“เครื่องควบคุมอุณหภูมิสำหรับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก”
Temperature Control for the Plastic Mold

เจริญ ดาขุนทด[1)] วุฒิพันธ์ คิดเข่ม[2)] และ ดำรงศักดิ์ ชวลิต[*3)]
ภาควิชาเครื่องกล คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทคัดย่อ

การศึกษาและสร้างเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อลดรอบการทำงาน ของการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งโรงงานกำลังประสบปัญหาอยู่ โดยเครื่องที่สร้างขึ้นนั้น ทำหน้าที่สร้างน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 10-15°C และน้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 50-70°C โดยมีอัตราการไหลประมาณ 0.6 l/s เพื่อจ่ายให้กับแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เนื่องจากโรงงานแห่งนี้มีแม่พิมพ์ที่มีความต้องการของน้ำ 2 ลักษณะ คือน้ำเย็น และน้ำอุ่น โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงสร้างเครื่องที่มี 2 ระบบรวมอยู่ด้วยกัน ระบบแรกใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ระบบที่สอง ใช้เครื่องทำน้ำอุ่น (Heater)

จากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ ที่สร้างขึ้นนี้แล้ว สามารถลดรอบการทำงานลงได้เฉลี่ยประมาณ 6 % หรือคิดเป็นผลผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ 515,914 บาทต่อปี โดยการสร้างเครื่องนี้ ใช้เงินลงทุนประมาณ 200,000 บาท และมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ประมาณ 4-5 เดือน นอกจากจะมีจุดคุ้มทุนที่เร็วแล้ว ยังสามารถเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ และสามารถยกระดับผลิตภัณฑ์ได้สูงขึ้น

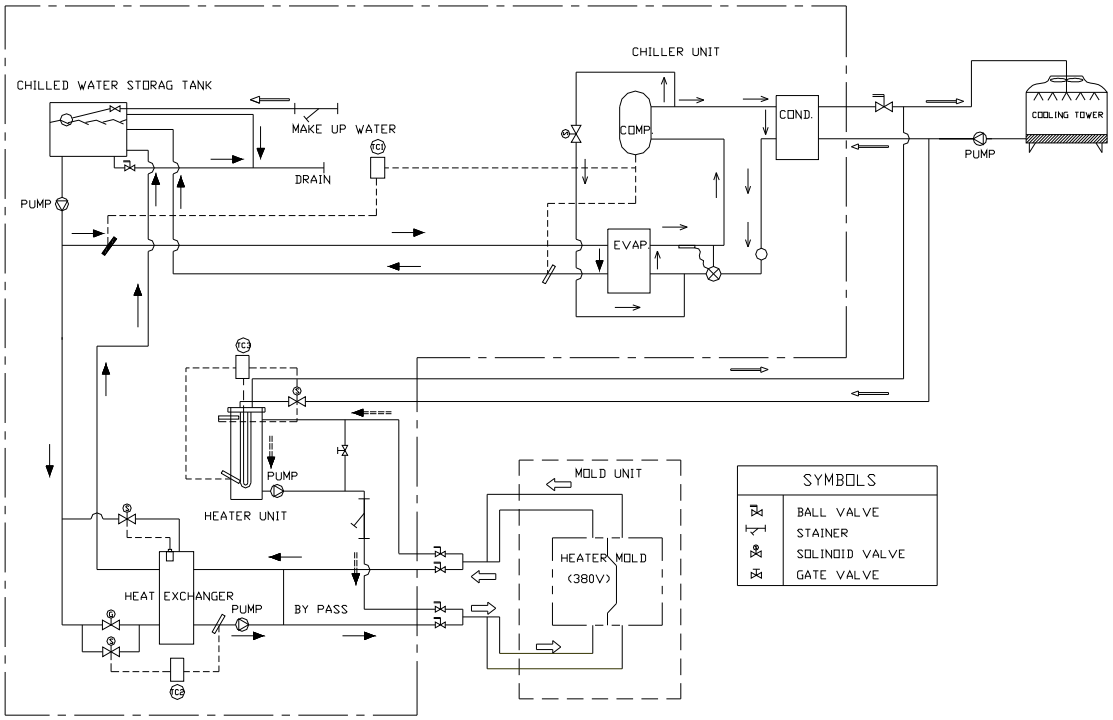
คำสำคัญ : เครื่องทำน้ำเย็น หอทำความเย็น, แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก, รอบเวลาของการทำงาน

