การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ ด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่า ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

A Model Development of Specific Energy Consumption by using equivalent unit technique in electronic industry

นายพีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์[1] และ รศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน[2]

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการวิจัยเพื่อใช้เป็นแนวทางการใช้พลังงานมาตรฐาน (Benchmark) ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

โดยวิเคราะห์จากการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) ซึ่งหาได้จากการนำเอาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดหารด้วยปริมาณผลผลิตที่ได้และจากการที่โรงงานแต่ละโรงมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอาจมีขนาดและความยากง่ายในการผลิตต่างกัน จึงต้องจัดหาวิธีในการปรับเทียบให้เป็นหน่วยเดียวกัน โดยนำเอาเทคนิคหน่วยเทียบเท่า (Equivalent Unit: EU) มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้ใหม่ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมตั้งแต่ไม่ถึง 1% จนถึง 74%

จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน โดยทำการรวมรวบตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน แล้ววิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ จากผลการศึกษาพบว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงาน คือ ชั่วโมงการทำงาน จำนวนของผลิตภัณฑ์ และผลต่างของอุณหภูมิ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาแบบจำลอง โดยแบ่งผลิตภัณฑ์ออกเป็น 5 ผลิตภัณฑ์ คือ A, B, C, D และ E ทำให้ได้แบบจำลอง 5 สมการ ดังนี้ 1. พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -1,175 + (0.094 x ผลิตภัณฑ์ A1) + (0.026xผลิตภัณฑ์ A2) + (0.00038 x ผลิตภัณฑ์ A3) + (0.0142 x ผลิตภัณฑ์ A4) + (0.0179 x ผลิตภัณฑ์ A5) , 2. พลังงานไฟฟ้า (kWh) = - 4,055 + (0.0848 x ผลิตภัณฑ์ B1) + (0.0518xผลิตภัณฑ์ B2) + (0.00907 x ผลิตภัณฑ์ B3) + (0.0603 x ผลิตภัณฑ์ B4) , 3.พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -3487, + (0.00916 x ผลิตภัณฑ์ C1) + (0.0358xผลิตภัณฑ์ C2) + (0.0382 x ผลิตภัณฑ์ C3) , 4.พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -1,849 +(0.0127 x ผลิตภัณฑ์ D1) + (0.00857xผลิตภัณฑ์ D2) , 5.พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -3,098 +(0.0179 x ผลิตภัณฑ์ E1) + (0.00568xผลิตภัณฑ์ E2)

คำสำคัญ: พลังงาน ดัชนีการใช้พลังงาน และแบบจำลองการใช้พลังงาน

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

[2]รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

Abstract

The purpose of this research is to develop a model for Specific Energy Consumption by using the equivalent unit technique in electronic industry. The research will be used as a guideline for consuming the energy (Benchmark) in an electronic industry.

To calculate Specific Energy Consumption is to use the energy consumption amount divided by quantity of product. The Fact that each factory has many varieties of products causes the difference of energy usages and the use of time, therefore the Specific Energy Consumption need to be more accurate. Also, the calculation of unit cost tends to be inaccurate due to the causes of different factors in the process of production. Therefore in the research the calculation of unit cost is made by the analysis of Specific Energy Consumption by using Equivalent Unit (EU) technique. The result from the research will bring about the new calculation of Specific Energy which changes only 1%to 74% from the past.

The information based on this model development of Specific Energy Consumption research has been collected from many electronic industries which focus on energy. The next thing is to analyze the relationship among variables of energy usage in electronic industries by the mean of multiple regressions. The result of the research found that main variables which affected the maximum energy consumption are the operation time, the number of product and the difference of temperature. In this research, the product models were developed into 5 types, which is A,B,C and D. the equitation of the models are 1. electric energy (kWh) = -1,175 + (0.094 x product A1) + (0.026x product A2) + (0.00038 x product A3) + (0.0142 x product A4) + (0.0179 x product A5) , 2.electric energy (kWh) = - 4,055 + (0.0848 x product B1) + (0.0518x product B2) + (0.00907 x product B3) + (0.0603 x product B4) , 3. electric energy (kWh) = -3487, + (0.00916 x product C1) + (0.0358xผลิตภัณฑ์ C2) + (0.0382 x product C3) , 4 electric energy (kWh) = -1,849 +(0.0127 x ผลิตภัณฑ์ D1) + (0.00857x product D2) , 5. electric energy (kWh) = -3,098 +(0.0179 x product E1) + (0.00568x product E2)

