



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6
The 6th STOU National Research Conference

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร
Greenhouse Gas Emission of Ceramic Tableware

แววตา วา่งงาน (Waewta Wangngan)¹ ไพรซ์ อุศุภรัตน์ (Phairat Usubharatana)²

หาญพล พึ่งรัมย์ (Harnpon Phunggrassami)³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารของวิสาหกิจขนาดเล็กโดยอาศัยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment (LCA) โดยทำการรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าขาออกรวมทั้งพลังงานในการผลิตของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีการขึ้นรูปต่างกัน จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ 1 เป็นจานสี่เหลี่ยม ขนาด 11 นิ้ว น้ำหนัก 0.200 กิโลกรัม ขนาด 20.5×20.5×2.3 เซนติเมตร กำหนดหน่วยหน้าที่เป็นพื้นที่คือหนึ่งตารางเมตร และผลิตภัณฑ์ที่ 2 คือ หม้อปรุงอาหาร (Casserole) น้ำหนัก 0.460 กิโลกรัม ขนาด 13.7×16.7×6.3 เซนติเมตร กำหนดหน่วยหน้าที่เป็นปริมาตร คือความจุหนึ่งลิตร โดยพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึง ณ หน้าโรงงานพร้อมส่งออก หรือที่เรียกว่า Cradle to gate งานวิจัยนี้ประเมินการใช้พลังงานโดยใช้ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ผลการศึกษาพบว่าการผลิตตั้งแต่เตรียมเนื้อดินจนได้เป็นผลิตภัณฑ์มีการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ที่ 1 และผลิตภัณฑ์ที่ 2 มีค่า SEC รวมเท่ากับ 25.65 GJ/ton และ 28.09 GJ/ton ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาเป็นหน่วยหน้าที่จะพบว่าค่าพลังงานเท่ากับ 0.122 GJ/m² และ 0.009 GJ/L ตามลำดับ โดยทั้งสองผลิตภัณฑ์มีการใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซแอลพีจีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 86.00 และ 78.51 ตามลำดับ ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ 1 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 12.309 kgCO₂eq/m² สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ 2 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.891 kgCO₂eq/L โดยกระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด ได้แก่ กระบวนการเผาเคลือบ คิดเป็นร้อยละ 65.25 และ 59.99 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิต สาเหตุเนื่องจากกระบวนการเผาเคลือบมีการใช้พลังงานสูงที่สุดเนื่องจาก ใช้อุณหภูมิสูงมากกว่า 1,200 องศาเซลเซียสในการเผาเคลือบ และใช้เวลาเผาที่ยาวนานมากกว่า 8 ชั่วโมงในการเผา

คำสำคัญ: การใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ waewta27@hotmail.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ uphairat@engr.tu.ac.th

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ผู้อำนวยการโครงการบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ pharnpon@engr.tu.ac.th



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6

The 6th STOU National Research Conference

Abstract

The objective of this study is to study the energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions from ceramic tableware production which produce from a small enterprise manufacturing plant. The Life Cycle Assessment (LCA) was used to collect data input, output and energy consumption in the ceramic production process. The data was collected from 2 products which different forming process. The first product is a square plate with size 11-inch (dimensions of 20.5×20.5×2.3 cm) and weight of plate is 0.200 kg/piece. The functional unit is area as Square centimeter (cm²). The second product is a Casserole with a mass of 0.460 kg/piece and the dimensions of 13.7×16.7×6.3 cm. The functional unit is volume as cubic meter (m³). The scope of this study was Cradle to Gate LCA. The specific energy consumption (SEC) was used to determine the energy efficiency. The results showed that the total energy consumption from two production processes was 25.65 GJ/ m² and 28.09 GJ/ton, respectively. The energy consumption determine by the functional unit was 0.122 GJ/m² and 0.090 GJ/L, respectively. The hotspot of energy consumption of both products was from liquefied petroleum gas (LPG) consumption during firing process. The amount of GHG emission was 12.309 kgCO₂eq/ m² and 0.891 kgCO₂eq/L, respectively. The glost firing process was found to be a hotspot of GHG emission almost 65.25% and 59.99 % of total GHG emission for production, respectively. The glost firing process was determined as a hotspot of GHG emission because this process was loaded the glazed plates into shuttle kiln for glost firing at 1,220°C for over 8 hour.

