

การประมาณค่าการใช้พลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิต ของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย ประจำปี พ.ศ. 2548 - 2553

The Estimation of Energy Consumption and Specific Energy Consumption of Steel Industry of Thailand for the years 2005 - 2010

คมสัน ตันติชูเกียรติ^{1*}, จิตติน แดงเที่ยง¹ และ อนันต์ จิตรานุเคราะห์²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

² สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ซอยตรีมิตร ถนนพระราม 4 แขวงพระโขนง เขตคลองเตย กรุงเทพฯ 10110

*ติดต่อ: mi_kom@hotmail.com, 089 132 1738

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมเหล็กนับเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานมากเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศ การใช้พลังงานที่มากยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นการใช้ที่มีประสิทธิภาพมากนักยิ่งใด การใช้ดัชนีมาบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งดัชนีที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิต (Specific Energy Consumption; SEC) เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในแต่ละชนิดของกระบวนการผลิตด้วยข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม ซึ่งเป็นข้อมูลของปีพ.ศ.2548-2553 ผลการประมาณจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่า SEC เฉลี่ยของปีพ.ศ.2542-2547 เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของค่า SEC ในภาพรวมของอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ถึงลักษณะของการใช้พลังงานในกลุ่มที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างมากนั้นคือ กระบวนการผลิตที่ 1 3 5 และ 7 และนำมาเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตที่ 2 4 6 และ 8 จะแสดงอยู่ในบทความนี้ด้วย ค่า SEC ที่ได้มีแนวโน้มที่ลดลงเกือบทุกกระบวนการผลิตสาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากปริมาณการผลิตที่ลดลง ตลอดจนการพัฒนาศักยภาพการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตเอง

คำหลัก: ค่าการใช้พลังงาน ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิต อุตสาหกรรมเหล็ก

Abstract

Steel industry has long been one of the most energy-consumed businesses despite the fact that the effectiveness of the energy consumption is still debatable. Therefore, the use of index to indicate the efficacy is necessarily critical. Specific Energy Consumption (SEC) calculated from energy consumption data and products of each process during 2005 -2010 is taken into account by reliable and solid queries. The index is then compared with that of the 1999 – 2004 in order to picture the trend and nature of energy consumption of the entire industry. The analysis of energy consumption apprehended through Process 1, 3, 5 and 7 comparing with those of 2, 4, 6 and 8 is also included in the study. The SEC tends to relatively reduce due to the downscaling production and technology development of each kind.

Keywords: Energy Consumption, Specific Energy Consumption, Steel Industry

1. บทนำ

โลกในปัจจุบันกำลังประสบปัญหาวิกฤติด้านพลังงาน พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไป แต่ความต้องการใช้พลังงานเพื่อตอบสนองต่อการเติบโตของภาคอุตสาหกรรมกลับมีมากมายไม่สิ้นสุด การใช้

พลังงานที่มีอย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดจึงเป็นสิ่งสำคัญ

อุตสาหกรรมเหล็กเป็นอุตสาหกรรมที่มีค่าการใช้พลังงาน (Energy Consumption) มากเป็นอันดับต้นๆ ของค่าการใช้พลังงานรวมทั้งประเทศ ข้อมูลดังกล่าวยังไม่

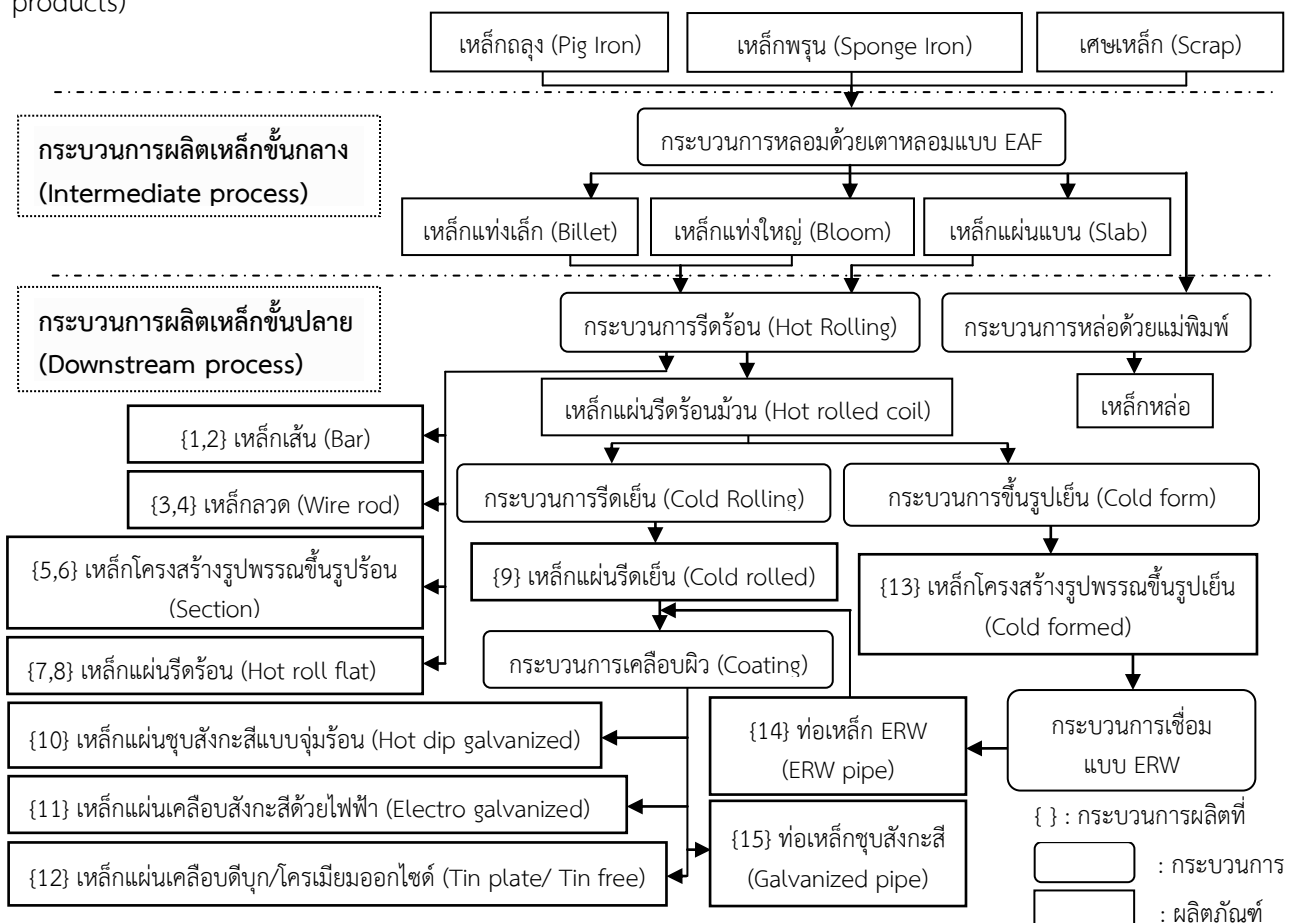
เพียงพอที่จะบอกได้ว่าการใช้พลังงานรวมที่มีค่ามากนี้ เป็นการใช้ที่มีประสิทธิผลมากหรือน้อยเพียงใด ดังนั้น การหาดัชนีมาชี้วัดถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน (Energy Efficiency) จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยดัชนีที่เลือกใช้ ในงานวิจัยนี้ คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิต (SEC)

สำหรับอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย สามารถ แบ่งประเภทตามโครงสร้างของกระบวนการผลิต ได้ 3 ประเภท คือ อุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้น ปลาย หากแบ่งโดยใช้ชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ภายในประเทศไทยเป็นเกณฑ์ จะแบ่งเป็น 7 ชนิด นอกจากนี้ หากแบ่งกลุ่มโดยอาศัยชนิดของผลิตภัณฑ์ ร่วมกับกระบวนการผลิตหรือที่มาของผลิตภัณฑ์นั้นจะ แบ่งออกเป็น 15 กระบวนการผลิต ดังตารางที่ 1.1 [1]

โครงสร้างของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยจะ เริ่มจากกระบวนการผลิตเหล็กขั้นกลาง ส่งต่อไปยัง กระบวนการผลิตเหล็กขั้นปลายและไปจนถึงอุตสาหกรรม การผลิตต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ ก่อสร้าง บรรจุกัมพู เป็นต้น โดยโครงสร้างและที่มาของผลิตภัณฑ์ เหล็กแต่ละชนิดดังแสดงในรูปที่ 1.1 ทั้งเหล็กแท่งเล็ก เหล็กแท่งใหญ่ และเหล็กแผ่นแบน ในบางครั้งจะถูก เรียกว่า ผลิตภัณฑ์เหล็กกึ่งสำเร็จรูป (Semi-finishing products)

ตารางที่ 1.1 แสดงประเภทของอุตสาหกรรมเหล็กที่ใช้ ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเป็นเกณฑ์ รวมถึงค่า $SEC_{G \text{ avg}}$ ของแต่ละชนิดประจำปี พ.ศ.2542-2547

ผลิตภัณฑ์ที่	กระบวนการผลิต		$SEC_{G \text{ average}}$ 2542-2547
	ที่	ชนิด	
1.เหล็กเส้น	1	มีเตาหลอม	5,095
	2	ไม่มีเตาหลอม	2,075
2.เหล็กหลอด	3	มีเตาหลอม	6,442
	4	ไม่มีเตาหลอม	3,212
3.เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปร้อน	5	มีเตาหลอม	6,051
	6	ไม่มีเตาหลอม	2,886
4.เหล็กแผ่นรีดร้อน	7	มีเตาหลอม	4,710
	8	ไม่มีเตาหลอม	2,246
5.เหล็กแผ่นรีดเย็น	9	-	1,787
6.เหล็กแผ่นเคลือบผิว	10	เคลือบแบบจุ่มร้อน	1,493
	11	เคลือบด้วยวิธีทางไฟฟ้า	1,300
	12	เคลือบติ๊กและโครเมียม	876
7.เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็นและท่อเหล็ก	13	เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น	21
	14	ท่อเหล็ก ERW	235
	15	ท่อเหล็กชุบสังกะสี	1,670



การนำดัชนีมาชี้วัดถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน มีผู้เคยศึกษามาแล้วในอดีตทั้งในและต่างประเทศ โดยภายในประเทศ เบญจมาศ และมิ่งศักดิ์ [1] ร่วมกับสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ได้ศึกษาค่าการใช้พลังงานและค่า SEC ของทั้ง 15 กระบวนการผลิต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2547 ผลการศึกษาบางส่วนดังแสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อประมาณค่าการใช้พลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กทั้ง 15 กระบวนการผลิต ในลักษณะเช่นเดียวกับอดีต แต่เป็นการประมาณค่าข้อมูลของปี พ.ศ. 2548-2553 นอกจากนี้ การประมาณค่าและการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตของกระบวนการที่ 1-8 ได้แสดงเพิ่มเติมในบทความนี้ด้วย

2. ทฤษฎี

2.1 ค่าการใช้พลังงาน (Energy Consumption)

ในกระบวนการผลิตเหล็กขั้นตอนหนึ่งหรือชนิดหนึ่ง พลังงานที่ใช้มาจากหลายที่มาและมีหลากหลายรูปแบบ เช่น พลังงานจากไฟฟ้า อาจมาจากการซื้อหรือมาจากการผลิตเอง พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงทั้งเชื้อเพลิงปิโตรเลียมหรือไม่ใช่ปิโตรเลียม เป็นต้น [6]

