รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ

สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม

โดย นายอนุชา วรรณก้อน และคณะ

25 พฤศจิกายน 2558

สัญญาเลขที่ RDG5750048

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. นายอนุชา วรรณก้อน	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
2. นายปริญญา สมร่าง	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
3. นางภัทรวรรณ เฉยเจริญ	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
4. นางสาววัชรี สอนลา	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
5. นายสิทธิศักดิ์ ประสานพันธ์	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
6. นายวิทยา ทรงกิตติกุล	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ RDG5750048

โครงการ “การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม”

รายงานฉบับสมบูรณ์

บทสรุปผู้บริหาร

อุตสาหกรรมเซรามิก เป็นอุตสาหกรรมการผลิตพื้นฐานที่มีการจ้างงานและใช้วัตถุดิบหลักภายในประเทศ แต่เนื่องจากมีต้นทุนพลังงานที่ค่อนข้างสูง และเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องมีการควบคุมคุณภาพ และมีเทคโนโลยีการผลิตหลากหลายเพื่อป้องกันการสูญเสีย จึงมีความจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการด้านต้นทุนการผลิตและการจัดการสิ่งแวดล้อม ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (ศว.) จึงได้ดำเนินการโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและการผลิตที่อุณหภูมิต่ำสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม ในการนำเทคโนโลยีดังกล่าว ไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ช่วยลดของเสียหรือลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต และส่งเสริมให้อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนของอุตสาหกรรมเซรามิก ผ่านกิจกรรมการประชาสัมพันธ์โครงการ การเข้าไปประเมินทางเลือกในการใช้เทคโนโลยี การเข้าไปดำเนินการปรับปรุงการผลิตของโรงงาน และการประเมินผล โดยโครงการได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

โครงการฯ ได้รับโรงงานขนาดกลางและขนาดย่อม ที่สนใจและมีความพร้อมในการเข้าร่วมโครงการทั้งหมด 8 โรงงาน แบ่งเป็นโรงงานอิฐและกระเบื้องมุงหลังคา 3 โรงงาน อยู่ในจังหวัดอ่างทองและฉะเชิงเทรา เป็นผู้ผลิตขนาดกลางที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ดินเผาทั้งแบบเคลือบและไม่เคลือบสำหรับการก่อสร้าง มีการเผาโดยใช้เตาแก๊ส ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 1000-1200^{o}C มีปัญหาของเสียทั้งในกระบวนการผลิตและของเสียของเสียเหลือทิ้งที่ต้องการนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์จำนวนมาก และเนื่องจากมีการใช้สารตะกั่วเป็นส่วนผสมของเคลือบ จึงมีความต้องการในการพัฒนาเคลือบไร้สารอุณหภูมิต่ำสำหรับใช้กับผลิตภัณฑ์ของโรงงาน เพื่อลดมลพิษและผลกระทบที่จะเกิดต่อคนงานและสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นยังมีโรงงานเครื่องปั้นดินเผา 4 โรงงาน ในกลุ่มด่านเกวียน ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก มีการผลิตแบบดั้งเดิม กล่าวคือใช้แรงงานคนในการปั้นขึ้นรูป และใช้ฟืนในการเผาที่อุณหภูมิต่ำในช่วง 950-1100^{o}C และเคลือบโดยใช้สีอะคลิริกพ่นทับ ซึ่งผู้ประกอบการหลายรายจึงมีความต้องการในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเคลือบเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม และยังมีความต้องการใช้ของเสียขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ให้เป็นประโยชน์เพื่อให้โรงงานมีการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และยังมีโรงงานเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร 1 โรงงาน ในจังหวัดนครปฐม เป็นโรงงานขนาดกลางที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ขาวประเภทพอร์เซเลนสำหรับนำไปตกแต่งเป็นผลิตภัณฑ์เบญจรงค์ ซึ่งโรงงานมีของเสียในกระบวนการผลิตพอสมควร และมีความต้องการใช้

เทคโนโลยีสะอาด เพื่อลดของเสีย ลดการใช้พลังงานในการเผา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้ดีขึ้นกว่าเดิม

จากการเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูล และนำเสนอแนวทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำในโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ พบว่าโรงงานกลุ่มผู้ผลิตอิฐและกระเบื้องในจำนวน 3 โรงงาน มี 1 โรงงานที่ได้เลือกรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้เคลือบไร้สารตะกั่วอุณหภูมิต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจากการลดต้นทุนวัตถุดิบและต้นทุนพลังงานรวม 26.00% และ 1 โรงงานที่เลือกนำเทคโนโลยีสะอาดเพื่อการใช้วัตถุดิบให้มีประโยชน์สูงสุด จากการนำเศษบิสกิตมาพัฒนาเป็นกระเบื้องและอิฐจีโอโพลีเมอร์ ช่วยทำให้มีการนำของเสียมาเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่และใช้พลังงานในการผลิตลดลง คิดเป็นประสิทธิภาพการผลิตที่เพิ่มขึ้นรวม 22.03% และอีก 1 โรงงานที่ใช้เทคโนโลยีสะอาดโดยการลดของเสียในกระบวนการผลิตสามารถทำได้โดยการปรับปรุงกระบวนการเตรียมดิน จึงช่วยให้โรงงานสามารถลดของเสียจากกระบวนการผลิตได้ 15.00% ทำให้ภาพรวมของอุตสาหกรรมในกลุ่มผู้ผลิตกระเบื้องมีประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นได้ประมาณ 21.01%

สำหรับโรงงานเครื่องปั้นดินเผาในกลุ่มด่านเกวียน ได้แนะนำการใช้เทคโนโลยีสะอาดในการนำของเสียมาทำให้เกิดประโยชน์และการใช้เทคโนโลยีการผลิตเคลือบที่อุณหภูมิต่ำมาใช้ร่วมกัน โดยแต่ละโรงงานจะมีความต้องการใช้เคลือบที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิในการเผา จึงได้พัฒนาเคลือบขี้เถ้าใสและสีสำหรับเผาในช่วง 950–1050°C จำนวน 4 สูตร ตลอดจนแนะนำการวิธีการเคลือบผลิตภัณฑ์ และการปรับปรุงเตาเผาเพื่อพัฒนาเคลือบที่เหมาะสมสำหรับการเผาของแต่โรงงาน ซึ่งถ้าโรงงานทำการผลิตเคลือบใช้เองจะทำให้โรงงานทั้ง 4 โรงงาน มีนำของเสียในการผลิตมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น 9.79%, 11.75%, 5.77% และ 8.49% หรือโดยเฉลี่ยแล้วคิดเป็น 8.95% ส่วนโรงงานที่เป็นผู้ผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารจำนวน 1 โรงงานนั้น ได้แนะนำวิธีการวิเคราะห์ทดสอบเพื่อควบคุมการผลิตทั้งในส่วนของการขึ้นรูปและการเผา ทำให้โรงงานสามารถลดของเสียลดลง 21% และมีการใช้พลังงานในการเผาลดลงได้ถึง 27.27%

จากการประเมินผลของการพัฒนาโรงงานที่เข้าร่วมโครงการทั้งหมด โดยการใช้เทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 16.36% ซึ่งหลักการ วิธีการ และผลการดำเนินงานโดยใช้เทคโนโลยีดังกล่าว นอกจากจะมีการถ่ายทอดให้กับบุคลากรของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการโดยตรงแล้ว ยังได้ถ่ายทอดให้กับบุคลากรโรงงานและผู้ที่สนใจทั่วไปผ่านงานสัมมนาจำนวน 2 ครั้ง โดยมีผู้ที่เข้ารับการถ่ายทอดทั้งหมด 82 คน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของโครงการนี้ จึงเป็นตัวอย่างในการพัฒนาที่ได้ผล และนับได้ว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้อุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศสามารถพัฒนาได้อย่างยั่งยืนต่อไป

สัญญาเลขที่ RDG5750048

โครงการ “การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม”

รายงานฉบับสมบูรณ์

บทคัดย่อ

โครงการฯ ได้ดำเนินการนำเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ให้กับโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อมที่เข้าร่วมโครงการ จำนวน 8 โรงงาน ซึ่งประกอบไปด้วยโรงงานกระเบื้องมุงหลังคา 3 โรงงาน โรงงานเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร 1 โรงงาน และโรงงานเครื่องประดับตกแต่งและของชำร่วย 4 โรงงาน โดยได้มีการถ่ายทอดสูตรเคลือบไร้สารตะกั่วให้โรงงานนำไปใช้ทดแทนเคลือบตะกั่วที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม มีการนำของเสียจากการผลิตเซรามิกมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ และการนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาพัฒนาเป็นเคลือบอุณหภูมิต่ำเพื่อให้โรงงานใช้เคลือบผลิตภัณฑ์และเผาในช่วงอุณหภูมิ 950–1100^{o}C ตลอดจนมีการเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหาตำหนิที่ทำให้เกิดของเสีย และการควบคุมคุณภาพในการผลิต ซึ่งทำให้โรงงานสามารถลดต้นทุนทั้งวัตถุดิบและพลังงาน รวมทั้งสามารถลดของเสียหรือนำของเสียไปใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 16.36% การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของโครงการนี้ จึงนับได้ว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้อุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศสามารถพัฒนาได้อย่างยั่งยืนต่อไป

Abstract

In this project, the clean technology and low temperature technologies were used to apply for increasing the production efficiency of small and medium-sized ceramics industries. There are 8 factories participating which are three roof tile factories, one tableware factory and four ornaments/giftware factories. The unleaded glaze has been transferred to the factory which was using an environmental harmful lead glaze. Some new products have been developed from the factories wastes. Also, the low temperature glazes were developed from firewood ash for gloss firing in the temperature range 950-1100^{o}C. Additionally, quality control technique and defect analysis have been introduced to the factories to reduce loss from the production process. These implementations allowed the factories to reduce the cost of both raw materials and energy as well as controlled their loss or used their wastes for developing the new products. As a result, the production efficiency of participating factories on average increased 16.36%. Thus, the application of these technologies could be one way of the sustainable development for the country's ceramics industry.

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	I
บทคัดย่อ	III
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	3
1.3 แนวคิดและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
1.4 ผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรม	7
2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
1.1 เทคโนโลยีสะอาดและการประยุกต์ใช้	8
1.2 เทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำและการประยุกต์ใช้	9
3. วิธีการดำเนินงาน	
3.1 กรอบแนวคิดในการดำเนินงาน	14
3.2 ขอบเขตการดำเนินงาน	16
3.3 วิธีการดำเนินงานและกิจกรรมในโครงการ	17
3.4 แผนการดำเนินการ	21
4. ผลงานวิจัย	
4.1 การประชาสัมพันธ์โครงการ	24
4.2 ข้อมูลโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ	24
4.3 แนวทางเลือกในการพัฒนาและความเป็นไปได้	26
4.4 การดำเนินการพัฒนาตามแนวทางเลือก	28
4.5 การประเมินผลการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตตามแนวทางเลือก	33
4.6 การพัฒนาการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	35
4.7 การเผยแพร่ผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี	36
5. สรุปผลการวิจัย	37
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	40
ก. ข้อมูลการดำเนินงานในแต่ละโรงงาน	1-8
ข. เอกสารแนบ	

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมการผลิตพื้นฐานที่ใช้วัตถุดิบหลักภายในประเทศ และผลิตผลิตภัณฑ์สนับสนุนอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมยานยนต์ ตลอดจนอุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีฐานการผลิตภายในประเทศที่เข้มแข็ง มีความพร้อมทางด้านการผลิตเพื่อการส่งออก และมีขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรม ตลาดส่งออกของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่สำคัญ โดยแยกตามประเภทของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 1) ผลิตภัณฑ์ประเภทกระเบื้องปูพื้นบุผนัง ตลาดส่งออกที่สำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย ลาว พม่า มาเลเซีย 2) ผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องสุขภัณฑ์ ตลาดส่งออกที่สำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ลาว จีน กัมพูชา 3) ผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ตลาดส่งออกที่สาคัญ คือ สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร ญี่ปุ่น เยอรมนี เนเธอร์แลนด์ 4) ผลิตภัณฑ์ประเภทของชำร่วยและเครื่องประดับ ตลาดส่งออกที่สาคัญ คือ เยอรมนี ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร อิตาลี 5) ผลิตภัณฑ์ประเภทลูกถ้วยไฟฟ้า ตลาดส่งออกที่สาคัญ คือ จีน สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ไต้หวัน มาเลเซีย ส่วนตลาดที่เป็นคู่แข่งขันของอุตสาหกรรมเซรามิกไทย อาทิ จีน อินโดนีเซีย อิตาลี สเปน เวียดนาม เป็นต้น

อุตสาหกรรมเซรามิกสามารถทำรายได้จากการส่งออกได้ถึง 794.07 ล้านเหรียญสหรัฐฯ หรือราว 25,359.63 ล้านบาทต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2555) การส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกมีการเติบโตเพิ่มขึ้น 14.36% ในตลาดหลักทั้งสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น และสามารถขยายตัวได้ดีในตลาดอาเซียน อุตสาหกรรมเซรามิกมีประมาณ 1,000 โรงงาน ก่อให้เกิดการจ้างงานประมาณ 85,000 คน (โครงการศึกษาวิเคราะห์และเตือนภัย SMEs รายสาขา, สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2550) และจากการศึกษาของสถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร่วมกับศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ในโครงการต้นแบบการพัฒนาเครือข่ายวิสาหกิจอุตสาหกรรมเซรามิก สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม 2547 พบว่า โรงงานส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดกลางและขนาดย่อมที่ตั้งรวมกันเป็นกลุ่มวิสาหกิจ (Cluster) ในจังหวัดต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งพื้นที่กลุ่มวิสาหกิจการผลิตเซรามิกในประเทศไทยออกได้เป็น 7 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ลำปาง เชียงใหม่ นนทบุรี นครราชสีมา สมุทรสาคร ราชบุรี และสระบุรี โดยกลุ่มอุตสาหกรรมที่อยู่ในคลัสเตอร์เดียวกัน จะมีความเกี่ยวข้องสอดคล้องกันในการประกอบธุรกิจ นอกจากนี้การจัดเป็นคลัสเตอร์ ยังมีประโยชน์ในด้านการมองเห็นภาพรวมของห่วงโซ่อุปทาน (Supply

Chain) เพื่อพัฒนาเป็นกลุ่มที่เข้มแข็งในการแข่งขันและการทำการค้าการลงทุน เพื่อรองรับการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนต่อไป

การก้าวไปสู่การเป็นประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community: AEC) อย่างสมบูรณ์ ในปี พ.ศ.2558 นับเป็นโอกาสของการเติบโตทางเศรษฐกิจของ SMEs ไทย แต่ในขณะเดียวกันก็อาจเป็นภัยคุกคามต่อ SMEs ได้เช่นกัน ทั้งนี้ SMEs ไทยจะต้องเร่งปรับตัวและเร่งพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขัน เพื่อรองรับการแข่งขันที่จะเกิดขึ้นในภูมิภาคอาเซียน โดยการวิเคราะห์ ภาคการผลิตในกลุ่มอุตสาหกรรมเซรามิกนั้น พบว่าประโยชน์ที่ผู้ประกอบการ SMEs คาดว่าจะได้รับจากการเข้าร่วมเป็นประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน ประกอบด้วยการเป็นศูนย์กลางทางการค้าของกลุ่มอุตสาหกรรมก่อสร้างและเซรามิกในอาเซียน (Construction Hub of Southeast Asia) การขยาย/ย้ายฐานการผลิตไปประเทศ CLMV (กัมพูชา ลาว พม่า เวียดนาม) เพื่อทำตลาดและสร้างฐานการผลิตรองรับการเติบโตของโครงการก่อสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐานและความเจริญทางเศรษฐกิจ และการนำเข้าวัตถุดิบจากประเทศอาเซียน ซึ่งการให้ได้มาตามความคาดหวังดังกล่าว ผู้ประกอบการ SMEs จะต้องมีการบริหารจัดการด้านต้นทุนการผลิต การพัฒนาการใช้เทคโนโลยีเพื่อการออกแบบ และควบคุมมาตรฐาน การบริหารจัดการการผลิต เทคโนโลยีและเครื่องจักร ต้นทุนการขนส่ง และ Logistics ที่แข่งขันได้ (รายงานสถานการณ์วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ปี 2554 และปี 2555, สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2555)

ด้วยการแข่งขันที่คาดว่าจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ทำให้เกิดเป็นปัญหาและอุปสรรคในการส่งออกของอุตสาหกรรมเซรามิก ไม่ว่าจะเป็นในด้านการพัฒนารูปแบบสินค้า ด้านการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ด้านการขาดแคลนบุคลากรเฉพาะทาง รวมไปถึงด้านมาตรการทางการค้าระหว่างประเทศ ดังนั้นการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน จำเป็นอย่างยิ่งที่อุตสาหกรรมควรจะเน้นทางด้านการพัฒนา และยกระดับการรวมกลุ่มคลัสเตอร์ของอุตสาหกรรม โดยแนวทางในการยกระดับกลุ่มคลัสเตอร์ คือการขจัดข้อกีดขวางในการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตและการบริหาร การสนับสนุนการศึกษาอบรมและการฝึกฝนบุคลากร และการสนับสนุนให้ความช่วยเหลือการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน เพื่อยกระดับความสามารถทางการแข่งขันจากตลาดภายในประเทศไปสู่ตลาดต่างประเทศ และเตรียมความพร้อมในการเปิดการค้าเสรี สร้างโอกาสในการหาช่องทางที่จะเข้าถึงตลาดใหม่ๆ โดยเฉพาะในตลาดประเทศเกิดใหม่ รวมถึงตลาดของกลุ่มชนชั้นกลางที่มีแนวโน้มการขยายจำนวนเพิ่มมากขึ้น

การบริหารจัดการด้านต้นทุนการผลิตเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก โดยการลดต้นทุนทางด้านพลังงานกำลังได้รับความสนใจและเป็นที่ต้องการเป็นอย่างมาก เนื่องจากอุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่สูง (Intensive energy consumption) และปัจจุบันได้รับความเดือดร้อนอย่างหนัก จากนโยบายการปรับราคาพลังงานที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มผู้ประกอบการ SMEs ที่ใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อเทียบจากต้นทุนการผลิตโดยรวมของอุตสาหกรรมแล้วพบว่า ต้นทุนทางด้านพลังงานมีสัดส่วนสูงถึงประมาณ 30-40% ของต้นทุนการผลิตโดยรวม ดังนั้นการขึ้นราคาเชื้อเพลิง LPG จึงเป็นปัญหาใหญ่ที่สร้างความ

เดือดร้อนให้กับผู้ประกอบการ SMEs เป็นจำนวนมาก ซึ่งตัวแทนของภาคอุตสาหกรรมก็ได้ออกมาเรียกร้องให้ภาครัฐเร่งหาแนวทางแก้ไขปัญหาและให้การช่วยเหลืออย่างจริงจัง

นอกจากนี้การใช้พลังงานสูงของภาคอุตสาหกรรม ก็ถูกมองว่าเป็นสาเหตุของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปัญหาภาวะโลกร้อน การสร้างความตระหนักและแสดงความรับผิดชอบต่อปัญหาดังกล่าว จึงเป็นแนวทางในการดำเนินงานของหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง เพื่อผลักดันให้มีการพัฒนาอุตสาหกรรมไปสู่ Green Manufacturing อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิก SMEs ในกลุ่มวิสาหกิจต่างๆ ยังคงประสบปัญหาการขาดแคลนองค์ความรู้ในการวิจัยและพัฒนา เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานสากล พร้อมๆ ไปกับการลดต้นทุนในกระบวนการผลิต ดังนั้น โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการใช้เทคโนโลยีสะอาดและการผลิตที่อุณหภูมิต่ำสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อมนี้ ซึ่งเป็นการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเพื่อลดการใช้พลังงาน ช่วยทั้งในเรื่องการบริหารจัดการและลดต้นทุนการผลิต และส่งเสริมการจัดการด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อันได้แก่ การประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดในการผลิต การลดอุณหภูมิการเผาของผลิตภัณฑ์เซรามิก และการเลิกใช้สารเคมีอันตราย เช่น ตะกั่ว ในกระบวนการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถตอบโจทย์ความต้องการของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิก SMEs ได้เป็นอย่างดี

โดยการบริหารจัดการด้านต้นทุนการผลิตและการจัดการสิ่งแวดล้อมในโครงการฯ สามารถตอบสนองต่อแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ.2555-2559) ยุทธศาสตร์การปรับโครงสร้างเศรษฐกิจสู่การเติบโตอย่างมีคุณภาพและยั่งยืน ที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัย และนวัตกรรม ให้เป็นพลังขับเคลื่อนการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจให้เติบโตอย่างมีคุณภาพและยั่งยืน และสนับสนุนต่อ นโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2555-2559) ที่เน้นการบูรณาการด้านการวิจัยที่สอดคล้องกับแนวนโยบายและยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ ตามยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 การสร้างศักยภาพและความสามารถเพื่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ มุ่งเน้นการวิจัยเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตทางอุตสาหกรรม การพัฒนาด้านพลังงาน โลจิสติกส์ และเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยคำนึงถึงบทบาทการแข่งขันของประเทศภายใต้การเปลี่ยนแปลง เพื่อรองรับการก้าวสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community – AEC) โดยดำเนินการบนพื้นฐานของปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง และมุ่งให้เกิดประโยชน์เชิงพาณิชย์และสาธารณะ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการมุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยี เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศไทย และให้ความสำคัญกับการสร้างโครงสร้างพื้นฐานและโครงสร้างสนับสนุนสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรม เพื่อให้เกิดรากฐานที่มั่นคงในการต่อยอดสำหรับการพัฒนาต่อไป โดยโครงการมีวัตถุประสงค์ในการดำเนินการ ดังนี้

1) เพื่อนำเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ ไปใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกอย่างเป็นรูปธรรม
2) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการลดของเสีย หรือลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต
3) เพื่อพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานไปสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืนของอุตสาหกรรมเซรามิก
4) เพื่อส่งเสริมให้อุตสาหกรรมเซรามิก เป็นอุตสาหกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

1.3 แนวคิดและหลักการที่เกี่ยวข้อง

โครงการใช้แนวคิดและหลักการของเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ มาดำเนินการเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้กับอุตสาหกรรมเซรามิก ดังนี้

1.3.1 แนวคิดและกลวิธีทางด้านเทคโนโลยีสะอาด

"เทคโนโลยีสะอาด" คือเทคโนโลยีการผลิตเชิงอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้วัตถุดิบและพลังงานในการผลิต ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต โดยการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ บริการ และกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดของเสียที่แหล่งกำเนิด เป็นการลดภาระในการกำจัดของเสีย เพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม และช่วยสร้างภาพพจน์ที่ดีให้แก่ผู้ประกอบการ นอกจากนี้ยังเป็นจุดเริ่มต้นในการก้าวไปสู่มาตรฐาน ISO14000 ของอุตสาหกรรมอีกด้วย โดยหลักการของเทคโนโลยีสะอาดเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ กล่าวคือการลดการใช้พลังงาน การใช้น้ำ และทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ จะเห็นได้ว่าหลักการของเทคโนโลยีสะอาด เป็นการป้องกันปัญหามากกว่าการแก้ไขปัญหานั่นเอง เพราะแนวคิดของเทคโนโลยีสะอาด คือการป้องกันมลพิษที่แหล่งกำเนิด และการลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้น้อยที่สุด โดยหลักการสำคัญของแนวคิดเทคโนโลยีสะอาด ประกอบด้วย

1) <u>หลักการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement)</u> หมายถึง การดำเนินการให้มีการปรับเปลี่ยนที่ดีขึ้นอยู่เสมอ โดยคำนึงถึงความพร้อมขององค์กรเป็นสำคัญ หากประเด็นปัญหาใดยังไม่พร้อมที่จะดำเนินการปรับแก้ไข ก็ให้ดำเนินการดูแลรักษาระดับไม่ให้แย่ลงกว่าเดิม
2) <u>หลักการป้องกัน (Prevention)</u> หมายถึง การมุ่งแก้ไขปัญหาโดยเน้นที่การป้องกันไม่ใช่แก้ไข โดยเน้นการลดปัญหาที่ต้นเหตุไม่ใช่ปลายเหตุ เน้นที่การเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานเพื่อลดความสูญเสีย ไม่ใช่การลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยการบำบัดที่ปลายท่อ
3) <u>หลักการมองปัญหาแบบองค์รวม (Integration)</u> หมายถึง เปลี่ยนการวิเคราะห์ปัญหาแบบแยกส่วนเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ร่วมกันในทุกๆ กิจกรรมขององค์กร และทุกๆ ลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้น โดยเน้นการมีส่วนร่วมของคนทั้งองค์กร (Participatory approach) ในการศึกษาปัญหา

ร่วมกัน และนำเอาประสบการณ์ของตนเองมาช่วยกันเสริมสร้างแนวทางในการแก้ไขปัญหาซึ่งเป็นที่ยอมรับ และสามารถปฏิบัติได้สอดคล้องกับงานจริง

การแก้ปัญหาตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดจะเน้นการลดที่ต้นเหตุ กล่าวคือเน้นที่การลดปริมาณการใช้ทรัพยากรลง โดยใช้ปริมาณที่พอดีและเหลือเป็นของเสียน้อยที่สุด ของเสียที่ออกมาต้องนำมาผ่านกระบวนการเพื่อจะนำกลับมาใช้ใหม่ จะทำให้ลดปริมาณของเสีย โดยของเสียที่ยังคงเหลืออยู่ต้องผ่านกระบวนการบำบัดจนมีคุณสมบัติดีพอที่จะกำจัดได้

ทั้งนี้การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด แบ่งออกได้เป็น 4 แนวทาง คือ

1) <u>การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์</u> อาจทำได้โดย การออกแบบให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด หรือให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น เช่น การปรับเปลี่ยนสูตรการผลิตของผลิตภัณฑ์เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อผู้บริโภคนำไปใช้ การใช้ชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และการยกเลิกหีบห่อบรรจุที่ไม่จำเป็น เป็นต้น

2) <u>การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ</u> โดยการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพหรือมีความบริสุทธิ์สูง รวมทั้งลดหรือยกเลิกการใช้วัตถุดิบที่เป็นอันตราย เพื่อหลีกเลี่ยงการเติมสิ่งปนเปื้อนเข้าไปในกระบวนการผลิต และพยายามใช้วัตถุดิบที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

3) <u>การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี</u> สามารถทำได้โดยการออกแบบใหม่ เพิ่มระบบอัตโนมัติ เข้าช่วยปรับปรุง คุณภาพของอุปกรณ์ และแสวงหาเทคโนโลยีใหม่มาใช้ เช่น การเปลี่ยนอุปกรณ์ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ หรือระบบท่อ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายหรือขนถ่ายอุปกรณ์ การใช้ระบบอัตโนมัติหรืออุปกรณ์ควบคุมช่วยลดผลผลิตที่ด้อยคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน การติดตั้งมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง และควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงาน

4) <u>การปรับปรุงกระบวนการดำเนินการผลิต</u> เป็นขั้นตอนที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น เพราะผลิตภัณฑ์ที่สูญเสียลดลง และเกิดของเสียที่จะต้องกำจัดน้อยลง โดยกำหนดให้มีขั้นตอนการผลิต กระบวนการงาน และขั้นตอนการบำรุงรักษาที่ชัดเจน รวมถึงการจัดระบบการบริหารการจัดการในโรงงาน เพื่อลดความจำเป็นที่จะต้องล้างเครื่องจักร หรืออุปกรณ์บ่อยๆ การกำหนดปริมาณการผลิตแต่ละครั้งให้เหมาะสมเพื่อลดปริมาณของเสีย เป็นต้น

การนำกลับมาใช้ใหม่ แบ่งออกได้เป็น 2 แนวทาง คือ การใช้ผลิตภัณฑ์หมุนเวียน และการใช้เทคโนโลยีหมุนเวียน

1) <u>การใช้ผลิตภัณฑ์หมุนเวียน</u> โดยการนำวัตถุดิบที่ไม่ได้คุณภาพมาใช้ประโยชน์ หรือการใช้ประโยชน์จากสารหรือวัสดุที่ปนอยู่ในของเสีย โดยนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเดิม หรือกระบวนการผลิตอื่นๆ

2) <u>การใช้เทคโนโลยีหมุนเวียน</u> เป็นการนำเอาของเสีย ผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อนำเอาทรัพยากรกลับมาใช้อีก หรือเพื่อทำให้เป็นผลพลอยได้ เช่น การนำพลังงานความร้อนส่วนเกิน หรือเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ การนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น

1.3.2 การลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก เพื่อลดการใช้พลังงาน

จากการสำรวจข้อมูลการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกของโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทย พบว่าอุณหภูมิที่โรงงานทั่วไปใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์คือประมาณ 1,100 – 1,280°C โดยระยะเวลาที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์ต่อครั้ง คือ 10 – 13 ชั่วโมง ซึ่งทำให้กระบวนการเผาผลิตภัณฑ์มีค่าใช้จ่ายต่อเดือนประมาณ 80,000 – 100,000 บาท ซึ่งถ้าปริมาณการใช้พลังงานในการเผาผลิตภัณฑ์สูง ย่อมทำให้ต้นทุนของผลิตภัณฑ์นั้นสูงตามไปด้วย ทั้งยังส่งผลต่อสภาพแวดล้อมก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนด้วยเช่นกัน ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเพื่อลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสนับสนุนให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิกสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกได้ในอนาคต

การลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก เพื่อลดการใช้พลังงาน ดำเนินการวิจัยได้โดยการศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบต่างๆ เช่น ดินดำสุราษฎร์ ดินขาวลำปาง และทราย เพื่อพัฒนาสูตรเนื้อดินและเนื้อเคลือบ ให้สามารถเผาสุกตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,100°C โดยการศึกษาผลการใช้สารตัวเติมประเภทฟลักซ์ เช่น ทัลคัม แคลเซียมฟลูออไรด์ เนฟฟีลีนไซยไนด์ และเศษแก้วโซดาไลม์ เป็นต้น รวมถึงการทดลองใช้วัสดุเหลือทิ้งต่างๆ เช่น เศษแก้ว เศษบิสกิต กากตะกอนเคลือบ ขี้เถ้าไม้ฟืน กากแร่เฟลด์สปาร์ เป็นต้น ที่มีผลต่ออุณหภูมิการสุกตัวของเนื้อดินและเนื้อเคลือบ เพื่อลดอุณหภูมิในการเผา โดยให้ค่าความแข็งแรง และค่าการดูดซึมน้ำที่ดี เหมาะสมสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

ทั้งนี้ในแต่ละโรงงานจะมีชนิดของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และการเผาที่แตกต่างกัน จึงต้องดำเนินงานวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้สูตรเนื้อดินและเคลือบที่มีความเหมาะสมสำหรับแต่ละโรงงาน โดยมีขั้นตอนกระบวนการดังนี้

1) การตรวจสอบคุณสมบัติของวัตถุดิบเนื้อดินและเคลือบของโรงงาน

2) การพัฒนาสูตรเนื้อดินและเคลือบอุณหภูมิต่ำ

3) การทดลองผลิตในห้องปฏิบัติการและการตรวจสอบคุณสมบัติ

4) การทดลองผลิตในกระบวนการผลิตของโรงงาน

5) การประเมินผลการทดลอง ความสามารถในการลดต้นทุนวัตถุดิบ และการลดการใช้พลังงาน

1.4 ผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรม

ประโยชน์ที่ผู้ประกอบการจะได้รับจากการใช้เทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิต่ำ และผลกระทบที่ได้ต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) การประหยัดวัตถุดิบและพลังงาน การจัดการที่ดีก่อให้เกิดการประหยัดวัตถุดิบ และลดการเกิดมลพิษ โดยเทคโนโลยีสะอาดจะช่วยทำให้เกิดการประหยัดการใช้น้ำและวัตถุดิบ โดยกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่
2) การปรับปรุงสภาพการทำงาน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดจะทำให้การทำงานมีคุณภาพมากขึ้น เนื่องจากจะทำให้มีสุขอนามัยดีขึ้น และก่อให้เกิดอันตรายต่างๆ น้อยลง
3) การปรับปรุงคุณภาพของสินค้า คุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นเป็นส่วนสำคัญของผู้ผลิตภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากต้องแข่งขันกับนานาประเทศ ดังนั้นการลดมลพิษ ณ แหล่งกำเนิด จะทำให้คุณภาพของกระบวนการผลิตดีขึ้น คุณภาพของสินค้าดีขึ้น
4) การเพิ่มประสิทธิภาพและกำไร การประหยัดวัตถุดิบและพลังงาน นำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต ซึ่งเป็นการเพิ่มกำไรและขีดความสามารถในการแข่งขัน
5) การลดต้นทุนการบำบัดมลพิษ การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดทำให้มลพิษมีปริมาณลดลง ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนการบำบัดมลพิษลดลง
6) การมีภาพพจน์ที่ดีต่อสาธารณชน เทคโนโลยีสะอาดทำให้โรงงานสามารถปฏิบัติตามกฎหมายสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี มีโรงงานหรือสถานประกอบการที่สะอาด เป็นเพื่อนบ้านที่ดีกับชุมชนรอบข้าง
7) การป้องกันสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีสะอาดจะลดจำนวนมลพิษจากอุตสาหกรรมลง และหลีกเลี่ยงการสะสมตัวของความเป็นพิษต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น โดยการใช้ขบวนการที่ไม่ซับซ้อน

2. การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีสะอาดและการประยุกต์ใช้

"เทคโนโลยีสะอาด" คือเทคโนโลยีการผลิตเชิงอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้วัตถุดิบและพลังงานในการผลิต ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต โดยการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ บริการ และกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดของเสียที่แหล่งกำเนิด เป็นการลดภาระในการกำจัดของเสีย เพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม และช่วยสร้างภาพพจน์ที่ดีให้แก่ผู้ประกอบการ นอกจากนี้ยังเป็นจุดเริ่มต้นในการก้าวไปสู่มาตรฐาน ISO14000 ของอุตสาหกรรมอีกด้วย โดยหลักการของเทคโนโลยีสะอาดเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาที่ต้นเหตุ กล่าวคือการลดการใช้พลังงาน การใช้น้ำ และทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ จะเห็นได้ว่าหลักการของเทคโนโลยีสะอาด เป็นการป้องกันปัญหามากกว่าการแก้ไขปัญหานั่นเอง เพราะแนวคิดของเทคโนโลยีสะอาด คือการป้องกันมลพิษ ที่แหล่งกำเนิด และการลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้น้อยที่สุด (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548)

โครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด ถือเป็นหนึ่งในโครงการหลักของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ซึ่งกิจกรรมด้านเทคโนโลยีสะอาดภายในประเทศไทยมีการดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง ภายใต้การสนับสนุนจากองค์การต่างประเทศ เช่น กิจกรรมฝึกงานเทคโนโลยีสะอาด ที่เป็นโครงการที่ได้มีการดำเนินการและพัฒนารูปแบบขึ้นตั้งแต่ปี 2540 โดยกำเนิดจากความร่วมมือระหว่างสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ร่วมกับ University of New Hampshire ในสหรัฐอเมริกา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยการสนับสนุนทุนจาก United States Agency for International Development (U.S.AID) ซึ่งบริหารทุนโดย United States-Asia Environmental Partnership Program (US-AEP) ผ่านทาง Council of State Governments (CSG) เพื่อตอบสนองการผลักดันให้เกิดการแก้ปัญหากระบวนการผลิต ควบคู่กับปัญหาสิ่งแวดล้อมให้กับอุตสาหกรรม เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน ในลักษณะความร่วมมือแบบ "ไตรภาคี" ระหว่าง ภาครัฐ (สวทช.)—ภาคอุตสาหกรรม (โรงงาน)—ภาคการศึกษา (มหาวิทยาลัย) เพื่อให้เกิดการพัฒนาด้านเทคโนโลยีสะอาดอย่างเป็นรูปธรรม ก่อให้เกิดโครงการเทคโนโลยีสะอาดและงานวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีสะอาดที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงและสอดคล้องกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม โดยงานที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคโนโลยีสะอาดไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมเซรามิก มีดังต่อไปนี้

1) กลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด (CTAP) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) (2548) ได้ดำเนินการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการแก้ปัญหารอยตำหนิของเครื่องปั้นดินเผาศิลาดล โดยพบว่า บนผิวผลิตภัณฑ์ที่หลังจากผ่านกระบวนการเผาแล้วจำนวนหนึ่งจะเกิดตำหนิคราบแดงขึ้น การศึกษาพบว่าการเกิดคราบแดงที่ปรากฏหลังจากการเผาผลิตภัณฑ์ที่พบอยู่บนคราบเกลือนั้นเป็นเหล็กที่สะสมอยู่ในดินพื้นบ้านนั่นเอง จากการทดลองพบว่า การเติมแบเรียมคาร์บอเนตปริมาณที่เหมาะสม คือน้อยกว่า 0.10% โดย

น้ำหนัก ในน้ำดินที่มีดินพื้นบ้านเป็นส่วนประกอบ สามารถแก้ไขปัญหาการเกิดตำหนิคราบแดงได้ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมแบเรียมคาร์บอเนตในปริมาณที่มาก จะพบคราบแดง เนื่องจากเกิดความไม่สมดุลระหว่างปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้และแบเรียมคาร์บอเนต

2) โครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด เครือข่ายมหาวิทยาลัย เชียงใหม่ (2550) ได้ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเตรียมดินและการขึ้นรูป เพื่อลดกระเบื้องเสียก่อนและหลังเผา จากมูลค่ากระเบื้องเสียประมาณ 283,000 บาทต่อปี ซึ่งเป็นต้นทุนการผลิตที่สามารถลดลงได้ การศึกษาได้ดำเนินการตามสมมุติฐาน เพื่อให้กระบวนการผลิตกระเบื้อง มีการควบคุมคุณภาพที่ดีขึ้น มีความสม่ำเสมอในคุณภาพการผลิต โดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถลดปริมาณของกระเบื้องเสียหายลงได้เป็นมูลค่าประมาณ 141,500 บาทต่อปี

3) โครงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด เครือข่ายมหาวิทยาลัย เชียงใหม่ (2550) ได้ดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาและกระบวนการเผาอิฐก่อสร้าง ที่ทางโรงงานประสบปัญหาอิฐเสียและอิฐเกิดตำหนิจากการเผา คิดเป็นปริมาณ 4.9% ของอิฐทั้งหมดที่เข้าเผา เมื่อศึกษาลักษณะการเผา พบว่าการกระจายอุณหภูมิระหว่างการเผาเกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะด้านบนของเตามีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเผาค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอิฐเสีย โดยได้ออกแบบกระบวนการเผาเพื่อให้เกิดการกระจายความร้อนภายในเตาเผาที่สม่ำเสมอจากจัดวางเรียงอิฐแบบใหม่ รวมทั้งได้ปรับปรุงเตาเผาบางส่วนให้มีประสิทธิภาพการเผาที่ดีขึ้น เพื่อลดปริมาณของอิฐเสีย อิฐเผาไม่สุก เมื่อประเมินผล พบว่าเกิดอิฐเสียที่เผาไม่สุก เพียง 3% ลดค่าใช้จ่ายลงได้ 7,251 บาทต่อเดือน

