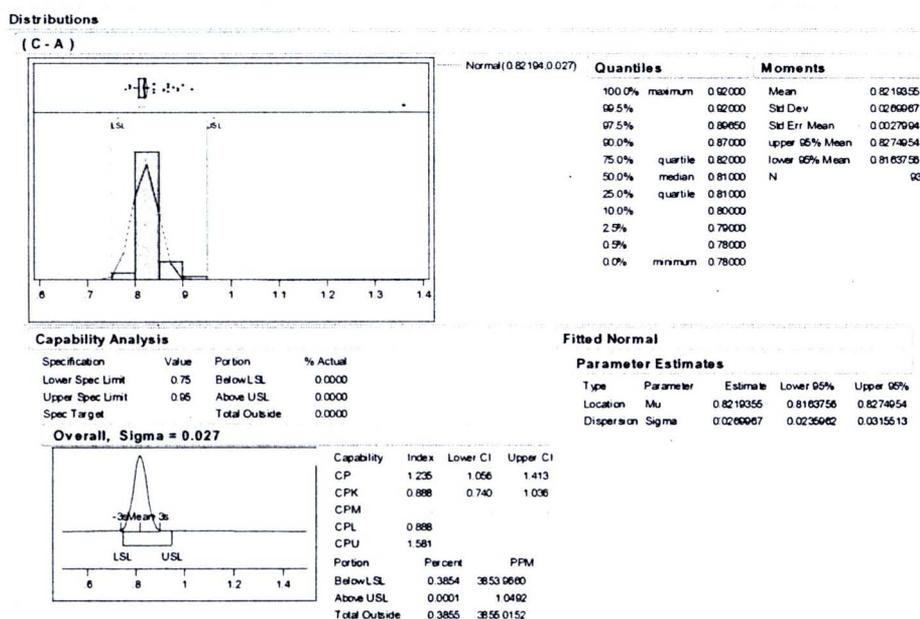
เนื่องจากจุดประสงค์การเติมต่างกันจึงไม่นำผลทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกัน หากแต่ผลที่ได้จากรูปที่ 4.10 สามารถบอกได้ว่าเครื่องเติมสารทำงานสามารถควบคุมปริมาณการเติมให้เป็นไปตามค่าที่ต้องการในช่วงความคลาดเคลื่อน ± 0.1 มิลลิลิตร ได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากรูปที่

4.9 พบว่าเครื่องเติมสารทำงานกลับควบคุมปริมาณการเติมเกินกว่าช่วงความคลาดเคลื่อน ± 0.1 มิลลิเมตรที่กำหนด อาจจะเป็นเพราะความดันสูญญากาศที่ตั้งค่าไว้ในเครื่องเติมสูงเกินไป

ผลของการควบคุมปริมาณสารทำงานทั้งแบบมีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซเป็นดังรูปที่ 4.11 และ 4.12

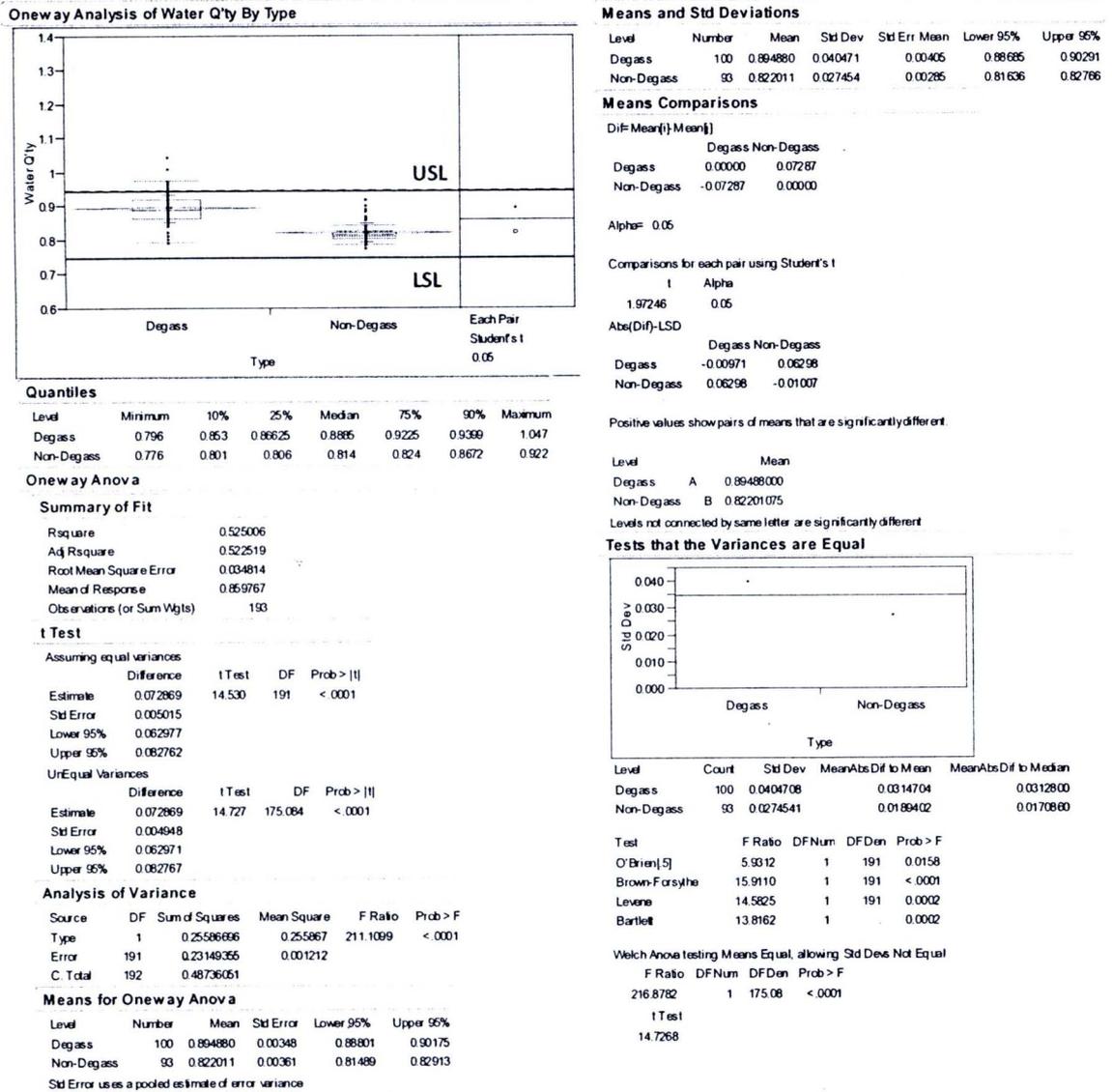


รูปที่ 4.11 ผลของการควบคุมปริมาณสารทำงานแบบมีการไล่ก๊าซ



รูปที่ 4.12 ผลของการควบคุมปริมาณสารทำงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซ

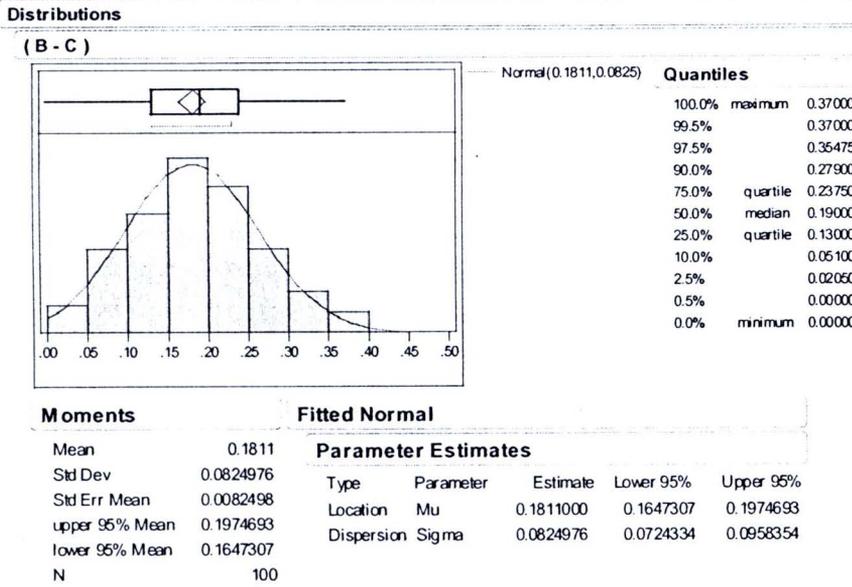
ซึ่งการควบคุมปริมาณสารทำงานจะเป็นค่าสุดท้ายที่ต้องการสำหรับท่อความร้อน ดังนั้นจึงสามารถทำการเปรียบเทียบได้ซึ่งผลการเปรียบเทียบเป็นไปดังรูปที่ 4.13



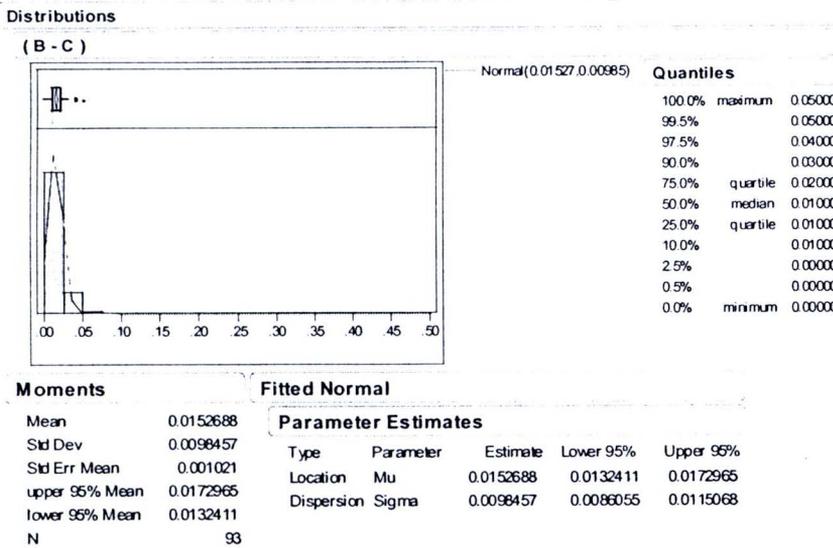
รูปที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบการควบคุมปริมาณสารทำงานแบบมีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซ

ทั้งนี้จากผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ชัดว่าการควบคุมปริมาณสารทำงานแบบมีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งในแง่การกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งดูที่ค่า Prob>F ของแบบ Brown-Forsythe ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 และ ค่า t-test ที่ให้ค่าเป็นบวก ผลที่ออกมาเช่นนี้อาจสามารถอธิบายได้เป็น 2 ส่วน กล่าวคือ ผลของการเติมสารทำงานซึ่งแตกต่าง

กันในช่วงต้น และ ผลของการคายสารทำงานออกในกระบวนการควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสูญญากาศ ซึ่งมีผลแสดงดังรูปที่ 4.14 , 4.15 และ 4.16



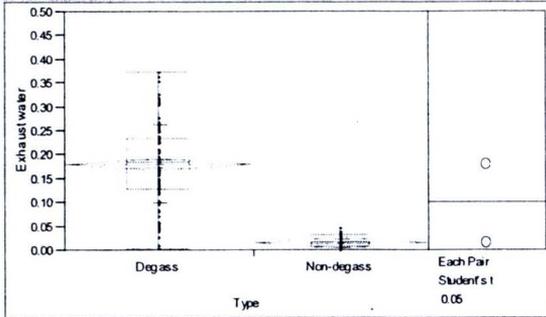
รูปที่ 4.14 ผลของการคายสารทำงานออกจากท่อในกรณีมีการไล่ก๊าซ



รูปที่ 4.15 ผลของการคายสารทำงานออกจากท่อในกรณีไม่มี การไล่ก๊าซ

ซึ่งการคายสารทำงานจะเป็นตัวกำหนดค่าปริมาณสารทำงานสุดท้ายที่ต้องการสำหรับท่อความร้อน ดังนั้นจึงสามารถทำการเปรียบเทียบได้ซึ่งผลการเปรียบเทียบเป็นไปดังรูปที่ 4.16

Oneway Analysis of Exhaust water By Type



Quantiles	Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
Degass		0.003	0.0552	0.1206	0.186	0.23525	0.2762	0.374
Non-degass		0.001	0.007	0.008	0.013	0.0185	0.029	0.049

Oneway Anova

Summary of Fit

Rsquare	0.661743
Adj Rsquare	0.659972
Root Mean Square Error	0.059622
Mean of Response	0.100741
Observations (or Sum Wgts)	193

t Test

Assuming equal variances				
Difference	t Test	DF	Prob > t	
Estimate	0.165750	19.330	191	< .0001
Std Error	0.008675			
Lower 95%	0.148837			
Upper 95%	0.182663			
Unequal Variances				
Difference	t Test	DF	Prob > t	
Estimate	0.165750	20.000	101.632	< .0001
Std Error	0.008275			
Lower 95%	0.148741			
Upper 95%	0.182758			

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Type	1	1.3238281	1.32383	37.36564	< .0001
Error	191	0.6766890	0.00354		
C. Total	192	2.0005170			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
Degass	100	0.180610	0.00566	0.16887	0.19235
Non-degass	93	0.014860	0.00617	0.00269	0.02703

Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
Degass	100	0.180610	0.062204	0.00822	0.16430	0.19692
Non-degass	93	0.014860	0.009143	0.00066	0.01298	0.01674

Means Comparisons

Diff: Mean(i) - Mean(j)

	Degass	Non-degass
Degass	0.00000	0.16575
Non-degass	-0.16575	0.00000

Alpha= 0.05

Comparisons for each pair using Student's t

t	Alpha
1.97246	0.05

Abs(Diff)-LSD

	Degass	Non-degass
Degass	-0.01600	0.14884
Non-degass	0.14884	-0.01722

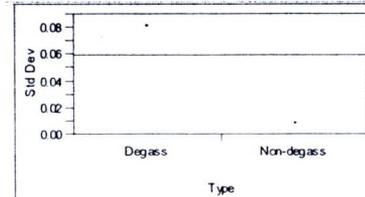
Positive values show pairs of means that are significantly different.

Level Mean

Degass	A	0.18061000
Non-degass	B	0.01486022

Levels not connected by same letter are significantly different

Tests that the Variances are Equal



Level	Count	Std Dev	MeanAbsDiff to Mean	MeanAbsDiff to Median
Degass	100	0.0622043	0.0658456	0.0656700
Non-degass	93	0.0091433	0.0068424	0.0065484

Test	F Ratio	DF Num	DF Den	Prob > F
O'Brien-S	55.4253	1	191	< .0001
Brown-Forsythe	131.4817	1	191	< .0001
Levene	134.1928	1	191	< .0001
Bartlett	279.3005	1		< .0001

Welch Anova testing Means Equal, allowing Std Devs Not Equal

F Ratio	DF Num	DF Den	Prob > F
401.2152	1	101.63	< .0001

t Test
20.0004

รูปที่ 4.16 ผลเปรียบเทียบการคายสารทำงานออกจากท่อทั้งแบบมีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซ

ทั้งนี้จากผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ชัดว่าการคายปริมาณสารทำงานออกจากท่อแบบมีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้งในแง่การกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งดูที่ค่า Prob>F ของแบบ Brown-Forsythe ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 และ ค่า t-test ที่ให้ค่าเป็นบวก หรืออาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า การควบคุมปริมาณสารทำงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซสามารถควบคุมปริมาณสารทำงานได้ดีกว่าการควบคุมปริมาณสารทำงานแบบมีการไล่ก๊าซนั่นเอง โดยถ้าพิจารณาจากผลการเปรียบเทียบจากรูปที่ 4.13 พบว่าชิ้นงานตัวอย่างที่ควบคุมปริมาณสารทำงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซจำนวนทั้งสิ้น 93 ชิ้น มีปริมาณสารทำงานอยู่ในช่วงควบคุมทั้งหมด แต่ชิ้นงานตัวอย่างที่ควบคุมปริมาณสารทำงานแบบมีการไล่ก๊าซจำนวนทั้งสิ้น 100 ชิ้น มีชิ้นงานตัวอย่างที่มีปริมาณสารทำงานออกนอกช่วงควบคุม 8 ชิ้น หรือคิดเป็น 8% นั่นเอง

4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะต่อความร้อนในแนวตั้งด้วยน้ำร้อน

หลังจากวัดผลของการเติมสารทำงานและควบคุมปริมาณสารทำงานของชิ้นงานตัวอย่างจริงแล้วก็ดำเนินการต่อไปตามกระบวนการผลิตต่อความร้อนจนกระทั่งได้ต่อความร้อนแบบกลมตรงแบบมีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซอย่างละ 100 ชิ้น จึงนำชิ้นงานทั้งหมดไปใส่ในถังความดันเพื่อทดสอบการรั่วด้วยวิธีความดันอากาศครั้งที่ 1 และนำออกมาทดสอบทางน้ำร้อนตามเงื่อนไขการทดสอบด้วยน้ำร้อนสำหรับต่อความร้อนในแนวตั้งในรูปที่ 3.3 โดยทดสอบตามแผนผังขั้นตอนการทดสอบในรูปที่ 3.24 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทางน้ำร้อนจะวัดค่าอุณหภูมิจุดปลายแล้วนำมาเปรียบเทียบกันในแต่ละสภาวะการทดสอบซึ่งได้ออกแบบไว้ โดยกำหนดตัวแปรเป็น

- อุณหภูมิของน้ำในการทดสอบ
- เวลาในการทดสอบ

การทดสอบด้วยน้ำร้อนที่สภาวะ 4 สภาวะ มีดังนี้

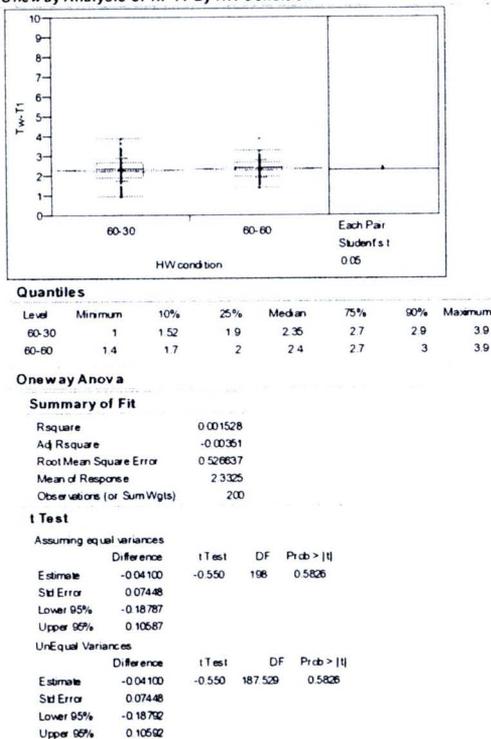
- อุณหภูมิน้ำ 60 °C ทดสอบที่เวลา 30 วินาที (ซึ่งจะใช้ตัวย่อในกราฟแทนด้วย 60-30)
- อุณหภูมิน้ำ 60 °C ทดสอบที่เวลา 60 วินาที (ซึ่งจะใช้ตัวย่อในกราฟแทนด้วย 60-60)
- อุณหภูมิน้ำ 80 °C ทดสอบที่เวลา 30 วินาที (ซึ่งจะใช้ตัวย่อในกราฟแทนด้วย 80-30)
- อุณหภูมิน้ำ 80 °C ทดสอบที่เวลา 60 วินาที (ซึ่งจะใช้ตัวย่อในกราฟแทนด้วย 80-60)

ซึ่งผลการทดสอบสมรรถนะต่อความร้อนในแนวตั้งด้วยน้ำร้อนทั้ง 4 สภาวะเป็นดังนี้

4.3.1 ผลการทดสอบทางน้ำร้อนของต่อความร้อนที่มีการไล่ก๊าซโดยใช้วิธี One-way analysis และ Matched pairs เป็นไปดังรูปที่ 4.17, 4.18, 4.19 และ 4.20

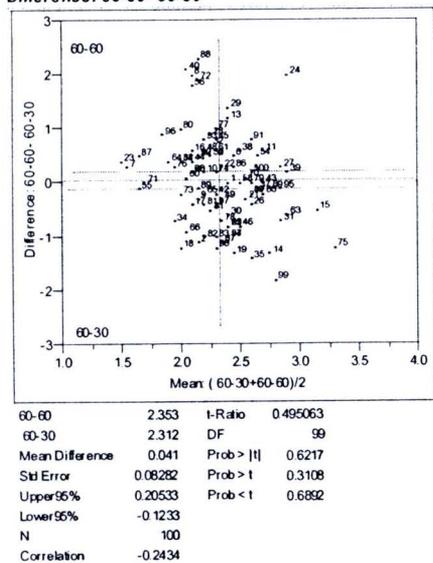
จากรูปที่ 4.17-4.18 แสดงให้เห็นว่าการทดสอบที่เวลาต่างกันโดยเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 60 วินาที ไม่มีผลต่อการทดสอบทางน้ำร้อนที่ 60 °C แต่กลับให้ผลการทดสอบแตกต่างกันเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญ ที่การทดสอบทางน้ำร้อนที่ 80 °C โดยมีค่าเฉลี่ย (Mean) ของผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อ ($T_w - T_1$) ต่างกันอยู่ 0.6 °C แม้ว่าจะมีผลต่างกันแต่เป็นเพียงเล็กน้อย

ซึ่งจากผลนี้อาจสรุปเบื้องต้นได้ว่าการทดสอบที่เวลาต่างกันไม่มีผลต่อการทดสอบทางน้ำร้อน ดังนั้นสถานะการทดสอบที่เหมาะสมคือการทดสอบที่ 30 วินาที อุณหภูมิ 60 °C ซึ่งเป็นสถานะการทดสอบแบบปัจจุบัน เนื่องจากเวลาที่น้อยกว่าให้ผลผลิตมากกว่าและอุณหภูมิที่น้อยกว่าประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ให้ต่อฮีตเตอร์ทำน้ำร้อนมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลจากรูปที่ 4.19-4.20 พบว่าการทดสอบที่เวลาเดียวกันแต่ต่างอุณหภูมิกันทั้งที่ 60 °C และ 80 °C ให้ผลการทดสอบทางน้ำร้อนต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยการทดสอบที่อุณหภูมิ 80 °C ให้ค่าเฉลี่ย (Mean) ของผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อ ($T_w - T_1$) มากกว่าการทดสอบที่อุณหภูมิ 60 °C ดังนั้น ถ้าพิจารณาความสามารถของการตรวจจับก๊าซที่ไม่ควมแน่นการทดสอบที่อุณหภูมิ 80 °C ดีกว่าอย่างชัดเจน ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากผลจากรูปที่ 4.17-4.20 ถ้าจะเลือกสถานะการทดสอบที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสายการผลิตจริงสำหรับการตรวจจับก๊าซที่ไม่ควมแน่น ก็ควรเลือกการทดสอบด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 °C ที่เวลา 30 วินาที

Oneway Analysis of $T_w - T_1$ By HW condition

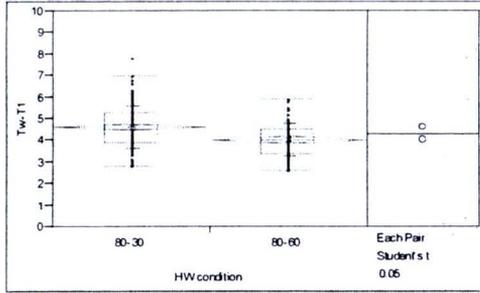
Matched Pairs

Difference: 60-60-60-30



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ทดสอบที่เวลา 30 และ 60 วินาที

Oneway Analysis of Tw-T1 By HW condition



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
80-30	2.8	3.4	3.9	4.5	5.3	5.89	7.8
80-60	2.6	3.1	3.4	4	4.5	4.9	5.9

Oneway Anova

Summary of Fit

Rsquare	0.102248
Adj Rsquare	0.097714
Root Mean Square Error	0.882994
Mean of Response	4.3125
Observations (or Sum Wgts)	200

t Test

Assuming equal variances

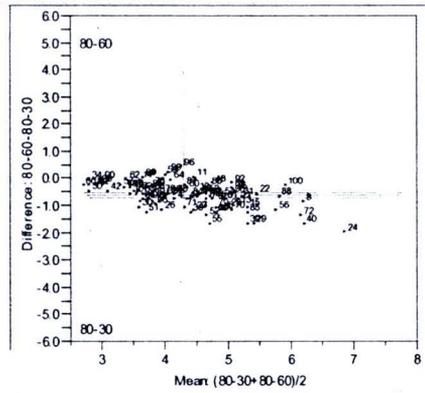
	Difference	t Test	DF	Prob > t
Estimate	0.593000	4.749	198	< .0001
Std Error	0.124874			
Lower 95%	0.346746			
Upper 95%	0.839254			

Unequal Variances

	Difference	t Test	DF	Prob > t
Estimate	0.593000	4.749	184.41	< .0001
Std Error	0.124874			
Lower 95%	0.346634			
Upper 95%	0.839366			

Matched Pairs

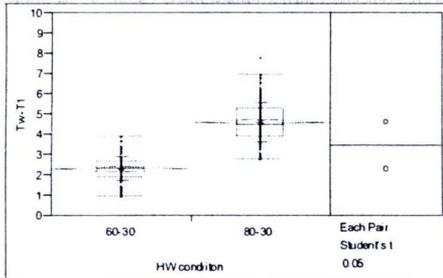
Difference: 80-60-80-30



80-60	4.016	t-Ratio	-12.9356
80-30	4.609	DF	99
Mean Difference	-0.593	Prob > t	< .0001
Std Error	0.04584	Prob > t	1.0000
Upper 95%	-0.502	Prob < t	< .0001
Lower 95%	-0.684		
N	100		
Correlation	0.89899		

รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ทดสอบที่เวลา 30 และ 60 วินาที

Oneway Analysis of Tw-T1 By HW condition



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
60-30	1	1.52	1.9	2.35	2.7	2.9	3.9
80-30	2.8	3.4	3.9	4.5	5.3	5.89	7.8

