Engng.J.CMU.(2018) 25 (2), 106-112

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การลดค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้ง โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า

THE MOISTURE REDUCTION OF BIOMASS FUEL IN THE DRYING PROCESS BY SIX SIXMA APPROACH

สรารัตน์ ชาลีกัน* และ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์

Sararath Chaleekan* and Jeerapat Ngaoprasertwong

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Bangkok, 10330, Thailand

*E-mail: sararathc@gmail.com, Telephone Number +66858350545

บทคัดย่อ

กระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงชีวมวลช่วยเพิ่มพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง โดยการนำไอน้ำเหลือใช้ (Low pressure steam) จากโรงไฟฟ้า (37.15 MW) มาใช้ในกระบวนการอบ (กำลังการผลิต 400 ตันต่อวัน) โดยเชื้อเพลิงที่ใช้อบคือ ไฟเบอร์ผสม (ทะลายปาล์ม เปลือกมะพร้าว เปลือกไม้) และไม้ชิพ ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนอบประมาณ 40-60% เพื่อช่วยปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลและต้นทุนในกระบวนการอบแห้ง งานวิจัยนี้จะนำทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define), การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure), การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze), การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve) และการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ (Control) (DMAIC) มาใช้ และใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram), ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ในการคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น และใช้การออกแบบการทดลอง 3^k Factorial Design ในการหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความชื้นเชื้อเพลิง ผลที่ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยลดลงจาก 10% เป็น 23% (ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นก่อนปรับปรุงคำนวณจากส่วนต่างของค่าความชื้นขาเข้าเฉลี่ย 55% กับค่าความชื้นขาออกเฉลี่ย 45% และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังปรับปรุงคำนวณจากส่วนต่างของค่าความชื้นขาเข้าเฉลี่ย 56% กับค่าความชื้นขาออกเฉลี่ย 33%) ทำให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 4,028 เมกกะจูลต่อตันต่อเดือน ต้นทุนในกระบวนการอบแห้งเฉลี่ยลดลงจาก 0.147 บาทต่อเมกกะจูล เป็น 0.122 บาทต่อเมกกะจูล คิดเป็นต้นทุนที่ประหยัดได้ 4,583,028 บาทต่อปี

ABSTRACT

The drying process of biomass fuel helps to increase the thermal energy of fuel through the utilization of low pressure steam obtained from a power plant (37.15 MW) in the drying process (production capacity: 400 tons per day). Fuels used were mixed fibers (including palm fruit bunch, coconut shell and bark) and wood chips with moisture percentage before steaming about 40-60%. To improve the moisture of biomass fuel and reduce the cost of drying process, this research applied the theory of Six Sigma consisting of the following methods: the definition of problem (Define), the

Received 24 June 2016
Accepted 29 July 2016

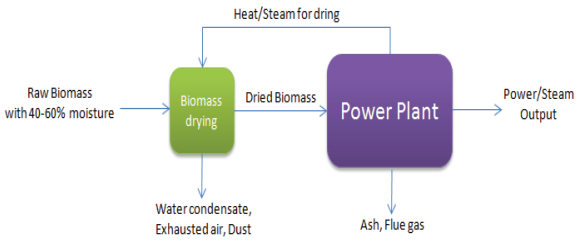
measurement to find the cause of problem (Measure), the analysis on the cause of problem (Analyze), the improvement and solution of process (Improve) and the controlling of variables (Control) [DMAIC]. Additionally, methods of Cause and Effect Diagram, Cause and Effect Matrix and Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) were also exploited to select factors affecting moisture percentage. Furthermore, the 3^k Factorial Design was also applied to search for factors significantly affecting the moisture of fuel. The result presented the reduction of moisture percentage from 10% to 23% (the moisture percentage before improvement was calculated from the difference between the average input moisture of 55% and the average output moisture of 45% while the moisture percentage after improvement was calculated from the difference between the average input moisture of 56% and the average output moisture of 33%) causing the increase of fuel heat for 4,028 MJ per ton per month. The cost of drying process was averagely decreased from 0.147 Baht per MJ to be 0.122 Baht per MJ or the cost to be saved was at 4,583,028 Baht per year.