เมื่อพลังงานที่ใช้มีหลายชนิดและหลายรูปแบบ หน่วยของพลังงานก็ย่อมเหมือนกันหรือต่างกันก็ได้ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบและรวมการใช้พลังงานแต่ละชนิดได้ จึงต้องแปลงหน่วยของพลังงานแต่ละชนิดให้มีหน่วยที่เหมือนกันก่อน ที่นิยมใช้คือ หน่วย เมกกะจูล (MJ) หรือ จิกกะจูล (GJ)

การแปลงหน่วยของปริมาณไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้ให้อยู่ในหน่วยของพลังงานไฟฟ้า (E_E) และพลังงานความร้อน (E_H) จะแปลงโดยคูณด้วยค่าแฟกเตอร์การแปลง (Conversion factor) [2]

เมื่อพลังงานทุกชนิดมีหน่วยเหมือนกันแล้ว ก็สามารถหาค่าการใช้พลังงานรวม (E_{tol}) ได้โดยเป็นผลบวกของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ($\sum E_E$) และพลังงานความร้อนทั้งหมด ($\sum E_H$) ดังสมการที่ 1

$$E_{tol} = \sum E_E + \sum E_H \quad (1)$$

2.2 ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิต (Specific Energy Consumption)

ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตเป็นค่าดัชนีที่ชี้วัดถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานรูปแบบหนึ่ง โดยหาได้จากอัตราส่วนของค่าการใช้พลังงานรวมต่อปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้ ดังแสดงในสมการที่ 2 [3]

$$SEC = \frac{E_{tol}}{\sum p} \quad (2)$$

2.3 ค่าการใช้พลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตเฉลี่ย

เนื่องจากข้อมูลในงานวิจัยนี้มาจากการสำรวจด้วยแบบสอบถามถึงจากทั้ง 15 กระบวนการผลิต ประจำปี พ.ศ. 2548-2553 ข้อมูลที่ได้กลับมาอาจไม่ครบถ้วนหรือมีความสมบูรณ์ไม่เพียงพอ เพื่อแก้ปัญหานี้ การหาค่าการใช้พลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กแต่ละกระบวนการผลิตจะอาศัยการเฉลี่ย และเป็นการเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก ดังสมการที่ 3-6 เพื่อให้ค่าการใช้พลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตที่ได้มีความถูกต้องและมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

$$E_{tol, G avg} = \frac{\sum_{i=2548}^{2553} (E_i \times product_i)}{\sum_{i=2548}^{2553} (product_i)} \quad (3)$$

$$E_{tol, Y avg} = \frac{\sum_{j=1}^{15} (E_j \times product_j)}{\sum_{j=1}^{15} (product_j)} \quad (4)$$

$$SEC_{G avg} = \frac{\sum_{i=2548}^{2553} (SEC_i \times product_i)}{\sum_{i=2548}^{2553} (product_i)} \quad (5)$$

$$SEC_{Y avg} = \frac{\sum_{j=1}^{15} (SEC_j \times product_j)}{\sum_{j=1}^{15} (product_j)} \quad (6)$$

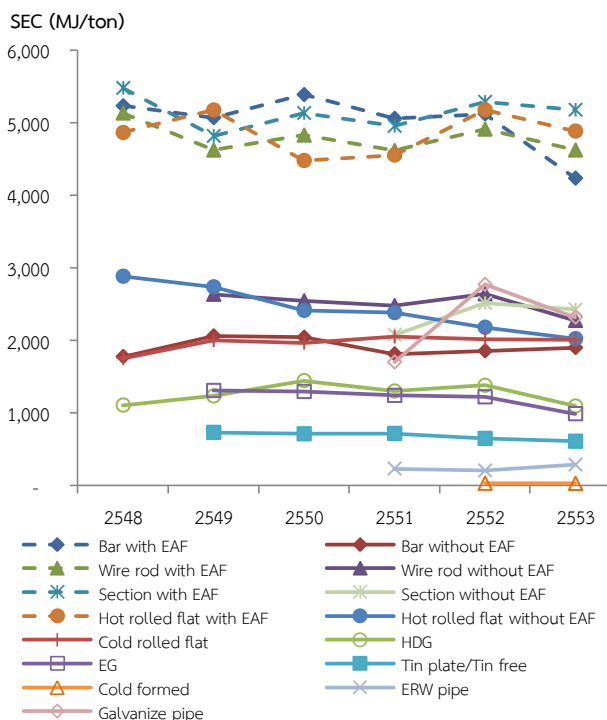
3. ผลการคำนวณและการวิเคราะห์

ผลการคำนวณและการวิเคราะห์ในบทความนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก โดยส่วนแรกจะกล่าวถึงผลแบบภาพรวมของทั้ง 15 กระบวนการผลิต และในส่วนที่สองจะกล่าวถึงผลการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตที่ 1-8

3.1 ค่าการใช้พลังงานและดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตทั้ง 15 กระบวนการผลิต

ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากแบบสอบถามถูกนำมาคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิต (SEC) โดยข้อมูลที่ได้มีความครบถ้วนบ้างหรือขาดหายไปบ้างในบางปีของบางกระบวนการผลิต ซึ่งผลการคำนวณดังในกราฟรูปที่ 3.1

