การวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในกระบวนการอบขนม
The Analysis of the Loss of Energy in Baking Process

อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ[1*] ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์[1] และวรพจน์ พันธุ์คง[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม 61 ถนนพหลโยธิน
แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม 61 ถนนพหลโยธิน
แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
*E-mail : apirak.sa@spu.ac.th โทร 02-5791111 โทรสาร 02-5611721

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานในกระบวนการอบย่างขนม วัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิงของกระบวนการผลิตซึ่งใช้พลังงานความร้อนในการอบย่างจากเชื้อเพลิงก๊าซ LPG การวิเคราะห์ปัญหาของเตาที่ใช้ แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ และทำการแก้ไขตามแนวทางที่กำหนด โดยเริ่มจากปัญหาการรั่วของเปลวไฟจากบริเวณแผ่นรอง fiber paper จนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนและแก้ไขโดยใช้เครื่องมือช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองซึ่งเป็นเทคนิคทางด้านสถิติและความน่าจะเป็น โดยใช้วิธีของ DOE (Design of Experiment) ช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่ากำหนดการบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ fiber paper ใหม่ ก่อนการรั่วไหลจะเกิดขึ้นและจะลดการสูญเสียพลังงานต่อหัวเผาก๊าซ 1 ตัว คิดเป็นค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงก๊าซเฉลี่ย 183,202.56 บาท/ปี กรณีการเปลี่ยนชุดเติมอากาศของชุดหัวเผาแก๊ส LPG หลังปรับปรุงแก้ไขให้เป็นการเติมอากาศแบบธรรมชาติจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากชุดโบเวอร์ และทำให้การไหลของอากาศมีลักษณะเป็น Laminar มากขึ้น ผลประหยัดสำหรับเตาอบย่าง 1 เตาเฉลี่ย 12,672 บาท/ปี ส่วนสุดท้ายเป็นการพิจารณาการขยายตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนชุดจับยึดแผ่นเซรามิคภายใต้ความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนและนำมาทดสอบความเสียหายรวมทั้งประเมินอายุการใช้งานของชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม COSMOS V.2009 พบว่า มีอายุการใช้งานที่เหมาะสมประมาณ 4,000 Life/การทำงาน 2 รอบต่อวัน ผลการทำนายพบว่าอายุการปรับเปลี่ยนก่อนเกิดการชำรุดและเสียหายอยู่ที่ประมาณ 10 ปี

คำหลัก : การประหยัดพลังงาน / เตาอบ / LPG / เซรามิค

Abstrac

This article is about studying and analyzing the loss of energy in baking process. The objective is to discover the ways to save energy and reduce the fuel costs in the manufacturing process used the heat from LPG. The analysis of using the oven is divided into three categories and then the leaking problem of flame from the fiber paper causing the loss of heat is solved. The solution is to use the tool that designs and analyzes the experiment. This is a technique of statistic and possibility by using DOE (Design of Experiment) that helps analyzing. It's shown that scheduling the maintenance or changing the

new fiber paper before leaking will reduce the loss of energy of one gas burner. That will cost approximately 183,202.56 baht a year. In case of changing the air pump of LPG burner, after filling the oxygen, it can reduce the loss of energy from the blower and make the laminar flow of air. This costs 12,672 baht a year of saving one oven. The last part is to consider the expanding of ceramic sheet from heat. Under the stress, COSMOS V.2009 is used to test the damages and evaluation of shelf life, and the appropriately shelf life is 4,000 life/ 2 times a day The result of prediction is that the shelf life before damaging is 10 years.

Keywords: **:** Energy saving / oven / LPG / ceramic

1.บทนำ

จากสถานการณ์ในปัจจุบัน พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจ และความมั่นคงของประเทศการสนับสนุนให้มีการเจริญเติบโตทางธุรกิจอุตสาหกรรมธุรกิจบริการรวมทั้งอาคารสูงต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและการแก้ปัญหาโดย การเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าของภาครัฐฯ ต้องประสบปัญหามากมาย ทั้งจากการต่อต้านจากราษฎรในพื้นที่ งบประมาณจัดสรรในการลงทุน และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสภาพแวดล้อม เป็นสาเหตุที่ทำให้การดำเนินงานนั้นเป็นไปได้ค่อนข้างยาก อาจทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนกระแสไฟฟ้าตามมา โดยเฉพาะภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งต้องอาศัยพลังงานเป็นปัจจัยหลักในการผลิต การใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดจะช่วยให้เกิดผลดีต่อสภาพเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศเป็นอย่างมาก