Keywords: Energy consumption, Greenhouse gas emission, Ceramic tableware



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6
The 6th STOU National Research Conference

บทนำ

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยซึ่งได้พัฒนาขึ้นเป็นอุตสาหกรรมผลิตเพื่อส่งออกโดยในปี พ.ศ. 2558 การส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกมีมูลค่ารวมประมาณ 818.14 ล้านบาทหรือร้อยละ 3.29 เนื่องจากการชะลอตัวของโครงการอสังหาริมทรัพย์ตามภาวะเศรษฐกิจของประเทศไทยซึ่งเป็นไปตามภาวะการชะลอตัวของเศรษฐกิจโลก (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559) อย่างไรก็ตามในปี 2559 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากมาตรการกระตุ้นเศรษฐกิจ รวมทั้งการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน ทำให้อุตสาหกรรมเซรามิก มีแนวโน้มขยายตัวไปในทิศทางเดียวกัน และจากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม พบว่า อุตสาหกรรมเซรามิก กลุ่มเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกไทย เนื่องจากมีมูลค่าการส่งออกสูงที่สุด (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559) เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เซรามิกกลุ่มต่างๆ ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้นบุผนัง เครื่องสุขภัณฑ์ ของชำร่วย เครื่องประดับ และผลิตภัณฑ์ลูกถ้วยไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกปี 2556-2558

มูลค่า : ล้านบาท

ผลิตภัณฑ์	ปี		
	2556	2557	2558
กระเบื้องปูพื้นบุผนัง	120.43	113.48	107.81
เครื่องสุขภัณฑ์	174.95	176.16	172.62
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร	198.00	224.59	219.01
ของชำร่วยและเครื่องประดับ	18.71	16.49	17.02
ลูกถ้วยไฟฟ้า	24.26	29.43	28.90
ผลิตภัณฑ์เซรามิกอื่นๆ	246.31	285.85	272.78
รวม	782.66	846.00	818.14

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559

ในด้านพลังงาน อุตสาหกรรมเซรามิกใช้พลังงานความร้อนและไฟฟ้า โดยสัดส่วนการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจะสูงกว่าการใช้ไฟฟ้า เนื่องจากต้องใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 800 - 2,000 ° C (Quinteiro P et al., 2012) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Panatda R & Siriluk C (2015) ได้ศึกษาการใช้พลังงานในการผลิตเซรามิก พบว่า มีสัดส่วนการใช้พลังงานจากแอลพีจีมากที่สุดในการบวนการเผา คิดเป็นร้อยละ 87.44 ของการใช้พลังงานทั้งหมด และกระบวนการเผาเคลือบมีการใช้พลังงาน ในการผลิตมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 70.19 ของการใช้พลังงานทั้งหมดในการผลิต นอกจากนี้ในกระบวนการเผายังมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูง จากการศึกษาของ Peng J et al. (2012) พบว่า ร้อยละ 80 ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดเกิดจากกระบวนการเผา



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6

The 6th STOU National Research Conference

และการอบแห้งซึ่งก๊าซดังกล่าวนอกจากเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแล้ว ยังเกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของสารประกอบคาร์บอเนต (Carbonate) ในวัตถุดิบบางตัวที่ใช้ผสมในเนื้อดินหรือ ในน้ำเคลือบ เช่น การใช้หินปูนโดโลไมท์ แบบเรียมคาร์บอเนต เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 800-1,100 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยา Calcination และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (Hanle L et al., 2006) ส่งผลทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกและก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการใช้พลังงานและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านสภาวะ โลกร้อนโดยประเมินจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารของวิสาหกิจ ขนาดเล็ก เพื่อหาแนวทางในการจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงานและการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก ซึ่งส่งผลให้ผู้ประกอบการเกิดความตื่นตัวเรื่องการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันในด้านสินค้าคาร์บอนต่ำของสินค้าส่งออกของไทยในตลาดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการเปลี่ยนแปลงกระบวนการพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกมาเป็นกระบวนการผลิตที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมมากขึ้น อีกทั้งยังสร้างภาพลักษณ์ที่ดีต่อการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทำให้ประชาชนเกิดความเชื่อมั่นและยอมรับการอยู่ร่วมกันกับโรงงานที่ดำเนินธุรกิจเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสอดคล้องกับนโยบายของกระทรวงอุตสาหกรรมในเรื่องการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนต่อไป (สำนักงานเศรษฐกิจสิ่งแวดล้อม, 2558)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการใช้ทรัพยากรและพลังงานที่เกิดขึ้นโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment (LCA) ของผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร
2. เพื่อคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร
3. เพื่อเสนอแนวทางและมาตรการลดการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษานี้ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment (LCA) รวบรวมข้อมูลสารเข้าและสารขาออกรวมทั้งพลังงานต่อรอบการผลิตของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีการขึ้นรูปต่างกัน 2 ผลิตภัณฑ์

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition)

งานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลจากโรงงานผลิตเครื่องใช้เซรามิกบนโต๊ะอาหารของวิสาหกิจขนาดย่อมแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี โดยทำการศึกษาการใช้ทรัพยากร และพลังงานเพื่อคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ที่มีวิธีการขึ้นรูปต่างกัน และมีหน่วยหน้าที่การทำงานต่างกัน โดยผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่ 1 ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรูปแรงดันสูง (Rampress machine) ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาคือ จานสี่เหลี่ยม ขนาด 11 นิ้ว น้ำหนัก 0.200 กิโลกรัม ขนาด 20.5× 20.5×2.3 เซนติเมตร (รูปที่ 1) กำหนดหน่วยหน้าที่เป็นพื้นที่คือหนึ่งตารางเมตร และผลิตภัณฑ์ที่ 2 ขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อน้ำดินเหลวลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ (Slip casting) ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาคือ หม้อปรุงอาหาร (Casserole) น้ำหนัก 0.460 กิโลกรัม ขนาด 13.7×16.7×6.3 เซนติเมตร (รูปที่ 2) กำหนดหน่วยหน้าที่เป็นปริมาตร คือความจุหนึ่งลิตร โดยพิจารณาก๊าซเรือน



