

การวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติกระหว่างแบบไฮดรอลิกกับแบบใช้ไฟฟ้าทั้งหมด

Analysis of Energy utilization between Hydraulic Type and All-Electric Type of Plastic Injection Molding Machines

วารุณี ฟองจันทร์^{1*}, วิทยา ยงเจริญ²

¹ สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Email : warunee.ph@hotmail.com, 08-1905-9045

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic และแบบ All Electric จากนั้นทำการวิเคราะห์ทางทฤษฎีด้านการใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic โดยอาศัยวงจรไฮดรอลิกและข้อมูลจากเอกสารของทางโรงงานกรณีศึกษา เพื่อระบุส่วนที่สามารถลดการสูญเสียพลังงาน ลงได้ แล้วทำการนำเสนอมาตรการในการปรับปรุงระบบไฮดรอลิกโดยการลดโหลดหรือหยุดการทำงานของปั๊ม

ผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีพบว่า การปรับปรุงระบบไฮดรอลิกเพื่อลดการสูญเสียพลังงานในระหว่างการรักษาความดันที่กระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ ในขั้นตอนการทำงาน Injection, Holding pressure, Plasticization และ Cooling โดยการใช้มาตรการการใช้วาล์วที่มีตำแหน่งกลางเปิด การใช้ปั๊มแบบชดเชยความดัน และการใช้ถังสะสมความดัน สามารถลดการใช้พลังงานได้ 94-98% โดยเป็นค่าที่ยังไม่ได้คิดประสิทธิภาพของ ปั๊มและประสิทธิภาพของมอเตอร์

Keyword : เครื่องฉีดพลาสติก, ระบบไฮดรอลิก, การใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติก

Abstract

The objective of this research is to study energy utilization of Hydraulic type and All Electric type of plastic injection molding machines. Then, a theoretical analysis is performed to evaluate energy utilization of hydraulic injection molding machine by using hydraulic circuit and gathering energy saving data from an injection molding plant for identifying energy saving potential area. After that, the measures for improving hydraulic system by means of pump unloading or stop are introduced.

The theoretical analysis result indicates that hydraulic system improvement for reduction of energy loss during pressure holding at clamp cylinder in injection, holding pressure, plasticization and cooling phases by applying 3 measures : mid-position open valve, variable pump and accumulator can reduce energy consumption by 94-98%. In this analysis, pump efficiency and motor efficiency are not considered.

Keywords: Plastic Injection Molding Machine, Hydraulic System, Energy utilization of Plastic Injection Molding Machine

1. บทนำ

กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกเป็นหนึ่งในรูปแบบที่นิยมมากที่สุดของการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ทันสมัย เครื่องฉีดพลาสติกแบ่งตามระบบขับเคลื่อนได้ 3 แบบ ได้แก่ แบบไฮดรอลิก (Hydraulic) แบบใช้ไฟฟ้าทั้งหมด (All-Electric) และแบบไฮบริด (Hybrid) ทั้ง 3 แบบมีความแตกต่างกันในส่วนของระบบขับเคลื่อน โดยเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนไฮดรอลิก ส่วนแบบ All-Electric ใช้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ในการขับเคลื่อน Ball Screw ในขณะที่แบบ Hybrid ใช้ทั้งมอเตอร์ไฮดรอลิกและเซอร์โวมอเตอร์ ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ All-Electric เปรียบเทียบกับเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic พบว่า เครื่องฉีดพลาสติกแบบ All-Electric มีศักยภาพในการประหยัดพลังงาน 50-70 % โดยสามารถประเมินจากพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากระบบไฮดรอลิกเดิมที่ใช้ [1] ทำให้โรงงานฉีดพลาสติกให้ความสนใจที่จะเปลี่ยนเครื่องฉีดพลาสติกจากแบบ Hydraulic มาเป็นแบบ All-Electric ซึ่งมีราคาแพงและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงค่อนข้างสูง

งานวิจัยส่วนใหญ่จะทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างเครื่องฉีดพลาสติกแบบ All-Electric กับแบบ Hydraulic จากการเดินเครื่องในการผลิต โดยเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic ที่นำมาเปรียบเทียบนั้นมีอายุค่อนข้างมาก ย่อมทำให้ความแตกต่างของค่าการใช้พลังงานของเครื่องฉีดทั้งสองแบบมีค่ามากตามไปด้วย ในปี 2556 โรงงานผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกกรณีศึกษาได้มีการเปลี่ยนเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 180 ตัน จากแบบ Hydraulic เป็นแบบ All-Electric จำนวน 8 เครื่อง ใช้เงินลงทุนต่อเครื่อง 3,776,632 บาท รวมเงินลงทุนทั้งหมด เป็นจำนวน 30,213,056 บาท ซึ่งเป็นมูลค่าที่สูง