Oneway Anova

Summary of Fit

Rsquare	0.66636
Adj Rsquare	0.664675
Root Mean Square Error	0.816757
Mean of Response	3.4605
Observations (or Sum Wgts)	200

t Test

Assuming equal variances

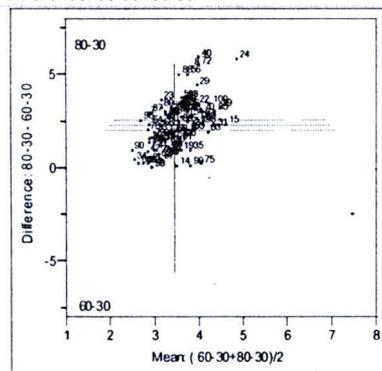
	Difference	t Test	DF	Prob > t
Estimate	-2.2970	-19.886	198	< .0001
Std Error	0.1155			
Lower 95%	-2.5248			
Upper 95%	-2.0692			

Unequal Variances

	Difference	t Test	DF	Prob > t
Estimate	-2.2970	-19.886	160.167	< .0001
Std Error	0.1155			
Lower 95%	-2.5251			
Upper 95%	-2.0689			

Matched Pairs

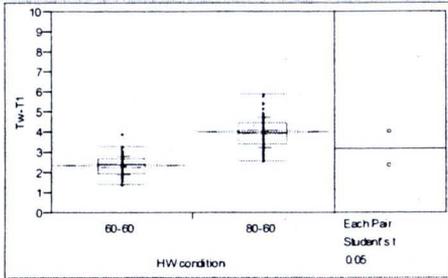
Difference: 80-30- 60-30



80-30	4.609	t-Ratio	17.15508
60-30	2.312	DF	99
Mean Difference	2.297	Prob > t	< .0001
Std Error	0.1339	Prob > t	< .0001
Upper 95%	2.56268	Prob < t	1.0000
Lower 95%	2.03132		
N	100		
Correlation	-0.3933		

รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่เวลา 30 วินาที ทดสอบที่อุณหภูมิ 60 และ 80 °C

Oneway Analysis of Tw-T1 By HW condition



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
60-60	1.4	1.7	2	2.4	2.7	3	3.9
80-60	2.6	3.1	3.4	4	4.5	4.9	5.9

Oneway Anova

Summary of Fit

Rsquare	0.641717
Adj Rsquare	0.639908
Root Mean Square Error	0.624433
Mean of Response	3.1845
Observations (or Sum Wgts)	200

t Test

Assuming equal variances

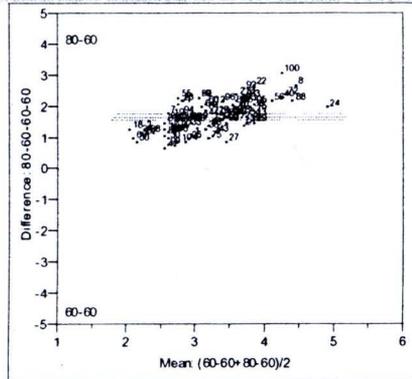
	Difference	t Test	DF	Prob > t
Estimate	-1.6630	-18.832	198	< .0001
Std Error	0.0883			
Lower 95%	-1.8371			
Upper 95%	-1.4889			

Unequal Variances

	Difference	t Test	DF	Prob > t
Estimate	-1.6630	-18.832	163.819	< .0001
Std Error	0.0883			
Lower 95%	-1.8374			
Upper 95%	-1.4886			

Matched Pairs

Difference: 80-60-60-60

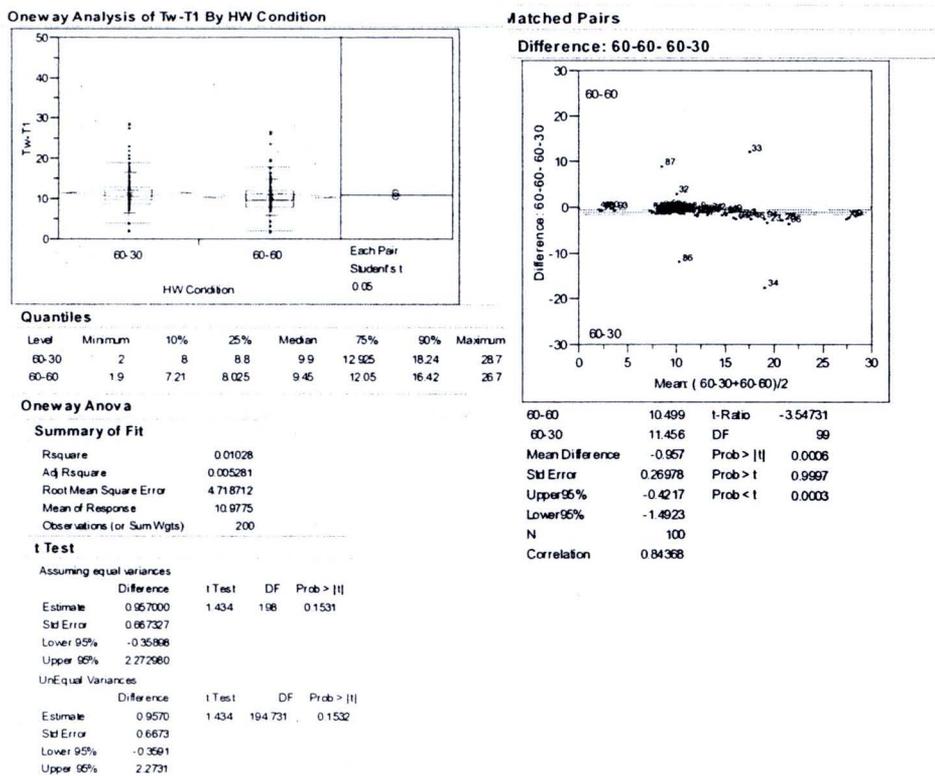


80-60	4.016	t-Ratio	34.84229
60-60	2.353	DF	99
Mean Difference	1.663	Prob > t	< .0001
Std Error	0.04773	Prob > t	< .0001
Upper 95%	1.75771	Prob < t	1.0000
Lower 95%	1.56829		
N	100		
Correlation	0.79574		

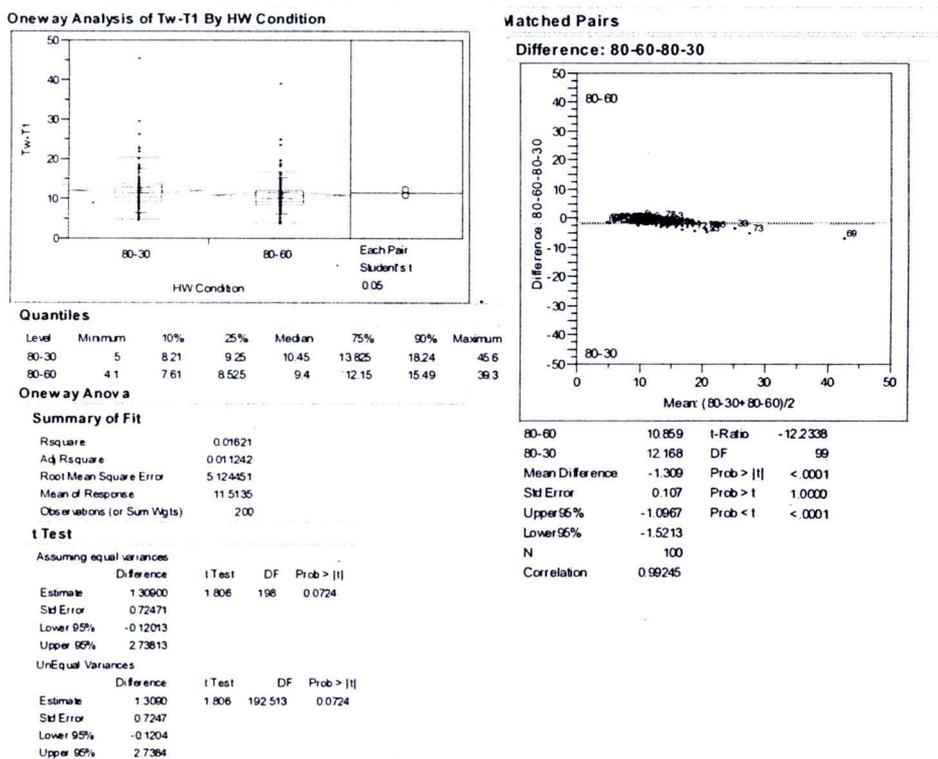
รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่เวลา 60 วินาที ทดสอบที่อุณหภูมิ 60 และ 80 °C

4.3.2 ผลการทดสอบทางน้ำร้อนของท่อความร้อนที่ไม่มีการไล่ก๊าซโดยใช้วิธี Oneway analysis และ Matched pairs เป็นไปดังรูปที่ 4.21, 4.22, 4.23 และ 4.24

จากรูปที่ 4.21-4.24 แสดงให้เห็นว่าการทดสอบที่เวลาต่างกันโดยเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 60 วินาที และ/หรือ การทดสอบทางน้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ต่างกัน โดยเพิ่มขึ้นจาก 60 °C เป็น 80 °C ไม่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STDEV) ต่างกันแต่อย่างใด ซึ่งค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อ ($T_w - T_1$) มากกว่า 10 °C ขึ้นไป ในทุกสภาวะการทดสอบ

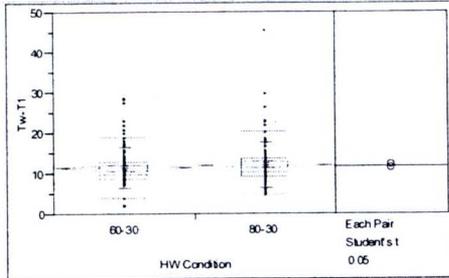


รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C ทดสอบที่เวลา 30 และ 60 วินาที



รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C ทดสอบที่เวลา 30 และ 60 วินาที

Oneway Analysis of Tw-T1 By HW Condition



Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
60-30	2	8	8.8	9.9	12.925	18.24	28.7
80-30	5	8.21	9.25	10.45	13.825	18.24	45.6

Oneway Anova

Summary of Fit

Rsquare	0.004664
Adj Rsquare	-0.00096
Root Mean Square Error	5.284169
Mean of Response	11.812
Observations (or Sum Wgts)	200

t Test

Assuming equal variances

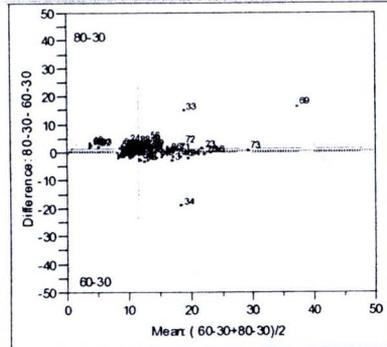
	Difference	t Test	DF	Prob > t
Estimate	-0.71200	-0.953	198	0.3419
Std Error	0.74729			
Lower 95%	-2.18568			
Upper 95%	0.76168			

Unequal Variances

	Difference	t Test	DF	Prob > t
Estimate	-0.7120	-0.953	196.069	0.3419
Std Error	0.7473			
Lower 95%	-2.1868			
Upper 95%	0.7618			

Matched Pairs

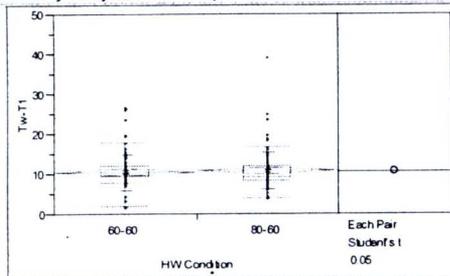
Difference: 80-30-60-30



80-30	12.168	t-Ratio	2.154823
60-30	11.456	DF	99
Mean Difference	0.712	Prob > t	0.0336
Std Error	0.33041	Prob > t	0.0168
Upper 95%	1.3676	Prob < t	0.9832
Lower 95%	0.0564		
N	100		
Correlation	0.80851		

รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่เวลา 30 วินาที ทดสอบที่อุณหภูมิ 60 และ 80 °C

Oneway Analysis of Tw-T1 By HW Condition



Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
60-60	1.9	7.21	8.025	9.45	12.05	16.42	26.7
80-60	4.1	7.61	8.525	9.4	12.15	15.49	39.3

Oneway Anova

Summary of Fit

Rsquare	0.001586
Adj Rsquare	-0.00396
Root Mean Square Error	4.539141
Mean of Response	10.679
Observations (or Sum Wgts)	200

t Test

Assuming equal variances

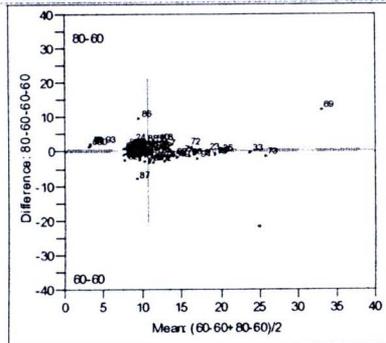
	Difference	t Test	DF	Prob > t
Estimate	-0.36000	-0.561	198	0.5756
Std Error	0.64193			
Lower 95%	-1.62560			
Upper 95%	0.90560			

Unequal Variances

	Difference	t Test	DF	Prob > t
Estimate	-0.3600	-0.561	197.306	0.5756
Std Error	0.6419			
Lower 95%	-1.6259			
Upper 95%	0.9059			

Matched Pairs

Difference: 80-60-60-60

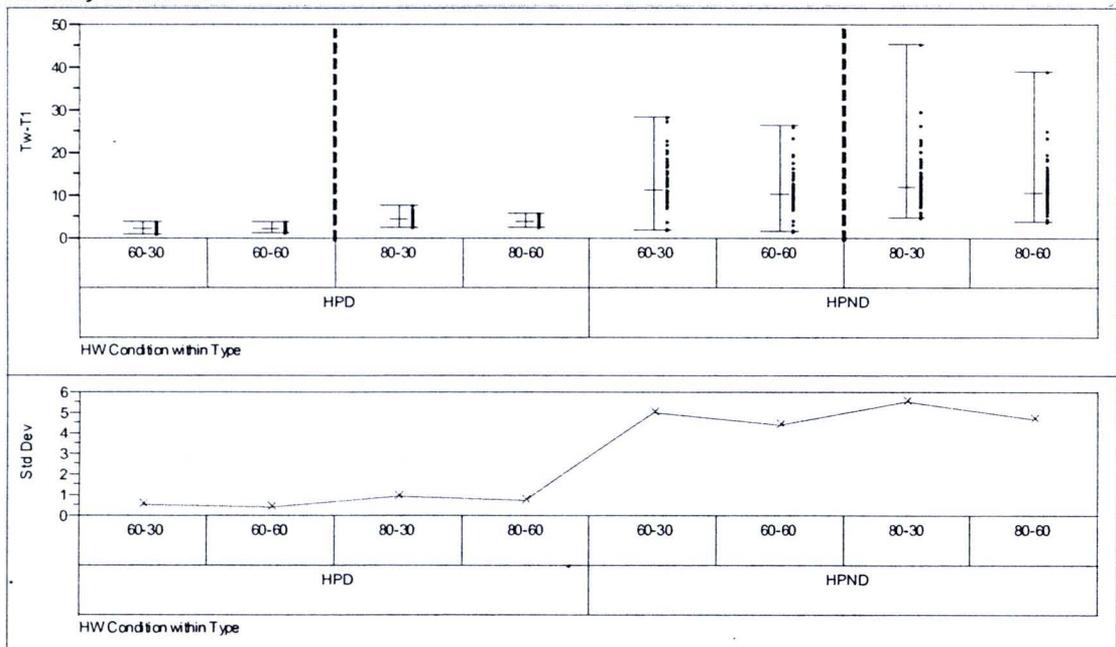


80-60	10.859	t-Ratio	1.581194
60-60	10.499	DF	99
Mean Difference	0.36	Prob > t	0.1170
Std Error	0.22788	Prob > t	0.0585
Upper 95%	0.81176	Prob < t	0.9415
Lower 95%	-0.0918		
N	100		
Correlation	0.87575		

รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบผลการทดสอบน้ำร้อนที่เวลา 60 วินาที ทดสอบที่อุณหภูมิ 60 และ 80 °C

รูปที่ 4.25 แสดงผลของการทดสอบทางน้ำร้อนของชิ้นงานตัวอย่างทั้งแบบมีการไล่อากาศ และไม่มีการไล่อากาศในทุกสภาวะการทดสอบ โดยในแกน Y จะแสดงค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อ (T_w-T_1) พร้อมทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, Std Dev) โดยจะเปรียบเทียบกันด้วยกลุ่มข้อมูลที่แสดงในแกน X คือ ชนิดของการควบคุมปริมาณสารทำงาน และสภาวะสุญญากาศซึ่งมี 2 ชนิด กล่าวคือ ชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่มีการไล่อากาศ (Heat Pipe with Non-Degas, HPND) และชิ้นงานตัวอย่างที่มีการไล่อากาศ (Heat Pipe with Degas, HPD) และอีกกลุ่มหนึ่งคือสภาวะการทดสอบ โดยตัวเลขด้านหน้าจะแสดงอุณหภูมิน้ำร้อนและตัวเลขด้านหลังแสดงเวลาในการทดสอบ ตัวอย่างเช่น 60-30 มีความหมายว่า ทดสอบด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 60 °C ในเวลา 30 วินาที เป็นต้น

Variability Chart for T_w-T_1



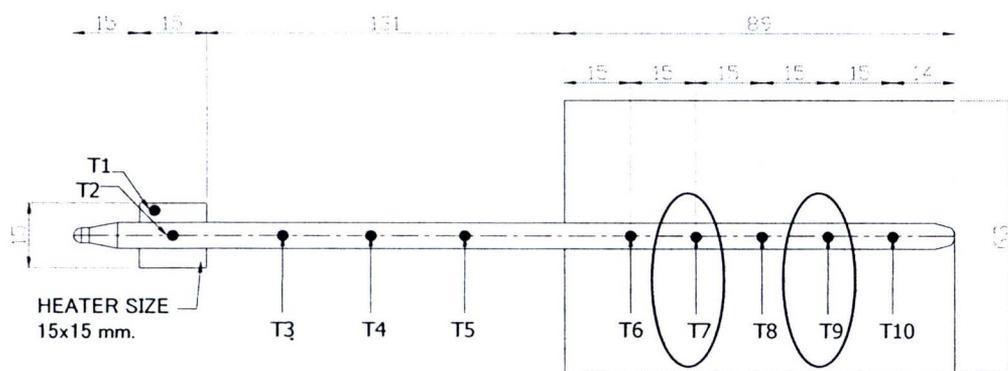
รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบผลการทดสอบทางน้ำร้อนทั้ง 4 สภาวะ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าในส่วนของผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อ (T_w-T_1) ของชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่มีการไล่อากาศ) มีค่าเฉลี่ยมากกว่า 10 °C ขึ้นไปซึ่งสูงกว่าชิ้นงานตัวอย่างที่มีการไล่อากาศ อย่างชัดเจน ในขณะที่เดียวกันเมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ก็จะเห็นว่าชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่มีการไล่อากาศมีการกระจายตัวมากกว่าชิ้นงานตัวอย่างที่มีการไล่อากาศอย่างมาก ดังนั้นจึงพิจารณาผลการทดสอบของชิ้นงานตัวอย่างที่มีการไล่อากาศเป็นหลักซึ่งจะเห็นว่าสภาวะการทดสอบ

ที่อุณหภูมิ 80 °C เวลา 30 วินาที ให้ค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่มากที่สุดทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนั้นจึงเหมาะสมที่สุดในการตรวจจับก๊าซที่ไม่ควบแน่น

4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะต่อความร้อนในแนวนอนด้วยฮีตเตอร์

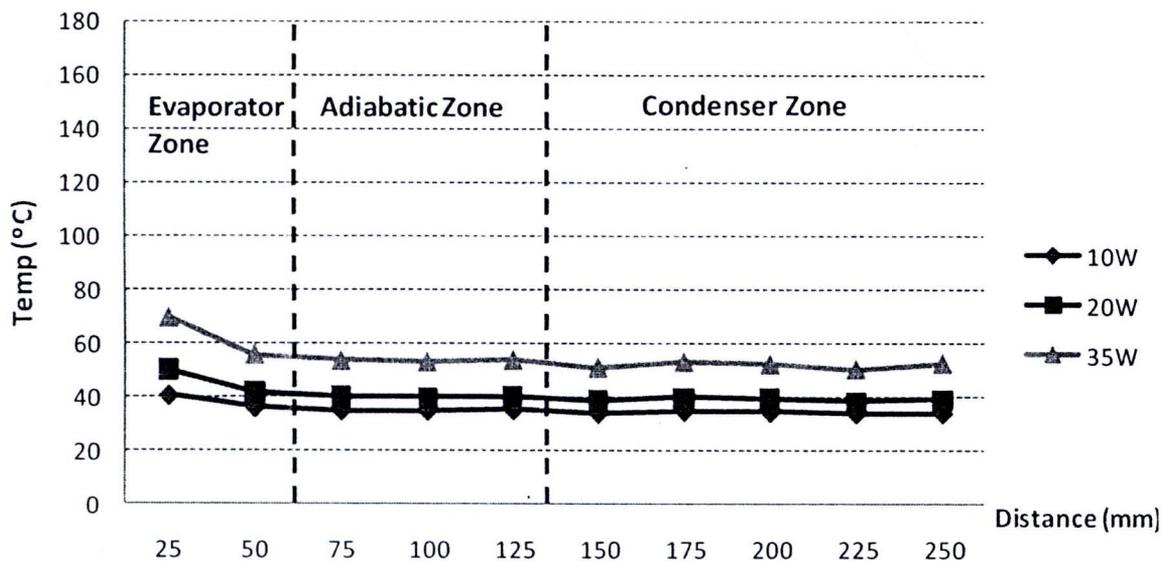
หลังจากทดสอบทางน้ำร้อนเสร็จสิ้นได้นำชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมดเข้าสู่อบเพื่อทำการบ่มด้วยอุณหภูมิสูง (Aging) ก่อนที่จะดำเนินการต่อในขั้นตอนถัดไป อย่างไรก็ตามเมื่อได้ข้อสังเกตจากการทดสอบทางน้ำร้อนแล้วจึงพบว่าสมรรถนะของท่อความร้อนของชิ้นงานตัวอย่างแบบมีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซแตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงมีการแก้ไขแผนผังการทดสอบเดิมโดยยกเลิกการทดสอบฮีตเตอร์แบบทอกลม แต่ก่อนจะยกเลิกได้ทำการทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิบนท่อความร้อนของทั้งสองแบบเพื่อเปรียบเทียบลักษณะการกระจายอุณหภูมิบนท่อความร้อนจากส่วนทำระเหยจนถึงส่วนควบแน่น โดยมีการเพิ่มจุดวัดอุณหภูมิอีก 2 จุด (T7 และ T9) ที่ส่วนควบแน่น ดังรูปที่ 4.26



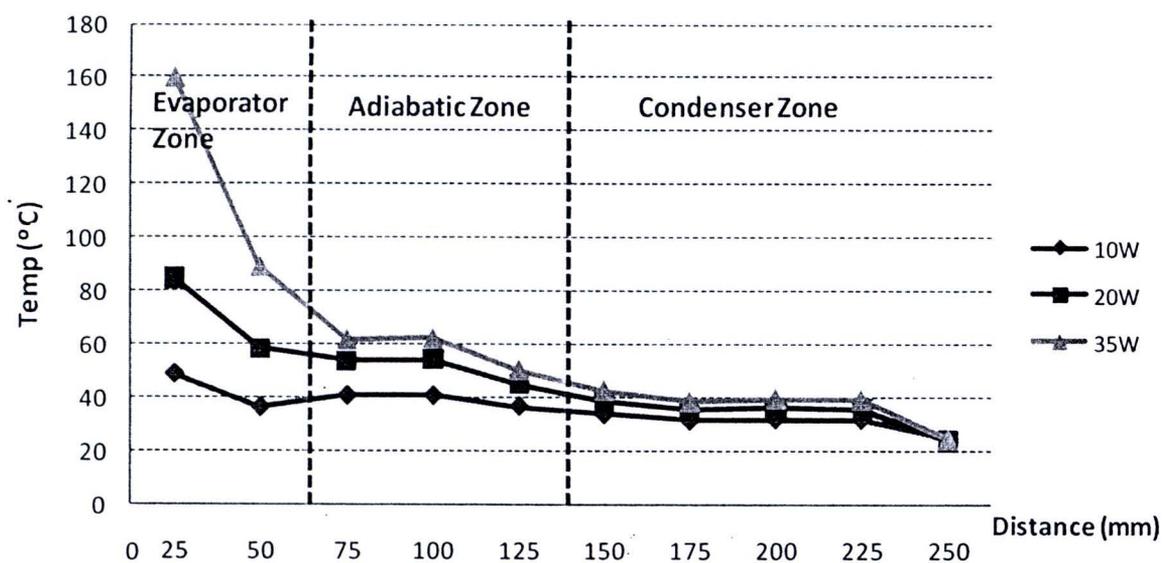
รูปที่ 4.26 จุดวัดในแต่ละตำแหน่งเพื่อทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิ

ซึ่งได้ทำการเลือกชิ้นงานแบบมีการไล่ก๊าซอ้างอิงจากผลการทดสอบน้ำร้อนในสภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 80 °C เวลา 30 วินาที โดยเลือกชิ้นงานที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่อยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ย และเลือกชิ้นงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซอ้างอิงจากผลการทดสอบน้ำร้อนในสภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 80 °C เวลา 30 วินาทีเช่นกัน หากแต่เลือกชิ้นงานที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่สูงที่สุด มาทำการทดสอบทางฮีตเตอร์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิบนท่อความร้อนในแบบทอกลม ก่อนที่จะนำไปเทียบแบบที่ความหนา