1. บทนำ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดเล็ก ที่มีการก่อสร้างมานานหลายปีแล้ว มักจะประสบปัญหาต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งความล้าหลังทางด้านเทคโนโลยี ที่ยังไม่ได้มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้ทันสมัย ทำให้ไม่สามารถแข่งขันทางด้านการตลาดได้ดีเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องมาจาก การไม่เห็นความสำคัญของปัญหา และไม่คิดจะแก้ปัญหาด้วยตนเองของพนักงานในโรงงาน เช่น บางกระบวนการที่มีการผลิตที่ยาวนานเกินไป สามารถปรับปรุงได้โดยการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ เพื่อให้รอบการทำงานสั้นลง ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น ถ้าไม่มีการปรับปรุงแก้ไขจะทำให้โรงงาน ไม่สามารถผลิตได้ตามใบสั่งซื้อ เป็นเหตุให้งานที่ทำ ไปรวมอยู่ที่กระบวนการผลิตใดกระบวนการผลิตหนึ่ง หรือเรียกว่าเกิดคอขวดที่การผลิตนั้น อีกทั้งคุณภาพของการผลิตภัณฑ์นั้น ก็ต่ำกว่ามาตรฐาน เมื่อเทียบกับโรงงาน ที่มีการตื่นตัวทางด้านเทคโนโลยีตลอดเวลา ทำให้อุตสาหกรรมของไทย ไม่สามารถเจริญก้าวหน้า จนถึงขั้นที่ใช้เทคโนโลยีชั้นสูงได้ ด้วยเหตุทั้ง 3 ประการนี้ กล่าวคือ 1. ทางด้านเทคโนโลยีที่ล้าหลัง 2. ใช้ระยะเวลายาวนานเกินไป 3. พนักงานในโรงงานขาดความรู้ จึงทำให้งานวิจัยและพัฒนาไม่เกิดขึ้น ถ้าเจ้าของเงินทุนที่สนับสนุนได้เห็นผลงาน ก็จะเห็นว่างานวิจัย และพัฒนาจะสามารถที่จะแก้ปัญหา และเพิ่มมูลค่าให้กับธุรกิจได้ ซึ่งผลตามมาคือ จะทำให้อุตสาหกรรมไทยเจริญขึ้นอย่างมั่นคง และยั่งยืนตลอดไป

2. หลักการทำงานและอุปกรณ์

การทำงานของระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบคือ ระบบน้ำเย็น จะมีเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 3 TR ทำงานและส่งจ่ายน้ำเย็น เก็บไว้ที่ถังน้ำเย็น (Chilled Water



รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมของระบบ

Storage Tank) และส่งจ่ายมาที่แม่พิมพ์ โดยให้มีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบเปลือกและท่อ (Shell and Tube) อยู่ระหว่างกลาง เหตุผลที่ต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องนี้ คือ โรงงานไม่มีระบบทำน้ำอ่อน (Soft Water System) เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเย็นไหลผ่านเข้าแม่พิมพ์โดยตรง เพราะอาจทำให้แม่พิมพ์เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง เมื่อใช้งานไปนานๆ ด้วยผลดังกล่าว จึงออกแบบให้น้ำที่ไหลเข้าแม่พิมพ์ เป็นระบบปิด ส่วนระบบที่สองคือ ระบบน้ำอุ่น จะมีเครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 9 kW ทำน้ำอุ่นส่งเข้าแม่พิมพ์ และมีหอทำความเย็น เป็นเครื่องช่วยระบายความร้อน คล้ายกับระบบแรก