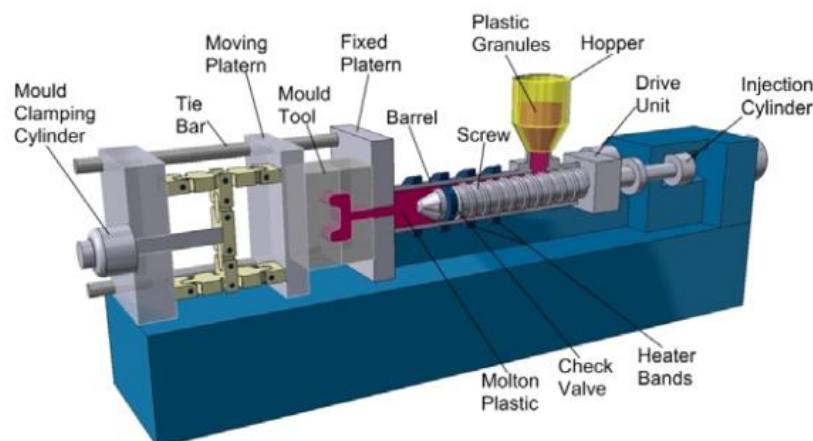
ผู้วิจัยจึงต้องการวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic โดยอาศัยวงจรไฮดรอลิก และข้อมูลจากเอกสารของทางโรงงานกรณีศึกษา เพื่อระบุส่วนที่สามารถลดการสูญเสียพลังงานลงได้ และหามาตรการในการลดการใช้พลังงานโดยการปรับปรุงที่ระบบไฮดรอลิก ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับโรงงานฉีดพลาสติกในการลดการสูญเสียพลังงานโดยไม่ต้องใช้เงินลงทุนสูง

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกโดยทั่วไป สามารถแบ่งหน่วยงานหลักๆ ของเครื่องได้ดังต่อไปนี้

1. Injection unit (หน่วยการฉีด) ทำหน้าที่ในการทำงานเกี่ยวกับการฉีดทั้งหมด
2. Clamping unit (หน่วยปากกาปิดแม่พิมพ์) ทำหน้าที่ในการทำงานเกี่ยวกับการเปิด-ปิดแม่พิมพ์
3. Control unit (หน่วยควบคุม) ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องฉีด



รูปที่ 1 เครื่องฉีดพลาสติก (Plastic Injection Molding Machine)

ที่มา : Rutland Plastics Limited, 2016

2.2 กำลังงานในระบบไฮดรอลิก

$$N = \frac{q \times \Delta p}{600} \quad (1)$$

เมื่อ N คือ กำลังงาน, kW
 q คือ อัตราการส่งน้ำมัน, lit/min
 Δp คือ ความดันคร่อมปั๊ม, bar

2.3 กำลังงานสูญเสียที่อุปกรณ์จำกัดการไหลและวาล์วควบคุมความดัน

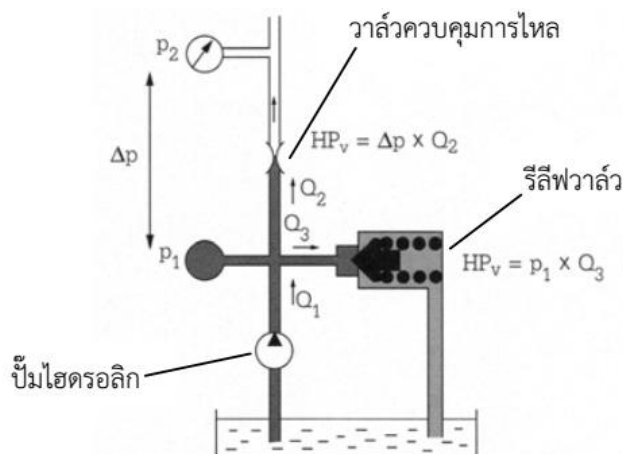
กำลังงานสูญเสียจะเกิดขึ้นเมื่อปั๊มส่งน้ำมันเข้าในระบบและเมื่อไหลผ่านรีลิววาล์ว ดังแสดงในรูปที่ 2