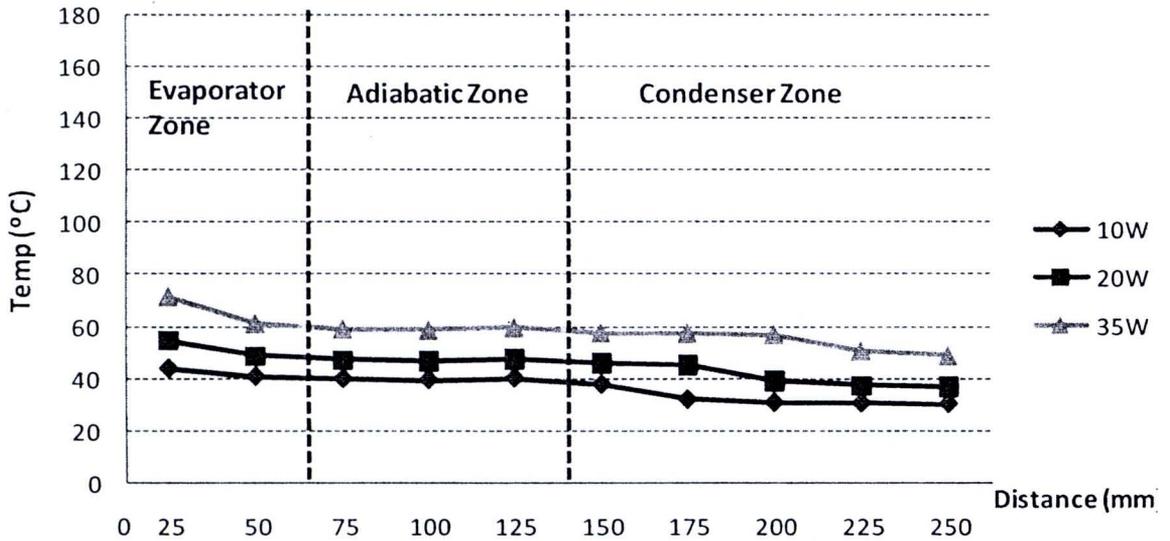
1.9±0.1 มิลลิเมตร และทำการทดสอบทางฮีดเตอร์ซ้ำเพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิบนท่อ ความร้อนแล้วนำมาเปรียบเทียบผลกัน ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปดังรูปที่ 4.27, 4.28, 4.29 และ 4.30



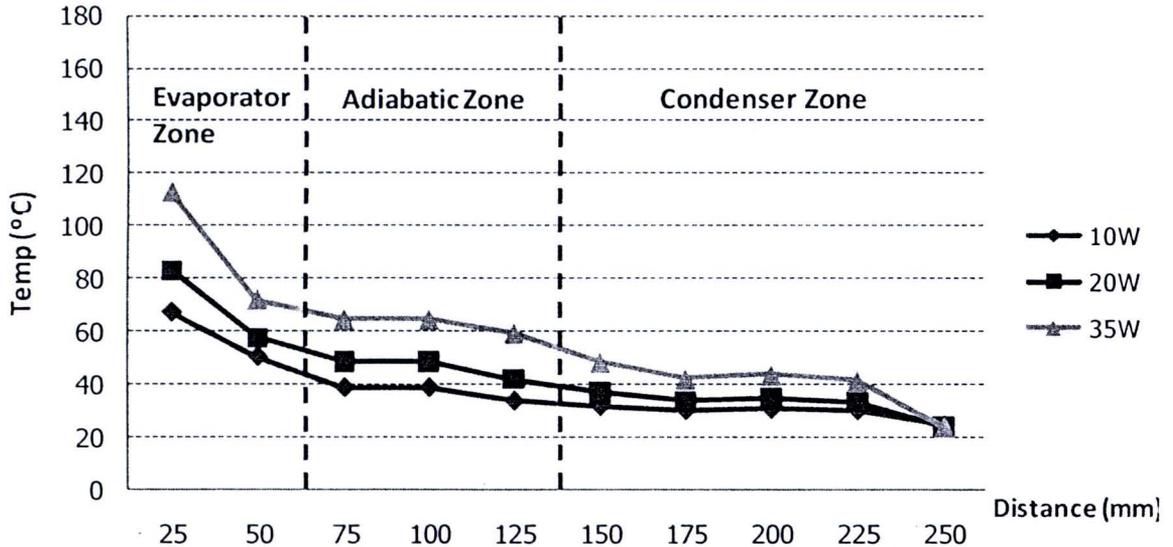
รูปที่ 4.27 ผลการกระจายอุณหภูมิของท่อความร้อนแบบกลมที่มีการไล่ก๊าซ โดยเลือก ชิ้นงานที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่อยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.28 ผลการกระจายอุณหภูมิของท่อความร้อนแบบแบนที่มีการไล่ก๊าซโดยเลือก ชิ้นงานที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่อยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.29 ผลการกระจายอุณหภูมิของท่อความร้อนแบบกวมที่ไม่มีกระแสไหลเวียน โดยเลือกชิ้นงานที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่สูงที่สุด



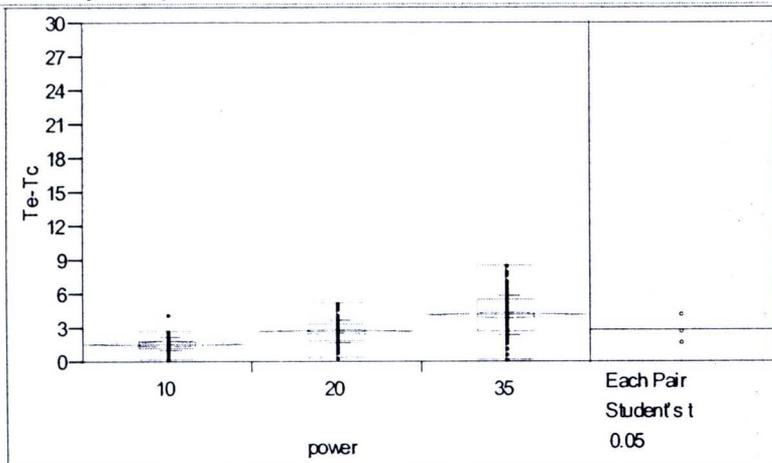
รูปที่ 4.30 ผลการกระจายอุณหภูมิของท่อความร้อนแบบแบนที่ไม่มีกระแสไหลเวียน โดยเลือกชิ้นงานที่มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิจุดปลายท่อที่สูงที่สุด

จากผลลัพธ์ที่ได้ในข้างต้นเห็นได้ชัดว่าการทับแบนจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทั้ง 3 ส่วน ทั้งชิ้นงานแบบมีการไล่ก๊าซและไม่ไล่ก๊าซ โดยในส่วนทำความร้อนจากเดิมอุณหภูมิในจุด

ของฮีตเตอร์ (T1) ไปยังจุดทำระเหย (T2) และจุดทำระเหย (T2) ไปยังจุดกันความร้อน (T3, T4, T5) มีความเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากแต่หลังจากการทับเบนอุณหภูมิที่จุดฮีตเตอร์ (T1) และจุดทำระเหย (T2) รวมถึงผลต่างอุณหภูมิระหว่าง 2 จุดนี้ (T1-T2) สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทุกกำลังความร้อนที่ 10, 20 และ 35 วัตต์ แต่จะพบการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่กำลังความร้อน 35 วัตต์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในส่วนนี้อาจเกิดจากช่องว่างไอที่ลดลงและฮีตต์ฟลักซ์ที่เปลี่ยนไป ในขณะเดียวกัน อุณหภูมิในส่วนกันความร้อน (T3, T4, T5) มีความเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่อาจเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นที่กำลังความร้อน 35 วัตต์ และในส่วนสุดท้ายคืออุณหภูมิในส่วนควบแน่น (T6, T7, T8, T9, T10) ซึ่งเป็นส่วนที่สนใจมากที่สุดเนื่องจากก๊าซที่ไม่ควบแน่นจะเกิดขึ้นและแสดงผลในส่วนนี้และโดยสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จุดปลายได้ ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 4.27 ว่าเมื่อมีการไล่ก๊าซจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จุดปลายมากนัก เมื่อเทียบเคียงกับรูปที่ 4.29 จะเห็นว่าเมื่อไม่มีการไล่ก๊าซ อุณหภูมิที่ส่วนควบแน่นจะเริ่มลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปที่ละน้อย โดยที่กำลังความร้อน 10 วัตต์จะเห็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ระยะความยาว 150 ถึง 175 มิลลิเมตร และที่กำลังความร้อน 20 วัตต์ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ระยะความยาว 175 ถึง 200 มิลลิเมตร และที่กำลังความร้อน 35 วัตต์ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิที่ระยะความยาว 200 ถึง 225 มิลลิเมตร นั่นแสดงให้เห็นว่าก๊าซที่ไม่ควบแน่นอยู่ภายในท่อจะมีการเปลี่ยนแปลงผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนกำลังความร้อน โดยที่กำลังความร้อนต่ำอัตราการกลายเป็นไอของสารทำงานก็ต่ำทำให้ก๊าซที่ไม่ควบแน่นแสดงผลได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ส่วนต้นของส่วนควบแน่น ในขณะที่กำลังความร้อนสูงขึ้นอัตราการกลายเป็นไอของสารทำงานก็จะสูงขึ้นทำให้ก๊าซที่ไม่ควบแน่นไม่แสดงผลได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ส่วนต้นของส่วนควบแน่นแต่จะไปแสดงผลชัดเจนในส่วนปลายของส่วนควบแน่นแทน ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อมีการทับเบนเกิดขึ้น ชิ้นงานตัวอย่างทั้งแบบมีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซจะแสดงผลของก๊าซที่ไม่ควบแน่นได้อย่างชัดเจนที่บริเวณ 2 จุดปลายสุด (T9, T10)

จากผลลัพธ์ที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจยกเลิกการทดสอบฮีตเตอร์แบบท่อกลม และทำการทับเบนชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด จากนั้นนำไปใส่ถึงความดันเพื่อทดสอบการรั่วด้วยวิธีความดันอากาศ และได้ทำการยกเลิกการทดสอบทางนำร้อนในแบบท่อแบนออกด้วย หลังจากนั้นนำเข้าสู่อบเพื่อทำการบ่มด้วยอุณหภูมิสูง (Aging) ก่อนที่จะดำเนินการทดสอบทางฮีตเตอร์ที่กำลังความร้อน 10, 20 และ 35 วัตต์ต่อไป โดยการทดสอบที่กำลังความร้อน 10, 20 และ 35 วัตต์ จะทดสอบอย่างค่อนเนื่องกัน เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับชุดทดสอบ และรันระยะเวลาทดสอบเนื่องจากท่อความร้อนจะเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วขึ้นตามลำดับซึ่งผลการทดสอบทางฮีตเตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 4.31, 4.32, 4.33 และ 4.34

Oneway Analysis of Te-Tc By power



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
10	0.2	0.9	1.2	1.6	2	2.3	4.2
20	0.5	1.3	2	2.7	3.5	4.1	5.2
35	0.3	1.71	2.825	4.3	5.6	6.29	8.6

Oneway Anova

Summary of Fit

Rsquare	0.422903
Adj Rsquare	0.419017
Root Mean Square Error	1.231481
Mean of Response	2.837333
Observations (or Sum Wgts)	300

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
power	2	330.06807	165.034	108.8224	<.0001
Error	297	450.41380	1.517		
C. Total	299	780.48187			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
10	100	1.60300	0.12315	1.3606	1.8454
20	100	2.74200	0.12315	2.4996	2.9844
35	100	4.16700	0.12315	3.9246	4.4094

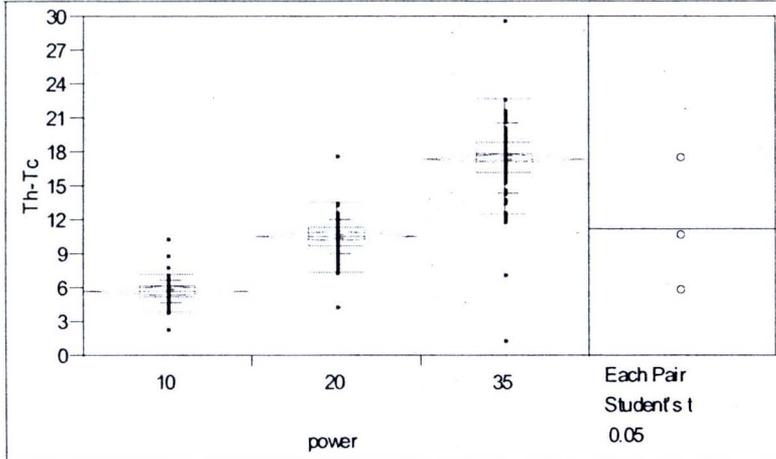
Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
10	100	1.60300	0.60226	0.06023	1.4835	1.7225
20	100	2.74200	1.02997	0.10300	2.5376	2.9464
35	100	4.16700	1.76807	0.17681	3.8162	4.5178

รูปที่ 4.31 ผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดทำระเหยและจุดควบแน่นของชิ้นงานตัวอย่างที่มีการไล่ก๊าซที่กำลังความร้อน 10, 20 และ 35 วัตต์

Oneway Analysis of Th-Tc By power



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
10	2.4	4.9	5.3	5.7	6.2	6.7	10.4
20	4.4	9.1	9.7	10.6	11.4	12.3	17.7
35	1.4	14.42	16.225	17.9	18.9	20.3	29.7

Oneway Anova

Summary of Fit

Rsquare	0.844952
Adj Rsquare	0.843908
Root Mean Square Error	2.071286
Mean of Response	11.28567
Observations (or Sum Wgts)	300

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
power	2	6943.8913	3471.95	809.2687	<.0001
Error	297	1274.1971	4.29		
C. Total	299	8218.0884			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
10	100	5.7650	0.20713	5.357	6.173
20	100	10.6020	0.20713	10.194	11.010
35	100	17.4900	0.20713	17.082	17.898

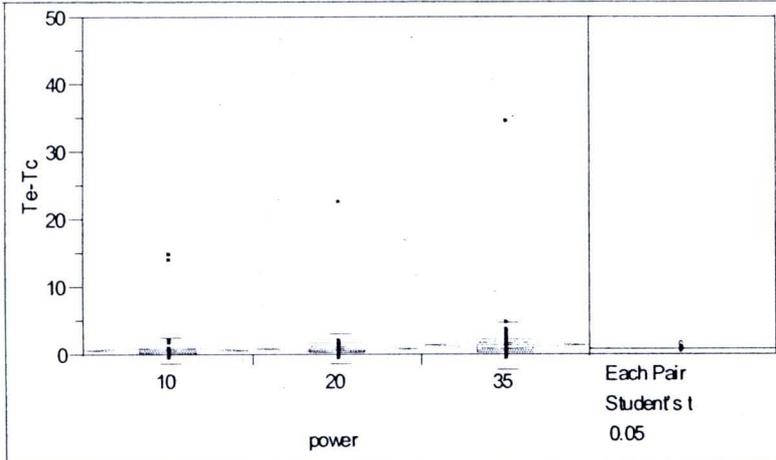
Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
10	100	5.7650	0.96257	0.09626	5.574	5.956
20	100	10.6020	1.52699	0.15270	10.299	10.905
35	100	17.4900	3.10039	0.31004	16.875	18.105

รูปที่ 4.32 ผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดฮีตเตอร์และจุดควบแน่นของชิ้นงานตัวอย่างที่มีการไล่ก๊าซที่กำลังความร้อน 10, 20 และ 35 วัตต์

Oneway Analysis of Te-Tc By power



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
10	-0.1	0	0.2	0.4	0.6	0.9	15.2
20	-0.2	0.1	0.4	0.6	1	1.4	22.9
35	-0.3	0.2	0.5	0.8	1.5	2.3	35

Oneway Anova

Summary of Fit

Rsquare	0.011776
Adj Rsquare	0.005053
Root Mean Square Error	2.713611
Mean of Response	1.026599
Observations (or Sum Wgts)	297

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
power	2	25.7972	12.8986	1.7517	0.1753
Error	294	2164.9226	7.3637		
C. Total	296	2190.7199			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
10	99	0.70909	0.27273	0.17234	1.2458
20	99	0.95152	0.27273	0.41477	1.4883
35	99	1.41919	0.27273	0.88245	1.9559

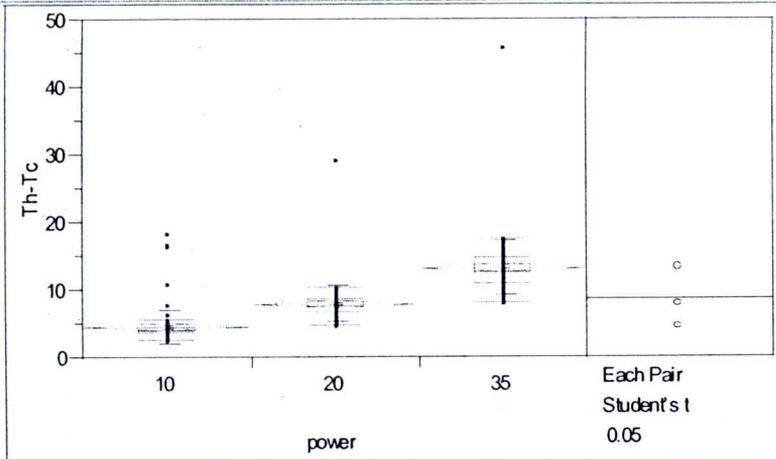
Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
10	99	0.70909	2.06546	0.20759	0.29714	1.1210
20	99	0.95152	2.29766	0.23092	0.49325	1.4098
35	99	1.41919	3.54198	0.35598	0.71276	2.1256

รูปที่ 4.33 ผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดทำระเหยและจุดควบแน่นของชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่มีคาร์ไล์ ก๊าซ ที่กำลังความร้อน 10, 20 และ 35 วัตต์

Oneway Analysis of Th-Tc By power



Quantiles

Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
10	2.6	3.3	3.7	4.1	4.7	5.3	18.5
20	4.8	6.3	6.9	7.7	8.7	9.6	29.4
35	8.2	10	11.1	12.7	14.9	16.1	46.1

Oneway Anova

Summary of Fit

Rsquare	0.576471
Adj Rsquare	0.57359
Root Mean Square Error	3.079632
Mean of Response	8.635017
Observations (or Sum Wgts)	297

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio	Prob > F
power	2	3795.2399	1897.62	200.0836	<.0001
Error	294	2788.3360	9.48		
C. Total	296	6583.5758			

Means for Oneway Anova

Level	Number	Mean	Std Error	Lower 95%	Upper 95%
10	99	4.6202	0.30951	4.011	5.229
20	99	7.9818	0.30951	7.373	8.591
35	99	13.3030	0.30951	12.694	13.912

Std Error uses a pooled estimate of error variance

Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
10	99	4.6202	2.47275	0.24852	4.127	5.113
20	99	7.9818	2.51199	0.25246	7.481	8.483
35	99	13.3030	4.00348	0.40236	12.505	14.102

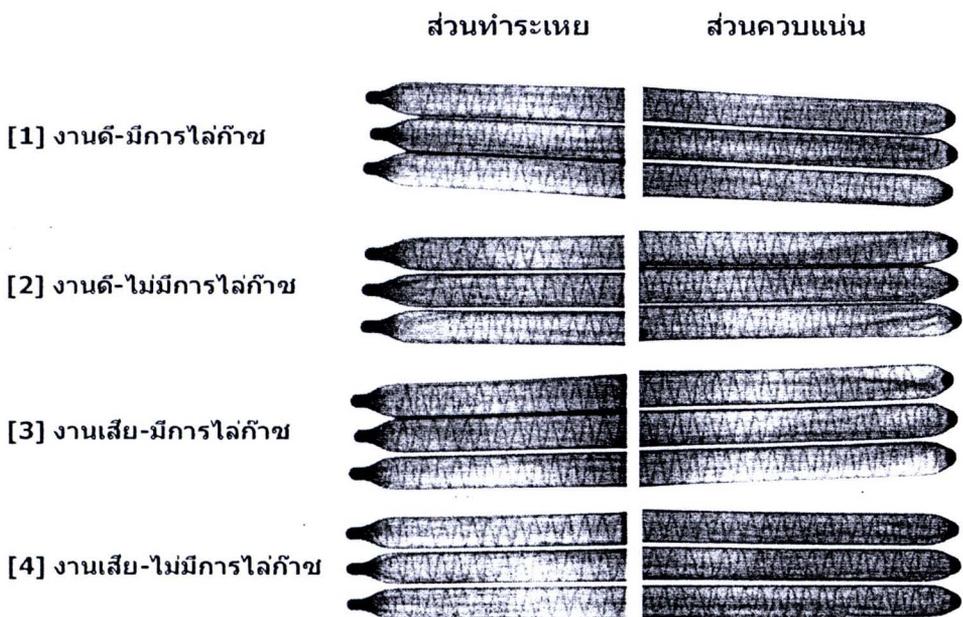
รูปที่ 4.34 ผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดฮีตเตอร์และจุดควมแน่นของชิ้นงานตัวอย่างที่ไม่มีการไล่ก๊าซที่กำลังความร้อน 10, 20 และ 35 วัตต์

จากรูปที่ 4.31, 4.32, 4.33 และ 4.34 จะเห็นได้ว่าเมื่อปรับกำลังความร้อนเพิ่มขึ้นค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดทำระเหยถึงจุดควบแน่นและค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดฮีตเตอร์ถึงจุดควบแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ดังนั้นต่อจากนี้จะพิจารณาผลการทดสอบฮีตเตอร์ที่ก้ำลึงวัตต์สูงสุดที่ 35 วัตต์เท่านั้น ซึ่งชิ้นงานตัวอย่างทั้งแบบมีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซจะพบกลุ่มชิ้นงานที่แตกต่างจากกลุ่ม (Outlier) โดยที่ชิ้นงานแบบมีการไล่ก๊าซพบกลุ่มชิ้นงานที่แตกต่างจากกลุ่มจำนวน 3 ชิ้นจาก 100 ชิ้น คิดเป็น 3% และชิ้นงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซพบกลุ่มชิ้นงานที่แตกต่างจากกลุ่มจำนวน 17 ชิ้นจาก 99 ชิ้น คิดเป็น 17.17% ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วกลุ่มชิ้นงานที่ไม่เข้าพวกทั้งหมดมีนัยสำคัญจึงพิจารณาไม่ตัดออก และสามารถถือได้ว่าข้อมูลกลุ่มชิ้นงานที่ไม่เข้าพวกนี้เป็นชิ้นงานเสีย (Defect) ซึ่งชิ้นงานแบบมีการไล่ก๊าซคิดเป็น 3% เป็นระดับชิ้นงานเสียที่ปกติและยอมรับได้ในกระบวนการผลิตจริง แต่ชิ้นงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซคิดเป็น 17.17% เป็นระดับชิ้นงานเสียที่ไม่ปกติและยอมรับไม่ได้ในกระบวนการผลิตจริง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดทำระเหยถึงจุดควบแน่นและผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดฮีตเตอร์ถึงจุดควบแน่นเปรียบเทียบกับระหว่างชิ้นงานตัวอย่างแบบมีการไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซกลับพบว่า การไม่มีการไล่ก๊าซให้ค่าผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดทำระเหยถึงจุดควบแน่นและผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดฮีตเตอร์ถึงจุดควบแน่นที่ต่ำกว่า โดยที่ค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดทำระเหยถึงจุดควบแน่นของชิ้นงานตัวอย่างแบบมีการไล่ก๊าซมีค่าเท่ากับ 4.17°C ส่วนแบบไม่มีการไล่ก๊าซมีค่าเท่ากับ 1.42°C ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดฮีตเตอร์ถึงจุดควบแน่นของชิ้นงานตัวอย่างแบบมีการไล่ก๊าซมีค่าเท่ากับ 17.49°C ส่วนแบบไม่มีการไล่ก๊าซมีค่าเท่ากับ 13.30°C ดังนั้นหากพิจารณาผลการทดสอบทางฮีตเตอร์โดยมุ่งเน้นที่จำนวนของเสียจากกระบวนการเพียงอย่างเดียว อาจกล่าวได้ว่าการไล่ก๊าซในกระบวนการควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศนั้นมีความจำเป็น แต่ถึงอย่างไรก็ดีหากพิจารณาสิ่งที่ได้กลับมาจากการไม่ไล่ก๊าซก็คือการควบคุมปริมาณสารทำงานที่เที่ยงตรงและเสถียรกว่าอีกทั้งค่าเฉลี่ยของผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดทำระเหยถึงจุดควบแน่นและผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดฮีตเตอร์ถึงจุดควบแน่นที่ต่ำกว่าในทางตรง และสิ่งอื่นๆ ในทางอ้อม ตัวอย่างเช่น การยกเลิกการไล่ก๊าซทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตลดลง ไม่ต้องใช้พลังงานในการควบคุมน้ำร้อน เป็นต้น อาจจะยังสรุปไม่ได้ว่าการมีการไล่ก๊าซและการไม่มีการไล่ก๊าซอย่างไรจะดีกว่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมาช่วยในการเปรียบเทียบและตัดสินใจในขั้นสุดท้ายต่อไป

อย่างไรก็ตามในขณะที่ดำเนินการทดสอบทางฮีตเตอร์นี้ ก็ได้มีข้อสงสัยนำมาซึ่งการทดสอบเพิ่มเติมนอกเหนือจากผังการทดสอบที่ได้วางไว้ โดยมีข้อสงสัยประการแรกคือแม้ว่าการทับแบน

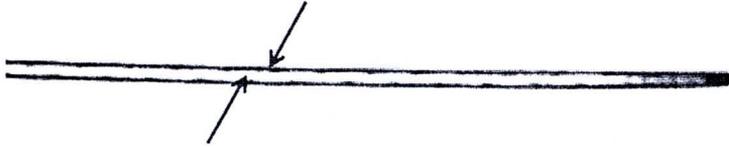
จะทำให้เห็นลักษณะการลดลงของอุณหภูมิที่ส่วนควบแน่นแต่ก็เกิดการเหือดแห้ง (Dry out) ที่ส่วนทำระเหยเช่นกัน จึงมีข้อสงสัยว่าการลดลงของอุณหภูมิที่ส่วนควบแน่น เกิดจากก๊าซที่ไม่ควบแน่น (Non-condensable gas) เพียงอย่างเดียวจริงหรือ หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอาจจะมาจากส่วนของช่องว่างไอที่แคบเกินไปแทนที่จะเป็นผลกระทบจากก๊าซที่ไม่ควบแน่น (Non-condensable gas) เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงได้ออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อพิสูจน์ข้อสงสัยประการแรกดังนี้