จากรูปที่ 1 ระบบทำน้ำเย็น และระบบทำน้ำอุ่น จะสลับกันทำงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ว่าเป็นชนิดใด ระบบทำน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ คือ เครื่องทำน้ำเย็น หอทำความเย็น ถังเก็บน้ำเย็น ปั๊มน้ำเย็น และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ

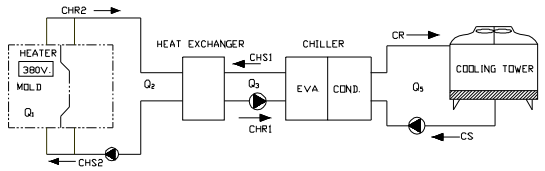
ส่วน ระบบทำน้ำอุ่นประกอบด้วย อุปกรณ์หลัก ๆ คือ เครื่องทำน้ำอุ่น ปั๊มน้ำอุ่น และหอทำความเย็น โดยหอทำความเย็นจะใช้ร่วมกับระบบทำน้ำเย็น

3. วิธีการทดลอง

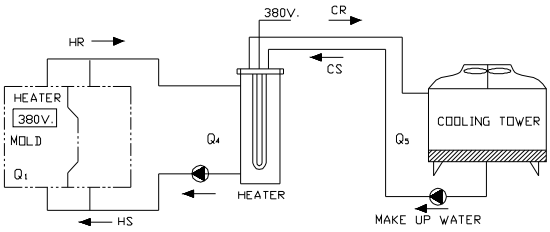
ทำการเก็บข้อมูลของรอบการทำงานเดิม (ก่อนปรับปรุง) เพื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบ กับระบบที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่สร้างขึ้นมานี้ได้

ในการเก็บข้อมูลการทดลอง จะทำการผลิตผลิต-ภัณฑ์ 3 ชนิด คือ A ,Bและ C โดยแต่ละผลิตภัณฑ์ จะทำการทดลอง 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย และนำมาเปรียบเทียบก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุง ข้อมูลที่บันทึกสำหรับผลิตภัณฑ์ A ,B และ C คือรอบเวลาการทำงาน อัตราการไหลของน้ำ อุณหภูมิของน้ำที่จุดต่าง ๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์ หาประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน ผลที่คาดว่าสามารถประหยัดได้ และคุณภาพผลิต-ภัณฑ์ ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์นั้น ได้

ให้ผู้ที่มีความชำนาญ เป็นผู้ตรวจสอบ ซึ่งได้ทำงานด้านนี้มากว่า 10 ปี โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้คือ ดีมาก ดี ปานกลาง พอใช้ และปรับปรุง



รูปที่ 2 แสดงการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น



รูปที่ 3 แสดงการทำงานของเครื่องทำน้ำอุ่น

4. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุง

แม่พิมพ์	ชิ้นที่	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลักษณะผลิตภัณฑ์
	A1	ดี	ปานกลาง	ก่อนดีกว่า
A	A2	ดี	ปานกลาง	ก่อนดีกว่า
	A3	ดี	ดี	ไม่แตกต่าง
	B1	ดี	ดี	ไม่แตกต่าง
B	B2	ดี	ดี	ไม่แตกต่าง
	B3	ดี	ดีมาก	หลังดีกว่า
	C1	ปานกลาง	ปานกลาง	ไม่แตกต่าง
C	C2	ปานกลาง	ดี	หลังดีกว่า
	C3	ปานกลาง	ดี	หลังดีกว่า

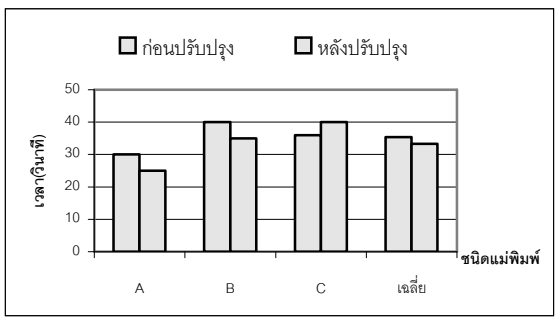
หมายเหตุ การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ได้ให้ผู้มีความชำนาญเป็นผู้ตรวจสอบ โดยมีเกณฑ์การให้ดังนี้คือ ดีมาก ดี ปานกลาง พอใช้และปรับปรุง