จากกราฟจะเห็นว่า SEC ของแต่ละกระบวนการผลิตถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงอย่างชัดเจน คือ ช่วง SEC ที่มีค่ามากกว่า 4,500 MJ/ton ได้แก่ กระบวนการผลิตที่ 1 เหล็กเส้น (Bar) กระบวนการผลิตที่ 3 เหล็กลวด (Wire rod) กระบวนการผลิตที่ 5 เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปร้อน (Section) และกระบวนการผลิตที่ 7 เหล็กแผ่นรีดร้อน (Hot rolled flat) โดยทั้ง 4 กระบวนการเป็นกระบวนการผลิตที่มีเตาหลอม EAF และเริ่มผลิตจากการหลอมวัตถุดิบได้เป็นน้ำเหล็กและหล่อออกมาเป็นผลิตภัณฑ์เหล็กสำเร็จรูป และช่วงที่มีค่าต่ำกว่า 3,000 MJ/ton ซึ่งก็คือกระบวนการผลิตที่เหลือนั่นเอง

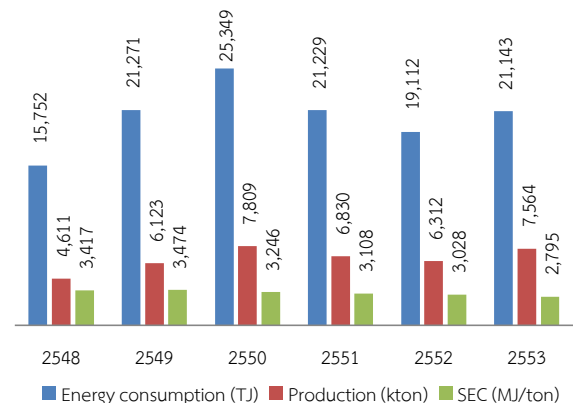


รูปที่ 3.1 ดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตของผลิตภัณฑ์เหล็กชนิดต่างๆ ตั้งแต่ปีพ.ศ.2548-2553

ภาพรวมของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็กมีค่าใกล้เคียงกันจะเพิ่มมากขึ้นหรือลดน้อยลงสลับกันไป ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ส่วนค่าในปีแรกจะเห็นว่ามีค่าน้อยกว่าปีอื่นๆ ค่อนข้างมาก สาเหตุส่วนหนึ่งมาจากข้อมูลที่ได้กลับมาจากแบบสอบถาม บางโรงงานไม่ได้ให้ข้อมูลของปีพ.ศ. 2548 มากก็ไม่ทราบด้วยเหตุผลประการใด ส่วนค่าในช่วงปีหลังจะค่อนข้างใกล้เคียงกัน เพราะข้อมูลค่อนข้างครบถ้วน โดยค่าการใช้พลังงานมีค่าอยู่ที่ประมาณ 21,000 TJ

สำหรับปริมาณผลิตภัณฑ์เหล็ก รวมของทุกกระบวนการผลิต ในแต่ละปีมีค่าค่อนข้างแตกต่างกัน โดยเพิ่มขึ้นหรือลดลงประมาณ 1 แสนตัน ยกเว้นปีแรกที่มีค่าต่างกับปีอื่นๆ มาก เหตุผลมาจากความไม่ครบถ้วนของข้อมูล เช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้ว

ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิต มีแนวโน้มที่ลดลงในเกือบทุกๆ ปี กล่าวคือลดลงจากปีพ.ศ.2549 ที่มีค่า 3,474 MJ/ton ไปอยู่ที่ 2,795 MJ/ton ในปีพ.ศ.2553 โดยค่า SEC จะไม่ค่อยได้รับผลของข้อมูลที่ไม่ครบถ้วน

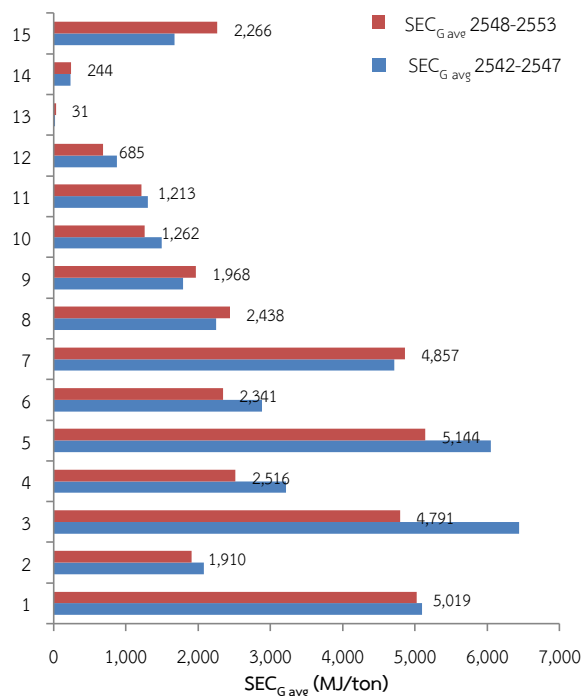


รูปที่ 3.2 ค่าการใช้พลังงานรวม ปริมาณผลิตภัณฑ์เหล็ก รวม และ SEC ตั้งแต่ปีพ.ศ.2548-2553

ในการพิจารณา SEC เฉลี่ยแบบรายกลุ่ม ทำได้โดยใช้สมการที่ 5 เพื่อเฉลี่ยค่า SEC ของกระบวนการผลิตนั้นในทุกปีแบบถ่วงน้ำหนัก จากนั้นเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่า $SEC_{G \text{ avg}}$ ประจำปีพ.ศ.2542-2547 ผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 3.3 ซึ่งพบว่า ค่า $SEC_{G \text{ avg}}$ ของปีพ.ศ.2548-2553 มีค่าน้อยกว่าในแทบทุกกระบวนการผลิต ยกเว้นกระบวนการผลิตที่ 7 8 9 13 14 และ 15 ที่มีค่ามากกว่า เมื่อเฉลี่ยค่า SEC ของทั้ง 15 กระบวนการผลิตในแต่ละปีด้วยสมการที่ 6 จะได้ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตเฉลี่ยแบบรายปี ($SEC_{Y \text{ avg}}$) นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่า $SEC_{Y \text{ avg}}$ ของปีพ.ศ.2542-2547 [4] ได้ผลดังรูปที่ 3.4 พบว่า ภาพรวมของค่า $SEC_{Y \text{ avg}}$ ตั้งแต่