1. X-ray เพื่อตรวจสอบสภาพของวัสดุพูนแบบไฟเบอร์ภายในบริเวณส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น โดยจะเลือกชิ้นงานตัวอย่างจากผลการทดสอบข้างต้น จากรูปที่ 4.34 และ 4.36 โดยให้นิยามงานดีคือกลุ่มงานที่เข้าพวก และงานเสียคืองานที่ไม่เข้าพวก (Outlier) และจะเลือกจากกลุ่มชิ้นงานตัวอย่างทั้งแบบที่มีการไล่อากาศ และไม่มีการไล่อากาศ ดังนั้น จะเลือกชิ้นงานได้ทั้งสิ้น 4 แบบ โดยแบบแรกคืองานดี-มีการไล่อากาศ แบบที่สองคืองานดี-ไม่มีการไล่อากาศ แบบที่สามคืองานเสีย-มีการไล่อากาศ และแบบสุดท้ายคืองานเสีย-ไม่มีการไล่อากาศ แบบละ 3 ชิ้น โดยผลจากการ X-ray เป็นไปดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 ผลการ X-Ray เพื่อตรวจสอบสภาพของวัสดุพูนแบบไฟเบอร์ภายใน

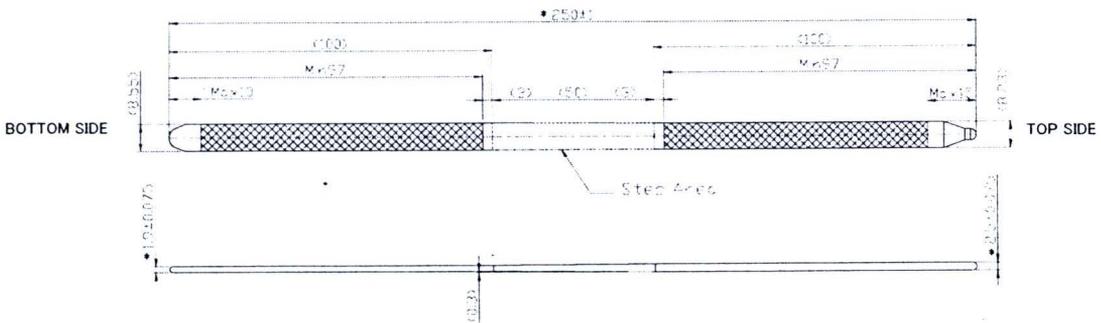
จากผล X-ray ไม่พบความผิดปกติใดๆของสภาพวัสดุพรมแบบไฟเบอร์ภายใน จึงทำการ X-Ray ด้านข้างเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบช่องว่างไอ ซึ่งผลจากการ X-ray เป็นไปดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 ผลการ X-Ray ด้านข้างเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบช่องว่างไอ

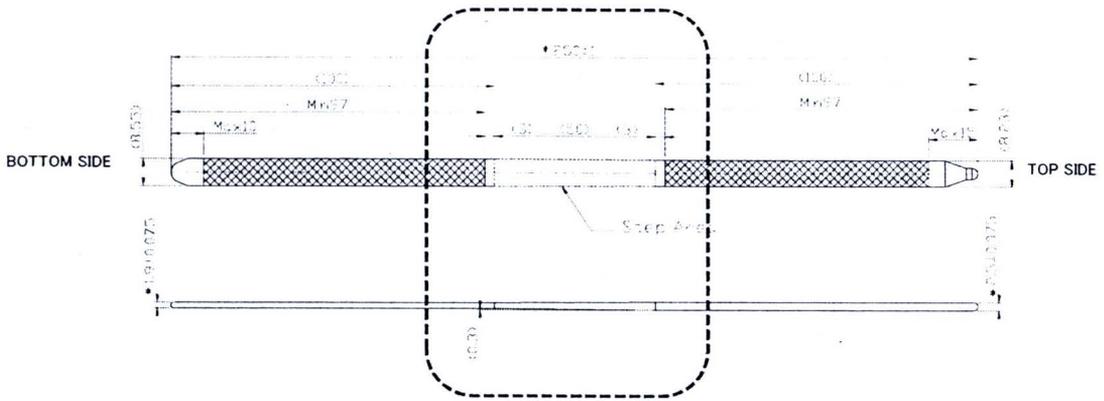
จากผล X-ray ด้านข้างพบว่าช่องว่างไอไม่มีความผิดปกติใดๆ จากการกระจายตัวของวัสดุพรมแบบไฟเบอร์ ทำให้กล่าวได้ว่าสภาพวัสดุพรมแบบไฟเบอร์ภายในท่อไม่มีผลต่อลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิบนท่อความร้อนแต่อย่างใด

2. แก้ไขชิ้นงาน (Rework) เปลี่ยนขนาดความหนาท่อทึบแบนจาก 1.9 มิลลิเมตร เป็น 2.5 มิลลิเมตร ที่ส่วนทำระเหยและคงความหนา 1.9 มิลลิเมตร ที่ส่วนควบแน่นเพื่อตรวจสอบการกระจายอุณหภูมิอีกครั้ง โดยออกแบบลักษณะชิ้นงานตัวอย่างหลังการแก้ไขชิ้นงานดังรูปที่ 4.37

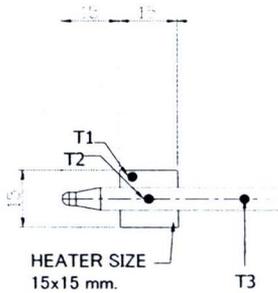


รูปที่ 4.37 แบบของชิ้นงานที่ต้องการแก้ไขโดยความหนาที่ส่วนทำระเหยเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร

เหตุผลที่เลือก 2.5 มิลลิเมตร เพราะไม่ต้องการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันแบบกระทันหันดังรูปที่ 4.38 และไม่ต้องการให้ฮีตฟลักซ์เปลี่ยนแปลงมากเกินไปนักดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.38 ช่วงการเปลี่ยนแปลงความหนาจาก 1.9 มิลลิเมตร ไปยัง 2.5 มิลลิเมตร



ความหนา	ความกว้าง
1.9	8.55
2.5	8.23

รูปที่ 4.39 ลักษณะของพื้นที่การรับความร้อนและความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและความกว้าง

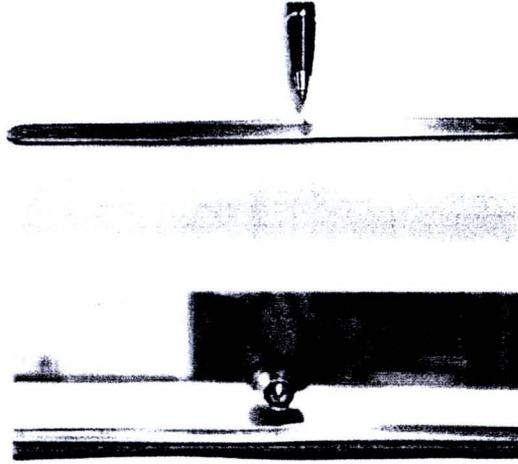
การคำนวณฮีตฟลักซ์สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Heat flux ของท่อที่มีความหนา 1.9 มิลลิเมตร ; } 35 \text{ watts}/(1.5 \times 0.855) \text{cm}^2 = 27.29 \text{ W/cm}^2$$

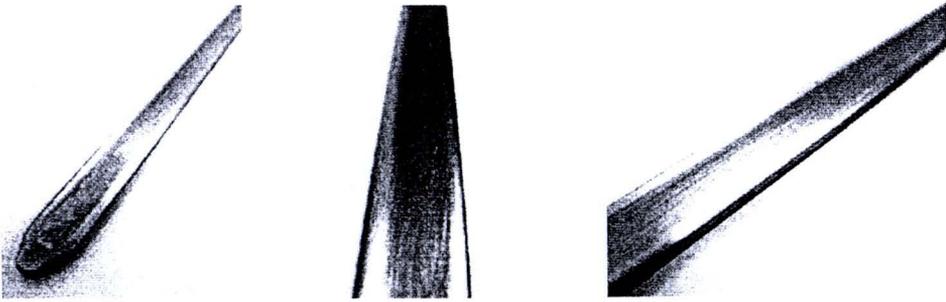
$$\text{Heat flux ของท่อที่มีความหนา 2.5 มิลลิเมตร ; } 35 \text{ watts}/(1.5 \times 0.823) \text{cm}^2 = 28.35 \text{ W/cm}^2$$

ซึ่งคิดเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ 3.88 % ซึ่งถือว่าไม่มากนักและน่าจะยอมรับได้

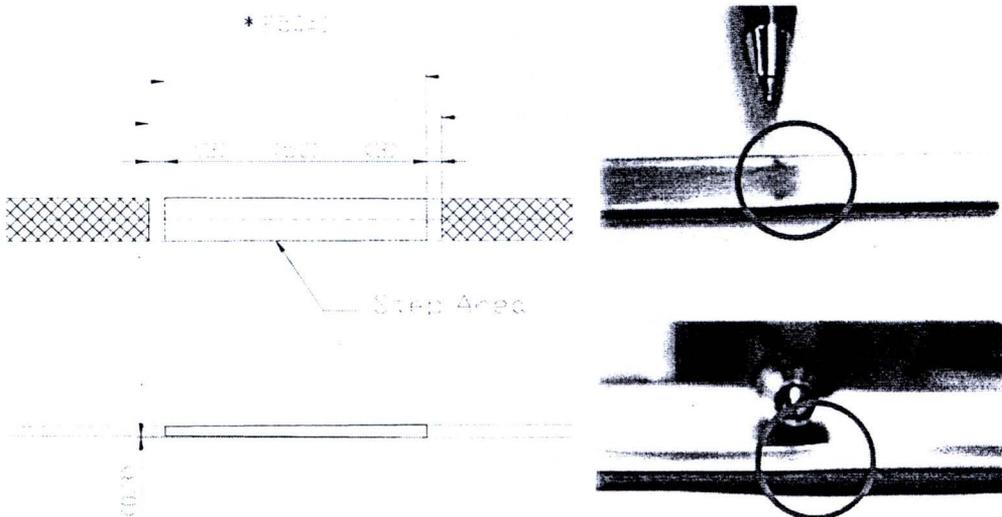
ครั้งนี้ได้ออกแบบวิธีการทำซ้ำ (Rework) โดยทำการอบที่ความร้อนที่ 220 °C เวลา 3 นาที จนบวมขึ้นมาแล้วจึงทับแบนที่ 2.5 มิลลิเมตรตลอดชิ้นงานก่อน กำหนดตำแหน่งรอยทับแบนบนตัวชิ้นงานก่อนจะทับแบนที่ 1.9 มิลลิเมตร โดยวิธีทำมือ (Manual) ที่ด้านส่วนควมแน่นตามที่กำหนดระยะไว้ จากการทำซ้ำได้ผลดังรูปที่ 4.40 และจากผลการทำซ้ำพบปัญหาสองประการ ดังรูปที่ 4.41 และ 4.42



รูปที่ 4.40 ผลหลังจากการทำซ้ำแสดงจากด้านบนและด้านข้างของชิ้นงาน



รูปที่ 4.41 ปัญหาเรื่องความเรียบของชิ้นงาน (Flatness) หลังจากการทำซ้ำ



รูปที่ 4.42 ปัญหาเรื่องการเปลี่ยนความหนาของชิ้นงานซึ่งไม่เป็นไปตามแบบหลังจากการทำซ้ำ

จากปัญหาหลังการทำซ้ำที่เกิดขึ้นทำให้พิจารณาเปลี่ยนการดำเนินการเป็นการทดลองทำซ้ำที่ความหนา 2.5 มิลลิเมตรตลอดชิ้นงาน ซึ่งสามารถทำได้โดยการอบต่อความร้อนที่ 220 °C เวลา 3 นาที จนบวมขึ้นมาแล้วจึงทับแบนที่ 2.5 มิลลิเมตรตลอดชิ้นงาน พร้อมทั้งทดสอบในแนวตั้งและแนวนอน

3. ทดสอบการกระจายอุณหภูมิในแนวตั้งโดยส่วนควบแน่นอยู่ด้านบนและส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง (Vertical bottom heat mode) ดังรูปที่ 4.43 และได้ตรวจสอบการกระจายอุณหภูมิทั้งหมด 4 รูปแบบ แบ่งตามการทดสอบทั้งแนวตั้ง-แนวนอน และที่ความหนา 1.9 มิลลิเมตร กับ 2.5 มิลลิเมตร และชิ้นงานที่จะทดสอบมี 4 แบบ ดังนี้ งานดี-มีการไล่อากาศ, งานดี-ไม่มีการไล่อากาศ, งานเสีย-มีการไล่อากาศ และงานเสีย-ไม่มีการไล่อากาศ โดยงานดีก็คืองานที่เข้ากลุ่ม และ งานเสียคืองานที่ไม่เข้ากลุ่ม (Outlier) แสดงไว้ในรูปที่ 4.31-4.34 โดยการทดสอบจะทดสอบแบบละ 1 ชิ้น ตามตารางที่ 4.3

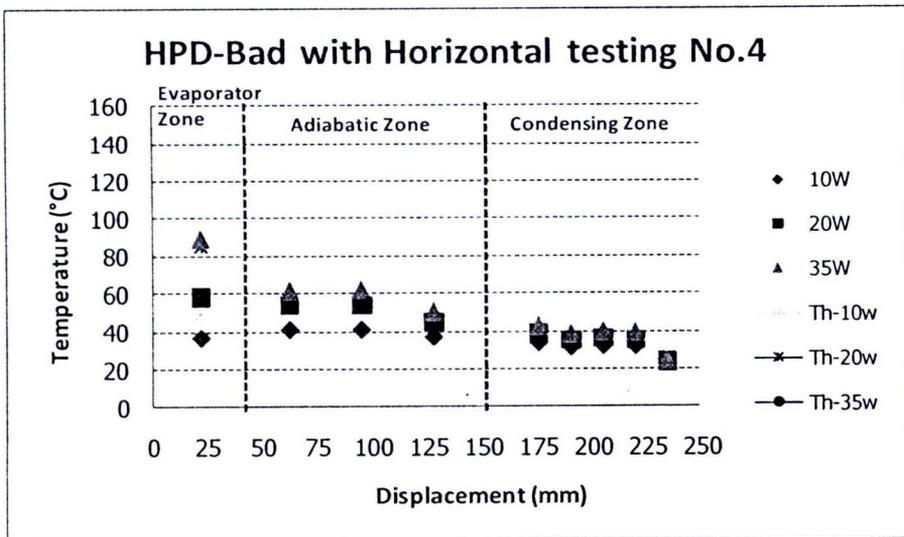
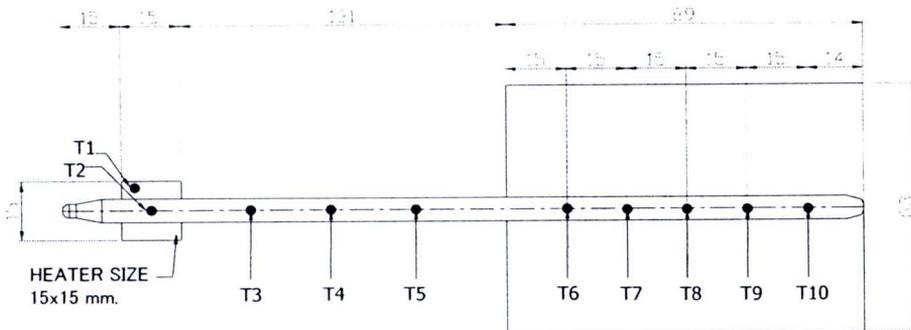


รูปที่ 4.43 ลักษณะชุดทดสอบเพื่อทดสอบการกระจายอุณหภูมิในแนวตั้ง

ตารางที่ 4.3 การวางแผนการทดสอบการกระจายอุณหภูมิ 16 รูปแบบ

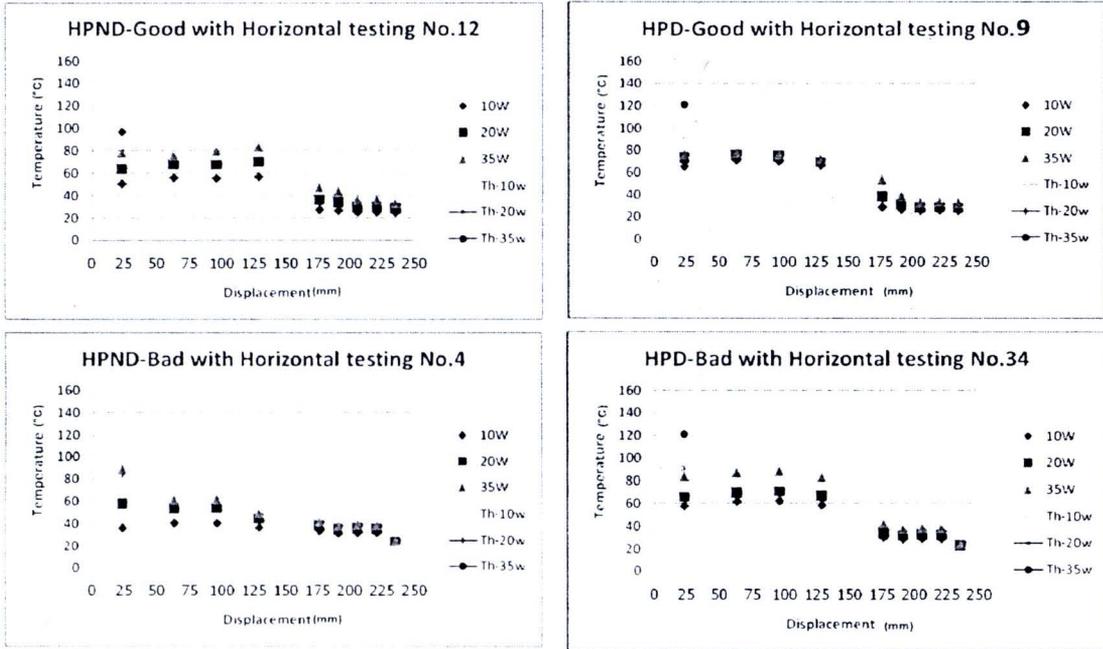
รูปแบบการทดสอบ	HPND-Good	HPD-Good	HPND-Bad	HPD-Bad
แบบที่ 1 : แนวนอน , หนา 1.9 มม.	1 ชั้น	1 ชั้น	1 ชั้น	1 ชั้น
แบบที่ 2 : แนวตั้ง , หนา 1.9 มม.	1 ชั้น	1 ชั้น	1 ชั้น	1 ชั้น
แบบที่ 3 : แนวนอน , หนา 2.5 มม.	1 ชั้น	1 ชั้น	1 ชั้น	1 ชั้น
แบบที่ 4 : แนวตั้ง , หนา 2.5 มม.	1 ชั้น	1 ชั้น	1 ชั้น	1 ชั้น

โดยผลการทดสอบจะวัดอุณหภูมิ 10 จุด เหมือนการทดสอบการกระจายอุณหภูมิก่อนหน้าแต่เวลาแสดงผลจะแสดงผลในแนวแกนอนเป็นระยะทางของแต่ละจุด (Displacement) แทนจำนวนจุดวัด และแสดงค่าอุณหภูมิเป็นจุดไม่มีการต่อเชื่อมเส้น และแบ่งการพิจารณาเป็น 3 ส่วน คือส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่น ดังตัวอย่างรูปที่ 4.44

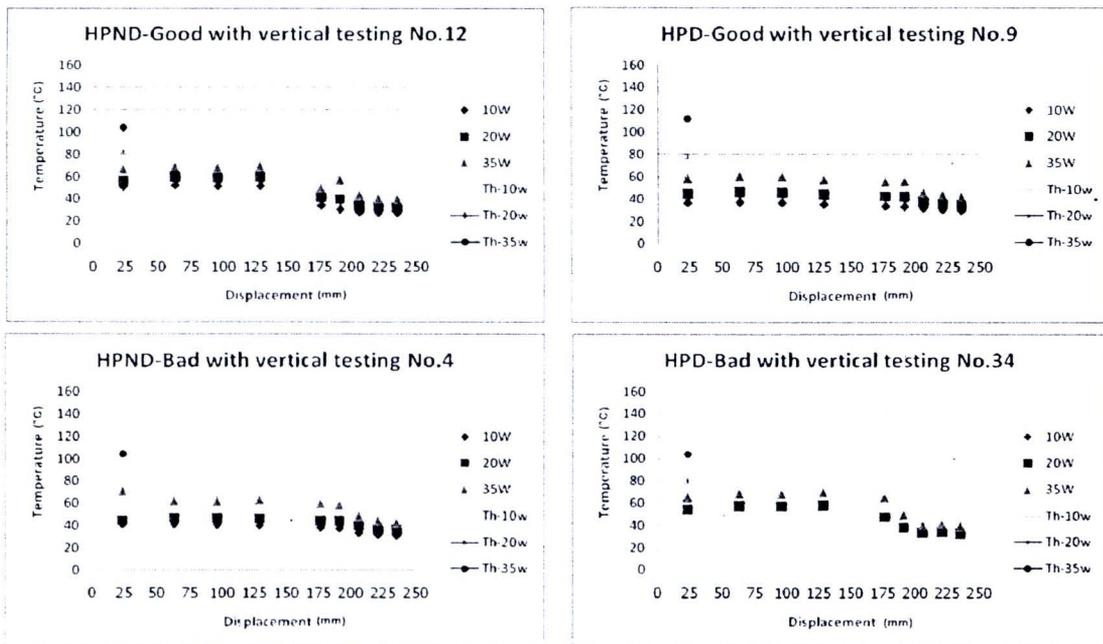


รูปที่ 4.44 ตัวอย่างการแสดงผลของการกระจายตัวของอุณหภูมิต่อความร้อนตามระยะทาง

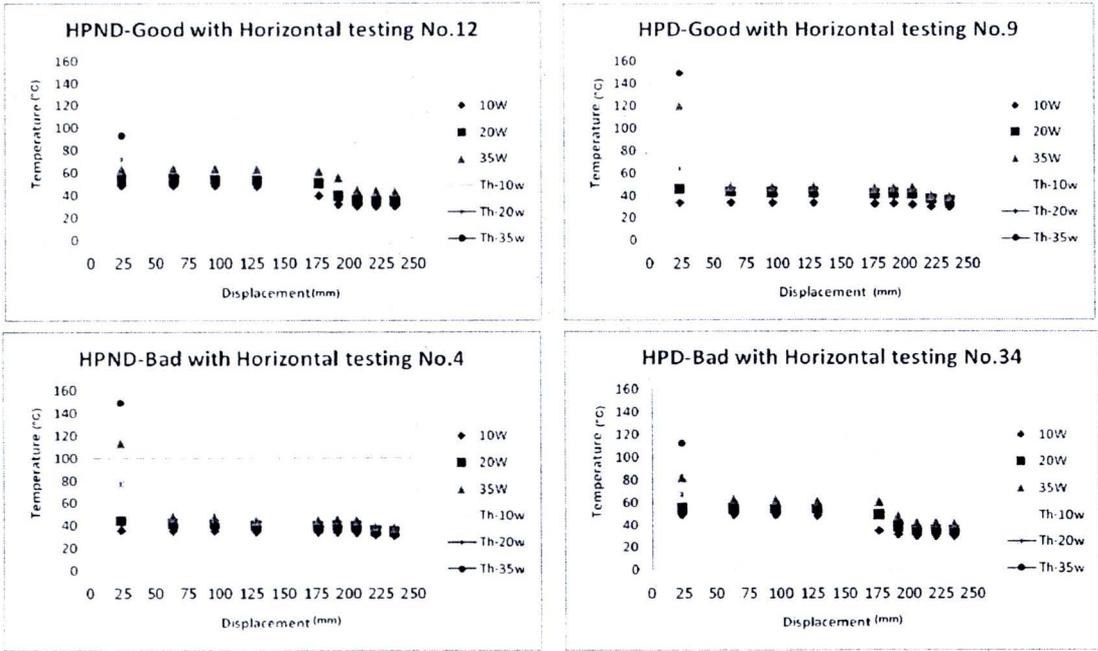
ซึ่งผลการทดสอบทั้ง 4 แบบ เป็น ไปดังรูปที่ 4.45, 4.46, 4.47 และ 4.48



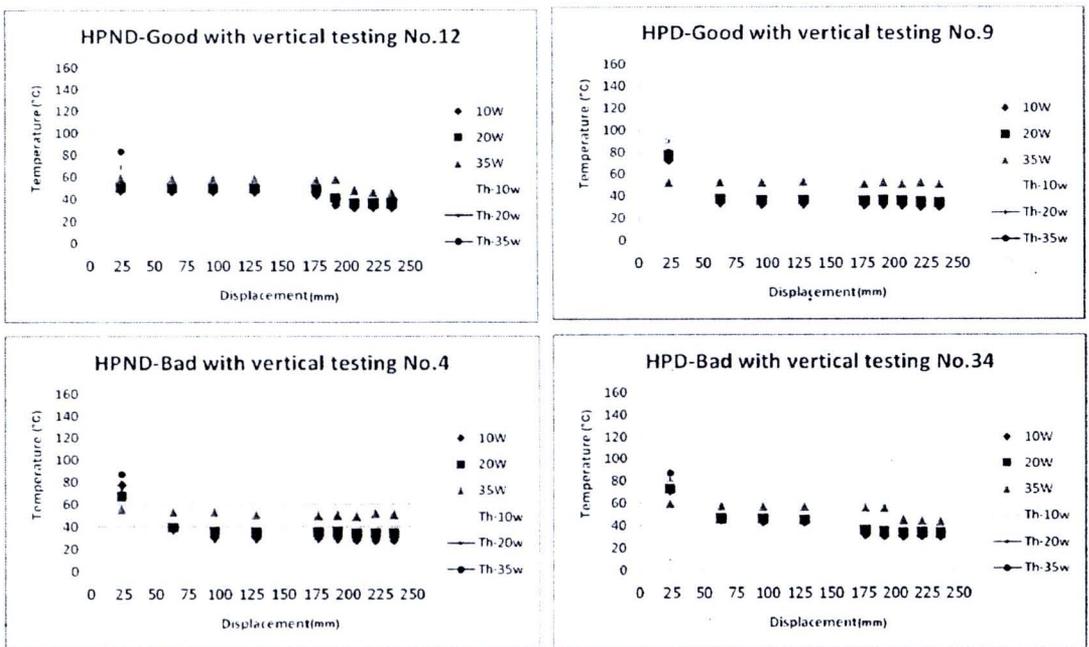
รูปที่ 4.45 ผลการทดสอบของแบบที่ 1 การทดสอบในแนวนอน ชีงงานหนา 1.9 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.46 ผลการทดสอบของแบบที่ 2 การทดสอบในแนวตั้ง ชีงงานหนา 1.9 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.47 ผลการทดสอบของแบบที่ 3 การทดสอบในแนวนอน ชั้นงานหนา 2.5 มิลลิเมตร