2.3.1 กำลังงานสูญเสียผ่านรีลิววาล์ว

$$HP_v = p_1 \times Q_3 \quad (2)$$

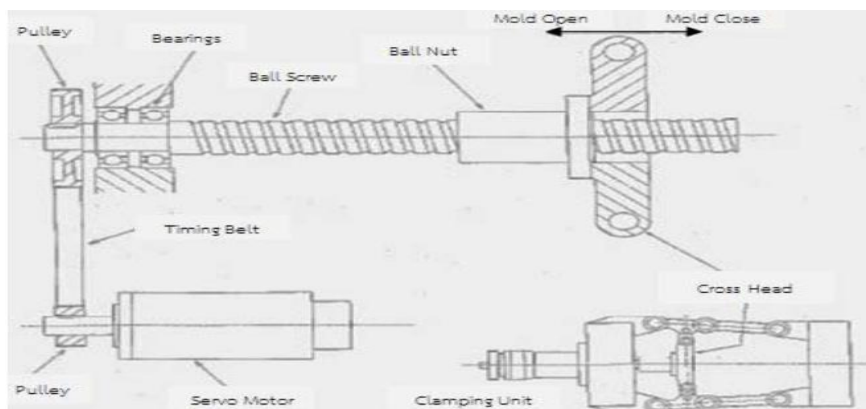
2.3.2 กำลังงานสูญเสียที่วาล์วควบคุมการไหล

$$HP_v = \Delta p \times Q_2 \quad (3)$$



รูปที่ 2 กำลังงานสูญเสียที่อุปกรณ์จำกัดการไหลและวาล์วควบคุมความดัน [2]

2.4 เครื่องฉีดพลาสติกแบบAll-Electric



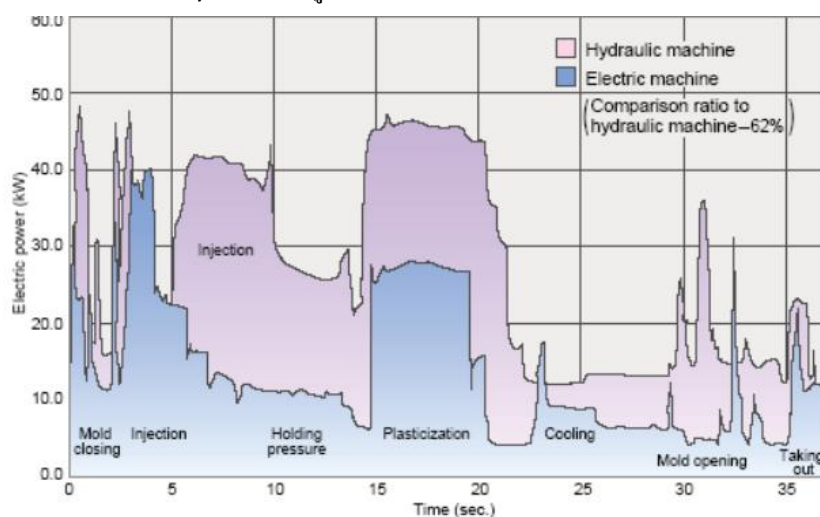
รูปที่ 3 ชุด Servo Motor และ Ball Screw ของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ All-Electric [1]

เครื่องฉีดพลาสติกแบบ All-Electric ใช้ Servo Motor ร่วมกับ Pulley เพื่อใช้ขับ Ball Screw มาทำหน้าที่แทนระบบไฮดรอลิกที่ใช้น้ำมันในการเพิ่มแรงดันในการฉีดพลาสติก ทำให้ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของมอเตอร์ขับเคลื่อนระบบไฮดรอลิก

2.5 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic กับ แบบ All-Electric

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ All-Electric เปรียบเทียบกับเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic เครื่องฉีดพลาสติกแบบ All-Electric มีศักยภาพในการประหยัดพลังงาน 50-70% โดยสามารถประเมินจากพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากระบบไฮดรอลิกเดิมที่ใช้

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic และ All-Electric ขนาด กำลังการผลิต 500 ตัน จะพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการฉีดพลาสติกของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ All Electric จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic อยู่ที่ประมาณ 60%