ปีพ.ศ.2542 มีการเพิ่มขึ้นถึงแม้ค่าในบางปีได้มีค่าลดลงมาก็ตาม แต่โดยเฉลี่ยแล้วก็มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นไปจนถึงปีพ.ศ.2549 แต่หลังจากนั้น ค่า $SEC_{Y\ avg}$ กลับลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกๆปีซึ่งเป็นสัญญาณที่ดีของอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย

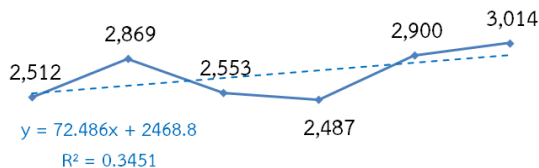
กระบวนการผลิตที่



รูปที่ 3.3 เปรียบเทียบค่า $SEC_{G\ avg}$ ของปีพ.ศ.2548-2553 กับปีพ.ศ.2542-2547

3.2 ค่าการใช้พลังงานและดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตของกระบวนการผลิตที่ 1-8

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในกระบวนการผลิตที่ 1 3 5 และ 7 จะเริ่มผลิตจากการหลอมวัตถุดิบ ได้แก่ เศษเหล็ก เหล็กพูน หรือ เหล็กถลุง [5,6] จนกลายเป็นน้ำเหล็ก การหล่อ การอบร้อน ไปจนถึงการรีดลดขนาดดังรูปที่ 1.1 โดยในบทความนี้จะนำเสนอผลการศึกษาค่าการใช้พลังงาน และค่า SEC ของทั้ง 4 กระบวนการผลิต โดย

 $SEC_{Y\ avg}$ (MJ/ton)

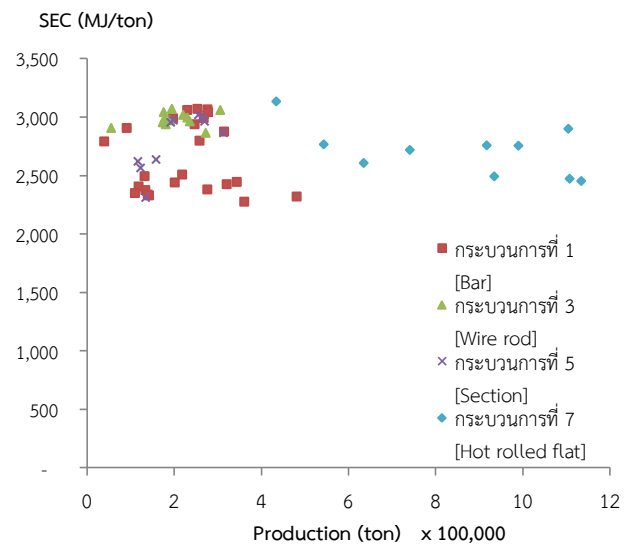
รูปที่ 3.4 แสดงแนวโน้มและการเปรียบเทียบค่า $SEC_{Y\ avg}$ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2542-2553

แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนของการหลอมด้วยเตา EAF (Electric Arc Furnace) ส่วนของการอบร้อน (Reheating) และส่วนของการรีดร้อน (Hot rolling) และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับกระบวนการที่ 2 4 6 และ 8 ซึ่งจะมีเฉพาะ 2 ส่วนหลัง

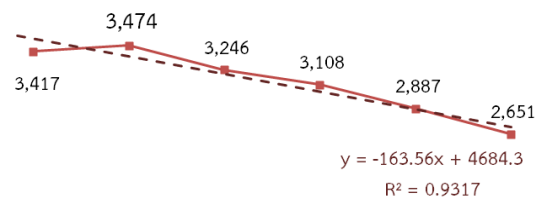
3.2.1 การหลอมด้วยเตา EAF

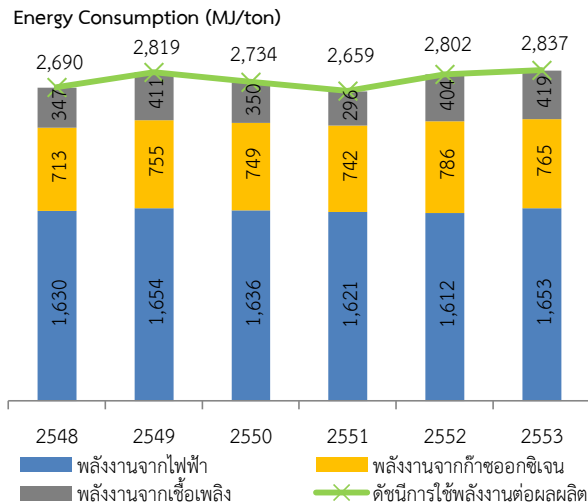
เตาหลอม EAF จะมีเฉพาะกระบวนการผลิตที่ 1 3 5 และ 7 ซึ่งพลังงานที่ใช้ในส่วนนี้จะคิดจาก 2 ส่วน คือ ส่วนของเตา EAF และ เตา LF เท่านั้น โดยไม่นับรวมการใช้พลังงานในกระบวนการหล่อ เมื่อนำค่า SEC มาเขียนกราฟเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์เหล็กก็สำเร็จรูปของแต่ละกระบวนการผลิต จะได้กราฟดังรูปที่ 3.5

จากกราฟพบว่า ค่า SEC ของทั้ง 4 กระบวนการมีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่าปริมาณการผลิตจะมากหรือน้อย โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2,250 – 3,100 MJ/ton