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ยังมีความร่วมมือกันกับ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ดำเนินการสนับสนุนผลักดันให้เกิดการถ่ายทอดความรู้ด้านเทคโนโลยีสะอาดให้กับอุตสาหกรรมเซรามิก ผ่านการดำเนินการ “โครงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตเซรามิก” เพื่อเป็นการพัฒนาขีดความสามารถ และประสิทธิภาพ ของการประกอบธุรกิจ เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกแบบยั่งยืน ผ่านการดำเนินงานจริงในพื้นที่โรงงานต้นแบบ จำนวน 2 โรงงาน เพื่อให้ผู้ประกอบการมีความรู้ความเข้าใจในหลักการเทคโนโลยีสะอาด และเพื่อเป็นแบบอย่างให้กับโรงงานอื่นๆ ในการนำเทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตเซรามิก โดยผลการดำเนินงานโครงการฯ ได้ถูกนำมาจัดทำเป็นเอกสารเผยแพร่ “คู่มือการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตเซรามิก” (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2552) และได้ดำเนินการโครงการฯ ต่อเนื่องในระยะที่ 2 เพื่อจัดทำเป็นเอกสารเผยแพร่ “แนวทางการผลิตเซรามิก (ผลิตภัณฑ์ตกแต่งบ้านและสวน) ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553)

นอกจากนี้ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ร่วมมือกับศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ให้การสนับสนุนการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมเซรามิก โดยส่งเสริมให้ผู้ประกอบการ มีความรู้ความเข้าใจในการผลิตเซรามิกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและได้มาตรฐานสากล จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตเซรามิกใน “โครงการพัฒนามาตรฐานการผลิตเซรามิกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด” โดยผลสำเร็จของโครงการฯ ได้จัดทำเป็นเอกสารเผยแพร่ “รูปแบบมาตรฐานการผลิตเซรามิกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อสนับสนุนการส่งออก โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด” (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554) ที่ได้สรุปรายละเอียดการผลิตและปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเซรามิก เสนอแนะแนวทางการผลิตเซรามิกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้ประกอบการผลิตเซรามิกในกาปรับปรุงกระบวนการผลิต ให้เป็นไปตามแนวทางการผลิตเซรามิกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตเซรามิก

โครงการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของภาคอุตสาหกรรมไทยอย่างยั่งยืน (ระยะที่ 2) พ.ศ. 2554-2555 สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ดำเนินงานโครงการร่วมกับองค์การส่งเสริมการค้าต่างประเทศของญี่ปุ่น (JETRO) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างบุคลากรในภาคอุตสาหกรรมไทย ให้มีความเชี่ยวชาญด้านการอนุรักษ์พลังงานและสามารถถ่ายทอดความรู้ต่อให้แก่บุคลากรในอุตสาหกรรม SMEs อื่นๆ ได้ โดยได้ดำเนินการถ่ายทอดความรู้ประสบการณ์และเทคโนโลยีจากผู้เชี่ยวชาญญี่ปุ่น ให้แก่ กลุ่มบุคลากรภาคอุตสาหกรรม ในอุตสาหกรรมเหล็ก และเซรามิกของไทย ที่เข้าร่วมโครงการจำนวน 6 โรงงาน ซึ่งมีการกำหนด 30 มาตรการ ในการดำเนินโครงการ ซึ่งหลังจากการดำเนินมาตรการดังกล่าว จะสามารถประหยัดพลังงาน ได้กว่า 7.5 ล้านบาทต่อปี คิดเป็นผลที่ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 527,800 กิโลวัตต์ต่อปี ผลการดำเนินงานโครงการ ได้จัดทำเป็น คู่มือวินิจฉัยโฉงงานอุตสาหกรรมเซรามิกในด้านพลังงานตามแนวทางของประเทศญี่ปุ่น ที่ได้นำเสนอแนวทางการวินิจฉัยด้านพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม และแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานตัวอย่าง ซึ่งอุตสาหกรรมอื่นๆ สามารถนำคู่มือจากการประสบความสำเร็จดังกล่าวไปใช้ในการอนุรักษ์พลังงาน ในโรงงานอุตสาหกรรมของตนได้

โครงการ “ฝึกอบรมการจัดการสิ่งแวดล้อมและการป้องกันมลพิษที่ยั่งยืน” ดำเนินการในปี พ.ศ. 2555 เป็นโครงการที่มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ร่วมกับบริษัท ดาว เคมิคอล ประเทศไทย จำกัด ได้พัฒนาแนวคิดและจัดทำคู่มือ Lean Management for Environment ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยขึ้น โดยดำเนินการร่วมกับ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และหุ้นส่วนเชิงสร้างสรรค์ไทย-สหรัฐ ในการให้ความรู้ สร้างความเข้าใจเรื่องการจัดการสิ่งแวดล้อมและการป้องกันมลพิษที่ยั่งยืน ให้แก่บุคลากรในภาคอุตสาหกรรม ภาครัฐและเอกชน และสถาบันการศึกษา รวมแล้วกว่า 2,000 คน โดยการพิจารณาแก้ไขปัญหาที่ต้นทางอย่างครบวงจรเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดมลพิษ ลดการใช้พลังงาน แต่เกิดประสิทธิภาพที่ดีต่อการบริหารจัดการองค์กร ซึ่งจะทำให้ธุรกิจ/ภาคอุตสาหกรรมเติบโตควบคู่ไปกับการมีส่วนร่วมรักษาสิ่งแวดล้อมและความรับผิดชอบต่อสังคมได้ในระยะยาว ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดการต่อยอดและการ

ขยายผลจากการฝึกอบรมโครงการดังกล่าว ให้สามารถผลักดันไปสู่ในเชิงปฏิบัติได้อย่างเป็นรูปธรรม และมีเครือข่ายสังคมการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน โดยโครงการได้ดำเนินการการฝึกอบรม โดยแบ่งออกเป็น 2 หลักสูตรหลักๆ ได้แก่ (1) หลักสูตรสำหรับ Train the trainer จำนวน 1 รุ่น ระยะเวลาฝึกอบรม 3 วัน มีผู้ผ่านการฝึกอบรมจำนวน 64 คน และ (2) หลักสูตรแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมและการป้องกันมลพิษที่ยั่งยืนสำหรับ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ และอุตสาหกรรมรายสาขาทั่วไป รวมเป็น 6 หลักสูตรย่อยๆ ระยะเวลาฝึกอบรม 1 วัน/รุ่น รวมจำนวนทั้งสิ้น 32 รุ่น มีผู้ผ่านการฝึกอบรมจำนวน 2,247 คน และได้จัดทำคู่มือ Lean Management for Environment สำหรับอุตสาหกรรม 5 กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมเซรามิก และอุตสาหกรรมเกี่ยวกับโลหะ ซึ่งคู่มือดังกล่าวเป็นประโยชน์ในการนำหลักการ Lean Management for Environment ไปประยุกต์ใช้จริงในองค์กรได้เป็นอย่างดี

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด เป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง ว่าเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศได้อย่างยั่งยืน เนื่องจากช่วยให้มีการใช้วัตถุดิบอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงเป็นการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติของประเทศ และการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต นอกจากจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตแล้ว ยังช่วยป้องกันของเสียหรือของเหลือทิ้งที่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการสนับสนุนให้มีการใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของอุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ อีกด้วย

2.2 เทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำและการประยุกต์ใช้

เซรามิกที่อุณหภูมิต่ำ จะหมายถึงเซรามิกที่มีผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1150°C ซึ่งอาจมีเนื้อดินเป็นเอิร์ธเทนแวร์ สโตนแวร์ หรือเนื้อดินประเภทไหนก็ได้ แต่การที่จะพัฒนาสูตรที่เหมาะสมกันทั้งเนื้อดินและเคลือบ รวมถึงการพัฒนาคุณสมบัติให้ดีทัดเทียมกับผลิตภัณฑ์เดิมนั้น และการทำให้ต้นทุนการผลิตไม่สูงเกินไปนั้น จำเป็นต้องเริ่มต้นจากงานวิจัยและพัฒนา ซึ่งต้องมีการวิเคราะห์ทดสอบ และปรับปรุงคุณสมบัติของเนื้อดินและเคลือบให้ได้มาตรฐาน โดยงานวิจัยเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำนั้นได้รับการผลักดันจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ให้มีการทำงานวิจัยจากหลายหน่วยงานดังต่อไปนี้

โครงการการพัฒนาสูตรเคลือบอุณหภูมิต่ำสำหรับผลิตภัณฑ์เอิร์ธเทินแวร์และสโตนแวร์โดยใช้ซิลิกาชนิดต่างๆ (ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551) ได้ทำการวิจัยและพัฒนาสูตรเคลือบให้มีอุณหภูมิการสุกตัวที่ต่ำลง โดยใช้วัตถุดิบที่มีความละเอียดและมีพื้นที่ผิวที่สูงขึ้นโดยเฉพาะซิลิกา เนื่องจากซิลิกาเป็นวัตถุดิบที่มีการหลอมตัวช้าที่สุดในการเผาเคลือบ นอกจากนี้ยังทดลองนำของเสียประเภทต่างๆ มาเป็นฟลักซ์ทดแทนในสูตรเคลือบเพื่อลดอุณหภูมิเผาอีกด้วย โดยสามารถลดอุณหภูมิเผาเคลือบได้ต่ำสุดที่ 950°C โดยใช้ขี้เถ้าจากเตาเผาขยะ เศษแก้วบอโรซิลิเกต และบอแรกซ์ เป็นส่วนผสมในสูตรเคลือบร่วมกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ

โครงการการพัฒนาเคลือบไฟต่ำและการศึกษาสมบัติของเคลือบโดยวิธีคำนวณและวิธีทดสอบสมบัติทางกายภาพ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2551) ได้แบ่งการวิจัยเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกได้ทำการพัฒนาสูตรเคลือบไฟต่ำทั้งเคลือบใสพื้นฐานและเคลือบสี โดยใช้ฟริตตะกั่วและแร่โคลิมาไนต์เป็นฟลักซ์ ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิในการเผาเคลือบให้สุกตัวได้ที่ 1,000°C และมีราคาต้นทุนเคลือบที่พัฒนาขึ้นอยู่ที่ 63 – 127 บาทต่อกิโลกรัม อีกส่วนหนึ่ง ได้ทำการพัฒนาชุดอุปกรณ์ทดสอบการไหลตัวของเคลือบหลอม และศึกษาความสัมพันธ์ของสมบัติการขยายตัวเมื่อร้อนและความหนืดของเคลือบโดยวิธีคำนวณและวิธีทดสอบทางกายภาพ

โครงการการพัฒนาสูตรเคลือบไร้สารตะกั่วสำหรับเผาเคลือบเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2552) มีเป้าหมายการวิจัยและพัฒนาสูตรเคลือบไร้สารตะกั่วที่สามารถเผาสุกตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000°C โดยใช้บอแรกซ์ ลิเทียมคาร์บอเนต และเศษแก้วเป็นวัตถุดิบทดแทนแร่เฟลด์สปาร์และฟริตในสูตรเคลือบทดลอง ผลการวิจัยพบว่าสูตรเคลือบใสที่ใช้เศษแก้วเป็นฟลักซ์สามารถเผาให้สุกตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำสุด คือ 915°C โดยสามารถทดลองใช้งานได้จริงกับเนื้อดินเซรามิกราชบุรี ซึ่งมีราคาต้นทุนอยู่ที่ 21.51 บาทต่อกิโลกรัม

โครงการการวิจัยและพัฒนาส่วนผสมและเคลือบอุณหภูมิต่ำสำหรับอุตสาหกรรมสโตนแวร์ (สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2553) งานวิจัยเน้นการพัฒนาสูตรเนื้อดินและเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ โดยพัฒนาทั้งเนื้อดินสโตนแวร์สีขาวทั่วไป และเนื้อดินแดงจากดินด่านเกวียน เลือกใช้ฟริตต่างๆ ทัลคัม เถ้ากระดูก บอแรกซ์ และหินปูน มาเป็นฟลักซ์ทดแทนในสูตรทดลอง ผลการวิจัยพบว่า สามารถพัฒนาสูตรเนื้อดินและเคลือบสำหรับสโตนแวร์ที่อุณหภูมิต่ำสุดได้ที่ 1,000°C

โครงการการพัฒนาสูตรดินสำหรับเผาอุณหภูมิต่ำสำหรับอุตสาหกรรมกระเบื้องตกแต่ง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาสูตรเนื้อดินสำหรับผลิตกระเบื้องตกแต่งเนื้อพอร์ซเลนสโตนแวร์ ให้สามารถเผาสุกตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000°C โดยใช้วัตถุดิบหลักได้แก่ ดินเหนียว ดินขาว ทราย เฟลด์สปาร์ พอทเทอรี่สโตนหรือหินผุ และดินราชบุรี เป็นส่วนผสม และศึกษาผลการใช้สารตัวเติมประเภทฟลักซ์ ได้แก่ ทัลคัม แคลเซียมฟลูออไรด์ เนฟฟีลีนไซยไนด์ และเศษแก้วโซดาไลม์ เติมลงในเนื้อดินเพื่อลดอุณหภูมิในการเผา ผลการวิจัยพบว่าสามารถทำสูตรเนื้อดินกระเบื้องที่สามารถเผาสุกตัวได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 900°C ขึ้นไป โดยให้ค่าความแข็งแรงและค่าการดูดซึมน้ำที่ดี เหมาะสมสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

โครงการ การพัฒนากระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิกที่ใช้เนื้อดินและเคลือบอุณหภูมิต่ำในระดับอุตสาหกรรม ดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2556-2557 ซึ่งเป็นโครงการที่ได้ทำการพัฒนาสูตรเนื้อดินและเคลือบอุณหภูมิต่ำสำหรับผลิตภัณฑ์กระเบื้องบุผนังและกระเบื้องมุงหลังคาสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรม โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อพัฒนาสูตรเนื้อดินและเคลือบให้สามารถเผาสุกตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำไม่เกิน 1,100°C สำหรับผลิตภัณฑ์กระเบื้องบุผนัง และไม่เกิน 900°C สำหรับผลิตภัณฑ์กระเบื้องมุงหลังคา จากการทดลองพบว่าการใช้กากตะกอนเคลือบเป็นฟลักซ์ในสูตรดินทดลองสำหรับโรงงานผลิต

กระเบื้องบุผนัง (F551-GS10) สามารถลดอุณหภูมิเผาของชิ้นงานลงมาได้ที่ 1,000°C (จากเดิม 1,125°C) คิดเป็นต้นทุนการใช้พลังงานในการเผาที่ลดลงประมาณ 12% และลดต้นทุนด้านวัตถุดิบลงได้ประมาณ 9% คิดเป็นต้นทุนโดยรวมที่ลดลงได้ถึง 10.46% โดยที่คุณสมบัติต่างๆ ของสูตรดินทดลองมีความใกล้เคียงกับสูตรดินปกติของทางโรงงานมาก และค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่โรงงานกำหนด และผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิกประเภทขึ้นรูปด้วยวิธีอัดแห้งกลุ่มดูดซึมน้ำสูง (BIII) มอก. 2508-2555 ได้แก่ มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 16.3% ค่าความต้านทานแรงดัดเท่ากับ 14.4 MPa และค่าความเบี่ยงเบนสูงสุดจากความตรงของขอบและความราบของผิวต่ำกว่า 0.2% ส่วนการพัฒนาสูตรเคลือบอุณหภูมิต่ำสำหรับผลิตภัณฑ์กระเบื้องบุผนังได้สูตรเคลือบที่โรงงานสามารถเลือกใช้ได้จำนวน 3 สูตร ได้แก่ เคลือบใสราน เคลือบเอฟเฟคสีแดง และเคลือบรานสีน้ำเงิน โดยสามารถเผาสุกตัวได้ที่อุณหภูมิเดียวกันกับเนื้อดินที่อุณหภูมิ 1,000°C สำหรับการทดลองในส่วนของโรงงานผลิตกระเบื้องมุงหลังคา ซึ่งเผาที่อุณหภูมิต่ำอยู่แล้วและโรงงานไม่ต้องการลดอุณหภูมิลงอีก พบว่าการใช้เศษแก้วโซดาไลม์เป็นส่วนผสมในสูตรดินทดลอง (WTB-S10) สามารถปรับปรุงคุณสมบัติหลังเผาของเนื้อดินให้ดีขึ้นกว่าเดิมได้มาก คือ มีค่าการดูดซึมน้ำที่ลดลง และมีความแข็งแรงหลังเผาเพิ่มมากขึ้น และยังช่วยลดปัญหาการแตกหักของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี โดยลดลงจาก 20-25% เหลือเพียง 5% สำหรับการพัฒนาสูตรเคลือบสำหรับผลิตภัณฑ์กระเบื้องมุงหลังคา ได้เคลือบใส จำนวน 1 สูตร ซึ่งให้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ มีแนวโน้มที่โรงงานจะนำไปใช้งานได้ จึงเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง

การประยุกต์ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำในการพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกนั้น เป็นการพัฒนากระบวนการผลิตจากแนวทางที่ต่างกัน แต่มุ่งเน้นผลสำเร็จไปในทิศทางเดียวกัน คือการลดต้นทุน และการเพิ่มประสิทธิภาการผลิต โดยเทคโนโลยีสะอาดจะมุ่งที่ความสำเร็จในการป้องกันการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิต และเกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยลดความสูญเปล่า/สูญเสีย ลดการเกิดของเสียในทุกขั้นตอนการผลิต และเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงาน ลดการเกิดมลภาวะทางอากาศ นั่นหมายถึงประสิทธิภาพการผลิตที่ดีขึ้น ต้นทุนที่ลดลง มลภาวะที่ลดลง และเกิดเป็นผลกำไรเข้าสู่ผู้ประกอบการ

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 กรอบแนวคิดในการดำเนินงาน

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อมที่ยั่งยืน ได้วางกรอบแนวคิดในการดำเนินงาน ไว้สองส่วน คือในส่วนของศึกษาวิจัยและการดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยี

โดยในส่วนดำเนินการศึกษาวิจัยนั้น เริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลเอกสารวิชาการและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การสำรวจกระบวนการผลิตเซรามิกเบื้องต้น และรวบรวมข้อมูลการผลิตเซรามิกของผู้ประกอบการ SMEs โดยเข้าสำรวจในพื้นที่เครือข่ายวิสาหกิจเป้าหมาย รวมทั้งการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งที่เกิดของเสียจากกระบวนการผลิต ซึ่งข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้รับ จะนำมาใช้ในการจัดทำสมดุลมวลของกระบวนการผลิต และแผนผังกระบวนการผลิตโดยละเอียด เพื่อให้ทราบว่าในกระบวนการผลิตมีขั้นตอนใดบ้างที่เป็นต้นเหตุของของเสีย นำไปสู่การวิเคราะห์ขั้นตอนกระบวนการผลิตนั้นๆ และอาจต้องมีการทำงานวิจัยในแนวทางต่างๆ เพื่อการสร้างแนวทางเลือกในการพัฒนาให้กับโรงงาน ดังนี้

1) การวิจัยปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ดำเนินการการประยุกต์หลักการของเทคโนโลยีสะอาดมาใช้งานอย่างครบวงจร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และลดการเกิดของเสียจากการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิก SMEs ในพื้นที่เป้าหมาย

2) การวิจัยปรับปรุงกระบวนการผลิต ดำเนินการวิเคราะห์คุณสมบัติวัตถุดิบ ลักษณะกระบวนการผลิต และกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิก SMEs ในพื้นที่เป้าหมาย เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้สามารถลดอุณหภูมิการเผาลงได้ เป็นการประหยัดเชื้อเพลิงการเผา ลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

3) การวิจัยปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ดำเนินการวิเคราะห์ศึกษาคุณสมบัติวัตถุดิบ และลักษณะกระบวนการผลิต เพื่อพิจารณาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ เปลี่ยนการใช้งานวัตถุดิบ/สารเคมีอันตราย เช่น ตะกั่ว รวมถึงการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการสร้างเสริมความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของแรงงานในโรงงาน

เมื่อผู้วิจัยได้นำทางเลือกต่างๆ มาศึกษาวิจัย เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมและความเป็นไปได้ ในด้านเทคนิคแล้ว ก็จะนำเสนอความผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งหลังจากการประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ ก็จะได้ทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำที่มีความเหมาะสม และเมื่อผู้ประกอบการได้นำทางเลือกไปทดลองปฏิบัติจริงในโรงงานแล้ว ก็จะมีการประเมินผลการดำเนินการ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปสู่การสรุปเป็นผลการดำเนินงานโครงการ และเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมเซรามิก SMEs ได้อีกด้วย

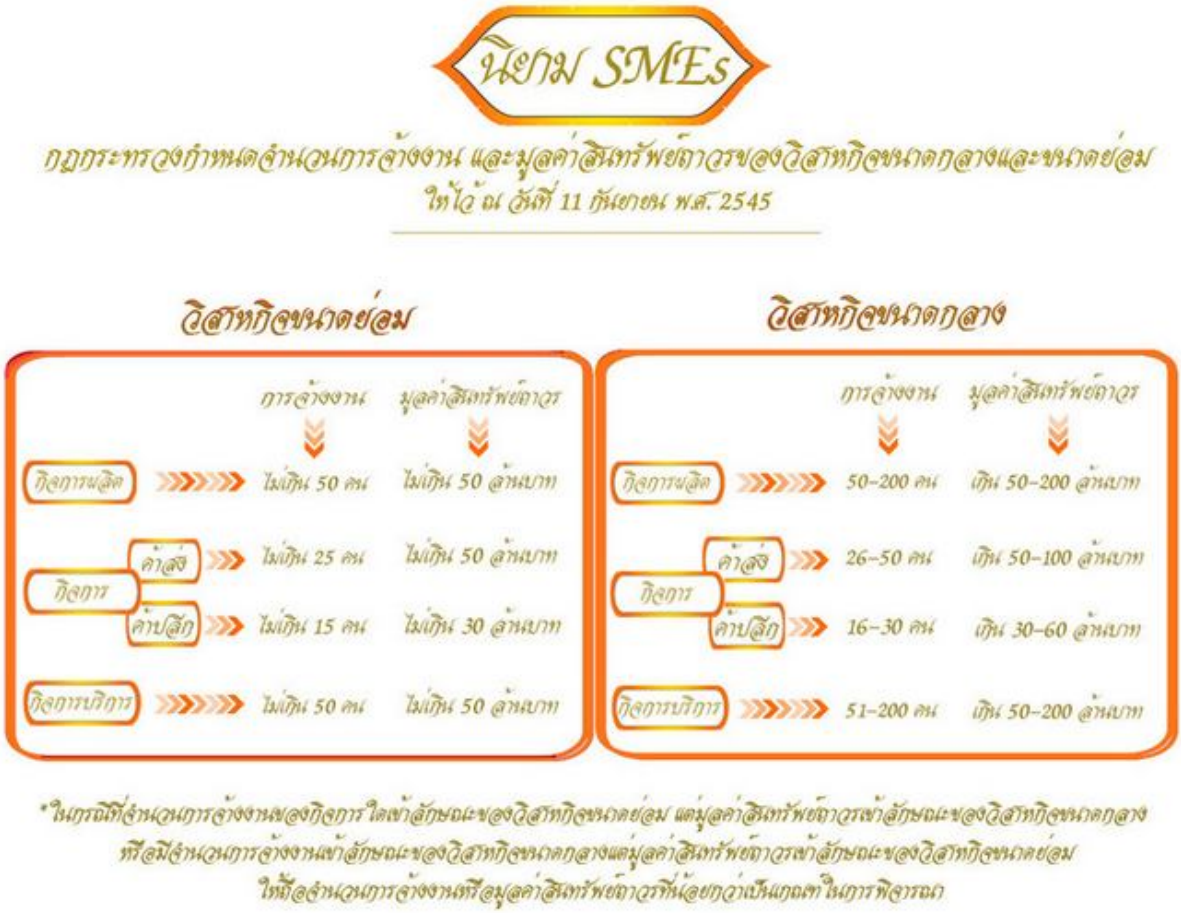
แนวทางในการดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม โดยหลักการเทคโนโลยีสะอาด สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 กรอบแนวคิดการดำเนินงานโครงการ

3.2 ขอบเขตการดำเนินงาน

การดำเนินการตามกรอบแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม ด้วยระยะเวลาและงบประมาณจำกัด จึงได้มีการวางขอบเขตการดำเนินงานครอบคลุมกลุ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิก ในแถบจังหวัดในภาคกลาง ตะวันออก และตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ กรุงเทพและปริมณฑล อ่างทอง สระบุรี สมุทรสาคร (อ้อมน้อย) ราชบุรี นครราชสีมา (ด่านเกวียน) และชลบุรี จำนวนรวมทั้งสิ้น 8 โรงงาน โดยใช้ระยะเวลาการดำเนินการ 1 ปี

สำหรับกลุ่มผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม ตามนิยามของสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 นิยามของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (www.sme.go.th)

3.3 วิธีการดำเนินงานและกิจกรรมในโครงการ

3.3.1 การศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตเซรามิกเพื่อพิจารณาทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตเซรามิก ของโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก SMEs ในพื้นที่เป้าหมาย เพื่อศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตเซรามิก และพิจารณากำหนดทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด ที่สามารถพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิก SMEs ได้ โดยมีกิจกรรมดังต่อไปนี้

กิจกรรมที่ 1 *การประชาสัมพันธ์แนะนำโครงการ ในพื้นที่เป้าหมาย*

เพื่อเป็นการประชาสัมพันธ์ โครงการส่งเสริมประสิทธิภาพการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม คณะวิจัยจะได้จัดการสัมมนาแนะนำโครงการ 2 ครั้ง (พื้นที่ภาคกลางและภาคเหนือ) เพื่อประชาสัมพันธ์แนะนำรายละเอียดและแผนการดำเนินงานโครงการ เพื่อเชิญโรงงานเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อมที่สนใจเข้าร่วมโครงการ โดยกลุ่มเป้าหมายที่คาดว่าจะได้รับประโยชน์จากการดำเนินงานโครงการคือ ผู้ประกอบการโรงงานเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อมในกลุ่มวิสาหกิจหลัก 7 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ลำปาง เชียงใหม่ นนทบุรี (เกาะเกร็ด) นครราชสีมา (ด่านเกวียน) สมุทรสาคร (อ้อมน้อย) ราชบุรี และสระบุรี

กิจกรรมที่ 2 *การสำรวจและรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตเซรามิกเบื้องต้นในพื้นที่เป้าหมาย*

เพื่อเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการพิจารณาทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยเก็บข้อมูลขั้นตอนการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิกโดยทั่วไป มาตรฐานการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิก มาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม การดำเนินงานตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมเซรามิกที่ได้ปฏิบัติ และเอกสารข้อมูลงานวิจัยทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง โดยข้อมูลขั้นตอนกระบวนการผลิต ต้องได้รับการรับรองความถูกต้องจากทางโรงงานก่อนดำเนินการในกิจกรรมต่อไป

กิจกรรมที่ 3 *การเก็บข้อมูลในเชิงปริมาณ เพื่อจัดทำสมดุลมวลผลิตภัณฑ์ (Mass Balance)*

เพื่อเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการพิจารณาทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณของการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิกในแต่ละขั้นตอนกระบวนการผลิต จากกิจกรรมที่ 2 เพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบ การใช้พลังงาน ผลิตภัณฑ์ ของเสีย และมลภาวะ ในแต่ละขั้นตอนกระบวนการผลิต จัดทำเป็นสมดุลมวล สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด เพื่อลดการเกิดของเสีย โดยการแบ่งหน่วยขั้นตอนกระบวนการผลิต นั้นต้องผ่านความเห็นชอบจากผู้ที่เกี่ยวข้องว่ามีความถูกต้อง เหมาะสม สำหรับการตรวจประเมินโดยละเอียดต่อไป

กิจกรรมที่ 4 *การศึกษาทางเลือกในการลดของเสียจากกระบวนการผลิต*

ข้อมูลที่ได้รับจากกิจกรรมที่ 2 และ กิจกรรมที่ 3 คณะวิจัยจะได้ศึกษาสมดุลมวลและข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการเก็บรวมรวมข้อมูลกระบวนการผลิต เพื่อวิเคราะห์และพิจารณากำหนดทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดในแต่ละขั้นตอนการผลิต พัฒนาแนวทางที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดของเสียที่อาจ

เกิดขึ้นได้จากกระบวนการผลิต จากตำแหน่งที่เป็นโอกาสในการลดการเกิดของเสีย ได้แก่ ประเภทและลักษณะของวัตถุดิบ ขั้นตอนการรับวัตถุดิบ การตรวจสอบคุณภาพ/ปริมาณ การใช้งานและการเก็บรักษาวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ระหว่างขั้นตอนกระบวนการผลิต การควบคุมขั้นตอนกระบวนการผลิต การใช้น้ำล้าง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

กิจกรรมที่ 5 *การศึกษาทางเลือกในการลดการใช้พลังงานจากกระบวนการผลิต*

ข้อมูลที่ได้รับจากกิจกรรมที่ 2 และ กิจกรรมที่ 3 คณะวิจัยจะได้ศึกษาสมดุลมวลและข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการเก็บรวมรวมข้อมูลกระบวนการผลิต เพื่อวิเคราะห์และพิจารณาแนวทางการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ โดยวิเคราะห์ประเภทและลักษณะของวัตถุดิบ อุณหภูมิเผา และลักษณะกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ เพื่อพัฒนาคุณสมบัติเนื้อดินและเนื้อเคลือบให้มีความเหมาะสม สามารถเผาผลิตภัณฑ์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าเดิม เป็นทางเลือกในการลดการใช้พลังงานของโรงงาน

3.3.2 การศึกษาความเป็นไปได้ของทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ

เพื่อวิเคราะห์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการพิจารณาความเป็นไปได้ในแต่ละทางเลือกทั้งทางด้านเทคนิคการผลิต ทางด้านสิ่งแวดล้อม และทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมและจัดอันดับทางเลือกที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด โดยมีกิจกรรมดังต่อไปนี้

กิจกรรมที่ 6 *การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคการผลิต*

การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคการผลิตนั้น เป็นการศึกษาทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด จะดำเนินการครอบคลุมกระบวนการผลิต ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนได้เป็นผลิตภัณฑ์ โดยประเมินผลที่คาดว่าจะได้รับจากการประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด ผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตจากการประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด และจำนวนบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาจะเป็นไปตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด คือ ความสามารถในการลดของเสีย ความสามารถในการลดการใช้พลังงาน และความสามารถในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่

กิจกรรมที่ 7 *การศึกษาความเป็นไปได้ด้านสิ่งแวดล้อม*

การศึกษาความเป็นไปได้ด้านสิ่งแวดล้อมนั้น เป็นการศึกษาทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด โดยประเมินผลการลดของเสียที่ต้องบำบัด การลดการสูญเสีย/สูญเปล่าของวัตถุดิบ การลดการใช้พลังงาน และการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อได้ดำเนินการปฏิบัติตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด รวมถึงการประเมินผลกระทบต่อพื้นที่ชุมชนโดยรอบโรงงานเป้าหมาย และผลกระทบด้านสุขชีวอนามัยและความปลอดภัยของพนักงานและชุมชน

กิจกรรมที่ 8 *การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์*

การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์นั้น เป็นการศึกษาทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด โดยประเมินผลการลงทุนในการปฏิบัติตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด ว่ามีการลงทุนหรือไม่ สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้เท่าไหร่ โดยพิจารณาจากผลตอบแทนทางการเงิน เช่น ระยะเวลาคืนทุน ในการปฏิบัติตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด รวมถึงการพิจารณาความเสี่ยงจากการลงทุนในแต่ละทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด

3.3.3 การดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดในพื้นที่กลุ่มเป้าหมาย

ภายหลังจากที่ได้ดำเนินการศึกษาความเหมาะสม และความเป็นไปได้ของการประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดแล้วนั้น คณะวิจัยจะนำทางเลือกที่ได้ศึกษาไปทดลองปฏิบัติจริง ในพื้นที่โรงงานกลุ่มเป้าหมาย โดยมีกิจกรรมดังต่อไปนี้

กิจกรรมที่ 9 *การประยุกต์ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิต*

การประยุกต์ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิต จะได้พิจารณาคัดเลือกทางเลือกกับคณะทำงานของโรงงาน โดยนำข้อมูลการศึกษาความเป็นไปได้มาประเมินร่วมกัน เพื่อคัดเลือกทางเลือกที่จะนำมาประยุกต์ในขั้นตอนกระบวนการผลิต และเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามทางเลือก เพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยให้คณะทำงานของโรงงานมีส่วนร่วมในการศึกษาวิเคราะห์และดำเนินการปรับปรุง

กิจกรรมที่ 10 *การพัฒนาคุณสมบัติเนื้อดินและเนื้อเคลือบให้สามารถเผาผลิตภัณฑ์ได้ที่อุณหภูมิต่ำ*

การพัฒนาคุณสมบัติเนื้อดินและเนื้อเคลือบให้เผาที่อุณหภูมิต่ำลงนั้น จะแบ่งแนวทางการวิจัยและพัฒนาออกเป็น 2 แนวทางร่วมกัน คือ 1) การพัฒนาส่วนผสมด้วยวัตถุดิบทดแทน โดยศึกษาถึงการนำตัวช่วยหลอม (ฟลักซ์) เช่น ฟริต ลิเธียมคาร์บอเนต โซดาแอช โคลีมาไนท์ และวัสดุเหลือใช้ เช่น เศษแก้ว เปลือกหอย กากแร่เฟลด์สปาร์ ขี้เถ้าชนิดต่างๆ และ 2) การพัฒนากระบวนการผลิต ที่จะเน้นการพัฒนากระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมเนื้อดินและเนื้อเคลือบด้วยการบด เพื่อให้ได้เนื้อดินที่เหมาะสมกับการขึ้นรูป และเข้ากันได้ดีกับเนื้อเคลือบ

กิจกรรมที่ 11 *การวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น*

เมื่อได้ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยประยุกต์ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีสะอาด รวมถึงการพัฒนาคุณสมบัติเนื้อดินและเนื้อเคลือบให้สามารถเผาผลิตภัณฑ์ได้ที่อุณหภูมิต่ำแล้วนั้น คณะวิจัยจะได้เก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณของการผลิตอุตสาหกรรมเซรามิกในขั้นตอนกระบวนการผลิตที่ได้ดำเนินการ เพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณการใช้วัตถุดิบ การใช้พลังงาน ของเสีย มลภาวะ และจัดทำเป็นสมดุลมวลสำหรับใช้ในการประเมินผลการประยุกต์ทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดต่อไป

กิจกรรมที่ 12 *การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด*

การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคการผลิต ที่ได้ประเมินผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตจากการประยุกต์ใช้ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีสะอาดไว้นั้น คณะวิจัยจะได้วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับ จากขั้นตอนกระบวนการผลิตที่ได้ดำเนินการปรับปรุงโดยประยุกต์ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีสะอาด เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการประเมินผลการประยุกต์ทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดต่อไป

3.3.4 การประเมินผลการดำเนินงานตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดที่ได้ประยุกต์ใช้งาน

กิจกรรมที่ 13 *การประเมินผลด้านเทคนิคการผลิต/ประสิทธิภาพ*

เมื่อได้ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยประยุกต์ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีสะอาดแล้วนั้น ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น และข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ จะถูกนำมาศึกษาเพื่อประเมินผลที่ได้รับจากการประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด และเพื่อประเมินปัญหาและอุปสรรคจากการประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด

กิจกรรมที่ 14 *การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม*

การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม จะเป็นการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกับการปฏิบัติตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด ผลกระทบต่อพื้นที่ชุมชนโดยรอบโรงงานเป้าหมาย และผลกระทบด้านสุขชีวอนามัยและความปลอดภัยของพนักงานและชุมชน โดยพิจารณาจากข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น และการสัมภาษณ์พนักงานและชุมชน

กิจกรรมที่ 15 *การประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์*

การประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์ จะประเมินผลประโยชน์ที่ได้รับในการปฏิบัติตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด และระยะเวลาคืนทุนในการปฏิบัติตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด โดยพิจารณาจากข้อมูลการลงทุน ค่าวัสดุ ค่าแรง ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงาน

3.3.5 การนำเสนอผลประยุกต์ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิต

กิจกรรมที่ 16 *การนำเสนอผลการวิจัยและพัฒนา*

ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการประยุกต์ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีสะอาดที่สัมฤทธิ์ผลจะนำเสนอแก่ผู้ประกอบการเซรามิกในพื้นที่เป้าหมาย ผ่านการจัดประชุมสัมมนา โดยแสดงผลการวิเคราะห์ประเมินผลการประยุกต์ทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด และผลตอบแทนจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยนำเสนอเป็น Case Study เพื่อให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ โดยผู้เข้าร่วมประชุมสัมมนาประกอบด้วยผู้ชำนาญการ ตัวแทนจากสถานประกอบการ เจ้าหน้าที่ท้องถิ่น และนักวิชาการ

โครงการวิจัยมีแผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก SMEs ในพื้นที่เป้าหมาย ตั้งแต่ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ที่เป็นการดำเนินงานวิจัยร่วมกันกับบุคคลากรของโรงงาน โดย

การถ่ายทอดผลงานวิจัยและการเพิ่มประสิทธิภาพเทคโนโลยีการผลิตตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด ตามกระบวนการผลิตจริงในโรงงานตั้งแต่เริ่มต้นการผลิตจนได้เป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อให้มีความยืดหยุ่นต่อผู้ประกอบการ เกิดการสั่งสมความรู้ มีการพัฒนาการปฏิบัติงาน เพื่อให้การดำเนินงานโครงการสัมฤทธิ์ผลและสามารถต่อยอดการวิจัย เกิดการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดได้อย่างต่อเนื่อง

ผลการดำเนินงานโครงการ จะได้มีการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ ผ่านการจัดประชุมสัมมนา เพื่อเผยแพร่ความรู้ด้านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมเซรามิก และเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกที่อุณหภูมิต่ำเพื่อลดการใช้พลังงาน ให้กับโรงงานเซรามิกอื่นๆ และผู้ที่สนใจทั่วไป ได้เกิดการเรียนรู้ ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบเป็นวงกว้าง เป็นการพัฒนาต่อไปในระดับคลัสเตอร์ และทั้งอุตสาหกรรม

3.4 แผนการดำเนินการ

โครงการมีระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี โดยมีแผนการดำเนินงานดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แผนงานดำเนินงาน

แผนงานดำเนินงาน	**เดือน**											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
1. การศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตเซรามิกเพื่อพิจารณาทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด		←	—	—	→							
1.1 การประชาสัมพันธ์แนะนำโครงการ ในพื้นที่เป้าหมาย			↔									
1.2 การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตเซรามิกเบื้องต้นในพื้นที่เป้าหมาย			↔									
1.3 การจัดทำสมดุลมวลผลิตภัณฑ์ (Mass Balance) จากข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้รับ			↔	↔								
1.4 การศึกษาทางเลือกในการลดของเสียจากกระบวนการผลิต				↔								

แผนงานดำเนินงาน	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.5 การศึกษาทางเลือกในการลดการใช้พลังงานจากกระบวนการผลิต				⟷								
2. การศึกษาความเป็นไปได้ของทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ			⟷	⟷	⟷							
2.1 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคการผลิต			⟷	⟷								
2.2 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านสิ่งแวดล้อม				⟷								
2.3 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์				⟷	⟷							
3. การดำเนินงานตามทางเลือกในพื้นที่กลุ่มเป้าหมาย					⟷	⟷	⟷	⟷	⟷			
3.1 การประยุกต์ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิต					⟷	⟷	⟷					
3.2 การพัฒนาคุณสมบัติเนื้อดินและเนื้อเคลือบให้สามารถเผาผลิตภัณฑ์ได้ที่อุณหภูมิต่ำ					⟷	⟷	⟷	⟷				
3.3 การวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น							⟷	⟷	⟷			
3.4 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้รับหลังการประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยี							⟷	⟷	⟷			