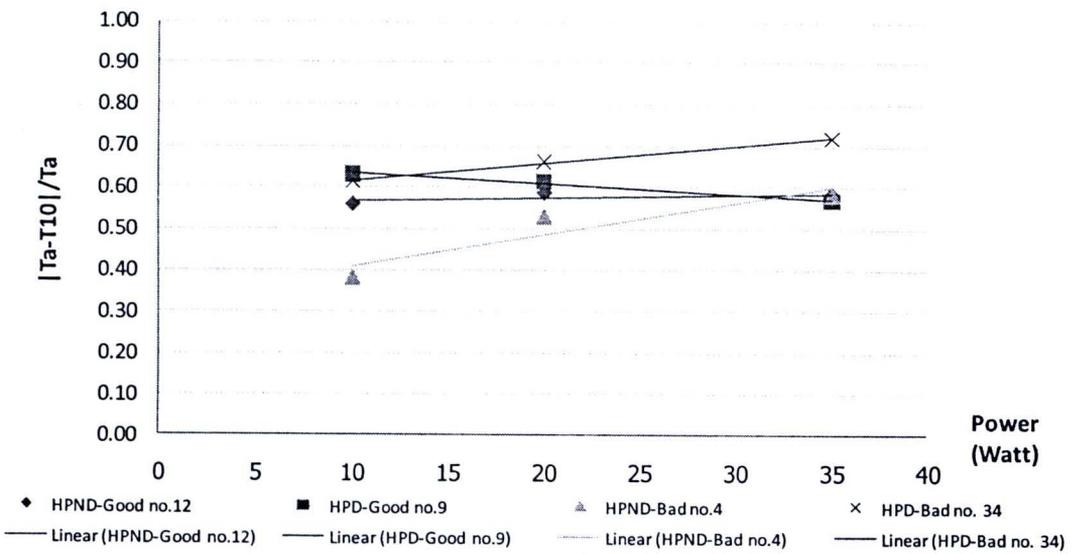
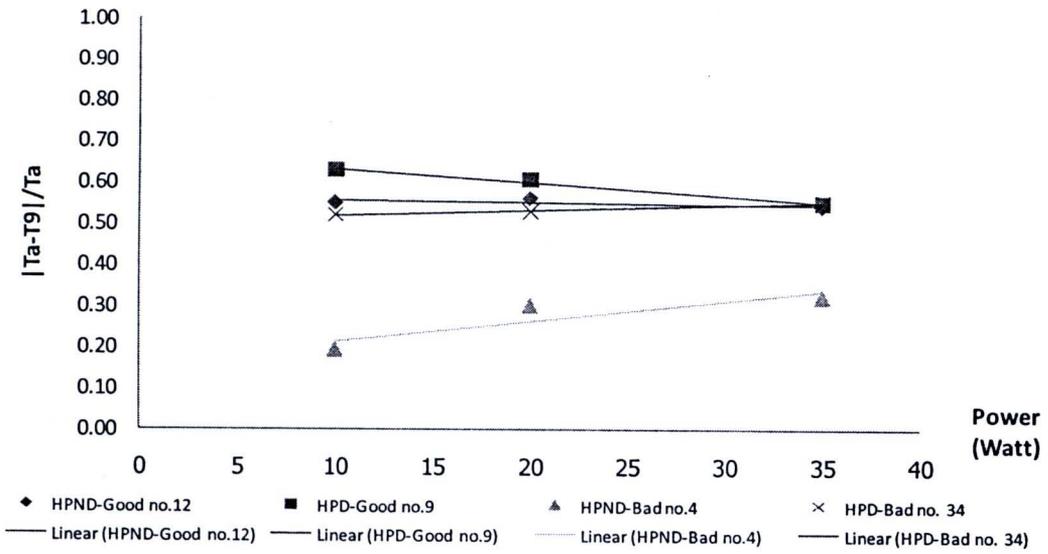
รูปที่ 4.48 ผลการทดสอบของแบบที่ 4 การทดสอบในแนวตั้ง ชั้นงานหนา 2.5 มิลลิเมตร

จากผลการทดสอบทั้งหมด สามารถสรุปในเบื้องต้นได้ว่า การทดสอบในแนวตั้งไม่มีส่วนช่วยให้การตรวจจับอุณหภูมิเพื่อวิเคราะห์ก๊าซที่ไม่ควมแน่นชัดเจนขึ้น โดยการเปรียบเทียบรูปที่ 4.45 กับ 4.46 และ รูปที่ 4.47 กับ 4.48 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบในแนวนอนในรูปที่ 4.45 และการทดสอบในแนวตั้งในรูปที่ 4.46 การกระจายตัวของอุณหภูมิในส่วนควมแน่นในช่วงความยาวระหว่าง 175-250 มิลลิเมตร การกระจายตัวของอุณหภูมิในการทดสอบในแนวตั้งค่อนข้างเป็นแนวราบมีความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยมาก และไม่พบการลดลงของอุณหภูมิที่มากขึ้นในระยะปลายท่อความร้อนเมื่อเทียบกับการทดสอบในแนวนอนแต่อย่างใด ในทำนองเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.47 และ 4.48 ก็จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยไม่พบความแตกต่างระหว่างการทดสอบในแนวนอนและแนวตั้งแต่อย่างใด และการทับแบนที่ความหนา 1.9 มิลลิเมตรน่าจะเหมาะสมสำหรับการอธิบายพฤติกรรมของก๊าซที่ไม่ควมแน่นมากกว่าเนื่องจากเห็นผลกระทบและตรวจจับได้ชัดเจนกว่าที่ความหนา 2.5 มิลลิเมตร โดยการเปรียบเทียบรูปที่ 4.45 กับ 4.47 โดยเฉพาะชิ้นงานเสีย (HPND-Bad และ HPD-Bad) จะเห็นการลดลงของอุณหภูมิในระยะปลายท่อความร้อนของท่อความร้อนที่หนา 1.9 มิลลิเมตรอย่างชัดเจน ในขณะที่ไม่พบการลดลงของอุณหภูมิในระยะปลายท่อความร้อนของท่อความร้อนที่หนา 2.5 มิลลิเมตรมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบ รูปที่ 4.46 กับ 4.48 จะเห็นการลดลงของอุณหภูมิในระยะปลายท่อความร้อนของท่อความร้อนที่หนา 1.9 มิลลิเมตรอย่างช้าๆ ในขณะที่ไม่พบการลดลงของอุณหภูมิในระยะปลายท่อความร้อนของท่อความร้อนที่หนา 2.5 มิลลิเมตรมากนัก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การทดสอบทางฮีดเตอร์ในแนวนอนกับชิ้นงานที่ความหนา 1.9 มิลลิเมตร มีความเหมาะสมดีแล้วในการอธิบายพฤติกรรมของก๊าซที่ไม่ควมแน่น

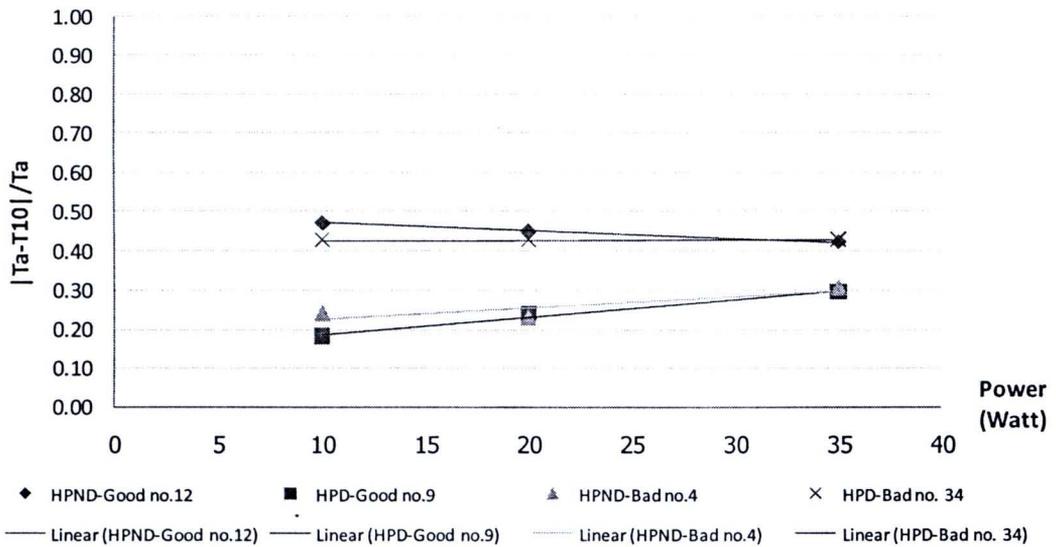
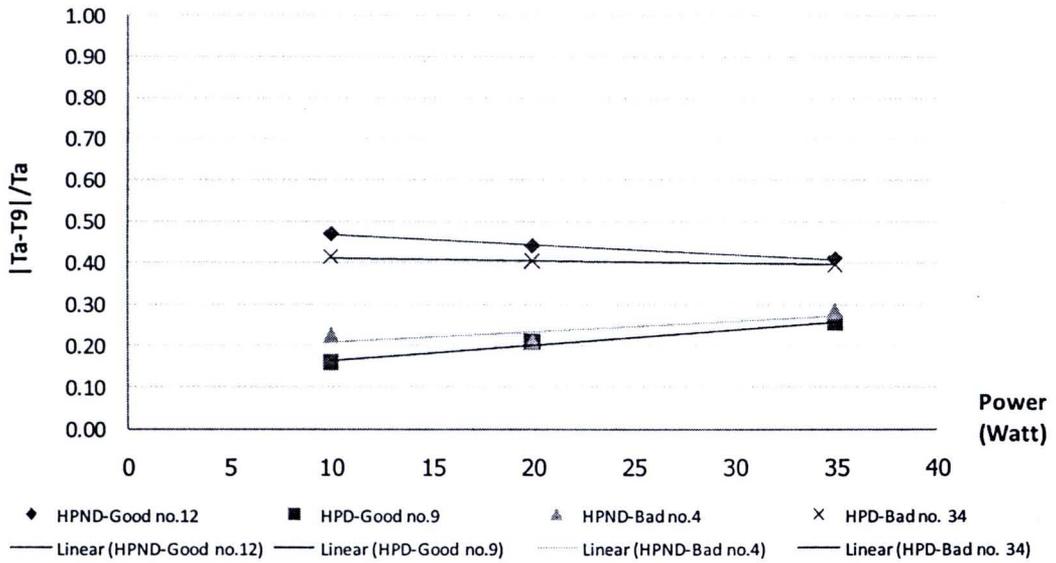
อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาผลการทดสอบตามแบบที่ดีที่สุดกล่าวคือผลการทดสอบตามรูปที่ 4.45 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานดีและงานเสียจะพบข้อเท็จจริงประการสำคัญประการหนึ่งว่าพบการลดลงของอุณหภูมิที่สองจุดปลายสุดของท่อความร้อนในส่วนควมแน่น ซึ่งจะไม่พบลักษณะแบบนี้ในชิ้นงานที่ดี แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีการไล่ก๊าซและไม่ไล่ก๊าซกลับไม่พบความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิใดๆ

จากผลการทดสอบทั้งหมดนี้ก็ตั้งข้อสงสัยถัดไปว่าการตรวจสอบก๊าซที่ไม่ควมแน่นจากวิธีการวัดการกระจายอุณหภูมินี้เปรียบเทียบได้ยาก น่าจะมีวิธีการอื่นๆหรือการสร้างตัวแปรอื่นๆขึ้นมาวัดผล จึงนำมาสู่การตั้งข้อสงสัยประการสอง และได้ทำการพิสูจน์และทดสอบดังนี้

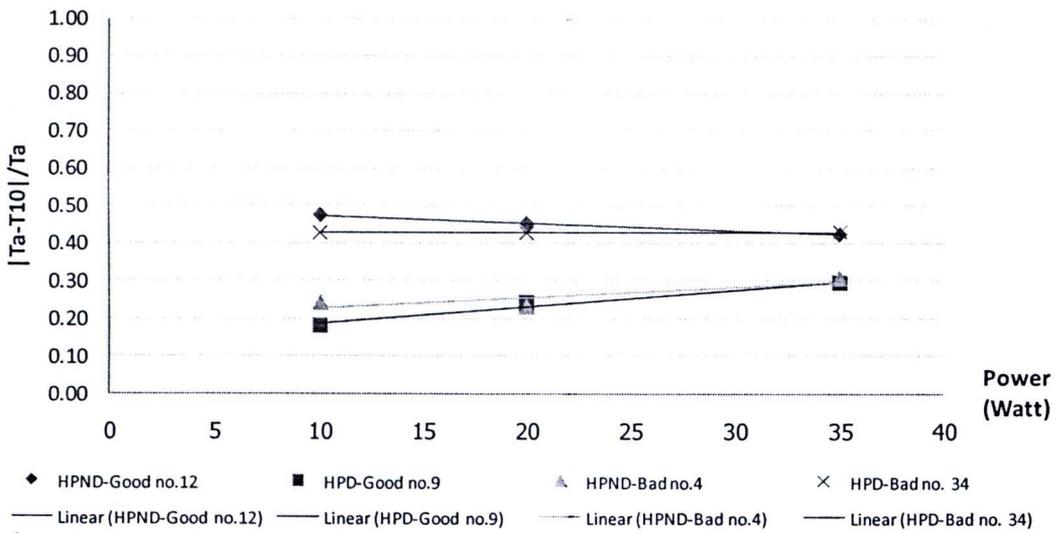
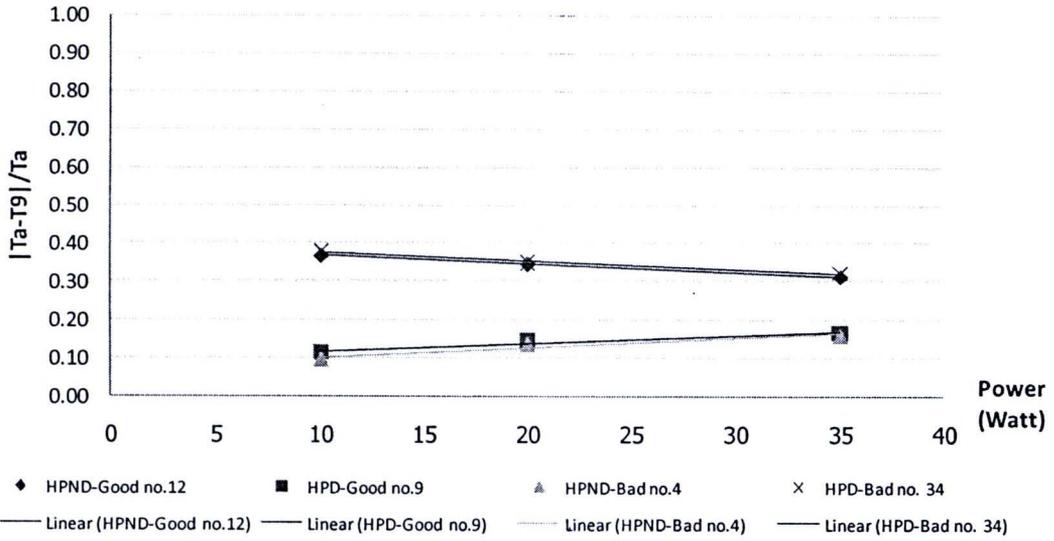
เบื้องต้นได้ทำการทดลองตั้งค่าตัวแปรใหม่ขึ้นมาหนึ่งค่า คือ ผลต่างอุณหภูมิที่สองจุดปลายในส่วน
ควบแน่น (T9-T10) หากแต่ตัวแปรนี้ไม่ละเอียดพอเพราะถ้าอุณหภูมิในส่วนอื่นๆมีค่าที่สวนทางกับ
ค่าผลต่างอุณหภูมิที่สองจุดปลายในส่วนควบแน่นนี้ก็จะไม่สามารถเป็นตัวแทนในการอธิบาย
พฤติกรรมของก๊าซที่ไม่ควบแน่นที่มีผลต่อสมรรถนะของท่อความร้อนได้ ดังนั้นจึงทดลองสร้างตัว
แปรใหม่ขึ้นมาเพื่อวัดผลของก๊าซที่ไม่ควบแน่นซึ่งเป็นตัวแปรสัมพัทธ์ คือ ผลต่างอุณหภูมิระหว่าง
ก่อนจุดปลายสุดในส่วนควบแน่น (T9) กับอุณหภูมิในส่วนอะเดียแบติก (T3, T4, T5) แล้วหาร
ด้วยอุณหภูมิในส่วนอะเดียแบติกเอง และ/หรือ ผลต่างอุณหภูมิระหว่างจุดปลายสุดในส่วน
ควบแน่น (T10) กับอุณหภูมิในส่วนอะเดียแบติก (T3, T4, T5) แล้วหารด้วยอุณหภูมิใน
ส่วนอะเดียแบติกเองซึ่ง โดยเหตุผลในการเลือกอุณหภูมิอะเดียแบติกมาเป็นฐานในการวัดก็เพราะ
เป็นอุณหภูมิในส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดแล้ว หรืออาจไม่เปลี่ยนแปลงเลยในทางทฤษฎี
ซึ่งจะทำให้ได้ตัวแปรใหม่ ดังนี้ (Tadia - T9)/Tadia และ (Tadia - T10)/Tadia เมื่อนำตัวแปร
ใหม่ที่ได้มาทำการสร้างกราฟ จะได้ผลดังรูปที่ 4.49, 4.50, 4.51 และ 4.52



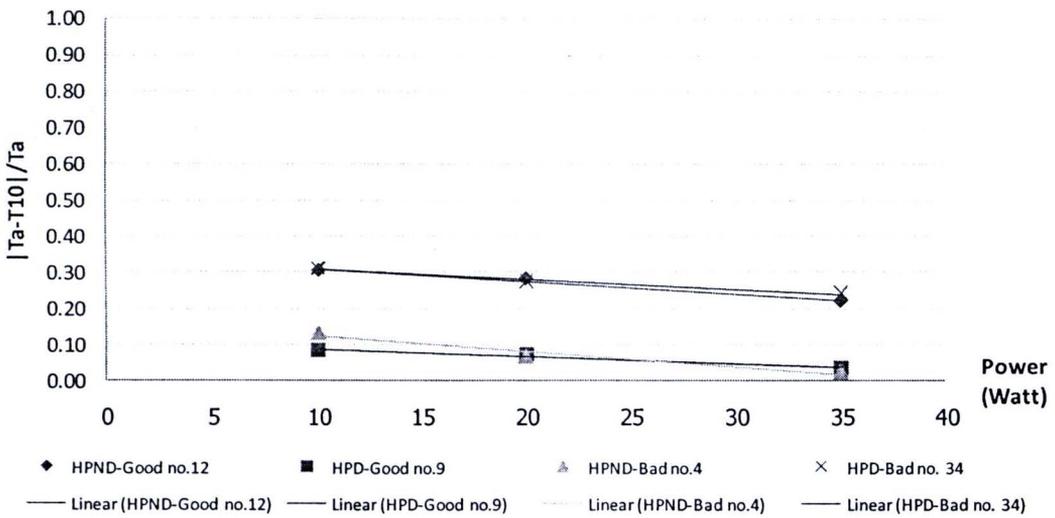
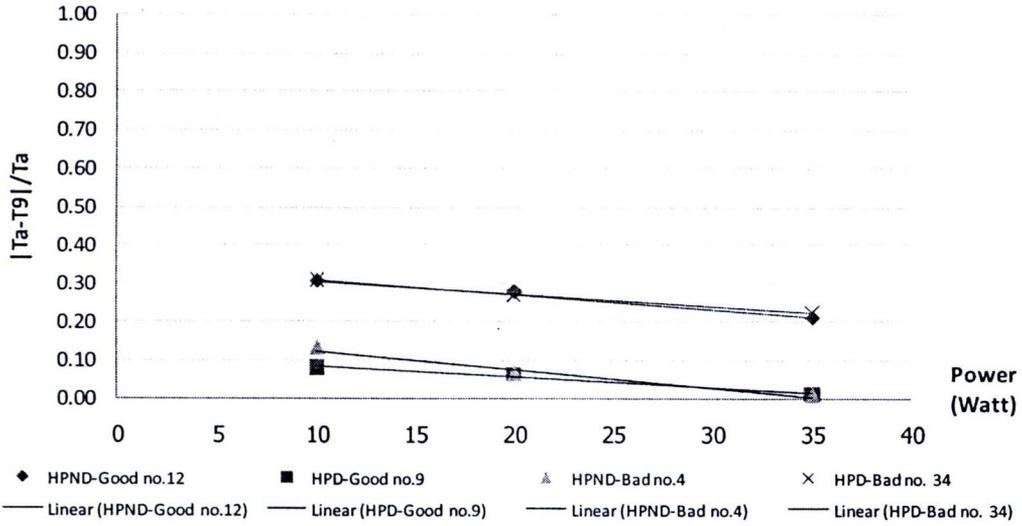
รูปที่ 4.49 ผลของตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่ ที่การทดสอบในแนวนอน ชิ้นงานหนา 1.9 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.50 ผลของตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่ ที่การทดสอบในแนวตั้ง ชี้นงานหนา 1.9 มิลลิเมตร



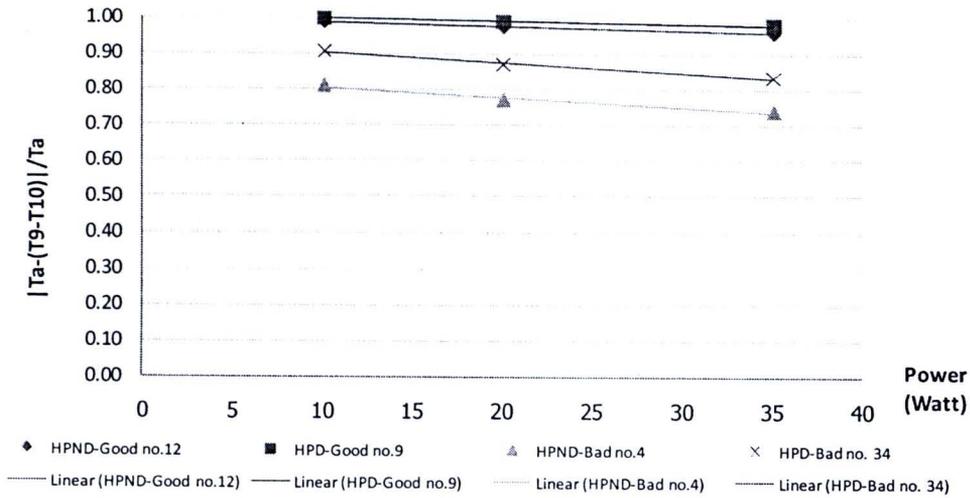
รูปที่ 4.51 ผลของตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่ ที่การทดสอบในแนวนอน ชั้นงานหนา 2.5 มิลลิเมตร



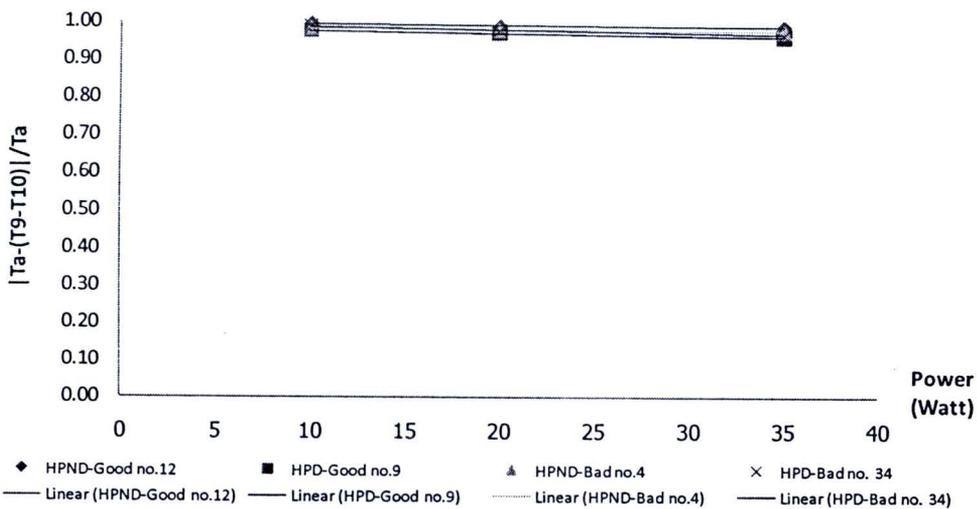
รูปที่ 4.52 ผลของตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่ ที่การทดสอบในแนวตั้ง ซึ่งงานหนา 2.5 มิลลิเมตร

ซึ่งตัวแปรสัมพัทธ์ตัวใหม่นี้จะเป็นตัวแปรไร้หน่วย ซึ่งต่อความร้อนที่ไม่มีก๊าซที่ไม่ควบแน่นหรือมีอยู่น้อยมาก ตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่นี้จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิที่ก่อนจุดปลาย (T9) และอุณหภูมิที่จุดปลายสุด (T10) มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงอุณหภูมิอะเดียแบตคั่นเอง ซึ่งจะเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้ยังกระจายกระจายไม่เป็นไปอย่างที่คาดหวังและไม่สามารถที่จะเชื่อมโยงเพื่ออธิบายพฤติกรรมของก๊าซที่ไม่ควบแน่นที่มีผลต่อสมรรถนะของท่อความร้อนได้ ดังนั้นจึงได้ทดลองสร้างตัวแปรสัมพัทธ์เพิ่มเติมอีกหนึ่งตัวแปรคือ ผลต่างอุณหภูมิที่สองจุดปลายในส่วนควบแน่น (T9-T10) เทียบกับอุณหภูมิในส่วนอะเดียแบตค (T3, T4, T5) แล้วหารด้วยอุณหภูมิใน