Keywords: Energy, Specific Energy Consumption and Energy Consumption Model

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และมีความสลับซับซ้อนในกระบวนการผลิต ซึ่งอุตสาหกรรมก็ยังมีความเชื่อมโยงกับการผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีกมากมาย โดยอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยจัดเป็นการผลิตเพื่อการส่งออกและมีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกเป็นอันดับต้นๆ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากการจัดอันดับมูลค่าสินค้าส่งออกสำคัญ 20 อันดับแรกของไทย ในปี พ.ศ. 2548 พบว่ามีรายการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ติดอันดับถึง 5 รายการ โดยเฉพาะอันดับ 1 และอันดับ 3 ได้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์อุปกรณ์และส่วนประกอบกับแผงวงจรไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงสินค้าอุตสาหกรรมที่ส่งออกสำคัญ 20 รายการแรก

รายการ	มูลค่า : ล้านบาท				อัตราการขยายตัว : ร้อยละ			สัดส่วน : ร้อยละ			
	2546	2547	2547	2548	2546	2547	2548	2546	2547	2547	2548
			(ม.ค.-พ.ย.)				(ม.ค.-พ.ย.)			(ม.ค.-พ.ย.)	
1. เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์และส่วนประกอบ	339,939.8	368,875.9	332,273.5	428,158.4	6.52	8.51	28.86	10.22	9.52	9.39	10.57
2. รถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบ	164,705.8	220,801.5	199,402.2	285,120.9	31.51	34.06	42.99	4.95	5.70	5.64	7.04
3. แผงวงจรไฟฟ้า	191,540.3	196,444.3	182,133.1	197,863.1	34.97	2.56	8.64	5.76	5.07	5.15	4.89
4. เม็ดพลาสติก	89,204.8	124,808.6	113,447.5	152,135.4	17.20	39.91	34.10	2.68	3.22	3.21	3.76
5. ยางพารา	115,796.9	137,465.5	124,559.6	134,309.7	55.22	18.71	7.83	3.48	3.55	3.52	3.32
6. อัญมณีและเครื่องประดับ	104,525.6	106,278.9	98,072.1	118,746.8	12.29	1.68	21.08	3.14	2.74	2.77	2.93
7. เครื่องรับวิทยุโทรทัศน์และส่วนประกอบ	103,764.7	129,542.5	120,780.3	117,199.4	15.61	24.84	-2.96	3.12	3.34	3.41	2.89
8. เสื้อผ้าสำเร็จรูป	114,744.6	124,267.2	112,498.1	114,765.4	-1.58	8.30	2.02	3.45	3.21	3.18	2.83
9. เหล็ก เหล็กกล้าและผลิตภัณฑ์	70,222.3	99,588.2	90,168.6	106,896.9	31.01	41.82	18.55	2.11	2.57	2.55	2.64
10. เคมีภัณฑ์	65,897.4	82,847.9	76,138.4	96,480.4	28.83	25.72	26.72	1.98	2.14	2.15	2.38
11. อาหารทะเลกระป๋องและแปรรูป	88,789.1	90,711.6	81,931.6	91,765.5	2.64	2.17	12.00	2.67	2.34	2.32	2.27
12. น้ำมันสำเร็จรูป	42,404.8	71,074.2	64,267.1	86,121.5	-5.38	67.61	34.01	1.28	1.83	1.82	2.13
13. ผลิตภัณฑ์ยาง	64,668.2	78,050.0	71,201.0	85,900.4	19.55	20.69	20.64	1.94	2.01	2.01	2.12
14. ข้าว	75,776.1	108,351.8	97,893.5	85,613.2	8.25	42.99	-12.54	2.28	2.80	2.77	2.11
15. เครื่องใช้ไฟฟ้าและส่วนประกอบอื่น ๆ	44,722.8	77,753.4	70,328.3	84,537.0	8.74	73.86	20.20	1.34	2.01	1.99	2.09
16. เครื่องปรับอากาศและส่วนประกอบ	59,779.0	79,947.8	73,889.2	81,191.3	25.39	33.74	9.88	1.80	2.06	2.09	2.01
17. เครื่องจักรกลและส่วนประกอบของเครื่องจักรกล	51,721.4	67,155.8	61,433.8	77,821.0	29.59	29.84	26.67	1.56	1.73	1.74	1.92
18. ผลิตภัณฑ์พลาสติก	51,447.4	56,658.8	51,328.7	65,260.0	25.72	10.13	27.14	1.55	1.46	1.45	1.61
19. เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบและส่วนประกอบ	22,720.0	49,873.2	45,417.3	51,344.2	53.23	119.51	13.05	0.68	1.29	1.28	1.27
20. น้ำมันดิบ	27,020.9	33,575.6	28,702.0	51,189.3	37.60	24.26	78.35	0.81	0.87	0.81	1.26
รวม 20 รายการ	1,889,391.9	2,304,072.7	2,095,865.9	2,512,419.8	18.04	21.95	19.88	56.81	59.46	59.25	62.04