แผนงานดำเนินงาน	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4. การประเมินผลการดำเนินงานตามทางเลือกเทคโนโลยีที่ได้ประยุกต์ใช้งาน									⟷	⟷		
4.1 การประเมินผลด้านเทคนิคการผลิต/ประสิทธิภาพ									⟷	⟷		
4.2 การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม									⟷	⟷		
4.3 การประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์										⟷		
5. การนำเสนอผลประยุกต์ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต โดยการจัดการประชุมสัมมนา											⟷	⟷

4. ผลการดำเนินงาน

การดำเนินงานโครงการตามกิจกรรมต่างๆ ได้ผลดังต่อไปนี้

4.1 การประชาสัมพันธ์โครงการ

โครงการได้จัดให้มีการสัมมนาแนะนำโครงการในวันที่ 22 ตุลาคม 2557 เวลา 9.30-16.00 น. ณ ห้องประชุม CC306 อาคารศูนย์ประชุม อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย พร้อมกับการบรรยายให้ความรู้แก่ผู้เข้าร่วมสัมมนา เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด มีหัวข้อสัมมนา มีผู้เข้าร่วมการประชุมทั้งสิ้นจำนวน 30 คน โดยวิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ ได้แก่

- การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมเซรามิก โดย คุณรัฐ เรืองโชติวิทย์ (นักวิชาการสิ่งแวดล้อม ชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม)
- แนวทางการวิจัยและพัฒนาสูตรดินและเคลือบอุณหภูมิต่ำสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม โดย อ.ดร.อนุรัตน์ ภูวานคำ (อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)
- แนวทางการลดการใช้พลังงานและการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก โดย คุณศิวกร จิตต์วิระ (ผู้เชี่ยวชาญ ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย)

นอกจากนี้ทางทีมงานได้ไปประชาสัมพันธ์โครงการ ให้กับกลุ่มผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน โดยจัดการประชุมแนะนำโครงการร่วมกับเทศบาลตำบลด่านเกวียน ขึ้นในวันพุธที่ 8 ตุลาคม 2557 เวลา 13.00-15.00 น. ณ เทศบาลตำบลด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา มีผู้เข้าร่วมการประชุมทั้งสิ้นจำนวน 30 คน และมีประเด็นที่โรงงานในกลุ่มด่านเกวียนต้องการให้โครงการช่วยเหลือ ได้แก่

- ต้องการทำน้ำเคลือบใช้เองแบบเผาครั้งเดียวร่วมกับผลิตภัณฑ์ เหมือนกับเคลือบของทางราชบุรี แต่เป็นเคลือบใสอุณหภูมิต่ำประมาณ 900-1,000^{o}C
- ต้องการพัฒนาเคลือบขี้เถ้า ซึ่งใช้ขี้เถ้าจากเตาเผาของโรงงานเอง ให้เป็นเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ด่านเกวียน
- ปัจจุบันยังมีของเสียอยู่เยอะ ใช้ดินท้องถิ่นในด่านเกวียนเป็นหลัก ซึ่งขาดกระบวนการเตรียมดินให้ละเอียดขึ้น ดินที่ใช้อยู่ยังหยาบอยู่มาก

4.2 ข้อมูลโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ

สำหรับการรับสมัครโรงงาน ได้ดำเนินการติดต่อโรงงานในแถบจังหวัดอ่างทอง นครปฐม นครราชสีมา ปทุมธานี และชลบุรี ได้มีโรงงานที่สนใจ และสมัครเข้าร่วมโครงการทั้งหมด 12 โรงงาน ดังต่อไปนี้

1) โรงงานทำอิฐ บบก. อุตสาหกรรม ตั้งอยู่ที่ อ.ป่าโมก จ.อ่างทอง ซึ่งเป็นโรงงานผลิตและจำหน่ายอิฐ-กระเบื้องดินเผา เคลือบสี , ไม่เคลือบสี ในรูปแบบต่าง ๆ
2) โรงงานดาวคู่ อิฐอ่างทอง (อปก.) ตั้งอยู่ที่ อ.ป่าโมก จ.อ่างทอง เป็นโรงงานผลิตอิฐและกระเบื้องดินเผาเคลือบ
3) โรงงาน ศมา เซรามิกส์ ตั้งอยู่ที่ อ.เมือง จ.ชลบุรี เป็นผู้ผลิตและจัดจำหน่ายกระเบื้อง
4) โรงงาน ลักษิกา ตั้งอยู่ที่ อ.บางเลน จ.นครปฐม เป็นผู้ผลิตถ้วยชามสีขาว สำหรับทำเบญจรงค์ และของชำร่วยเซรามิก
5) โรงงาน เซรามิค ซิมพลิซิตี้ ตั้งอยู่ที่เขตประเวศ กรุงเทพฯ เป็นผู้ผลิตและจัดจำหน่ายเครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารเซรามิก
6) โรงงาน กระเบื้องบ้านไทย ตั้งอยู่ที่ อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา เป็นผู้ผลิตกระเบื้องดินเผาและกระเบื้องมุงหลังคา
7) หจก. อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา เอบีเอส ตั้งอยู่ที่ อ.ป่าโมก จ.อ่างทอง เป็นโรงงานผลิตและจำหน่ายอิฐ-กระเบื้องดินเผา
8) บริษัท คาสเดย์ (ประเทศไทย) จำกัด ตั้งอยู่ที่ พุทธมณฑล สาย 7 อ.สามพราน จ.นครปฐม เป็นผู้ผลิตตุ๊กตาเซรามิก
9) โรงงานดินไทย ตั้งอยู่ที่ ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา เป็นผู้ผลิต แจกัน นก สูก เต่า ช้าง กระเบื้องดินเผา
10) โรงงานมดแดง ตั้งอยู่ที่ ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา เป็นผู้ผลิต แจกัน ตุ๊กตา กระถางดินเผา กระถางซีเมนต์
11) โรงงานบุญส่งดินเผา ตั้งอยู่ที่ ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา เป็นผู้ผลิต กระถางชุด แจกันดินเผา และอิฐ
12) โรงงานเที่ยงเจริญดินเผา ตั้งอยู่ที่ ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา เป็นผู้ผลิตดินเผาของชำร่วย และเฟอร์นิเจอร์รูปสัตว์ เช่น เต่า แกะ

ในภาพรวมของอุตสาหกรรมเซรามิกในแถบจังหวัดอ่างทองนั้น เป็นกลุ่มผู้ผลิตอิฐและกระเบื้องดินเผาทั้งแบบชนิดเคลือบและไม่เคลือบ มีรูปแบบที่เป็นเอกลักษณ์ สำหรับใช้ในงานก่อสร้างวัดโบราณสถาน และสถานที่ที่ต้องการความกลมกลืนกับธรรมชาติ เช่น รีสอร์ทและบ้านพักต่างอากาศ ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในอำเภอป่าโมก โดยใช้ดินแดงเป็นวัตถุดิบหลัก มีทั้งการผลิตแบบเตาฟืนรูปเจดีย์แบบดั้งเดิม และการใช้เตาอุโมงค์เผาโดยใช้แก๊ส จึงสามารถทำการผลิตในปริมาณมากและส่งขายไปทั่วประเทศและส่งออกไปต่างประเทศได้ เนื่องจากเป็นการเผาผลิตภัณฑ์ที่ใช้อุณหภูมิต่ำ 900-1150°C จึงมีปัญหาในการเคลือบผลิตภัณฑ์ที่มีความจำเป็นต้องใช้เคลือบที่มีตะกั่วเป็นส่วนผสม ซึ่งไม่ปลอดภัยต่อคนงานและการ

ปลดปล่อยของเสียที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามจากความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการเคลือบที่มีความมันวาวและสีสันสดใส ประกอบกับผู้ผลิตการขาดความพร้อมของเทคโนโลยีและบุคลากรที่จะทำการผลิตเคลือบไร้สารตะกั่ว จึงยังมีการใช้เคลือบที่มีส่วนผสมของตะกั่วมาจนถึงปัจจุบัน

ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ขาวเนื้อพอร์เซเลนสำหรับนำไปเคลือบตกแต่งเป็นเบญจรงค์นั้น มีผู้ผลิตน้อยรายในประเทศ ส่วนใหญ่อยู่ในแถบกรุงเทพฯ สมุทรสาครและนครปฐม ลักษณะผลิตภัณฑ์เป็นชุดถ้วยชามที่มีรูปแบบประจำ และของชำร่วยตกแต่งต่างๆ ที่มีเอกลักษณ์ของไทย กลุ่มผู้บริโภคจึงมีรูปแบบและปริมาณความต้องการที่มีลักษณะเฉพาะในแต่ละช่วงของปี ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ขาวจึงไม่ค่อยประสบปัญหาในเรื่องของการพัฒนารูปแบบและตลาด สำหรับในกระบวนการผลิตนั้น เนื่องจากใช้วัตถุดิบที่ดี เผาที่อุณหภูมิสูง และต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความขาวและปราศจากตำหนิ ทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูง ผู้ผลิตจำเป็นต้องควบคุมการสูญเสียในกระบวนผลิตในขั้นตอนต่างๆ ให้ดีเพื่อให้มีประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด

สำหรับชุมชนบ้านด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา นั้น เป็นชุมชนขนาดใหญ่มีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักในการทำเครื่องปั้นดินเผามาเป็นเวลาช้านานจนมีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักและนิยมของคนทั่วไป เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของด่านเกวียนมีความเป็นเอกลักษณ์แตกต่างจากที่อื่นทั้งในด้านฝีมือการปั้น และรูปแบบลวดลายที่เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นซึ่งมีการสืบทอดต่อๆกันมา รวมทั้งคุณภาพด้านความทนทานจากคุณสมบัติพิเศษของวัตถุดิบ ผู้ประกอบการในชุมชนด่านเกวียนส่วนใหญ่ประมาณ 80% เป็นคนในท้องถิ่นที่สืบทอดทักษะฝีมือและภูมิปัญญาแต่ดั้งเดิม ที่เหลือเป็นผู้ประกอบการจากต่างถิ่น ขนาดของการผลิตมีทั้งการผลิตแบบครัวเรือน SMEs และการผลิตขนาดใหญ่ ผู้ประกอบการส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิต SMEs ที่ยังไม่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เท่าใดนัก เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ชุมชนใช้อยู่มีลักษณะไม่ยุ่งยากซับซ้อน ยังคงใช้เทคนิคการผลิตตามภูมิปัญญาท้องถิ่น และยังไม่ค่อยยอมรับที่จะนำเทคโนโลยีใหม่ เช่น การนำก๊าซเชื้อเพลิงมาใช้แทนฟืน เนื่องจากเกรงว่าจะต้องใช้เงินลงทุนสูง และไม่คุ้มค่า

ซึ่งจากการติดต่อและการเยี่ยมชมโรงงาน พบว่าโรงงานที่มีความพร้อมในการเข้าร่วมโครงการทั้งหมด 8 โรงงาน เป็นโรงงานในแถบกรุงเทพและปริมณฑล นครปฐม อ่างทอง ฉะเชิงเทรา และนครราชสีมา และเป็นผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม กล่าวคือ มีการดำเนินกิจการการผลิต ที่มีสินทรัพย์ถาวรไม่เกิน 50 ล้านบาท และมีการจ้างงานไม่เกิน 50 คน ซึ่งข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานจะแสดงในภาคผนวกที่ 1-8 ซึ่งพอจะสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ

โรงงาน	จำนวนคนงาน (คน)	ลักษณะผลิตภัณฑ์	กำลังการผลิต (ตัน/เดือน)	อุณหภูมิเผาบิสกิตและเผาเคลือบ (^{o}C)
1. อิฐ บบก.	40	อิฐกระเบื้องมุงหลังคา	100-200	800-900^{o}C และ 900-1000^{o}C
2. อิฐ อปก.	30	อิฐ กระเบื้องมุงหลังคา	80-160	900^{o}C และ 960-1000^{o}C
3. กระเบื้องบ้านไทย	10	กระเบื้องมุงหลังคา	10-20	900^{o}C และ 1170-1180^{o}C
4. ลักษิกา	18	เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร	25-50	800-820^{o}C และ 1270-1280^{o}C
5. ดินไทย	15	กระเบื้อง ตุ๊กตา ดินเผา	20-50	900-1200^{o}C -
6. มดแดง	8	กระเบื้อง กระถางดินเผา	10-15	900-1000^{o}C -
7. บุญส่ง	9	ตุ๊กตา ของชำร่วยดินเผา	10-20	900-1100^{o}C -
8. เที่ยงเจริญ	10	ตุ๊กตา ของตกแต่งดินเผา	15-25	900-1100^{o}C -

4.3 แนวทางเลือกในการพัฒนาและความเป็นไปได้

หลังจากที่ได้เข้าไปเยี่ยมชมและดำเนินการเก็บข้อมูลของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ เพื่อพิจารณาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับกระบวนการผลิต สำหรับประกอบการจัดทำสมดุลมวลผลิตภัณฑ์ (mass balance) เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการผลิตที่อาจมีการสูญเสียมากผิดปกติ เช่น การใช้วัตถุดิบมากเกินไป อาจแสดงถึงการมีของเสียในการผลิตมาก หรือการมีใช้เชื้อเพลิงที่อาจจะสิ้นเปลืองมากกว่าปกติ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการมีแก๊สหรือของเสียจากกระบวนการเผา หลังจากนั้นจึงได้จัดทำทางเลือกในการปรับปรุงโรงงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต พร้อมกับศึกษาความเป็นไปได้ของแต่ละทางเลือก ทั้งทางด้านเทคนิค ด้านสิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบให้โรงงานตัดสินใจในการเลือกแนวทางเพื่อพัฒนาโรงงาน โดยข้อมูลที่ได้แสดงในภาคผนวก 1-8 ซึ่งหลังจากที่โรงงานได้พิจารณาแล้ว จึงได้เลือกทางเลือกที่นำเสนอเพียงหนึ่งทางเลือก ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แนวทางเลือกในการพัฒนาโรงงาน

โรงงาน	ความสนใจเบื้องต้น	แนวทางเลือกที่นำเสนอ	แนวทางที่โรงงานเลือก
1. อิฐ บบก.	เคลือบไร้สารตะกั่ว	1. การลดปริมาณการใช้สารตะกั่วในเคลือบ 2. การบำบัดน้ำเสียในโรงงาน	การพัฒนาเคลือบที่ใช้สารตะกั่วน้อยลง 50%
2. อิฐ อปก.	การนำของเสียมาใช้ประโยชน์	1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่ต้องเผา 2. การใช้เทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำในการผลิต	การนำเศษกระเบื้องมาทำกระเบื้องจีโอโพลีเมอร์
3. กระเบื้องบ้านไทย	การพัฒนาสีของเคลือบ	1. การลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ 2. การลดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์	การลดของเสียที่มีสาเหตุมาจากปัญหาดินระเบิด
4. ลักษิกา	การลดของเสีย	1. การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต 2. การปรับปรุงรางรับน้ำดินหล่อ	การควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียตั้งแต่การขึ้นรูปจนถึงการเผาบิสกิต
5. ดินไทย	การปรับปรุงโรงงาน	1. การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ 2. การจัดทำระบบการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลผลผลิต และการนำไปใช้งาน	การพัฒนาเคลือบใสขี้เถ้าอุณหภูมิ 1100^{o}C
6. มดแดง	การทำเคลือบ	1. การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ 2. การปรับปรุงกระบวนการพ่นสี	การพัฒนาเคลือบขี้เถ้าอุณหภูมิต่ำ 950^{o}C
7. บุญส่ง	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีเอกลักษณ์	1. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ 2. การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์	การพัฒนาเคลือบใสขี้เถ้าสำหรับเผาที่อุณหภูมิ 1000^{o}C
8. เที่ยงเจริญ	การลดของเสีย	1. การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ 2. การจัดวางผังโรงงานใหม่ที่ช่วยลดระยะการเคลื่อนย้ายวัสดุ	การพัฒนาเคลือบขี้เถ้าสีออกไซด์หรือสีสะเตนอุณหภูมิ 1100^{o}C

4.4 การดำเนินการพัฒนาตามแนวทางเลือก

จากแนวทางในการพัฒนา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้กับโรงงานที่ได้นำเสนอให้โรงงานพิจารณา และได้เข้าไปการดำเนินการตามแนวทางเลือกในโรงงานแล้ว ได้ผลดังต่อไปนี้

4.4.1 โรงงานอิฐ บบก.

ทางโรงงานอิฐ บบก. หรือ หจก.อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา ได้เลือกแนวทางที่ 1 คือ การลดปริมาณการใช้สารตะกั่วในเคลือบ ทางทีมวิจัยจึงได้นำตัวอย่างกระเบื้องของโรงงาน มาทดลองกับเคลือบไร้สารตะกั่ว 100% และเผาที่อุณหภูมิ 1000°C ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจากการทดลองพบว่าลักษณะเคลือบก็สุกตัวดี มีฟองอากาศน้อย จึงได้บดสูตรดังกล่าวไปทดลองเคลือบและเผาที่โรงงาน อย่างไรก็ตามโรงงานได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยการลดอุณหภูมิการเผาลงเหลือ 950°C ทำให้ต้องมีการพัฒนาเคลือบใหม่อีกครั้ง โดยพบว่าเคลือบสูตร WB4 ซึ่งมีต้นทุนอยู่ที่ 81.2 บาท/กก. สามารถเผาสุกตัวและมีความมันวาวดีพอสมควร ซึ่งทำให้โรงงานสามารถลดต้นทุนการผลิตจากวัตถุดิบเคลือบที่ราคาถูกลงได้ 20.00% และจากการลดอุณหภูมิในการเผาทำให้มีการใช้พลังงานลดลง 6.00% จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าโรงงานนี้มีการใช้เคลือบไร้สารตะกั่วทดแทนเคลือบตะกั่ว และการลดอุณหภูมิในการเผา ทำให้การปลดปล่อยสารพิษ และไอเสียจากการเผาผลิตภัณฑ์ออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยลง จึงทำให้โรงงานมีการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

4.4.2 โรงงานอิฐ อปก.

จากการวิเคราะห์ผลที่ได้รับและความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ในแนวทางเลือกทั้งสองซึ่งนำเสนอในข้างต้นนั้น ทางโรงงานได้เลือกปฏิบัติในแนวทางเลือกที่ 1 คือ “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่ต้องเผา (จีโอโพลิเมอร์) จากเศษอิฐและกระเบื้องที่เสียหลังเผา” โดยได้นำเศษบิสกิตของเสียหลังเผาที่โรงงานมีอยู่มากมาบดให้มีความละเอียดแตกต่างกัน ร่อนผ่านตะแกรงตั้งแต่หยาบจนถึงละเอียดทั้งสิ้น 3 ขนาด แล้วนำมาผสมกับสารละลายด่าง NaOH และ Na_2SiO_3 แล้วนำมาขึ้นรูปโดยการอัดสำหรับการทำเป็นกระเบื้อง และการหล่อในแบบพิมพ์สำหรับการทำเป็นอิฐ แล้วทิ้งให้เกิดปฏิกริยาที่สมบูรณ์ในช่วง 3-28 วัน แล้วนำมาทดสอบค่าความแข็งแรงแบบกด เปรียบเทียบกัน พบว่าสูตรที่ใช้เศษบิสกิต 50% ผสมกับดินแดงอ่างทอง แคลไซน์ 33% กับ สารละลายด่าง 17% จะให้ความทนทานต่อแรงดัด 8.58 MPa และการดูดซึมน้ำ 10.92% ทั้งนี้จากสมดุลมวลผลิตภัณฑ์ของโรงงานสามารถนำของเสียมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ 13.89% และเมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์จีโอโพลีเมอร์จะทำให้ลดการใช้พลังงานในโรงงานได้ 8.14% ซึ่งการนำของเสียมาใช้ให้เป็นประโยชน์ ประกอบกับการลดการใช้พลังงานในการผลิต ทำให้โรงงานมีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

4.4.3 โรงงานกระเบื้องบ้านไทย

ในเบื้องต้น โรงงานได้เลือกแนวทางการลดอุณหภูมิเผาของผลิตภัณฑ์จาก 1180 °C เป็น 1100°C ทีมวิจัยจึงได้ถ่ายทอดสูตรเนื้อดินและสูตรเคลือบที่สามารถเผาสุกตัวที่อุณหภูมิ 1100°C ให้ทางโรงงานไปทดลองใช้แล้ว ถึงแม้ว่าต้นทุนสูตรเคลือบอุณหภูมิ 1100°C จะต่ำกว่าต้นทุนสูตรเคลือบเดิมที่เผาอุณหภูมิ 1180°C ของโรงงาน แต่พบว่าสูตรเนื้อดินอุณหภูมิต่ำนั้นยังมีต้นทุนสูงกว่า จึงทำให้โดยภาพรวมของต้นทุนเนื้อดินและเคลือบอุณหภูมิต่ำ รวมถึงผลจากการลดค่าแก๊สในการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ ยังคงสูงกว่าต้นทุนการผลิตเดิมของโรงงาน ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแนวทางในการพัฒนาโรงงานเป็นแนวทางการลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้มีของเสียเนื่องจากการแตกร้าวมากถึง 15-17% จากการนำตัวอย่างที่มีตำหนิมาวิเคราะห์พบว่าปัญหาการแตกร้าวเกิดจากดินระเบิด ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM/EDS จะพบว่าตำหนิมาจากแคลเซียมคาร์บอเนต จึงได้แนะนำให้โรงงานควบคุมคุณภาพของดินให้มากขึ้น และให้ติดตั้งตะแกรงร่อนดิน เพื่อคัดแยกเอาก้อนแร่ที่มีขนาดใหญ่ออก ซึ่งสามารถทำให้ปัญหาดินระเบิดหายไปหรือมีของเสียเหลือเพียงแค่ 0-2% หลังจากการพัฒนาโรงงานจึงมีต้นทุนการผลิตลดลง ทั้งนี้การติดตั้งเครื่องร่อนดินจะทำให้โรงงานคืนทุนได้ภายในหนึ่งเดือน และการลดของเสียทำให้โรงงานมีสภาพแวดล้อมการทำงานดีขึ้น เนื่องจากของเสียที่รอกำจัดมีน้อยลง จึงทำให้มีพื้นที่เหลือในโรงงานมากขึ้น

4.4.4 โรงงานลักษิกา

เนื่องจากแนวทางการปรับปรุงรางรับน้ำดินหล่อ โรงงานสามารถดำเนินการและประเมินผลได้เองโดยง่าย การดำเนินงานภายใต้โครงการนี้จึงได้เลือกแนวทางการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต โดยจะให้ความสำคัญกับการลดการสูญเสียตั้งแต่ขั้นตอนการขึ้นรูปไปจนถึงขั้นตอนหลังเผาบิสกิต ซึ่งปัจจุบันมีการสูญเสียค่อนข้างมาก ทางโครงการจึงได้จัดทำคู่มือควบคุมคุณภาพ ประกอบไปด้วยวิธีการวัดและตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ เนื้อดินและเคลือบ วิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ โดยได้เข้าไปแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือพื้นฐานต่างๆ เช่น การวัดความหนาแน่นด้วย Pyknometer การวัดความหนืดด้วย Viscosmeter และการวัดการไหลตัวด้วย Ford's cup พร้อมทั้งได้ให้ตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกสำหรับควบคุมคุณภาพให้กับเจ้าหน้าที่ของโรงงานนำไปใช้ ซึ่งจากการเข้าไปเก็บข้อมูลเปรียบเทียบก่อนและหลังดำเนินการ พบว่าโรงงานมีการควบคุมกระบวนการผลิตที่ดีขึ้น ทำให้มีของเสียลดลงถึง 21% นอกจากนั้นยังได้มีการปรับปรุงคุณภาพของเตาเผา ทำให้ใช้พลังงานในการเผาลดลงถึง 27.27% การที่โรงงานสามารถควบคุมการผลิตทำให้ประสิทธิภาพการผลิตดีขึ้น เนื่องจากของเสียและการใช้พลังงานลดลง การปลดปล่อยแก๊ซเรือนกระจกลดลง จึงทำให้โรงงานมีการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

4.4.5 โรงงานดินไทย

โรงงานได้เลือกดำเนินการพัฒนาเคลือบ โดยใช้ขี้เถ้าจากกระบวนการเผาของโรงงานในการทำเคลือบใสเพื่อให้เห็นสีเนื้อดินหลังเผาคงเอกลักษณ์ความเป็นผลิตภัณฑ์ด่านเกวียนโดยเคลือบที่จะพัฒนาขึ้น

ต้องมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่เผาในเตาฟืน หลังจากที่ได้ใช้ Buller Ring ทดสอบอุณหภูมิของเตา พบว่าเตามีอุณหภูมิที่แตกต่างกันที่ตำแหน่งต่างๆ โดยจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 950-1050°C โรงงานได้เลือกที่จะพัฒนาเคลือบขี้เถ้าที่มีเหมาะสมกับการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1050 °C โดยมีวิธีการเตรียมน้ำเคลือบ ดังนี้

1) นำขี้เถ้ามาร่อนเอาเศษขยะออก แล้วนำบดด้วยวิธีเปียกให้ละเอียดโดยใช้อัตราส่วนขี้เถ้าต่อน้ำเป็น 40:60 กรองผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

2) บดดินด่านเกวียนให้ละเอียดด้วยวิธีเปียก ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเป็น 40:60 กรองผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช

3) นำน้ำดินที่ได้มาผสมกับน้ำขี้เถ้า ที่อัตราส่วน 60:40 แล้วเติมฟริตไฟต่ำ พร้อมกับตัวช่วยหลอมตามสูตร 10-30% บดผสมให้เข้ากันเพื่อให้ได้น้ำเคลือบ

นำผลิตภัณฑ์ดิบมาชุบน้ำเคลือบเพื่อการเผาครั้งเดียว พบว่าชิ้นงานมีการแตกร้าวหรือเคลือบมีการหลุดร่อนออก ซึ่งเกิดจากการดูดซับน้ำเคลือบเร็วเกินไป จึงได้แก้ไขโดยการเติมสารช่วยในการยึดเกาะและปรับปรุงให้ชิ้นงานมีความชื้นที่เหมาะสม จึงจะสามารถแก้ปัญหาได้เมื่อนำน้ำเคลือบไปให้โรงงานทดลองเผา ก็พบว่าได้เคลือบใส ที่สุกตัวและมีความมันวาวดี แต่มีฟองอากาศบนผิวเคลือบเล็กน้อย โดยเคลือบที่เหมาะสมสำหรับโรงงานนี้มีต้นทุนอยู่ที่ประมาณ 47 บาท/กก.

การนำขี้เถ้ามาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำเคลือบ จากการประเมินโดยใช้สมดุลมวลผลิตภัณฑ์จะทำให้ปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตลดลงได้ 9.79% อย่างไรก็ตามโรงงานยังไม่เคยผลิตเคลือบมาก่อน จะต้องมีการลงทุนวัตถุดิบ อุปกรณ์หรือเครื่องมือเพิ่มขึ้น หากโรงงานสามารถขายกระเบื้องเคลือบในราคาที่สูงกว่าเดิมประมาณ 150 บาท/ตรม. ก็จะสามารถคืนทุนได้ภายใน 1 เดือน นอกจากนี้โรงงานจะมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากขี้เถ้าที่ปล่อยทิ้งไว้ทำให้เกิดฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงาน การนำขี้เถ้ากลับมาใช้ประโยชน์ จึงช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยทำให้สุขอนามัยของคนงานดีขึ้นกว่าเดิม

4.4.6 โรงงานมดแดงดินเผา

โรงงานสนใจทั้งสองแนวทางเลือก แต่การปรับปรุงกระบวนการพ่นสีในแนวทางที่สอง โรงงานสามารถทำได้เอง จึงได้เลือกให้ทีมงานช่วยดำเนินการพัฒนาเคลือบ โดยใช้ขี้เถ้าจากกระบวนการเผาของโรงงานในการทำเคลือบใส ซึ่งจากการวัดอุณหภูมิภายในเตาที่ตำแหน่งต่างๆ จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 950-1050°C โดยโรงงานสนใจในการทำเคลือบที่ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 950°C ทีมงานจึงได้ทดลองทำการเตรียมน้ำเคลือบในห้องปฏิบัติการ เมื่อได้สูตรเคลือบที่เหมาะสมแล้วจึงเตรียมน้ำเคลือบไปให้โรงงานทดลองเคลือบแล้วเผา พบว่าเคลือบสามารถสุกตัวและมีความมันวาวดี แต่มีฟองอากาศบนผิวเคลือบเล็กน้อย และเคลือบมีลักษณะคล้ายเคลือบเอฟเฟค เนื่องจากบรรยากาศการเผาด้วยฟืน โดยเคลือบที่เหมาะสมสำหรับโรงงานนี้มีต้นทุนอยู่ที่ประมาณ 58 บาท/กก.

จากการประเมินโดยใช้สมดุลมวลผลิตภัณฑ์จะทำให้ปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตลดลงได้ 11.75% แต่โรงงานยังไม่เคยผลิตเคลือบมาก่อน จะต้องมีการลงทุนวัตถุดิบ อุปกรณ์หรือเครื่องมือเพิ่มขึ้น หากโรงงานสามารถขายผลิตภัณฑ์ตุ๊กตาเคลือบในราคาที่สูงกว่าเดิมประมาณ 20 บาท/ชิ้น ซึ่งจากการฐานการผลิตและการขายของโรงงาน จะใช้เวลาคืนทุนไม่เกิน 9 เดือน นอกจากนี้โรงงานอาจเลือกใช้การเผาเคลือบที่อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้ต้นทุนของเคลือบต่ำลง หรือต้องมีการพัฒนาในเรื่องรูปแบบของผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มราคาขายก็จะสามารถคืนทุนได้เร็วขึ้น ทั้งนี้โรงงานมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นจากการนำของเสียประเภทขี้เถ้ากลับมาใช้ในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

4.4.7 โรงงานบุญส่งดินเผา

โรงงานมีความสนใจการพัฒนาทั้งสองแนวทาง แต่เนื่องจากแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จำเป็นต้องมีการเพิ่มแรงงาน และกระบวนการผลิตใหม่ ทั้งนี้อาจจะยังไม่มีความแน่นอนทางด้านตลาด จึงได้เลือกดำเนินการพัฒนาเคลือบจากขี้เถ้าไม้ฟืน โดยเคลือบที่จะพัฒนาขึ้นต้องมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่เผาในเตาฟืนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1000°C หลังจากที่ได้ใช้ Buller Ring ทดสอบอุณหภูมิของเตา พบว่าเตามีอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากที่ตำแหน่งหัวเตากับท้ายเตา โดยจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 950-1050°C โรงงานได้เลือกที่จะพัฒนาเคลือบขี้เถ้าที่มีเหมาะสมกับการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1000 °C ซึ่งจากการทดลองเคลือบและวางเผาตรงบริเวณหัวเตาและท้ายเตา พบว่าเคลือบสุกตัวมีความมันวาวดีที่หัวเตา แต่ไม่สุกตัวที่ท้ายเตา โดยเคลือบสำหรับโรงงานนี้มีต้นทุนอยู่ที่ประมาณ 64 บาท/กก. เนื่องจากใช้ขี้เถ้าไม้รวมและเศษแก้วในปริมาณน้อยจึงทำให้เคลือบมีราคาสูงกว่าโรงงานอื่น

จากการประเมินโดยใช้สมดุลมวลผลิตภัณฑ์จะทำให้ปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตลดลงได้ 5.77% แต่โรงงานยังไม่เคยผลิตเคลือบมาก่อน จะต้องมีการลงทุนวัตถุดิบ อุปกรณ์หรือเครื่องมือเพิ่มขึ้น หากโรงงานสามารถขายกระถางเคลือบในราคาที่สูงกว่าเดิมประมาณ 20 บาท/ชิ้น จะสามารถคืนทุนได้ในเวลาไม่ถึง 4 เดือน ทั้งนี้โรงงานอาจต้องปรับปรุงการควบคุมอุณหภูมิในเตาเพิ่มเติม เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เคลือบสุกตัวได้พอดีที่ตำแหน่งต่างๆ ของเตา การพัฒนาโรงงานในแนวทางนี้ จะช่วยให้โรงงานมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เมื่อของเสียที่เหลือทิ้งมีเปอร์เซนต์ลดลง จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การสูญเสียในการผลิตโดยรวมของโรงงานลดลงนั่นเอง

4.4.8 โรงงานเที่ยงเจริญดินเผา

แนวทางพัฒนาการจัดวางผังโรงงานใหม่ เป็นเรื่องสำคัญ แต่เนื่องจากมีผลกระทบต่อการผลิตตามคำสั่งซื้อ และต้องใช้เงินลงทุนสูง ทางโรงงานจึงยังไม่มีความพร้อมในตอนนี้ โรงงานจึงได้เลือกดำเนินการพัฒนาเคลือบที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1000°C โดยใช้ขี้เถ้าจากกระบวนการเผาของโรงงาน นอกจากนี้ยังมีความต้องการในการทำเคลือบสีต่างๆ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ของโรงงานมีสีสันหลากหลาย จึงต้องมีการทดลองใช้เคลือบพื้นฐานผสมกับสีออกไซด์ลงไปด้วย ซึ่งหลังจากที่ได้ใช้ Buller Ring ทดสอบอุณหภูมิของ

เตา พบว่าเตามีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 1000-1050°C โรงงานได้เลือกที่จะพัฒนาเคลือบขี้เถ้าที่มีเหมาะสมกับการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1000 °C ซึ่งจากการทดลองเคลือบและวางเผาตรงบริเวณหัวเตาและท้ายเตา พบว่าเคลือบสุกตัวมีความมันวาวดี โดยเคลือบสำหรับโรงงานนี้มีต้นทุนอยู่ที่ประมาณ 67 บาท/กก. เนื่องจากใช้สีออกไซด์ผสมในเคลือบด้วย

จากการประเมินโดยใช้สมดุลมวลผลิตภัณฑ์จะทำให้ปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตลดลงได้ 8.49% แต่โรงงานยังไม่เคยผลิตเคลือบมาก่อน จะต้องมีการลงทุนวัตถุดิบ อุปกรณ์หรือเครื่องมือเพิ่มขึ้น หากโรงงานสามารถขายผลิตภัณฑ์ตกแต่งสวนในราคาที่สูงกว่าเดิมประมาณ 150 บาท/ชิ้น ซึ่งจากการฐานการผลิตและการขายของโรงงาน อาจต้องใช้เวลาคืนทุนภายใน 1 ปี โดยโรงงานจะมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น จากการนำของเสียประเภทขี้เถ้ากลับมาใช้ในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

4.5 การประเมินผลการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตตามแนวทางเลือก

ทั้งนี้การประเมินผลการเปลี่ยนแปลงของโรงงานก่อนและหลังการดำเนินการ ได้พิจารณาจากสมดุลมวลกระบวนการผลิต เปรียบเทียบก่อนและหลังดำเนินการ ที่น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ 1 กก. จะมีเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพการผลิตที่เพิ่มขึ้นอย่างไร โดยไม่ได้เปรียบเทียบเป็นต่อจำนวนชิ้นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม หรือแม้แต่ในกลุ่มโรงงานประเภทเดียวกัน แต่ละโรงงานก็มีขนาดของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันมาก ทั้งนี้ได้มีการคำนวณจากของการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการผลิต จากการใช้เคลือบไร้สารตะกั่วที่ราคาถูกกว่า หรือผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีต้นทุนการผลิตที่ลดลง และการประหยัดพลังงานเนื่องจากการเผาที่อุณหภูมิต่ำ การควบคุมการผลิต และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทำให้ของเสียที่ลดลง หรือการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ ซึ่งสามารถรวบรวมและแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 ซึ่งจะเห็นว่าหลังจากการเข้าร่วมโครงการโรงงานมีประสิทธิภาพการผลิตโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 16.36%

ตารางที่ 4.4 การประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานหลังเข้าร่วมโครงการ

โรงงาน	% การลดต้นทุน / การลดการใช้พลังงาน	% การลดของเสีย / การนำของเสียมาใช้	หมายเหตุ
ห้างหุ้นส่วนจำกัด อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา	26.00%	-	
บริษัท อ.ป.ก. ดาวคู่ (1988) จำกัด	8.14%	13.89%	
บริษัท กระเบื้องบ้านไทย จำกัด	-	15.00%	
บริษัท ลักษิกา 917 จำกัด	27.27%	21.00%	
โรงงานดินไทย	-	9.79%	
โรงงานมดแดงดินเผา	-	11.75%	
โรงงานบุญส่งดินเผา	-	5.77%	
โรงงานบ้านดินไทย	-	8.49%	
เฉลี่ย	**20.47%**	**12.24%**	**16.36%**

ซึ่งเมื่อพิจารณาเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมเซรามิกทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้ผลิตอิฐและกระเบื้องมุงหลังคา กลุ่มผู้ผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร และกลุ่มผู้ผลิตของชำร่วยและตกแต่งด่านเกวียน จะสามารถประเมินผลได้ ดังนี้

ในกลุ่มของโรงงานอิฐและกระเบื้องดินเผา หลังจากการเข้าไปดำเนินการเก็บข้อมูล และนำเสนอแนวทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำในโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ พบว่าโรงงานกลุ่มผู้ผลิตอิฐและกระเบื้อง ได้แก่ โรงงานอิฐ บบก. ได้เลือกรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้เคลือบไร้สารตะกั่วอุณหภูมิต่ำ ที่ 1000^{o}C ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจากการลดต้นทุนวัตถุดิบและต้นทุนพลังงานรวม 26.00% ซึ่งขณะนี้โรงงานกำลังอยู่ในระหว่างจัดสร้างเตาเผาใหม่ เพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไร้สารตะกั่วดังกล่าว ส่วนโรงงาน อปก.ดาวคู่เลือกการนำเทคโนโลยีสะอาดเพื่อการใช้วัตถุดิบให้มีประโยชน์สูงสุด จากการนำเศษบิสกิตมาพัฒนาเป็นกระเบื้องและอิฐจีโอโพลีเมอร์ ช่วยทำให้มีการนำของเสียมาเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่และใช้พลังงานในการผลิตลดลง คิดเป็นประสิทธิภาพการผลิตที่เพิ่มขึ้นรวม 22.03% สำหรับโรงงานกระเบื้องบ้านไทยที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด ในการจัดการลดของเสียในกระบวนการผลิต และสามารถแก้ปัญหาโดยการปรับปรุงกระบวนการเตรียมดิน จึงช่วยให้โรงงานสามารถลดของเสียจากกระบวนการผลิตได้ 15.00% ทำให้ภาพรวมของอุตสาหกรรมในกลุ่มผู้ผลิตกระเบื้องมีประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นได้ประมาณ 21.01%

ส่วนโรงงานลักษิกาที่เป็นผู้ผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ที่เป็นผลิตภัณฑ์ขาวสำหรับทำเครื่องเบญจรงค์นั้น ได้เลือกแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด จากการสังเกตถึงการสูญเสียในกระบวนการ

ผลิต และหาวิธีการจัดการเพื่อลดของเสีย ซึ่งพบว่าของเสียส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นจากการขาดระบบการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ ซึ่งจากการแนะนำวิธีการตรวจสอบและอบรมให้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานให้แก่พนักงานของโรงงาน ทำให้โรงงานสามารถควบคุมการผลิตได้ดี และสามารถลดของเสียลดลง 21% นอกจากนั้นยังได้มีการปรับปรุงเตาเผา โดยการเปลี่ยนผนังเตา ซึ่งทำให้มีการใช้พลังงานในการเผาลดลงได้ถึง 27.27%