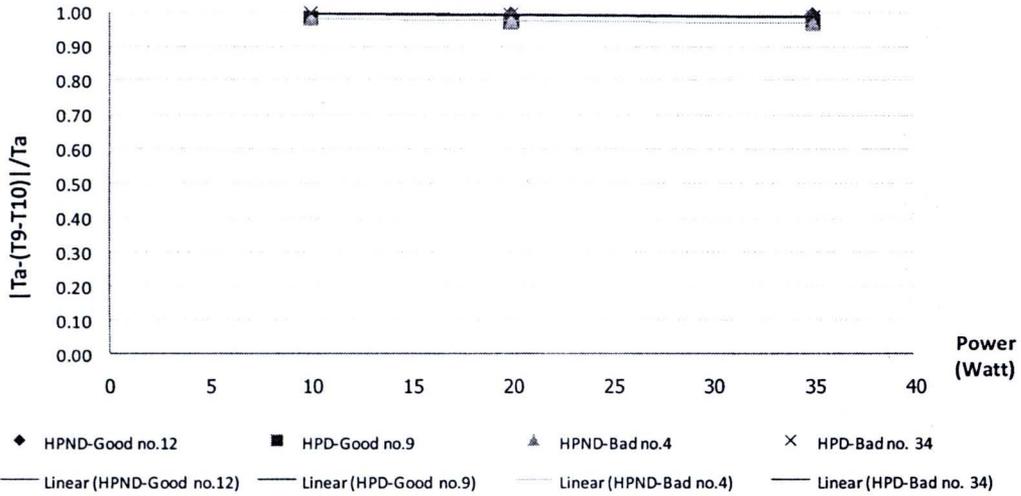
ส่วนอะเดียเบติกเอง ซึ่งจะทำให้ได้ตัวแปรใหม่ ดังนี้ $Tadia - (T9-T10)/Tadia$ และเมื่อนำตัวแปรใหม่ที่ได้มาทำการสร้างกราฟ จะได้ผลดังรูปที่ 4.53



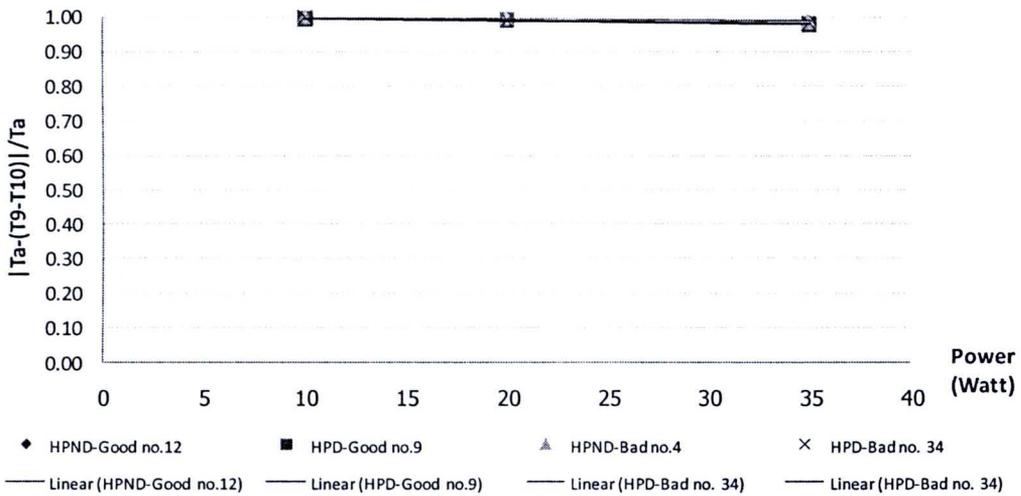
ผลการทดสอบของแบบที่ 1 : แนวนอน , ความหนา 1.9 มิลลิเมตร



ผลการทดสอบของแบบที่ 2 : แนวดิ่ง , ความหนา 1.9 มิลลิเมตร



ผลการทดสอบของแบบที่ 3 : แนวนอน , ความหนา 2.5 มิลลิเมตร



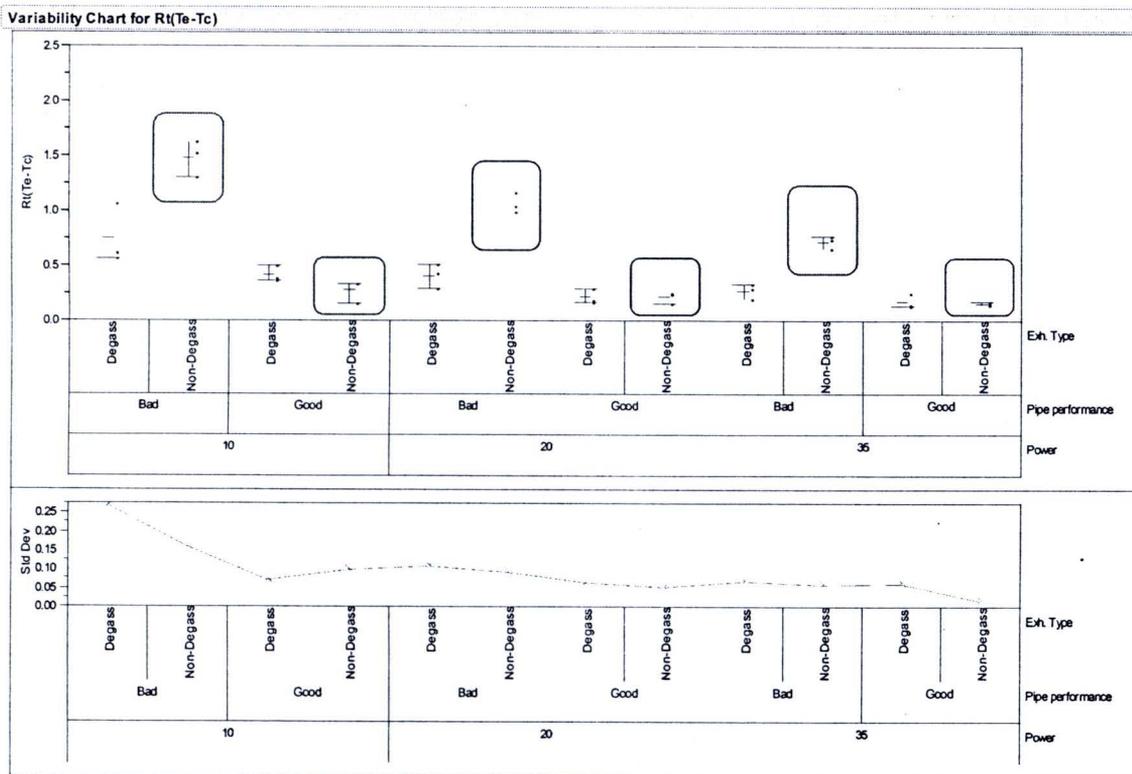
ผลการทดสอบของแบบที่ 4 : แนวตั้ง , ความหนา 2.5 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.53 ผลของตัวแปรสัมพัทธ์ใหม่ของการทดสอบทั้ง 4 แบบ

จากผลลัพธ์ที่ได้จากรูป 4.53 นี้ จะเห็นได้ชัดเจนว่าการทดสอบในแบบที่ 1 กล่าวคือ การทดสอบที่แนวนอนและชั้นงานหนา 1.9 มิลลิเมตร เป็นการทดสอบที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจสอบผลของก๊าซที่ไม่ควบแน่น ซึ่งตัวแปรใหม่นี้สามารถยืนยันผลสรุปก่อนหน้าได้เป็นอย่างดี และเมื่อพิจารณา

จากการทดสอบแบบที่ 1 ชิ้นงานที่ไม่ดีจะมีค่าของตัวแปรสัมพันธ์นี้ต่ำกว่าชิ้นงานที่ดี และชิ้นงานที่ดีค่าจะเข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุดคือ 1 กล่าวคือเมื่อผลต่างอุณหภูมิสองจุดปลาย (T9-T10) มีค่าเท่ากับ อุณหภูมิอะเดียเบติกนั่นเอง ซึ่งจะเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับผลที่คาดหวังและสามารถที่จะเชื่อมโยงเพื่ออธิบายพฤติกรรมของก๊าซที่ไม่ควมแน่นที่มีผลต่อสมรรถนะของท่อความร้อนได้เป็นอย่างดี จึงสรุปได้ว่าตัวแปรที่เหมาะสมในการอธิบายพฤติกรรมของก๊าซที่ไม่ควมแน่นที่มีผลต่อสมรรถนะของท่อความร้อนคือ $T_a - (T9-T10)/T_a$

แต่หลังจากวิเคราะห์ผลข้างต้นแล้ว อาจจะยังต้องการเพิ่มอีกหนึ่งตัวแปรมาประกอบการอธิบายพฤติกรรมของก๊าซที่ไม่ควมแน่น คือค่าความต้านทานทางความร้อนระหว่างจุดทำระเหยและจุดควมแน่น R_{c-c} ซึ่งแสดงผลไว้ดังรูปที่ 4.54



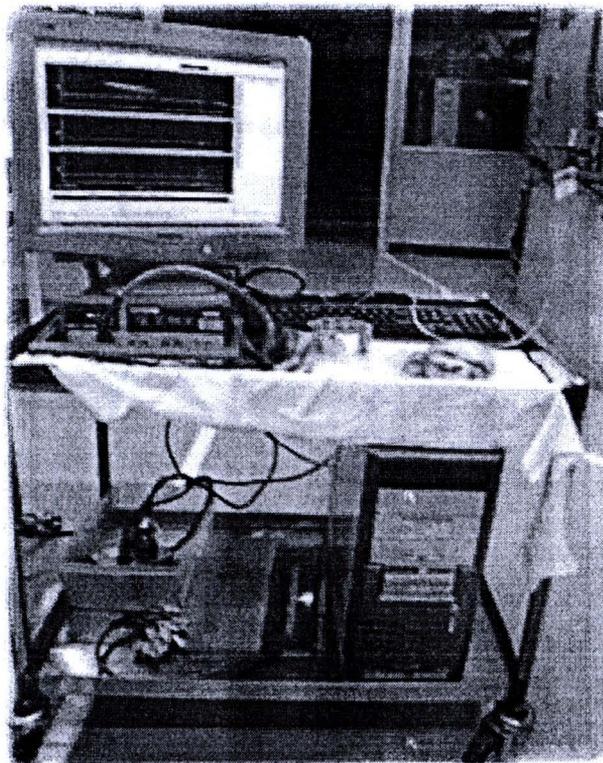
รูปที่ 4.54 ผลการเปรียบเทียบค่าความต้านทานทางความร้อนระหว่างจุดทำระเหยและจุดควมแน่น

จากกราฟอาจสรุปเพิ่มเติมได้บางประเด็นว่า การไม่ไล่ก๊าซชิ้นงานที่เสียก็จะมีค่าความต้านทานสูงไปเลย และชิ้นงานที่ดีก็จะมีค่าความต้านทานต่ำมากๆ ซึ่งในการตรวจสอบชิ้นงานในการผลิต

อาจจะดีกว่าในการตรวจจับชิ้นงานเสีย อีกทั้งการควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศที่มีการไล่ก๊าซไม่ได้รับประกันว่าจะไม่มีก๊าซที่ไม่ควมแน่นหลงเหลืออยู่เลย ซึ่งข้อเท็จจริงในการผลิตก็เป็นเช่นนั้น จึงทำให้กราฟที่แสดงซึ่งเกิดจากการวิเคราะห์เฉพาะในส่วนควมแน่น ไม่เป็นไปตามผลที่คาดหวัง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือกระบวนการควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศแบบปัจจุบันยังมีข้อบกพร่องและไม่สมบูรณ์อยู่นั่นเอง

4.5 ผลของการทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิและความดันสุญญากาศขณะดำเนินการควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ

อย่างไรก็ตามก่อนการทำชิ้นงานตัวอย่างจริงได้ทำการศึกษาการทำงานของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานโดยทดสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิต่อความร้อนและวัดความดันสุญญากาศในขณะดำเนินการควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ โดยมีการเตรียมอุปกรณ์และชุดการทดลองการกระจายตัวของอุณหภูมิต่อความร้อนดังรูปที่ 4.55 และ 4.56

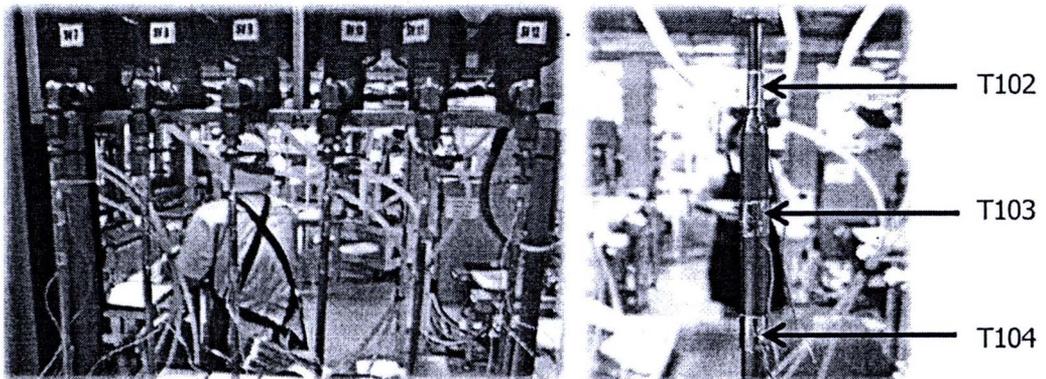


รูปที่ 4.55 ชุดวัดอุณหภูมิประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ , Data acquisition และ โปรแกรมวัดอุณหภูมิ



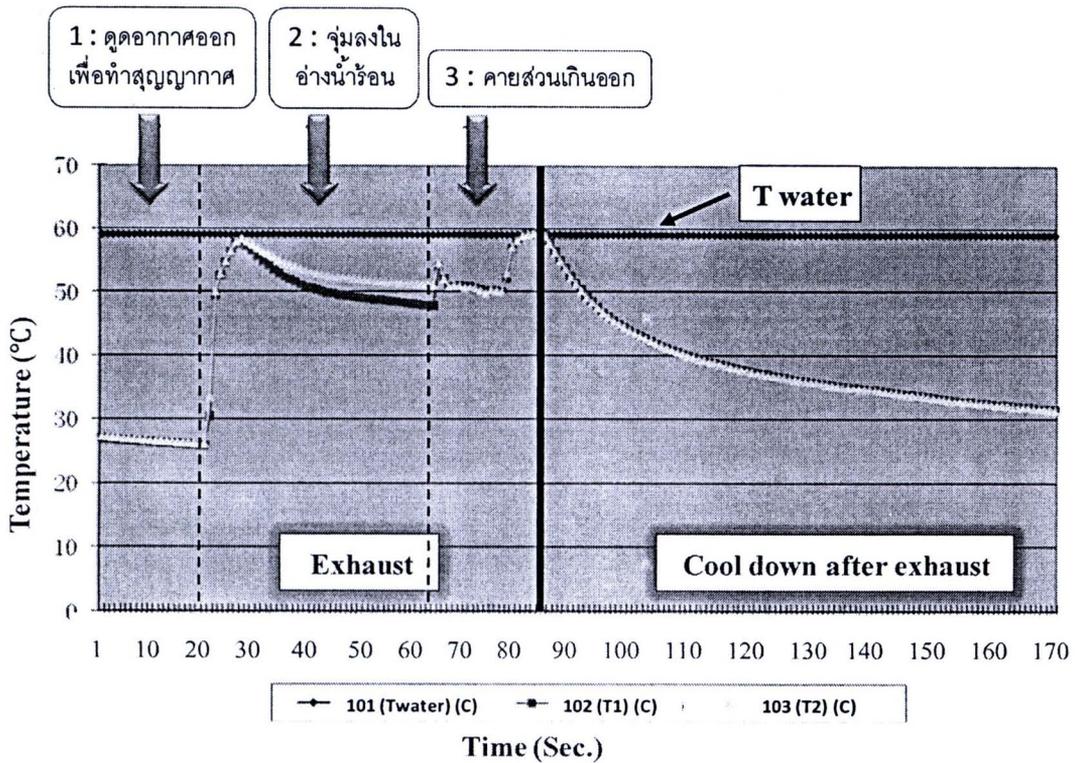
รูปที่ 4.56 เครื่องเติมสารทำงาน (รูปบน) และเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและควบคุมสถานะสุญญากาศ (รูปล่าง)

โดยออกแบบวิธีการทดลองดังนี้ นำท่อความร้อนที่เติมสารทำงานแล้วมาติดเทอร์โมคัปเปิลเปิด 3 จุด โดยแบ่งเป็น 1 จุดที่ปลายท่อลด และอีก 2 จุดที่บริเวณลำตัวของท่อความร้อนซึ่ง ต่อเข้ากับชุดวัดอุณหภูมิ หลังจากนั้นต่อชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมไว้เข้ากับเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ เมื่อพร้อมแล้วจึงเริ่มการทำงานของเครื่องตามปกติจนครบรอบการทำงาน พร้อมเก็บบันทึกอุณหภูมิในแต่ละจุด แต่ละหัวเอาไว้ ซึ่งแสดงการติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิดังรูปที่ 4.57



รูปที่ 4.57 การติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิบนท่อความร้อน โดยกำหนดให้จุด T102 อยู่บนสุดในบริเวณของท่อลด และจุด T103 อยู่ตรงกลางต่ำลงมาจากจุด T102 ประมาณ 15 มิลลิเมตร และจุด T104 อยู่ด้านล่างสุดต่ำลงมาจากจุด T103 ประมาณ 15 มิลลิเมตร

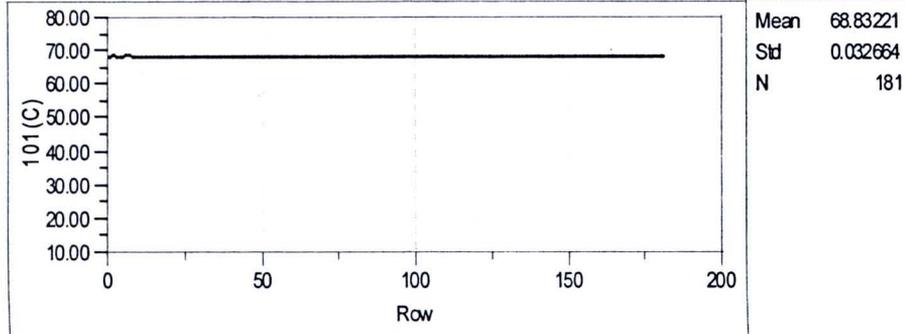
ทั้งนี้ผลที่คาดหวังแสดงดังรูป 4.58 ซึ่งจะมีการทำงานครบรอบของเครื่องแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือช่วงดูดอากาศเพื่อทำสุญญากาศ ช่วงจุ่มลงในอ่างน้ำร้อน และช่วงคายส่วนเกินออก



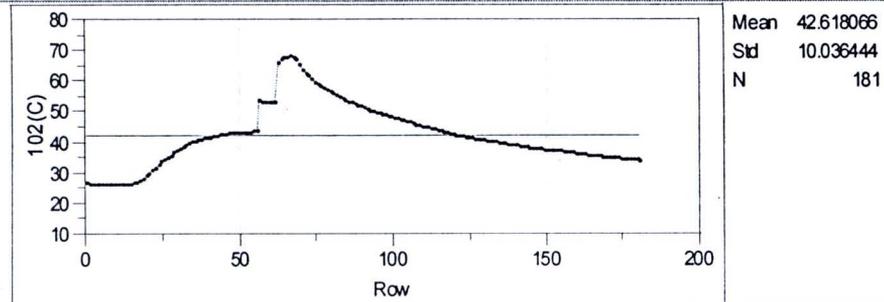
รูปที่ 4.58 ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่คาดหวังในขณะดำเนินการควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ

ผลการวัดอุณหภูมิเป็นไปดังรูปที่ 4.59 ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.60

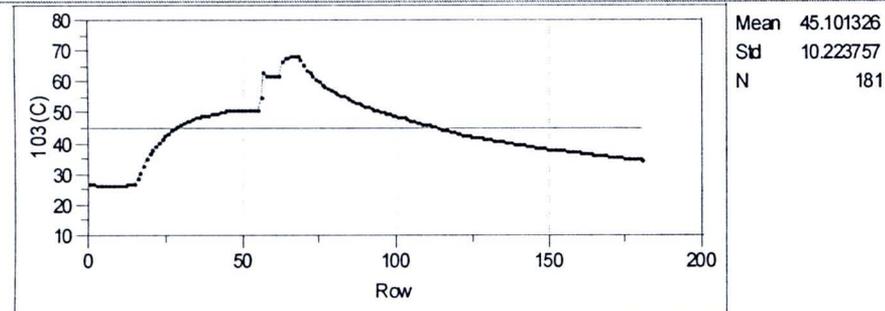
Time Series 101(C)



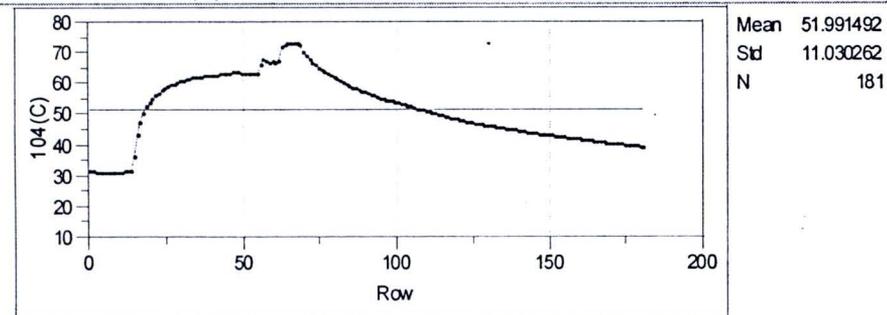
Time Series 102(C)



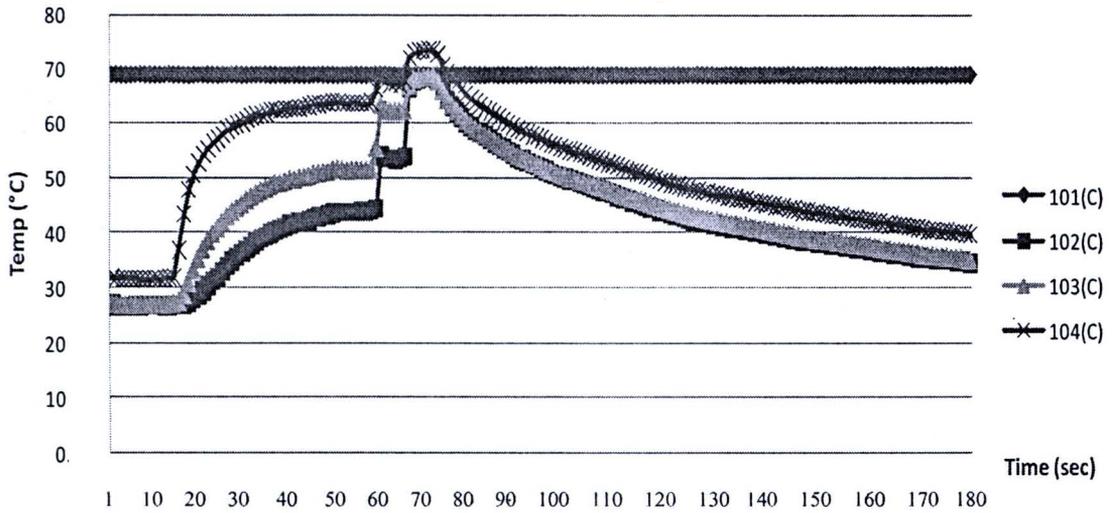
Time Series 103(C)



Time Series 104(C)

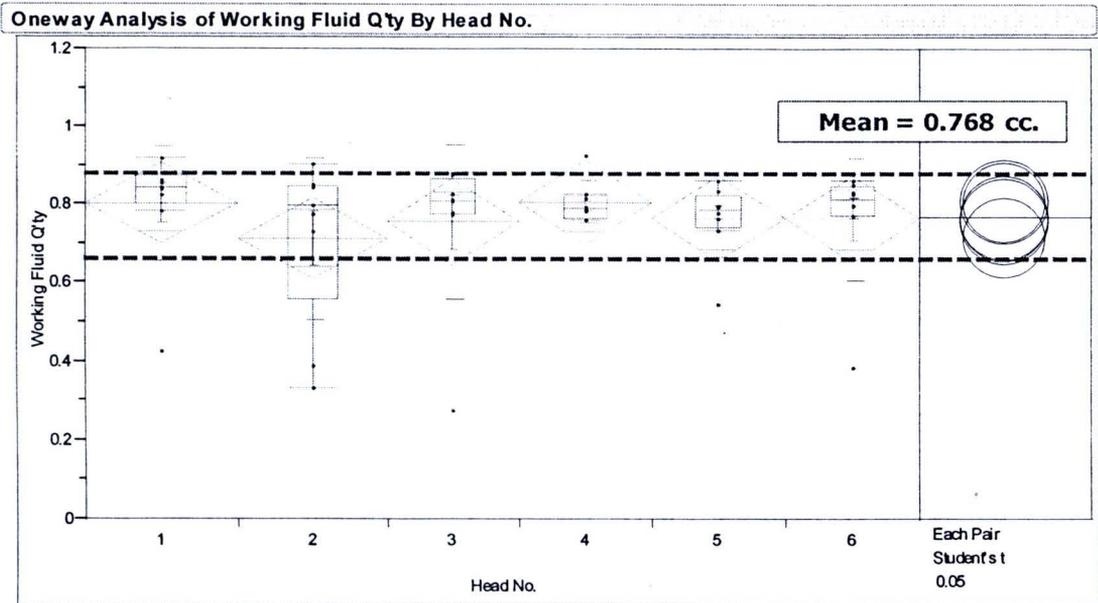


รูปที่ 4.59 ผลการวัดอุณหภูมิในแต่ละจุดบนตัวท่อและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ตั้งค่าไว้ที่ 70 °C โดยที่กราฟ time series 101 แสดงอุณหภูมิน้ำร้อน และกราฟ time series 102,103 และ 104 แสดงอุณหภูมิในแต่ละจุดบนตัวท่อตามรูปที่ 4.57



รูปที่ 4.60 ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจริงในขณะดำเนินการควบคุม ปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ

จากผลการวัดอุณหภูมิในรูปที่ 4.59 และ รูปที่ 4.60 เมื่อเทียบกับผลที่คาดหวังในรูปที่ 4.58 มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยส่วนที่แตกต่างสำคัญคือช่วงที่จุ่มลงในอ่างน้ำร้อนเพื่อทำการไล่ก๊าซ ซึ่งในสถานะสุญญากาศสารทำงานภายในท่อควรจะเดือดและเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็วทันทีทันใด แต่ผลจริงกลับเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ช้ายังพบว่าอุณหภูมิที่จุดสูงขึ้นไป (T103) และบริเวณท่อลด (T102) มีการเพิ่มอุณหภูมิในอัตราที่ช้ามาก อย่างไรก็ตามในกระบวนการคายออกเมื่อทำการหนีบปิดท่อแล้ว อุณหภูมิทั้ง 3 จุดกลับสูงขึ้นไปเทียบเท่ากับอุณหภูมิน้ำร้อนได้ โดยในช่วงที่จุ่มลงในอ่างน้ำร้อนแต่อุณหภูมิที่กลับเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปสันนิษฐานว่าอาจมาจากระบบของเครื่องที่มีการรั่วทำให้ภายในท่อไม่ได้เป็นสุญญากาศโดยสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามก็ได้ทำการวัดค่าปริมาณสารทำงานเพื่อดูความสามารถในการควบคุมปริมาณสารทำงานในแต่ละหัวของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถควบคุมได้ทีระดับหนึ่งแต่ก็ยังมีบางส่วนที่เกินจากค่าที่ต้องการ และเป็นเพียงบางหัวเท่านั้น ดังรูปที่ 4.61



รูปที่ 4.61 ผลการควบคุมปริมาณสารทำงานในแต่ละหัว

หลังจากนั้นจึงเตรียมอุปกรณ์และชุดการทดลองการกระจายตัวของความดันสุญญากาศภายในท่อความร้อน โดยติดตั้งเกจวัดความดันแบบดิจิตอลแล้วทำการต่อสายสัญญาณไปยัง Data logger ตามแบบมาตรฐานของผู้ผลิต หลังจากต่อระบบทุกอย่างข้างต้นเข้าด้วยกันแล้ว จึงเริ่มการทำงานของเครื่องตามปกติจนครบการทำงาน พร้อมเก็บบันทึกแรงดันไฟฟ้าซึ่งพบว่าผลการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณของเกจวัดความดันแบบดิจิตอลในช่วงก่อนการทำงานของเครื่องจะมีค่าที่ 5 โวลต์ เทียบเป็นความดันที่บรรยากาศคือ 0 กิโลปาสคาล และหลังจากเริ่มการทำงานของเครื่องโดยทำการดูดอากาศเพื่อทำสุญญากาศ แรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงลดลงจาก 5 โวลต์ อย่างทันทีทันใด มาอยู่ในระดับใกล้ 1 โวลต์ ซึ่งเทียบเป็นความดันที่ประมาณ -90 กิโลปาสคาล ถึง -101.3 กิโลปาสคาล และแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเล็กน้อยในขณะที่เครื่องทำงานในช่วงให้ความร้อนเพื่อไล่ก๊าซเนื่องจากการเดือดของสารทำงาน สาเหตุที่ทำให้แรงดันตกลงอย่างทันทีทันใดก็เพราะในระบบของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานจะมีถังสำรองแรงดันซึ่งมีปริมาตรที่ใหญ่กว่าปริมาตรท่อความร้อนที่ต้องการดูดอากาศประมาณ 300 เท่าจึงทำให้เกิดภาวะสุญญากาศได้เร็วมาก จากผลการทดสอบแรงดันภายในท่อสามารถอธิบายได้เพียงว่าแรงดันภายในท่อขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสภาวะสุญญากาศ และการตรวจสอบ การดูแล บำรุงรักษา อาการรั่วของข้อต่อต่างๆในระบบสุญญากาศ (Vacuum system) อีกด้วย

4.6 ผลของการปรับปรุงเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศและผล การทดสอบทางฮีเตอร์หลังการปรับปรุงเครื่องจักร

จากข้อมูลและการวิเคราะห์ทั้งหมดที่ผ่านมา ทำให้สามารถแนวทางในการแก้ไขปัญหา โดยการนำข้อดี-ข้อเสียของแต่ละแบบมาพิจารณา ก่อนที่จะทำการแก้ไขปรับปรุงเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ พร้อมทั้งสร้างชิ้นงานตัวอย่างมาเพื่อยืนยันผลการทดสอบทางฮีเตอร์หลังการปรับปรุงเครื่องจักรอีกด้วย

4.6.1 พื้นฐานความคิดของแนวทางการแก้ปัญหา

4.6.1.1 การเติมสารทำงานด้วยวิธีปัจจุบันคืออยู่แล้ว ซึ่งสามารถควบคุมอยู่ในช่วงที่ต้องการได้เป็นอย่างดี ในระยะต้นนี้จึงไม่พิจารณาปรับปรุงหรือแก้ไขในส่วนนี้ เว้นแต่สามารถแก้ไขปัญหาของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศได้เสียก่อน

4.6.1.2 ก๊าซที่ไม่ควมแน่นที่อยู่ในท่อความร้อนอาจเกิดได้จาก 2 แหล่งคือ เจือปนอยู่ในสารทำงาน และ ในโครงสร้างของวัสดุที่ทำท่อ หากแต่การเจือปนเหล่านี้เมื่อคิดเป็นปริมาณแล้วอาจน้อยมาก ดังนั้นข้อสันนิษฐานของผลกระทบจากก๊าซที่ไม่ควมแน่นนั้นน่าจะมาจากการดูดอากาศออกจากท่อไม่สมบูรณ์มากกว่า ดังนั้นจะต้องปรับปรุงการดูดอากาศและการควบคุมสถานะสุญญากาศภายในท่อให้ดียิ่งขึ้น

4.6.1.3 นอกเหนือจากปรับปรุงการดูดอากาศและการควบคุมสถานะสุญญากาศภายในท่อแล้ว ควรเลือกที่จะทำชิ้นงานแบบไม่ไล่ก๊าซเนื่องจากให้ผลการคายออกที่เที่ยงตรงกว่า ดังนั้นการควบคุมปริมาณสารทำงานก็จะเที่ยงตรงตามไปด้วย

4.6.1.4 ผลของการควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศในแต่ละห้วงมีความไม่เท่ากัน ดังนั้นต้องตรวจสอบและปรับปรุงรอยรั่ว รอยต่อของระบบทั้งหมดเพื่อให้มั่นใจว่าการดูดเพื่อทำสุญญากาศของระบบจะเป็นไปอย่างสมบูรณ์และใกล้เคียงกันทุกห้วง

4.6.2 แนวทางการแก้ปัญหาและปรับปรุงเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ

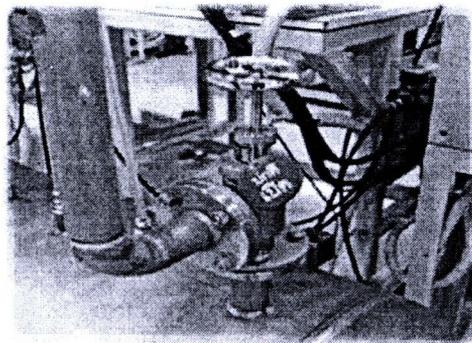
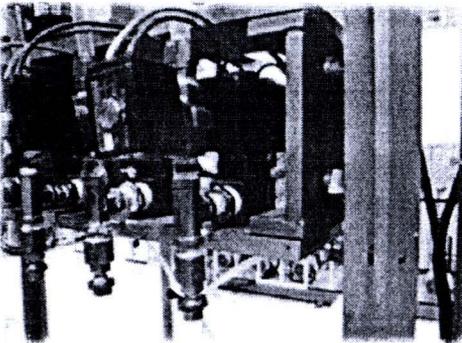
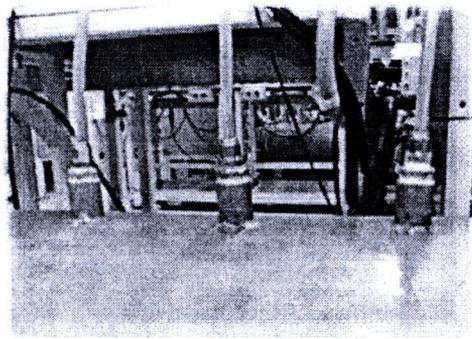
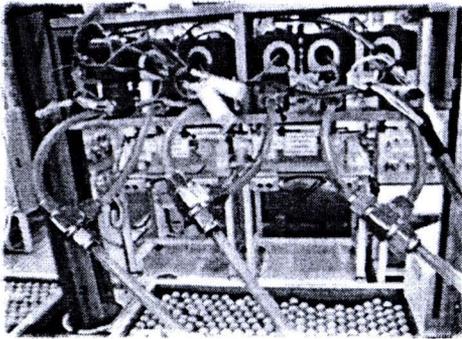
4.6.2.1 เปลี่ยนปั๊มสุญญากาศจากชนิด Liquid ring type เป็นชนิด Oil circulating rotary vane ซึ่งสามารถทำความดันสุญญากาศได้มากกว่า โดยเลือกปั๊มที่มีขนาดอัตราการไหล (Flow rate) มากกว่าหรือเท่ากับ 50 ลิตร/นาที ซึ่งเป็นค่าอัตราการไหลของปั๊มชนิดเดิม ดังรูปที่ 4.63

4.6.2.2 เลือกใช้วิธีการไม่ไล่ก๊าซ โดยควบคุมความดันในการเติมสารทำงานของเครื่องเติมสารทำงานที่ -130 mm. Hg และควบคุมเครื่องตั้งเวลาของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศที่ ดูดอากาศ 10 วินาที เคลื่อนตัวลงมา 5 วินาที (ตวงน้ำร้อนออก) และคายออก 3 วินาที ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4.4 เจื่อนใจในการควบคุมการเติมสารและควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ

ขั้นตอน	เติมสารทำงาน	ควบคุมปริมาณสารทำงาน		
		ดูดอากาศ	จุ่มและดัม	คายส่วนเกิน
แบบไม่ไล่ก๊าซ	-130 mm. Hg	10 วินาที	5 วินาที	3 วินาที

4.6.2.3 ทุกข้อต่อและรอยต่อทั้งที่เป็นแบบอ่อนและแบบแข็งให้ทำการพันเกลียวใหม่ทั้งหมด ด้วยเทฟลอนเทป และทำการทดสอบความดันที่ได้ในแต่ละหัวเทียบกับความดันที่ถังสำรองแรงดัน (Buffer tank) ในรูปที่ 4.62 แสดงตัวอย่างของข้อต่อในระบบของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ



รูปที่ 4.62 ตัวอย่างของข้อต่อทั้งแบบอ่อนและแบบแข็งในระบบของเครื่องควบคุม ปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ

4.6.3 ผลการทดสอบทางฮีตเตอร์หลังการปรับปรุงเครื่องจักร

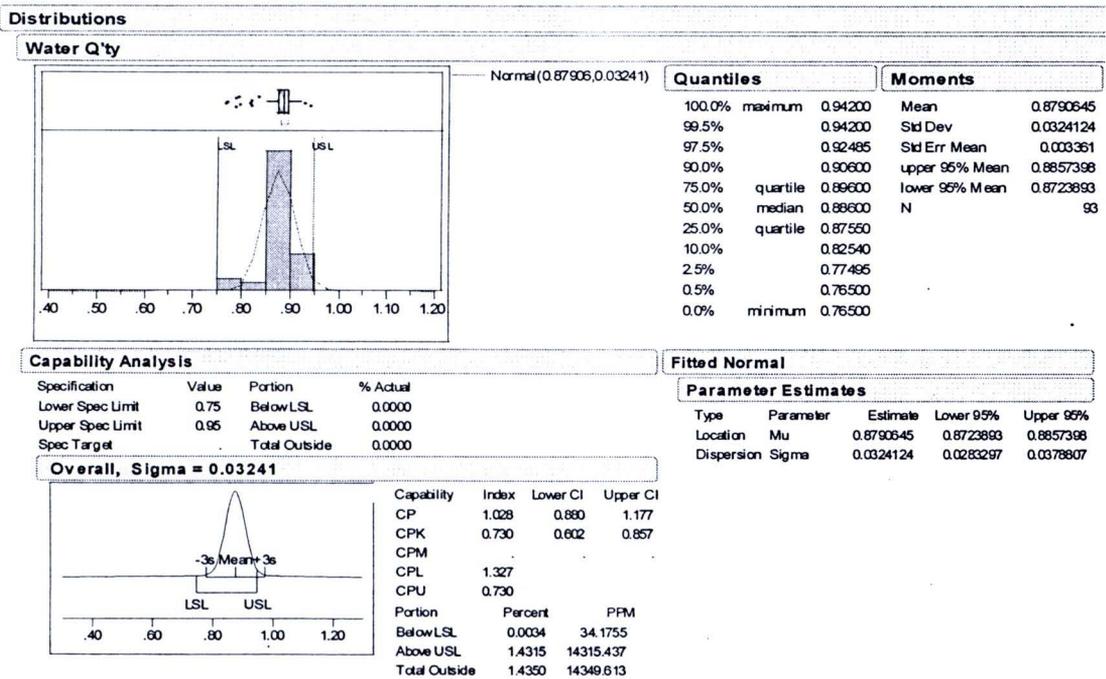
4.6.3.1 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างเป็นไปตามการทดสอบก่อนหน้าทั้งหมด โดยทึบแบนที่ 1.9 มิลลิเมตร เดิมสารทำงานพอดีกับค่าที่ต้องการคือ 0.75-0.95 มิลลิลิตร ใช้วิธีควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศแบบไม่มีการไล่ก๊าซด้วยปั๊มชนิด Oil recirculating rotary vane และทำชิ้นงานตัวอย่างจำนวนทั้งหมด 100 ชิ้นเพื่อยืนยันผลทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.63



Sample type	Structure	Input Method	Exhaust Method	Exhaust Pump	Making Q'ty
1	D6X250mm., T=1.9 mm.	Exact	Non-Degass	New (Rotary Vane)	100 pcs.

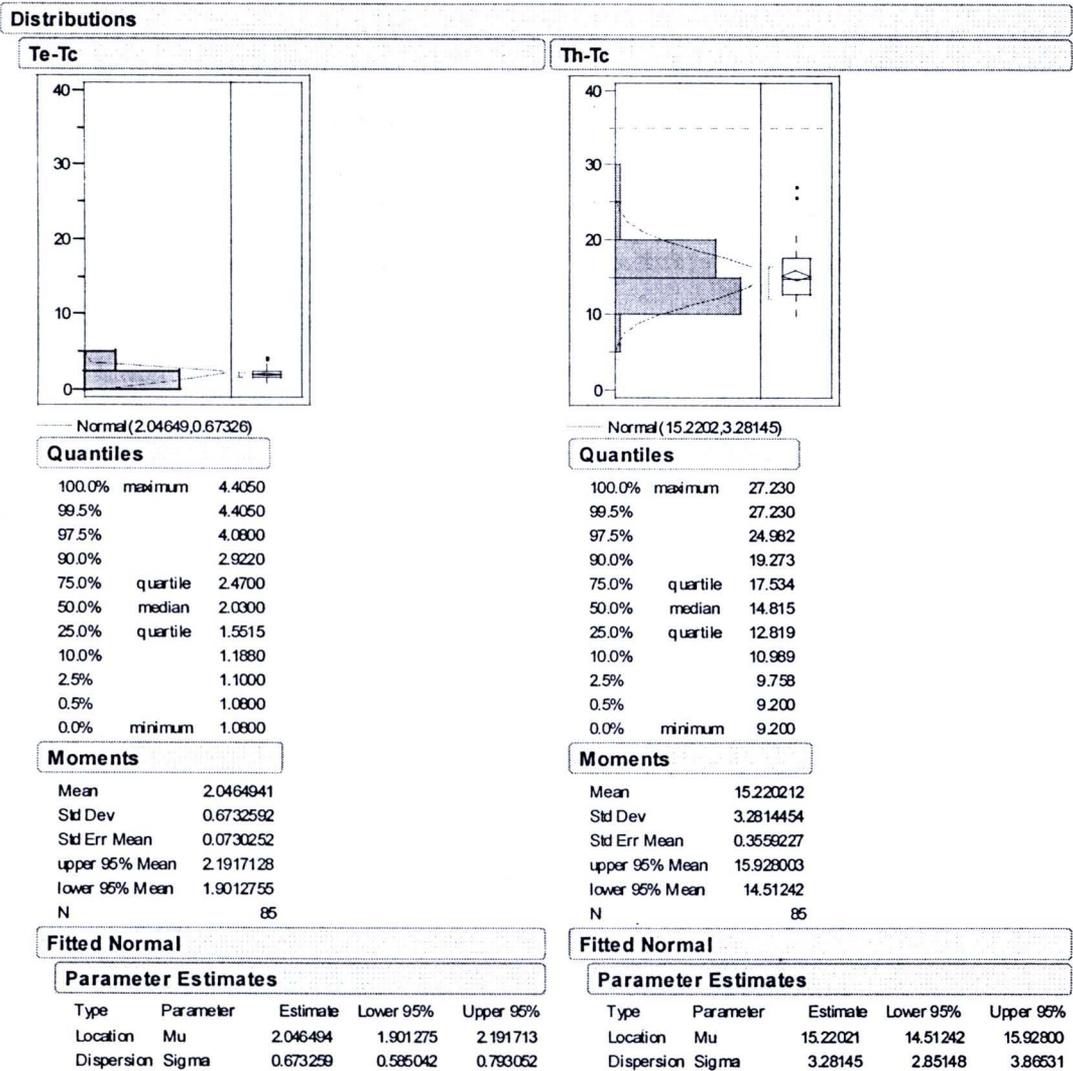
รูปที่ 4.63 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างและเงื่อนไขในการผลิตเพื่อยืนยันชั้นผลหลังการปรับปรุงเครื่องจักร

4.6.3.2 ผลการเดิมสารทำงานอยู่ในช่วงที่กำหนดทั้งหมดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.879 มิลลิลิตร แสดงในรูปที่ 4.64



รูปที่ 4.64 ผลการเดิมสารทำงาน

4.6.3.3 ผลการทดสอบทางฮิตเตอร์ เป็นไปดังรูปที่ 4.65 ซึ่งมีชิ้นงานที่ไม่เข้าพวก (Outlier) จำนวน 2 ชิ้นจาก 85 ชิ้น ซึ่งคิดเป็น 2.35%



รูปที่ 4.65 ผลการทดสอบทางฮิตเตอร์

หลังการปรับปรุงจะเห็นว่าแม้เลือกใช้วิธีการไม่ได้ก๊าซ แต่สามารถทำความดันสุญญากาศภายในท่อ ความร้อนให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ก็สามารถปรับปรุงสมรรถนะท่อความร้อนได้ หรือกล่าวโดยสรุปคือ ความดันสุญญากาศภายในท่อมีผลโดยตรงต่อสมรรถนะของท่อความร้อน

4.7 การคำนวณและเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากข้อมูลและการวิเคราะห์ทั้งหมดที่ผ่านมา แนวทางในการแก้ไขปัญหายังไม่สามารถที่จะสรุปได้อย่างชัดเจนว่าแนวทางใดที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงต้องใช้เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมมาช่วยในการตัดสินใจโดยที่กระบวนการในการตัดสินใจ มีขั้นตอนดังนี้

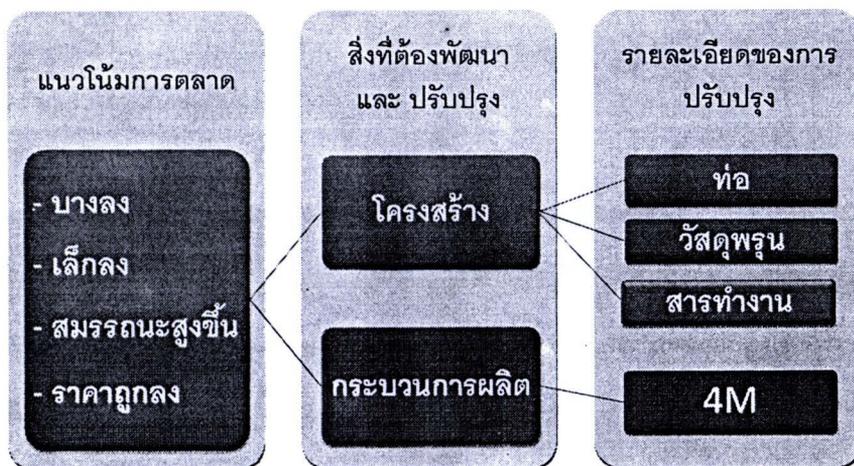
1. เข้าใจปัญหา และตั้งวัตถุประสงค์
2. เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด
3. วิเคราะห์ทางเลือกที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหา และทำการประมาณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง
4. ระบุเกณฑ์ในการตัดสินใจ ซึ่งอาจมีเกณฑ์มากกว่า 1 เกณฑ์
5. ประเมินแต่ละทางเลือกโดยใช้การวิเคราะห์ความไวเข้ามาช่วย
6. เลือกทางเลือกที่ดีที่สุด
7. ทำตามแผนที่กำหนดไว้ และติดตามผล

โดยในแต่ละขั้นตอนสามารถสรุปรายละเอียดและสาระสำคัญได้ดังนี้



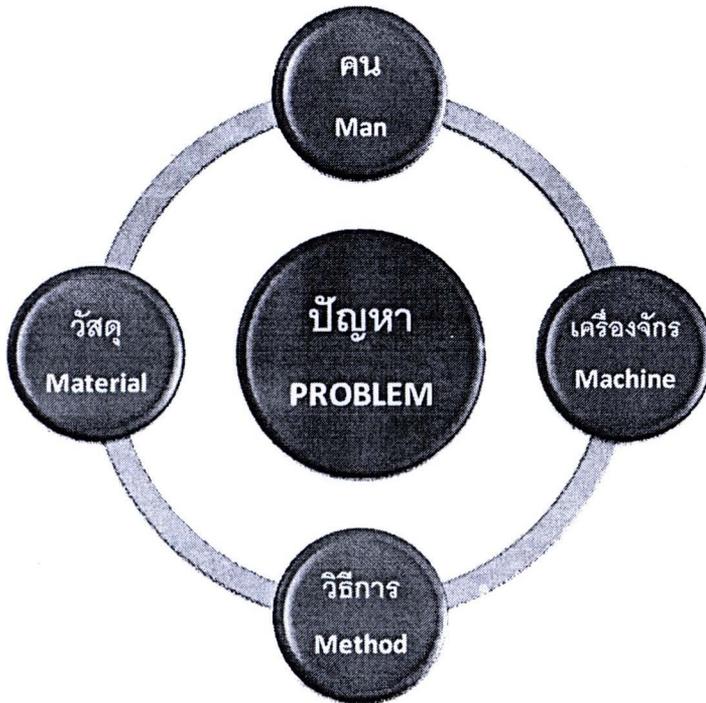
4.7.1 เข้าใจปัญหา และตั้งวัตถุประสงค์

จากการศึกษาในขั้นต้นทำให้เข้าใจปัญหาโดยภาพรวมโดยนำความต้องการของตลาดเป็นตัวตั้งแล้วจึงวิเคราะห์สิ่งที่ต้องพัฒนาและปรับปรุงก่อนจะลงไปในรายละเอียดของการปรับปรุง



รูปที่ 4.66 การทำความเข้าใจกับปัญหาและวิเคราะห์ปัญหาก่อนการวิจัยและปรับปรุง

จากรูปที่ 4.66 จะเห็นว่าสิ่งที่ต้องพัฒนาและปรับปรุงมี 2 ส่วนคือโครงสร้างของชิ้นงาน และกระบวนการผลิต แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิต ดังนั้นจะปรับปรุงได้ก็อยู่ใน 4 หมวด (4M) คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) และวัสดุ (Material) ดังรูปที่ 4.67



รูปที่ 4.67 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยหลักการ 4M

หากแต่งานวิจัยไม่ได้มีการปรับปรุงเกี่ยวกับคนจึงมุ่งเน้นปรับปรุงเพียง เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) และวัสดุ (Material) และนำมาตั้งเป็นวัตถุประสงค์ดังนี้

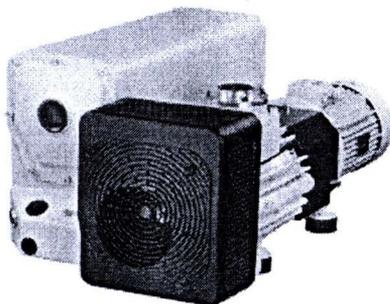
“ออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิตต่อความร้อนที่ใช้วัสดุพูนแบบเส้นใยในส่วนของ การควบคุมปริมาณการเติมสารทำงานและการสร้างสภาวะสุญญากาศภายในต่อความร้อนเพื่อให้ความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้น”

4.7.2 เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ปัญหาในข้างต้น ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องที่จะรวบรวมมา สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ

4.7.2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร

ก. ปัมป์สุญญากาศชนิด Oil re-circulating rotary vane รวมอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ ขนาด 100 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง มีราคา 100,000 บาท ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.68

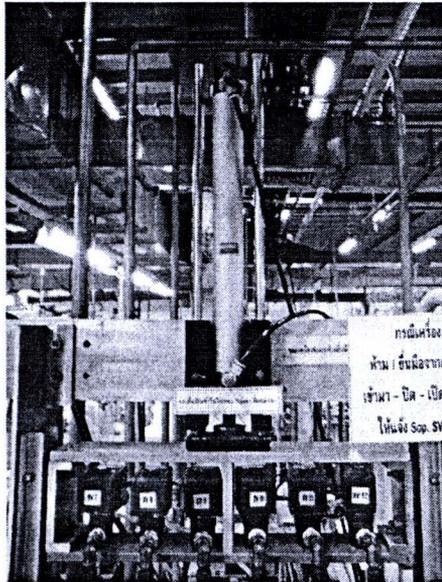


รูปที่ 4.68 ลักษณะปั๊มสุญญากาศแบบ Oil re-circulating rotary vane

ข. Chiller ที่ใช้ร่วมกับปั๊ม Liquid ring แบบปัจจุบัน ต้องทำงานตลอดเนื่องจาก ผู้ผลิตแนะนำไว้ไม่ให้เดิน-หยุด เนื่องจากคอมเพรสเซอร์อาจเสียหายได้ยกเว้นหยุดการผลิต นานๆ และ Chiller specification ของระบบปัจจุบันมีค่าดังนี้

- Capacity 7.9 kW
- Mass 200 kg
- Refrigerant R-22 , 1.9 kg
- Input 3.7 Kw
- Current 12 A
- Source 3 phase 200 V 50 Hz