บทความนี้เป็นการวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนในเตา เพื่อหาวิธีในการประหยัดพลังงานจากเชื้อเพลิงก๊าซ LPG ในกระบวนการผลิตขนม โดยเลือกกระบวนการอบย่างขนม ซึ่งมีการใช้ความร้อนในกระบวนการย่างเพื่อให้ขนมสุกพอง กรรมวิธีการศึกษาเริ่มจากการสมดุลพลังงานความร้อนภายในเตาย่างรวมทั้งพฤติกรรมของผู้ควบคุมการใช้งานเตาย่างเพื่อดูการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์หรือจากกรรมวิธีในการใช้งานจากนั้นจึงใช้มาตรการที่สามารถทำได้ทันทีและมีผลกระทบกับกระบวนการผลิตน้อยสุดเพื่อทำให้เกิดการประหยัดก๊าซ LPG การศึกษาที่ได้จากโครงการนี้สามารถนำไปใช้ได้กับกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร ที่มีลักษณะการใช้พลังงานในเครื่องจักรที่ใกล้เคียงกัน

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

ในกระบวนการอบขนมจะใช้เครื่องจักรที่เรียกว่าเตาอบ ทำหน้าที่ในการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ขนมจนทำให้ขนมมีความกรอบก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการปรุงรสต่อไป ลักษณะของเตาอบขนมแบ่งออกได้ 2 แบบด้วยกันคือแบบ Auto Oven และ Long Oven ดังรูปที่ 1 และ 2

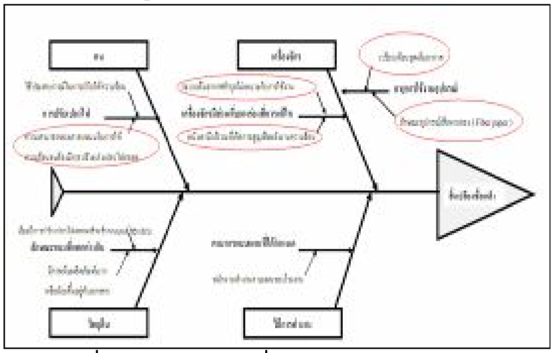
รูปที่ 1 เตาอบแบบ Auto Oven

รูปที่ 2 เตาอบแบบ Long Oven

การให้ความร้อนของเตาอบขนม โดยใช้การเคลื่อนที่ของภาชนะที่บรรจุผลิตภัณฑ์ เคลื่อนที่ไปบนสายพานลำเลียงพร้อมทั้งในขณะที่เคลื่อนที่ก็มีการให้ความร้อนโดยผ่านอุปกรณ์ชุดของหัวแก๊สที่มีอยู่ตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ของภาชนะที่บรรจุผลิตภัณฑ์อยู่ โดยเตาย่างขนมทั้ง 2 ประเภท มีหลักการทำงานเหมือนกัน แต่ความต้องการของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหมือนกัน คือ เตาอบแบบ auto ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมีความนุ่ม ส่วนเตาอบแบบ long oven ต้องการผลิตภัณฑ์ที่แห้งและกรอบ จำนวนของเตา auto oven จะมีจำนวน 6 เตาและ long oven จำนวน 5 เตา เวลาทำงานเฉลี่ย 8 ช.ม./วัน 290 วัน/ปี เชื้อเพลิงก๊าซ LPG ที่ใช้เฉลี่ย 100,000 kg/เดือน คิดเป็นค่าใช้จ่ายประมาณ 1.5 ล้านบาท/เดือน