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6
The 6th STOU National Research Conference

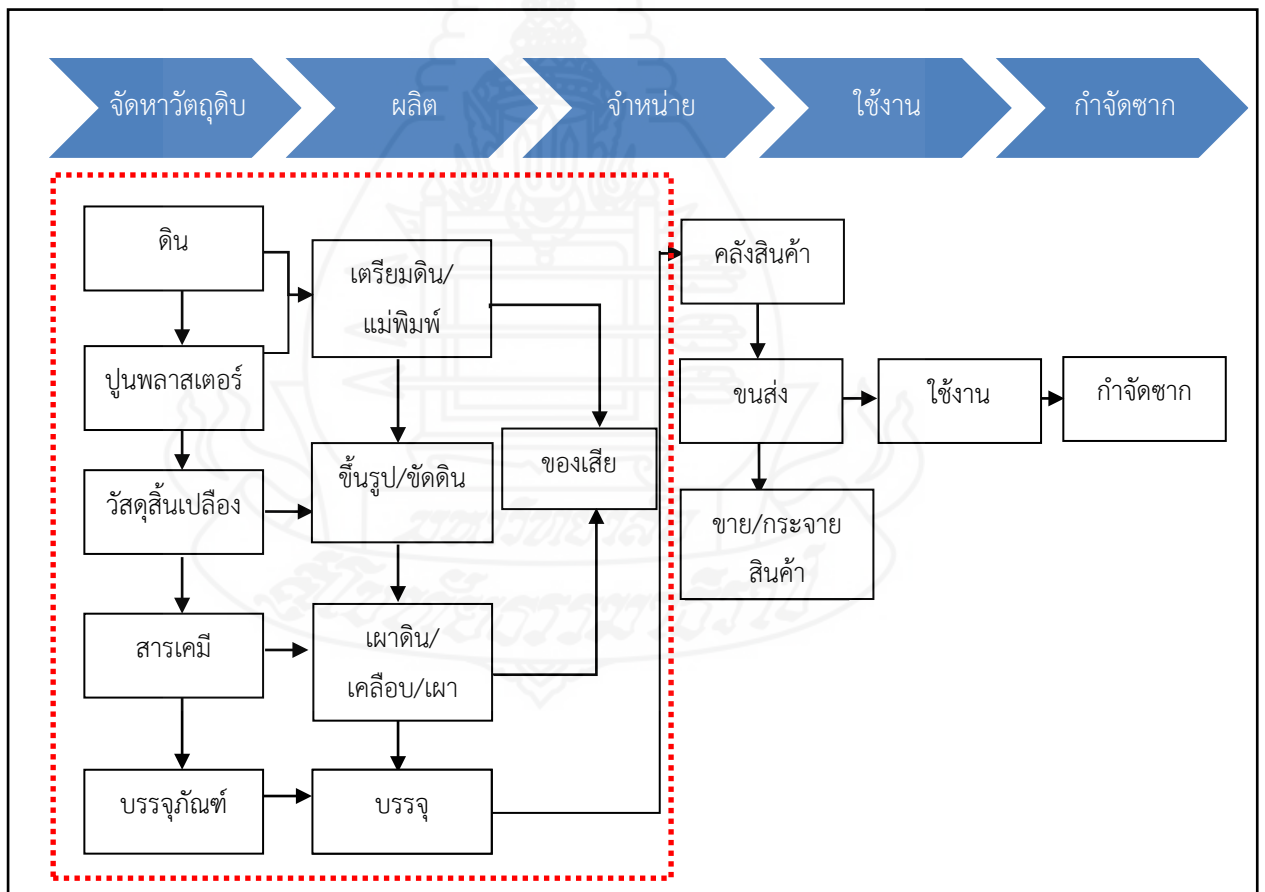
กระจุกตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึง ณ หน้าโรงงานพร้อมส่งออก หรือที่เรียกว่า Cradle to gate (รูปที่ 3) การเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2558



รูปที่ 1 จานสีเหลี่ยม ขนาด 11 นิ้ว
(Casserole)
ขนาด 20.5 x 20.5 x 2.3 ซม.



รูปที่ 2 หม้อปรุงอาหาร
ขนาด 13.7 x 16.7 x 6.3 ซม.