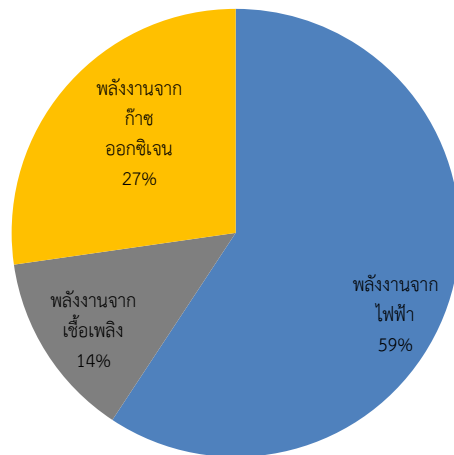


รูปที่ 3.5 แสดงค่า SEC เทียบกับปริมาณผลผลิตของกระบวนการหลอมด้วยเตา EAF





รูปที่ 3.6 ค่าการใช้พลังงานชนิดต่างๆ และค่า SEC ของกระบวนการหลอมและหล่อด้วยเตา EAF



รูปที่ 3.7 แสดงสัดส่วนของพลังงานชนิดต่างๆที่ใช้ในกระบวนการหลอมและหล่อด้วยเตา EAF

ในกระบวนการหลอมด้วยเตา EAF พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่คือ พลังงานจากไฟฟ้า เพื่อใช้อาร์ควัดดูดซับให้หลอมกลายเป็นน้ำเหล็ก ในบางโรงงานได้พัฒนาเทคโนโลยีโดยการพ่นเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล หรือ ก๊าซธรรมชาติ เพื่อให้วัตถุดิบหลอมได้ง่ายขึ้น และพ่นก๊าซออกซิเจนลงไปในเตาหลอม เพื่อให้ไปทำปฏิกิริยาเคมีกับธาตุต่างๆ ในเตาหลอมและปล่อยพลังงานออกมา [7] เพราะฉะนั้นแล้ว พลังงานที่ใช้ในกระบวนการหลอมด้วยเตา EAF จึงมีหลายรูปแบบ ได้แก่ พลังงานจากไฟฟ้า พลังงานจากเชื้อเพลิง และพลังงานจากการใช้ออกซิเจน

ปริมาณพลังงานชนิดต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการนี้ในแต่ละปี ดังรูปที่ 3.6 พบว่าปริมาณการใช้พลังงานจากไฟฟ้ามีมากที่สุดมีค่าประมาณ 1,600 MJ/ton รองลงมาคือ พลังงานจากก๊าซออกซิเจน ประมาณ 750 MJ/ton

และหากเฉลี่ยปริมาณการใช้พลังงานแต่ละชนิดในทุกๆ ปี และเทียบเป็นสัดส่วน พบว่า สัดส่วนการใช้พลังงานจากไฟฟ้ามีมากถึง 59% รองลงมาคือพลังงานจากการใช้ออกซิเจนคิดเป็น 27% ดังแสดงในรูปที่ 3.7

3.2.2 การอบร้อน (Reheating)

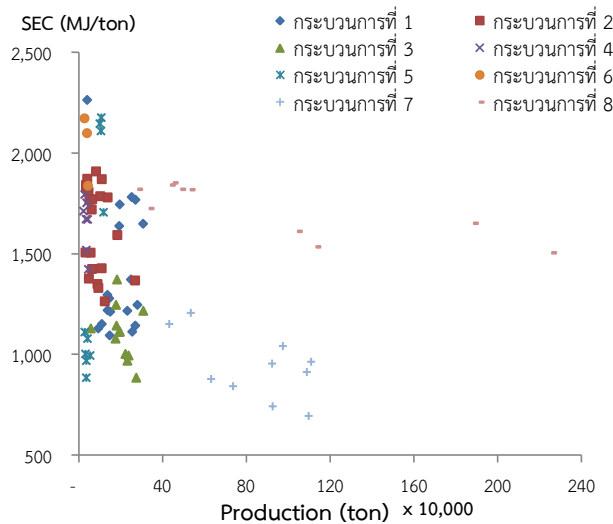
การอบร้อนเป็นส่วนที่มีความสำคัญส่วนหนึ่งและมีในทุกกระบวนการผลิต เพราะก่อนที่จะผลิตเหล็กสำเร็จรูปทุกชนิดที่ได้จากกระบวนการหลอมด้วยเตา EAF และกระบวนการหล่อถูกส่งต่อไปยังกระบวนการรีด เหล็ก เหล่านั้นจะถูกอบให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนประมาณ 1,100-1,250°C [8] เพื่อให้ง่ายต่อการรีด

พลังงานที่ใช้ในเตาอบร้อนเป็นพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น โดยเมื่อนำค่าการใช้พลังงานความร้อนต่อผลผลิตมาเขียนกราฟเทียบกับปริมาณการผลิต จะได้กราฟดังรูปที่ 3.8

จากกราฟจะเห็นถึงการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต บางกระบวนการใช้พลังงานสูง ขณะที่บางกระบวนการใช้พลังงานต่ำ ซึ่งกระบวนการที่ใช้พลังงานต่ำสุดคือ กระบวนการผลิตที่ 7 (เหล็กแผ่นรีดร้อน) ส่วนกระบวนการที่ใช้พลังงานสูงที่สุดคือ กระบวนการผลิตที่ 5 (เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปร้อนแบบมีเตาหลอม EAF) จุดข้อมูลทุกจุดในกราฟได้จากการคำนวณโดยข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม ซึ่งแสดงพลังงานความร้อนที่ใช้ของแต่ละโรงงานในแต่ละปี

เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุที่มีผลต่อค่าพลังงานที่ใช้ในเตาอบร้อน พบว่าสาเหตุหนึ่งมาจากอุณหภูมิของเหล็กก่อนเข้าเตาอบร้อน ดังนั้นสมมติฐานที่ได้ก็คือ อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เหล็กสำเร็จรูปมีผลต่อพลังงานที่ใช้ หากอุณหภูมิต่ำ ก็ต้องใช้พลังงานมากเพื่ออบผลิตภัณฑ์เหล็กสำเร็จรูปให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนด และหากกระบวนการผลิตมีความต่อเนื่อง กระบวนการผลิตที่มีเตาหลอม EAF ก็น่าจะเป็นกลุ่มที่ใช้พลังงานในเตาอบร้อนน้อยกว่ากระบวนการผลิตที่ 2 4 6 และ 8 ซึ่งไม่มีเตาหลอม EAF เพราะผลิตภัณฑ์เหล็กสำเร็จรูปที่ผลิตได้ใหม่ๆ จะยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่มาก หากส่งต่อเข้าเตาอบร้อนเลยก็จะใช้พลังงานอีกไม่มากเพื่ออบให้ได้อุณหภูมิตามที่กำหนด แต่หากกระบวนการผลิตไม่ได้ผลติดต่อกัน ผลิตภัณฑ์เหล็กสำเร็จรูปที่ผลิตได้จะถูกนำไปเก็บเพื่อรอความต้องการจากลูกค้า เมื่อมีคำสั่งแปรรูปเหล็กเหล่านั้นซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ประมาณ 30 – 35°C จะถูกนำมาอบให้ร้อนจนถึง 1,250°C

ช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันเกือบสองสเกลเซียส ส่งผลให้ใช้พลังงานในการอบร้อนมากขึ้น



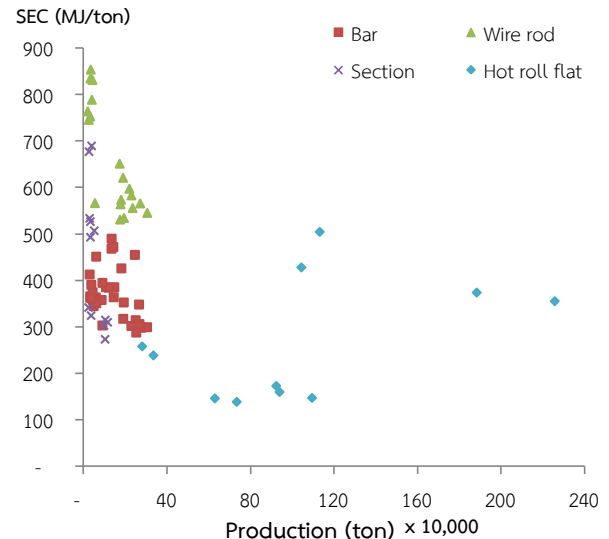
รูปที่ 3.8 แสดงค่า SEC ของกระบวนการผลิตที่ 1-8 เทียบกับปริมาณผลผลิตของกระบวนการอบร้อน

จากสมมติฐานที่กล่าวมา เมื่อพิจารณาข้อมูลของกระบวนการอบร้อนในทุกกระบวนการผลิตของทุกโรงงาน พบว่าสาเหตุหนึ่งที่กระบวนการผลิตที่ 7 มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดเทียบกับกระบวนการผลิตอื่นๆ ก็เพราะการผลิตมีความต่อเนื่อง ทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เหล็กถึงสำเร็จรูปก่อนเข้าเตาอบร้อนมีค่าสูง จากแบบสอบถามพบว่ามีความประมาณ 900-950°C ซึ่งอบร้อนเพิ่มอีกเพียงเล็กน้อย ก็ได้อุณหภูมิที่ต้องการ ส่งผลให้กระบวนการผลิตนี้ใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งวิธีการนี้ถูกเรียกว่า “hot charge” โดยต่างจากกระบวนการผลิตอื่นๆ ที่เหลือ เพราะ ผลิตภัณฑ์เหล็กถึงสำเร็จรูปเริ่มอบจากอุณหภูมิประมาณ 30°C ทำให้มีการใช้พลังงานค่อนข้างมาก ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า “cold charge”

3.2.3 การรีดร้อน (Hot rolling)

กระบวนการรีด พลังงานถูกใช้เพื่อเปลี่ยนรูปผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปให้มีรูปร่างหรือขนาดที่เปลี่ยนไปได้เป็น เหล็กเส้น เหล็กท่อน เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปร้อน เหล็กแผ่นรีดร้อน จากกราฟในรูปที่ 3.10 พบว่า ในปริมาณการผลิตที่เท่ากัน การรีดเหล็กท่อนจะใช้พลังงานต่อผลผลิตมากกว่าเหล็กเส้นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนการใช้พลังงานต่อผลผลิตในการรีดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณนั้นจะมีค่าแตกต่างกันตามรูปร่างและขนาดของผลิตภัณฑ์ ลักษณะกราฟที่ได้จึงมีการกระจายตัวของจุดข้อมูลค่อนข้างสูง และสำหรับการใช้พลังงานต่อผลผลิต

ของการรีดเหล็กแผ่นรีดร้อนมีค่าค่อนข้างต่ำและข้อมูลก็มีการกระจายค่อนข้างมากเช่นกัน



รูปที่ 3.10 แสดงค่า SEC เทียบกับปริมาณผลผลิตของกระบวนการรีดแบ่งตามชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้

4. สรุป

4.1 ค่าการใช้พลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตทั้ง 15 กระบวนการผลิต

ภาพรวมของค่าการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก ตั้งแต่ปีพ.ศ.2548-2553 มีค่าใกล้เคียงกัน จะสลับเพิ่มมากขึ้นบ้างหรือลดน้อยลงบ้าง ค่าในปีแรกจะน้อยกว่าปีอื่นๆ สาเหตุหนึ่งเพราะ ข้อมูลในปีแรก ค่อนข้างขาดหาย บางโรงงานไม่ได้ให้ข้อมูลมา ก็ไม่ทราบด้วยเหตุผลประการใด ส่วนค่าในปีหลังๆ ข้อมูลมีความครบถ้วนมาก ค่าที่ได้จึงค่อนข้างใกล้เคียงกัน

