

55730011: สาขาวิชา: บริหารธุรกิจ สำหรับผู้บริหาร; บข.ม. (บริหารธุรกิจ สำหรับผู้บริหาร)

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน/ กระบวนการฉีดพลาสติก

ณรงค์ วงศ์ยัง: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดที่ผลิตจากประเทศจีนของโรงงานผลิตข้อต่อพีวีซีแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง (A COMPARISON BETWEEN EFFICIENCY ON ENERGY USING OF PLASTIC INJECTION ENGINE MANUFACTURED FROM CHINA, A CASE STUDY OF A PVC FITTINGS MANUFACTURER IN RAYONG PROVINCE) อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์: สุรดี สุพิชญางกูร, D.I.B.A. 102 หน้า. ปี พ.ศ. 2557.

การศึกษาวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดที่ผลิตจากประเทศจีนของโรงงานผลิตข้อต่อพีวีซีแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ที่ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตข้อต่อพีวีซี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจลงทุนเครื่องจักรใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตข้อต่อพีวีซีของเครื่องฉีดพลาสติกที่ผลิตจากประเทศจีน 2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตข้อต่อพีวีซีของเครื่องฉีดพลาสติกที่ผลิตจากประเทศจีน ประชากรในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ ข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific energy consumption index) จากการผลิตสินค้าข้อต่อของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นชุดข้อมูลดังกล่าว ราชชั่วโมงที่ได้จากการทดลองรวม 768 ชุด

จากการทดลอง ได้ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของการผลิตข้อต่อพีวีซีของเครื่องฉีดพลาสติกที่ผลิตจากประเทศจีนของโรงงานแห่งนี้ มาวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานงานวิจัย ซึ่งได้กำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 พบว่า 1) ประเภทของเครื่องฉีดพลาสติกที่ต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน 2) ประเภทของแม่พิมพ์ที่ต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน 3) เครื่องฉีดพลาสติกที่มีตราสินค้าเครื่องจักรต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน 4) การผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน

55730011: MAJOR: BUSINESS ADMINISTRATION FOR EXECUTIVES; M.B.A.  
(MASTER OF BUSINESS ADMINISTRATION FOR EXECUTIVES)

KEYWORDS: EFFICIENCY ON ENERGY USING/ PLASTIC INJECTION PROCEDURE  
NARONG WONGYOUNG: A COMPARISON BETWEEN EFFICIENCY ON  
ENERGY USING OF PLASTIC INJECTION ENGINE MANUFACTURED FROM CHINA,  
A CASE STUDY OF A PVC FITTINGS MANUFACTURER IN RAYONG PROVINCE.  
ADVISOR: SURAT SUPITCHAYANGKOOL, D.I.B.A. 102 P. 2014.

This study entitled 'A comparison between efficiency on energy using of plastic injection engine manufactured from China, a case study of a PVC fittings manufacturer in Rayong Province' was experimental research study. It focused to study factors affecting the maximum efficiency on energy using in manufacturing procedure of PVC fittings in order to implement in production planning to reach its maximum efficiency on energy using. It can also be used as the information for decision making on investment on new engine. Hence, this study attempted 1) to study factors affecting efficiency on energy using in manufacturing PVC fittings of plastic injection engine manufactured from China, 2) to compare the efficiency of energy using in manufacturing PVC fittings of plastic injection engine manufactured from China. The population in this study were Specific Energy Consumption Index of the fittings from one manufacturer in Rayong Province from December 2013 - February 2014. The subjects then were 768 sets of data in hour unit.

The findings from analyzing Specific Energy Consumption Index of the fittings from one manufacturer in Rayong Province to test hypothesis at the statistically significant level of 0.05 revealed that 1) different types of plastic injection engines had different efficiency on energy using, 2) different types of molds had different efficiency on energy using, 3) different brands of plastic injection engines had different efficiency on energy using and, different duration of PVC fitting production had no different on efficiency on energy using.