รูปที่ 3 ขอบเขตของระบบในการศึกษาวงจรชีวิตการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6

The 6th STOU National Research Conference

2. การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Inventory) ประกอบด้วย การสร้างแผนผังการไหลของกระบวนการ การเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต เพื่อหาปริมาณสารขาเข้า (Input) ได้แก่ ทรัพยากร พลังงาน และวัตถุดิบ ส่วนขาออก (Output) ได้แก่ ของเสียต่างๆ

3. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ทรัพยากร พลังงาน และวัตถุดิบที่ใช้ และทำการประเมินการใช้พลังงานโดยใช้ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน คำนวณ ได้ดังสมการที่ 1 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานและเชื้อเพลิงคำนวณได้ดังสมการที่ 2 และการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้สารประกอบคาร์บอนคำนวณได้ดังสมการที่ 3 (IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006)

$$SEC = \frac{\text{Energy Input (MJ)}}{\text{Product Output (ton)}} \quad (1)$$

โดยที่	SEC	คือ	ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (MJ/ton)
	Energy Input	คือ	ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในระยะเวลาหนึ่ง (MJ)
	Product Output	คือ	ปริมาณพลังงานผลผลิตในช่วงเดียวกัน (ton product)

$$GHG \text{ Emission} = \sum [\text{Activity data (Unit)} \times EF] \quad (2)$$

โดยที่	GHG Emission	คือ	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ eq)
	Activity data	คือ	ข้อมูลกิจกรรม (Unit)
	EF	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ eq/unit)

$$CO_2 \text{ Emission} = \sum M_i \times EFi \times Fi \quad (3)$$

โดยที่	CO ₂ Emission	คือ	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการ เผา
	M _i	คือ	ปริมาณของคาร์บอนชนิด i ที่ใช้ (kg Carbonate/kg)



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6

The 6th STOU National Research Conference

F_i	คือ	สัดส่วนการเผาไหม้ของคาร์บอนชนิด i (kg) (ในกรณี
ไม่ทราบ		สัดส่วนการเผาไหม้ของคาร์บอนที่ใช้ค่าสมมุติฐานว่า
สัดส่วน		การเผาไหม้มีค่าเท่ากับ 1)
i	คือ	ชนิดของสารประกอบคาร์บอน

4. การตีความและการวิเคราะห์เพื่อการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม (Interpretation and Improvement Analysis) การตีความและการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทำให้ทราบว่าช่วงชีวิตใดของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญสูงสุด รวมทั้งแหล่งที่มาของประเด็นปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นๆ การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบจะนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด ทั้งนี้การตีความและการแปลผลควรทำด้วยความระมัดระวังและอยู่บนพื้นฐานของขอบเขตการศึกษา เป้าหมาย วัตถุประสงค์การศึกษาของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ผู้ที่นำข้อมูลที่ได้ประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ และการจัดการสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างดีจึงสามารถเลือกแนวทางการจัดการเพื่อปรับปรุงประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมของแต่ละผลิตภัณฑ์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและขาออกของแต่ละกระบวนการ เพื่อศึกษาการใช้พลังงานและคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ที่มีวิธีการขึ้นรูปต่างกัน และมีหน่วยหน้าที่การทำงานต่างกัน กระบวนการผลิตดังรูปที่ 3 สำหรับข้อแตกต่างระหว่าง 2 ผลิตภัณฑ์คือ ผลิตภัณฑ์ที่ 1 ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรูปแรงดันสูง (Rampress machine) ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาคือ จานสี่เหลี่ยม ขนาด 11 นิ้ว น้ำหนัก 0.200 กิโลกรัม ขนาด $20.5 \times 20.5 \times 2.30$ เซนติเมตร โดยทางโรงงานมีการซื้อดินสำเร็จรูปที่เป็นดินแห้ง ทำให้ไม่ต้องมีการบดผสมเนื้อดิน แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ที่ 2 ที่ขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อหน้าดินเหลวลงในแม่พิมพ์ปูนพลาสติก (Slip casting) ซึ่งต้องมีการบดผสมเนื้อดินลงในหม้อบดให้ได้เป็นน้ำดินเพื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปต่อไป

ปริมาณสารขาเข้าในการผลิตหลักคือ ดิน น้ำ น้ำเคลือบ ไฟฟ้าและเชื้อเพลิงแอลพีจี ของเสียที่ออกมาจะอยู่ในรูป สูญเสียความชื้นจากชิ้นงานและของเสียประเภทงานขึ้นรูปเสีย เศษดินที่เหลือจากการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยเฉพาะจากกระบวนการเผา ทั้งเผาบิสกิตและการเผาเคลือบ เนื่องจากการสูญเสียหรือความชื้นในตัวน้ำเคลือบ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเนื้อดิน และการสลายตัวของสารประกอบคาร์บอน สำหรับของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำแม่พิมพ์ กระบวนการเตรียมน้ำดิน และกระบวนการขึ้นรูปถูกนำมาบดผสมในน้ำดินทำให้สามารถใช้งานได้อีก

การศึกษาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption ; SEC)

จากการศึกษาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption ; SEC) ของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ แสดงได้ดังตารางที่ 2 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ 1 ที่มีการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรูปแรงดันสูง (Rampress