ปริมาณผลิตภัณฑ์เหล็กรวมมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง โดยมีค่าอยู่ระหว่างหกแสนถึงแปดแสนตัน ส่วนในปีแรกมีค่าน้อย ก็เพราะความไม่ครบถ้วนของข้อมูล

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่า SEC ของอดีตและปัจจุบัน

กระบวนการ ที่	SEC		กระบวนการ ที่	SEC	
	2542- 2547	2548- 2553		2542- 2547	2548- 2553
1	5,095	5,019	2	2,075	1,910
3	6,442	4,791	4	3,212	2,516
5	6,051	5,144	6	2,886	2,341
7	4,710	4,857	8	2,246	2,438
9	1,787	1,968	10	1,493	1,262
11	1,300	1,213	12	876	685
13	21	31	14	235	244
15	1,670	2,266			

ค่า SEC มีแนวโน้มลดลงเกือบทุกกระบวนการผลิต ดังตารางที่ 4.1 โดยเฉพาะกระบวนการผลิตที่ 3 ลดลงถึง 26% มีเพียง 6 กระบวนการผลิตที่มีค่าเฉลี่ยมากกว่าในอดีต คือ กระบวนการผลิตที่ 7 8 9 13 14 และ 15

4.2 ค่าการใช้พลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตของกระบวนการที่ 1-8

กระบวนการหลอมด้วยเตาหลอม EAF ให้ค่า SEC ก่อนข้างคังที่ โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานจากไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือพลังงานจากก๊าซออกซิเจน

กระบวนการอบร้อน ให้ค่า SEC ก่อนข้างแตกต่างกัน ขึ้นกับอุณหภูมิของเหล็กก่อนเข้าเตาอบ กระบวนการผลิตที่ 7 มีค่า SEC น้อยกว่ากระบวนการผลิตอื่น เป็นผลมาจากการผลิตมีความต่อเนื่อง อุณหภูมิเหล็กก่อนเข้าเตาอบมีค่าสูง จึงใช้พลังงานในการอบน้อยกว่าซึ่งวิธีการหรือเทคโนโลยีนี้ช่วยลดการใช้พลังงานได้มากและถูกเรียกว่า Hot charge ขณะที่เหล็กก่อนเข้าเตาอบที่มีอุณหภูมิต่ำหรือเท่ากับอุณหภูมิห้องถูกเรียกว่า Cold charge และในส่วนนี้ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง 100%

กระบวนการรีด จะใช้พลังงานจากไฟฟ้าเพื่อรีดเพียงอย่างเดียว การรีดจนได้เป็นเหล็กจะลดการใช้พลังงานมากที่สุดและมากกว่าเหล็กเส้นอย่างเห็นได้ชัด เพราะต้องรีดเพื่อลดขนาดมากกว่าขนาดของเหล็กเส้น ส่วนการรีดเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ที่ปริมาณการผลิตเท่ากันกลับมีลักษณะการใช้พลังงานที่ค่อนข้างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดในการรีด ส่วนการรีดเหล็กแผ่นรีดร้อน จะใช้พลังงานต่อผลผลิตค่อนข้างน้อยกว่าผลิตภัณฑ์อื่นๆ

5. งานวิจัยต่อเนื่อง

งานวิจัยนี้ยังเป็นเพียงการคำนวณ การประมาณและการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานและค่า SEC ในบางประเด็น โดยใช้ข้อมูลจากแบบสอบถามที่ได้จากทางโรงงาน ซึ่งงานวิจัยต่อไปจะนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดของแต่ละกระบวนการผลิตสามารถทำได้ นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบผลที่ได้กับค่าจากการคำนวณในทางทฤษฎี ซึ่งทำให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าที่ได้จากทั้งสองที่มา ผลต่างดังกล่าวจะให้นัยถึงความสามารถและศักยภาพในการลดการใช้พลังงาน นอกจากนี้จะได้วิเคราะห์ถึงการที่ใช้พลังงานของกระบวนการที่เหลือเพิ่มเติมในบทความต่อไปด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ประกอบการและโรงงาน

ทุกราย ในกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กทุกท่านที่กรุณาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และขอขอบพระคุณสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย ตลอดจนผู้ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ทุกท่าน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เบญจมาศ ปุยอ็อก, มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล (2550). การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก (SEC), การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, โรงแรมไบฮกสกาย กรุงเทพฯ
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2553). รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2553, หน้า 298 – 299.
- [3] K.F. Langley. Energy Efficiency in the UK Iron and Steel Industry, *Applied Energy*, vol. 23(1986), pp. 73 – 107.
- [4] Hin Navawongse. (November 2006). *Overview of Steel Industry in Thailand*, Iron and Steel Institute of Thailand, URL: http://www.asiaec-col.eccj.or.jp/cooperation/2-1-1/2006-2007/thailand-attach/1_1.pdf.
- [5] J.C. Ho, T.T. Chandratilleke. Thermodynamic analysis of an electric arc furnace, *Energy Conversion and Management, Volume 31, Issue 2, 1991, Pages 179-186*
- [6] Y Sakamoto, Y Tonooka, Y Yanagisawa. Estimation of energy consumption for each process in the Japanese steel industry: a process analysis, *Energy Conversion and Management, Volume 40, Issue 11, July 1999, Pages 1129-1140*
- [7] Marcus Kirschen, Karim Badr, Herbert Pfeifer. Influence of direct reduced iron on the energy balance of the electric arc furnace in steel industry, *Energy, Volume 36, Issue 10, October 2011, Pages 6146-6155*
- [8] Kanit Manatura, Mingsak Tangtrakul. A study of specific energy consumption in reheating furnace using regenerative burners combined with recuperator. *Silpakorn U Science & Tech J Vol.4(2), 2010*