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์

ตารางที่ 2 มูลค่าการส่งออกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ปี 2549 – 2550

รายการสินค้า	ปี 2549 (ล้าน USD)	ปี 2550 (ล้าน USD)	(%)เปลี่ยนแปลง 2550/2549	(%)สัดส่วน ปี 2550
1. เครื่องคอมพิวเตอร์อุปกรณ์และส่วนประกอบ	14,869.4	17,305.1	16.38	57.01
2. แผงวงจรไฟฟ้า	7,023.0	8,053.4	14.56	26.53
3. วงจรพิมพ์	1,023.4	1,165.5	13.89	3.84
4. ทรานซิสเตอร์ไดโอดและอุปกรณ์กึ่งตัวนำ	992.8	972.4	-2.05	3.20
5. เครื่องโทรสารโทรศัพท์อุปกรณ์และส่วนประกอบ	1,059.0	845.4	-20.18	2.79
6. อื่น ๆ	1,934.8	2,013.3	4.06	6.63
รวม	26,902.4	30,355.1	12.83	100.00

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของไทยเป็นอุตสาหกรรมการผลิตที่เน้นเพื่อการส่งออกเป็นหลัก อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีแนวโน้มการใช้พลังงานสูงขึ้นในช่วงปี 2546-2548 โดยมีค่าเท่ากับ 2,084 , 2,549 และ 3,882 GWh/ปี และมีการใช้พลังงานรวมต่อมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์โดยรวมทั้งประเทศ ในปี พ.ศ. 2546-2548 มี

ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5 , 5.6 และ 7.4 kWh/พันบาท ตามลำดับ จากผลการสำรวจการใช้พลังงานของกลุ่มโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าโดยเฉลี่ยอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีการใช้พลังงานในส่วนของระบบสนับสนุนโรงงาน (Facility) ประมาณกว่าร้อยละ 50 ของการใช้พลังงานทั้งหมด จำแนกเป็นระบบปรับอากาศ (HVAC) เฉลี่ยร้อยละ 34 ระบบลมอัดอากาศ (CDA) เฉลี่ยร้อยละ 13 และระบบแสงสว่างเฉลี่ยร้อยละ 5 ตามลำดับ สำหรับส่วนที่เหลือได้แก่ ระบบกรรมวิธีการผลิตและระบบการทดสอบผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังพบว่ากว่าร้อยละ 80 ของจำนวนโรงงานตัวอย่างที่มีการทำสำรวจยังขาดอุปกรณ์มาตรวัดพลังงาน เพื่อชี้บ่งการใช้พลังงานจำแนกตามระบบการดำเนินงานต่างๆภายในโรงงานเป็นประจำทุกเดือน ทั้งนี้เป็นเพราะผู้บริหารของสถานประกอบการยังขาดความเข้าใจถึงความสำคัญของการมีมาตรวัดค่าพลังงานของระบบต่างๆ ภายในโรงงานว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งของการจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงานและอาจมองว่าต้นทุนด้านพลังงานในปัจจุบันยังไม่เป็นต้นทุนหลักของการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

วิธีการหนึ่งที่นำมาใช้คิดคำนวณหาค่าการใช้พลังงาน คือการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ แต่ในความเป็นจริงแล้วยังพบว่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ทำให้อาจจะเกิดความผิดพลาดในการนำผลที่ได้มาใช้คิดคำนวณ จึงต้องทำการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาใหม่ เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้นในการคิดต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่แท้จริง และยังสามารถนำมาใช้ในการกำหนดมาตรฐานการใช้พลังงานได้ (Benchmarking) โดยเกณฑ์ที่จะทำการศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นตัววัดเกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานที่มีคุณภาพที่ดีกว่า คือ การใช้เทคนิคหน่วยเทียบเท่า (Equivalent Unit : EU) เป็นการแก้ไขให้การคิดคำนวณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของดัชนีชี้วัดการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นเครื่องมือหนึ่งในการประเมินการใช้พลังงานในโรงงาน และใช้เป็นการคำนวณดัชนีชี้วัดศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แต่ละแห่งได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการวิจัยดังนี้