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดที่ผลิตจากประเทศจีนของ โรงงานผลิตข้อต่อพีวีซีแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ที่ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตข้อต่อพีวีซี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจลงทุนเครื่องจักรใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัยดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตข้อต่อพีวีซีของเครื่องฉีดพลาสติกที่ผลิตจากประเทศจีน

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตข้อต่อพีวีซีของเครื่องฉีดพลาสติกที่ผลิตจากประเทศจีน

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยอาศัยแนวคิดเกี่ยวกับการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific energy consumption) ในการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตข้อต่อของ โรงงาน และศึกษาสภาพปัจจุบันเพื่อออกแบบการทดลองในการทดสอบสมมติฐานงานวิจัยทั้ง 4 ข้อ ดังต่อไปนี้

1. ประเภทของเครื่องฉีดพลาสติกที่ต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน

2. ประเภทของแม่พิมพ์ที่ต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน

3. เครื่องฉีดพลาสติกที่มีตราสินค้าเครื่องจักรต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน

4. ผลผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน

ประชากรในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ คือ ข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific energy consumption index) จากการผลิตสินค้าข้อต่อของ โรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นชุดข้อมูลดังกล่าวรายชั่วโมงที่ได้จากการทดลองรวม 768 ชุด

## สรุปผลการวิจัย

จากการทดลอง ได้วัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดที่ผลิตจากประเทศจีนของโรงงานแห่งนี้ ขณะผลิตสินค้าข้อต่อ และใช้ข้อมูลหน่วยการผลิตจากรายงานการผลิตประจำวัน ในการนำมาคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ได้นำค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของการผลิตข้อต่อพีวีซีของโรงงานแห่งนี้ มาวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานงานวิจัย ซึ่งได้กำหนดค่าระดับความเชื่อมั่นไว้ที่ ร้อยละ 95 หรือกำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

**สมมติฐานที่ 1 ประเภทของเครื่องฉีดพลาสติกที่ต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 กรณี และสามารถสรุปผลได้ดังนี้**

สมมติฐานที่ 1.1 เครื่องฉีดพลาสติกต่างประเภทกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน ในกรณีเครื่องฉีดขนาด 200 ตัน ผลิตด้วยแม่พิมพ์รอบเวลาการผลิตสั้น (200S) โดยที่เครื่องฉีดประเภท Hybrid มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาเป็นเครื่องฉีดประเภท Hydraulic with VSD ส่วนเครื่องฉีดประเภท Hydraulic มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำที่สุด

สมมติฐานที่ 1.2 เครื่องฉีดพลาสติกขนาดต่างประเภทกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน ในกรณีเครื่องฉีดขนาด 300 ตัน ผลิตด้วยแม่พิมพ์รอบเวลาการผลิตสั้น (300S) โดยที่เครื่องฉีดประเภท Hybrid มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาเป็นเครื่องฉีดประเภท Hydraulic with VSD ส่วนเครื่องฉีดประเภท Hydraulic มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำที่สุด

สมมติฐานที่ 1.3 เครื่องฉีดพลาสติกขนาดต่างประเภทกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน ในกรณีเครื่องฉีดขนาด 300 ตัน ผลิตด้วยแม่พิมพ์รอบเวลาการผลิตยาว (300L) โดยที่เครื่องฉีดประเภท Hybrid มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาเป็นเครื่องฉีดประเภท Hydraulic with VSD ส่วนเครื่องฉีดประเภท Hydraulic มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำที่สุด

สมมติฐานที่ 1.4 เครื่องฉีดพลาสติกขนาดต่างประเภทกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน ในกรณีเครื่องฉีดขนาด 500 ตัน ผลิตด้วยแม่พิมพ์รอบเวลาการผลิตสั้น (500S) โดยที่เครื่องฉีดประเภท Hybrid มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาเป็นเครื่องฉีดประเภท Hydraulic with VSD ส่วนเครื่องฉีดประเภท Hydraulic มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำที่สุด



#### สมมุติฐานที่ 4 การผลิตสินค้าต่อพีวีซีในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

การผลิตสินค้าต่อพีวีซีในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน ซึ่งหมายความว่า การผลิตสินค้าต่อพีวีซีในกะเช้า กะบ่าย และกะดึก มีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ไม่แตกต่างกัน

จากผลการวิจัย สามารถสรุปค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยของการผลิตสินค้าต่อพีวีซีแต่ละกลุ่มประเภทแม่พิมพ์ของเครื่องฉีดพลาสติกแต่ละขนาด แต่ละประเภท ได้ดังตารางที่ 5-1 เพื่อช่วยต่อการนำดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะดังกล่าว ไปใช้ในการวางแผนการผลิตสินค้าต่อพีวีซีบนเครื่องฉีดพลาสติกที่ผลิตจากประเทศจีนของโรงงานแห่งนี้ อีกทั้งสามารถเก็บเป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการเลือกวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อพีวีซี และใช้เป็นส่วนหนึ่งของการตัดสินใจเลือกลงทุนเครื่องฉีดพลาสติกใหม่ ให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด

ตารางที่ 5-1 ข้อมูลค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยในการผลิตสินค้าต่อพีวีซีของเครื่องฉีดแต่ละประเภทจากการทดลอง

ขนาดของ เครื่องฉีดพลาสติก	ประเภทของ แม่พิมพ์	ค่าดัชนีพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ(kWh/kg)		
		Hybrid	Hydraulic	Hydraulic with VSD
200 ตัน	200S	0.39	1.70	0.51
300 ตัน	300S	0.35	0.96	0.69
	300L	0.44	1.91	1.45
500 ตัน	500S	0.38	0.65	0.53
	500L	0.44	1.93	1.57

#### อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดสอบสมมุติฐานที่ 1 สามารถสรุปและวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยด้านประเภทของเครื่องฉีดพลาสติกที่ต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดในการผลิตสินค้าต่อพีวีซีแตกต่างกันในทุกกรณี ดังต่อไปนี้

1. เครื่องฉีดขนาด 200 ตัน ผลิตสินค้าต่อพีวีซีด้วยแม่พิมพ์รอบเวลาการผลิตสั้น (200S)

2. เครื่องฉีดขนาด 300 ตัน ผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีด้วยแม่พิมพ์รอบเวลาการผลิตสั้น (300S)
3. เครื่องฉีดขนาด 300 ตัน ผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีด้วยแม่พิมพ์รอบเวลาการผลิตยาว (300L)
4. เครื่องฉีดขนาด 500 ตัน ผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีด้วยแม่พิมพ์รอบเวลาการผลิตสั้น (500S)
5. เครื่องฉีดขนาด 500 ตัน ผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีด้วยแม่พิมพ์รอบเวลาการผลิตยาว (500L)

โดยทุกกรณีบ่งชี้ว่าเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hybrid มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic และ Hydraulic with VSD ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องฉีดเป่า (Injection blow molding machine) ของ Jomar Corporation (2009) พบว่า เครื่องฉีดเป่าพลาสติกแบบ Hybrid เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าเครื่องฉีดเป่าแบบ Hydraulic นอกจากนี้ทุกกรณีในการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซี

เมื่อพิจารณาสมมติฐานที่ 1.3 และ 1.5 ในการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซี ด้วยแม่พิมพ์ที่มีรอบเวลาการผลิตยาว พบว่า เครื่องฉีดประเภท Hybrid ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด และแตกต่างกับเครื่องฉีดประเภทอื่นอย่างชัดเจน สอดคล้องกับหลักการที่ธนเสกฐ์ ภิญ โยธนะศรี (2554) ได้นำเสนอไว้ อันเนื่องมาจากแม่พิมพ์ที่มีรอบเวลาการผลิตยาว มีช่วงเวลาหล่อเย็น (Cooling time) มากกว่าช่วงเวลาการหลอมผสมและเป่าพลาสติก ทำให้เกิดช่วงเวลาที่เครื่องฉีดพลาสติกไม่ได้ใช้ความดัน ซึ่งเครื่องฉีดพลาสติกระบบ Hybrid นั้น มอเตอร์และปั๊มจะหยุดทำงาน และจะทำงานเฉพาะช่วงที่ใช้ความดัน ทำให้ใช้พลังงานน้อยกว่า ส่วนเครื่องฉีดพลาสติกที่เป็นระบบ Hydraulic มอเตอร์และปั๊มจะทำงานตลอดจังหวะช่วงการทำงาน ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และเครื่องฉีดพลาสติกที่เป็นระบบ Hydraulic with VSD มอเตอร์และปั๊มจะทำงานตลอดจังหวะช่วงการทำงานเช่นกัน แต่จะทำงานในความเร็วรอบที่ต่ำกว่าปกติ ทำให้ประหยัดพลังงานเล็กน้อย

ถ้าเปรียบเทียบเฉพาะการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic และ Hydraulic with VSD ในทุกกรณีของการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซี นั้น เครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic with VSD มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของบริษัท เอ็นเนอร์ยี่ ดีไซน์ คอนเซ็ปท์ จำกัด (2554) ที่ได้ปรับปรุงเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic ให้เป็นเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic with VSD โดยการติดตั้ง Inverter (EDCO ENC) กับเครื่องฉีด

พลาสติกของสถานประกอบการ บริษัท ไทยโตชิบาอุตสาหกรรม จำกัด ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดพลาสติกดีขึ้น ทำให้โรงงานสามารถผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปีได้เท่ากับ 1,434,624.00 kWh

จากผลการทดสอบสมมติฐานที่ 2 พบว่า ประเภทของแม่พิมพ์ที่ต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกันในทุกกรณี โดยที่แม่พิมพ์ประเภทรอบเวลาการผลิตยาว มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าแม่พิมพ์ประเภทรอบเวลาการผลิตสั้น หลักการของ ธนเสถฐ์ ภิญ โณชน รัศมี (2554) กล่าวว่า เนื่องจากแม่พิมพ์ที่มีรอบเวลาการผลิตยาว มีช่วงเวลาล่อเย็น (Cooling time) มากกว่าช่วงเวลาการหลอมผสมและป้อนพลาสติก ทำให้เกิดช่วงเวลาที่เครื่องฉีดพลาสติกไม่ได้ใช้ความดันขึ้น จึงเป็นช่วงเวลาที่สูญเปล่าในการผลิต ส่วนแม่พิมพ์ที่มีรอบเวลาการผลิตสั้น จะมีช่วงเวลาล่อเย็นน้อยกว่าช่วงเวลาการหลอมผสมและป้อนพลาสติก ทำให้ไม่เกิดช่วงเวลาที่เครื่องฉีดพลาสติกไม่ได้ใช้ความดัน เครื่องฉีดจะทำงานอย่างต่อเนื่อง ทำให้ไม่เกิดช่วงเวลาสูญเปล่า แต่มีการใช้พลังงานขึ้น

สำหรับเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hybrid ในการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีด้วยแม่พิมพ์ประเภทรอบเวลาการผลิตยาว มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าแม่พิมพ์ประเภทรอบเวลาการผลิตสั้นเล็กน้อย ซึ่งจะต่างจากเครื่องฉีดประเภท Hydraulic และประเภท Hydraulic with VSD ในการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีด้วยแม่พิมพ์ประเภทรอบเวลาการผลิตยาว มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าแม่พิมพ์ประเภทรอบเวลาการผลิตสั้นค่อนข้างมาก เนื่องจากระบบ Hybrid นั้นมอเตอร์และปั๊มจะหยุดทำงานในช่วงที่ไม่ได้ใช้ความดัน และจะทำงานเฉพาะช่วงที่ใช้ความดัน

จากผลการทดสอบสมมติฐานที่ 3 พบว่า ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดพลาสติกตราสินค้า C มีประสิทธิภาพแตกต่างกับเครื่องฉีดพลาสติกตราสินค้า B ทั้งที่เป็นเครื่องฉีดประเภทเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากโครงสร้างภายในและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องอาจแตกต่างกันตามการออกแบบของแต่ละผู้ผลิต แต่หลักการทำงานยังคงเหมือนกันนั่นเอง เช่น ผู้ผลิตเลือกใช้ปั๊ม หรือมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพต่างกัน ในรายชื่อเลือกอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพต่ำก็ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในระดับที่สูงกว่า เพื่อที่จะสร้างแรงดันน้ำมันที่ระดับเท่ากัน เพื่อให้เครื่องฉีดทำงานได้ สอดคล้องกับบทความของ Macdonal (2002) ที่กล่าวถึงเครื่องฉีดประเภท Hybrid ตราสินค้า Arburg และตราสินค้า Husky มีการออกแบบชุดขับเคลื่อนสกรูแตกต่างกัน ทำให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานแตกต่างกัน และความเร็วในการฉีดที่ต่างกันอีกด้วย

จากผลการทดสอบสมมติฐานที่ 4 พบการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน ซึ่งจะแตกต่างกับงานวิจัยของ พัทธมาศ นุ่มดี และคณะ (2554) ได้ศึกษาเรื่อง ประสิทธิภาพและตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม



โดยสร้างสมการเชิงเส้นแบบง่าย แสดงความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม และแต่ละช่วงเวลา โดยพิจารณาเป็นเดือน กำหนดค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ซึ่งแต่ละช่วงจะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณการผลิตที่ต่างกัน แต่ยังมีการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบสนับสนุนกลาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระดับของเครื่องจักร และเมื่อพิจารณาการผลิตข้อต่อพีวีซีด้วยกระบวนการฉีดพลาสติก โดยปกติเครื่องฉีดจะทำงานอัตโนมัติหลังจากที่พนักงานเริ่มเดินเครื่องจักรเรียบร้อยแล้ว โดยที่พนักงานไม่ต้องคอยปรับแต่งอยู่ตลอดเวลา ระดับพลังงานที่ใช้และปริมาณการผลิตจึงค่อนข้างคงที่นั่นเอง

### ข้อเสนอแนะ

1. การนำผลการวิจัยไปใช้ในการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตข้อต่อพีวีซีให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด จากสมมติฐานที่ 1 ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตข้อต่อพีวีซีของเครื่องฉีดพลาสติกแต่ละประเภท พบว่าเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hybrid มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมา เป็นเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic with VSD ส่วนเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำที่สุดในทุกกรณีที่โรงงานแห่งนี้มีการผลิตอยู่ ดังนั้นในการออกแบบและปรับปรุงเพื่อให้กระบวนการผลิตข้อต่อพีวีซีให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น จึงควรพิจารณาปรับปรุงเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic ก่อน เนื่องจากเครื่องฉีดพลาสติกประเภทนี้เป็นเครื่องฉีดที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด

หากพิจารณาด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว โรงงานแห่งนี้ควรจะปรับปรุงชุดต้นกำลังของเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบเดียวกันกับเครื่องฉีดประเภท Hybrid ทั้งนี้ควรพิจารณาด้านต้นทุนในการปรับปรุงดังกล่าวควบคู่กันไปด้วย โดยใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่จะประหยัดได้หลังจากการปรับปรุง แล้วนำมาใช้คำนวณหาระยะเวลาคืนทุนและมูลค่าปัจจุบันรวม (NPV) ของการปรับปรุงเครื่องฉีดประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบเดียวกับเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hybrid เปรียบเทียบกับการปรับปรุงเครื่องฉีดประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบเดียวกับเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic with VSD

การปรับปรุงเครื่องฉีดประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบเดียวกับเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hybrid และการปรับปรุงเครื่องฉีดประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบเดียวกับเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic with VSD ปัจจุบันมีบริษัทที่รับปรับปรุงทั้ง 2 รูปแบบนี้หลายราย ซึ่งต้นทุนในการปรับปรุงเครื่องฉีดประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบเดียวกับเครื่องฉีดพลาสติก

ประเภท Hybrid สูงกว่าการปรับปรุงให้เป็นระบบเดียวกับเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic with VSD อยู่ประมาณ 3-4 เท่า เนื่องจากการปรับปรุงเครื่องฉีดประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบเดียวกับเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hybrid จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ต้นกำลังสำคัญ ได้แก่ ปัมป์ และมอเตอร์ให้เป็นระบบ Servo อีกทั้งยังต้องแก้ไขระบบควบคุมการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกอีกด้วย ส่วนการปรับปรุงเครื่องฉีดประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบเดียวกับเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic with VSD นั้น เพียงติดตั้ง Inverter สำหรับเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เท่านั้น ในการเปรียบเทียบความคุ้มค่าของการลงทุนปรับปรุงทั้ง 2 รูปแบบ ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ข สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนและมูลค่าปัจจุบันรวม (NPV) ของการปรับปรุงเครื่องฉีดประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบ Hybrid และ VSD

ขนาดของ เครื่องฉีดพลาสติก	การปรับปรุงเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic ให้เป็น			
	ระบบ Hybrid		ระบบ VSD	
	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	NPV (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	NPV (บาท)
200 ตัน	1.22	437,031	0.33	635,190
300 ตัน	1.62	434,463	1.33	202,930
500 ตัน	1.25	997,837	1.48	201,575