สำหรับโรงงานเครื่องปั้นดินเผาในกลุ่มด่านเกวียนทั้ง 4 โรงงาน ได้แนะนำการใช้เทคโนโลยีสะอาดในการนำของเสียมาทำให้เกิดประโยชน์และการใช้เทคโนโลยีการผลิตเคลือบที่อุณหภูมิต่ำมาใช้ร่วมกัน โดยแต่ละโรงงานจะมีความต้องการใช้เคลือบที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิในการเผา จึงได้พัฒนาเคลือบขี้เถ้าใสและสี สำหรับเผาในช่วง 950–1050^{o}C จำนวน 4 สูตร ตลอดจนแนะนำการวิธีการเคลือบผลิตภัณฑ์ และการปรับปรุงเตาเผาเพื่อพัฒนาเคลือบที่เหมาะสมสำหรับการเผาของแต่โรงงาน ซึ่งถ้าโรงงานทำการผลิตเคลือบใช้เองจะทำให้โรงงานทั้ง 4 โรงงาน มีนำของเสียในการผลิตมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้น 9.79%, 11.75%, 5.77% และ 8.49% หรือโดยเฉลี่ยแล้วคิดเป็น 8.95%

4.6 การพัฒนาการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

โรงงานที่เข้าร่วมโครงการ ในกลุ่มโรงงานผู้ผลิตอิฐและกระเบื้องดินเผานั้น จากโรงงานที่มีการใช้เคลือบที่มีสารตะกั่วเป็นส่วนผสม 70-100% ซึ่งมีการใช้มากถึง 15,000 กก.ต่อปี ซึ่งหากมีการสูญเสียประมาณ 30% ก็จะทำให้มีการทิ้งส่วนผสมที่มีสารตะกั่วมากถึง 4500 กก.ต่อเดือน จึงเป็นที่ชัดเจนว่าการใช้เคลือบไร้สารตะกั่วสามารถจะลดมลพิษที่เกิดจากสารตะกั่ว ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อคนงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเนื่องมาจากไอของสารตะกั่วจากการเผา จากการทิ้งน้ำเคลือบเหลือใช้สู่สิ่งแวดล้อม ตลอดจนการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีสารตะกั่วเป็นองค์ประกอบที่จะมีผลกระทบในระยะยาวต่อไป ส่วนโรงงานมีการนำของเสียมาใช้ให้เป็นประโยชน์โดยการทำเป็นผลิตภัณฑ์จีโอโพลีเมอร์นั้น จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ถึง 13.89% หรือประมาณ 13,890 กก.ต่อเดือน ทำให้สามารถใช้ทรัพยากรในการผลิตอย่างคุ้มค่า และลดของเสียที่ทิ้งสะสมอยู่ในโรงงาน ซึ่งจำเป็นต้องนำไปกำจัดทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมเช่นกัน ส่วนโรงงานสามารถแก้ไขตำหนิลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตได้ 15% ทำให้สามารถลดของเสียที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ประมาณ 1,500 กก.ต่อเดือน

สำหรับโรงงานเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารนั้น จากการควบคุมกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นนั้น โดยสามารถลดของเสียที่เกิดจากการผลิตได้ 27.27% หรือประมาณ 13,635 กก.ต่อเดือน นอกจากนี้สามารถลดการใช้แก๊สได้ถึง 21.00% หรือประมาณ 13,335 กก.ต่อเดือน ซึ่งจะทำให้ลดมลภาวะต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการเผาและถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศมีปริมาณลดลงตามไปด้วย การลดปริมาณของเสียและ

ปริมาณมลภาวะที่เกิดจากการเผาดังกล่าวจึงเป็นตัวชี้วัดได้ว่าโรงงาน มีการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นหลังจากมีการดำเนินการตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

ในกลุ่มโรงงานด่านเกวียนจากการเก็บข้อมูลเดิม พบว่าโรงงานใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 950-1100°C และไม่มีกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเคลือบ ของเสียจากกระบวนการเผาจึงเกิดเป็นขี้เถ้าในปริมาณ 200-250 ก.ก./เดือน จากการที่ทางโรงงานไม่ได้นำขี้เถ้ามาใช้งานแต่อย่างใด เศษขี้เถ้าในเตาเผาจะถูกกวาดมารวมกันเพื่อรอการนำไปกำจัด โดยคนงานจะร่อนแยกถ่านไม้ออกก่อน เพื่อนำไปใช้งานหรือขาย ส่วนของขี้เถ้านั้นเกิดเป็นมลภาวะฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงาน เป็นผลเสียต่อสุขภาพคนงาน ภายหลังการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด ทำให้สามารถนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ให้เป็นประโยชน์ ทำให้มีปริมาณขี้เถ้าเหลือทิ้งที่ลดลงประมาณ 25-30% เพราะฉะนั้นการนำของเสียขี้เถ้าจากกระบวนการเผากลับมาใช้ใหม่ (Recycle) เพื่อลดปริมาณของเสียและมลพิษจากกระบวนการผลิตที่ต้องนำไปกำจัด เป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนท้องถิ่น ลดการนำไปกำจัดทิ้ง เป็นการพัฒนาของผู้ประกอบการไปสู่กระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การนำของเสียขี้เถ้าจากการเผากลับมาใช้ใหม่ เป็นวัตถุดิบสำหรับการทำเคลือบขี้เถ้าที่มีความเหมาะสมกับเนื้อดินด่านเกวียนเพื่อการนำไปใช้ได้จริง นำไปสู่การเพิ่มคุณค่าและมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์ของชุมชนให้มีความยั่งยืนต่อไป

4.7 การเผยแพร่ผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

โครงการได้ดำเนินการจัดงานสัมมนาปิดโครงการ “การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการใช้เทคโนโลยีสะอาดและการผลิตที่อุณหภูมิต่ำสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม" เพื่อเผยแพร่ผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อวันจันทร์ที่ 27 กรกฎาคม 2558 พบว่ามีผู้เข้าร่วมสัมมนาทั้งสิ้น 52 คน โดยมีสัดส่วนของผู้เข้าร่วมสัมมนาที่มาจากภาคเอกชน 81% มาจากหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ 4% และมาจากมหาวิทยาลัย 15% ของผู้เข้าร่วมสัมมนาทั้งหมด โดยได้ให้มีหัวข้อการสัมมนา ดังนี้

- สถานการณ์อุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อมในประเทศไทย โดย ดร.สมนึก ศิริสุนทร ผู้อำนวยการฝ่ายอาวุโส ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และนายกสมาคมเซรามิกไทย โดยวิทยากร ดร.สมนึก ศิริสุนทรได้สรุปทิศทางของอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อมในประเทศไทย รวมถึงให้คำแนะนำในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่มีแนวโน้มเป็นที่ต้องการของตลาดปัจจุบัน

- พื้นฐานการใช้สีและเทคนิคการปรับสีที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม วิทยากร คุณอ้อมจิตต์ เมาสูงเนิน ฝ่ายวิจัย บริษัท อัมรินทร์ เซรามิกส์ จำกัด โดยวิทยากรได้ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวการใช้สีในเซรามิก การปรับสีในเนื้อดินและเคลือบ

- การแก้ปัญหาและลดของเสียในกระบวนการผลิตเซรามิกสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม วิทยากร ดร. ศิริพร ลาภเกียรติถาวร นักวิจัยอาวุโส สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับสาเหตุ วิธีการแก้ไข ป้องกันตำหนิในของเสียเซรามิก ที่มักพบได้บ่อยๆในการผลิต

หลังจากนั้นทางโครงการได้บรรยายสรุปถึงที่มา กระบวนการดำเนินงาน และผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละโรงงานที่เข้าร่วมโครงการ ซึ่งจากการประเมินผลความสำเร็จของการจัดสัมมนาจากแบบสอบถามหลังเสร็จสิ้นการสัมมนา พบว่าผู้เข้าร่วมสัมมนามีความพึงพอใจ และได้รับประโยชน์ในระดับมากถึงมากที่สุดกับภาพรวมการสัมมนาครั้งนี้

นอกจากนี้ทางทีมงานได้ไปเผยแพร่ผลงานให้กับกลุ่มผู้ผลิตเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน โดยจัดการประชุมร่วมกับเทศบาลตำบลด่านเกวียน ในวันพุธที่ 26 สิงหาคม 2558 เวลา 13.00-15.00 น. ณ เทศบาลตำบลด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา มีผู้เข้าร่วมการประชุมทั้งสิ้นจำนวน 30 คน โดยพบว่ามีโรงงานอีกจำนวนหนึ่งที่ต้องการนำสูตรเคลือบขี้เถ้าที่โครงการพัฒนาขึ้นไปทดลองใช้ในโรงงานของตัวเอง

ในกลุ่มโรงงานด่านเกวียน ได้มีการวิจัยได้ศึกษาข้อมูลในการทดลองเคลือบขี้เถ้าเพื่อการนำไปใช้ของชุมชนและผู้ประกอบการเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน เป็นสูตรเคลือบที่มีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปใช้เคลือบได้ดี เคลือบไหลตัวดี ให้สีที่สดใสเมื่อใส่ออกไซด์ (Oxide) สามารถยึดเกาะติดผิวเนื้อดินขึ้นรูปด่านเกวียนได้ดี ไม่หลุดร่อนเมื่อเคลือบ และร่วงหล่นขณะเผา โดยได้ทำการถ่ายทอดสูตรเคลือบจากการวิจัย สูตรเคลือบขี้เถ้าอุณหภูมิเผาที่ 950 – 1,050°C สำหรับการเผาครั้งเดียว (One-Fire) ให้กับผู้ประกอบการเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ เป็นการต่อยอดองค์ความรู้ทางภูมิปัญญาที่เกิดขึ้นจากประสบการณ์ของผู้ประกอบการ โดยเคลือบสามารถยึดติดเกาะ ไม่หลุดร่วงขณะเผา สามารถเคลือบโดยการทาหรือการชุบเคลือบได้กับพื้นผิวของเนื้อดินด่านเกวียนได้เป็นอย่างดี ให้ความเงางาม และปกปิดผิวได้ดี

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการประชาสัมพันธ์โครงการ โดยการจัดสัมมนาและการจัดประชุมกลุ่มย่อย มีโรงงานที่สมัครเข้าร่วมโครงการทั้งหมด 12 โรงงาน แต่หลังจากการติดต่อและไปเยี่ยมชมโรงงาน มีโรงงานขนาดกลางและขนาดย่อม ที่สนใจและมีความพร้อมในการเข้าร่วมโครงการทั้งหมด 8 โรงงาน แบ่งเป็นโรงงานอิฐและกระเบื้องมุงหลังคา 3 โรงงาน อยู่ในจังหวัดอ่างทองและฉะเชิงเทรา โรงงานเครื่องปั้นดินเผา 4 โรงงาน ในกลุ่มด่านเกวียน และโรงงานเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร 1 โรงงาน ในจังหวัดนครปฐม

ซึ่งจากการเก็บข้อมูลโรงงาน และจัดทำทางเลือกในการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ประกอบกับการนำเสนอความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค เชิงสิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ พบว่าแนวทางเลือกที่โรงงานสนใจและมีความเหมาะสมนั้น ประกอบไปด้วย การพัฒนาเคลือบไร้สารตะกั่ว การนำเศษกระเบื้องมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ การแก้ปัญหาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต การพัฒนาเคลือบขี้เถ้า และการจัดทำระบบคุณภาพเพื่อควบคุมการผลิตให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

จากการเข้าไปพัฒนาโรงงานตามแนวทางเลือกในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตนั้น ได้มีการเก็บตัวอย่างวัตถุดิบ เนื้อดินและเคลือบ ผลิตภัณฑ์ก่อนเผาและหลังเผา จากโรงงานมาเพื่อทดลองเคลือบไร้สารตะกั่วอุณหภูมิต่ำที่ 950°C นำเศษบิสกิตมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์กระเบื้องจีโอโพลีเมอร์ การนำผลิตภัณฑ์ของเสียมาวิเคราะห์ทดสอบ เพื่อหาสาเหตุและแนวทางแก้ปัญหา ตลอดจนการเข้าไปแนะนำวิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต และการนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาพัฒนาเป็นเคลือบขี้เถ้า ในช่วงอุณหภูมิ 950-1050°C และจากการประเมินผลโดยการใช้สมดุลมวลผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบก่อนและหลังการเข้าไปพัฒนา พบว่าโรงงานที่เข้าร่วมโครงการมีประสิทธิภาพการผลิตโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 16.36% ซึ่งหลักการ วิธีการ และผลการดำเนินงานโดยใช้เทคโนโลยีดังกล่าว ได้ถ่ายทอดให้กับบุคลากรโรงงานและผู้ที่สนใจทั่วไปผ่านงานสัมมนาจำนวน 2 ครั้ง โดยมีผู้ที่เข้ารับการถ่ายทอดทั้งหมด 82 คน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของโครงการนี้ จึงเป็นตัวอย่างในการพัฒนาที่ได้ผล และนับได้ว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้อุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศสามารถพัฒนาได้อย่างยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1) กรมโรงงานอุตสาหกรรม. **เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (Cleaner Technology – CT) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม**. กระทรวงอุตสาหกรรม. 2548
2) เกศรินทร์ พิมรักษา, ไพศาล กิตติศุภกร, อัจฉราวดี ช้างพึ่ง และ สัมพันธ์พงศ์ เพ็ญสิริกุล. **การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการแก้ปัญหารอยตำหนิของเครื่องปั้นดินเผาศิลาดล**. หัวข้องานวิจัยด้านเทคโนโลยีสะอาดสำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิต. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2548
3) เกียรติสุดา สมดี. **การปรับปรุงการเตรียมดินและการขึ้นรูปเพื่อลดกระเบื้องเสียก่อนและหลังเผา.** หัวข้องานวิจัยด้านเทคโนโลยีสะอาดสำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิต. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2550
4) วรพงษ์ เทียมสอน, วิสุทธิ์ จะนะศรี และ เชฎฐา ทรัพย์บำเรอ. **การเพิ่มประสิทธิภาพเตาเผาและกระบวนการเผาอิฐก่อสร้าง.** ปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมด้วยเทคโนโลยีสะอาด. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2550
5) ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. **คู่มือการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตเซรามิก.** กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2552
6) ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. **แนวทางการผลิตเซรามิก (ผลิตภัณฑ์ตกแต่งบ้านและสวน) ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม.** กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553
7) ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. **รูปแบบมาตรฐานการผลิตเซรามิกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อสนับสนุนการส่งออก โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด.** กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2554
8) สิทธิศักดิ์ ประสานพันธ์, อนุชา วรรณก้อน, สมัญญา สงวนพรรค, ธรรมรัตน์ ปัญญธรรมาภรณ์, **การพัฒนาสูตรเคลือบไร้สารตะกั่วสำหรับเผาเคลือบเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำ**. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2552
9) สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม. **คู่มือวินิจฉัยโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกในด้านพลังงานตามแนวทางของประเทศญี่ปุ่น.** สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2554
10) มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. **คู่มือ Lean Management for Environment สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก.** มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2555

ภาคผนวก ก. ข้อมูลการดำเนินงานในแต่ละโรงงาน

1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา
2. บริษัท อ.ป.ก. ดาวคู่ (1988) จำกัด
3. บริษัท กระเบื้องบ้านไทย จำกัด
4. บริษัท ลักษิกา 917 จำกัด
5. โรงงานดินไทย
6. โรงงานมดแดงดินเผา
7. โรงงานบุญส่งดินเผา
8. โรงงานเที่ยงเจริญดินเผา

ภาคผนวก ข. เอกสารแนบ

1. ตาราง Output
2. รายสรุปทางการเงิน

ห้างหุ้นส่วนจำกัด อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา

1. ข้อมูลทั่วไป (เดิม บบก. อิฐอุตสาหกรรม หรือ BBK)

ที่อยู่ คุณอมร หงษ์อุปถัมภ์ไชย
17 หมู่ 5 ตำบลบางเสด็จ อ.ป่าโมก จ.อ่างทอง 14130

โทรศัพท์ 035 661 053 โทรสาร 035 661 433

อีเมล์ absbrick@hotmail.com

ผลิตภัณฑ์ อิฐ-กระเบื้องดินเผา เคลือบ, ไม่เคลือบสีในรูปแบบต่างๆ ใช้ยี่ห้ออิฐบางเสด็จ (อบส.หรือ ABS) (มีอีกโรงงานหนึ่งใช้ชื่อ ผู้ใหญ่เกา PYK)

ตลาด ผลิตตามสั่ง กลุ่มลูกค้าเป็นวัด รีสอร์ท 70% ส่งทางใต้เป็นหลัก ขึ้นอยู่กับการท่องเที่ยว

กำลังการผลิต 100,000 แผ่นต่อเดือน แผ่นละ 0.5-1 กก. หรือ 100-200 ตันต่อเดือน

จำนวนคนงาน ประมาณ 40 คน

เนื้อดิน ดินอ่างทอง ดินระนอง ทราย และอิฐบด ดินอ่างทองหายากขึ้น เอาไปทำบ่อทรายเยอะขึ้น
การเตรียม ดินผสมน้ำ (หมัก) รีดผสม แล้วรีดด้วย vacuum plug mill
ปริมาณการใช้ 5 ไร่/ปี ทิ้งไว้10 ปีมีตะกอนทับถม กลับมาขุดใหม่ได้
ต้นทุน ดินอ่างทอง 1 บาท/กก. ดินระนอง 3 บาท/กก. ทราย 7 บาท/กก.
ปัญหา มีขี้เกลือ แก้ไขโดยการใช้ $BaCO_3$ ผสมในน้ำ จะให้ดินมีสีเข้มดีขึ้นด้วย

ขึ้นรูป การอัด

เคลือบ ตะกั่วแดง ผสมดิน และทราย (70 : 13 : 17) ใช้ฟริต 360 ฟริต 6647 สำหรับทำเคลือบใส
ใช้เหล็กอินเดีย 2%
ต้นทุนตะกั่ว 140 บาท/กก. ฟริต 70 บาท/กก.
ผู้ดูแล คุณแมน

การเผา ใช้เตาอุโมงค์ เผาบิสกิต 800-900^{o}C เผาเคลือบ 1000^{o}C
ใช้แก๊ส LPG ขนาด 48 กก./ถัง ประมาณ 200 ถัง/เดือน ราคาถังละ 1,017 บาท

ปัญหา 1) คนงานคุมได้ยาก คุณภาพไม่สม่ำเสมอ
2) กระเบื้องว่าว ของเสีย 30-70% หนาเกินไป แตกง่าย

ความต้องการ 1) เคลือบไร้สารตะกั่ว
2) การทำแก๊สชีวมวล จากขี้วัว
3) การทำเตาอุโมงค์
4) การบำบัดน้ำเสีย

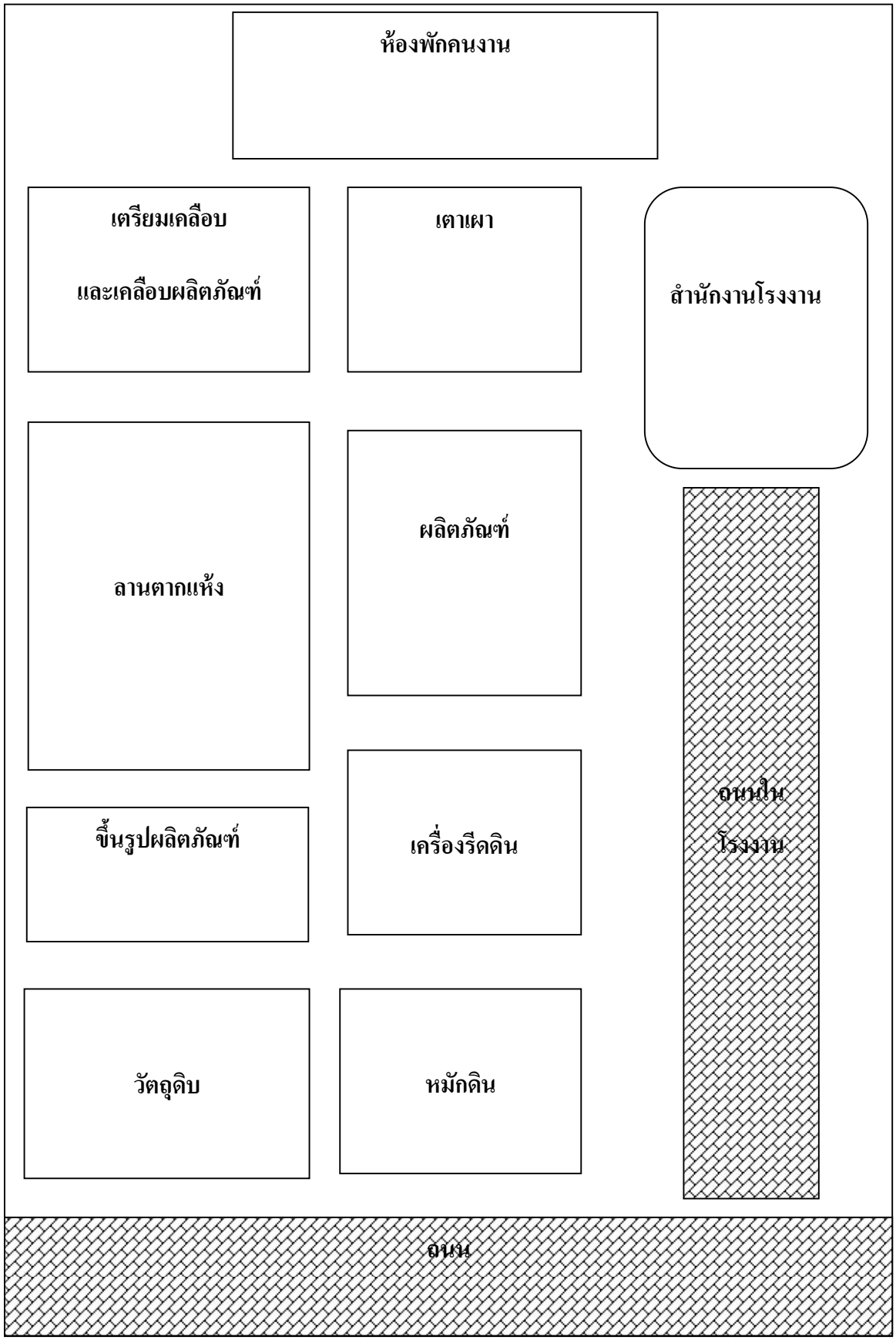
ข้อมูลอื่นๆ - มีการทำกระเบื้องไม่ต้องเผา โดยใช้น้ำยาจากศูนย์ลำปาง (น้ำยาคาเมะ) โดยใช้วัตถุดิบเป็นเศษกระเบื้องเผามาบด (อาจมีส่วนผสมของซีเมนต์)

- เคยทดลองใช้ฟริตแทนตะกั่วถึง 10-50% แต่สีไม่สวยเท่า

ภาพที่ 1-1 การเก็บข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา

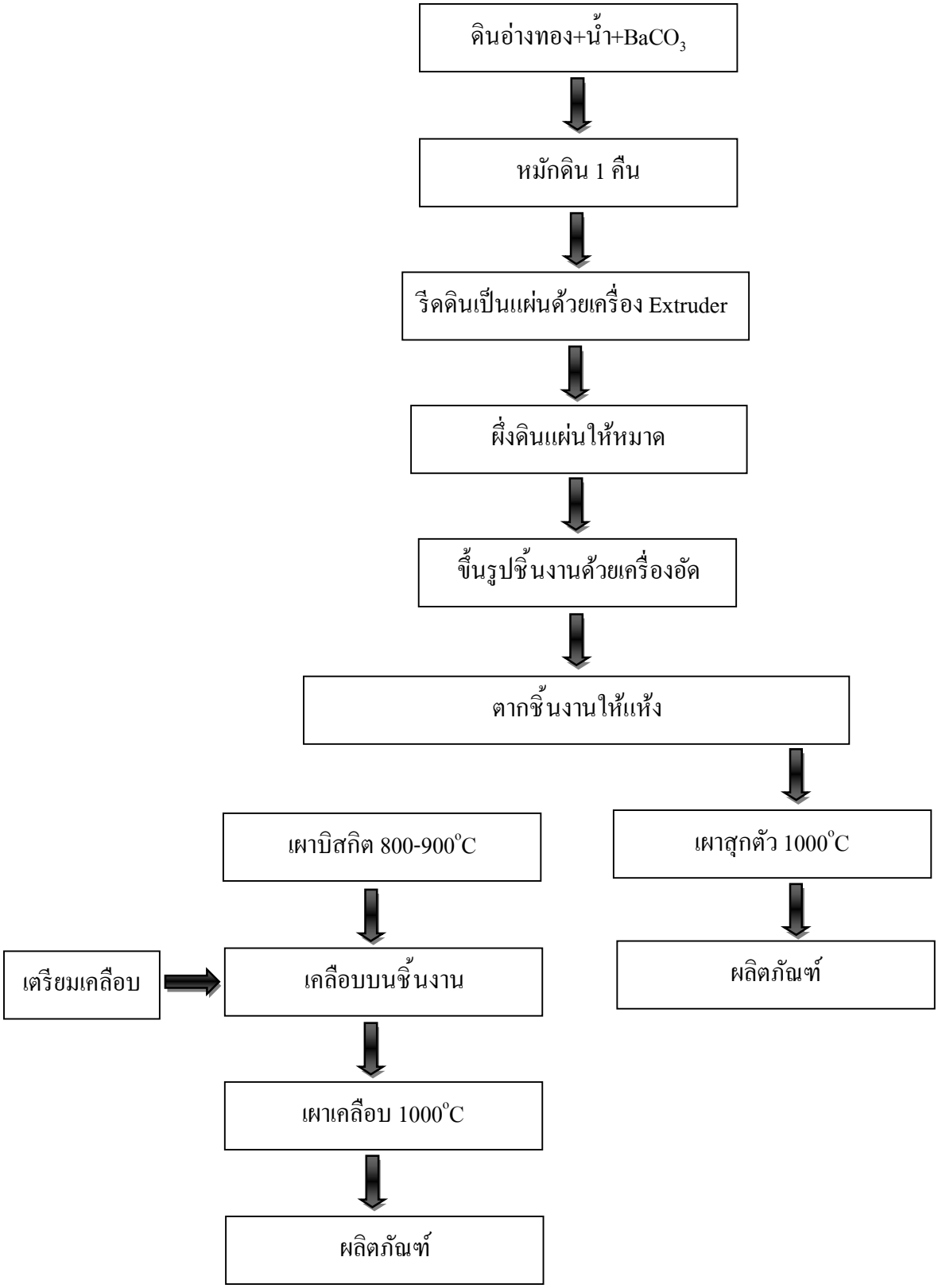
ภาพที่ 1-2 รูปผลิตภัณฑ์ของโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา

แผนผังโรงงาน

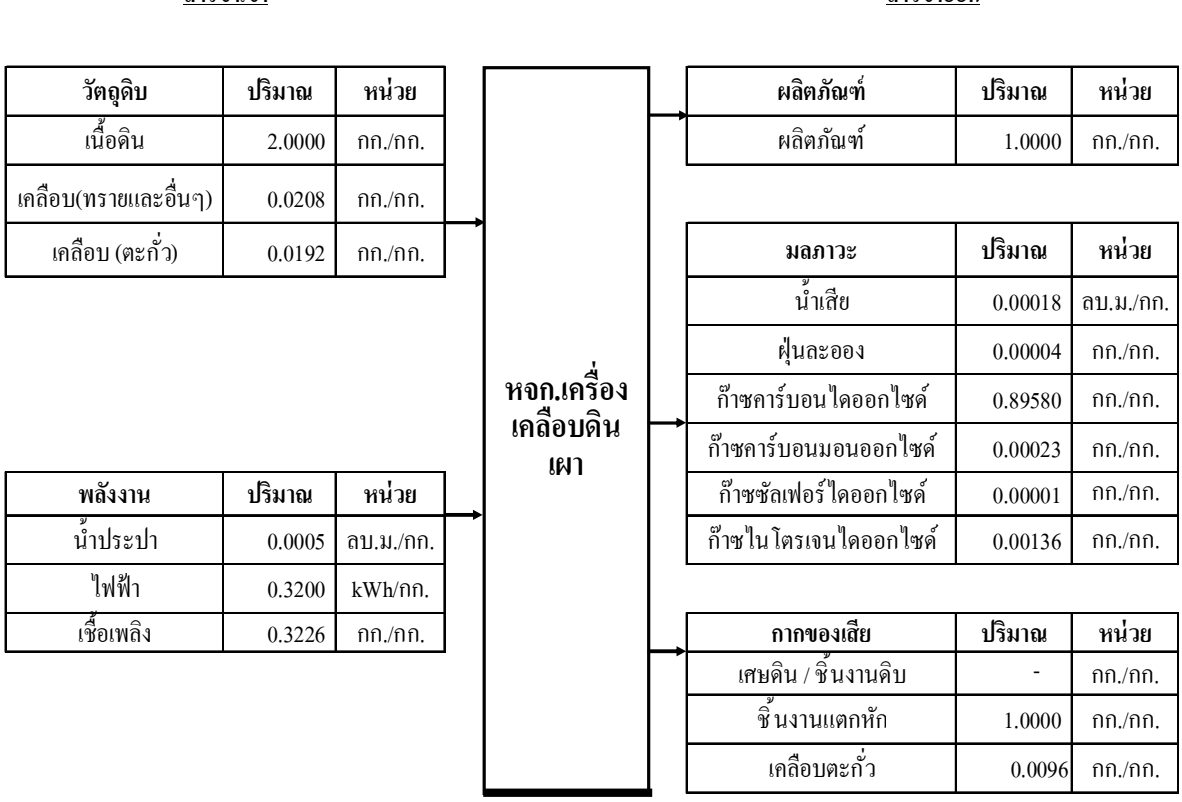


2. สมดุลมวลผลิตภัณฑ์ (Mass balance)

1) กระบวนการผลิต



2) สมดุลมวลกระบวนการผลิต



วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
เนื้อดิน	2.0000	กก./กก.
เคลือบ(ทรายและอื่นๆ)	0.0208	กก./กก.
เคลือบ (ตะกั่ว)	0.0192	กก./กก.

พลังงาน	ปริมาณ	หน่วย
น้ำประปา	0.0005	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.3200	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	0.3226	กก./กก.

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะ	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.00018	ลบ.ม./กก.
ฝุ่นละออง	0.00004	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.89580	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.00023	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	0.00136	กก./กก.

กากของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	-	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	1.0000	กก./กก.
เคลือบตะกั่ว	0.0096	กก./กก.

3. แนวทางพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

1) การพัฒนาเคลือบไร้สารตะกั่วที่ใช้อุณหภูมิต่ำ

โรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาเป็นโรงงานที่ผลิตกระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องบุผนัง และกระเบื้องปูพื้น และมีทั้งผลิตภัณฑ์ที่เคลือบและไม่เคลือบ กระเบื้องที่เคลือบจะเผาสุกตัวที่อุณหภูมิ 1000°C และกระเบื้องที่เคลือบจะใช้เคลือบตะกั่วเป็นสารเคลือบ โดยจะมีตะกั่วเป็นองค์ประกอบของเคลือบประมาณ 50-70% ในปัจจุบันราคาตะกั่วก็จะเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นเคลือบที่มีตะกั่วเป็นพิษต่อผู้ผลิต ผู้ปฏิบัติงานในสายการผลิต และเป็นพิษต่อผู้บริโภค และในอนาคตอาจจะมีกฎหมายห้ามนำเข้าสารตะกั่ว ดังนั้นทางผู้ประกอบการจึงอยากลดการใช้ตะกั่วในเคลือบ รวมถึงต้องการอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์เป็น 950°C เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และลดปริมาณตะกั่วในเคลือบหรืออาจจะไม่ใช้สารตะกั่วเลย เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานในโรงงานและผู้บริโภค

2) การบำบัดน้ำเสียในโรงงาน

น้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาส่วนใหญ่มีแหล่งที่มาจากกระบวนการล้างเครื่องมือและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะจากกระบวนการผสมน้ำเคลือบซึ่งใช้น้ำเป็นตัวทำละลายสารเคมีที่ใช้ทำน้ำเคลือบ ทั้งนี้ในโรงงานมีการใช้สารตะกั่วเป็นส่วนประกอบหลักในน้ำเคลือบ

ประมาณ 50-70% ดังนั้นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาจึงเป็นน้ำเสียที่มีความเป็นพิษสูง เนื่องจากมีความเข้มข้นของโลหะหนักจำพวกสารตะกั่วในปริมาณมาก ซึ่งอาจก่อให้เกิดมลพิษและอันตรายถ้ามีการปล่อยน้ำเสียดังกล่าวออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะในบริเวณใกล้เคียงโดยตรง ทางผู้ประกอบการและทีมวิจัยจึงมีแนวทางในการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียอย่างง่ายที่เหมาะสมกับขนาดและสภาพแวดล้อมของโรงงาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับแหล่งชุมชนในบริเวณใกล้เคียง และลดปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นด้วย

4. ความเป็นไปได้ของแนวทางพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

1) การพัฒนาเคลือบไร้สารตะกั่วที่อุณหภูมิต่ำ

<u>ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค</u>

การลดอุณหภูมิในการเผาเคลือบ มีแนวทางในการพัฒนาคือ จะใช้วัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยหลอมเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในการเผาทดแทนตะกั่ว เช่น ลิเธียมคาร์บอเนต แบเรียมคาร์บอเนต ฟริตอุณหภูมิต่ำ เป็นต้น เพื่อให้เคลือบสามารถเผาสุกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 950°C นอกจากนี้ยังทำการลดปริมาณการใช้ตะกั่วในเคลือบ โดย มีแนวทางในการพัฒนา คือ นำฟริตไร้สารตะกั่วทดแทนการใช้ตะกั่วในเคลือบ ทั้งนี้เคลือบที่ได้ควรมีความเงาและเฉดสีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

<u>ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม</u>

การลดอุณหภูมิในการเผาเคลือบจาก 1000 °C เป็น 950°C จะสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง LPG และลดการปล่อยมลพิษทางอากาศได้ ส่วนการไม่ใช้สารตะกั่วในเคลือบ จะทำให้ผู้ผลิต ผู้ปฏิบัติงานในสายการผลิต และผู้บริโภคปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย และเพิ่มโอกาสในการส่งออกเพื่อแข่งขันในตลาดโลก

<u>ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์</u>

โรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาใช้เคลือบตะกั่วเพื่อเคลือบผลิตภัณฑ์โดยใช้อุณหภูมิเผาผลิตภัณฑ์เดิมที่ 1000 °C ทั้งนี้สูตรเคลือบไร้สารตะกั่วที่ทำการพัฒนาขึ้น จะสามารถอุณหภูมิเผาสุกตัวที่อุณหภูมิ 950 °C จึงสามารถลดต้นทุนค่าเชิงเพลิง LPG ลงได้

โรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาใช้เคลือบตะกั่วเพื่อเคลือบผลิตภัณฑ์ ต้นทุนเคลือบของโรงงานราคา 100 บาทต่อกิโลกรัม หนึ่งเดือนใช้เคลือบจำนวน 1,250 กิโลกรัม คิดเป็นจำนวนเงิน 125,000 บาท และหนึ่งปีใช้เคลือบจำนวน 15,000 กิโลกรัม ถ้าโรงงานเปลี่ยนมาใช้เคลือบไร้สารตะกั่วสามารถลดต้นทุนเคลือบได้จำนวน 50% คิดเป็นจำนวนเงิน 62,500 บาทต่อเดือน หรือ 750,000 บาทต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ต้นทุนเคลือบตะกั่วโรงงานและเคลือบไร้สารตะกั่ว

สูตรเคลือบ	ต้นทุนเคลือบ (บาท/กก.)	ต้นทุนเคลือบต่อเดือน (บาท)	ต้นทุนเคลือบต่อปี (บาท)
สูตรเคลือบตะกั่วโรงงาน	100	125,000	1,500,000
สูตรเคลือบไร้สารตะกั่ว	50	62,500	750,000

2) การบำบัดน้ำเสียในโรงงาน

ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผามีของแข็งแขวนลอยและโลหะหนัก รวมถึงปริมาณสารอนินทรีย์สูง กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับโรงงาน จึงเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียทางเคมี โดยใช้กระบวนการตกตะกอนด้วยสารเคมี (Coagulation and Sedimentation) จากการสำรวจพื้นที่และปริมาณน้ำเสียซึ่งมีการปล่อยออกจากโรงงานประมาณ 2-5 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าการสร้างบ่อพักน้ำเสียและบ่อตกตะกอนอย่างง่ายมีความเป็นไปได้ในการนำมาประยุกต์ใช้กับโรงงาน ส่วนสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนเลือกใช้สารเคมีประเภทด่าง เช่น ปูนขาว หรือ สารส้ม เพื่อเพิ่มค่าพีเอชทำให้ความสามารถในการละลายของโลหะลดลงและเกิดการตกผลึกได้ โดยน้ำเสียที่ปรับค่าพีเอชจะไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอนเพื่อทำการตกตะกอนโลหะหนักก่อนปล่อยน้ำใสส่วนบนของบ่อตกตะกอนออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

สารตะกั่ว เป็นโลหะหนักที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยใช้เพื่อลดอุณหภูมิในการเผาและให้เคลือบมีสีสันสวยงาม ทั้งนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าสารตะกั่วก่อให้เกิดอันตรายทั้งกับผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงแหล่งชุมชนบริเวณใกล้เคียงถ้าน้ำเสียดังกล่าวถูกปล่อยออกมา การกำจัดสารตะกั่วในน้ำเสียก่อนการปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะโดยผ่านกระบวนการบำบัดที่ถูกวิธีจึงเป็นการช่วยลดปัญหาสภาวะแวดล้อมที่เป็นพิษ และลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งมีชีวิตในบริเวณใกล้เคียงได้

ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

เมื่อพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์ การสร้างระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมี โดยใช้กระบวนการตกตะกอนด้วยสารเคมี จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของ 1) การปรับพื้นที่ที่ใช้ในการสร้างระบบบำบัด ประมาณ 5,000 บาท 2) การก่อสร้างบ่อพักน้ำและบ่อตกตะกอนอย่างง่าย ประมาณ 30,000 บาท 3) สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนประมาณ 1,000 บาท 4) ค่าดูแลระบบและค่ากำจัดตะกอนโลหะหนักส่วนเกิน ประมาณเดือนละ 5,000 บาท

จากสมดุลมวลกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา พบว่า

- โรงงานมีปริมาณของเสียจากการแตกหักของชิ้นงานค่อนข้างสูง (เฉลี่ยประมาณ 50%)
- โรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าและแก๊สเชื้อเพลิง LPG ในการเผาค่อนข้างสูง (ราคาแก๊ส ณ ปัจจุบันประมาณ 24 บาทต่อกก.)

แต่เมื่อทำการปรึกษาถึงประเด็นปัญหาหลักที่ทางโรงงานต้องการให้แก้ไขอย่างเร่งด่วน จึงได้ข้อสรุปว่า โรงงานต้องการให้ลดปริมาณสารตะกั่วที่ใช้ในเคลือบกระเบื้อง เนื่องจากปัจจุบันโรงงานใช้ปริมาณสารตะกั่วมากถึง 70% ของน้ำหนักเคลือบ และราคาสารตะกั่วที่ใช้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแล้ว (ปัจจุบัน 100 บาท ต่อกก. ใช้เคลือบ 1,250 กก. ต่อเดือน) รวมถึงสารตะกั่วเป็นสารอันตรายที่ส่งผลต่อพนักงานในโรงงาน และยังปนเปื้อนออกสู่สภาวะแวดล้อมอีกด้วย (น้ำทิ้ง 0.19 ลบ.ม. ต่อวัน ค่าบำบัด 5,000 บาทต่อลบ.ม.)