ค. กระบอกสูบที่ใช้ในการเคลื่อนตัวของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศแสดงไว้ดังรูปที่ 4.69 ซึ่งมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องคือราคา Cylinder & Slide guide เท่ากับ 1,500 บาท และ 20,000 บาทตามลำดับ และ Cylinder มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Bore) เท่ากับ 32 มิลลิเมตร และระยะชัก (Stroke) เท่ากับ 300 มิลลิเมตร โดยใช้เวลาเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงจนสุดระยะชักครั้งละ 2 นาที และใช้ลมอัด (Compressed air) ในระบบโดยราคาลมอัดเฉลี่ยเท่ากับ 16.2 บาท/ลูกบาศก์เมตร/นาที (อ้างอิงจากค่าไฟหน่วยละ 3 บาท)



รูปที่ 4.69 กระบอกสูบของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศ

ง. หัวน้ำร้อน (Heater bath) ราคา 22,000 บาท แสดงไว้ดังรูปที่ 4.70



รูปที่ 4.70 หัวน้ำร้อนทำหน้าที่ในการควบคุมอุณหภูมิ

การใช้งานหัวน้ำร้อนนี้จะมีค่าใช้จ่ายด้านค่าพลังงานไฟฟ้าซึ่งทางแผนกวิศวกรรมโรงงานของ บริษัท พูจิคุระ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด ได้เคยทำการบันทึกและคำนวณค่าใช้จ่ายเป็นแบบรายปีไว้ ดังรูปที่ 4.71

ENERGY SAVING FOR HOT WATER AT TP/HP

1. PRESENT RESULT BEFORE : NONE INSULATOR (AERO FLEX)

# Electricity Consumption	=	9.4	Kwh
- Total use electric energy (kWh / year)	=	Load (kW) x Working Hours x Working Day	
	=	9.4 x 24 x 263	KWh / year
	=	59,332.800	KWh / year
- Electric expense	=	3.00	Baht / KWh
- Total electric expense	=	59,332.800 X 3.00	Baht / year
	=	177,998.400	Baht / year

2. PRESENT RESULT AFTER : INSULATOR (AERO FLEX)

# Electricity Consumption	=	7.7	Kwh
- Total use electric energy (kWh / year)	=	Load (kW) x Working Hours x Working Day	
	=	7.7 x 24 x 263	KWh / year
	=	48,602.400	KWh / year
- Electric expense	=	3.00	Baht / KWh
- Total electric expense	=	48,602.400 X 3.00	Baht / year
	=	145,807.200	Baht / year

รูปที่ 4.71 แผนการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับหัวน้ำร้อน

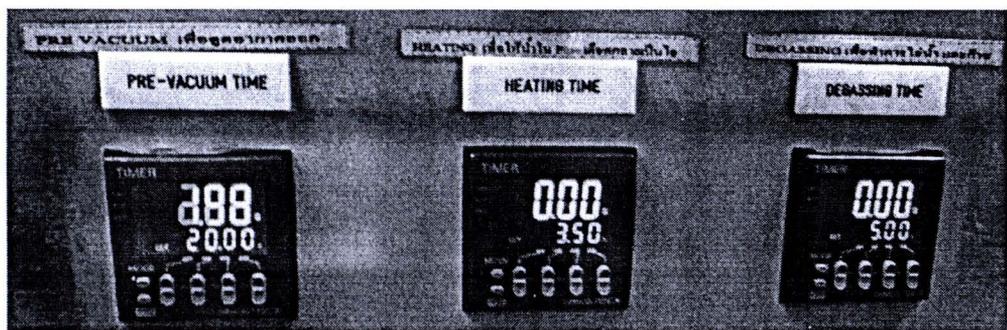
ในส่วนของงบบำรุงรักษาหัวน้ำร้อนนี้จะมีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอะไหล่ต่างๆโดยมีรายละเอียดและความถี่ในการซ่อมบำรุงหัวน้ำร้อนดังตารางที่ 4.5 ซึ่งได้พิจารณาเลือกความถี่ที่ซ่อมบำรุงสูงสุดระหว่างปี คศ. 2007-2009 ในแต่ละกรณีมาพิจารณาคำนวณต้นทุนการซ่อมบำรุงหัวน้ำร้อนรายปีและรายเดือน โดยเมื่อคำนวณต้นทุนโดยเฉลี่ยของการซ่อมบำรุงหัวน้ำร้อนรายเดือนแล้ว อยู่ที่ 699.58 บาท / เดือน

ตารางที่ 4.5 รายละเอียด ความถี่ และต้นทุนในการซ่อมบำรุงหัวน้ำร้อน

Case	Max. Freq.	Repair cost	Annual cost	Monthly cost
Overload tip	8	150	1200	100
Motor no rotate	25	130	3250	270.83
Water level	6	200	1200	100
Switch damage	3	80	240	20
Sensor Error	3	375	1125	93.75
Short circuit	3	460	1380	115

4.7.2.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ

ก. เวลาดำเนินการ (Operation time) ของเครื่องควบคุมปริมาณสารทำงานและสถานะสุญญากาศทั้งแบบไล่ก๊าซและไม่มีการไล่ก๊าซ กำหนดโดยเครื่องตั้งเวลาในแต่ละช่วงการทำงาน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.72

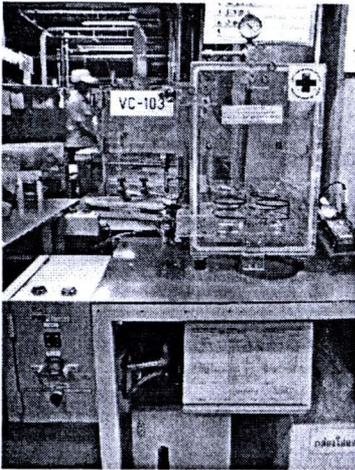


รูปที่ 4.72 เวลาดำเนินการแต่ละช่วงที่กำหนดโดยเครื่องตั้งเวลา

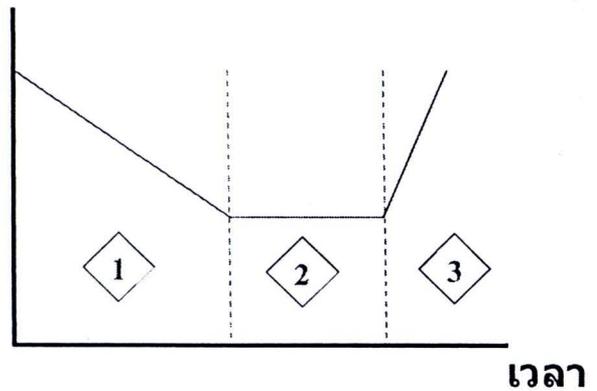
กรณีที่มีการไล่ก๊าซ ใช้เวลาดูดอากาศ 10 วินาที ต้ม 40 วินาที คาย 10 วินาที รวม 60 วินาที

กรณีที่ไม่มีการไล่ก๊าซ ใช้เวลาดูดอากาศ 20 วินาที ต้ม 3.5 วินาที คาย 5 วินาที รวม 28.5 วินาที

ข. เวลาดำเนินการ (Operation time) ของเครื่องเติมสารทำงาน กำหนดโดยเวลาที่ใช้ในแต่ละช่วงการทำงาน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.73



ความดัน



รูปที่ 4.73 เวลาที่ใช้ในแต่ละช่วงการทำงานตามความสัมพันธ์ของความดันและเวลา โดยที่ ช่วงที่ 1 คืออากาศออกจากถัง เวลาที่ใช้ไม่แน่นอนแล้วแต่ปริมาณการเติม
ช่วงที่ 2 รักษาสถานะสูญญากาศ เวลาที่ใช้ 120 วินาที
ช่วงที่ 3 ทำลายสูญญากาศ เวลาที่ใช้ 20 วินาที

รวมเวลาการทำงาน 140 วินาทีขึ้นไป ดังนั้นหากเป็นกรณีที่มีการไล่ก๊าซจะใช้วิธีการเติมเกินจากค่าที่ต้องการจะใช้เวลามากกว่า กรณีที่ไม่มีการไล่ก๊าซซึ่งจะใช้วิธีการเติมพอดีกับค่าที่ต้องการ ดังนั้นเวลาที่แตกต่างกันนี้จะเกิดขึ้นที่ช่วงที่ 1 เท่านั้น

4.7.2.3 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ

- ก. ราคา DI (De-ionize) ที่ใช้เป็นสารทำงาน เท่ากับ 80 บาท / ถัง(20ลิตร)
- ข. ราคา RO (Reverse osmosis) เท่ากับ 0.25 บาท / ลิตร
- ค. ราคาต้นทุนต่อความร้อนโดยเฉลี่ย เท่ากับ 16 บาท / ชั้
- ง. ข้อมูลอัตราชิ้นงานเสียจากผลการทดลองเป็นดังนี้
 - ง.1 ชิ้นงานแบบมีการไล่ก๊าซจากปั๊มแบบปัจจุบัน 3 %
 - ง.2 ชิ้นงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซจากปั๊มแบบปัจจุบัน 17.17 %
 - ง.3 ชิ้นงานแบบไม่มีการไล่ก๊าซจากปั๊มแบบใหม่ 2.35 %

4.7.3 วิเคราะห์ทางเลือกที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหา และทำการประมาณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง

จากการวิจัยและทดสอบมาเป็นลำดับ สามารถสรุปทางเลือกที่เป็นไปได้สำหรับขั้นตอนการเพิ่มสารทำงานและควบคุมสภาวะสุญญากาศอยู่ 3 ทางคือ

1. การเพิ่มสารทำงานด้วยเครื่องแบบปัจจุบัน และควบคุมสภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มชนิดปัจจุบัน และยังคงมีการไล่ก๊าซตามปกติ
2. การเพิ่มสารทำงานด้วยเครื่องแบบปัจจุบัน และควบคุมสภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มชนิดปัจจุบัน แต่ยกเลิกการไล่ก๊าซ
3. การเพิ่มสารทำงานด้วยเครื่องแบบปัจจุบัน และควบคุมสภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มชนิดใหม่ และยกเลิกการไล่ก๊าซ

ซึ่งทางเลือกทั้งสามทางสามารถจำแนกให้เข้าใจได้ง่ายดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงทางเลือกในการแก้ปัญหาทั้ง 3 ทางเลือก

ทางเลือกที่	4M			
	เครื่องจักร (Machine)	วิธีการ (Method)	วัสดุ (Material)	คน (Man)
1 (ปัจจุบัน)	ปั๊มสุญญากาศปัจจุบัน	เพิ่มสารทำงานเกิน/มีการไล่ก๊าซ	-	-
2	ปั๊มสุญญากาศปัจจุบัน	เพิ่มสารทำงานพอดี/ไม่มีการไล่ก๊าซ	-	-
3	ปั๊มสุญญากาศใหม่	เพิ่มสารทำงานพอดี/ไม่มีการไล่ก๊าซ	-	-

4.7.4 ระบุเกณฑ์ในการตัดสินใจ

จากโครงการวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Pay back period มาช่วยในการตัดสินใจเบื้องต้น ซึ่งเพียงพอต่อเลือกทางแก้ปัญหาที่เหมาะสม และหากเลือกทางแก้ปัญหาแล้วจะคำนวณแบบละเอียด โดยการใช้การวิเคราะห์ความไวเข้าช่วยก็ย่อมทำได้ โดยรายละเอียดของ Pay back period สามารถดูได้จาก หัวข้อที่ 2.2.3.1

4.7.5 ประเมินแต่ละทางเลือกโดยใช้การวิเคราะห์ความไวเข้ามาช่วย

จากข้อมูลเบื้องต้นทั้งหมด ได้ทำการออกแบบการประเมินเป็นตาราง โดยแบ่งตาม เครื่องจักร วิธีการ และวัสดุ โดยจะทำการคำนวณจากข้อมูลที่มีแล้วเติมลงในตารางให้สมบูรณ์ ก่อนที่จะคำนวณระยะ Pay back period ต่อไป โดยจะคำนวณโดยใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้

- ผลิตชิ้นงานที่ 1,200,000 ชิ้น / เดือน
- เดินเครื่องควบคุมสถานะสุญญากาศ 5 ยูนิต
- 1 ยูนิต มี 4 ยูนิตย่อย
- 1 ยูนิตย่อย มี 6 หัว
- วันทำงาน 25 วัน / เดือน
- ทำงาน 2 กะ / วัน
- ชั่วโมงทำงาน 7.5 ชม. / กะ (ไม่รวมล่วงเวลา)

ในส่วนการคำนวณค่าเสื่อมราคาและมูลค่าปัจจุบันคำนวณ โดยใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้

- อายุการใช้งานของสินทรัพย์ 10 ปี
- จำนวนปีที่ใช้งานผ่านมาแล้ว 8 ปี

4.7.5.1 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ทางเครื่องจักร

ตารางที่ 4.7 แสดงการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทางเศรษฐศาสตร์ทางเครื่องจักร

ทางเลือกที่	Machine							
	Pump	Chiller	Cylinder & Guide	Heater Bath	Chiller Power Consumption	Compress air Consumption	Heater Power Consumption	Heater bath Maintenance
1 (ปัจจุบัน)	ปัจจุบัน/ มูลค่าปัจจุบัน	ปัจจุบัน/ มูลค่าปัจจุบัน	ปัจจุบัน/ มูลค่าปัจจุบัน	ปัจจุบัน/ มูลค่าปัจจุบัน	ประเมิน	ประเมิน	ประเมิน	ประเมิน
2	ปัจจุบัน/ มูลค่าปัจจุบัน	-	-	-	-	-	-	-
3	ใหม่/ราคาขี้ม	-	-	-	-	-	-	-

ก. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) และเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) โดยในกรณีที่เป็นปั๊มแบบปัจจุบันจะคำนวณมูลค่าปัจจุบันโดยคิดค่าเสื่อมราคา แต่ในกรณีที่เป็นปั๊มใหม่จะอ้างอิงจากราคาปั๊มโดยตรง ในขณะที่เครื่องทำน้ำเย็นก็จะคำนวณมูลค่าปัจจุบันโดยคิดค่าเสื่อมราคา โดยการใช้งานแบบปัจจุบันปั๊ม 4 เครื่องต่อพ่วงเข้ากับเครื่องทำน้ำเย็น 1 ชุด

ข. กระบอกสูบและเพลานำทาง (Cylinder and Slide guide) ใน 1 ยูนิต มี 4 ชุด เดินเครื่องควบคุมสถานะสุญญากาศ 5 ยูนิต รวม 20 ชุด โดยคำนวณมูลค่าปัจจุบันโดยคิดค่าเสื่อมราคา

ค. หัวน้ำร้อน (Water heater bath) ใน 1 ยูนิต มี 4 เครื่อง เดินเครื่องควบคุมสถานะสุญญากาศ 5 ยูนิต รวม 20 ชุด โดยคำนวณมูลค่าปัจจุบันโดยคิดค่าเสื่อมราคา

ง. พลังงานที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller power consumption) ทำงาน 2 เครื่อง คำนวนที่ค่าพลังงานไฟฟ้า 3 บาท/หน่วย คำนวนโดยใช้ค่าพลังงานสูงสุดจาก Chiller specification ที่ค่ากำลังวัตต์ 4.2 kW

จ. พลังงานที่ใช้กับเครื่องทำลมอัด (Compressor air consumption) คำนวนราคาลมอัดเฉลี่ย (Compressed air) = 16.2 บาท/1 ลูกบาศก์เมตร/นาที โดยใน 1 รอบ มีเคลื่อนที่ขึ้น-ลง และภายใน 1 ยูนิต มี 4 ชุด ซึ่งจะเดินเครื่องควบคุมสถานะสุญญากาศ 5 ยูนิต รวมทั้งสิ้น 20 ชุด

ฉ. พลังงานที่ใช้กับหัวน้ำร้อน (Heater power consumption) คำนวนอ้างอิงจากข้อมูลการใช้พลังงานของฝ่ายวิศวกรรมโรงงาน โดยค่าพลังงานจากการใช้หัวน้ำร้อนเท่ากับ 145,807.2 บาท / ปี / เครื่อง ซึ่งเทียบเท่ากับ 12,150.6 บาท / เดือน / เครื่อง ภายใน 1 ยูนิต มี 4 เครื่อง ซึ่งจะ เดินเครื่องควบคุมสถานะสุญญากาศ 5 ยูนิต รวมทั้งสิ้น 20 เครื่อง

ช. ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงหัวน้ำร้อน (Heater bath maintenance) อ้างอิงข้อมูลจากรวบรวมในตารางที่ 4.5 โดยค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเท่ากับ 699.58 บาท / เดือน

จากการคำนวณในหัวข้อ ก. - ช. นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดเติมลงไปในตารางที่ได้ออกแบบไว้ จะได้ตารางการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร ดังตารางที่ 4.8

ตาราง 4.8 แสดงผลการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทางเศรษฐศาสตร์ทางเครื่องจักร

ทางเลือกที่	Machine							
	Pump	Chiller	Cylinder & Guide	Heater Bath	Chiller Power Consumption	Compress air Consumption	Heater Power Consumption	Heater bath Maintenance
1 (ปัจจุบัน)	176,000	160,000	120,400	123,200	15,120	16,276.72	243,012	699.58
2	176,000	-	-	-	-	-	-	-
3	800,000	-	-	-	-	-	-	-

4.7.5.2 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ทางวิธีการ

จากข้อมูลข้างต้น วิธีการที่เป็นทางเลือกของการแก้ปัญหา มีอยู่ 2 ประเภทคือ

- เติมนสารทำงานเกินค่าที่ต้องการ และมีการไล่ก๊าซ
- เติมนสารทำงานพอดีกับค่าที่ต้องการ และไม่มีมีการไล่ก๊าซ

จากข้อมูลในหัวข้อ 4.7.2.2 หัวข้อย่อย ก. และ ข. แสดงให้เห็นถึงเวลาในการดำเนินการทั้งขั้นตอนการควบคุมสถานะสุญญากาศ และการเติมนสารทำงาน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงเวลาการทำงานของขั้นตอนการควบคุมสถานะสุญญากาศและการเติมนสารทำงานของทั้ง 3 ทางเลือกในการแก้ปัญหา

ทางเลือกที่	Method	
	Operation Time of Exhaust	Operation Time of Input water
1 (ปัจจุบัน)	60 วินาที	140 วินาที *
2	28.5 วินาที	140 วินาที *
3	28.5 วินาที	140 วินาที *

หมายเหตุ : (*) เวลาในการเติมนสารทำงานอาจเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความดันสุญญากาศและปริมาณการเติม

อย่างไรก็ตามเวลาในการดำเนินการของการเติมนสารทำงานระหว่างแบบเติมเกินค่าที่ต้องการ และเติมนสารพอดีกับค่าที่ต้องการนั้นเวลาต่างกันน้อยมาก รวมถึงยังไม่มีมาตรฐานในการกำหนดไว้ใน

การผลิตจริงว่าควรเพิ่มขึ้นเท่าไรจากค่าที่ต้องการจึงจะเหมาะสม ดังนั้นจึงพิจารณายกเลิกการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ในส่วนนี้ โดยจะพิจารณาเฉพาะส่วนของขั้นตอนการควบคุมสถานะสุญญากาศเท่านั้น ซึ่งเมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายทั้ง 3 ทางเลือกแล้วนำข้อมูลที่ได้เติมลงไปในตารางที่ออกแบบไว้ จะได้ตารางการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ ดังตารางที่ 4.10

ตาราง 4.10 แสดงผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ทางวิธีการ

ทางเลือกที่	Method	
	Operation Time of Exhaust	Operation Time of Input water
1 (ปัจจุบัน)	268,871.90	-
2	172,652.70	-
3	172,652.70	-

4.7.5.3 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ทางวัสดุ

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่า มีวัสดุที่เข้าไปเกี่ยวข้องในการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์อยู่ 3 ส่วน คือ น้ำดีไอออไนซ์ (DI water), น้ำรีเวิร์สออสโมซิส (RO water) และ ชิ้นงานเสียทางด้านความร้อน (Thermal defect) ซึ่งสามารถออกแบบตารางได้ดังตารางที่ 4.11

ตาราง 4.11 แสดงการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทางเศรษฐศาสตร์ทางวัสดุ

ทางเลือกที่	Material		
	DI water	RO water	Defect
1 (ปัจจุบัน)	ประเมิน	ประเมิน	3.00%
2	ประเมิน/ลดลง	-	17.57%
3	ประเมิน/ลดลง	-	2.35%

4.7.5.3.1 ค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำดีไอออไนซ์ (DI water)

แม้ว่าปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานในการกำหนดไว้ในการผลิตจริงว่าควรเติมเงินเท่าไรจากค่าที่ต้องการจึงจะเหมาะสม แต่จากการเก็บข้อมูลตัวอย่างในการผลิตจริง การเติมน้ำจะเติมเงินโดยเฉลี่ย 0.5 มิลลิลิตร / ซิ้น และคำนวณอ้างอิงราคาน้ำ DI (De-ionized) = 4 บาท / ลิตร

4.7.5.3.2 ค่าใช้จ่ายสำหรับน้ำรีเวิร์สออสโมซิส (RO water)

ในกรณีที่ไม่มีการไล่ก๊าซจะไม่มีการจุ่มและต้ม ดังนั้นในขั้นตอนควบคุมสภาวะสุญญากาศ จะไม่มีการใช้น้ำรีเวิร์สออสโมซิสในกระบวนการ แต่สำหรับกรณีที่มีการไล่ก๊าซแบบปัจจุบันจะมีการใช้น้ำรีเวิร์สออสโมซิสซึ่งบรรจุอยู่ในอ่าง โดยการเติมน้ำจะเว้นประมาณ 1 ชม.จากขบอ่าง ราคาน้ำ RO (Reverse osmosis) = 0.25 บาท / ลิตร และ ความถี่ในการเปลี่ยนน้ำ 2 ครั้ง / สัปดาห์ 1 ยูนิต มี 4 อ่าง เดินเครื่องควบคุมสภาวะสุญญากาศ 5 ยูนิต

4.7.5.3.3 ค่าใช้จ่ายของชิ้นงานเสียหายทางด้านความร้อน (Thermal defect)

ในการแก้ปัญหาทั้ง 3 ทางเลือกก็มีผลของชิ้นงานเสียหายทางด้านความร้อนแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 4.11 ซึ่งสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละแบบโดยอ้างอิงราคาต้นทุนต่อความร้อนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 16 บาท / ซิ้น

จากข้อมูลการคำนวณในหัวข้อ 4.7.5.3.1 - 4.7.5.3.3 นำข้อมูลที่ได้เติมลงไปในตารางที่ออกแบบไว้ จะได้ตารางการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องทางเศรษฐศาสตร์ทางวัสดุ

ทางเลือกที่	Material		
	DI water	RO water	Defect
1 (ปัจจุบัน)	2400	938.56	576,000
2	0	-	3,373,440
3	0	-	451,200

4.7.6 เลือกทางเลือกที่ดีที่สุด

จากข้อมูลการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ทั้งหมดในหัวข้อ 4.7.5 สามารถที่จะนำข้อมูลมาเปรียบเทียบได้ระหว่าง แบบที่1กับแบบที่2 และ แบบที่1กับแบบที่3 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4.13 และ 4.14

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ระหว่าง แบบที่1 กับ แบบที่2

ทางเลือกที่	4M												
	Machine							Method			Material		
	Pump	Chiller	Cylinder & Guide	Heater Bath	Chiller Power Consumption	Compress air Consumption	Heater Power Consumption	Heater bath Maintenance	Operation Time of Exhaust	Operation Time of Input water	DI water	RO water	Defect
1 (ปัจจุบัน)	176,000	160,000	120,400	123,200	15,120	16,276.72	243,012	699.58	268,871.90	-	2400	938.56	576,000
2	176,000	-	-	-	-	-	-	-	172,652.70	-	0	-	3,373,440
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	0	160,000	120,400	123,200	15,120	16,276.72	243,012	699.58	96,219	-	2,400	938.56	-2,797,440

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ระหว่าง แบบที่1 กับ แบบที่3

ทางเลือกที่	4M												
	Machine							Method			Material		
	Pump	Chiller	Cylinder & Guide	Heater Bath	Chiller Power Consumption	Compress air Consumption	Heater Power Consumption	Heater bath Maintenance	Operation Time of Exhaust	Operation Time of Input water	DI water	RO water	Defect
1 (ปัจจุบัน)	176,000	160,000	120,400	123,200	15,120	16,276.72	243,012	699.58	268,871.90	-	2400	938.56	576,000
3	800,000	-	-	-	-	-	-	-	172,652.70	-	0	-	451,200
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	-624,000	160,000	120,400	123,200	15,120	16,276.72	243,012	699.58	96,219	-	2,400	938.56	124,800

ซึ่งจากข้อมูลในตารางที่ 4.13 จะเห็นว่าทางเลือกที่2 ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติเนื่องจากผลกระทบจากชิ้นงานเสียหายทางด้านความร้อน (Thermal defect) เป็นผลกระทบหลักซึ่งมีมูลค่ามากกว่าส่วนที่ประหยัดได้เกือบ 3.6 เท่า กล่าวคือ การเลือกทางแก้ปัญหาแบบที่2 (ใช้ปั๊มปัจจุบัน ไม่มีการไล่ก๊าซ) ไม่ได้ดีกว่าวิธีแบบที่1 (แบบปัจจุบัน)

ดังนั้นหากพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.14 จะเห็นว่ามิทางเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ โดยจะสามารถคำนวณ Pay back period ได้ดังนี้

ส่วนที่ประหยัดได้มีมูลค่า

$$\begin{aligned} \text{NCF} &= 160,000 + 120,400 + 123,200 + 15,120 + 16,276.72 + 243,012 + 699.58 + 96,219 \\ &\quad + 2,400 + 938.56 = 778,265.86 \text{ บาท} \end{aligned}$$

คำนวณ Pay back period โดย

$$\begin{aligned}n_p &= P / NCF \\ &= 624,000 / 778,265.86 \\ &= 0.8 \text{ เดือน } (\sim 1 \text{ เดือน})\end{aligned}$$

โดยสรุปคือทางเลือกในการแก้ไขปัญหาแบบที่3 น่าจะมีความเป็นไปได้มากที่สุด