3. วิธีการและวางแผนการทดลอง

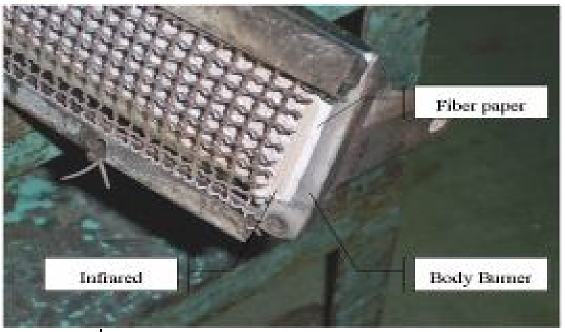
จากการศึกษาระบบการผลิตและเครื่องจักรที่ใช้เตาอบขนมทำให้ทราบปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วได้ทำการแยกปัญหาออกเป็นส่วนๆ โดยใช้แผนผังก้างปลาเป็นตัวช่วยในการพิจารณา ลักษณะของปัญหาที่พบแสดงในผังก้างปลาในรูปที่ 3 และแบ่งออกเป็น



รูปที่ 3 ผังก้างปลาที่ใช้ในการค้นหามาตรการ

3.1 การศึกษารอยรั่วของแผ่นรอง Fiber paper

เตาอบแบบ Auto และเตาอบแบบ Long Oven ใช้หัวเผาพ่นกาซให้ความร้อน ขณะที่ใช้ไประยะหนึ่งจนเกิดชำรุดและควรปรับปรุงแก้ไขส่วนของแผ่นรอง โดยลักษณะของแผ่นรอง fiber paper ซึ่งเป็นส่วนประกอบชุดหัวเผา มีลักษณะเป็นแผ่นสีขาวทำหน้าที่เป็นตัวรองระหว่างตัวโครงของหัวเผากับแผ่นอินฟาเรด (Infrared) ที่ทำมาจากแผ่นเซรามิคดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของชุดหัวเผา

ลักษณะการรั่วของเปลวไฟจากบริเวณ fiber paperจนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนไปกับสิ่งแวดล้อมมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 บริเวณ Fiber paper ที่เกิดการรั่วไหล

อัตราการสูญเสียความร้อนเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยจำนวนเตาอบแบบ Auto มีอยู่จำนวน 6 เครื่อง พร้อมทั้งหัวเผาจำนวน 30 หัวเผาและเตาอบแบบ Long Oven มีจำนวน 5 เครื่อง พร้อมทั้งหัวเผาจำนวน 60 หัวต่อหนึ่งเครื่อง

3.1.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบไปด้วย

$$Q = \forall \times V \qquad (1)$$

โดยที่ Q = อัตราการสูญเสียความร้อนต่อชั่วโมง kJ/h

$\forall$ = อัตราการไหลเชิงปริมาตร m^3 / h

V = อัตราการสูญเสียความร้อนผ่านช่องเปิด kJ/m^3 โดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การสูญเสียความร้อนผ่านช่องเปิด

อัตราการสูญเสียความร้อนผ่านช่องเปิด (kJ/m^3)									
อุณหภูมิก๊าซร้อนภายในเตาหรือผ่านช่องเปิด (°C)	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300	1,400
อัตราการสูญเสียความร้อน (kJ/m^3)	350.5	384.0	413.7	447.2	466.7	490.3	512.7	532.2	549.2
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันเตาซี (L/h/m^3)	0.0092	0.0102	0.0108	0.0117	0.0122	0.0128	0.0134	0.0139	0.0144
ถ่านหินบิทูมินัส (kg/h/m^3)	0.0133	0.0146	0.0157	0.0170	0.0177	0.0186	0.0194	0.0202	0.0208
ก๊าซธรรมชาติ (Nm^3/h/m^3)	0.0096	0.0105	0.0113	0.0122	0.0127	0.0134	0.0140	0.0145	0.0150

หมายเหตุ : คิดที่อัตราการไหลของก๊าซร้อนออกที่ 1 m^3/h อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 35 °C

จากการประเมินพบว่ามีการสูญเสียความร้อนเท่ากับ 148.5 MJ/h คิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซ LPG ต่อหนึ่งหัวเผาเท่ากับ 5.58 liter/ h หรือ 16,070.4 liter/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายแก็ส เท่ากับ 183,202.56 บาท/ปี