จึงเป็นที่มาของแนวทางพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต 2 ทางเลือก คือ

- การพัฒนาเคลือบไร้สารตะกั่วที่อุณหภูมิต่ำลด
- การบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว

เมื่อพิจารณาแนวทางทั้งสองร่วมกันแล้ว จึงเลือกใช้แนวทางเลือกที่ 1คือการลดปริมาณการใช้สารตะกั่วในเคลือบ ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดต้นทุนให้กับโรงงานแล้ว ยังเป็นการลดสารตะกั่วจากแหล่งกำเนิด ถือเป็นแนวทางเลือกที่มีความคุ้มค่าในเชิงเทคนิค สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ อย่างชัดเจน

5. ผลการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

การนำสูตรเคลือบไร้สารตะกั่วมาประยุกต์ใช้กับเนื้อดิน และเตาเผา รวมถึงกระบวนการผลิตเดิมในโรงงาน มีขั้นตอนดังนี้

1) <u>นำเคลือบไร้สารตะกั่วสูตรอุณหภูมิต่ำ ที่ได้จากห้องปฏิบัติการไปทดลองเผาที่โรงงาน</u>

นำส่วนผสมของเคลือบไร้สารตะกั่วอุณหภูมิต่ำ ดังแสดงใน**ตารางที่ 1-2** ไปบดด้วยเครื่องบด High speed mill เป็นเวลา 10 นาที โดยที่การเติมน้ำ 80% ของส่วนผสมวัตถุดิบ หลังจากนั้นกรองน้ำเคลือบผ่านตะแกรง 100 เมช และปรับความหนาแน่นให้มีค่าเท่ากับ 1.40 กรัมต่อ ลบ.ซม. นำน้ำเคลือบไร้สารตะกั่วที่ได้ไปให้โรงงาน ดังแสดงใน**ภาพที่ 1-3** และทดลองเคลือบและเผาที่อุณหภูมิ 950°C ด้วยเตาอุโมงค์และใช้สภาวะการเผาที่ทางโรงงานใช้ในการผลิตดังแสดงใน**ภาพ 1-4** จากการเผาเคลือบที่โรงงานพบว่าเคลือบยังไม่สุกตัวดี ดังแสดงใน**ภาพที่ 1-5** จึงต้องพัฒนาเคลือบไร้สารตะกั่วใหม่เพื่อไปทดลองเคลือบและเผาที่โรงงานอีกครั้ง

ตารางที่ 1-2 ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในสูตรไร้สารตะกั่วอุณหภูมิ 950°C

วัตถุดิบ	**ปริมาณ (wt.%)**
ฟริต 360 (Ferro)	64
เศษแก้ว	10
ฟลักซ์	10
ซิงค์ออกไซด์	5
เบเรียมคาร์บอเนต	10
ตัวเติม	1
ราคาบาท (บาท/กก.)	**74.1**

ภาพที่ 1-3 การนำเคลือบไร้สารตะกั่วไปให้โรงงานทดลองใช้

ภาพที่ 1-4 เตาเผาอุโมงค์

ภาพที่ 1-5 ชิ้นงานที่ใช้คลือบสูตรไร้สารตะกั่ว W2

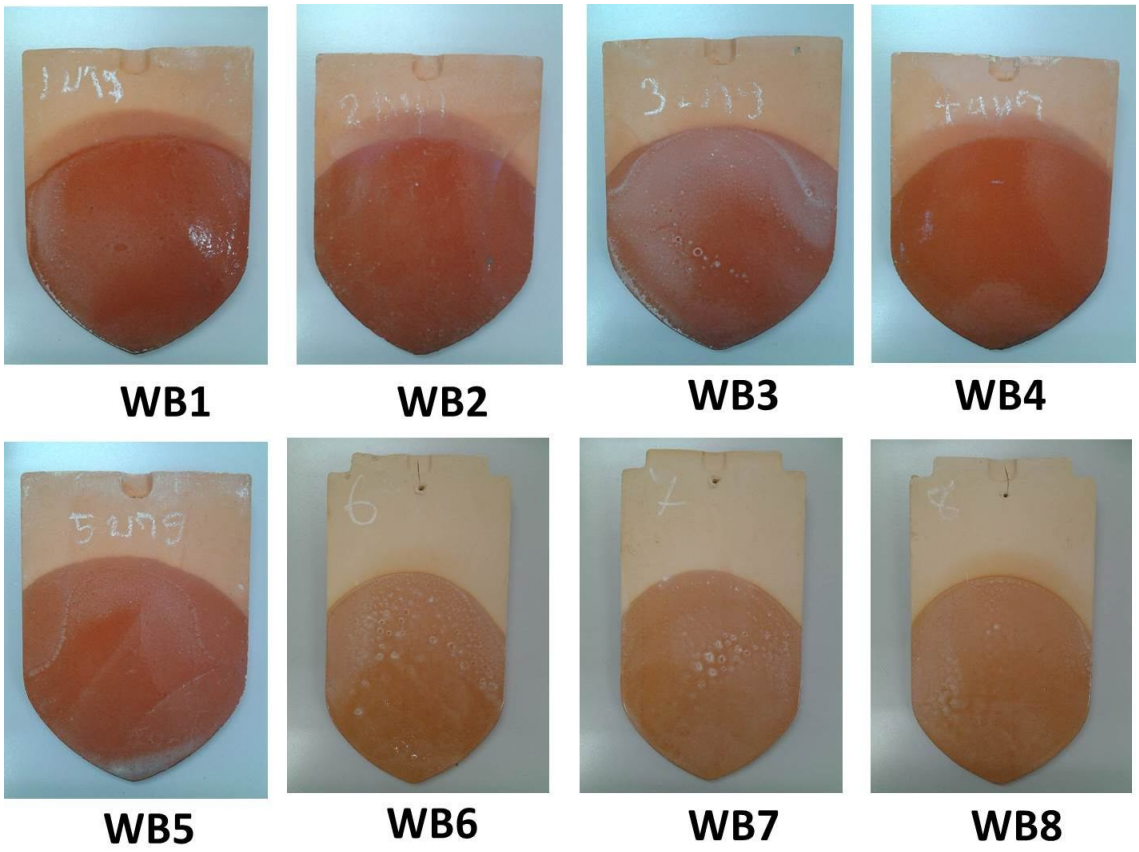
2) <u>พัฒนาเคลือบไร้สารตะกั่วอุณหภูมิต่ำให้เหมาะสมกับสภาวะการเผาที่โรงงาน</u>

การพัฒนาเคลือบไร้สารตะกั่วอุณหภูมิต่ำใหม่เพื่อให้สุกตัวดีขึ้น ทำโดยลดปริมาณเศษแก้ว ซึ่งมีส่วนผสมของเคลือบไร้สารตะกั่วที่ทำการปรับปรุงใหม่ ดังแสดงใน**ตารางที่ 1-3** นำส่วนผสมไปบดด้วยเครื่องบด High speed mill เป็นเวลา 10 นาที โดยที่การเติมน้ำ 80% ของส่วนผสมวัตถุดิบ หลังจากนั้นกรองน้ำเคลือบผ่านตะแกรง 100 เมช และปรับความหนาแน่นให้มีค่าเท่ากับ 1.40 กรัมต่อ ลบ.ซม. จากนั้นนำน้ำเคลือบไร้สารตะกั่วไปให้โรงงาน ดังแสดงใน**ภาพที่ 1-5** และทดลองเคลือบและเผาที่โรงงานอุณหภูมิ 950 ^{o}C ด้วยเตาอุโมงค์ จากการเผาเคลือบที่โรงงาน พบว่าเคลือบไร้สารตะกั่วสูตร WB4 สุกตัวดีที่สุด ส่วนเคลือบไร้สารตะกั่วสูตร WB1-WB3 และ WB5-WB8 ยังไม่สุกตัวดี ดังแสดงใน**ภาพที่ 1-6**

ตารางที่ 1-3 สูตรเคลือบใส อุณหภูมิ 950^{o}C ที่ทำการพัฒนาใหม่

วัตถุดิบ	**ปริมาณวัตถุดิบในสูตร (wt.%)**							
	WB1	**WB2**	**WB3**	**WB4**	**WB5**	**WB6**	**WB7**	**WB8**
ฟริต 360 (Ferro)	69	74	74	79	84	79	79	79
เศษแก้ว	5	5	-	-	-	-	-	-
ฟลักซ์	10	10	10	10	-	10	10	10
ซิงค์ออกไซด์	5	5	5	5	5	5	5	5
เบเรียมคาร์บอเนต	10	5	10	5	5	5	5	5
ตัวเติม	1	1	1	1	1	1	1	1
ราคาบาท (บาท/กก.)	**77.6**	**78.5**	**79.6**	**81.2**	**76.4**	**79.3**	**79.0**	**79.12**

ภาพที่ 1-5 เคลือบสูตร WB1-WB8 ที่นำไปทดลองที่โรงงาน



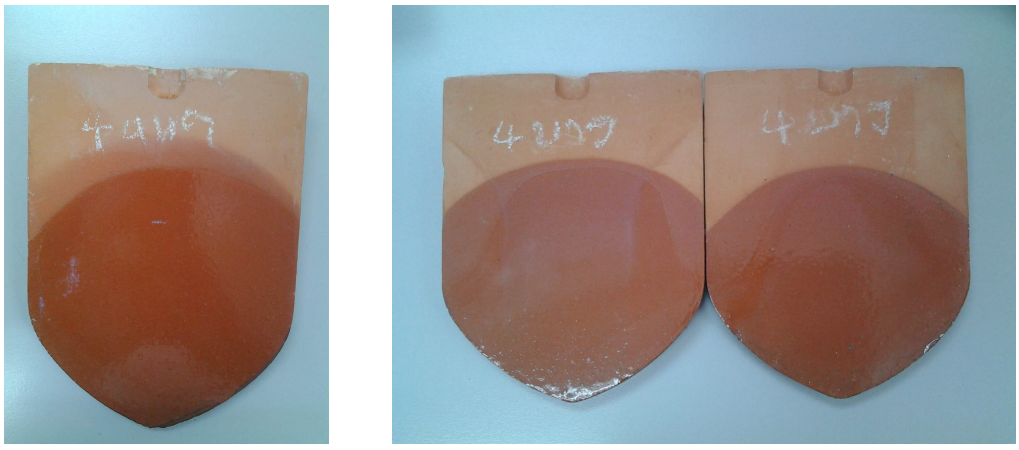
ภาพที่ 1-6 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองเผาโดยใช้สูตรเคลือบไร้สารตะกั่ว WB1-WB8

3) ถ่ายทอดสูตรเคลือบและวิธีการเตรียมน้ำเคลือบไร้สารตะกั่วอุณหภูมิต่ำสูตร WB4 ให้ทางโรงงาน

นำวัตถุดิบของเคลือบไร้สารตะกั่วสูตร WB4 ที่สุกตัวดีที่อุณหภูมิ 950°C ไปให้ทางโรงงาน เพื่อถ่ายทอดสูตรเคลือบและวิธีการเตรียมน้ำเคลือบ จากนั้นให้คนงานทดลองเคลือบชิ้นงานและเผาที่เตาอุโมงค์ของโรงงาน ดังแสดงใน**ภาพที่ 1-7** จากการทดลองพบว่าเคลือบไร้สารตะกั่ว สูตร WB4 ที่นำไปทดลองเผาที่โรงงานครั้ง 2 เคลือบจะไม่สุกตัวดีเหมือนกับเผารอบที่ 1 ดังแสดงใน**ภาพที่ 1-8** สาเหตุสันนิษฐานว่าอาจเป็นเพราะทางโรงงานได้ปรับความเร็วของการเลื่อนรถเข้าเตาเผาให้เร็วขึ้น จาก 27 คันต่อวัน เป็น 36-40 คันต่อวัน การเลื่อนรถเข้าเตาเผาเร็วจะทำให้เคลือบเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์จึงทำให้เคลือบสุกตัวไม่ดี

โดยคุณสมบัติของเคลือบไร้สารตะกั่วอุณหภูมิต่ำสูตร WB4 จะมีความหนาแน่น 1.40 กรัมต่อ ลบ.ซม. มีอัตราการไหล 11.45 วินาทีต่อน้ำเคลือบ 100 มล. และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนในช่วง 25–500 °C มีค่าเท่ากับ 10.32 x 10^{-6} K^{-1} และค่าความเงา (Gloss) ที่ 60° มีค่าเท่ากับ 68.4 ดังแสดงใน **ตารางที่ 1-4**

ภาพที่ 1-7 นำสูตรเคลือบไร้สารตะกั่วและวัตถุดิบไปให้โรงงานเตรียมเคลือบเอง



(ก) (ข)

ภาพที่ 1-8 (ก) ชิ้นงานเคลือบเผารอบที่ 1 (ข) ชิ้นงานเคลือบเผารอบที่ 2

ตารางที่ 1-4 คุณสมบัติสูตรเคลือบไร้สารตะกั่วอุณหภูมิต่ำ สูตร WB4

คุณสมบัติ	สูตรเคลือบ WB4
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวในช่วง 25 – 500 ^{o}C (K^{-1})	10.32 x 10^{-6}
ค่าความเงาที่ 60^{o}	68.4
ความหนาแน่น (g/cm^{3})	1.40
อัตราการไหล (sec./100 ml.)	11.45

6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะที่เกิดขึ้น

จากการประยุกต์ใช้ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการถ่ายทอดสูตรเคลือบและวิธีการเตรียมน้ำเคลือบไร้สารตะกั่วสูตรให้ทางโรงงาน เพื่อให้โรงงานนำสูตรเคลือบดังกล่าวมาใช้แทนสูตรเคลือบเดิมที่มีการใช้ตะกั่วสูงถึง 50-70% โดยน้ำหนักน้ำเคลือบ เป็นผลให้โรงงานสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในส่วนของตะกั่วลงได้ถึง 50% รวมถึงมีสภาวะแวดล้อมในการทำงานที่ปลอดภัยจากสารตะกั่ว ดังสมดุลมวลกระบวนการผลิต ต่อไปนี้

สารขาเข้า **สารขาออก**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
เนื้อดิน	2.0000	กก./กก.
เคลือบไร้สารตะกั่ว	0.0400	กก./กก.

พลังงาน	ปริมาณ	หน่วย
น้ำประปา	0.0005	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.3200	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	0.3032	กก./กก.

หจก.เครื่องเคลือบดินเผา

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะ	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.00018	ลบ.ม./กก.
ฝุ่นละออง	0.00004	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.83887	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.00021	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	0.00128	กก./กก.

กากของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	-	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	1.0000	กก./กก.
เคลือบไร้สารตะกั่ว	0.0096	กก./กก.

7. การประเมินผลการพัฒนาตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

- การประเมินผลด้านเทคนิคการผลิต/ประสิทธิภาพ

จาการประเมินความเป็นไปได้เชิงเทคนิค พบว่าสูตรเคลือบไร้สารตะกั่วที่ได้จากโครงการยังต้องมีการพัฒนาปรับปรุงสูตรเพิ่มเติมอีกเล็กน้อย เพื่อให้เข้ากับสภาวะการเดินเตาอุโมงค์ที่โรงงานทำการปรับเปลี่ยนความเร็วของการเลื่อนรถเข้าเตาเผาให้เร็วขึ้น จาก 27 คันต่อวัน เป็น 36-40 คันต่อวัน ทั้งนี้จากผลการทดลองพบว่าสูตรเคลือบไร้สารตะกั่ว WB4 มีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กับเนื้อดินและการผลิตของโรงงานมากที่สุด

- การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม

จากการประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าโรงงานจะสามารถลดอันตรายที่เกิดจากการใช้สารตะกั่วในเคลือบได้ โดยคนงานในโรงงานจะมีความปลอดภัยจากพิษของสารตะกั่ว รวมถึงมีสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ดีขึ้น รวมถึงสามารถลดการทิ้งกากของเสียที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่ว ทั้งในรูปชิ้นงานผลิตภัณฑ์เคลือบที่แตกหักและลดการปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่วลงได้ เป็นผลให้สภาพแวดล้อมโดยรอบโรงงานและบริเวณใกล้เคียงดีมากขึ้น นอกจากนี้โรงงานยังสามารถลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์ลงจากเดิมที่ 1,000°C เหลือ 950°C ซึ่งทำให้ลดการใช้ปริมาณเชื้อเพลิง LPG รวมถึงลดการปลดปล่อยมลภาวะทางอากาศลงได้ด้วย

- การประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์

การนำเคลือบไร้สารตะกั่วมาประยุกต์ใช้งานนั่น สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของวัตถุดิบที่ใช่ทำน้ำเคลือบลงได้ประมาณ 20% (คิดเป็น 0.4% ของต้นทุนวัตถุดิบทั้งหมด) โดยโรงงานสามารถใช้วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทำน้ำเคลือบเดิมได้ จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของการจัดหาวัสดุอุปกรณ์เพิ่มเติม นอกจากนี้โรงงานยังสามารถลดต้นทุนด้านเชิงเพลิง LPG ลงได้ประมาณ 6% (คิดจากปริมาณจากการใช้เชิงเพลิงที่ลดลงจากเดิมใช้ 0.32 กิโลกรัม LPG ต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ เหลือ 0.30 กิโลกรัม LPG ต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์หลังการเปลี่ยนมาใช้สูตรเคลือบไร้สารตะกั่วที่อุณหภูมิต่ำ) การลดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาจากเดิมที่ 1,000 °C เหลือ 950 °C โดยมีรายละเอียดเปรียบเทียบต้นทุนเคลือบเดิมที่โรงงานใช้ และสูตรเคลือบไร้สารตะกั่วที่พัฒนาจากแนวทางเทคโนโลยีสะอาด ดังนี้

ตารางที่ 1-5 ต้นทุนเคลือบตะกั่วโรงงานและเคลือบไร้สารตะกั่ว (WB4)

สูตรเคลือบ	ต้นทุนเคลือบ (บาท/กก.)	ต้นทุน LPG ต่อเดือน (บาท)
สูตรเคลือบตะกั่วโรงงาน	100	203,400
สูตรเคลือบไร้สารตะกั่ว	81	191,196

โรงงานอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผาใช้เคลือบตะกั่วเพื่อเคลือบผลิตภัณฑ์ ต้นทุนเคลือบของโรงงานราคา 100 บาทต่อกิโลกรัม หนึ่งเดือนใช้เคลือบจำนวน 1,250 กิโลกรัม คิดเป็นจำนวนเงิน 125,000 บาท และหนึ่งปีใช้เคลือบจำนวน 15,000 กิโลกรัม ถ้าโรงงานเปลี่ยนมาใช้เคลือบไร้สารตะกั่วสามารถลดต้นทุนเคลือบได้ประมาณ 20% คิดเป็นจำนวนเงิน 25,000 บาทต่อเดือน หรือ 300,000 บาทต่อปี นอกจากนี้ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนพลังงานลงได้ประมาณ 6% คิดเป็นจำนวนเงิน 12,204 บาทต่อเดือน ซึ่งเป็นทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดที่มีความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ตั้งแต่เริ่มนำมาประยุกต์ใช้งานจริง รวมถึงมีความปลอดภัยในแง่สภาวะแวดล้อมการทำงาน สุขอนามัยของคนงานอีกด้วย ทั้งนี้สูตรเคลือบ

ไร้สารตะกั่ว WB4 ยังต้องมีการปรับปรุงในแง่เทคนิคอีกเล็กน้อยเพื่อให้มีความเหมาะสมกับสภาวะการผลิตใหม่ที่โรงงานนำมาใช้

8. การผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากการวิเคราะห์สมดุลมวลกระบวนการผลิตหลังเข้าร่วมโครงการพบว่า โรงงานสามารถใช้แก๊ส LPG ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม พบว่าลดลงจากเดิม 0.32 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.30 กิโลกรัม เนื่องจากสามารถลดอุณหภูมิจากการเผาเดิมที่ 1,000^{o}C เหลือ 950^{o}C ซึ่งมีผลทำมลภาวะต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการเผาและถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศมีปริมาณลดลงตามไปด้วย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลดลงจาก 0.90 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.84 กิโลกรัม ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ลดลงจาก 0.23 กรัม เหลือเพียง 0.21 กรัม และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ลดลงจาก 1.36 กรัม เหลือเพียง 1.28 กรัม ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ดังนั้นการลดปริมาณของเสียและปริมาณมลภาวะที่เกิดจากการเผาดังกล่าว จึงเป็นตัวชี้วัดได้ว่าโรงงาน อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา มีการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นหลังจากมีการดำเนินการตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

บริษัท อ.ป.ก. ดาวคู่ (1988) จำกัด

1. ข้อมูลทั่วไป

ที่อยู่:	168/ก หมู่ 5 ถ.อยุธยา-อ่างทอง ต.บางปลากด อ.ป่าโมก จ.อ่างทอง 14130
โทรศัพท์:	035 661 003, 035 661 122
โทรสาร:	035 661 800
ผู้ติดต่อ:	คุณสุรพร สรณารักษ์
ตำแหน่ง:	ผู้จัดการโรงงาน
มือถือ:	08 1843 3367, 08 7566 9100
อีเมล์:	apk-1988@hotmail.com
ผลิตภัณฑ์:	อิฐก่อสร้าง และกระเบื้องดินเผามุงหลังคา ปูพื้น บุผนัง ทั้งแบบเคลือบและไม่เคลือบสีในรูปแบบต่างๆ
ตลาด:	กลุ่มลูกค้าโครงการก่อสร้างทั้งในและต่างประเทศ
กำลังการผลิต:	ประมาณ 100,000 แผ่นต่อเดือน (น้ำหนักผลิตภัณฑ์ต่อแผ่นประมาณ 0.5-1 กก.)
จำนวนคนงาน:	ประมาณ 40 คน
การเตรียมเนื้อดิน:	ทำการเตรียมเนื้อดินใช้เอง โดยมีกำลังการผลิตเนื้อดินเท่ากับ 8,000 – 10,000 ตันต่อปี วัตถุดิบที่นำมาใช้เตรียมเนื้อดิน ได้แก่ ดินแดงอ่างทอง ดินขาวลำปาง ดินขาวปราจีนบุรี ดินดำนครศรีธรรมราช และมีการนำเศษอิฐและกระเบื้องที่แตกเสียหายซึ่งเป็นของเสียที่มีอยู่แล้วในโรงงานมาบดย่อยและผสมในการเตรียมเป็นเนื้อดินใหม่โดยใช้ผสมประมาณ 20-30% วิธีการเตรียมเนื้อดินจะนำดินแต่ละชนิดหลังจากบดย่อยให้ละเอียดและกรองสิ่งปนเปื้อนออกแล้ว ชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนที่จะใช้ในสูตร นำมาผสมกับน้ำแล้วหมักทิ้งไว้ จากนั้นนำมารีดให้เป็นแผ่นพร้อมกับดูดอากาศออกจากเนื้อดินด้วยเครื่อง Vacuum Plug Mill จะได้เป็นเนื้อดินผสมเสร็จที่พร้อมสำหรับนำไปขึ้นรูปด้วยวิธีการปั๊มหรือรีดเป็นรูปแบบต่างๆ
การขึ้นรูป:	ขึ้นรูปชิ้นงานโดยวิธีการอัด (Pressing) และ การรีด (Extruding)
การเคลือบ:	ทำการเตรียมน้ำเคลือบใช้เอง โดยมีกำลังการผลิตน้ำเคลือบเท่ากับ 2,000 – 2,500 ตันต่อปี
การเผา:	ทำการเผาบิสกิตและเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1,000 – 1,200 ^{o}C ในบรรยากาศ

ออกซิเดชั่น โดยใช้เตาอุโมงค์จำนวน 3 เตา และเตาชัตเติ้ลจำนวน 6 เตา มีปริมาณการใช้แก๊ส LPG ประมาณ 6,200 กก.ต่อวัน (ราคาแก๊ส ณ ปัจจุบันเท่ากับ 23-24 บาทต่อกก.) และมีเตาไฟฟ้าสำหรับงานทดลองจำนวน 1 เตา

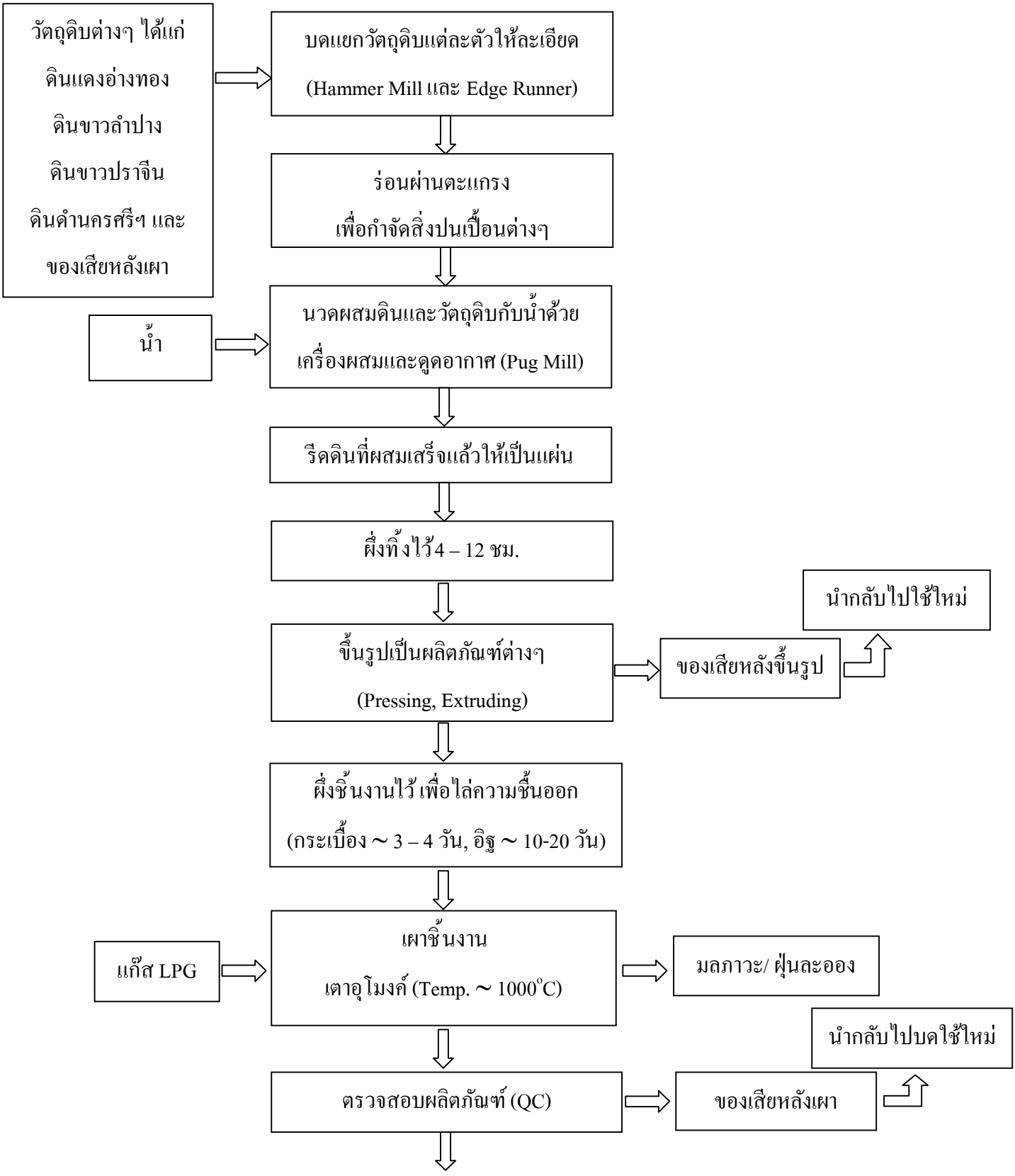
ปัญหา
1) มีเศษอิฐและกระเบื้องที่เสียหลังเผาสะสมอยู่ในปริมาณมาก ประมาณ 500 – 1,000 ตัน ต้องการนำกลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด

ความต้องการ
1) ต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตัวใหม่โดยใช้เศษอิฐและกระเบื้องที่เสียหลังเผา ซึ่งมีสะสมอยู่มากกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์
2) ต้องการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำและการเผาไฟต่ำ เพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการเผา

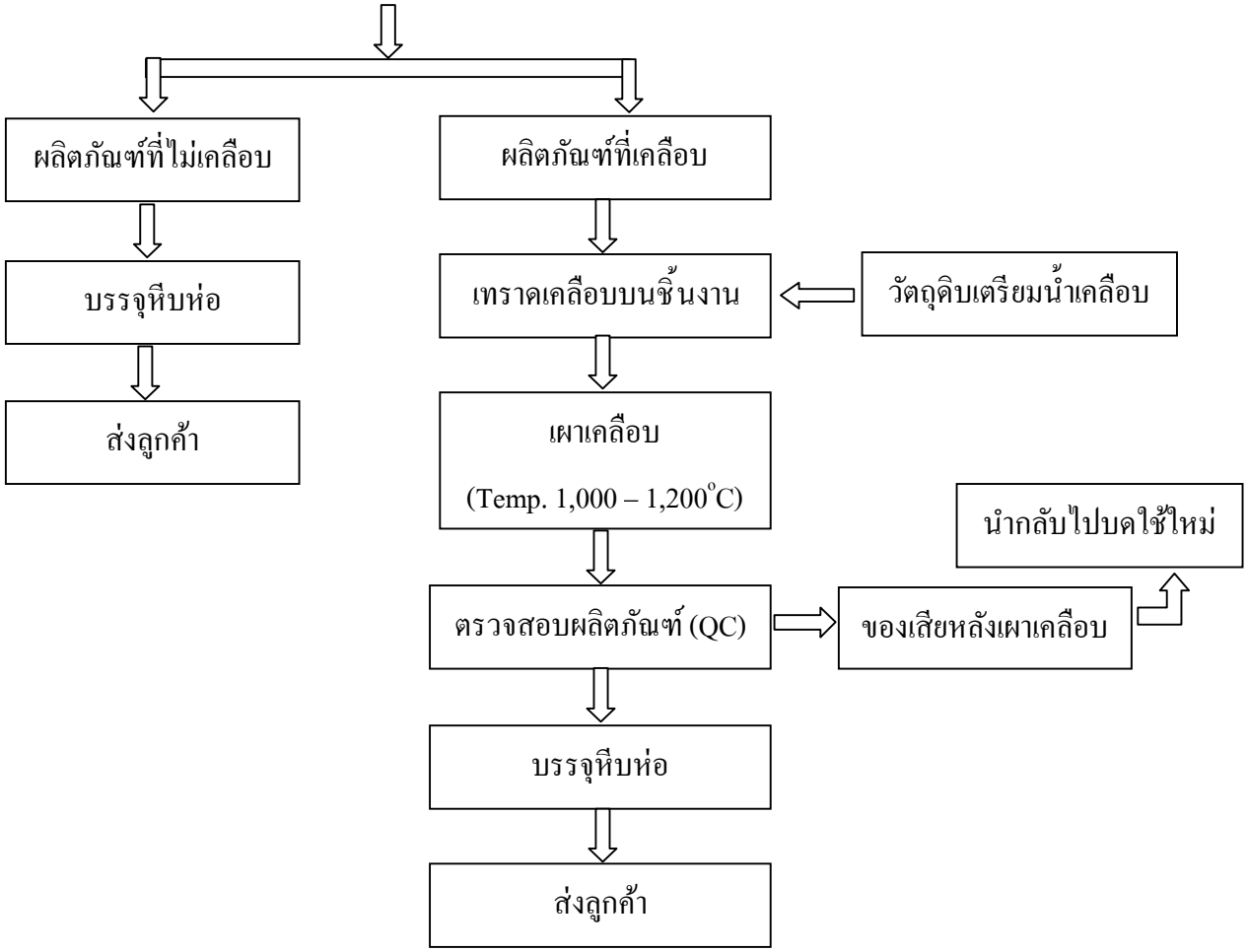
ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทางโรงงานผลิตอยู่ในปัจจุบัน

ภาพที่ 2-2 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นเพื่อประเมินกระบวนการผลิตของโรงงาน

2. แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงาน (Process Flow Diagram)



แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงาน (ต่อ)



3. การประเมินสมดุลมวลกระบวนการผลิต (Mass balance)

สารขาเข้า **สารขาออก**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบเตรียมดิน	1.2500	กก./กก.
วัตถุดิบเตรียมเคลือบ	0.3125	กก./กก.

พลังงาน	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0002	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.2781	kWh/กก.
เชื้อเพลิง (LPG)	0.2790	กก./กก.

บริษัท อ.ป.ก. ดาวคู่ (1988) จำกัด

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะ	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.00002	ลบ.ม./กก.
ฝุ่นละอองจากปล่องเตาเผา	0.00004	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.81949	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.00021	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.00125	กก./กก.

กากของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
เศษดิน/ ชิ้นงานเสียก่อนเผา	0.1250	กก./กก.
ชิ้นงานเสียหลังเผา	0.1250	กก./กก.

หมายเหตุ:

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นการใช้งานรวมกันของโรงงานและสำนักงาน

2. ปริมาณมลภาวะทางอากาศจากปล่องเตาเผา คำนวณจาก "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (AP-42) the U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

4. ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

1) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่ต้องเผา (จีโอพอลิเมอร์) จากเศษอิฐและกระเบื้องที่เสียหลังเผา

เนื่องจากทางโรงงานมีผลิตภัณฑ์ที่แตกร้าว เสียหายหลังเผาอยู่เป็นจำนวนมาก ทั้งจากการเผาในครั้งแรก และการเผาเคลือบในครั้งที่สอง โดยสะสมมาเป็นเวลานาน ทำให้ในปัจจุบันของเสียเหล่านี้มีอยู่มากถึงประมาณ 500 – 1000 ตัน ถึงแม้ในปัจจุบันทางโรงงานจะมีการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาบดให้ละเอียดแล้วผสมในสูตรเนื้อดินเมื่อเตรียมดินครั้งใหม่ในปริมาณ 23 – 25 % แล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีปริมาณของเสียเหล่านี้สะสมอยู่เป็นจำนวนมาก ทางโรงงานมีความต้องการที่จะนำของเสียหลังเผาเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด ดังนั้นการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ตัวใหม่นอกเหนือไปจากกระเบื้อง และอิฐแบบต่างๆ ที่โรงงานทำอยู่ในปัจจุบัน โดยไม่ต้องผ่าน

กระบวนการเผาให้สิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงอีกครั้ง จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าและช่องทางการตลาดใหม่ๆ ให้กับผลิตภัณฑ์ของทางโรงงานได้อีกด้วย

2) การพัฒนาสูตรเนื้อดินและเคลือบที่เผาอุณหภูมิต่ำลง

ปัจจุบันทางโรงงานเผาผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 1,000 – 1,200°C โดยการเผาแบบต่อเนื่องในเตาอุโมงค์ จากการประเมินสมดุลมวลกระบวนการผลิต พบว่า โรงงานมีการใช้แก๊ส LPG ในกระบวนการเผาอยู่ที่ประมาณ 0.28 กิโลกรัมต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ 1 กิโลกรัม หรือกล่าวได้ว่ามีการใช้พลังงานในการเผาอยู่ที่ 13.1995 MJ/กก.ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในหัวข้อที่ 3. การประเมินสมดุลมวลและพลังงาน ดังนั้น หากทางโรงงานสามารถพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ให้สามารถเผาสุกตัวได้ที่อุณหภูมิลดต่ำลงประมาณ 100°C โดยผลิตภัณฑ์หลังเผายังคงมีคุณสมบัติที่ดีเหมือนเดิม จะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตจากการใช้แก๊สในกระบวนการเผาที่ลดลงได้ประมาณ 10 – 15% จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจในการปรับปรุงสูตรเนื้อดินและเคลือบของโรงงานให้สามารถเผาสุกตัวได้ที่อุณหภูมิลดลง

5. การศึกษาความเป็นไปได้ของทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

1) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่ต้องเผา (จีโอพอลิเมอร์) จากเศษอิฐและกระเบื้องที่เสียหลังเผา

- ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

จีโอพอลีเมอร์ (Geopolymer) หรือเรียกอีกอย่างว่า โพลิไซอะเลตส์ (Polysialates) เป็นสารอนินทรีย์ประเภทอลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) ที่มีโครงสร้างหลักเป็นแบบอสัณฐาน (Amorphous) เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชั่นของสารประกอบของ SiO_2 และ Al_2O_3 ที่ไวต่อปฏิกิริยากับสารละลายที่มีความเป็นด่างสูง เช่น สารละลาย NaOH หรือ KOH นับว่าเป็นวัสดุอนินทรีย์แบบหนึ่งที่มีคุณสมบัติและความแข็งแรงทัดเทียมกับวัสดุเซรามิก และสามารถผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำไม่เกิน 700°C จึงนับว่าเป็นวัสดุใหม่ที่สามารถทดแทนและประหยัดพลังงานในการเผาเซรามิกได้ โดยสามารถลดต้นทุนในการผลิตเซรามิกลงได้ถึงประมาณ 30 – 40 %

โดยทั่วไปการผลิตจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวนั้น จะใช้ดินขาวที่ผ่านการเผาแคลไซน์มาแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 600 – 700°C หรือที่เรียกว่า Metakaolin นำมาผสมกับสารละลายที่มีความเป็นด่างสูงจำพวก NaOH หรือ KOH และ Na_2SiO_3 ในอัตราส่วนของ Si : Al ในช่วง 1.5 - 2.5 และมีการใช้สารละลายด่าง NaOH ผสมกับ Na_2SiO_3 ตามความเหมาะสมกับดินขาวในแต่ละ

แหล่ง โดยอาจใช้ความเข้มข้นของ NaOH แตกต่างกันไปในดินแต่ละแหล่งด้วย เช่น 5, 10, 15 โมลาร์ เป็นต้น เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทำได้โดยการเทหล่อแบบในแม่พิมพ์ หรือใช้การอัดตามความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ หลังจากนั้นปล่อยให้เซ็ตตัวและบ่มทิ้งไว้ในอากาศปกติ หรือจะให้ความร้อนเล็กน้อยในเตาอบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นก็ได้หลังจากแกะแบบแล้ว

การนำเศษอิฐหรือกระเบื้องที่เสียหลังเผาแล้ว มาผลิตเป็นวัสดุจีโอพอลิเมอร์นั้น นับว่าเป็นทางเลือกที่มีความเป็นไปได้สูง โดยมีข้อดีที่ไม่ต้องเสียพลังงานในการเผาแคลไซน์ดินก่อนนำมาใช้เหมือนกับการทำจีโอพอลิเมอร์โดยใช้ดินขาวเผาดังกล่าวข้างต้นอีกด้วย เพียงแต่ต้องทำการทดลองปรับสัดส่วนระหว่างการใช้เศษกระเบื้อง (ของเสียหลังเผา) กับสารละลายด่างในปริมาณที่เหมาะสม รวมถึงเลือกชนิดและสัดส่วนการใช้สารละลายด่างแต่ละตัวที่ผสมกันให้เหมาะสมกับการใช้เศษอิฐหรือกระเบื้องที่เสียหลังเผาทดแทนการใช้ดินขาวปกติ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดีที่สุด เทียบเท่ากับอิฐและกระเบื้องเซรามิกที่ทางโรงงานผลิตอยู่ในปัจจุบันได้

- ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

การนำเศษอิฐหรือกระเบื้องที่เสียหลังเผาแล้วมาผลิตเป็นวัสดุจีโอพอลิเมอร์นั้น สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลงได้มากกว่าการนำของเสียเหล่านี้ไปบดแล้วนำมาผสมใช้ใหม่ในการเตรียมน้ำดินครั้งต่อไปตามแนวทางที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากในการนำไปผสมรวมกับน้ำดินครั้งใหม่นั้น ใช้ได้ในปริมาณเพียงไม่เกิน 23-25% เนื่องจากจะส่งผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังเผา จึงทำให้ยังคงมีเศษของเสียเหล่านี้สะสมอยู่อีกเป็นจำนวนมาก รวมถึงการนำไปผสมใช้ใหม่เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกของทางโรงงานนั้น ผลิตภัณฑ์ยังคงต้องผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูงอยู่ ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ จำพวก ฝุ่นละออง และก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ดังแสดงให้เห็นในแผนผังสมดุลมวลกระบวนการผลิตของโรงงานในหัวข้อที่ 3. ข้างต้น การนำของเสียเหล่านี้มาทำเป็นผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์แทนนั้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตไม่จำเป็นต้องมีการเผาอีก จึงไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอากาศเหมือนกับกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกดังกล่าว

- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

การทำจีโอพอลิเมอร์จากผลิตภัณฑ์ที่เสียหลังเผาของโรงงานนั้น ในแง่ของการลงทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า ต้องการการลงทุนที่ไม่สูงนัก เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นผ่านกระบวนการเผามาแล้ว ไม่ต้องมีการเผาแคลไซน์ก่อนนำมาใช้เหมือนกับจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวโดยทั่วไป ซึ่งนับเป็นข้อดี และในปัจจุบันทางโรงงานก็ได้นำเศษอิฐหรือกระเบื้องที่เสียหลังเผาเหล่านี้มาบดใช้อยู่แล้ว เพื่อนำไปผสมกับการเตรียมน้ำดินในครั้งใหม่ ดังนั้นการผลิตจีโอพอลิเมอร์จากผลิตภัณฑ์ที่เสียหลังเผานี้ จึงไม่มีการลงทุนเพิ่มในด้านการบดและการเผาแคลไซน์วัตถุดิบก่อนนำมาใช้งาน จะมีเพียงการลงทุนในส่วนของสารละลายด่างที่ต้องซื้อมาใช้เพิ่มเติมเป็นส่วนผสมหลักร่วมกับวัตถุดิบเพื่อให้ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่มีคุณสมบัติความแข็งแรงที่ดีได้ ซึ่งต้องอาศัยการทดลองและปรับสัดส่วนส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการนำผลิตภัณฑ์ที่เสียหลังเผามาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นทดแทนการใช้ดินขาวเผาอีกครั้ง

อ้างอิงจากรายงานการวิจัยโครงการ “การใช้ดินขาวไทยในการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์” (เอ็มเทค, 2556-2557) ในการเตรียมชิ้นงานจีโอพอลิเมอร์ ใช้อัตราส่วนระหว่างดินขาวเผาต่อสารละลายด่างเท่ากับ 60:40 โดยสารละลายด่างที่ประกอบด้วยสารละลาย NaOH กับ Na_2SiO_3 ในอัตราส่วนที่เหมาะสม (ความเข้มข้นของ NaOH 10 โมลาร์) จากสัดส่วนของสูตรผสมนี้สามารถประเมินต้นทุนจากการใช้สารละลายในสูตรต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ 1 กก. เท่ากับ 16.54 บาท สำหรับการผลิตจีโอพอลิเมอร์จากผลิตภัณฑ์ที่เสียหลังเผาของโรงงาน

จากสมดุลมวลกระบวนการผลิต ในหัวข้อที่ 3. พบว่า ในการเผาผลิตภัณฑ์ปกติของทางโรงงานใช้แก๊ส LPG ในปริมาณ 0.28 กก.ต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ 1 กก. (ราคาแก๊สในปัจจุบันเท่ากับ 24 บาทต่อกก.) ดังนั้น ในการเผาผลิตภัณฑ์ 1 กก. จึงมีค่าใช้จ่ายค่าแก๊สเท่ากับ 6.72 บาท เมื่อรวมกับค่าวัตถุดิบเนื้อดินและเคลือบที่ใช้ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก. ซึ่งเท่ากับ 12.50 บาท จะรวมเป็นต้นทุนทั้งสิ้น 19.22 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์จากของเสียที่ไม่มีกระบวนการเผา แต่จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของสารละลายด่างที่ใช้ในสูตรซึ่งหากคิดจากสูตรอ้างอิงที่ใช้ปริมาณของแข็งต่อสารละลายด่างในสูตรเท่ากับ 60:40 ค่าสารละลายด่างในสูตร 40% จะคิดเป็นเงินเท่ากับ 16.54 บาทต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ 1 กก. ดังนั้นในการผลิตจีโอพอลิเมอร์จากของเสียหลังเผาของโรงงาน จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ประมาณ 2.68 บาทต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ 1 กก. เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เซรามิกแบบมีเคลือบที่โรงงานผลิตอยู่ในปัจจุบัน แสดงรายละเอียดการคำนวณต้นทุนดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก. ระหว่างผลิตภัณฑ์เซรามิกเดิมของโรงงานกับการทำผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์จากของเสียหลังเผา

รายละเอียดต้นทุน	ผลิตภัณฑ์เซรามิกเดิมของโรงงาน (บาท / ผลิตภัณฑ์ 1 กก.)	ผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์จากของเสีย (บาท / ผลิตภัณฑ์ 1 กก.)
ค่าวัตถุดิบเนื้อดิน	2.50 (ดิน 2 บาท/กก. ใช้ 1.25 กก. ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก.)	-
ค่าวัตถุดิบเคลือบ	10.00 (เคลือบ 32 บาท/กก. ใช้เคลือบ 0.31 กก. ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก.)	-
ค่าแก๊ส LPG ในการเผา	6.72 (ราคาแก๊ส 24 บาท/กก. ใช้แก๊ส 0.28 กก. ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก.)	-
ค่าสารละลายด่าง (NaOH และ Na_2SiO_3)	-	16.54
รวมต้นทุน	19.22	16.54

2) การพัฒนาสูตรเนื้อดินและเคลือบที่เผาอุณหภูมิต่ำลง

- ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

การพัฒนาและปรับปรุงสูตรเนื้อดินและเคลือบที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบันให้สามารถเผาสุกตัวได้ที่อุณหภูมิลดลงประมาณ 100°C (จากเดิมปัจจุบันเผาอยู่ที่ 1,000 – 1,200°C) อาจทำได้โดยการปรับเปลี่ยนชนิดและสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในสูตรให้มีปริมาณของวัตถุดิบที่เป็นฟลักซ์เพิ่มขึ้น เพื่อช่วยให้เกิดการหลอมตัวของเนื้อดินหรือเคลือบที่อุณหภูมิลดต่ำลง โดยวัตถุดิบที่นิยมนำมาใช้เป็นฟลักซ์ที่มีประสิทธิภาพที่ดี เช่น เศษแก้วบด ฟริต ลิเธียมคาร์บอเนต แบเรียมคาร์บอเนต โคลีมาไนต์ เป็นต้น การทดลองทำได้โดยการใช้สูตรเนื้อดินและสูตรเคลือบพื้นฐานที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบัน แล้วนำมาทดลองปรับเติมวัตถุดิบฟลักซ์ในชนิดและปริมาณต่างๆ เพิ่มเติมเข้าไป จากนั้นทดลองเผาที่อุณหภูมิลดต่ำลงประมาณ 100°C ตั้งแต่ 900 - 1,100°C เปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงานหลังเผาที่ได้กับสูตรผลิตภัณฑ์เดิมของโรงงานซึ่งเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า ทำการปรับปรุงสูตรจนกระทั่งได้ผลคุณสมบัติหลังเผาของชิ้นงานที่ดีเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์เดิมของโรงงาน จากผลการวิจัยและพัฒนาสูตรเนื้อดิน

อุณหภูมิต่ำของทางเอ็มเทคเองในโครงการ “การพัฒนาเนื้อดินเซรามิกสำหรับเผาที่อุณหภูมิต่ำ” (2555) พบว่า การใช้เศษแก้วโซดาไลม์บดละเอียดในปริมาณ 15-17% เติมลงในสูตรดินสโตนแวร์พื้นฐานที่มีโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์เป็นฟลักซ์อยู่แล้ว 5% สามารถลดอุณหภูมิในการเผาเนื้อดินลงได้ถึง 180°C (จากเดิม 1280°C เป็น 1100°C) ดังนั้น หากทางโรงงานใช้เศษแก้วบดเติมเพิ่มลงในสูตรเนื้อดินปัจจุบันของทางโรงงานประมาณ 15% คาดว่าจะสามารถลดอุณหภูมิในการเผาเนื้อดินลงได้ถึงอย่างน้อย 100°C ซึ่งสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์ครั้งแรกและผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบของทางโรงงานลงได้

- ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

การลดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกลงสามารถช่วยลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศเนื่องจากกระบวนการเผา ซึ่งจากผลการวิจัยและพัฒนาในโครงการ “การพัฒนาเนื้อดินเซรามิกสำหรับเผาที่อุณหภูมิต่ำ” (2555) พบว่า ในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกที่อุณหภูมิลดลง 100°C จะทำให้ปริมาณการใช้แก๊ส LPG ในการเผาลดลงประมาณ 10 – 15% ดังนั้น หากประเมินจากสมดุลมวลกระบวนการผลิตดังหัวข้อที่ 3. จะพบว่าการเผาที่อุณหภูมิลดต่ำลง 100°C โรงงานจะสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ออกสู่บรรยากาศลงได้ ดังแสดงให้เห็นในการเปรียบเทียบมลภาวะที่เกิดขึ้นจากการเผาที่อุณหภูมิเดิมและมลภาวะที่ลดลงไปจากการเผาที่อุณหภูมิลดลง 100°C ดังนี้

<u>มลภาวะจากการเผาที่อุณหภูมิเดิม</u> <u>มลภาวะจากการเผาที่อุณหภูมิลดลง 100°C</u>

มลภาวะ	ปริมาณ	หน่วย
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.81949	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.00021	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.00125	กก./กก.

มลภาวะ	ปริมาณ	หน่วย
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.69656	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.00018	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.00106	กก./กก.

- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

อ้างอิงข้อมูลจากผลการวิจัยและพัฒนาในโครงการ “การพัฒนาเนื้อดินเซรามิกสำหรับเผาที่อุณหภูมิต่ำ” (2555) หากทางโรงงานปรับปรุงสูตรเนื้อดินให้สามารถเผาสุกตัวได้ที่อุณหภูมิลด

ต่ำลง 100°C โดยการใช้เศษแก้วโซดาไลม์บดละเอียดเติมเพิ่มลงในสูตรประมาณ 15% (ซึ่งคิดเป็นปริมาณที่ทดแทนวัตถุดิบเดิมในสูตรเท่ากับ 13.04% และประมาณราคาเศษแก้วบด 8 บาทต่อกก.) จะทำให้การใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ลดลงได้ประมาณ 15% ดังนั้นสามารถประเมินต้นทุนในการผลิตจากค่าวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับค่าแก๊ส LPG ที่ใช้ในการเผาที่ลดลงได้ดังนี้

ตารางที่ 2-2 ต้นทุนวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นเทียบกับค่าแก๊สที่ลดลงในการเผาผลิตภัณฑ์ 1 กก. หากทางโรงงานทำการลดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์ลง 100°C โดยใช้เศษแก้วบดเติมลงในสูตรดิน

รายละเอียดต้นทุน	ผลิตภัณฑ์ที่เผาอุณหภูมิเดิม (บาท / ผลิตภัณฑ์ 1 กก.)	ผลิตภัณฑ์ที่เผาอุณหภูมิต่ำลง 100°C (บาท / ผลิตภัณฑ์ 1 กก.)
ค่าวัตถุดิบเนื้อดิน	2.50 (ดิน 2 บาท/กก. ใช้ 1.25 กก. ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก.)	3.47 (วัตถุดิบ 2.78 บาท/กก. ใช้ 1.25 กก. ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก.)
ค่าแก๊ส LPG ในการเผา (ราคา 24 บาท/กก.)	6.70 (ใช้แก๊ส 0.28 กก. ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก.	5.69 (ใช้แก๊สลดลงเป็น 0.24 กก. ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก.)
รวมราคาต้นทุน	9.20	9.16

6. ผลการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

จากการวิเคราะห์ผลที่ได้รับและความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ในแนวทางเลือกทั้งสองซึ่งนำเสนอในข้างต้นนั้น ทางโรงงานได้เลือกปฏิบัติในแนวทางเลือกที่ 1 คือ “การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่ต้องเผา (จีโอพอลิเมอร์) จากเศษอิฐและกระเบื้องที่เสียหลังเผา” โดยผลการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้แก่โรงงานแสดงดังต่อไปนี้

6.1) การทดลองพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์ในระดับห้องปฏิบัติการ

ได้ดำเนินการพัฒนาผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์จากเศษของเสียหลังเผาของโรงงาน โดยทำการปรับสัดส่วนของแข็งและสารละลายด่างที่ใช้ในสูตร พบว่าหากไม่มีการใช้ดินเผาแคลไซน์ร่วมด้วย ชิ้นงานจะไม่เซ็ตตัว ไม่สามารถขึ้นรูปได้ หรือเรียกได้ว่าไม่เกิดปฏิกิริยา Polymerization นั่นเอง ดังนั้นจึงได้นำดินแดงอ่างทองเผาแคลไซน์ที่ 600°C มาใช้ร่วมด้วย โดยเลือกใช้ดินแดงอ่างทองเนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักที่ทางโรงงานใช้อยู่แล้ว ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานจีโอพอลิเมอร์มีดังต่อไปนี้

- เตรียมสารละลายด่างที่จะใช้ในสูตรผสม โดยใช้สารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น 10 Molar ต่อ สารละลาย Na_2SiO_3 ในอัตราส่วนที่เหมาะสม
- บดเศษของเสียหลังเผาที่จะนำมาใช้ในสูตร โดยทำการบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงแยกเป็น 3 ขนาด โดยใช้ตะแกรงขนาด 1.5, 2.0 และ 3.5 มม. เพื่อให้ได้เศษของเสียบดขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ตามลำดับ เพื่อนำมาใช้คละกันในส่วนผสม แสดงดังภาพที่ 2-3
- เตรียมดินแดงอ่างทองโดยทำการอบแห้งและบดให้ละเอียด จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช แล้วนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 600°C ใช้อัตราการให้ความร้อน 5°C/นาที และเผาแช่ไฟเป็นเวลา 6 ชม. ภาพที่ 2-4 แสดงตัวอย่างดินแดงอ่างทองที่บดละเอียดหลังเผาแคลไซน์แล้ว

ภาพที่ 2-3 เศษของเสียหลังเผาบดขนาดหยาบ กลาง และละเอียด ซึ่งนำมาใช้ในสูตรผสม

ภาพที่ 2-4 ดินแดงอ่างทองบดละเอียดผ่านตะแกรง 100 เมช หลังเผาแคลไซน์ที่ 600°C

- ทำการผสมวัตถุดิบตามสัดส่วนที่ใช้ในแต่ละสูตรการทดลอง โดยทำการปรับสัดส่วนของแข็งและสารละลายด่างที่ใช้ในแต่ละสูตร เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมและมีคุณสมบัติที่ดีที่สุด

- หลังจากกวนส่วนผสมให้เข้ากันได้ดีแล้ว ทำการขึ้นรูปชิ้นงานทดลองโดยวิธีการหล่อแบบ เพื่อหาสูตรที่มีเวลาในการเซ็ตตัวดีที่สุดก่อน (ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2-3) จากนั้นจึงเลือกสูตรดังกล่าวไปปรับสัดส่วนระหว่างของแข็งต่อสารละลายด่างอีกครั้ง เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแบบวิธีการอัดกึ่งเปียกกึ่งแห้ง เนื่องจากเป็นวิธีที่ทางโรงงานต้องการใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์จริง
- ทำการทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงานที่ได้หลังจากเซ็ตตัวและบ่มทิ้งไว้เป็นเวลา28 วัน โดยทดสอบค่าความแข็งแรงและค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน โดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 2-4 และตัวอย่างชิ้นงานทดลองหลังทำการขึ้นรูปทั้งสองแบบแสดงดังภาพที่ 2-5 ตามลำดับ

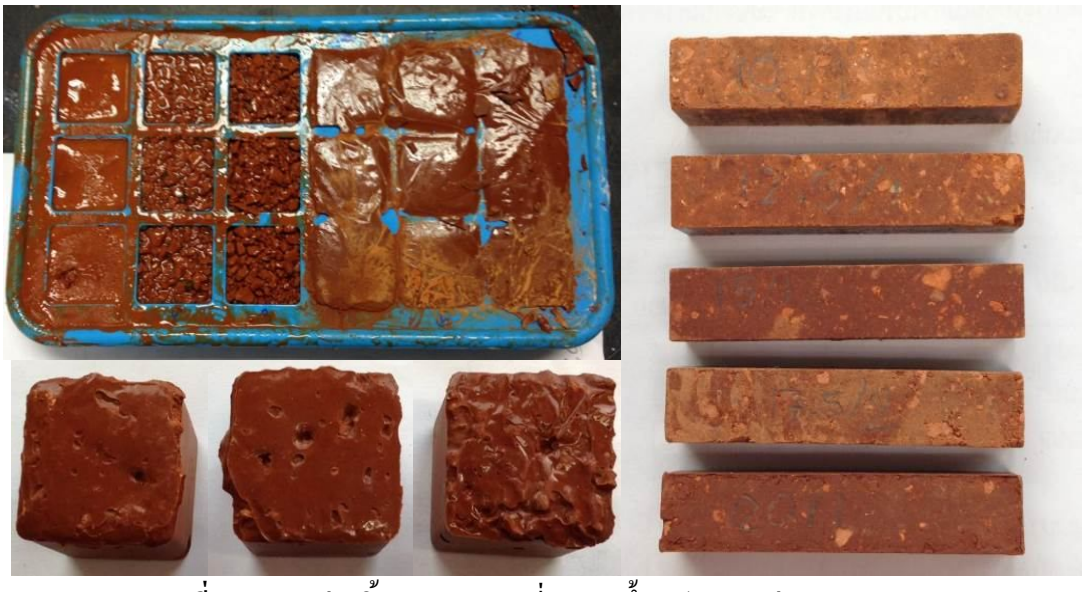
ตารางที่ 2-3 การปรับสัดส่วนสูตรทดลองและเวลาในการเซ็ตตัวของชิ้นงานซึ่งขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อแบบ

สูตรที่	เศษของเสียบิสกิตบด (กรัม)			ดินแดงอ่างทองเผาแคลไซน์ (กรัม)	สารละลายด่าง (มล.)	เวลาในการเซ็ตตัว (วัน)
	หยาบ	กลาง	ละเอียด			
1	33.33	33.33	33.33	-	33.33	เกิน 7 วัน
2	41.67	41.67	16.67	-	33.33	เกิน 7 วัน
3	50	50	-	-	33.33	เกิน 7 วัน
4	20	20	20	40	33.33	1 วัน
5	25	25	10	40	33.33	2 วัน
6	30	30	-	40	33.33	2 วัน

จากผลการทดลองในตารางที่ 2-3 ข้างต้น พบว่าสูตรที่ให้ผลการเซ็ตตัวหลังหล่อแบบที่ดีที่สุดคือสูตรที่ 4 ซึ่งมีการใช้เศษของเสียหลังเผาบดทั้ง 3 ขนาดรวม 60 กรัม (ขนาดละ 20 กรัม) ร่วมกับดินแดงอ่างทองเผาแคลไซน์อีก 40 กรัม และมีการใช้สารละลายด่างในสูตร 33.33 มล. หรือคิดเป็นสัดส่วนการใช้ของแข็งรวมต่อสารละลายด่างเท่ากับ 75 : 25 โดยมีเวลาในการเซ็ตตัวเร็วที่สุด 1 วันดังนั้นจึงเลือกสูตรดังกล่าวมาทำการปรับสัดส่วนของสารละลายด่างต่อของแข็งที่ใช้ในสูตรอีกครั้ง เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปแบบอัด ซึ่งตรงกับความต้องการนำไปใช้งานของโรงงาน ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 การปรับสัดส่วนสูตรทดลองและผลการทดสอบของชิ้นงานซึ่งขึ้นรูปแบบอัดหลังบ่มไว้เป็นระยะเวลา 28 วัน

สูตรที่	ปริมาณของแข็ง (กรัม)				ปริมาณสารละลาย (มล.)	สัดส่วนของแข็งต่อสารละลาย (Solid : Liquid)	ค่าความทนทานต่อแรงดัด (MPa)	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)
	ของเสียบดหยาบ	ของเสียบดกลาง	ของเสียบดละเอียด	ดินแดงอ่างทอง				
1	30	30	30	60	15	90.91 : 9.09	3.43	13.80
2	30	30	30	60	18.75	88.89 : 11.11	5.11	12.23
3	30	30	30	60	22.50	86.96 : 13.04	7.02	10.82
4	30	30	30	60	26.25	85.11 : 14.89	7.30	11.06
5	30	30	30	60	30	83.33 : 16.67	8.58	10.92



ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างชิ้นงานทดลองที่ทำการขึ้นรูปแบบหล่อและแบบอัด

จากผลการทดลองในตารางที่ 2-4 พบว่าสูตรที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยของแข็งปริมาณ 83.33% โดยแบ่งเป็นเศษของเสียหลังเผาบดย่อย 3 ขนาด ขนาดละเท่าๆ กันรวม 50% และดินแดงอ่างทองเผาแคลไซน์แล้วอีก 33.33% และใช้สารละลายด่างในปริมาณ 16.67% เป็นสูตรที่ให้ผลคุณสมบัติของชิ้นงานหลังเซ็ตตัวและบ่มทิ้งไว้เป็นเวลา 28 วันดีที่สุด โดยมีค่าความแข็งแรงแบบกำลังรับแรงดัดสูงสุดเท่ากับ 8.58 MPa และ

มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 10.92% จึงได้เลือกสูตรนี้ไปให้ทางโรงงานได้ทดลองผลิตเป็นชิ้นงานต้นแบบผลิตภัณฑ์จริงต่อไป

6.2) การทดลองพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์ในระดับภาคสนามที่โรงงาน

ทางโรงงานได้นำสูตรจีโอพอลิเมอร์ที่ได้ผลดีที่สุดจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วยเศษของเสียหลังเผาที่บดย่อยแล้ว ขนาดหยาบ (2-3.5 มม.) ขนาดกลาง (1.5-2 มม.) และขนาดละเอียด (< 1.5 มม.) ขนาดละ 16.67% (รวม 50%) ผสมร่วมกับดินแดงอ่างทองเผาแคลไซน์แล้วที่ 600°C ในปริมาณ 33.33% และใช้สารละลายด่างในปริมาณ 16.67% (NaOH 10 Molar ผสมกับ Na_2SiO_3) ทำการผสมวัตถุดิบทั้งหมดและสารละลายด่างให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนผสม แล้วนำไปอัดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ก้อนอิฐแบบหินศิลาแลงด้วยเครื่องอัด Hydraulic Press จากนั้นทิ้งให้ชิ้นงานเซ็ตตัวและทิ้งไว้เป็นเวลา 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบดูค่าความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำของชิ้นงานต่อไป ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 2-5 และตัวอย่างของชิ้นงานจีโอพอลิเมอร์ต้นแบบที่เตรียมได้จากโรงงานแสดงดังภาพที่ 2-6

ตารางที่ 2-5 ผลการทดสอบชิ้นงานต้นแบบผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากโรงงานหลังบ่มไว้เป็นระยะเวลา 28 วัน

สัดส่วนของแข็งต่อสารละลายในสูตร (Solid : Liquid)	ค่าความแข็งแรงแบบ Compressive Strength (MPa)	ค่าความแข็งแรงแบบ 3-point Bending Strength (MPa)	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)
83.33 : 16.67	13.60	8.58	10.92

ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์ต้นแบบที่โรงงานทดลองผลิต

7. ผลการวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย และมลภาวะที่เกิดขึ้นหลังการประยุกต์ใช้ทางเลือก

การประยุกต์ใช้ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากเศษของเสียหลังเผาที่เหลือทิ้งของโรงงานนั้น นับเป็นแนวทางที่ดีและเหมาะสมต่อกระบวนการผลิตของโรงงาน เนื่องจากสามารถช่วยลดของเสียหลังเผาที่เกิดขึ้นในโรงงานได้ทั้งหมด โดยการนำกลับมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์ซึ่งมีการใช้เศษของเสียเหล่านี้ในสูตรถึง 50% และผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์ไม่ต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงเหมือนกับการผลิตเซรามิกโดยทั่วไป ทำให้ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลงได้มาก ทั้งจากเศษของเสียหลังเผาที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ทั้งหมด และจากการลดการปล่อยก๊าซต่างๆ จากกระบวนการเผาออกสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นการลดมลภาวะทางอากาศลงด้วย ดังแสดงให้เห็นในสมดุลมวลกระบวนการผลิตที่วิเคราะห์ได้ใหม่ดังนี้

สารขาเข้า **สารขาออก**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
วัตถุดิบเตรียมดิน (เซรามิก)	1.1111	กก./กก.
วัตถุดิบเตรียมเคลือบ (เซรามิก)	0.2778	กก./กก.
ของเสียหลังเผา (จีโอพอลิเมอร์)	0.1111	กก./กก.
ดินแดงอ่างทอง (จีโอพอลิเมอร์)	0.0741	กก./กก.
สารละลายด่าง (จีโอพอลิเมอร์)	0.0370	มล./กก.

พลังงาน	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0002	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.2472	kWh/กก.
เชื้อเพลิง (LPG)	0.2563	กก./กก.

บริษัท อ.ป.ก. ดาวคู่ (1988) จำกัด

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะ	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.00002	ลบ.ม./กก.
ฝุ่นละอองจากปล่องเตาเผา	0.00004	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.75271	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.00019	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.00114	กก./กก.

กากของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
เศษดิน/ชิ้นงานเสียก่อนเผา	0.1111	กก./กก.

8. การประเมินผลการพัฒนาตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

- การประเมินผลด้านเทคนิคการผลิต/ประสิทธิภาพ

การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ให้แก่โรงงาน ทำให้โรงงานได้นำของเสียหลังเผาแล้วทั้งหมดกลับมาใช้ประโยชน์ โดยผลิตภัณฑ์ใหม่นี้ไม่ต้องผ่านการเผาให้แข็งแกร่งที่อุณหภูมิสูงทำให้ช่วยลดการใช้พลังงานในกระบวนการเผาลงได้ด้วย มีเพียงการเผาแคลไซน์ดินแดงอ่างทองที่อุณหภูมิต่ำ 600°C ก่อนนำมาใช้เป็นส่วนผสมเท่านั้น สำหรับสูตรที่ให้ผลดีและเหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปแบบอัด ซึ่งโรงงานได้นำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ประกอบด้วย เศษของเสียหลังเผาที่บดย่อยแล้ว 3 ขนาดรวมกัน 50% ดินแดงอ่างทองเผาแคลไซน์ 33.33% และสารละลายด่างผสมกันระหว่าง NaOH กับ Na_2SiO_3 อีก 16.67% ผลการทดสอบที่ได้พบว่า ชิ้นงานต้นแบบให้ค่าความแข็งแรงแบบกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 13.60 MPa กำลังรับแรงดัดเท่ากับ 8.58 MPa และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 10.92% พบว่าผลที่ได้ยังมีคุณสมบัติที่ด้อยกว่าชิ้นงานเซรามิกที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงเล็กน้อย แต่ทางโรงงานสามารถนำผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่ต้องเผานี้ไปเป็นทางเลือกสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความแข็งแรงมากนักได้ เช่น อิฐหรือกระเบื้องสำหรับการตกแต่งสวน ปูพื้นทางเดิน หรือก่อผนัง หรือใช้แทนหินศิลาแลงได้ เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตที่ไม่สูงนักและการลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว นับว่าผลิตภัณฑ์ใหม่จีโอพอลิเมอร์นี้มีความเหมาะสมที่โรงงานควรนำไปใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดอีกแนวทางหนึ่ง

- การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จีโอพอลิเมอร์จากเศษของเสียหลังเผาของโรงงานเป็นการช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นการนำของเสียหลังเผาแล้วกลับมาใช้ได้ทั้งหมด แตกต่างจากวิธีการเดิมที่ทางโรงงานนำของเสียเหล่านี้ไปบดแล้วนำมาผสมรวมกับเนื้อดินในการเตรียมครั้งใหม่ ซึ่งใช้ได้ในปริมาณที่จำกัดไม่เกิน 25% ในสูตรเนื้อดินใหม่เนื่องจากจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ทำให้ยังคงเหลือเศษของเสียสะสมอยู่เป็นปริมาณมาก การนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์ทำให้ได้ใช้ของเสียหลังเผาที่มีอยู่ทั้งหมด ดังนั้นจึงทำให้ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในแง่กากของเสียสะสมมีปริมาณลดลง ดังจะเห็นได้จากสมดุลมวลกระบวนการผลิตเดิม (ในข้อที่ 3.) ที่มีกากของเสียสะสมรวมทั้งก่อนและหลังเผาเท่ากับ 0.250 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ การนำของเสียหลังเผาแล้วกลับมาใช้ทำผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์ทำให้ปริมาณกากของเสียโดยรวมลดลงเป็น 0.1111 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในสมดุลมวลกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงตามแนวทางเลือกในข้อที่ 7. หรือคิดเป็นปริมาณของเสียที่ลดลงไปและนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 13.89%

นอกจากนี้ การทำผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์จากเศษของเสียหลังเผายังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการปล่อยมลภาวะออกสู่บรรยากาศจากก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาอีกด้วย เนื่องจากการผลิตจีโอพอลิเมอร์ไม่ต้องทำการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงเหมือนกับการเผาเซรามิกโดยทั่วไป มีเพียงการเผาแคลไซน์ดินแดงก่อนนำมาใช้ที่อุณหภูมิต่ำ 600°C เท่านั้น ดังนั้นจึง

ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศจากก๊าซต่างๆ ในปริมาณที่น้อยกว่า ดังแสดงให้เห็นได้จากการประเมินสมดุลมวลกระบวนการผลิตเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงตามแนวทางเลือกที่พบว่ามีการปล่อยมลภาวะทางอากาศออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณที่ลดลงดังนี้

มลภาวะ (ก่อน)	ปริมาณ	หน่วย	มลภาวะ (หลัง)	ปริมาณ	หน่วย
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.81949	กก./กก.	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.75271	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.00021	กก./กก.	ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.00019	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00001	กก./กก.	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.00125	กก./กก.	ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.00114	กก./กก.

- การประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่จีโอพอลิเมอร์จากเศษของเสียหลังเผานั้น ทางโรงงานไม่ต้องมีการลงทุนเพิ่มเติมในด้านเครื่องจักร เนื่องจากสามารถใช้เครื่องมือเครื่องจักรที่ทางโรงงานมีอยู่แล้ว ได้แก่ เครื่องบดย่อยเศษของเสียหลังเผา (ปกติโรงงานทำการบดเพื่อนำมาใช้ผสมกับวัตถุดิบในการเตรียมเนื้อดินครั้งใหม่อยู่แล้ว) เตาเผาสำหรับเผาแคลไซน์ดินแดง และเครื่องกวนผสม ซึ่งทางโรงงานมีอุปกรณ์เหล่านี้พร้อมอยู่แล้ว ดังนั้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่นี้จึงต้องการการลงทุนเฉพาะค่าวัตถุดิบดินแดงอ่างทองและสารละลายด่างที่ใช้ในสูตร และค่าแก๊ส LPG ในการเผาแคลไซน์ดินแดงอ่างทองที่ 600°C เท่านั้น สามารถแสดงการคำนวณต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกเดิมเปรียบเทียบกับการผลิตผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์จากเศษของเสียหลังเผาจำนวน 1 กก. ได้ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก. ระหว่างผลิตภัณฑ์เซรามิกเดิมของโรงงานเทียบกับผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์จากของเสียหลังเผา

รายละเอียดต้นทุน	ผลิตภัณฑ์เซรามิกเดิมของโรงงาน (บาท / ผลิตภัณฑ์ 1 กก.)	ผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์จากของเสีย (บาท / ผลิตภัณฑ์ 1 กก.)
ค่าวัตถุดิบเนื้อดิน	2.50 (ดิน 2 บาท/กก. ใช้ 1.25 กก. ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก.)	0.33 (ดินแดงอ่างทอง 1 บาทต่อกก. / ใช้ในสูตรผสม 33.33%)
ค่าวัตถุดิบเคลือบ	10.00 (เคลือบ 32 บาท/กก. ใช้เคลือบ 0.31 กก. ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก.)	-
ค่าแก๊ส LPG ในการเผา	6.72 (แก๊ส 24 บาท/กก. ใช้แก๊ส 0.28 กก. ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก.)	3.36 (เผาแคลไซน์ดินที่ 600°C / คิดค่าแก๊สครึ่งหนึ่งของการเผา 1 กก. ที่ 1200°C)
ค่าสารละลายด่าง	-	4.96 (NaOH และ Na_2SiO_3)
รวมต้นทุน	**19.22**	**8.65**

จากการคำนวณดังแสดงในตารางข้างต้น พบว่า การผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่จีโอพอลิเมอร์จากเศษของเสียหลังเผาตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดนั้น นอกจากจะสามารถลดปริมาณของเสียและลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมได้แล้ว ราคาต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก. ยังถูกกว่าการผลิตเซรามิกอีกด้วย โดยต้นทุนสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก 1 กก. เท่ากับ 19.22 บาท ในขณะที่การผลิตจีโอพอลิเมอร์จากเศษของเสียมีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 8.65 บาท ซึ่งคิดเป็นต้นทุนที่ถูกกว่าถึง 10.57 บาทต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก. ดังนั้นแนวทางเลือกเพื่อกำจัดของเสียตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดโดยนำของเสียหลังเผามาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์จึงเป็นแนวทางเลือกที่เหมาะสมที่โรงงานควรนำไปใช้ แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดสอบผลิตภัณฑ์พบว่า ผลิตภัณฑ์จีโอพอลิเมอร์ยังมีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงที่ด้อยกว่าผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยทั่วไป ดังนั้นทางโรงงานจึงต้องพิจารณาเลือกใช้กับบางผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมและไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก เช่น อิฐหรือกระเบื้องสำหรับตกแต่งหรือจัดสวน เป็นต้น หรืออาจต้องมีการปรับปรุงพัฒนาสูตรเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยใช้สารละลายด่างและดินแดงในสูตรให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ราคาต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย

9. สรุปผลการปรับปรุงตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

การปรับปรุงโรงงานตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้นนั้น ทำให้ทางโรงงานมีประสิทธิภาพในการผลิตที่ดีขึ้นโดยมีการนำของเสียหลังเผากลับไปใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่จีโอพอลิเมอร์ซึ่งไม่ต้องเผาที่อุณหภูมิสูงเหมือนกับเซรามิกทั่วไป ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานแก๊ส LPG ในการเผาผลิตภัณฑ์ลงได้เท่ากับ 8.14% และสามารถลดปริมาณของเสียโดยรวมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้เท่ากับ 13.89% ดังแสดงในการประเมินสมดุลมวลกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงในหัวข้อที่ 3. และ 7. ตามลำดับ

นอกจากนี้การปรับปรุงโรงงานตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดซึ่งนำของเสียหลังเผามาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่จีโอพอลิเมอร์นั้น ถือเป็นการส่งเสริมให้โรงงานมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากได้นำของเสียหลังเผาที่เกิดขึ้นทั้งหมดกลับไปใช้ประโยชน์ทำเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับของเสียดังกล่าว อีกทั้งผลิตภัณฑ์ใหม่จีโอพอลิเมอร์ที่ทำการพัฒนาขึ้นนั้น ทางโรงงานไม่ต้องทำการเผาที่อุณหภูมิสูงเหมือนกับผลิตภัณฑ์เซรามิกปกติของโรงงานเดิม ทำให้สามารถช่วยลดการใช้แก๊ส LPG ในขั้นตอนการเผาลงได้ รวมถึงทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมลพิษอื่นๆ ออกจากเตาเผาในปริมาณที่ลดต่ำลงด้วย ลดการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของมลภาวะทางอากาศลงได้อีกทางหนึ่ง ดังแสดงในสมดุลมวลกระบวนการผลิตเปรียบเทียบก่อนและหลังการดำเนินงานในหัวข้อที่ 3. และ 7. ตามลำดับในข้างต้น ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการนำของเสียหลังเผามาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่จีโอพอลิเมอร์จึงถือเป็นการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับกระบวนการผลิตของโรงงานตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

บริษัท กระเบื้องบ้านไทย จำกัด

1. ข้อมูลทั่วไป

ที่อยู่ คุณดวงใจ เจริญประสิทธิ์
276 ถ.ประชาเนรมิต ต. บางคล้า อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา 24110
โทรศัพท์ 081 576 2599 โทรสาร 038 541 861
อีเมล์ baanthaitiles@gmail.com

ผลิตภัณฑ์ กระเบื้องดินเผา มุงหลังคา เคลือบ, ไม่เคลือบสีในรูปแบบอนุรักษ์

ตลาด โบราณสถาน ศูนย์ศิลปาชีพ บางไทร ขายทางอินเตอร์เน็ต รับงานตามสั่ง

กำลังการผลิต 10,000 แผ่นต่อเดือน แผ่นละ 0.5-1 กก. หรือ 10-20 ตันต่อเดือน

จำนวนคนงาน ประมาณ 10 คน

เนื้อดิน ดินผสมเอง ประกอบด้วยดินขาวปราจีน ดินดำปราจีน ดินแดง และเฟลด์สปาร์
ส่วนผสมของเนื้อดินจะถูกผสมให้เข้ากันแล้วนำไปหมัก 1 คืน จากนั้นนำมารีดเป็นแผ่น
ผึ่งให้หมาด แล้วนำไปขึ้นรูป ซึ่งเนื้อดินในโรงงานใช้ประมาณ 10 ตัน/เดือน

การขึ้นรูป ขึ้นรูปโดยการอัดไฮโดรลิค

เคลือบ เคลือบไร้สารตะกั่วที่เตรียมเอง มีทั้งเคลือบใสและเคลือบด้าน การเตรียมเคลือบจะบด
เคลือบด้วยเครื่อง Pot mill เคลือบที่ใช้ในแต่ละเดือนประมาณ 200 กิโลกรัม/เดือน

การเผา เผาบิสกิต 900^{o}C
เผาเคลือบปกติ 1170-1180^{o}C และเคลือบที่กำลังพัฒนา 1150^{o}C
เตา Shuttle อิฐ เผาครั้งละ 5-6 ชั่วโมง
เตาไฟเบอร์ Shuttle ไฟฟ้า เผาได้ 130 กก./ครั้ง ใช้เวลา 10-12 ชั่วโมง

ปัญหา 1) เผาดิบ มีของเสีย 5-17% เคลือบเสีย 10%
2) เคลือบเสีย 10% เคลือบขาวมีตามด หรือสีไม่ได้ตามที่ต้องการ