จากตารางที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์นั้น ได้ให้ผู้ที่มีความชำนาญเป็นผู้ตรวจสอบ และให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยแบ่งเป็นเป็นเกณฑ์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างที่จะไม่แตกต่างกันมาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่า ในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ต้องการคุณภาพที่ดีที่สุด เพื่อให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า จึงทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้น ไม่แตกต่างกันมากนัก

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบรอบการทำงาน (Cycle Time) ก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุง

แม่พิมพ์	ชิ้นที่	ก่อนปรับปรุง (วินาที)	หลังปรับปรุง (วินาที)	ค่าความแตกต่าง (%)
	A1	30	25	16.667
A	A2	30	25	16.667
	A3	30	25	16.667
	B1	40	35	12.5
B	B2	40	35	12.5
	B3	40	35	12.5
	C1	36	40	-11.11
C	C2	36	40	-11.11
	C3	36	40	-11.11

จากตารางการทดลองที่ 2 สามารถนำมาเฉลี่ย และเขียนกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 4 เปรียบเทียบรอบการทำงาน

จากรูปที่ 4 แสดงผลการทดลอง โดยการเปรียบเทียบรอบการทำงาน จะเห็นได้ว่ารอบการทำงาน ของเครื่องควบคุมอุณหภูมิแม่พิมพ์ ฉีดพลาสติกเร็วกว่าการใช้น้ำจากหอทำความเย็น ซึ่งเป็นแบบเดิมที่มีใช้ในปัจจุบัน จากตัวเลขที่ได้โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วนั้น (จากตารางที่ 2) จะสังเกตได้ว่า

สามารถช่วยลดเวลาในรอบของการทำงานได้มาก ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลา และสามารถผลิตสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ได้ตามใบสั่ง

ตารางที่ 3 แสดงกำลังไฟฟ้า(Q_1) และผลต่างของอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำเย็น

แม่พิมพ์	ชิ้นที่	Heater Mold (Q_1,kW)	ผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT, °C)		
			T_{CHR2} -T_{CHS2}	T_{CHR1} -T_{CHS1}	T_{CR}-T_{CS}
	A1	11.5	4.3	4.5	4.7
A	A2	11.5	4.3	4.5	4.7
	A3	11.5	4.3	4.5	4.7
	B1	117	4	4.3	4.6
B	B2	11.7	4	4.3	4.6
	B3	11.7	4	4.3	4.6

หมายเหตุ

-Q_1คือกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากHeater Moldโดยเฉลี่ยใช้11.6 kW

-อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเย็นเฉลี่ยของ A , B คือ 0.6 kg/s

-อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่อเย็นเฉลี่ยของ A, B คือ 0.6kg/s

ตารางที่ 4 แสดงกำลังไฟฟ้า(Q_1) และผลต่างของอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำอุ่น

แม่พิมพ์	ชิ้นที่	Heater Mold (Q_1,kW)	ผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT, °C)	
			T_{HR}-T_{HS}	T_{CR}-T_{CS}
	C1	11.8	2.4	1.6
C	C2	11.8	2.4	1.4
	C3	11.8	2.4	1.3

หมายเหตุ

-Q_1คือกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากHeater Moldโดยเฉลี่ยใช้11.8 kW

-อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำอุ่นเฉลี่ยของ C คือ 0.6 kg/s

-อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำหล่ออุ่นเฉลี่ยของ C คือ 0.66 kg/s

จากตารางที่ 3 จะสังเกตเห็นว่าผลต่างของอุณหภูมิ จะไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 4 แล้วจะเห็นว่าค่าที่ได้ จะแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องมาจาก ตารางที่ 4 เป็นตารางผลต่างของอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำอุ่น ผลต่างของอุณหภูมิจึงมีค่าน้อยกว่าตารางที่ 3