3.1.2 การแก้ไขในหัวข้อนี้เป็นการใช้ข้อมูลทางสถิตเข้ามาช่วย คือ การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง (Design Of Experiment : DOE) ช่วยในการแก้ไขปัญหา และวางแผนกำหนดระยะเวลาในการปรับเปลี่ยนชุด fiber paper ก่อนที่จะเกิดการรั่วไหลจนเป็นการสูญเสีย

3.2 การศึกษาเปรียบเทียบชุดหัวเผาแก็ส LPG แบบเติมอากาศโดยธรรมชาติและเติมอากาศด้วยโบเวอร์

3.2.1 การเติมอากาศด้วยโบเวอร์ เป็นการเปลี่ยนพลังงานในรูปแบบพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลทำให้เกิดการหมุนของแกนมอเตอร์โดยจับยึดติดกับใบพัดด้านในของชุดโบเวอร์ สิ่งที่ได้คืออัตราการไหลของอากาศแล้วนำไปใช้งานตามต้องการ โดยทางโรงงานใช้อากาศเป็นอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงแล้วนำความร้อนที่ได้ไปใช้งาน

3.2.2 การเติมอากาศแบบธรรมชาติ เป็นการให้อากาศไหลเข้าทางช่องว่างซึ่งสามารถปรับเพิ่มหรือลดปริมาณอากาศที่ไหลเข้าได้ตามปริมาณที่ต้องการ ปัจจุบันการปรับปริมาณอากาศจะอาศัยประสบการณ์ของพนักงานฝ่ายผลิต ซึ่งจะใช้การสังเกตจากเปลวไฟที่แสดงให้ได้ภายในเตา เมื่อเปลวไฟมีสีเหลืองแสดงว่าปริมาณอากาศมากเกินไป แต่ถ้าเปลวสีน้ำเงินแสดงว่าปริมาณอากาศน้อย

รูปที่ 6 ชุดเติมอากาศแบบเก่าของโบเวอร์

ผลการที่ได้จากการปรับเปลี่ยนชุดเติมอากาศจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับ มอเตอร์โดยคำนวณได้จาก

$$\text{Useful Energy} = P \times N \times OP.hr \quad (2)$$

โดยที่ Useful Energy = พลังงานที่ใช้, kWh / ปี

P = กำลังของมอเตอร์, kW

N = จำนวนมอเตอร์, ตัว

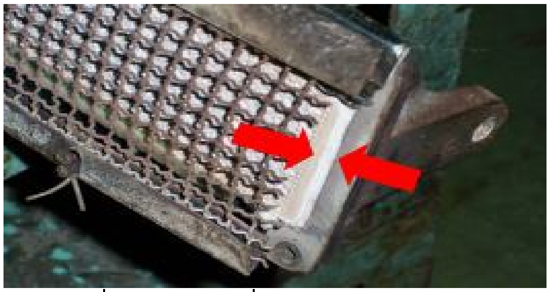
OP.hr = ชั่วโมงทำงานต่อปี

ขนาดของมอเตอร์ที่ใช้กับโบเวอร์มีขนาด 1 HP ชั่วโมงใช้งาน 2,816 ชม/ปี เตา 1 ตัวจะมีโบเวอร์จำนวน 2 ชุด เปิดพร้อมกัน

3.3 การศึกษาขยายตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนที่มีผลต่อชุดหัวเผา

การพิจารณาการขยายตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อน (thermal stress analysis) ที่เกิดการขยายตัวของชุดจับยึดแผ่นเซรามิกที่ทำจากโลหะเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นและลดความร้อนลงเป็นระยะเวลานานๆหลายครั้งจนเกิดยืดตัวของเหล็ก

ความเป็นจริงแล้วในการตรวจสอบการยืดตัวของชิ้นงานนั้นไม่สามารรถมองด้วยตาเปล่าได้ เพราะการยืดตัวมีระยะไม่มาก แต่เมื่อทำงานไประยะเวลานานๆ ก็จะขยายตัวออก จากข้อมูลส่วนนี้ได้ใช้ซอฟแวร์ COSMOS V.2009 ช่วยการทำนายลักษณะการยืดตัวที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตของชิ้นงาน