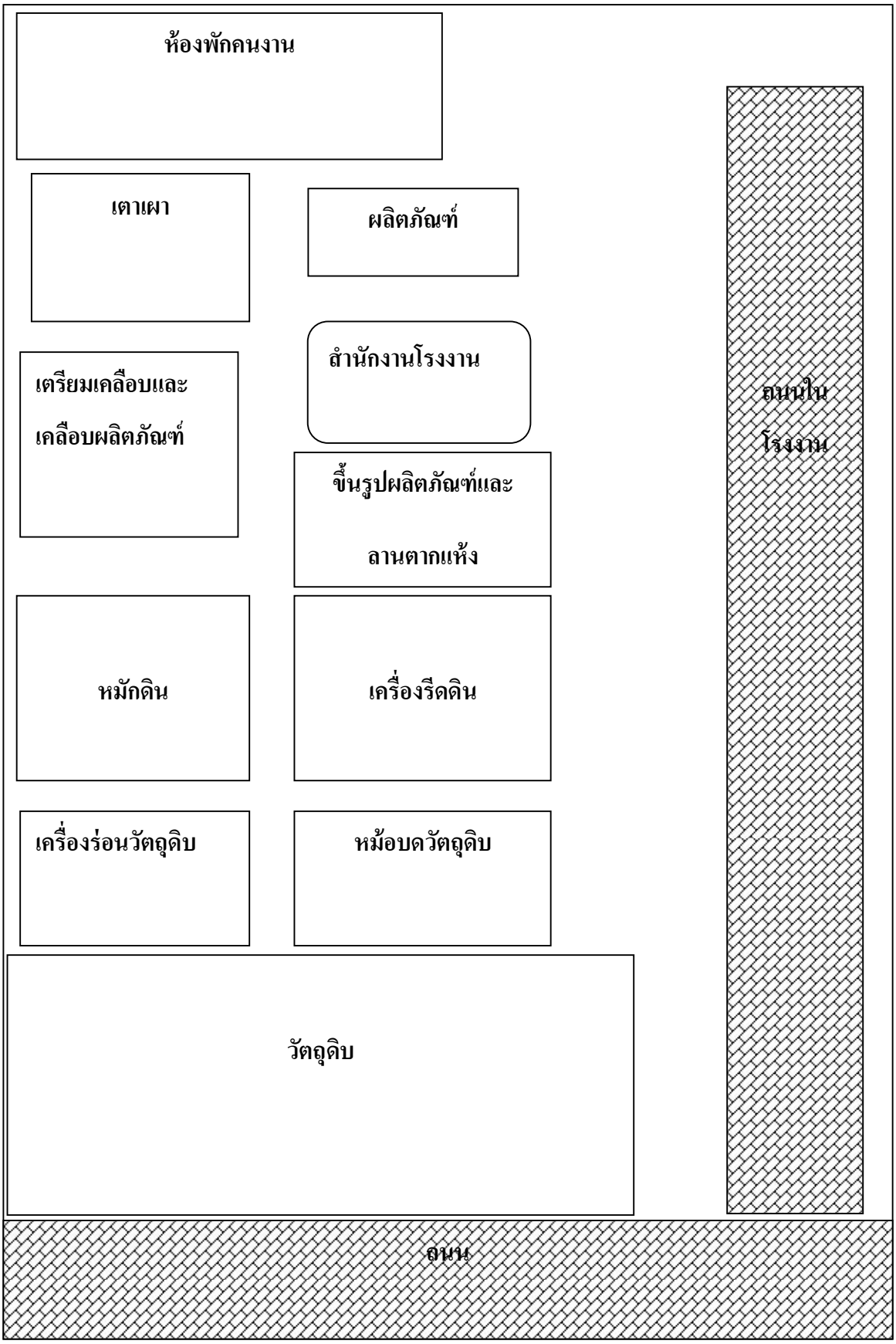
ความต้องการ 1) การลดของเสียจากสาเหตุการระเบิดของเนื้อดิน
2) การลดอุณหภูมิเนื้อดินและเคลือบ
3) ต้องการทำสีให้เหมือนกระเบื้องโบราณ แต่สีและความมันไม่ได้ตามต้องการ
4) การวิเคราะห์ทดสอบผลิตภัณฑ์

ข้อมูลอื่นๆ -

ภาพที่ 3-2 รูปผลิตภัณฑ์ของโรงงานกระเบื้องบ้านไทย

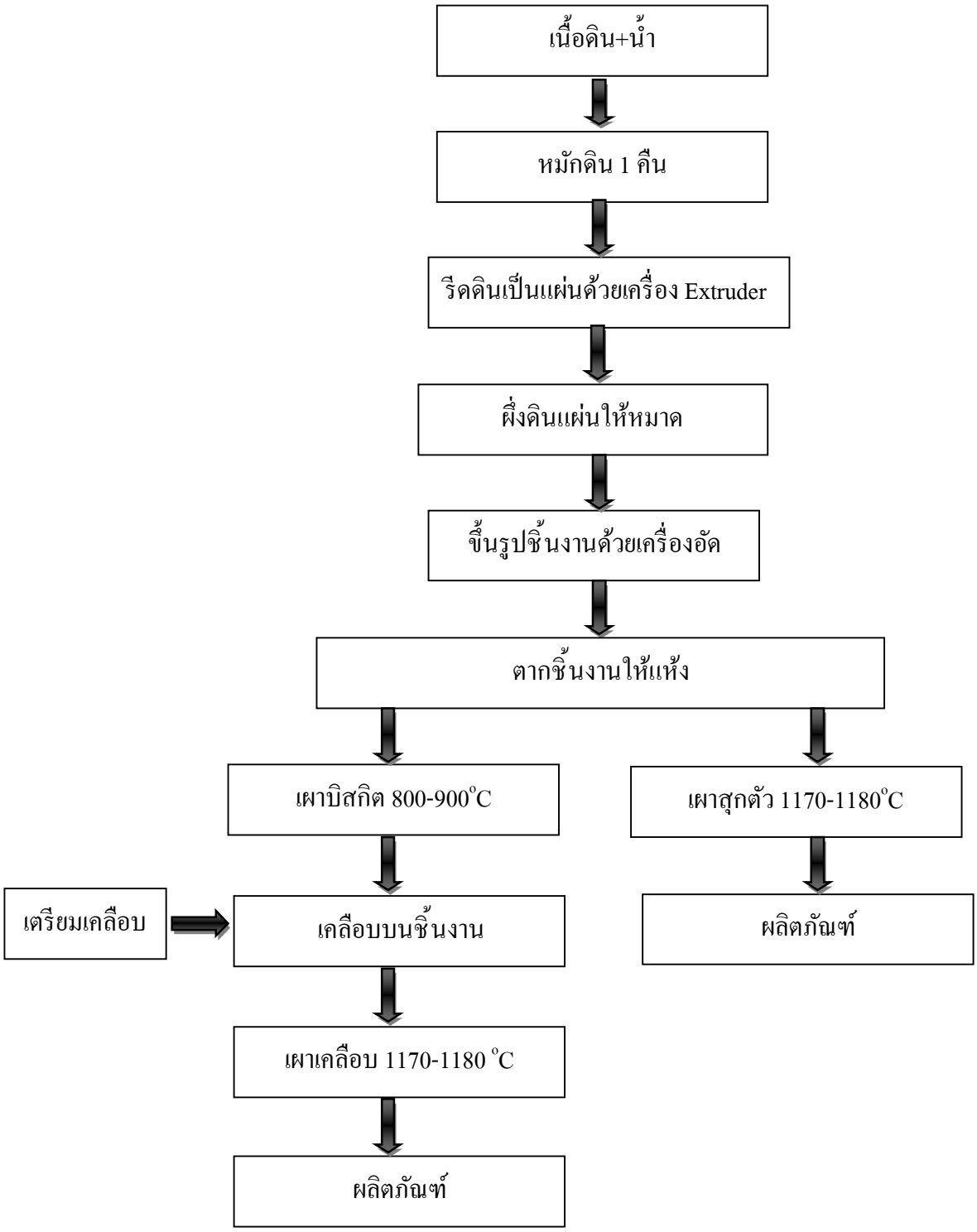
ภาพที่ 3-1 การสอบถามและเก็บข้อมูลในโรงงานกระเบื้องบ้านไทย

แผนผังโรงงาน

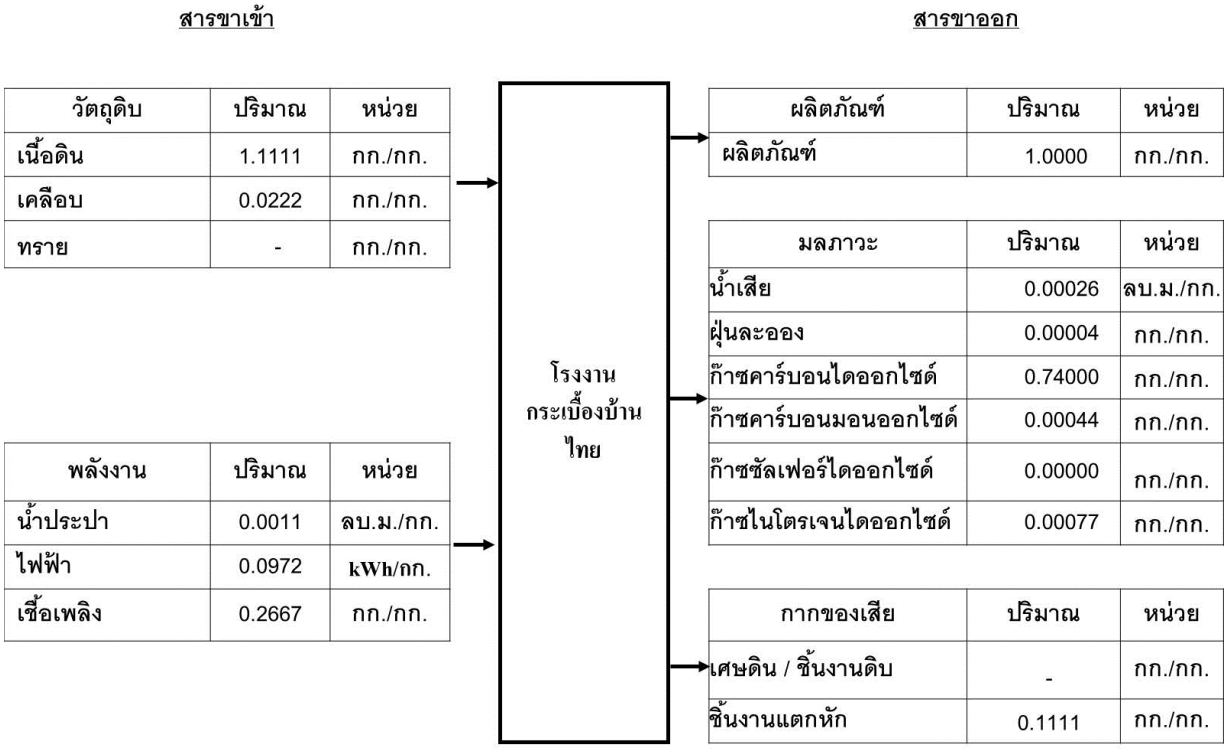


2. สมดุลมวลผลิตภัณฑ์ (Mass balance)

1) กระบวนการผลิต



2) สมดุลมวลกระบวนการผลิต



วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
เนื้อดิน	1.1111	กก./กก.
เคลือบ	0.0222	กก./กก.
ทราย	-	กก./กก.

พลังงาน	ปริมาณ	หน่วย
น้ำประปา	0.0011	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.0972	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	0.2667	กก./กก.

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะ	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.00026	ลบ.ม./กก.
ฝุ่นละออง	0.00004	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.74000	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.00044	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00000	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	0.00077	กก./กก.

กากของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	-	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.1111	กก./กก.

3. แนวทางพัฒนา

1) ลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุการระเบิดของเนื้อดิน

การสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นปัจจุบันในโรงงานกระเบื้องบ้านไทย เกิดจากการระเบิดของเนื้อดิน หลังจากเผาบิสกิตและเผาเคลือบประมาณ 10-17% ซึ่งบริเวณที่แตกในเนื้อดินจะมีลักษณะเป็นผงสีขาว น่าจะเกิดจากสารประกอบของแคลเซียม หรือแมกนีเซียม ทีมวิจัยจึงได้ประเมินทางเทคนิค เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิต โดยการลดของเสียที่เกิดจากการระเบิดของเนื้อดิน

2) ลดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์

ในโรงงานกระเบื้องบ้านไทยเป็นโรงงานที่ผลิตกระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องบุผนัง และกระเบื้องปูพื้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะเผาให้สุกตัวที่อุณหภูมิ 1180°C โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผา ปัจจุบันค่าแก๊ส LPG มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นทีมวิจัยจึงได้ประเมินทางเทคนิค เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการผลิต โดยการลดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์ให้ลดลงประมาณ 1100°C

4. ความเป็นไปได้ของทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

1) ลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุการระเบิดของเนื้อดิน

ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

จากการสูญเสียที่เกิดการระเบิดในเนื้อดินอาจจะเกิดจากสารประกอบของแคลเซียม หรือแมกนีเซียม การแก้ปัญหาจากการระเบิดของเนื้อดินมีแนวทางการพัฒนาคือ อาจจะเปลี่ยนแหล่งดิน หรือการบดวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กและละเอียด หรือเติมสารเคมีบางชนิด เพื่อลดการเสียหายจากการระเบิดของเนื้อดิน

ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

ถ้าลดปริมาณการเสียหายจากการระเบิดของเนื้อดินหลังเผาบิสกิตและเผาเคลือบได้ในโรงงาน จะเป็นการลดปริมาณของเสียที่เหลือทิ้งอยู่ในโรงงาน ซึ่งจะเป็นการช่วยให้โรงงานใช้เนื้อที่ที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และเป็นการลดค่าขนส่งและในการนำของเสียไปทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

ในการลดของเสียจากสาเหตุการระเบิดของเนื้อดินต้องปรับเปลี่ยนการผลิตโดยจะต้องบดวัตถุดิบให้ละเอียดขึ้น และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20-100 เมช จะต้องลงทุนเฉพาะการซื้อตะเกรงใหม่ประมาณ 10,000 บาท ซึ่งเป็นการลงทุนที่ไม่เยอะ ถ้าลดของเสียได้ประมาณ 10% จาก 15% สามารถคืนทุนได้ภายใน 5-6 เดือน

2) ลดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์

ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

การลดอุณหภูมิเผาของผลิตภัณฑ์จาก 1180°C เป็น 1100°C โดยมีแนวทางในการพัฒนาคือ ใช้วัตถุดิบที่เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในการเผาทั้งเคลือบและเนื้อดิน เช่น เศษแก้วบด ลิเธียมคาร์บอเนต แบเรียมคาร์บอเนต และฟริต เป็นต้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสุกตัวเหมือนกับผลิตภัณฑ์ของโรงงาน นอกจากนี้ลักษณะเคลือบและเนื้อดินจะต้องมีต้นทุนและคุณสมบัติเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์เดิมของทางโรงงานด้วยเช่นกัน

ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

การลดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์ลง นอกจากจะเป็นการลดระยะการเผา และการใช้เชื้อเพลิงแล้ว ยังเป็นการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก และลดมลภาวะที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

การลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์จาก 1180°C เป็น 1100°C จะต้องเปลี่ยนเคลือบและเนื้อดินที่สามารถเผาสุกตัวที่อุณหภูมิ 1100°C จากการคำนวณต้นทุนเคลือบและเนื้อดินที่เผาสุกตัวที่

อุณหภูมิ 1100°C เทียบกับเนื้อดินของโรงงาน พบว่าเนื้อดิน 1100°C จะมีต้นทุนที่สูงกว่าของโรงงาน ส่วนเคลือบ 1100°C จะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเคลือบของโรงงาน เมื่อรวมต้นทุนเคลือบและเนื้อดิน 1100°C ต้นทุนยังสูงกว่าโรงงาน และเมื่อนำค่าใช้จ่ายของแก๊สที่ลดลงจากการลดอุณหภูมิเผาผลิตภัณฑ์มาคิดต้นทุนด้วยแล้ว โดยภาพรวมค่าใช้จ่ายยังสูงกว่าโรงงาน ดังแสดงใน**ตารางที่ 3-1** แต่การลดอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์ที่ 1100°C อาจจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในอนาคต เมื่อค่าแก๊สเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3-1 ต้นทุนเคลือบ เนื้อดิน และแก๊ส

รายการ	**ราคา (บาท/กก.)**	**ราคาต้นทุนรายเดือน (บาท/กก.)**	**ราคาต้นทุนรายปี (บาท/กก.)**
เนื้อดิน			
เนื้อดินโรงงาน 1180°C	1.16	11,600	139,200
เนื้อดิน MTEC 1100°C	2.70	27,000	324,000
เคลือบ			
เคลือบใสโรงงาน 1180°C	12.05	2,410	28,920
เคลือบใส MTEC 1100°C	7.49	1,498	17,976
ค่าแก๊สจากลดอุณหภูมิเผา 1180°C เป็น 1100°C	-	5,184	62,208

จากสมดุลมวลกระบวนการผลิตของโรงงานกระเบื้องบ้านไทย พบว่า

- โรงงานยังคงมีปัญหาจากปริมาณของเสียจากการระเบิดของชิ้นงานเฉลี่ยประมาณ 15%
- โรงงานมีการใช้แก๊สเชื้อเพลิง LPG ประมาณ 0.2667 กก. ซึ่งคิดเป็นเงินถึงประมาณ 6.40 บาทต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก. (ราคาแก๊ส ณ ปัจจุบันประมาณ 24 บาทต่อกก.)

จึงเป็นที่มาของแนวทางพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต 2 ทางเลือก คือ

- การลดปริมาณของเสียของชิ้นงานจากสาเหตุการระเบิดของเนื้อดินหลังการเผาบิสกิตและเผาเคลือบ สาเหตุน่าจะเกิดจากก้อนแคลเซียม หรือแมกนีเซียมที่เจือปนมากับเนื้อดิน ซึ่งสามารถทำให้โรงงานมีปริมาณของเสียลดลงได้
- การลดอุณหภูมิในการเผาผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันใช้อุณหภูมิเผา 1180°C ทางทีมวิจัยเสนอให้ปรับปรุงเนื้อดิน และเคลือบซึ่งอาจลดอุณหภูมิเผาได้เหลือประมาณ 1100°C

เมื่อทำการพิจารณาแนวทางทั้งสองร่วมกับโรงงาน จึงได้ข้อสรุปว่า โรงงานเลือกใช้ทางเลือกที่ 1 คือ การลดปริมาณของเสียจากการแตกหักของชิ้นงาน ซึ่งทีมวิจัยได้เสนอให้เพิ่มกระบวนควบคุมคุณภาพเนื้อดินที่ใช้ในการผลิต โดยใช้การร่อนคัดแยกก้อนแร่ออกจากเนื้อดินก่อน ซึ่งจากการประเมินความคุ้มค่าในเชิงเทคนิค สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ พบว่า โรงงานจะสามารถคืนทุนจากการลงทุนได้ภายใน 5-6 เดือน

5. ผลการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

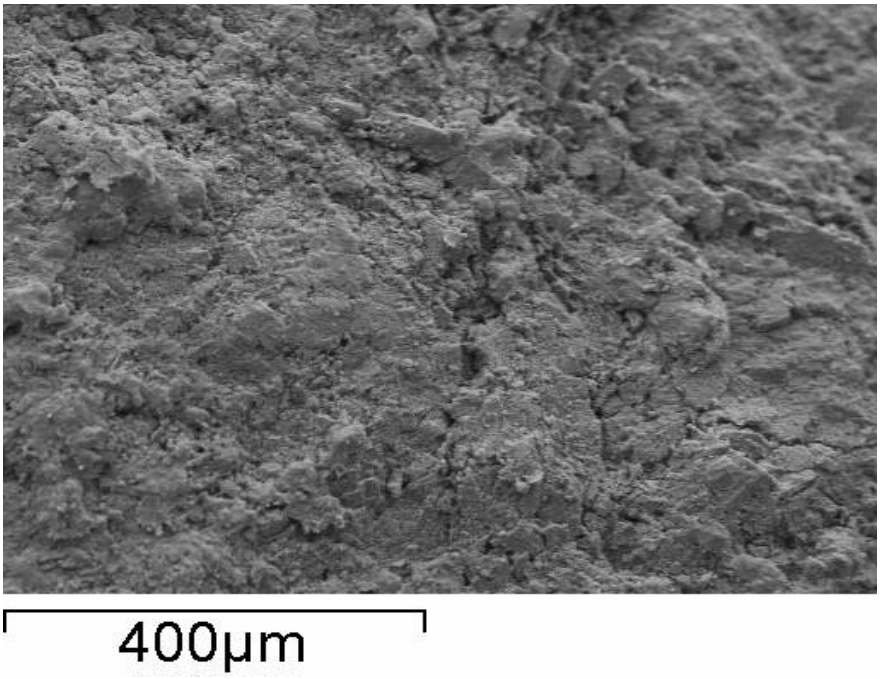
การดำเนินงานประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดลดปริมาณของเสียจากการแตกหักของชิ้นงาน โดยการเพิ่มกระบวนควบคุมคุณภาพเนื้อดินที่ใช้ในการผลิต ซึ่งใช้การร่อนคัดแยกก้อนแร่ขนาดใหญ่ที่คาดว่าเป็นปัญหาในตัวชิ้นงานออกจากเนื้อดินก่อน จากนั้นจึงนำเนื้อดินที่ได้หลังการร่อนไปเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป มีรายละเอียดในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1) <u>การวิเคราะห์ลักษณะและองค์ประกอบธาตุของตำหนิจากการระเบิดของชิ้นงาน</u>

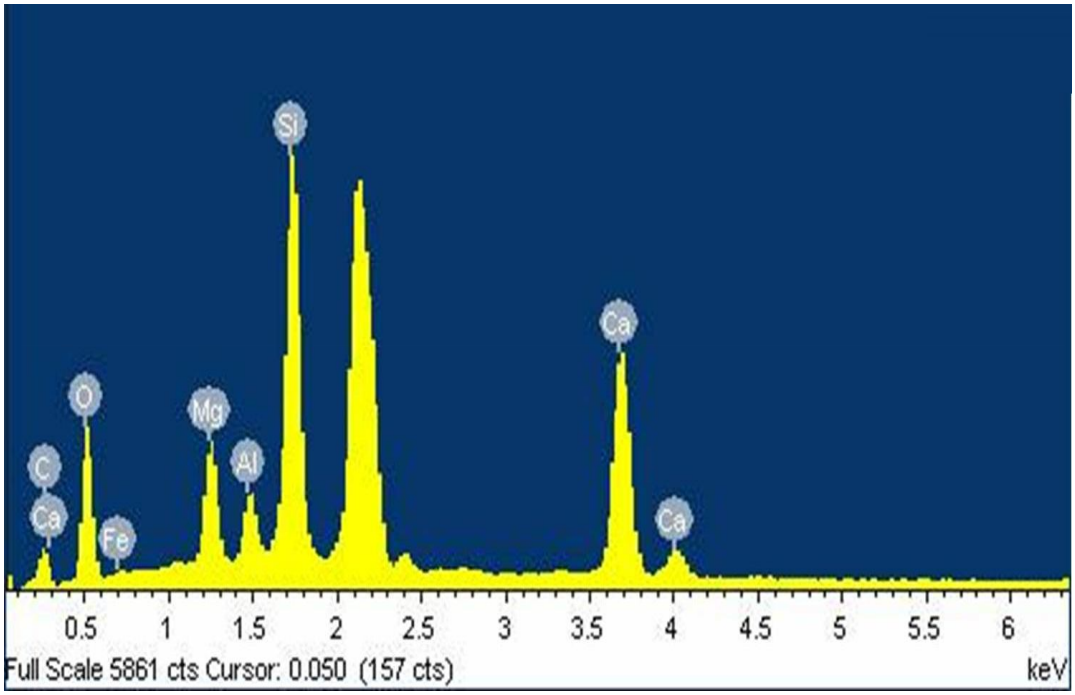
จากการเก็บตัวอย่างของเนื้อดินที่ผ่านการขึ้นรูป และเผาสุกตัวที่อุณหภูมิ 1180 องศาเซลเซียส พบว่าเนื้อดินที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วจะมีก้อนสีขาวในเนื้อดิน ดังใน**ภาพที่ 3-2 (ก)** และหลังจากเนื้อดินเผาสุกตัว เนื้อดินจะเกิดการระเบิด และจะมีลักษณะเป็นผงสีขาว ดังใน**ภาพที่ 3-2 (ข)** เมื่อนำก้อนและผงสีขาวในชิ้นงานไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุด้วยกล้องจุลทรรศอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังใน**ภาพที่ 3-3** และ **ภาพที่ 3-5** พบว่า ก้อนสีขาวจะมีปริมาณธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็ก ออกซิเจน และคาร์บอน โดยปริมาณธาตุแคลเซียมจะค่อนข้างสูง (14.38% โดยน้ำหนัก) ส่วนผงสีขาวจะประประกอบด้วยธาตุแคลเซียม ซิลิกอน อะลูมิเนียมออกซิเจน และคาร์บอนโดยปริมาณธาตุแคลเซียมจะสูง จะมีค่าเท่ากับ 48.61% โดยน้ำหนัก ดังใน **ตาราง 3-2** จากผลการวิเคราะห์จึงสรุปได้ว่า การระเบิดของชิ้นงานเกิดจากแร่หินปูน

(ก) (ข)

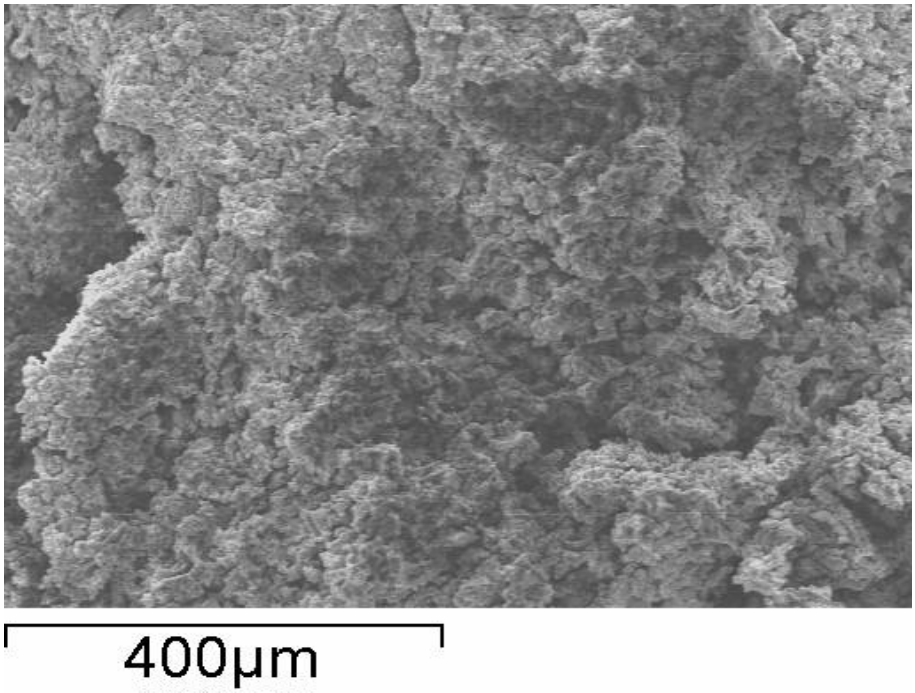
ภาพที่ 3-2 (ก) ก้อนสีขาวในเนื้อดินหลังจากขึ้นรูป (ข) ผงสีขาวหลังจากเกิดการระเบิด



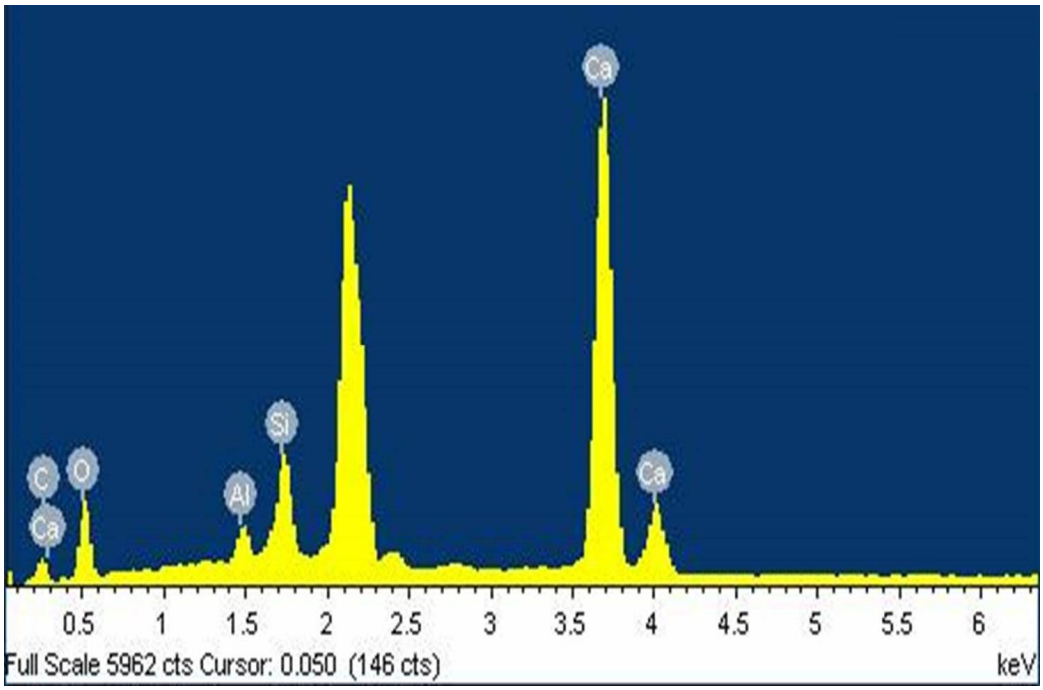
ภาพที่ 3-3 SEM micrograph ของก้อนสีขาวในเนื้อดินที่กำลังขยาย 150 เท่า



ภาพที่ 3-4 EDS spectrum ของก้อนสีขาวในเนื้อดิน



ภาพที่ 3-5 SEM micrograph ของผงสีขาวในเนื้อดินที่กำลังขยาย 150 เท่า



ภาพที่ 3-6 EDS spectrum ของผงสีขาวในเนื้อดิน

ตารางที่ 3-2 องค์ประกอบธาตุของตำหนิในเนื้อดินโดยเทคนิค EDS

ธาตุ	ปริมาณ (wt.%)	
	ก้อนสีขาว	**ผงสีขาว**
C	15.92	6.46
O	42.23	43.56
Mg	6.07	-
Al	2.99	0.45
Si	16.76	0.92
Ca	14.38	48.61
Fe	1.65	-
รวม	100.00	100.00

3) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาตำหนิจากการระเบิดของชิ้นงาน

เมื่อพิจารณากระบวนการผลิตในโรงงาน พบว่าโรงงานจะบดวัตถุดิบแต่ละชนิดด้วยเครื่องบด Hammer mill ใน**ภาพที่ 3-7** จากนั้นบดผสมในเครื่อง Edge runner ดังใน**ภาพที่ 3-8** จากนั้นนำดินที่ได้ดังแสดงใน**ภาพที่ 3-9** เข้าสู่กระบวนการหมัก รีดดิน และนำไปขึ้นรูป ซึ่งอาจทำให้หินปูนที่มีขนาดใหญ่และปนอยู่ในเนื้อดินเกิดการระเบิดหลังการเผาได้

ภาพที่ 3-7 Hammer mill

ภาพที่ 3-8 Edge runner

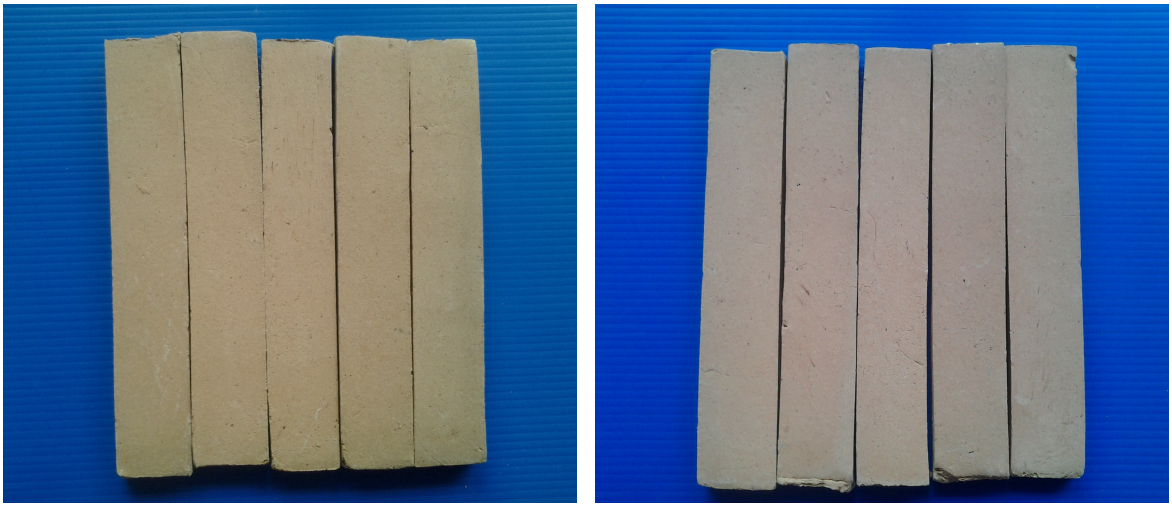
ภาพที่ 3-9 เนื้อดินของโรงงาน

4) การปรับปรุงการเตรียมเนื้อดินและการทดสอบคุณสมบัติของเนื้อดินก่อนและหลังแก้ไข

การปรับปรุงกระบวนการเตรียมเนื้อดินโดยนำตะแกรงเบอร์ 7 (ขนาด 1-2 มม.) ไปติดที่เครื่องร่อน ดังใน**ภาพที่ 3-10** จากนั้นนำดินดิบมาบดแล้วร่อนเพื่อคัดแยกอนุภาคขนาดใหญ่ออก เนื่องจากอนุภาคดังกล่าวอาจมีผลต่อการระเบิดในเนื้อดินได้

ภาพที่ 3-10 เครื่องร่อนวัตถุดิบ

ในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อนและผ่านการร่อน ก่อนการนำไปผลิตเป็นกระเบื้องจริง ในการทดลองจะนำวัตถุดิบมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปผสมกับน้ำหมักเป็นเวลา 1 คืน นำไปรีด และขึ้นรูปเป็นแท่งชิ้นงานทดสอบ อบให้แห้ง เผาที่อุณหภูมิ 1180^{o}C ชิ้นงานทดสอบขนาด 3 x 16.5 ซม. ดังใน**ภาพที่ 3-11** ในการทดลองจะวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี การหดตัว ค่าความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ของเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อนและผ่านการร่อน จากการทดลองพบว่าค่าการหดตัวเฉลี่ยของเนื้อดินที่ผ่านการร่อน(9.42%) จะมีค่ามากว่าเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน (7.94%) ดังใน**ตารางที่ 3-5** เนื่องจากเนื้อดินที่ผ่านการร่อนขนาดอนุภาคจะมีขนาดเล็กกว่าเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน



(ก) (ข)

ภาพที่ 3-11 ชิ้นงานทดสอบของเนื้อดิน (ก) ไม่ผ่านการร่อน และ (ข) ผ่านการร่อน

ตารางที่ 3-5 การหดตัวของเนื้อดินไม่ผ่านการร่อนและผ่านการร่อน

ตัวอย่างที่	ค่าการหดตัว (%)					ค่าเฉลี่ย (%)
	1	2	3	4	5	
เนื้อดินไม่ผ่านการร่อน	8.25	8.21	8.34	7.67	7.22	7.94
เนื้อดินผ่านการร่อน	10.36	9.02	10.07	8.59	9.07	9.42

นำแท่งทดสอบ ไปอบให้แห้งสนิทที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาใส่ในตู้อบความชื้นเพื่อให้เย็นลง นำไปชั่งหาค่าน้ำหนักก่อนดูดซึมน้ำ จดบันทึกค่าน้ำหนักแห้งไว้ นำแท่งทดสอบไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น และแช่ไว้ในน้ำนั้นอีก 24 ชั่วโมง นำแท่งทดสอบขึ้นมาจากน้ำ ใช้ผ้าหมาดๆ ซับผิวแท่งทดสอบให้ทั่วแล้วนำแท่งทดสอบไปชั่งหาน้ำหนักที่ดูดซึมน้ำแล้วคำนวณ จาก**ตารางที่ 3-6** พบว่าค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของเนื้อดินที่ผ่านการร่อน (3.05%) จะมีค่ามากกว่าเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน (4.49%)

นำแท่งทดสอบไปวัดค่าความแข็งแรง ด้วยเครื่องวัดความแข็งแรงแบบ 3-point Bending Strength (Instron, 55R4502) โดยใช้อัตราเร็ว 0.4 มม.ต่อนาที และระยะ Span 120 มม. จาก**ตารางที่ 3-7** พบว่าค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของเนื้อดินที่ผ่านการร่อน(13.98 MPa) จะมีค่ามากว่าเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน (12.89 MPa)

ตารางที่ 3-6 การดูดซึมน้ำของเนื้อดินไม่ผ่านการร่อนและผ่านการร่อน

ตัวอย่างที่	ค่าดูดซึมน้ำ (%)					ค่าเฉลี่ย (%)
	1	2	3	4	5	
เนื้อดินไม่ผ่านการร่อน	5.08	4.07	3.15	4.71	5.44	4.49
เนื้อดินผ่านการร่อน	2.67	3.47	3.68	2.81	2.64	3.05

ตารางที่ 3-7 ค่าความแข็งแรงของเนื้อดินไม่ผ่านการร่อนและผ่านการร่อน

ตัวอย่างที่	ค่าความแข็งแรง (MPa)					ค่าเฉลี่ย (MPa)
	1	2	3	4	5	
เนื้อดินไม่ผ่านการร่อน	13.76	11.41	13.66	13.17	12.45	12.89
เนื้อดินผ่านการร่อน	13.44	13.91	12.53	14.69	15.34	13.98

วัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Coefficient of thermal expansion) ของเนื้อดินด้วยเครื่อง Dilatometer, Netzsch, DIL402 PC โดยเนื้อดินก่อนเผาจะขึ้นรูปให้มีขนาด 5 x 30 x 5 มม. และเผาที่อุณหภูมิที่ 900^{o}C หลังจากเผาขัดผิวให้เรียบโดยใช้กระดาษทราย และให้มีความยาวในช่วง 20-25 มม. นำไปวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 600^{o}C ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10^{o}C ต่อนาที จากนั้นปล่อยให้เย็นตัวในเตาจนถึงอุณหภูมิห้อง จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน ดังใน**ตารางที่ 3-8** พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของเนื้อดินผ่านการร่อนในช่วงอุณหภูมิ 25-400 ^{o}C และ 25-500 ^{o}C จะมีค่าเท่ากับ 6.4402x10^{-6} K^{-1} และ 7.2493 x10^{-6} K^{-1} ตามลำดับ ส่วนสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของเนื้อดินผ่านการร่อนในช่วงอุณหภูมิ 25-400 ^{o}C และ 25-500 ^{o}C จะมีค่าเท่ากับ 6.1062x10^{-6} K^{-1} และ 6.9105x10^{-6} K^{-1} ตามลำดับ

วิเคราะห์หาองค์ประกอบของเนื้อดินด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF, Bruker, S8 Tiger) โดยจะนำผงดินเนื้อดินกับ Wax มาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันในอัตราส่วน 1:5 นำไปอัดขึ้นรูปให้มีลักษณะวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. ด้วยกำลังอัด 3300 psi นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดิน ดังใน**ตารางที่ 3-9** พบว่าเนื้อดินทั้งสองชนิดมี SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลัก และมี Fe_2O_3 TiO_2 K_2O และ CaO ในปริมาณที่น้อย นอกจากนี้ยังมีปริมาณของ MgO Na_2O P_2O_5 MnO SO_3 ZnO CuO NiO MnO และCr_2O_3 ในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบ CaO ของเนื้อดิน พบว่าเนื้อดินที่ผ่านการร่อนจะมีค่า CaO น้อยกว่าเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน

ตารางที่ 3-8 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของเนื้อดินไม่ผ่านการร่อนและผ่านการร่อน

ตัวอย่างที่	**ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (1/K)**	
	25-400 ^{o}C	**25-500 ^{o}C**
เนื้อดินไม่ผ่านการร่อน	6.1062×10^{-6}	6.9105×10^{-6}
เนื้อดินผ่านการร่อน	6.4402×10^{-6}	7.2493×10^{-6}

ตารางที่ 3-9 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อดินไม่ผ่านการร่อนและผ่านการร่อน

ออกไซด์ (wt.%)	**เนื้อดินไม่ผ่านการร่อน**	**เนื้อดินผ่านการร่อน**
Na_2O	0.62	0.62
MgO	0.56	0.54
Al_2O_3	20.36	19.88
SiO_2	64.22	64.59
P_2O_5	0.06	0.07
SO_3	0.11	0.12
K_2O	1.00	1.05
CaO	8.6	8.21
TiO_2	1.16	1.26
Cr_2O_3	0.02	0.03
MnO	0.03	0.03
Fe_2O_3	3.1	3.46
NiO	0.01	0.01
CuO	0.01	0.01
ZnO	0.02	0.01
SrO	0.02	0.02
Y_2O_3	-	0.01
ZrO_2	0.06	0.06
BaO	0.04	0.02
รวม	**100.00**	**100.00**

หลังจากทดสอบคุณสมบัติทั้งด้านกายภาพและเคมีของเนื้อดินที่ผ่านการร่อนเทียบกับเนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน พบว่าคุณสมบัติจะไม่ต่างกันมาก จึงนำเนื้อดินที่ผ่านการร่อนไปทดลองผลิตจริงในโรงงาน โดยจะบดวัตถุดิบทุกชนิดด้วยเครื่องบด Hammer mill นำไปร่อนผ่านตะแกรง บดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Edge runner แล้วนำไปหมัก รีดดิน นำไปขึ้นรูป ดังใน**ภาพที่ 3-12** และนำไปเผา ที่อุณหภูมิ 1180^{o}C จากการทดลองพบว่าเนื้อดินที่ผ่านการร่อนแล้วนำไปขึ้นรูปและเผาจะไม่มีการระเบิดของผลิตภัณฑ์กระเบื้องมุงหลังคา ซึ่งจะสามารถลดของเสียเนื่องจากการระเบิดของเนื้อดินได้จาก 15-17% เหลือเพียงประมาณ 0-2% ของผลิตภัณฑ์กระเบื้องมุงหลังคาที่ผลิต ดังใน**ภาพที่ 3-13**

ภาพที่ 3-12 การขึ้นรูปกระเบื้อง

(ก) (ข)

ภาพที่ 3-13 รูปผลิตภัณฑ์กระเบื้อง (ก) เนื้อดินที่ไม่ผ่านการร่อน (ข) เนื้อดินที่ผ่านการร่อน

6. สมดุลมวลกระบวนการผลิตหลังแก้ไขปัญหา

จากการประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางของเทคโนโลยีสะอาด โดยการเพิ่มการควบคุมคุณภาพเนื้อดินในกระบวนการผลิต โดยใช้ตะแกรงร่อนเนื้อดินดิบเพื่อคัดแยกอนุภาคก้อนดิน และก้อนแร่ขนาดใหญ่ออกจากเนื้อดิน ก่อนการเข้าสู่กระบวนการหมักและรีดดิน เป็นวิธีการที่ช่วยลดปัญหาของเสียจากการระเบิดของชิ้นงานหลังเผาลงได้ ทำให้ปริมาณของเสียต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลง รวมถึงค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิต และมลภาวะที่ปล่อยออกจากโรงงานลดลงตามกัน ดังแสดงในสมดุลกระบวนการผลิต ดังนี้

สารขาเข้า

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
เนื้อดิน	1.0363	กก./กก.
เคลือบ	0.0207	กก./กก.
ทราย	-	กก./กก.