1) เพื่อทำการประเมินค่าดัชนีการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่มีหลากหลายผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน
2) เพื่อหาต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (Unit cost) ของผลิตภัณฑ์ได้
3) เพื่อนำมากำหนดเป็นมาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmark) ของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับโรงงานที่ทำการเก็บข้อมูลวิจัยหรือที่เกี่ยวข้อง
4) เพื่อให้ได้แบบจำลองการใช้พลังงาน (Model) ที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ระเบียบวิธีวิจัย การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ ด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่า ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

1) ศึกษาทฤษฎีแนวคิดและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน
2) วิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption: SEC)
3) หากิจกรรมกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำมาคิดคำนวณหาค่าหน่วยเทียบเท่า (Equivalent Unit: EU)

4) คำนวณหาเวลามาตรฐานในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์

5) วิเคราะห์หาต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต ตามค่าหน่วยเทียบเท่า (Equivalent Unit : EU)

6) รวบรวมตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานใน โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

7) ศึกษาและวิเคราะห์แบบจำลองการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีขั้นตอน ดังนี้

7.1) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ

7.2) ศึกษาแบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสม พร้อมสรุปแนวทางการใช้พลังงานในโรงงาน

8) สรุปผลที่ได้จากการศึกษาพร้อมข้อเสนอแนะ

3.2 การศึกษาการใช้พลังงาน

ในที่นี้ได้ทำการศึกษาวิจัย คือ โรงงานประกอบวงจรรวม โดยมีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและนำมาวิเคราะห์ต่อ ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

ขั้นตอนที่ 2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน

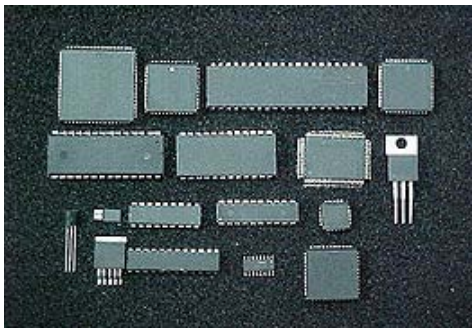
ขั้นตอนที่ 3 การจัดหากิจกรรมกระบวนการผลิตของโรงงาน

ขั้นตอนที่ 4 การคิดคำนวณต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต

ขั้นตอนที่ 5 การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมต่อโรงงาน

ขั้นตอนที่ 6 การจัดทำแบบแผนส่งเสริมการใช้พลังงาน

การทำการศึกษาทั้ง 6 ขั้นตอนจะทำให้สามารถรู้ถึงผลที่เป็นปัจจัยต่อการใช้พลังงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปพัฒนาหาแบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมในโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัย



รูปที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์วงจรรวม (IC)

โดยมีขั้นตอนแนวทางของการนำเทคนิคหน่วยเทียบเท่า (EU) มาใช้ ดังนี้

1) ให้โรงงานทำการแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ออกเป็นตามชนิดหรือรุ่นที่ทำการผลิต

2) ในแต่ละผลิตภัณฑ์ ให้ทำการหาค่า EU โดยใช้เวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่สั้นที่สุด ให้มีค่า เท่ากับ 1 EU เช่น ผลิตผลิตภัณฑ์ใช้เวลาสั้นที่สุด 1 นาที ให้มีค่าเท่ากับ 1 EU และถ้าขั้นตอนการผลิตขั้นต่อมามาใช้เวลา 5 นาที จะมีค่าเท่ากับ 5 EU ซึ่งเราสามารถพิจารณาจาก Cycle Time ของการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ คือ เวลาที่ผลิตภัณฑ์ตัวแรกผลิตออกมาได้จะมีเวลาห่างจากที่ผลิตผลิตภัณฑ์ตัวที่สองได้เท่าไร ให้ใช้เวลาตัวนั้นเป็นเวลาที่ใช้การผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งตัว ให้ถือว่าเวลาที่ใช้ในการผลิต 1 ผลิตภัณฑ์เป็นเวลามาตรฐาน (Standard time)

3) เอาค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 คูณกับจำนวนที่ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาได้

4) ทำการจัดแบ่ง Allocation การใช้พลังงานในแต่ละส่วน Utilities ทั้งหมดทุกขั้นตอนการผลิต

5) ค่า พลังงานที่ใช้ (E) = ขั้นตอนที่(4)