5. การวิเคราะห์ทางความร้อน

การวิเคราะห์เพื่อหาค่าการถ่ายความร้อนโดยอาศัยหลักการของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และหลักการสมดุลพลังงาน คือ

Q_1 คือกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จาก Heater Mold (kW)

$$Q_2 = \dot{m}_{CH1} Cp_W \left(T_{CHR1} - T_{CHS1}\right) \quad (1)$$

$$Q_3 = \dot{m}_{CH2} Cp_W \left(T_{CHR2} - T_{CHS2}\right) \quad (2)$$

$$Q_4 = \dot{m}_H Cp_W \left(T_{HS} - T_{HR}\right) \quad (3)$$

$$Q_5 = \dot{m}_C Cp_W \left(T_{CR} - T_{CS}\right) \quad (4)$$

ตารางที่ 5 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนของแต่ละระบบ

แม่พิมพ์	ชิ้นที่	Q_1 (kW)	Q_2 (kW)	Q_3 (kW)	Q_4 (kW)	Q_5 (kW)
	A1	11.5	11.286	10.78	-	11.78
A	A2	11.5	11.286	10.78	-	11.78
	A3	11.5	11.286	10.78	-	11.78
	B1	11.7	10.7844	10.03	-	11.53
B	B2	11.7	10.7844	10.03	-	11.53
	B3	11.7	10.7844	10.03	-	11.53
ค่าเฉลี่ย		11.6	11.0352	10.40	-	11.66
	C1	11.8	-	-	6.62	4.41
C	C2	11.8	-	-	6.62	3.86
	C3	11.8	-	-	6.62	3.58
ค่าเฉลี่ย		11.8			6.62	3.95

สมการการสมดุลพลังงาน สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

สำหรับระบบทำน้ำเย็น (รูปที่ 2)

$$Q_1 - Q_{PRO} = Q_2 = Q_3 = Q_5 \quad (5)$$

สำหรับระบบทำน้ำอุ่น (รูปที่ 3)

$$Q_1 + Q_4 = Q_{PRO} + Q_5 \quad (6)$$

เนื่องจากน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในระบบทำน้ำอุ่น จะมีการทำงานแบบไม่ต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในเครื่องทำน้ำอุ่น ด้วยเหตุนี้ น้ำหล่อเย็น ในระบบทำน้ำอุ่นจะมีการทำงานเป็นช่วง ๆ

จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่า ค่าที่ได้ไม่เป็นไปตามสมการที่ 5 และสมการที่ 6 ทั้งนี้เพราะเกิดการสูญเสียความร้อนระหว่างท่อ และอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งประสิทธิภาพ ของการแลกเปลี่ยนความร้อน ของอุปกรณ์ที่มีค่าไม่ถึง 100%

สำหรับสมการ 6 ที่ใช้คำนวณประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน ที่เครื่องแม่พิมพ์นั้น สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

กรณีน้ำเย็นป้อนเข้าแม่พิมพ์

$$\eta_1 = \frac{Q_3}{Q_1} \times 100\ \% \qquad (7)$$

กรณีน้ำอุ่นป้อนเข้าแม่พิมพ์

$$\eta_2 = \frac{Q_4}{Q_1} \times 100\ \% \qquad (8)$$

จากสมการที่ 7 และสมการที่ 8 สามารถหาประสิทธิภาพได้ โดยใช้ข้อมูลในตารางที่ 5 (ค่าเฉลี่ย) จะได้

$$\eta_1 = \frac{10.4082}{11.6} \times 100 = 89.725\ \%$$

$$\eta_2 = \frac{6.6211}{11.8} \times 100 = 56.111\%$$

จะสังเกตได้ว่าประสิทธิภาพ การแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองค่านั้น ไม่ได้ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ประสิทธิภาพเครื่องที่ 1 ต้องการที่จะนำความร้อนออกจากแม่พิมพ์ให้ได้มากที่สุด โดยการใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลางรับความร้อนที่เครื่องแม่พิมพ์ ซึ่งแตกต่างกับประสิทธิภาพเครื่องที่ 2 ที่ต้องการรักษาอุณหภูมิของแม่พิมพ์ ให้อุ่นอยู่เสมอ โดยการใช้น้ำอุ่นเป็นตัวกลาง ในการรับความร้อนที่แม่พิมพ์ ซึ่งอุณหภูมิที่เครื่องแม่พิมพ์นั้น สูงกว่าอุณหภูมิของน้ำอุ่นไม่มากนัก จึงทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยกว่าเครื่องที่ 1 ตามการคำนวณ