จากตารางที่ 5-2 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนและมูลค่าปัจจุบันรวม (NPV) ของการปรับปรุงเครื่องฉีดประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบ Hybrid และการปรับปรุงเครื่องฉีดประเภท Hydraulic ให้เป็นระบบ VSD พบว่า ในเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 200 ตัน ควรเลือกการปรับปรุงด้วยระบบ VSD ส่วนเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 300 ตันและ 500 ตัน ควรเลือกการปรับปรุงด้วยระบบ Hybrid จึงจะคุ้มค่ากว่า

นอกจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตข้อต่อพีวีซีในส่วน of เครื่องฉีดพลาสติกแล้ว จากสมมติฐานที่ 2 พบว่า การผลิตข้อต่อพีวีซีด้วยแม่พิมพ์ประเภทรอบเวลาการผลิตยาว มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าแม่พิมพ์ประเภทรอบเวลาการผลิตสั้น ดังนั้นจึงควรปรับปรุงกระบวนการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีกลุ่มที่แม่พิมพ์ประเภทรอบเวลาการผลิตยาว โดยลดช่วงเวลาหล่อเย็นให้เหลือน้อยลง เพื่อลดช่วงเวลาที่สูญเปล่าในการผลิตอันเป็นสาเหตุให้สูญเสียพลังงาน โดยเปล่าประโยชน์ ผู้วิจัยได้เสนอทางเลือกในการปรับปรุง โดยการใช้อุปกรณ์สร้างน้ำความเย็น

อุณหภูมิต่ำสำหรับเครื่องฉีดพลาสติก (Mini chiller) เพื่อให้ให้น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่า น้ำหล่อเย็นของระบบน้ำหล่อเย็นกลาง ทั้งนี้ต้องพิจารณาความคุ้มค่าของการลงทุนในการปรับปรุงดังกล่าวด้วย

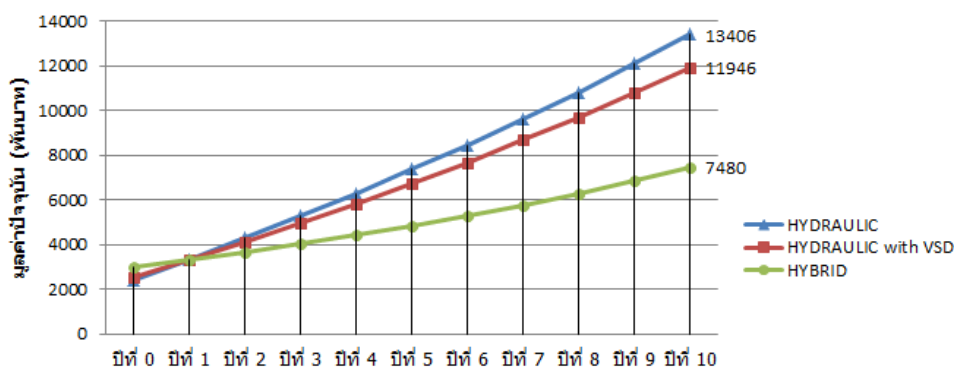
2. การนำผลการวิจัยไปใช้ในการวางแผนการผลิตข้อต่อพีวีซีให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด จากสมมติฐานที่ 4 พบว่า การผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่แตกต่างกัน และเนื่องจากโรงงานแห่งนี้ใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าเอกชนในนิคมอุตสาหกรรมที่โรงงานแห่งนี้ตั้งอยู่นั่นเอง ซึ่งอัตราค่าไฟฟ้านั้น ไม่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่ต่างกัน ดังนั้นจึงไม่ต้องนำช่วงเวลการผลิตมาพิจารณาในการวางแผนการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีของโรงงานแห่งนี้ พนักงานวางแผนการผลิตสามารถใช้ข้อมูลค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยในการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีของเครื่องฉีดแต่ละประเภท จากการทดลองและการทดสอบสมมติฐานที่ 1 และ 2 ในตารางที่ 5-1 มาใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนการผลิต

กรณีการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีบนเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 200 ตัน ควรเลือกจัดแผนการผลิตลงที่เครื่องประเภท Hybrid ก่อน หากเครื่องประเภท Hybrid เต็ม จึงจะวางแผนการผลิตลงที่เครื่องประเภท Hydraulic with VSD และเครื่องประเภท Hydraulic ตามลำดับ จึงจะทำให้การผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีบนเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 200 ตัน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