6) ทำการหาค่า SEC = E/Q ซึ่งจากค่า EU ของในแต่ละ Product จะเท่ากับ ขั้นตอนที่(4) / ขั้นตอนที่(3) ทำทุกผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เวลาการผลิตไม่เท่ากัน

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวัดการใช้เวลาทั้งหมดในกระบวนการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

ในการวัดการใช้เวลาผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ ต้องทำการแบ่งกลุ่ม (Allocation Group)แยกเป็นประเภท รุ่น หรือความยากง่ายในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์แล้วแต่โรงงานจะแบ่งกลุ่ม โดยทางโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัยได้ทำการจัดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มประเภทตามการนำไปใช้งานของแต่ละ Product ได้แก่ Product A,B,C,D,E และในแต่ละประเภทก็จะมีการแบ่งเป็นกลุ่มๆ ตามแต่ละรุ่นของการผลิตอีกด้วย เพราะแต่ละรุ่นก็ผลิตได้ยาก-ง่ายแตกต่างกันไป โดยให้ทางโรงงานทำการจับเวลาในการผลิตของแต่ละ Product โดยให้นับจำนวนชิ้นที่ผลิตออกมาได้ แล้วนำไปหารกับเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ซึ่งทางโรงงานสามารถวัดเวลาการผลิตแยกตามแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ได้ เวลามาตรฐานที่วัดได้นี้เป็นค่าที่ทางโรงงานใช้อยู่แล้ว ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product E แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No	Product Name	Standard time (min / piece)
E	E1	1	S2VB	0.8745
		2	S4VB	0.9746
		3	S10VB	1.1200
		4	S5VB	1.1352
		5	D15VBA	1.4653
		6	S15WB	1.7190
		7	S25VB	1.8167
		8	D25VB	1.9278
		Total		11.0329
	E2	1	S3WB	0.8845
		2	S15VB	1.3088
		3	S10WB	1.6031
		4	S20WB	2.3399
		5	D30VC	3.6530
		6	S10VTA	4.7610
		7	S50VB	4.7890
		8	S15VTA	4.8410
		9	S20VTA	4.8810
		10	S30VTA	4.8830

E

		11	S10VT	4.9530
		12	S15VT	4.9799
		13	S20VT	4.9879

4.2 หาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit :EU)

หลังจากได้ทำการวัดการใช้เวลาในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์แล้ว ในขั้นตอนต่อมาก็ต้องมีการให้ทางโรงงานได้ทำการเลือกวิธีการคิดหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป(Equivalent Unit :EU) ก่อนว่าจะใช้วิธีแบบไหนในการคิดคำนวณหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งได้ 3 วิธี ดังนี้

1. A (Average) คือ นำค่าเฉลี่ยของเวลาในการผลิตทั้งหมด
2. M (Mode) คือ นำ Production Lead time ผลผลิตที่เราผลิตมากที่สุดเป็นตัวตั้ง
3. L (Lead time) คือ นำค่า Production Lead time ที่น้อยที่สุดเป็นฐานตัวตั้ง

ซึ่งแต่ละวิธีก็จะได้ผลลัพธ์สุดท้ายที่แตกต่างกัน โดยทางโรงงานได้เลือกใช้แบบ L (Lead time) เป็นมาตรฐานในการคิดหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit :EU) เพราะคิดว่าการเลือกใช้วิธีแบบ L (Lead time)จะทำให้ได้ผลลัพธ์ต้นทุน (Unit cost) ที่เราต้องการถูกต้องที่สุด

ตารางที่ 4 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product E

Product	Group	No	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
E	E1	1	S2VB	0.8745	1.000
		2	S4VB	0.9746	1.114
		3	S10VB	1.1200	1.281
		4	S5VB	1.1352	1.298
		5	D15VBA	1.4653	1.676
		6	S15WB	1.7190	1.966
		7	S25VB	1.8167	2.077
		8	D25VB	1.9278	2.205
		Total		11.0329	12.616
	E2	1	S3WB	0.8845	1.000
		2	S15VB	1.3088	1.480
		3	S10WB	1.6031	1.812
		4	S20WB	2.3399	2.645
		5	D30VC	3.6530	4.130
		6	S10VTA	4.7610	5.383
		7	S50VB	4.7890	5.414
E	E2	8	S15VTA	4.8410	5.473
		9	S20VTA	4.8810	5.518
		10	S30VTA	4.8830	5.521