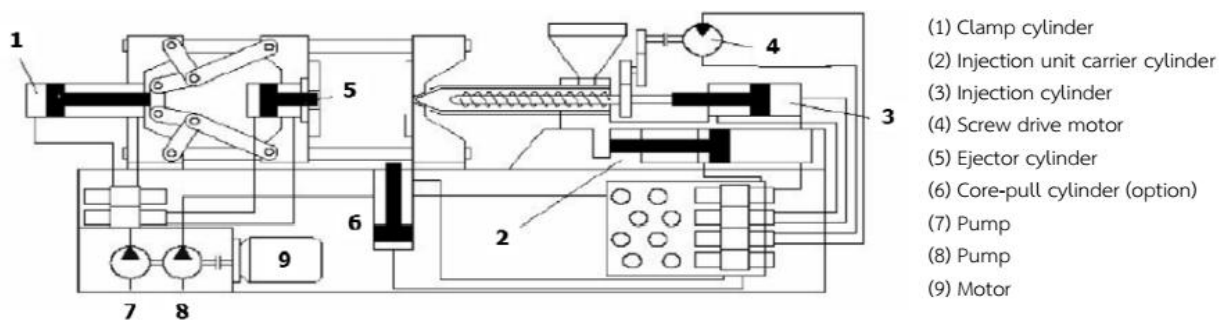


รูปที่ 4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic กับ All-Electric
ขนาดกำลังการผลิต 500 ตัน [1]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาแต่ละขั้นตอนการทำงานโดยทั่วไปของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic

จากการศึกษาระบบไฮดรอลิกของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic ผู้วิจัยได้สรุปรายการอุปกรณ์ทำงานและการทำงานในแต่ละขั้นตอนของการฉีดพลาสติกโดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 5 และตารางที่ 1 ตามลำดับ ซึ่งวงจรไฮดรอลิกของเครื่องฉีดพลาสติกในการใช้งานจริงอาจจะมีแตกต่างออกไปจากนี้บ้าง



รูปที่ 5 อุปกรณ์การทำงานในระบบไฮดรอลิกของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic

- กระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแท่นชุดฉีดพลาสติก (Injection unit carrier cylinder) บางครั้งอาจไม่ได้ทำการเลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิก แต่ใช้การเลื่อนด้วยมือ

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการทำงานโดยทั่วไปของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic

No.	Process	Hydraulic	Mechanical	Main	Other	Total
1	Mold dosing	น้ำมันถูกส่งจากปั๊ม (7) ไปยัง clamp cylinder (1)	แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าประกบกัน	1,7,9	-	1,7,9
2	Injection	น้ำมันถูกส่งจากปั๊ม (8) ไปยัง injection cylinder (3)	ชุดฉีดเคลื่อนที่เข้าแนบกับแม่พิมพ์ จากนั้นสกรูจะเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มีการหมุน	3,8,9	1,7	1,3,7,8,9
3	Holding pressure	น้ำมันจากปั๊ม (8) ช่วยรักษาความดันใน injection cylinder	สกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มีการหมุน เพื่อขับเคลื่อนพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์เพิ่มเติม	3,8,9	1,7	1,3,7,8,9
4	Plasticization	น้ำมันถูกส่งจากปั๊ม (8) ไปยัง screw drive motor (4)	สกรูเพื่อหมุนเพื่อดึงเม็ดพลาสติกในกรวยเติมเม็ด พลาสติก พร้อมทั้งป้อนไปข้างหน้าทำการหลอม ผสมและป้อนพลาสติกเหลวไปอยู่หน้าปลายสกรู	4,8,9	1,7	1,4,7,8,9
5	Cooling		พลาสติกเหลวที่อยู่ในแม่พิมพ์ถูกหล่อเย็นด้วยสารหล่อเย็น ให้เปลี่ยนเป็นของแข็ง จะเริ่มทำงานพร้อม plasticization เมื่อสิ้นสุดเวลาย่ำรักษาความดันแล้ว	-	1,4,7,8,9	1,4,7,8,9
6	Mold opening	น้ำมันถูกส่งจากปั๊ม (7) ไปยัง clamp cylinder (1)	ชุดฉีดเคลื่อนที่ถอยออกจากแม่พิมพ์ หลังจากสกรูหยุด การเคลื่อนที่ จากนั้นแม่พิมพ์จะเคลื่อนที่เปิดออก	1,7,9	"	1,7,9
7	Taking out	น้ำมันถูกส่งจากปั๊ม (7) ไปยัง ejector cylinder (5)	ejector cylinder กระทุ้งชิ้นงานให้หลุดออกจากแม่พิมพ์	5,7,9	-	5,7,9