รูปที่ 7 ระยะห่างที่ได้รับผลจากความร้อน

จากสมการที่ (1) โดยพิจารณาขนาดของรอยรั่วเท่ากับ 0.1 m^2 ต่อ 1 หัวเผา จะได้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเท่ากับ 10.24 ลิตร/ปี ปริมาณความร้อนที่สูญเสีย 232.7 MJ/h คิดเป็นน้ำมันที่ใช้เท่ากับ 29,503.23 ลิตร/ปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ 336,336.82 บาท/ปี

4. การทดสอบและผลการประหยัด

ผลประหยัดได้แสดงเป็นส่วน ๆ ตามวิธีการที่กำหนดไว้ในข้อที่ 3 ดังนี้

4.1 การแก้ไขปัญหารอยรั่วของ Fiber paper

ใช้เครื่องมือช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองซึ่งเป็นความรู้ทางด้านสถิติและความน่าจะเป็นในการทำนาย การกำหนดการบำรุงรักษาหรือเปลี่ยน Fiber paper ใหม่ก่อนการรั่วไหลของความร้อนที่เป็นจุดกำหนดการสูญเสียพลังงาน ข้อมูลผู้ผลิตทำให้ทราบว่า ชั่วโมงการทำงานอยู่ในช่วงประมาณ 720 ชั่วโมงหรือประมาณ 3 เดือนภายใต้การทำงานเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน และอุณหภูมิที่กำหนดไว้ในการทำงานเฉลี่ย 120 °C และจากการเก็บข้อมูลไดผลแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลการใช้งานและข้อมูลจากผู้ผลิต

ลำดับ	จำนวนชั่วโมงของผู้ผลิต ($\bar{x}$)	จำนวนชั่วโมงการทำงาน (μ)	ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน (S)
1	720 ชั่วโมง	680	40
2	720 ชั่วโมง	700	20
3	720 ชั่วโมง	652	68
4	720 ชั่วโมง	678	42
5	720 ชั่วโมง	698	22
6	720 ชั่วโมง	700	20
7	720 ชั่วโมง	600	120
8	720 ชั่วโมง	670	50
9	720 ชั่วโมง	660	60
10	720 ชั่วโมง	690	30
11	720 ชั่วโมง	693	27
12	720 ชั่วโมง	692	28
เฉลี่ย	-	676	43.9

H_0 ; $\mu > 676$ (เฉลี่ยทำงานได้จริง)

H_i ; $\mu < 676$ (เฉลี่ยทำงานได้จริง)

เนื่องจากไม่ทราบค่าความแปรปรวนทางสถิติ ดังนั้น จึงคำนวณหาได้จากสมการที่ 3

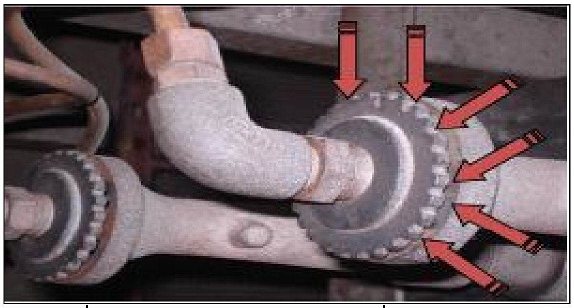
$$\sigma = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}} \qquad (3)$$

โดยที่ $\bar{x}$ คือ จำนวนที่กำหนดไว้ H_0 คือ สมมติฐานหลัก, s คือ ค่าเบี่ยงเบน H_i คือ สมมติฐานรอง n คือจำนวนชิ้น σ คือ ค่าความแปรปรวน, P คือ ระดับนัยสำคัญ μ_0 คือ ข้อกำหนด

จากสมการที่ 3 คำนวณได้ค่า σ เท่ากับ 3.6 P ($T_{(11)}$ > 3.6) ยอมรับ H_0 เปลี่ยนได้ตามที่กำหนดนั่นหมายความว่าควรทำการเปลี่ยนแผ่น fiber paper ก่อนจำนวนชั่วโมงการทำงาน 676 ชั่วโมงหรือภายในจำนวน 85 วันไม่รวมวันหยุด และต้องทำงานไม่เกินวันละ 8 ชั่วโมง

4.2 การเปรียบเทียบชุดเติมอากาศแบบธรรมชาติ

การปรับเปลี่ยนการเติมอากาศแบบธรรมชาติจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโบเวอร์ลงได้