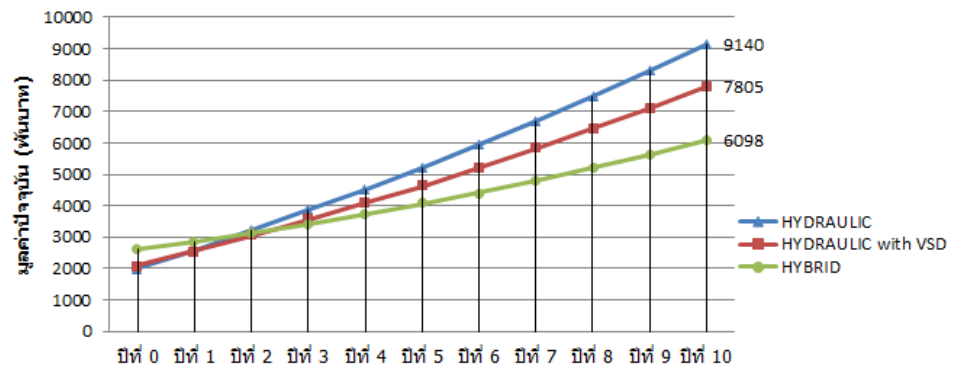
กรณีการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีบนเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 300 ตัน จะเห็นว่า การผลิตสินค้าที่ผลิตด้วยแม่พิมพ์ที่มีรอบเวลาการผลิตยาวหรือสั้นบนเครื่องฉีดประเภท Hybrid จะมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าเครื่องฉีดประเภทอื่น ๆ และมีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่างกันเล็กน้อย ดังนั้นจึงควรจัดสินค้าที่ผลิตด้วยแม่พิมพ์ที่มีรอบเวลาการผลิตยาวก่อน โดยจัดลงเครื่องฉีดประเภท Hybrid ให้เต็มก่อน จากนั้นจึงจะจัดลงที่เครื่องประเภท Hydraulic with VSD และเครื่องประเภท Hydraulic ตามลำดับ เมื่อวางแผนการผลิตสินค้าที่ผลิตด้วยแม่พิมพ์ที่มีรอบเวลาการผลิตยาวครบแล้ว จึงจะวางแผนการผลิตสินค้าที่ผลิตด้วยแม่พิมพ์ที่มีรอบเวลาการผลิตสั้น โดยจัดลงเครื่องฉีดประเภท Hybrid ให้เต็มก่อน จากนั้นจึงจะจัดลงที่เครื่องประเภท Hydraulic with VSD และเครื่องประเภท Hydraulic ตามลำดับ

กรณีการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีบนเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 500 ตัน มีรูปแบบของประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าเช่นเดียวกับการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีบนเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 300 ตัน ในการวางแผนการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีบนเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 500 ตัน ก็จะใช้วิธีการเดียวกับเครื่องฉีดขนาด 300 ตัน ดังที่กล่าวข้างต้น

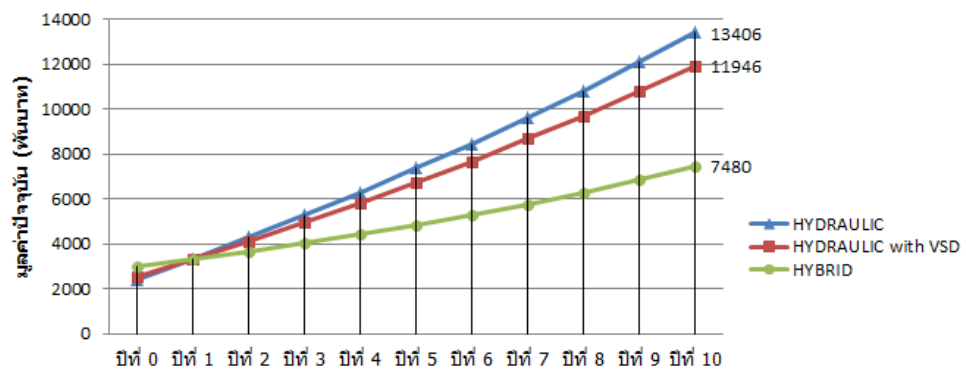
3. การนำผลการวิจัยไปใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจลงทุนเครื่องจักรใหม่ ในการขยายกำลังการผลิตข้อต่อพีวีซีของโรงงานแห่งนี้ จากสมมติฐานที่ 1 พบว่า ประเภทของเครื่องฉีดพลาสติกที่ต่างกัน มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกัน โดยที่เครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hybrid มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมา เป็นเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic with VSD ส่วนเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำที่สุด ดังนั้นสามารถใช้ข้อมูลค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ยในการการผลิตสินค้าข้อต่อพีวีซีของเครื่องฉีดแต่ละประเภทจากการทดลองจากตารางที่ 5-1 มาใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้าในการผลิตต่อปี เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณต้นทุนของเครื่องจักรตลอดอายุการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกแต่ละประเภท (ภาคผนวก ข) ซึ่งโรงงานแห่งนี้กำหนดไว้ที่ 10 ปี เพื่อทราบถึงประเภทของเครื่องฉีดพลาสติกที่เหมาะสมที่จะลงทุน ซึ่งสามารถแสดงกราฟการเปรียบเทียบต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic, Hydraulic with VSD และ Hybrid ของเครื่องฉีดขนาด 200 ตัน 300 ตัน และ 500 ตัน ดังภาพที่ 5-1, 5-2 และ 5-3 ตามลำดับ