1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจผลิตกระแสไฟฟ้า มีกำลังการผลิต 37.15 MW และใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นหลัก โดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงสูง จึงต้องผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อลดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันกระบวนการอบแห้งสามารถลดค่าเปอร์เซ็นความชื้นเชื้อเพลิงลงปริมาณที่น้อยและมีต้นทุนที่สูงกว่าที่โรงงานกรณีศึกษาจะยอมรับได้

กระบวนการอบแห้งเพื่อลดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (รูปที่1) ประกอบด้วยท่อจำนวน108 อัน อยู่ภายในกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.4 เมตร ความยาว 30 เมตร กำลังการอบแห้งประมาณ 400 ตันต่อวัน (ตันขาเข้า) โดยไอน้ำ (Steam) แรงดัน 3.5 บาร์ อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ไหลผ่านทำให้ท่อในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้อากาศร้อนเมื่อพัดลมเป่าอากาศผ่านไปรอบท่อ ทำให้ลมกลายเป็นลมร้อนส่งเข้าไปในเชลล์เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับเชื้อเพลิงที่หมุนวนในกระบอก หลังจากนั้นลมจะออกด้านท้ายกระบอกผ่านไซโคลนดักฝุ่นและมีพัดลมดูดลมร้อนออกสู่ภายนอก ในปัจจุบันค่าความชื้นเชื้อเพลิงหลังอบลดลงน้อยทำให้ต้นทุนในการอบสูง ซึ่งในการอบจะมีต้นทุนเชื้อเพลิง (Fuel cost) และต้นทุนการเดินเครื่อง (Running cost) เมื่อคิดต้นทุนในกระบวนการอบแห้งต่อค่าความร้อนทำได้ต้นทุนหลังอบสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ของโรงงาน (0.13 บาท ต่อเมกกะจูล)

งานวิจัยนี้จะดำเนินการตามทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงต้นทุน คุณภาพ และความพึงพอใจของลูกค้า [1] [2] และใช้เครื่องมือ Cause and Effect Diagram, Cause and Effect Matrix, FMEA [3] และ DOE [4] เพื่อปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลและลดต้นทุนในกระบวนการอบแห้ง และได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า [5] และงานวิจัยที่ศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชนิดใช้ฮีตปั๊มร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการอบแห้งแบบใช้ฮีตปั๊มร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับการอบแห้งแบบใช้เครื่องทำความร้อน [6]



รูปที่ 1 แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิต

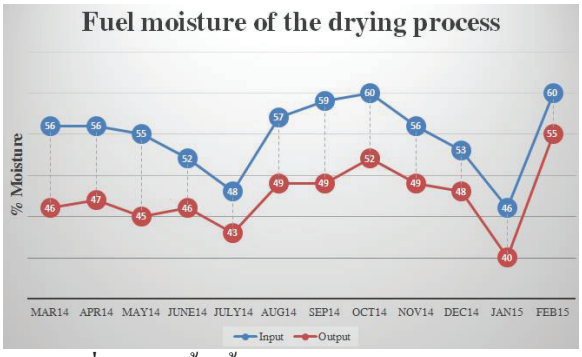
2. วิธีการวิจัยและผลการวิจัย

ดำเนินการวิจัยตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define), การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure), การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze), การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve) และการควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control) (DMAIC) โดยมีรายละเอียดดังนี้

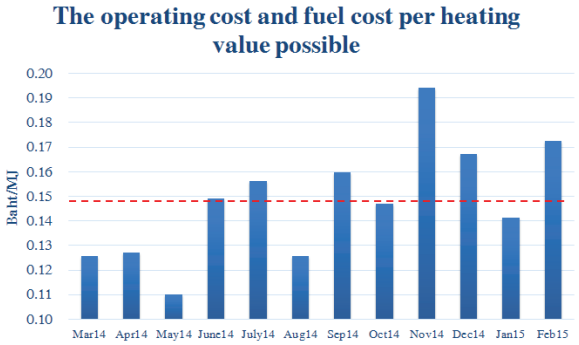
2.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase)

ขั้นตอนนิยามปัญหา คือ ขั้นตอนการกำหนดปัญหาเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นการกำหนดจุดเริ่มต้นและทิศทางของงานวิจัย