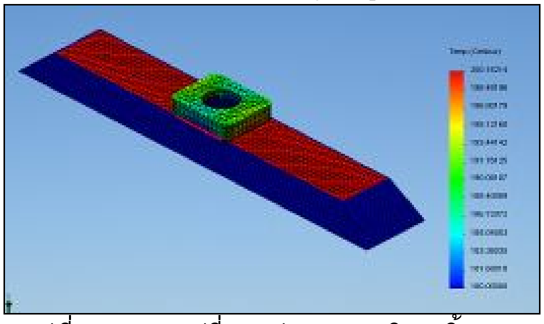


รูปที่ 8 ลักษณะชุดกรองอากาศที่ได้จัดทำใหม่

ลดการใช้โบเวอร์เติมอากาศจำนวน 2 ตัวของเตาย่างหมายเลข 4 ใช้เงินลงทุนประมาณในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ประมาณ 3,000 บาท/เตา ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 12,672 บาท/ปี/เตา โดยมีระยะเวลาคืนทุน 0.24 ปี/เตา

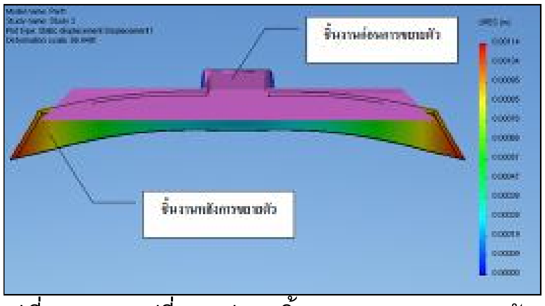
4.3 ผลจากความร้อนที่มีผลต่อการขยายตัวชุดหัวเผา

การพิจารณาการขยายตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อน (thermal stress analysis) พร้อมทั้งในส่วนของการเกิดการขยายตัวของชุดจับยึดแผ่นเซรามิค การวิเคราะห์ทางด้านความร้อนที่สภาวะอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามเวลา (transient thermal analysis) โดยโปรแกรม cosmos ได้ผลสรุปดังรูปที่ 9

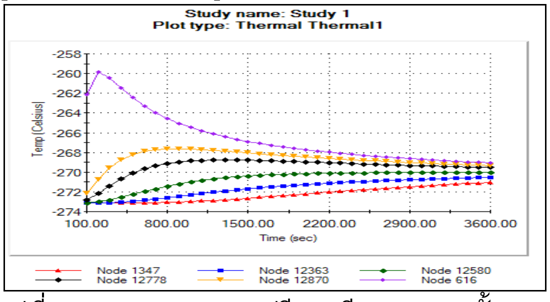


รูปที่ 9 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชิ้นงาน

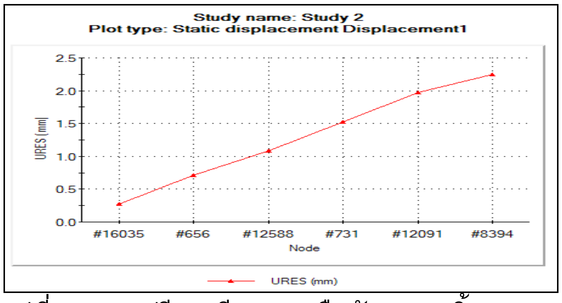
จากรูปที่ 9 พบว่าอุณหภูมิที่เกิดการสะสมอยู่บริเวณพื้นที่สีแดงเมื่อวัสดุได้รับความร้อนเกิดการเปลี่ยนสถานะพร้อมทั้งลดความแข็งแรงลง หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลต่อเนื่อง คือ การวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อน thermal stress analysis



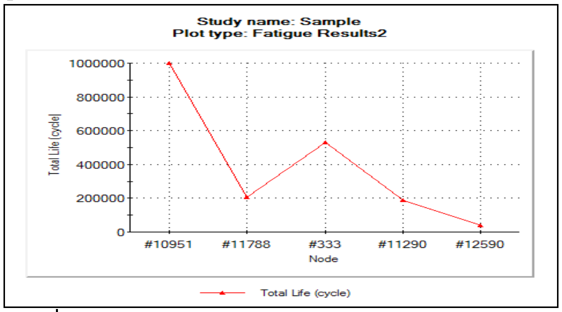
รูปที่ 10 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานจากจากความเค้น