		11	S10VT	4.9530	5.600
		12	S15VT	4.9799	5.630
		13	S20VT	4.9879	5.639
		14	S30VT	4.9889	5.640
		Total		53.8540	60.886

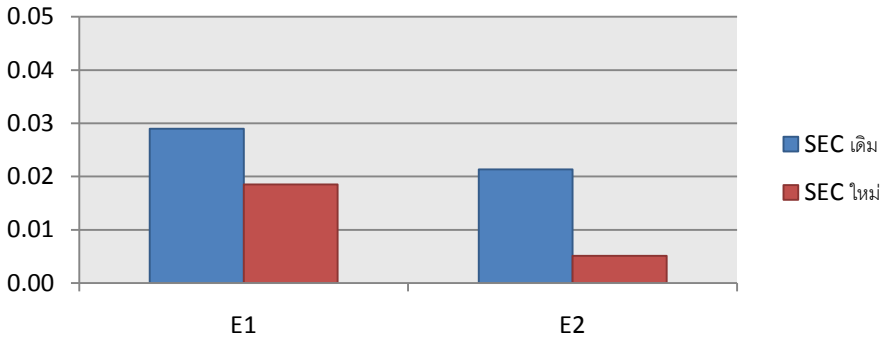
จากในตารางที่ 4 แสดงเวลาในการผลิต Product E ซึ่งจะนำข้อมูลเวลาการผลิตในแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์มาคำนวณหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit: EU) โดยจะแยกออกมาเป็น 2 Group เช่น ใน Group E1 แยกออกเป็น 8 รุ่น คือ S2VB, S4VB, S10VB, S5VB, D15VBA, S15WB, S25VB และ D25VB ซึ่งจะใช้เวลาในการผลิตแตกต่างกัน จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ S2VB ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุด คือ 0.8745 นาที/ชิ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ D25VB ใช้เวลาในการผลิตมากที่สุด คือ 1.9278 นาที/ชิ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ D25VB จะใช้เวลาในการผลิตเป็น 1.9278/0.8745 = 2.205 เท่าของเวลาที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ S2VB ซึ่งจะเห็นว่าในการผลิต ผลิตภัณฑ์ D25VB 1 ชิ้น จะเทียบเท่ากับการผลิต ผลิตภัณฑ์ S2VB 2.205 ชิ้น ค่า 2.205 จึงถูกกำหนดเป็นค่า Equivalent Unit: EU

4.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตแบบเดิมกับแบบใหม่ (SEC เดิมกับ SEC ใหม่)

วิธีการคำนวณหา ปริมาณผลผลิตเทียบเท่า คือ การปรับเทียบหน่วยผลิตภัณฑ์ให้เป็นหน่วยเดียวกันของแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์ ทำได้โดยการนำค่า EU ไปคูณกับปริมาณผลผลิต (จำนวนชิ้น) ที่ได้ของแต่ละผลิตภัณฑ์ และสามารถคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตใหม่ (SECใหม่) ได้ ในที่นี้เราจะใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าการใช้พลังงานผลิตแยกแต่ละผลิตภัณฑ์แบ่งตาม Group ที่แยกประเภทไว้แต่แรกและทำการเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตเดิม (SECเดิม)

ตารางที่ 5 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วย EU ของ Product E

Product	No.	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณผลผลิต (Q_1)	ค่า EU	จำนวนชิ้น x ค่า EU (Q_2)	SEC เดิม (kWh/ Q_1)	SEC ใหม่ (kWh/ Q_2)	% ที่เปลี่ยนแปลง
E	E1	798,088	27,564,400	12.616	43,108,750.534	0.029	0.019	36.06
	E2	1,057,930	49,590,477	60.886	207,477,769.871	0.021	0.005	76.10



รูปที่ 2 แสดงกราฟของค่า SEC เดิม เปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ ของ Product E

4.4 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน

กลุ่มตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักดังนี้

1) กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งโรงงานและสภาพอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกของโรงงาน
2) กลุ่มตัวแปรด้านอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงาน
3) กลุ่มตัวแปรด้านเครื่องจักรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

สามารถสรุปตัวแปรปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงานได้ ดังนี้

ตารางที่ 6 ตัวแปรปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ประเภทของตัวแปรปัจจัย	ชื่อตัวแปร	รายละเอียด
อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกของโรงงาน	ผลต่างของอุณหภูมิ : Difference of temperature (°C)	เนื่องจากจะเป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมภายนอก แต่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารโรงงาน
จำนวนชั่วโมงที่ทำงาน	ชั่วโมงการทำงาน : Operation time (วัน)	การใช้พลังงานจะมากหรือน้อยก็ย่อมขึ้นอยู่กับชั่วโมงการเปิดทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในโรงงาน
ขั้นตอนกระบวนการผลิต	จำนวนของผลิตภัณฑ์ : Number of product (ชิ้น)	เป็นตัวแปรหลักที่คาดว่าจะส่งต่อการใช้พลังงานมากที่สุด เนื่องจากจำนวนผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นก็ต้องมีการใช้พลังงานในการผลิต แต่มากน้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยความยากง่ายในการผลิต