ในกรณีศึกษานี้กระบวนการอบเชื้อเพลิงใช้การถ่ายเทความร้อนจากท่อไปที่ผิวของเชื้อเพลิงและการพาความร้อนที่ระเหยออกสู่ภายนอกทำให้ค่าความชื้นลดลง [7][8][9] โดยค่าความชื้นเชื้อเพลิงขาเข้าอยู่ระหว่าง 40-60% ขึ้นอยู่กับฤดูกาล แหล่งพลังงานความร้อนจากไอน้ำแรงดัน 3.5 บาร์ ที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส เพื่อให้ค่าความชื้นลดลงจึงป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่กระบวนการผลิตไฟฟ้า จากข้อมูลการอบเชื้อเพลิงในอดีต (เดือนมีนาคม 2557–กุมภาพันธ์ 2558) พบว่าค่าความชื้นขาเข้าเฉลี่ย 55% และขาออกเฉลี่ย 45% ซึ่งลดลง 10% (รูปที่2) และต้นทุนต่อค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 0.147 บาทต่อเมกกะจูล (ค่าเป้าหมาย < 0.13 บาทต่อเมกกะจูล) (รูปที่ 3) คิดเป็นมูลค่าสูญเสียจากต้นทุนทั้งหมดของชื้นเพลิง (ค่าเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายต่างๆในกระบวนการอบ) ต่อค่าความร้อนที่ทำได้หลังผ่านกระบวนการอบที่มากกว่าต้นทุนที่ยอมรับได้ของโรงงานกรณีศึกษา คิดเป็นมูลค่าสูญเสีย 1.21 ล้านบาทต่อปี งานวิจัยนี้จึงต้องการปรับปรุงค่าความชื้นเชื้อเพลิงชีวมวลและต้นทุนในกระบวนการอบแห้ง



รูปที่ 2 ความชื้นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบแห้ง



รูปที่ 3 ต้นทุนต่อค่าความร้อนของกระบวนการอบแห้ง

2.2 ขั้นตอนการตรวจวัดปัญหา (Measure Phase)

ในระยะนี้จะทำ 2 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Measurement System Analysis) และการวิเคราะห์และระบุปัญหา (Problem Identification Analysis)

2.2.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด

การวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Gage R&R) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำและความเที่ยงตรงของระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูล โดยระบบการวัดและเครื่องมือที่ใช้มีการสอบเทียบความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์ทุกปี และจากการเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงจำนวน 10 ตัวอย่าง ใช้พนักงาน 3 คน วัดค่าความชื้นซ้ำจำนวน 2 ครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 1 สรุปความแปรแปรวนจากความแตกต่างของตัวอย่าง (Part-to-Part) เท่ากับ 99.31% และความแปรปรวนของระบบการวัด (Total Gage R&R) เท่ากับ 0.69% ซึ่ง

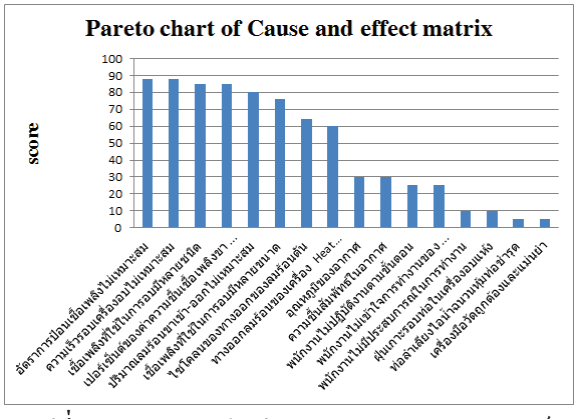
น้อยกว่า 1% ตามมาตรฐานในการยอมรับระบบการวัด AIAG ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ความแปรปรวนในการวัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัดค่าความชื้นเชื้อเพลิง

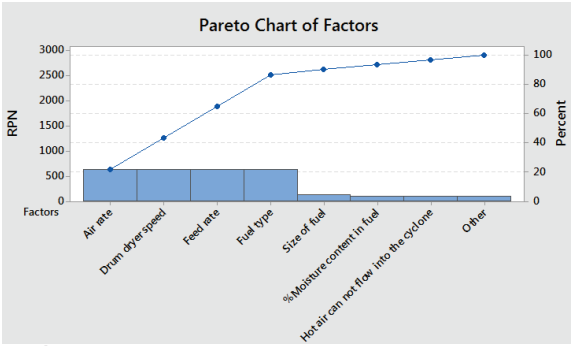
Source	Variance Components	%Contribution rate
Total Gage R&R	0.1124	0.69
Repeatability	0.1124	0.69
Reproducibility	0.0000	0.00
Operator	0.0000	0.00
Part-To-Part	16.2736	99.31
Total Variation	16.3860	100.00