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6

The 6th STOU National Research Conference

machine) และผลิตภัณฑ์ ที่ 2 ที่มีการขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อหน้าดิน (Slip casting) มีค่า SEC รวมเท่ากับ 25.65 GJ/ton และ 28.09 GJ/ton ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาเป็นหน่วยพื้นที่ จะพบว่าค่าพลังงานเท่ากับ 0.122 GJ/m² และ 0.009 GJ/L ตามลำดับ โดยพลังงานใช้ในการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าในกระบวนการเตรียมเนื้อดินและกระบวนการขึ้นรูป และพลังงานความร้อนจากก๊าซแอลพีจีที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาปัสกิตและการเผาเคลือบ เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานทั้งสองชนิด พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 2 มีการใช้พลังงานความร้อนจากก๊าซแอลพีจีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 86.00 และ 78.51 ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาจากเอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอโลหะของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2550) ระบุว่าค่า SEC benchmarking ของอุตสาหกรรมเซรามิกแบ่งตามประเภทผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารมีค่าอยู่ในช่วง 22.35-38.80 GJ/ton

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption ; SEC) ของ 2 ผลิตภัณฑ์

กระบวนการ	ชนิดพลังงาน	ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรูปแรงดันสูง (Rampress machine)				ขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อหน้าดิน (Slip casting)			
		SEC ไฟฟ้า (kWh/ton)	SEC ความร้อน (GJ/ton)	SEC รวม (GJ/ton)	ร้อยละ	SEC ไฟฟ้า (kWh/ton)	SEC ความร้อน (GJ/ton)	SEC รวม (GJ/ton)	ร้อยละ
การทำแม่พิมพ์	ไฟฟ้า	1.29	-	0.01	0.05	1.28	-	0.01	0.05
เตรียมเนื้อดิน	ไฟฟ้า	55.70	-	0.57	2.23	498.17	-	5.12	18.24
ขึ้นรูป	ไฟฟ้า	228.63	-	2.35	9.17	24.03	-	0.25	0.88
การขัดดิน	ไฟฟ้า	24.35	-	0.25	0.98	24.31	-	0.25	0.89
เผาปัสกิต	LPG	-	5.51	5.51	21.50	-	5.51	5.51	19.62
ชุบเคลือบ	ไฟฟ้า	22.97	-	0.24	0.92	22.93	-	0.24	0.84
เผาเคลือบ	LPG	-	16.54	16.54	64.50	-	16.54	16.54	58.89
บรรจุ	ไฟฟ้า	16.07	-	0.17	0.64	16.05	-	0.17	0.59
รวม		349.01	22.06	25.65	100.00	586.77	22.06	28.09	100.00

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเครื่องใช้เซรามิกบนโต๊ะอาหาร

ผลการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเครื่องใช้เซรามิกบนโต๊ะอาหาร ตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิต จนถึง ณ หน้าโรงงานพร้อมส่งออก แสดงได้ดังตารางที่ 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ 1 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 12.309 kgCO₂eq/m² โดยเกิดจากกระบวนการผลิตมากที่สุด ในปริมาณ 8.013 kgCO₂eq/m² หรือคิดเป็นร้อยละ 65.10 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด รองลงมาเป็น การได้มาซึ่งวัตถุดิบ ในปริมาณ 3.952 kgCO₂eq/m² หรือคิดเป็นร้อยละ 32.10 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ 2 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.891 kgCO₂eq/m² โดยเกิดจากกระบวนการผลิตมากที่สุด ในปริมาณ 0.603 kgCO₂eq/m² หรือคิดเป็น ร้อยละ 67.71 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด รองลงมาเป็น การได้มาซึ่งวัตถุดิบ ในปริมาณ 0.267 kgCO₂eq/m² หรือคิดเป็นร้อยละ 29.91 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6
The 6th STOU National Research Conference

ตารางที่ 3 กระบวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสองผลิตภัณฑ์

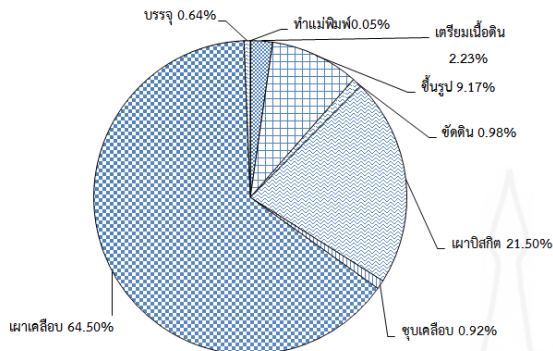
กระบวนการ	ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรูปแรงดันสูง (Rampress machine)	ร้อยละ	ขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อหน้าดิน (Slip casting)	ร้อยละ
	GHG Emission (kgCO ₂ eq/m ²)		GHG Emission (kgCO ₂ eq/L)	
การได้มาซึ่งวัตถุดิบ	3.952	32.10	0.267	29.91
การขนส่ง	0.344	2.80	0.021	2.38
การผลิต	8.013	65.10	0.603	67.71
รวม	12.309	100.00	0.891	100.00