- ขั้นตอนการทำงานที่ 4 และ 5 เริ่มทำงานพร้อมกัน แต่ขั้นตอนที่ 4 จะเสร็จสิ้นก่อน

- ในขั้นตอนการทำงานที่ 2 ถึงขั้นตอนการทำงานที่ 5 (Injection, Holding pressure, Plasticization และ Cooling) ปั๊ม 7 ส่งความดันไปยังกระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ (Clamp Cylinder) เพื่อรักษาความดัน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เนื่องจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกกรณี ศึกษาการเปลี่ยนเครื่องฉีดพลาสติกจากแบบ Hydraulic ขนาด 180 ตัน เป็น แบบ All-Electric ขนาด 180 ตัน ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารของทางโรงงาน กรณีศึกษา พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ทางโรงงานกรณีศึกษาได้ทำการวัดด้วย power meter จากเครื่องฉีดพลาสติก แบบ Hydraulic ขนาด 180 ตัน ได้ 18.06 kw และ แบบ All-Electric ขนาด 180 ตัน ได้ 3.48 kw ในการผลิต ผลิตภัณฑ์แบบเดียวกัน เป็นดังรูปที่ 6



เครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic ขนาด 180 ตัน

เครื่องฉีดพลาสติกแบบ All-Electric ขนาด 180 ตัน

รูปที่ 6 ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic และ แบบ All-Electric ขนาด 180 ตัน

3.3 การวิเคราะห์ทางทฤษฎีและนำเสนอมาตรการปรับปรุงระบบไฮดรอลิก

หลังจากศึกษาขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic แล้ว ทำการระบุส่วนที่จะสามารถลด การสูญเสียพลังงานลงได้ ซึ่งได้แก่ การสูญเสียพลังงานด้านกระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ (Clamp Cylinder) ในช่วงที่มีการรักษาความดัน ในขั้นตอนการทำงาน Injection, Holding pressure, Plasticization และ Cooling เท่านั้น จากนั้นทำการวิเคราะห์ทางทฤษฎีด้านการใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic และนำเสนอมาตรการปรับปรุง ระบบไฮดรอลิก โดยการลดไหลของปั๊มหรือหยุดการทำงานของปั๊ม

4. ผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ เป็นการวิเคราะห์ทางทฤษฎีสำหรับเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic ที่จะมีกำลังการผลิตใกล้เคียงกับเครื่องฉีดพลาสติกแบบ All-Electric ของทางโรงงานกรณีศึกษา โดยจะทำการวิเคราะห์การ ลดการสูญเสียพลังงานเมื่อมีการปรับปรุงระบบไฮดรอลิกตามแนวทางการลดไหลของปั๊มหรือหยุดการทำงานของ ปั๊ม 3 แนวทาง ได้แก่ การใช้ปั๊ม ชดเชยความดัน , การใช้วาล์วที่มีตำแหน่งกลางเปิด และการใช้ถังสะสมความดัน ซึ่งกำหนดข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ ดังนี้

- ก่อนทำการปรับปรุงระบบ มีการใช้ปั๊มแบบคงที่ (Fixed Pump)
- มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาดกำลังไฟฟ้า 15 kw, อัตราการหมุน 1400 rpm
- ปั๊มไฮดรอลิกตัวที่ 2 ซึ่งใช้ในขั้นตอนการทำงานที่มีการรักษาความดันที่กระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ ปริมาตรการส่งน้ำมัน 63.3 cc/rev
- ความดันจากปั๊มไฮดรอลิกตัวที่ 2 ไปยังกระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ (Clamp Cylinder) ในขั้นตอนการทำงานที่มีการรักษาความดันที่กระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ เท่ากับ 100 bar ใช้เวลา 18.8 วินาที
- จำนวนชั่วโมงทำงานของเครื่องฉีดพลาสติก 24 ชั่วโมง/วัน 312 วัน/ปี รวมจำนวนชั่วโมงทำงาน 7,488 ชั่วโมง/ปี