2.2.2 การวิเคราะห์และระบุปัญหา

จากการระดมสมองจากผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์เพื่อค้นหาสาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาขึ้นโดยใช้แผนภูมิก้างปลา ได้ทั้งหมด 16 ปัจจัย และสร้างตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล ดังแสดงในรูปที่ 4 และการวิเคราะห์ลักษณะข้อพร่องและผลกระทบ (FMEA) ได้ 8 ปัจจัยที่มีคะแนนสูง และมี 4 ปัจจัยที่มีผลรวมคะแนนความสำคัญ 86.42% ของปัจจัยที่เลือกไว้ทั้งหมด (รูปที่ 5)



รูปที่ 4 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามคะแนนความสัมพันธ์



รูปที่ 5 แผนภาพพาเรโตเรียงตามลำดับปัจจัยตามค่า RPN

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase)

จากการวิเคราะห์ FMEA มี 4 ปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองสำหรับกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง ได้แก่ ชนิดเชื้อเพลิง อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก นำปัจจัยเหล่านี้มาออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design [4] เนื่องจากสามารถปรับพารามิเตอร์ต่างๆได้ง่าย โดยแยกการทดลองตามชนิดเชื้อเพลิงเนื่องจากความชื้นเชื้อเพลิงและคุณสมบัติแตกต่างกัน โดยแยกเป็นไฟเบอร์กับไม้ชิพ ซึ่งแต่ละชนิด ประกอบด้วย 3 ปัจจัย และ 3 ระดับ (ตารางที่ 2) โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ส่งผลให้จำนวนการทดลองทั้งหมด เท่ากับ 108 การทดลอง

ตารางที่ 2 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง 3^3 Factorial Design

Factors	Levels of factor			Unit
	Min	Medium	Max	
Feed rate	10	15	20	Ton/hr
Drum dryer speed	1.77	3.51	5.61	RPM
Air rate	40	70	100	Percent

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Minitab สำหรับเชื้อเพลิงไฟเบอร์ แสดงผลดังรูปที่ 6 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง และปริมาณลมขาเข้า-ออก มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ

เชื่อมั่น 95% และมีอันตรกิริยาร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงกับปริมาณลมขาเข้า-ออก มีค่า P-value เท่ากับ 0.001 และความเร็วรอบเครื่องอบแห้งกับปริมาณลมขาเข้า-ออก มีค่า P-value เท่ากับ 0.000

Factor Information

Factor	Levels	Values
Feed rate	3	10, 15, 20
Drum dryer speed	3	1.77, 3.51, 5.61
Air rate	3	40, 70, 100

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	26	1549.47	59.595	5.70	0.000
Linear	6	713.83	118.972	11.37	0.000
Feed rate	2	444.05	222.026	21.22	0.000
Drum dryer speed	2	78.90	39.452	3.77	0.036
Air rate	2	190.88	95.439	9.12	0.001
2-Way Interactions	12	762.05	63.504	6.07	0.000
Feed rate*Drum dryer speed	4	41.23	10.308	0.99	0.432
Feed rate*Air rate	4	263.60	65.900	6.30	0.001
Drum dryer speed*Air rate	4	457.22	114.305	10.92	0.000
3-Way Interactions	8	73.59	9.198	0.88	0.546
Feed rate*Drum dryer speed*Air rate	8	73.59	9.198	0.88	0.546
Error	27	282.50	10.463		
Total	53	1831.97			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.23462	84.58%	69.73%	38.32%

รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์

สำหรับเชื้อเพลิงไม้ชิพ แสดงผลดังรูปที่ 7 ปัจจัยหลัก อัตราการป้อนเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง และปริมาณลมขาเข้า-ออก มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีอันตรกิริยาร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate) กับความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) มีค่า P-value เท่ากับ 0.000