อภิปรายผลการศึกษา

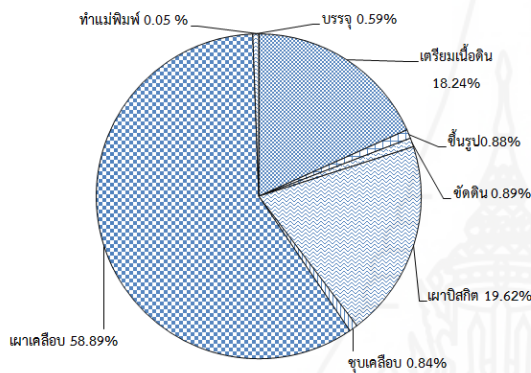
จากผลการศึกษาจากการศึกษาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption ; SEC) ของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ โดยสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4 โดยผลิตภัณฑ์ที่ 1 กระบวนการที่มีการใช้พลังงานสูงที่สุด คือ กระบวนการเผาเคลือบ คิดเป็นร้อยละ 64.50 ของการใช้พลังงานทั้งหมดในการผลิต รองลงมาเป็นการเผาอบสี คิดเป็นร้อยละ 21.50 และกระบวนการขึ้นรูป คิดเป็นร้อยละ 9.17 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ 2 กระบวนการที่มีการใช้พลังงานสูงที่สุด คือ กระบวนการเผาเคลือบ คิดเป็นร้อยละ 58.89 ของการใช้พลังงานทั้งหมดในการผลิต รองลงมาเป็นการเผาอบสี คิดเป็นร้อยละ 19.62 และกระบวนการเตรียมเนื้อดิน (บดผสมดิน) คิดเป็นร้อยละ 18.24 สาเหตุที่กระบวนการเผาเคลือบมีการใช้พลังงานสูงที่สุดเนื่องจากใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,200 องศาเซลเซียสในการเผาเคลือบ และใช้เวลาเผาที่ยาวนานมากกว่า 8 ชั่วโมงในการเผา ขณะที่การเผาอบสีใช้อุณหภูมิประมาณ 650 องศาเซลเซียสในการเผาขึ้นงาน และใช้เวลาเผาประมาณ 4 ชั่วโมงในการเผา สำหรับขั้นตอนการเตรียมเนื้อดิน ผลิตภัณฑ์ที่ 1 ไม่ต้องการบดผสมเนื้อดินเนื่องจากทางโรงงานซื้อดินสำเร็จรูป (ดินแห้ง) ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานในการขึ้นรูปมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ 2 เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ 2 ต้องมีการบดผสมเนื้อดินลงในหม้อบดซึ่งต้องใช้เวลานาน (มากกว่า 8 ชั่วโมง) บดผสมให้ได้เป็นน้ำดินเพื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปต่อไป



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6
The 6th STOU National Research Conference



ผลิตภัณฑ์ที่ 1 ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรูปแรงดันสูง
(Rampress machine)



ผลิตภัณฑ์ที่ 2 ที่มีการขึ้นรูปด้วยชิ้นรูปโดยวิธีการหล่อน้ำดิน
(Slip casting)

รูปที่ 4 สัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ

ผลการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเครื่องใช้เซรามิกบนโต๊ะอาหาร (พิจารณาเฉพาะกระบวนการผลิต) โดยทำการประเมินกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตที่มาจาก 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า การใช้พลังงานจากก๊าซแอลพีจี และจากการใช้สารประกอบคาร์บอเนต (Carbonate) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้งสองผลิตภัณฑ์ แสดงได้ดังตารางที่ 4 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ 1 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเกิดจากการใช้ก๊าซแอลพีจีมากที่สุด ในปริมาณ $6.703 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2$ หรือคิดเป็นร้อยละ 86.67 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่เกิดจากการผลิต และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารประกอบคาร์บอเนตในปริมาณ $0.019 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2$ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.25 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ 2 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิตเกิดจากการใช้ก๊าซแอลพีจีมากที่สุด ในปริมาณ $0.449 \text{ kgCO}_2\text{eq/L}$ หรือคิดเป็นร้อยละ 79.42 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่เกิดจากการผลิต และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารประกอบคาร์บอเนตในปริมาณ $0.002 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2$ หรือคิดเป็นร้อยละ 0.42 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการผลิต



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6
The 6th STOU National Research Conference

ตารางที่ 4 กระบวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสองผลิตภัณฑ์ (พิจารณาเฉพาะกระบวนการผลิต)