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

No.	Process	Hydraulic	Time	Mechanical
1	Mold closing	น้ำมันถูกส่งจากปั๊มตัวที่ 1 ไปยัง clamp cylinder (HC1)	0.8	แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าประกบกัน
2	Injection	น้ำมันถูกส่งจากปั๊มตัวที่ 1 ไปยัง injection cylinder (HC2)	8.5	ชุดฉีดเคลื่อนที่เข้าแนบกับแม่พิมพ์ จากนั้นสกรูจะเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มี การหมุน เพื่อขับเคลื่อนพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกฉีดให้ไหลเข้าไปให้เต็มแม่พิมพ์
3	Holding pressure	น้ำมันถูกส่งจากปั๊มตัวที่ 2 ช่วยรักษา ความดันใน injection cylinder (HC2)	1.3	สกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มี การหมุน เพื่อขับเคลื่อนพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์เพิ่มเติม
4	Plasticization	น้ำมันถูกส่งจากปั๊มตัวที่ 1 ไปยัง screw drive motor (HTM1)	5.6	สกรูเริ่มหมุนเพื่อดึงเม็ดพลาสติกในกรวยเติมเม็ดพลาสติก พร้อมทั้งป้อนไป ข้างหน้าของสกรูเพื่อทำการหลอม และป้อนพลาสติกเหลวไปอยู่หน้าปลายสกรู
5	Cooling	-	9	พลาสติกเหลวที่อยู่ในแม่พิมพ์ถูกหล่อเย็นด้วยสารหล่อเย็น ให้เปลี่ยนเป็นของแข็ง จะเริ่มทำงานพร้อม plasticization เมื่อสิ้นสุดเวลาย่ำรักษาความดันแล้ว
6	Mold opening	น้ำมันถูกส่งจากปั๊มตัวที่ 1 ไปยัง clamp cylinder(HC1)	1.4	ชุดฉีดเคลื่อนที่ถอยออกจากแม่พิมพ์หลังจากสกรูหยุด การเคลื่อนที่ จากนั้น แม่พิมพ์จะเคลื่อนที่เปิดออก
7	Taking out	น้ำมันถูกส่งจากปั๊มตัวที่ 1 ไปยัง ejector cylinder(HC5)	0.3	ejector cylinder กระทั่งชิ้นงานให้หลุดออกจากแม่พิมพ์

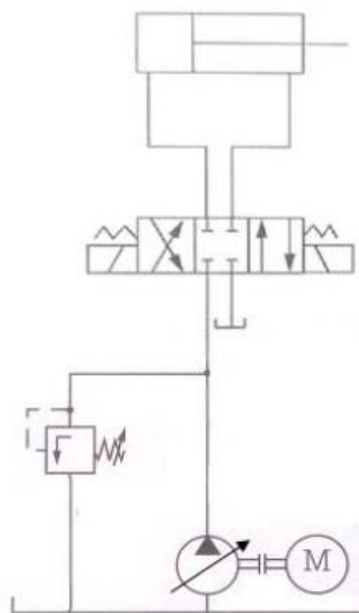
Cycle Time = 21.3

- ขั้นตอนการทำงานที่ 4 และ 5 เริ่มทำงานพร้อมกัน แต่ขั้นตอนที่ 4 จะเสร็จสิ้นก่อน

- ในขั้นตอนการทำงานที่ 2 ถึงขั้นตอนการทำงานที่ 5 (Injection, Holding pressure, Plasticization และ Cooling) ปั๊ม 2 ส่งความดันไปยังกระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ (Clamp Cylinder) เพื่อรักษาความดัน รวมเป็นเวลาทั้งหมด 18.8วินาที

4.1 การใช้ปั๊มแบบชดเชยความดัน

ปั๊มแบบชดเชยความดันสามารถส่งน้ำมันได้ตามความต้องการของโหลด การส่ง น้ำมันจะเกิดขึ้นเมื่อถึงค่าความ ดันที่ปรับตั้งเอาไว้ที่ปั๊มทำให้อัตราการส่งน้ำ มันของปั๊มส่งน้ำมันได้ไม่เกินค่าที่กำหนด มาตรการนี้จะเป็นการลด อัตราการไหลโดยความดันยังคงมีอยู่ตามที่ตั้งค่าไว้ จึงสามารถชดเชยส่วนที่รั่วไหลได้ กรณีนี้ปั๊มยังคงทำงาน ตลอดเวลา