Factor Information

Factor	Levels	Values
Feed rate	3	10, 15, 20
Drum dryer speed	3	1.77, 3.51, 5.61
Air rate	3	40, 70, 100

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	26	913.84	35.148	5.79	0.000
Linear	6	579.39	96.565	15.92	0.000
Feed rate	2	201.39	100.694	16.60	0.000
Drum dryer speed	2	84.79	42.395	6.99	0.004
Air rate	2	293.21	146.606	24.17	0.000
2-Way Interactions	12	309.24	25.770	4.25	0.001
Feed rate*Drum dryer speed	4	277.44	69.361	11.44	0.000
Feed rate*Air rate	4	27.05	6.762	1.11	0.370
Drum dryer speed*Air rate	4	4.75	1.187	0.20	0.938
3-Way Interactions	8	25.21	3.152	0.52	0.831
Feed rate*Drum dryer speed*Air rate	8	25.21	3.152	0.52	0.831
Error	27	163.77	6.066		
Total	53	1077.61			

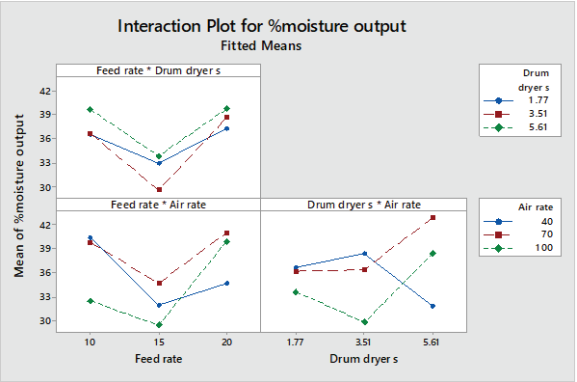
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.46284	84.80%	70.17%	39.21%

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ชิพ

2.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

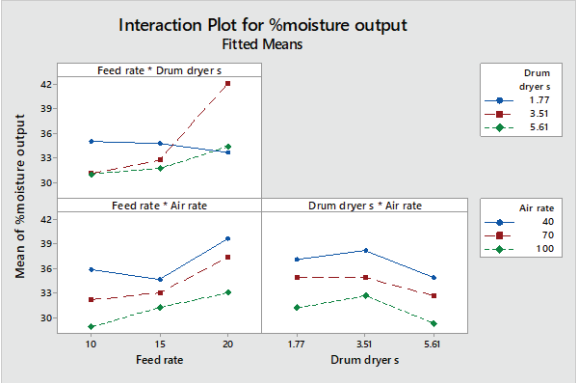
จากระยะที่แล้วผลการวิเคราะห์ปัจจัยทุกตัวมีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลจากการทดลองต่อ แสดงผลดังรูปที่ 8 สรุปได้ว่าสำหรับเชื้อเพลิงไฟเบอร์ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์น้อยที่สุด คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 15 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง 3.51 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก 100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 8 ผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์

รูปที่ 9 สรุปได้ว่าเชื้อเพลิงไม้ชิพ ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้

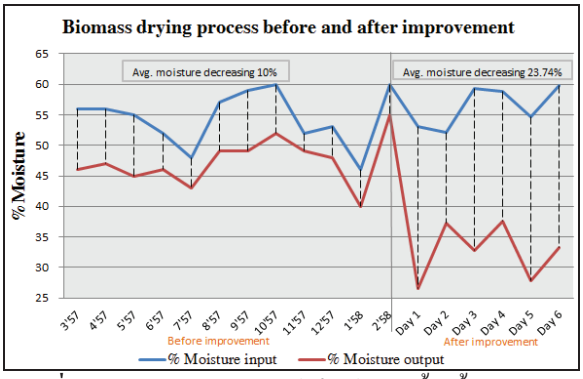
ชิพน้อยที่สุด คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 10 ตันต่อชั่วโมง ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง 5.61 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนขาเข้า-ออก 100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 9 ผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไม้ชิพ