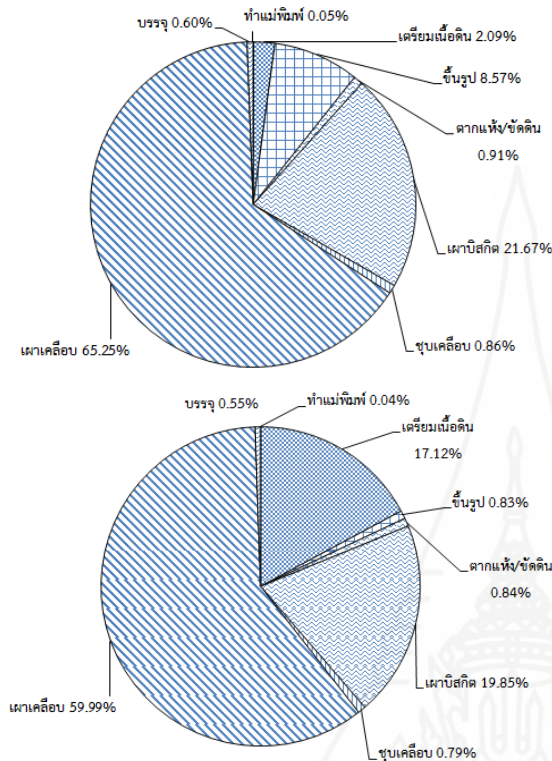
กระบวนการ	ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรูปแรงดันสูง (Rampress machine)					ขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อขึ้นดิน (Slip casting)				
	GHG Emission (kgCO ₂ eq/m ³)			รวม	ร้อยละ	GHG Emission (kgCO ₂ eq/L)			รวม	ร้อยละ
	LPG	ไฟฟ้า	Carbonate			LPG	ไฟฟ้า	Carbonate		
การทำแม่พิมพ์		0.004		0.004	0.05		0.000		0.000	0.04
เตรียมเนื้อดิน		0.162		0.162	2.09		0.097		0.097	17.12
ขึ้นรูป		0.663		0.663	8.57		0.005		0.005	0.83
ตากแห้ง/ขัดดิน		0.071		0.071	0.91		0.005		0.005	0.84
เผาบิสกิต	1.676			1.676	21.67	0.112			0.112	19.85
ชุบเคลือบ		0.067		0.067	0.86		0.004		0.004	0.79
เผาเคลือบ	5.027		0.019	5.046	65.25	0.337		0.002	0.340	59.99
ตรวจสอบคุณภาพ บรรจุ		0.047		0.047	0.60		0.003		0.003	0.55
รวม	6.703	1.012	0.019	7.734		0.449	0.114	0.002	0.566	
ร้อยละ	86.67	13.09	0.25	100.00	100.00	79.42	20.16	0.42	100.00	100.00

เมื่อพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกระบวนการผลิต ตั้งแต่การทำแม่พิมพ์จนเป็นผลิตภัณฑ์ แสดงดัง รูปที่ 5 พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ 1 กระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด ได้แก่ กระบวนการเผาเคลือบ คิดเป็นร้อยละ 65.25 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่เกิดจากการผลิต รองลงมาได้แก่ กระบวนการเผาบิสกิต กระบวนการขึ้นรูป และกระบวนการเตรียมเนื้อดิน โดยคิดเป็นร้อยละ 21.6, 8.57 และ 2.09 ตามลำดับ ส่วนกระบวนการมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณน้อย ได้แก่ กระบวนการทำแม่พิมพ์ ชุบเคลือบ ขัดดิน ตรวจสอบคุณภาพและบรรจุ กระบวนการเหล่านี้ใช้แรงงานคนเป็นหลัก และในขั้นตอนการตากแห้งอาศัยการผึ่งลมให้ขึ้นงานแห้งตามธรรมชาติ

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ 2 กระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด ได้แก่ กระบวนการเผาเคลือบ คิดเป็น ร้อยละ 59.99 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดทั้งหมดที่เกิดจากการผลิต รองลงมาได้แก่ กระบวนการเผาบิสกิต กระบวนการเตรียมเนื้อดิน และกระบวนการขึ้นรูป โดยคิดเป็นร้อยละ 19.85, 17.12 และ 0.83 ตามลำดับ



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6
The 6th STOU National Research Conference



ผลิตภัณฑ์ที่ 1 ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรูปแรงดันสูง
(Rampress machine)

ผลิตภัณฑ์ที่ 2 ที่มีการขึ้นรูปด้วยขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อน้ำดิน
(Slip casting)

รูปที่ 5 สัดส่วนการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกระบวนการผลิต ของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ

แนวทางและมาตรการการลดการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการศึกษาการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตเครื่องใช้เซรามิกบนโต๊ะอาหาร พบว่ากระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดอยู่ในขั้นตอนกระบวนการเผาเป็นหลัก โดยมากกว่าร้อยละ 80 ของการใช้พลังงานทั้งหมดของการผลิตทั้งสองผลิตภัณฑ์เกิดจากการใช้ก๊าซแอลพีจี สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการเผาบิสกิตและการเผาเคลือบ

จากการศึกษาข้อมูลเตาเผาของโรงงานที่ศึกษา พบว่า เตาเผาของโรงงานเป็นเตาเผาขัดเตล ซึ่งผนังเตาใช้เซรามิก ไฟเบอร์ปูเป็นฉนวน โดยที่เซรามิกไฟเบอร์จะมีอายุการใช้งานประมาณ 6-7 ปี เมื่อใช้เตาไปนานๆ อาจมีฉนวนเซรามิกไฟเบอร์บางจุดที่บางลงหรือมีรอยร้าว ทำให้ขณะเผาความร้อนสามารถรั่วไหลไปยังผนังเตาได้ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ดังนั้นทางโรงงานควรมีการปรับปรุงเตาเผาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยตรวจเช็คและซ่อมแซมวัสดุฉนวนภายในเตาอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดการสูญเสียความร้อน