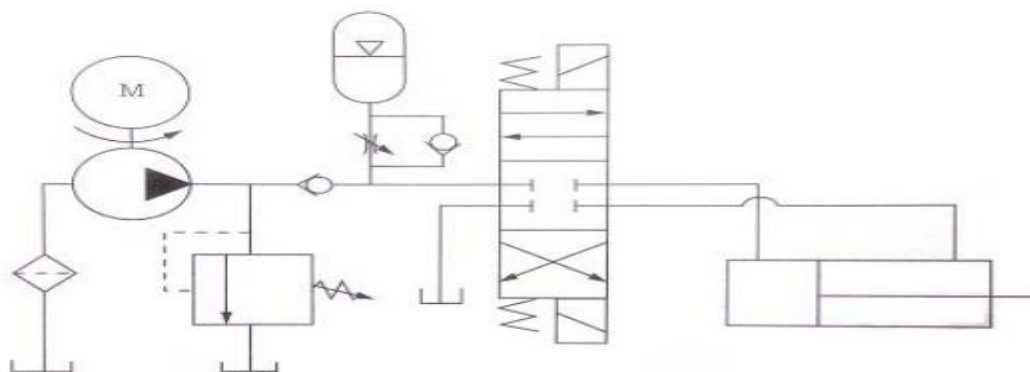
รูปที่ 7 วงจรการใช้ปั๊มแบบชดเชยความดัน

4.2 การใช้วาล์วที่มีตำแหน่งกลางเปิด

มาตรการนี้สามารถลดไหลตของปั๊มโดยการใช้วาล์วควบคุมทิศทางแบบช่อง P-T ต่อถึงกันหรือระบาย ยลงถึงพัก ได้ ในขณะที่ไม่มีไฟฟ้าป้อนเข้าโซลินอยด์ทั้ง 2 ช้าง (a และ b) สปริงจะเป็นตัวปรับให้วาล์วอยู่ใน ตำแหน่งกลาง น้ำ มันที่ส่งมาจากปั๊มสามารถไหลกลับถึงพักได้สะดวกทำให้ ปั๊มทำงานโดยไม่มีไหลต ผู้วิจัยได้เพิ่มเช็ควาล์วทำงานแบบไพลอต (Pilot-operated Check Valve) เพื่อป้องกันการรั่วไหลในระบบ กรณีนี้สามารถลดความดันลงได้ค่า ใกล้เคียงกับศูนย์หรือถือว่าไม่มีการรั่วไหลในระบบ แต่อัตราการไหลเท่าเดิม กรณีนี้ปั๊มยังคงทำงานตลอดเวลา

4.3 การใช้ถังสะสมความดัน

เมื่อพลังงานของไหลถูกเก็บไว้ในถังสะสมความดันแล้ว ความดันที่เก็บสะสมนี้สามารถนำไปใช้ในระบบได้เลย และเมื่อความดันของน้ำมันถูกระบายออกไปแล้วจะได้รับใหม่อีกครั้งหนึ่งจากปั๊มน้ำมันในระบบ กรณีนี้ปั๊มไฮดรอลิกจะไม่ทำงานตลอดเวลา แต่จะทำงานในช่วงที่ให้ความดันแก่ถังสะสมความดันเท่านั้น มาตรการนี้ยอมให้มีการรั่ว ได้ แต่ใช้ถังสะสมความดันเป็นตัวชดเชยความดัน



รูปที่ 9 วงจรการจ่ายน้ำมันด้วยการใช้ถังสะสมความดัน

4.4 ผลการประหยัดพลังงานหลังการปรับปรุง

โรงงานกรณีศึกษาได้เปลี่ยนเครื่องฉีดพลาสติกจากแบบ Hydraulic เป็นแบบ All-Electric ทำให้สามารถ ประหยัดพลังงานได้ 81% ค่ากำลังงานที่แสดงในตารางที่ 3 ได้มาจากการวัดด้วย Power Meter ซึ่งเป็นค่าที่รวม ประสิทธิภาพของปั๊มและประสิทธิภาพของมอเตอร์แล้ว

ตารางที่ 3 ผลการประหยัดพลังงานจากการเปลี่ยนเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic เป็นแบบ All-Electric ของโรงงานกรณีศึกษา

การปรับปรุง	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง		ส่วนที่ประหยัดได้	
	กำลังงาน (kW)	พลังงาน (kWh/year)	กำลังงาน (kW)	พลังงาน (kWh/year)	พลังงาน (kWh/year)	(%)
เปลี่ยนเครื่องฉีดจากแบบ Hydraulic เป็นแบบ All-Electric	18.06	135,233	3.48	26,058	109,175	81

จากมาตรการปรับปรุงระบบไฮดรอลิก 3 มาตรการ ได้แก่ การใช้ปั๊มแบบชุดเขยความดันการใช้วาล์วที่มีตำแหน่งกลางเปิด และการใช้ถังสะสมความดัน เมื่อทำการวิเคราะห์การประหยัดพลังงาน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 ค่ากำลังงานของปั๊มไฮดรอลิกในตารางนี้เป็น ผลจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี ซึ่งเป็นค่าที่ ยังไม่ได้คิด ประสิทธิภาพของปั๊มและประสิทธิภาพของมอเตอร์ และค่าการประหยัดพลังงานตามมาตรการที่เสนอข้างต้นเป็น ค่าพลังงานที่สามารถประหยัดได้ เฉพาะในส่วนการรักษาความดันที่กระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ ในขั้นตอนการทำงาน Injection, Holding pressure, Plasticization และ Cooling เท่านั้น ไม่ใช่ค่าการประหยัดพลังงานรวมทั้งระบบ