2.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

จากผลที่ได้จากระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการปัจจัยและระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมมาปฏิบัติจริงในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงหลังการปรับปรุงมีค่าลดลงเฉลี่ย 23% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงก่อนปรับปรุงซึ่งลดลงเฉลี่ย 10% (รูปที่ 10) ส่งผลให้สามารถเพิ่มค่าความร้อนเชื้อเพลิงไฟเบอร์ได้ 4,028 เมกกะจูลต่อตันต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนที่ประหยัดได้ 4,583,028 บาทต่อปี พร้อมทั้งได้กำหนดแนวทางในการควบคุมการปฏิบัติงานในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิงให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงลดลงตามเป้าหมายต่อไป โดยมีแผนจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานและจัดฝึกอบรมพนักงานให้ตระหนักและเข้าใจถึงความสำคัญของการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องจักรในกระบวนการอบแห้งเชื้อเพลิง



รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการผลิต

3. สรุป

การดำเนินงานวิจัยการลดค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลในกระบวนการอบแห้งโดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า ผลที่ได้คือ ทำให้ทราบปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเชื้อเพลิงไฟเบอร์และไม้ชิพ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (Feed rate), ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง (Drum dryer speed) และปริมาณลมร้อนขาเข้าและขาออก (Air rate)

โดยระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไฟเบอร์ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 15 ตันต่อชั่วโมง, ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง 3.51 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนขาเข้าและขาออก 100% และระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไม้ชิพ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 10 ตันต่อชั่วโมง, ความเร็วรอบเครื่องอบแห้ง 5.61 รอบต่อนาที และปริมาณลมร้อนขาเข้าและขาออก 100% และทำการทดลองตามระดับปัจจัยที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไฟเบอร์

ซึ่งผลที่ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ลดลงหลังปรับปรุงกระบวนการ 23% (คำนวณจากส่วนต่างของค่าความชื้นขาเข้าเฉลี่ย 56% กับค่าความชื้นขาออกเฉลี่ย 33%) ซึ่งดีกว่าเมื่อเทียบกับค่าความชื้นเชื้อเพลิงที่ลดลงก่อนปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10% (คำนวณจากส่วนต่างของค่าความชื้นขาเข้าเฉลี่ย 55% กับค่าความชื้นขาออกเฉลี่ย 45%) ทำให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 4,028 เมกกะจูลต่อตันต่อเดือน ต้นทุนในกระบวนการอบแห้งเฉลี่ยลดลงจาก 0.147 บาท

ต่อเมกกะจูล เป็น 0.122 บาทต่อเมกกะจูล คิดเป็นต้นทุนที่ประหยัดได้ 4,583,028 บาทต่อปี

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้โอกาสผู้วิจัยทำการศึกษาวิจัย และพนักงานทุกท่านสำหรับความร่วมมือในการทดลองและเก็บข้อมูลตลอดการทำวิจัย รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Shahada, T.M. and Alsyouf, I.. Design and Implementation of a Lean Six Sigma Framework for Process Improvement: a Case Study. IEEE, 2012.

[2] Tenali, S., Ganti, R.S. and Taranikanth, K. Implementing lean six sigma to improve the ratio of admissions to placements in an academic year: statistical and psychological case study of a technical institute. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai, UAE, March 3-5, 2015.

[3] Feili, H.R., Akar, N., Lotfizadeh, H., Bairampour, M., Nasiri, S. Risk analysis of geothermal power plants using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) technique. *Energy Conversion and Management*, 2013; 72: 69-76.

[4] Douglas C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments. John Wiley & Sons, Inc, 2008.

[5] นิรุบล กาญจนางกูรพันธุ์. การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชนิดใช้ฮีตปั๊มร่วมกับท่อแลกเปลี่ยนความร้อน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[6] รุจิรา อุไรพงษ์. การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

[7] Pirompugd, W., Wang, C.C., Wongwises, S. A review on reduction method for heat and mass transfer characteristics of fin-ans-tube heat exchanges under dehumidifying conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2009; 52: 2370-2378.

[8] Li, H., Chen, Q., Zhang, X., Finney, K.N., Sharifi, V.N., Swithenbank, J. Evaluation of a biomass drying process using waste heat from process industries: A case study. *Applied Thermal Engineering*, 2012; 35: 71-80.

[9] Luk, H.T., Lam, T.Y.G., Oyedun, A.O., Gedreegziabher, T. Drying of biomass for power generation: A case study on power generation from empty fruit bunch. *Energy*, 2013; 63: 205-215.