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6

The 6th STOU National Research Conference

สำหรับแนวทางการปรับปรุงทำได้โดยใช้ไฟเบอร์และอิฐทนความร้อนที่มีคุณภาพสูงป้องกันความร้อนได้อย่างดี โดยใช้ไฟเบอร์ขนาด 30x60 เซนติเมตร ใช้อิฐที่มีคุณภาพสูงน้ำหนักเบา ภายใต้อุณหภูมิที่มีความแข็งแรงโดยเปลี่ยนเป็นเตาเผาแบบไฟเบอร์ การบำรุงรักษาเตาเผาและเทคนิคการเผาผลิตภัณฑ์ก่อนเผาและหลังเผาทำให้ใช้เวลาเผาน้อยลง สำหรับการเปลี่ยนเฉพาะเซรามิกไฟเบอร์ที่ผนังและประตูเตา จะสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 15 (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553) และจากข้อมูลการศึกษาดังกล่าว ได้นำมาเป็นแนวทางกรณีศึกษาก่อนและหลังการปรับปรุงเตาเผา เพื่อประเมินปริมาณพลังงานที่ลดลงจากการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาเผา ทำให้ลดการใช้ก๊าซแอลพีจีจากการเผาเคลือบลงร้อยละ 15 และจากตารางที่ 5 พบว่าหากมีการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาเผาจะทำให้การเผาเคลือบผลิตภัณฑ์ที่ 1 และผลิตภัณฑ์ที่ 2 มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงร้อยละ 6.94 และ 6.39 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ที่ หลังทำการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาเผา

กระบวนการ	ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรูปแรงดันสูง (Rampress machine)		รูปโดยวิธีการหล่อหน้าดิน (Slip casting)	
	GHG Emission (kgCO ₂ eq/m ²)		GHG Emission (kgCO ₂ eq/L)	
	ก่อนปรับปรุงเตาเผา	หลังปรับปรุงเตาเผา	ก่อนปรับปรุงเตาเผา	หลังปรับปรุงเตาเผา
การได้มาซึ่งวัตถุดิบ	3.952	3.852	0.267	0.260
การขนส่ง	0.344	0.343	0.021	0.021
การผลิต	8.013	7.259	0.603	0.553
รวม	12.309	11.454	0.891	0.834

ข้อเสนอแนะ

- ควรศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติม เช่น ศึกษาสัดส่วนแต่ละกระบวนการที่ทำให้เกิดการลดลงของทรัพยากรแร่ธาตุและเชื้อเพลิงฟอสซิล และศึกษาความเป็นพิษต่อมนุษย์ เป็นต้น
- ควรศึกษาแนวทางและมาตรการลดการใช้พลังงานในเชิงเทคนิคที่เหมาะสมและคุ้มค่ากับการลงทุน ควรเสนอแนะถึงโอกาสในการปรับปรุง (Improvement Opportunities) ให้มีแนวทางที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อลดการใช้พลังงาน และลดศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อนในรูปของก๊าซเรือนกระจกเพื่อให้ผู้ผลิตมีการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีในการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 6
The 6th STOU National Research Conference

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2550), เอกสารเผยแพร่ โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงาน ในอุตสาหกรรมโลหะ, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2559.

<http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib11138.pdf>

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2553). การดำเนินงานโครงการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, สืบค้นเมื่อวันที่ 3 สิงหาคม 2559

<http://www.erd.cmu.ac.th/index.php/content/95?category=19>

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2558), นโยบายการพัฒนาอุตสาหกรรมและมาตรการขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรมของรัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม (ดร.อรรถภา สืบญเรือง), สืบค้นเมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม 2559.

http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/news_oiepr/news-oiepr-1-2559.pdf

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2558), รายงานสรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี 2558 และแนวโน้มปี 2559, สืบค้นเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2559.

http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/industry_overview/r_octdec58.pdf

Hanle, L., Maldonado, P., Onuma, E., Tichy, M. (2006). Chapter 2: Mineral industry emissions. 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 3, 2006, pp.2.35.

Panatda, R., Siriluk, C. (2015). Energy Consumption and Greenhouse Gas Emission from Ceramic Tableware Production: A Case Study in Lampang, Thailand. *Energy Procedia*, 79, 98–102

Peng, J., Zhao, Y., Jiao, L., Zheng, W., Zeng, L. (2012). CO₂ emission calculation and reduction options in ceramic tile manufacture: the Foshan case. *Energy Procedia*, 16, 281–304.

Quinteiro, P., Araújo, A., Dias, C., Oliveira, B., and Arroja, L. (2012). The carbon footprint and energy consumption of a commercially produced earthenware ceramic piece. *Journal of the European Ceramic Society*, 32, 2087–2094.