ภาพที่ 5-1 กราฟการเปรียบเทียบต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 200 ตัน



ภาพที่ 5-2 กราฟการเปรียบเทียบต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 300 ตัน



ภาพที่ 5-3 กราฟการเปรียบเทียบต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 500 ตัน

จากภาพที่ 5-1 พบว่า เครื่องฉีดพลาสติกขนาด 200 ตันนั้น เครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic with VSD มีต้นทุนตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด ดังนั้นในการลงทุนเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 200 ตันใหม่ ควรเลือกเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hydraulic with VSD ส่วนเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 300 ตัน และ 500 ตัน เครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hybrid มีต้นทุนตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดทั้งสองขนาด ดังภาพที่ 5-2 และ 5-3 ตามลำดับ ดังนั้นการตัดสินใจเลือกลงทุนเครื่องฉีดพลาสติกใหม่ทั้งสองขนาดนี้ ควรพิจารณาเลือกเครื่องฉีดประเภท Hybrid

ถ้าหากการคำนวณต้นทุนของเครื่องจักรตลอดอายุการใช้งาน ผลออกมา คือ ตัดสินใจลงทุนเครื่องฉีดพลาสติกประเภท Hybrid จากสมมติฐานที่ 3 พบว่า ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องฉีดพลาสติกตราสินค้า C มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องฉีดพลาสติกตราสินค้า B แต่ถึงอย่างไรก็ควรพิจารณาด้านต้นทุนของเครื่องจักรตลอดอายุการใช้งานของทั้ง 2 ตราสินค้า ในการตัดสินใจลงทุน เนื่องจากทั้งสองตราสินค้าเครื่องจักรมีราคาที่แตกต่างกัน

## ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรวิจัยเพิ่มเติมโดยนำข้อมูลประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าไปวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อระยะเวลาดำเนินทุน และเสนอเป็นทางเลือกในการปรับปรุงเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าดีขึ้น
2. ควรวิจัยเพิ่มเติมจากข้อมูลประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าไปวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อต้นทุนตลอดการใช้งาน และเสนอเป็นทางเลือกในการลงทุนเครื่องจักรใหม่ให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดและคุ้มค่าที่สุด
3. ควรวิจัยในเชิงลึกเพิ่มเติมถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตสินค้าต่อพีวีซีของเครื่องจักรประเภท Hybrid ในการออกแบบของแต่ละตราสินค้าแตกต่างกันอย่างไร และส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างไร เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบ และกำหนดเป็นข้อกำหนดงานในการสั่งซื้อเครื่องจักร
4. ควรวิจัยเพิ่มเติมถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตสินค้าต่อพีวีซี เช่น อายุการใช้งานของเครื่องจักรที่แตกต่างกัน หรือประเภทของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน เป็นต้น
5. ควรวิจัยเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบสนับสนุนกลางที่ใช้ร่วมกัน ได้แก่ ระบบผสมวัตถุดิบ ระบบน้ำหล่อเย็น และอุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัตถุดิบ เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้ารวมของกระบวนการผลิตต่อพีวีซี
6. ควรทำวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวางแผนการผลิตต่อพีวีซี โดยนำข้อมูลประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า ไปใช้ในการวางแผนการผลิตในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อหารูปแบบของการวางแผนการผลิตต่อพีวีซีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สุด