รูปที่ 11 ผลการทดลองเปรียบเทียบ node ทั้งหมดของชิ้นงาน



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบระยะยืดกับ node ชิ้นงาน



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบอายุการใช้งานกับ node ชิ้นงาน

ผลการทดสอบความเสียหาย (fatigue analysis) ที่มีผลจากความร้อน สามารถจะประเมินอายุการใช้งานของชิ้นงานพบว่าบริเวณสีแดงของดังรูปที่ 9 มีอายุอยู่ประมาณ 4,000 Life/การทำงาน 2 รอบต่อวัน ดังนั้นจึงทำนายได้ว่าอายุการปรับเปลี่ยนอยู่ที่ประมาณ 10 ปี แต่การทำงานไม่เกิน 6 ชั่วโมงต่อครั้งและรอบการทำงานไม่เกิน 2 รอบ อุณหภูมิเป็นไปตามที่กำหนดไว้

5. สรุปผล

จากการศึกษาการสูญเสียพลังงานและนำไปสู่มาตรการประหยัดพลังงานในเตาอบขนม ซึ่งผลประหยัดที่ได้ก็มีทั้งที่เห็นผลได้ทันทีเป็นการแก้ปัญหาที่เป็นส่วนหนึ่งที่ควรแก้ไขปรับปรุงของเตาอบขนม ผลการทำนายและกำหนดการบำรุงรักษา ลดปัญหาการสูญเสียในขณะทำงาน คิดเป็นการสูญเสียที่มากพอสมควร ในการทำนายอายุการใช้งานของรอยรั่ว fiber paper ทำให้กำหนดอายุการบำรุงรักษาได้ก่อนเกิดการสูญเสียจากการรั่วไหล พร้อมทั้งการปรับเปลี่ยนชุดเติมอากาศเป็นแบบธรรมชาติ แทนการใช้โบเวอร์เดิม ส่วนสุดท้ายเป็นการทำนายอายุการใช้งานของชุดหัวเผา ผลที่ออกมาอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี แต่มีข้อกำหนดที่ตั้งไว้ ถ้าหากเกิดการใช้งานที่มากขึ้นในช่วงเร่งการผลก็ส่งผลต่ออายุการใช้งาน fiber paperลดลง สรุปมาตรการที่สามารถทำได้และผลประหยัดที่เกิดขึ้นแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปผลประหยัดของแต่ละมาตรการ

มาตรการ	ผลประหยัด บาท / ปี	ระยะเวลาคืนทุน
การแก้ไขปัญหารอยรั่วของ Fiber paper	183,202.56	ทันที
การเปรียบเทียบชุดเติมอากาศแบบธรรมชาติ	12,672.00	0.24 ปี
ผลจากความร้อนที่มีผลต่อชุดหัวเผา	336,336.82	ทันที

จากตารางที่ 4 พบว่าโดยวิธีข้างต้นทำให้ได้ผลประหยัดรวมเป็นเงินประมาณ 529,211.38 บาท/ปี และลงทุนเพียงเล็กน้อยผลตอบแทนสูง ซึ่งน่าจะเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ได้อย่างแพร่หลายต่อไป

6. กิติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักนักงาน กองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรม ประจำปี 2552

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2551, "การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม" เอกสารประกอบการอบรมสัมมนาหลักสูตร การวิเคราะห์พลังงานในหม้อไอน้ำ, สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม, กันยายน 2551

[2] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ และคณะ, 2548, "การประหยัดไอน้ำในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง", การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548, โรงแรมเดอะรอยัลพาราไดส์,จ.ภูเก็ต หน้า 803-808

[3] ทวีศักดิ์ ศรีช่วย(2552). Solid Works 2009 Handbook, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ สสท.

[4] สายชล สินสมบูรณ์ทอง (2552), สถิติวิศวกรรม (Engineering Statistics), กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[5] Joseph E. Shigle ,(2003) Mechanical Engineering Design Sixth Metric edition , McGraw-hill.

[6] J.P.holman (1992), Heat Transfer , McGraw-hill.