4.5 ผลการจัดทำแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ ด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่าของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสม

เพื่อให้ได้แบบจำลองการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่เหมาะสมและแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่แท้จริงที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงาน ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยแล้ว การจัดทำแบบจำลองดังกล่าวยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดทำเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmarking) เพื่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานได้อีกด้วย ดังนั้นจึงได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้แบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จึงมีการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

4.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยตัวแปรแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ

- ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ในงานวิจัยนี้ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงปริมาณคือการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่อการผลิต 1 Product (Total Electricity Energy, kWh)
- ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ในงานวิจัยนี้ตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรเชิงปริมาณทั้งหมดแยกตามแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากในขั้นตอนการคำนวณหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (EU) ได้จำแนกออกเป็น 5 ประเภท คือ Product A, B,C, D และ E โดย Product A จะมี 5 ตัวแปร (จำนวนของผลิตภัณฑ์ A1 : X_1 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ A2 : X_2 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ A3 : X_3 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ A4 : X_4 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ A5 : X_5) ส่วน

Product B จะมี 4 ตัวแปร (จำนวนของผลิตภัณฑ์ B1 : X_1 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ B2 : X_2 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ B3 : X_3 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ A4 : B_4) ส่วน Product C จะมี 3 ตัวแปร (จำนวนของผลิตภัณฑ์ C1 : X_1 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ C2 : X_2 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ C3 : X_3) ส่วน Product D จะมี 2 ตัวแปร (จำนวนของผลิตภัณฑ์ D1 : X_1 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ D2 : X_2) สุดท้าย Product E จะมี 2 ตัวแปร (จำนวนของผลิตภัณฑ์ E1 : X_1 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ E2 : X_2) ซึ่งทุกตัวแปรของจำนวนผลิตภัณฑ์จะเป็นหน่วยเทียบเท่า (Equivalent Unit : EU)

4.5.2 แบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ

จากการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในหัวข้อ 4.5.1 นั้น ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยอีกประการหนึ่งก็คือแบบจำลองการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ E ดังสมการที่ 1

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = 206 + (0.00315 x ผลิตภัณฑ์ E1) + (0.00826xผลิตภัณฑ์ E2) (1)

จากสมการที่ 1 สรุปได้ว่า

(1) ค่า 206 มีค่า P-Value = 0.136 ซึ่งถือว่าไม่ Significant จึงสามารถตัดค่านี้ทิ้งได้ เมื่อนำแบบจำลองการใช้พลังงานไปใช้จริงในโรงงาน

(2) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ E1 คือ +0.00315 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนE1 1 หน่วย (EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.00315 kWh

(3) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ D2 คือ +0.00826 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนE2 1 หน่วย (EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.00826 kWh

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้จัดทำเกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานใหม่ โดยใช้เทคนิคหน่วยเทียบเท่า (Equivalent Unit: EU) และพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาใหม่ ซึ่งรายละเอียดการทำการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน โดยเทคนิคหน่วยเทียบเท่า

1) ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption: SEC) เป็นการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต ซึ่งก็จะได้ค่าพลังงานที่ใช้ต่อ 1 หน่วยผลผลิตเป็นเท่าไร และจึงนำไปคิดต้นทุนค่าใช้พลังงาน แต่ก็ไม่สามารถนำมาใช้ได้กับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ค่อนข้างหลากหลาย

2) ทำการปรับปรุงดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน โดยใช้เทคนิคหน่วยเทียบเท่า (Equivalent Unit: EU) โดยการปรับค่า Q ให้เป็นหน่วยเทียบเดียวกัน ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์หาค่าใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตได้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

3) จากการได้ใช้เทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูปเข้ามาแก้ปัญหาการหาค่าพลังงานต่อหน่วยผลผลิต (SEC) ซึ่งค่าที่ได้ออกมาใหม่มีการเปลี่ยนแปลงมีตั้งแต่ไม่ถึง 1% จนถึง 74% จากการเปรียบเทียบค่า SEC เดิม กับ ค่า SEC ใหม่