6. สรุปผลการทดลอง

การทดลองที่ได้เป็นค่าที่อยู่ในช่วง ๆ หนึ่ง กล่าวคือ แม่พิมพ์แต่ละเครื่อง ฉีดผลิตภัณฑ์เพียงแค่ 3 ชิ้นเท่านั้น แต่ถ้ามีการทำงานอย่างต่อเนื่อง ค่าที่ได้อาจมีการคลาดเคลื่อนไปจากการทดลอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ เช่น ขนาดหอทำความเย็น ขนาดของแม่พิมพ์ ขนาดของเครื่องทำน้ำเย็น ขนาดของเครื่องทำน้ำอุ่น รวมถึงประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน ของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้ยังเกี่ยวเนื่องกับสภาวะแวดล้อมภายในโรงงาน หรือการติดตั้งเครื่องในที่ที่มีอุณหภูมิสูง ก็อาจส่งผลทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนได้เช่นกัน

รายการสัญลักษณ์

C	คือ	น้ำหล่อเย็น	
CH_1	คือ	น้ำเย็น ที่ไหลระหว่างเครื่องทำความเย็นและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	
CH_2	คือ	น้ำเย็นที่ไหลระหว่างแม่พิมพ์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	
CHR	คือ	น้ำเย็นไหลกลับเครื่องทำน้ำเย็น	
CHS	คือ	น้ำเย็นออกจากเครื่องทำน้ำเย็น	
CR	คือ	น้ำเย็นไหลกลับหอทำความเย็น	
CS	คือ	น้ำเย็นออกจากหอทำความเย็น	
H	คือ	น้ำอุ่น	
HR	คือ	น้ำอุ่นไหลกลับเข้าเครื่องทำน้ำอุ่น	
HS	คือ	น้ำอุ่นไหลออกจากเครื่องทำน้ำอุ่น	
Cp_w	คือ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะมีค่า 4.18	(kJ/kg°C)
$\dot{m}$	คือ	อัตราการไหลเชิงมวล	(kg/s)
Q_1	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัดที่ Heater Mold โดยใช้ kW Meter	(kW)
Q_2	คือ	ค่าความร้อนที่คำนวณได้ระหว่างเครื่องทำน้ำเย็นและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	(kW)
Q_3	คือ	ค่าความร้อนที่คำนวณได้ระหว่างแม่พิมพ์ และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	(kW)
Q_4	คือ	ค่าความร้อนที่คำนวณได้ระหว่างเครื่องทำน้ำอุ่นและแม่พิมพ์	(kW)
Q_5	คือ	ค่าความร้อนที่คำนวณได้ที่หอทำความเย็น	(kW)
Q_{PRO}	คือ	ค่าความร้อนที่สูญเสียไปกับตัวผลิตภัณฑ์	(kW)

T	คือ	อุณหภูมิ	(°C)
ΔT	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิ	(°C)
η	คือ	ให้ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงงานสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี ประจำปี 2546

เอกสารอ้างอิง

"เทคโนโลยีพื้นฐานการออกแบบ และการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก" 2545, สำนักพัฒนาอุตสาหกรรม สนับสนุนร่วมกับองค์การร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น(JICA)

วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม "งานฉีดพลาสติก" 2540, เม็ดทรายพริ้งติ้ง

สมเกียรติ บุญณสะ "การจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม" 320 หน้า, 2547

สมเกียรติ บุญณสะ "วิศวกรรมโรงจักรต้นกำลัง" พิมพ์ครั้งที่ 2, 2545, พิมพ์ที่ หจก. วี.เจ พริ้นติ้ง