ตารางที่ 4 ผลการประหยัดพลังงานจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีตามมาตรการที่นำเสนอ

การปรับปรุง	Qpump	AP (bar)	ส่วนที่ปั๊มต้องการ ก่อนการปรับปรุง		ส่วนที่ปั๊มต้องการ หลัง การปรับปรุง		ส่วนที่ประหยัดได้	
			กำลังงาน (kW)	พลังงาน (kWh/year)	กำลังงาน (kW)	พลังงาน (kWh/year)	พลังงาน (kWh/year)	(%)
การใช้ปั๊มแบบชุดเขยความดัน	5%	100	14.77	97,617	0.74	4,881	92,736	95
การใช้วาล์วที่มีตำแหน่งกลางเปิด	100%	2	14.77	97,617	0.30	1,952	95,664	98
การใช้ถังสะสมความดัน	5%	120	14.77	97,617	0.89	5,857	91,760	94

5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ช่วงที่ความดันจากปั๊มไฮดรอลิกตัวที่ 2 ถูกส่งไปยัง กระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ (Clamp Cylinder) ตั้งแต่ขั้นตอน Injection ไปจนถึงขั้นตอน Cooling ถือว่าเครื่องจักรไม่มีการทำงาน ถ้าไม่มีวงจรควบคุมการไหลของน้ำ มันในช่วงนี้ ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานโดยไม่เกิดงานทำให้สิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าและกำลังงานที่ สูญเสียไปนี้จะทำให้เกิดความร้อนในระบบไฮดรอลิก ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เกิดความเสียหายได้ในที่สุด จาก มาตรการประหยัดพลังงาน ของโรงงาน โดยการเปลี่ยนเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic ขนาด 180 ตัน เป็นแบบ All-Electric ขนาด 180 ตัน สามารถประหยัดพลังงานได้ 109,175 กิโลวัตต์- ชั่วโมง /ปี คิดเป็น 81% ค่านี้ได้มา จากการวัดด้วย Power Meter ซึ่งเป็นค่าที่รวม ประสิทธิภาพของปั๊มและประสิทธิภาพของมอเตอร์แล้ว

การลงทุนซื้อเครื่องฉีดพลาสติกแบบ All-Electric ขนาด 180 ตัน เครื่องใหม่นี้ใช้เงินเป็นจำนวน 3,776,632 บาท ต่อเครื่อง ซึ่งเป็นมูลค่าที่ค่อนข้างสูง เสนอแนะให้ทางโรงงานปรับปรุงระบบไฮดรอลิกของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic เพื่อลดการใช้พลังงานในระหว่างการรักษาความดันที่กระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ ในขั้นตอนการทำงาน Injection, Holding pressure, Plasticization และ Cooling ดังนี้

การใช้วาล์วที่มีตำแหน่งกลางเปิด สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 98%

การใช้ปั๊มแบบชดเชยความดัน สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 95%

การใช้ถังสะสมความดัน สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 94%

ค่ากำลังงานจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี เป็นค่ากำลังงานของปั๊มไฮดรอลิกที่ยังไม่ได้คิดประสิทธิภาพของปั๊มและประสิทธิภาพของมอเตอร์ ดังนั้นค่าการประหยัดพลังงานนี้ไม่ใช่ค่าของทั้งระบบ และเป็นค่าการประหยัดพลังงานเฉพาะในส่วนการรักษาความดันที่กระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ในขั้นตอนการทำงาน Injection, Holding pressure, Plasticization และ Cooling หากปรับปรุงระบบตามมาตรการข้างต้นจะสามารถลดการใช้พลังงานของเครื่องฉีดพลาสติกแบบ Hydraulic ในส่วนนี้ได้สูงสุด 98% โดยใช้เงินลงทุนจำนวนไม่มาก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555). ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึกเครื่องฉีดพลาสติกชนิดใช้ไฟฟ้าทั้งหมด, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www2.dede.go.th/Advancetech> เข้าดูเมื่อวันที่ 16/05/2559.
- [2] ณรงค์ ตันชีวะวงศ์ (2544). ไฮดรอลิกอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).