5.2 แบบจำลองการใช้พลังงานของโรงงาน

จากการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาแบบจำลองการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ในการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป

โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานและปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานไปแปลข้อมูลได้ผลลัพธ์ ซึ่งแยกได้ 5 แบบจำลองตามแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ ดังนี้

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ A

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -2,379 + (0.153 x ผลิตภัณฑ์ A1) + (0.0385xผลิตภัณฑ์ A2) + (0.00529 x ผลิตภัณฑ์ A3) + (0.0163 x ผลิตภัณฑ์ A4) + (0.0274 x ผลิตภัณฑ์ A5) (2)

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ B

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = - 3,106 + (0.0681 x ผลิตภัณฑ์ B1) + (0.0536xผลิตภัณฑ์ B2) + (0.00251 x ผลิตภัณฑ์ B3) + (0.0162 x ผลิตภัณฑ์ B4) (3)

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ C

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -3487, + (0.00916 x ผลิตภัณฑ์ C1) + (0.0358xผลิตภัณฑ์ C2) + (0.0382 x ผลิตภัณฑ์ C3) (4)

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ D

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -1,849 +(0.0127 x ผลิตภัณฑ์ D1) + (0.00857xผลิตภัณฑ์ D2) (5)

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ E

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = 206 +(0.00315 x ผลิตภัณฑ์ E1) + (0.00826xผลิตภัณฑ์ E2) (6)

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ให้ทางโรงงานนำเทคนิคหน่วยเทียบเท่า (EU) มาประยุกต์ปรับเปลี่ยนค่า Q ให้เป็นค่าฐานเดียวกัน โดยจะต้องวัดค่าเวลามาตรฐาน (Standard time) ให้มีความถูกต้องที่สุด โดยเฉพาะค่าเวลามาตรฐานน้อยที่สุดในแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ เพราะจะเป็นตัวที่เป็นตัวตั้งเพื่อให้ตัวผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีเวลามาตรฐานมากกว่าไปปรับเทียบให้เป็นหน่วย EU จึงมีความสำคัญที่ต้องวัดค่าเวลามาตรฐานให้แม่นยำที่สุด เพราะจะส่งผลต่อการคำนวณค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC) ด้วย

2. การวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการลดการใช้พลังงานของโรงงาน เพื่อให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานด้วยการจัดการอย่างเหมาะสมกับตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน แต่ก็ต้องให้ทางโรงงานคิดหามาตรการอนุรักษ์พลังงานขึ้นมาใหม่ๆ และหาจุดปรับปรุงที่มีการใช้พลังงานที่มีปริมาณมาก เพราะจะเป็นจุดที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มาก

เอกสารอ้างอิง

1. ไชยวัฒน์ ผลลาภ “**การตรวจวัดการใช้พลังงานและมาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์**” เอกสารประกอบการสัมมนาครั้งที่ 1 โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานอิเล็กทรอนิกส์ วันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2549 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ไพศาล จิรานันตรัตน์ “**สุดยอดปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์**” เอกสารประกอบการสัมมนาครั้งที่ 2 โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานอิเล็กทรอนิกส์ วันที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2549 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. Matsuo, M. แปลโดย บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, ประยูร เชี่ยววัฒนา, สายกลม กลมยะบุตร,ระนอง พยัคฆพันธ์ และ สรี ฉัตรชัยเวช “ **เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม**” พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. พ.ศ. 2544
4. การุณย์ ศุภมิตรโยธิน, 2548. **การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย
5. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. 2542. **การอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน**. พิมพ์ครั้งที่ 3. เชียงใหม่: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
6. Harper, C.A., “**Electronic Materials and Processes Handbook**” 3rd edition, McGraw-Hill, 2004
7. Khandpur, R. S., “**Printed Circuit Boards: Design, Fabrication, and Assembly** ”, McGraw-Hill,2006
8. Xiao H. “**Introduction to Semiconductor Manufacturing Technology**” pearson Education International, Prentice Hall, 2001
9. M.G. Patterson, 1996. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues, **Energy Policy 24 (5)**, 377–390
10. Sharp T. 1996, Energy benchmarking in commercial-office buildings. In: **ACEEE summer study on energy efficiency in buildings**, vol. 4; 1996. p. 321–9.
11. APEC, 2001.Asia-Pacific Economic Cooperation **Energy Benchmark System.** Singapore: Available
12. Kinney S, Piette MA, 2002. Development of California commercial-building energy benchmarking database. In: **ACEEE 2002 summer study on energy efficiency in buildings**, vol. 7;,109–20.