พลังงาน	ปริมาณ	หน่วย
น้ำประปา	0.0010	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.0972	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	0.2487	กก./กก.

โรงงาน กระเบื้องมุงหลังคา

สารขาออก

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะ	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.00024	ลบ.ม./กก.
ฝุ่นละออง	0.00004	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.72000	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.00041	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00000	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	0.00073	กก./กก.

กากของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	-	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.0363	กก./กก.

7. การประเมินผลการพัฒนาตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

- การประเมินผลด้านเทคนิคการผลิต/ประสิทธิภาพ

จากการตรวจสอบและเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิต โดยการประเมินทางเทคนิคพบว่าโรงงานสามารถออกแบบและติดตั้งเครื่องร่อนดินได้ดังแสดงในภาพที่ 3-10 นอกจากนี้หลังการติดตั้งเครื่องร่อนเนื้อดิน โรงงานได้นำเครื่องร่อนดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในกระบวนผลิตเดิม พบว่าสามารถใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพที่ดีเหมาะสมกับการทำงานของโรงงาน

- การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม

หลังการเพิ่มการควบคุมคุณภาพเนื้อดินในกระบวนการผลิต โดยใช้ตะแกรงร่อนเนื้อดินดิบเพื่อคัดแยกอนุภาคก้อนดิน ก้อนแร่ที่มีขนาดใหญ่ออกจากเนื้อดินก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป พบว่าปริมาณของเสียหลักจากสาเหตุการระเบิดของเนื้อดินลดลงลงประมาณ 15% หลังการแก้ไข ทำให้ลดปริมาณการใช้

วัตถุดิบ เช่น เนื้อดินและเคลือบต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ การใช้พลังงานเชื้อเพลิง ไฟฟ้า และน้ำต่อกิโลกรัมผลิตภัณฑ์ รวมถึงลดมลภาวะทั้งด้านน้ำเสียและอากาศลงได้ดังแสดงตามสมดุลมวลกระบวนการผลิตหลังแก้ไขปัญหา

- การประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์

การใช้ตะแกรงร่อนเนื้อดินดิบเพื่อคัดแยกอนุภาคก้อนดิน ก้อนแร่ที่มีขนาดใหญ่ออกจากเนื้อดินก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต ช่วยลดปริมาณของเสียลงประมาณ 15% ซึ่งทำให้โรงงานมีรายรับจากของเสียที่ลดลงประมาณ 19,815 บาทต่อเดือน (ของเสียลดลง 1,500 กิโลกรัม ราคาต้นทุนกิโลกรัมละ 13.21 บาท) ทั้งนี้การติดตั้งเครื่องจักรดังกล่าว เกิดค่าใช้จ่ายจากค่าวัสดุ อุปกรณ์ ค่าติดตั้ง ออกแบบ และค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อเดือน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- ค่าตะแกรงร่อนขนาดเบอร์ 7 (ขนาด 1-2 มม.) 4,000 บาท
- ค่าปรับปรุงเครื่องร่อน (ใช้โครงเก่าเดิมที่มีอยู่) 10,000 บาท
- ค่าไฟฟ้าต่อเดือนที่เพิ่มขึ้น 260 บาทต่อเดือน

ตารางที่ 3-10 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

รายการ	ผลตอบแทน/การลงทุน
ผลตอบแทน	
ผลตอบแทนจากปริมาณของเสียที่ลดลง กิโลกรัมของของเสีย x ต้นทุน = 1,500 กก. x 13.21 บาท	19,815 บาทต่อเดือน
รวมผลตอบแทน	**19,815 บาทต่อเดือน**
การลงทุน	
ค่าตะแกรงร่อนขนาดเบอร์ 7 (ขนาด 1-2 มม.)	4,000 บาท
ค่าปรับปรุงเครื่องร่อน (ใช้โครงเก่าเดิมที่มีอยู่)	10,000 บาท
ค่าไฟฟ้าต่อเดือนที่เพิ่มขึ้น	260 บาทต่อเดือน
รวมการลงทุน	**14,260 บาท**
ระยะเวลาคืนทุน	**14,000 / (19,815-260)** **= 0.72 เดือน**

จากตารางการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าการเพิ่มการควบคุมคุณภาพเนื้อดินในกระบวนการผลิต โดยใช้ตะแกรงร่อนเนื้อดินดิบเพื่อคัดแยกอนุภาคก้อนดิน ก้อนแร่ที่มีขนาดใหญ่ออกจากเนื้อดิน มีการลงทุนในส่วนเครื่องจักร อุปกรณ์ประมาณ 14,000 บาท และค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นต่อเดือน 260 บาท

แต่จะเพิ่มผลตอบแทนในแง่ของเสียที่ลดลงประมาณ 19,815 บาทต่อเดือน ซึ่งทำให้มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 เดือนเท่านั้น

8. การผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากการวิเคราะห์สมดุลมวลกระบวนการผลิตหลังเข้าร่วมโครงการพบว่า โรงงานมีปริมาณของเสียหลังการเผาลดลงจากเดิม 0.111 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.0363 กิโลกรัมต่อการผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้แก๊ส LPG ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก. พบว่าลดลงจากเดิม 0.27 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.25 กิโลกรัม ซึ่งมีผลทำมลภาวะต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการเผาและถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศมีปริมาณลดลงตามไปด้วย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลดลงจาก 0.74 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.72 กิโลกรัม ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ลดลงจาก 0.44 กรัม เหลือเพียง 0.41 กรัม และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ลดลงจาก 0.77 กรัม เหลือเพียง 0.73 กรัม ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ดังนั้นการลดปริมาณของเสียและปริมาณมลภาวะที่เกิดจากการเผาดังกล่าวจึงเป็นตัวชี้วัดได้ว่าโรงงาน กระเบื้องบ้านไทยมีการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น หลังจากมีการดำเนินการตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

บริษัท ลักษิกา 917 จำกัด

1. ข้อมูลทั่วไป

ที่อยู่: 44/21 หมู่ 4 ต.คลองโยน อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

โทรศัพท์: 08 9048 4163 โทรสาร: 0 2864 7363

อีเมล์: lasika917@gmail.com; chok9310@gmail.com

ผลิตภัณฑ์: มีรูปแบบประจำประมาณ 30 แบบ โดยจำแนกผลิตภัณฑ์ออกเป็น

- เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ประเภทพอร์ซเลน (ของขาว) ประมาณ 50-80%
- ผลิตภัณฑ์เขียนลายตกแต่งแล้ว ประมาณ 20-40%
- ผลิตภัณฑ์ดิบก่อนเผา และหลังเผาบิสกิต ประมาณ 10%

ตลาด: ส่งให้ร้านอาหาร โรงงานเบญจรงค์ ส่งได้หมด แต่อาจมีคืนมาบ้าง ประมาณ 5%

กำลังการผลิต: 50,000 ชิ้นต่อเดือน

จำนวนคนงาน: 12 คน

เนื้อดิน: - ใช้ดิน PBA ของคอมเพาว์เคลย์ ราคา 8 บาท/กก. ปริมาณการซื้อ 180 ตัน/ปี

- ใช้ดิน VCB ของคอมพาวด์เคลย์ ราคา 27 บาท/กก. ผสมกับ PBA ในสัดส่วน 1:2 สำหรับงานหล่อ เพื่อให้ได้สีขาวตามที่ลูกค้าต้องการและหล่อง่ายขึ้น
- มีโรงดินผสมเอง อยู่ที่กระทุ่มแบนดินผสมเอง
- ใช้น้ำดื่มแบบถังในการผสมดินและเคลือบโดยเฉพาะ (น้ำใช้ในโรงงานเป็นน้ำบาดาล)

ขึ้นรูป: - หล่อน้ำดิน จิกเกอร์ โรลเลอร์เฮด (มี semi-auto jiggering สภาพพร้อมใช้งานแต่ไม่ได้ใช้ จำนวน 4 เครื่อง มี pressure casting แต่ไม่ได้ใช้งาน) บางรูปแบบใช้ sub-contract เนื่องจากผลิตเองแล้วเสียหายมาก

แม่พิมพ์: - สั่งทำ ใช้วันละ 1-2 รอบ มีอายุการใช้ประมาณ 100 รอบสำหรับงานหล่อ และ 200 รอบสำหรับงานปั้น ไม่มีการบันทึก

เคลือบ: ใช้วิธีชุบเคลือบ ซื้อเคลือบสำเร็จจากคอมพาวด์เคลย์ (รหัส 010) ราคา 30 บาท/กก. ปริมาณการใช้ประมาณ 1,500 กิโลกรัม/เดือน (18 ตันต่อปี)

การเผา: - เตา Shuttle ไฟเบอร์ ขนาด 2.5 คิว เผาบิสกิต อุณหภูมิ 800-820^{O}C

- เตา Shuttle ไฟเบอร์ ขนาด 2.5 คิว เผาเคลือบรีดักชั่น อุณหภูมิ 1270-1280^{O}C ใช้เวลา 10-12 ชั่วโมง
- ใช้แก๊สแบบถังขนาด 48 กก. ประมาณ 3-3.5 ถังต่อครั้ง สำหรับเผาเคลือบ และใช้ประมาณ 0.5 ถังต่อครั้งสำหรับการเผาบิสกิต เดือนหนึ่งอาจมีใช้ถึง 80 ถัง หรือประมาณ 70,000-80,000 บาท/เดือน (เตาเผาเปลี่ยนไฟเบอร์ทุกปี)

- เตาไฟฟ้า 2 เตา ใช้สำหรับเผามุก เผาทอง
- โรงงานซื้อเตาใหม่ขนาดประมาณ 1.5 คิว (ยังไม่ได้ติดตั้ง) ใช้สำหรับเผาของเกรดพรีเมียม
- การอบแห้งใช้วิธีผึ่งชิ้นงานในอากาศ โดยใช้เวลา0.5-1 วันสำหรับชิ้นงานขนาดเล็ก และนานสุดประมาณ 2 สัปดาห์สำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่ก่อนเข้าเผาบิสกิต
- ไม่มีการวัดหรือตรวจเช็คอุณหภูมิภายในเตาเผา

ปัญหา: 1) ชิ้นงานหลังขึ้นรูปเสียหาย 20-30% (สามารถนำกลับไปผสมกับน้ำดินใหม่ได้ ในสัดส่วนประมาณ 20%) ดังภาพที่ 1

2) บิสกิต บิ่น แตกเสียประมาณ 20-30% (ส่วนใหญ่เกิดจากวิธีการทำงาน และคน)

3) สีเพี้ยน ไม่ขาว

4) มีสินค้าตีคืน 5-10% (โรงงานจะนำมาเขียนลายเอง แล้วเผาก่อนขายให้กับลูกค้าอีกกลุ่ม)

ความต้องการ: 1) ลดการเกิดของเสีย

2) ลดการใช้พลังงาน

3) เพิ่มรอบในการเผา

4) สนใจพอร์ซเลนไฟต่ำ 1200^{O}C

5) พัฒนาน้ำเคลือบสีทอง

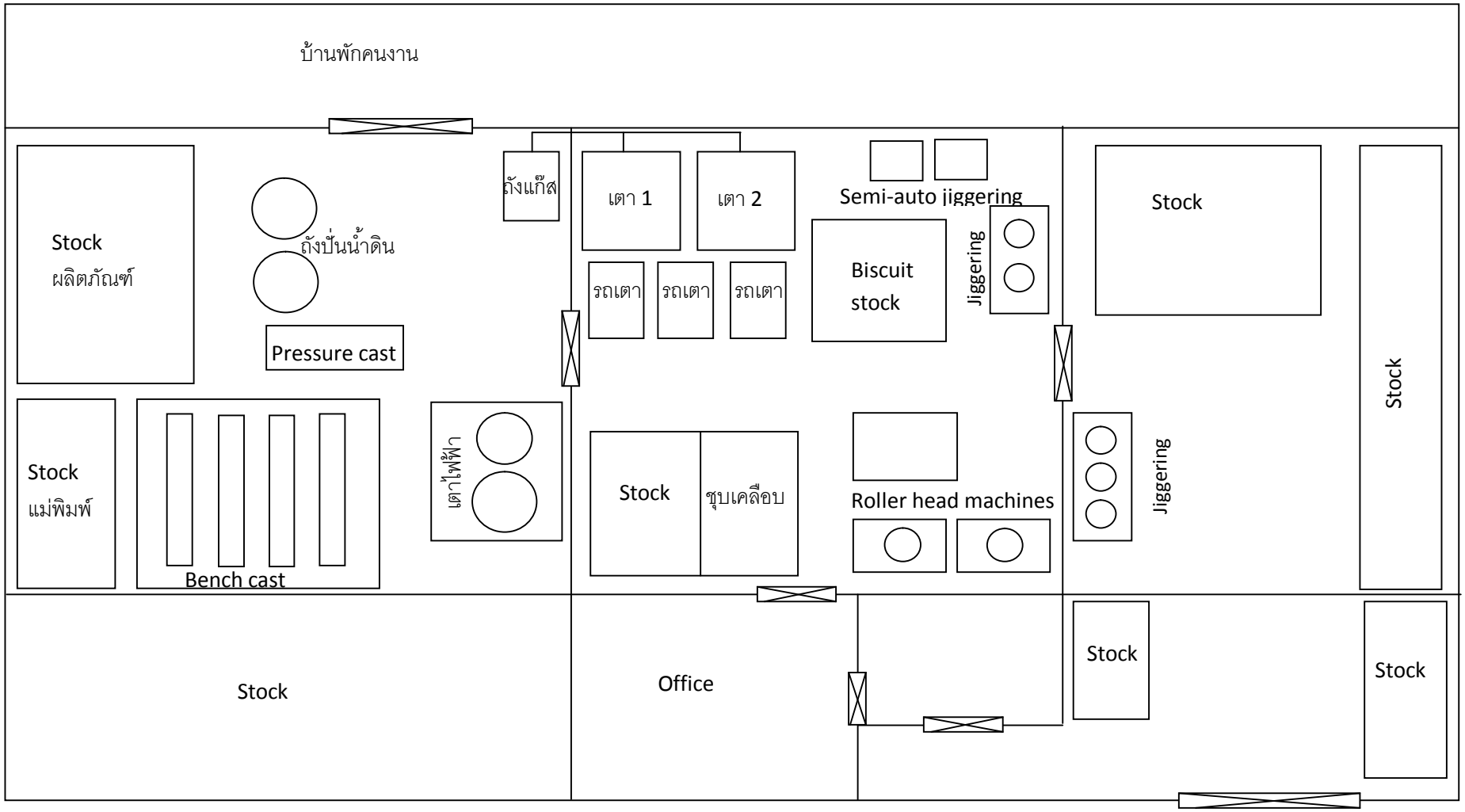
6) โซล่าเซลล์สำหรับงานแสงสว่าง

ข้อมูลอื่นๆ: - สนใจทำโรงดินเอง โดยใช้ดินชนิดเดียว ทำได้ทั้งถ้วยชาม กระเบื้อง สุขภัณฑ์ และเผาด้วยกันในเตาอุโมงค์ หรือเตา roller

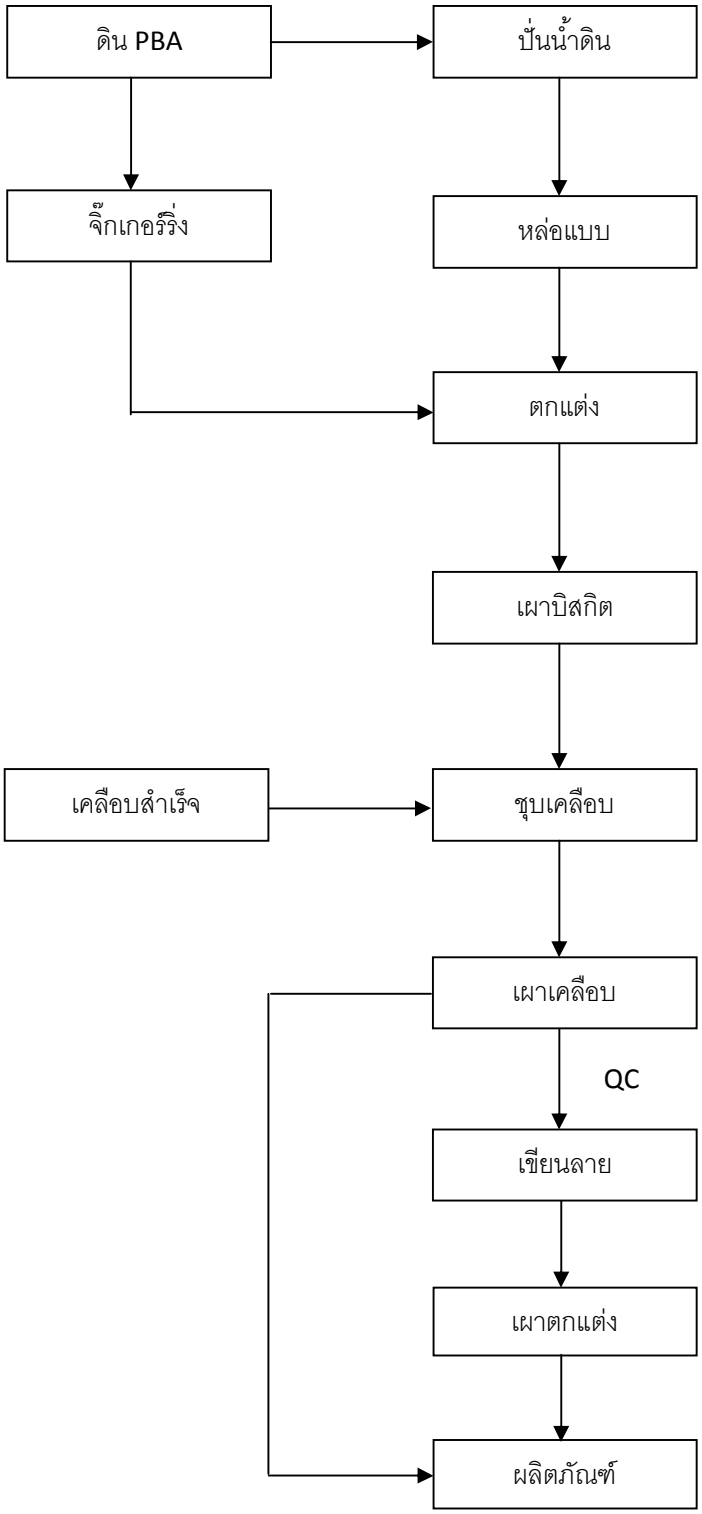
- เคลือบสีทอง

ภาพที่ 1 เศษดินเสียหายจากการขึ้นรูป นำกลับไปผสมรวมกับน้ำดินใหม่

2. แผนผังโรงงาน



3. แผนผังกระบวนการผลิต:



4. สมดุลมวลกระบวนการผลิตก่อนเข้าร่วมโครงการ

สารขาเข้า **สารขาออก**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ดิน PBA/VCB	1.7361	กก./กก.
เคลือบ 010	0.1736	กก./กก.
แม่พิมพ์	0.1157	กก./กก.

พลังงาน	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0231	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.2894	kWh/กก.
เชื้อเพลิง LPG	0.4444	กก./กก.

โรงงาน
ลักษิกา 917

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะ	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	-	ลบ.ม./กก.
ฝุ่นละออง	0.0001	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	1.3054	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.0003	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0000	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.0020	กก./กก.

กากของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	0.3472	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.2778	กก./กก.
แม่พิมพ์เก่า	0.0289	กก./กก.

5. การศึกษาความเป็นไปได้ของทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

1) การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต

การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก มักจะพบปัญหาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่มีทั้งผลิตภัณฑ์เกรด A B และผลิตภัณฑ์เสียที่ต้องทิ้ง ผลิตภัณฑ์เสียที่ต้องทิ้ง หากมีปริมาณมากย่อมทำให้การใช้พลังงานไม่มีประสิทธิภาพ และเป็นการสูญเสียทรัพยากรแบบสูญเปล่า รวมทั้งเพิ่มภาระในการกำจัด ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ จะส่งผลให้เพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์เกรด A และลดปริมาณผลิตภัณฑ์เสียที่ต้องทิ้ง ซึ่งเป็นการใช้พลังงานและทรัพยากรอย่างคุ้มค่า นอกจากนี้ การควบคุมกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดการเกิดมลพิษ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

ความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค

การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต ลดปัญหา และการสูญเสียระหว่างขั้นตอนการผลิต จะต้องให้ความสำคัญและดำเนินการตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต เพื่อควบคุมให้การผลิตได้คุณภาพตามที่กำหนด สำหรับ บจก.ลักษิกา 917 จะเสนอแนวทางตัวอย่างในด้านการควบคุมคุณภาพของแม่พิมพ์พลาสเตอร์ และการควบคุมคุณภาพของน้ำดินและน้ำเคลือบ ซึ่งสั่งซื้อจากบริษัทข้างนอก จึงต้องให้ความสำคัญกับการควบคุมคุณภาพตั้งแต่ขั้นตอนการตรวจรับสินค้า ไปจนถึงระหว่างการใช้งาน

การควบคุมคุณภาพแม่พิมพ์พลาสเตอร์

แม่พิมพ์เซรามิกที่ไม่ดีพอ จะมีผลไปถึงกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอน ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ดีในขั้นตอนสุดท้าย เนื่องจากชิ้นงานที่แกะออกจากแม่พิมพ์ มีความไม่เรียบร้อย ผิดปกติเกิดขึ้นบนชิ้นงาน ดังนั้น เพื่อลดความเสียหายของแม่พิมพ์ ซึ่งส่งผลต่อชิ้นงานควรมีการกำหนดและตรวจสอบคุณภาพของแม่พิมพ์ตั้งแต่ในขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์ รวมทั้งต้องมีการตรวจรับแม่พิมพ์ให้ได้ตามคุณภาพที่กำหนดก่อนนำมาใช้งาน ทั้งในด้านขนาด รูปแบบ และความสมบูรณ์ของพื้นผิว โดยในกรณีนี้ที่โรงงานต้องสั่งซื้อแม่พิพม์จากข้างนอก ควรกำหนดให้ผู้ผลิตแม่พิมพ์ จะต้องมีการตรวจแม่พิมพ์ต้นแบบให้ถูกต้องตามสเปคที่กำหนดก่อนที่จะส่งมาให้โรงงานใช้ เป็นต้น ที่สำคัญโรงงานที่รับแม่พิมพ์มาใช้งานควรทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแม่พิมพ์ก่อนนำไปใช้งานทุกครั้ง รวมทั้งต้องตรวจสอบคุณภาพของแม่พิมพ์ในระหว่างการใช้งานด้วย เพื่อตรวจสอบความผิดปกติ และเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ ก่อนที่ชิ้นงานจะถูกขึ้นรูป และส่งไปยังแผนกต่อไป เนื่องจากแม่พิมพ์เกิดการสึกกร่อนได้อย่างต่อเนื่องในระหว่างการใช้งาน หากใช้งานแม่พิมพ์ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์ อาจทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างผิดไปจากความต้องการ เช่น มีขนาดใหญ่กว่ามาตรฐาน หรืออาจมีรอยต่อขนาดใหญ่จนไม่สามารถแก้ไขได้ เป็นต้น ดังนั้น การตรวจสอบความถูกต้องของแม่พิมพ์ก่อนการขึ้นรูป จะช่วยลดความสูญเสีย ลดเวลาในการทำงาน ตั้งแต่ต้นกระบวนการไปจนถึงการผลิตในขั้นตอนการสุดท้ายได้อีกทางหนึ่ง

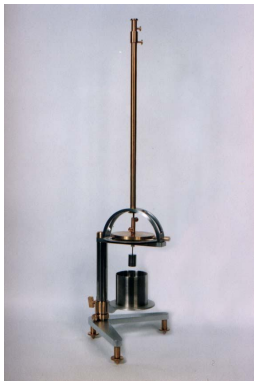
การควบคุมคุณภาพของเนื้อดิน และเคลือบ

โรงงานซื้อดินและเคลือบสำเร็จจาก บจก.คอมพาวด์เคลย์ มาใช้งาน โดยสำหรับการขึ้นรูปแบบจิ๊กเกอร์หรือโรลเลอร์สามารถนำดินไปรีดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการขึ้นรูปได้เลย ส่วนการขึ้นรูปแบบหล่อจะต้องนำดินไปตีผสมให้เข้ากันดีกับน้ำและสารเคมีบางตัวก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งทั้งคุณภาพของดินแท่งและน้ำดินรวมทั้งน้ำเคลือบที่โรงงานใช้ ล้วนส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้เช่นกัน การกำหนดและควบคุณภาพของดินแท่ง น้ำดินและน้ำเคลือบ จึงมีความสำคัญและโรงงานควรดำเนินการเป็นประจำและสม่ำเสมอ ตั้งแต่กระบวนการตรวจรับ และระหว่างการผลิตทั้งในส่วนที่เป็นแบบการเตรียมขึ้นใหม่ และการนำน้ำดินหรือเคลือบที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งการนำกลับมาใช้ใหม่ ก็จะช่วยลดทั้งปริมาณการใช้วัตถุดิบและพลังงาน ได้เช่นกัน ทั้งนี้การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของดินและเคลือบที่จำเป็น ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness) ของดินแท่งทั้งในขั้นตอนการตรวจรับและก่อนการขึ้นรูป ค่าความหนาแน่นของน้ำดินและเคลือบ ค่าความหนืดหรือการไหลตัวของน้ำดินและเคลือบก่อนนำไปใช้งาน นอกจากนี้การควบคุมคุณภาพของน้ำเคลือบอีกประการหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญและควรทำการทดสอบก่อนที่จะตรวจรับและนำไปใช้งานทุกล็อต คือการทดสอบการไหลตัว (Glaze melt fluidity testing) โดยจะตรวจสอบว่าเคลือบที่เตรียมได้มีความสามารถในการไหลตัวขณะที่อยู่ในเตาอย่างไร สามารถทดสอบได้โดยใช้ Glaze incline tester (ดังตารางที่ 1) ซึ่งค่าการไหลตัวของเคลือบในแต่ละล็อตที่รับมาควรมีค่าใกล้เคียงกัน

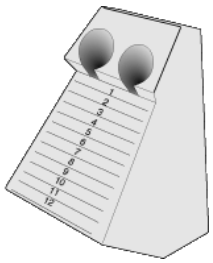
กระบวนการอื่นๆ นอกเหนือจากกระบวนการเตรียมแม่พิมพ์ การเตรียมน้ำดินและเคลือบ ที่ต้องควบคุมคุณภาพด้วยเช่นเดียวกัน เช่น ขนาดและความหนาของชิ้นงาน ความหนาของเคลือบ การวัดและ

ควบคุมการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผา เป็นต้น โดยอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการวัดและควบคุมคุณภาพ เครื่องมือพื้นฐานที่โรงงานเซรามิกควรมีไว้สำหรับการควบคุมคุณภาพ สามารถดูได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เครื่องมือพื้นฐานเพื่อการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตเซรามิก

ขั้นตอนการผลิต	การควบคุม	เครื่องมือที่ใช้	ภาพเครื่องมือ
การตรวจสอบวัตถุดิบ	- ลักษณะภายนอก เช่น ความสะอาด สี - ความชื้น	- สังเกตด้วยตาเปล่า - เครื่องชั่งดิจิตอล (Balance)	
การเตรียมน้ำดิน/เคลือบ	- อัตราส่วนดิน/เคลือบต่อปริมาณน้ำ	- เครื่องชั่งดิจิตอล (Balance)	
	- ความหนาแน่น	- Pyknometer	
	- ความหนืด	- Torsion Viscometer	
	การไหล	Ford’s cup (flow cup)	

ขั้นตอนการผลิต	การควบคุม	เครื่องมือที่ใช้	ภาพเครื่องมือ
	- ความเป็นกรด-ด่าง	- pH meter	
การเตรียมเนื้อดินปั้น	- ความชื้น	- เครื่องชั่งดิจิตอล (Balance)	
	- ความแข็ง	- Hardness Tester	
การอบแห้ง	- อุณหภูมิ	- เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)	
การเผาดิบ (เผาบิสกิต)	- อุณหภูมิ / การกระจายตัวของอุณหภูมิ	- Buller Rings	
การเผาเคลือบ	- อุณหภูมิ / การกระจายตัวของอุณหภูมิ	- Buller Rings	

ขั้นตอนการผลิต	การควบคุม	เครื่องมือที่ใช้	ภาพเครื่องมือ
	- การไหลตัวของเคลือบ (ใช้ทดสอบเคลือบก่อนเผาจริง)	- Glaze incline tester	

ความเป็นไปได้ในเชิงสิ่งแวดล้อม

การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตตั้งแต่ต้นจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของการผลิต จะช่วยให้โรงงานลดการสูญเสียในแต่ละขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นลดการใช้ทรัพยากร ลดการใช้พลังงาน ลดของเสีย ลดเวลาในการทำงาน ซึ่งล้วนส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ลดการเกิดมลภาวะ ลดการปลดปล่อยของเสียจากกระบวนการผลิต เช่น แม่พิมพ์เสีย เศษดิน เศษเคลือบ น้ำเสีย เป็นต้น ลดค่าใช้จ่ายและขั้นตอนในการกำจัดของเสีย โดยจากการวิเคราะห์สมดุลมวลผลิตภัณฑ์ของโรงงานจะเห็นได้ว่าในการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ทางโรงงานมีเศษบิสกิตและเศษแม่พิมพ์รวมทั้งของเสียที่ไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้มากถึง 0.31 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 2,600 กิโลกรัมต่อเดือน ซึ่งของเสียทิ้งเหล่านี้ทางโรงงานจะต้องขนไปทิ้งในพื้นที่ของคนอื่นซึ่งแม้ปัจจุบันจะไม่มีต้นทุนในการกำจัดขยะ แต่จะมีต้นทุนในการขนย้าย และในอนาคตหากมีของเสียเหล่านี้ในปริมาณมากทางโรงงานอาจจะต้องมีภาระค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตจึงเป็นแนวทางการพัฒนาตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดที่โรงงานสามารถทำได้ง่าย และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างชัดเจน

ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์

การควบคุมกระบวนการผลิตอย่างใกล้ชิดจะช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้นในการผลิต โดยที่ทางโรงงานไม่ได้ลงทุนใดๆ เพิ่ม ยกเว้นอุปกรณ์บางชนิด ซึ่งส่วนใหญ่โรงงานมีอยู่แล้ว แต่อาจปรับเปลี่ยนเทคนิคการทำงาน สร้างความตระหนักให้กับพนักงาน และมีการนำเอาระบบการควบคุมคุณภาพการผลิต การบันทึกเอกสารการควบคุมต่างๆ มาปรับใช้ให้ได้ตามมาตรฐาน จะส่งผลให้โรงงานได้ผลิตภัณฑ์เกรด A หรือ B เพิ่มมากขึ้น ลดการสูญเสียในแต่ละขั้นตอน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์หลังการขึ้นรูปที่ปัจจุบันสูญเสียมากถึง 20-30% แต่โรงงานมองว่าสามารถนำกลับไปผสมกับน้ำดินใหม่ได้ จึงไม่ได้ให้ความสำคัญที่จะลดการสูญเสียในขั้นตอนดังกล่าว แต่หากมองในเชิงเศรษฐศาสตร์จะเห็นได้ว่าหากลดการสูญเสียดังกล่าวก็จะทำให้โรงงานมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ดี (Yield) เพิ่มขึ้น โดยหากลดการสูญเสียในขั้นตอนนี้ได้ 10% จะช่วยให้โรงงานมีผลิตภัณฑ์ดีเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 12% และช่วยประหยัดได้ทั้งทรัพยากร เวลา และพลังงาน นอกจากนี้ การควบคุมคุณภาพ ควรทำอย่างต่อเนื่อง และอธิบายให้กับพนักงานทุกคนได้ตระหนัก จะช่วยให้ระบบการควบคุมคุณภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างจริงจัง และยั่งยืน ซึ่งจะส่งผลให้

กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพทั้งในด้านพลังงานและทรัพยากร รวมทั้งลดปัญหาของเสียและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้

2) การปรับปรุงรางรับน้ำดินหล่อ

เมื่อหล่อชิ้นงานได้ความหนาตามที่ต้องการแล้ว น้ำดินส่วนเกินที่เหลืออยู่ในแม่พิมพ์จะถูกเทลงในถังรับน้ำดินที่อยู่บนรถเข็น โดยคนงานจะต้องยกแม่พิมพ์แต่ละชิ้นที่มีน้ำดินเหลืออยู่ไปเทลงในถังอะลูมิเนียม แล้วยกแม่พิมพ์มาวางคว่ำไว้บนรางรับอีกที รอน้ำดินเซ็ตตัวจึงหงายแม่พิมพ์ขึ้นเพื่อรอแกะแบบต่อไป ส่วนน้ำดินที่เทออกจากแม่พิมพ์แต่ละชิ้นจะรวมกันเพื่อนำกลับไปผสมในถังกวนน้ำดินและนำกลับมาใช้งานอีกครั้ง วิธีทำงานดังกล่าวสร้างความลำบากในการทำงานและอาจทำให้แม่พิมพ์ที่ใช้งานเสียหายได้ง่าย เนื่องจากต้องมีการยกแม่พิมพ์ขึ้นลงเพื่อเทน้ำดินส่วนเกินออก นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดความสูญเสียน้ำดินได้ง่ายด้วย ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการหล่อน้ำดินในปัจจุบันของโรงงานลักษิกา 917

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการหล่อน้ำดินของโรงงานลักษิกา 917

ความเป็นไปได้ในเชิงเทคนิค

การปรับปรุงรางรับน้ำดินที่ถ่ายออกจากแม่พิมพ์ สามารถทำได้ง่ายๆ โดยอาจใช้แผ่นสแตนเลส แผ่นอะลูมิเนียม หรือแผ่นพลาสติก ที่ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสนิมเหล็ก มาทำเป็นรางเพื่อรองรับน้ำดินรวมทั้งเศษดินจากการแกะแบบไว้ด้านล่างของรางหล่อ โดยติดตั้งให้มีความลาดเอียงเพื่อให้น้ำดินที่เทออกจากแม่พิมพ์สามารถไหลไปลงถังรับที่ปลายทางด้านใดด้านหนึ่งได้โดยง่าย คนงานสามารถทำงานได้ง่ายและสะดวกขึ้น ลดระยะเวลาการทำงาน ลดความเสียหายของแม่พิมพ์และลดการสูญเสียน้ำดินที่อาจจะเกิดขึ้นได้

ความเป็นไปได้ในเชิงสิ่งแวดล้อม

การปรับปรุงรางรับน้ำดินนอกจากจะช่วยลดเวลาในการทำงานของพนักงานแล้ว ยังจะช่วยลดการสูญเสียน้ำดินและเศษดิน ซึ่งปัจจุบันเศษดินจากการแกะแบบซึ่งมีปริมาณไม่น้อย (ประมาณ 10% ของปริมาณดินที่ใช้ในการผลิต) จะไม่ถูกนำกลับไปใช้งานใหม่ เนื่องจากโรงงานมองว่าสกปรก มีการปนเปื้อนฝุ่น ไม่เหมาะที่จะนำไปผสมกับน้ำดินใหม่ แต่เมื่อมีการติดตั้งรางรับน้ำดินใหม่ ทั้งน้ำดินและเศษดินจะสามารถไหลไปรวมกันในถังรับที่ปลายทาง ไม่เกิดการปนเปื้อน สามารถนำกลับไปผสมกับน้ำดินใหม่ได้ ช่วยลดการใช้ทรัพยากรและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งเนื่องจากช่วยลดขยะที่โรงงานต้องขนย้ายไปทิ้งที่อื่น อย่างไรก็ตาม การรักษาความสะอาดของรางรับน้ำดิน รวมทั้งบริเวณรางหล่อและพื้นที่ทำงานก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำดินและเศษดินที่จะนำกลับไปใช้ด้วยเช่นกัน

ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์

การปรับปรุงรางรับน้ำดิน เป็นการลงทุนง่ายๆ โรงงานสามารถทำได้เอง ไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีหรือการลงทุนจำนวนมาก โดยรางสแตนเลสขนาด 5 นิ้ว ที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปราคาประมาณเมตรละ 290 บาท (http://www.thawornstanless2009.com/) หรือท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว ความยาว 4 เมตร ราคาท่อนละประมาณ 2-5,000 บาท ซึ่งสามารถนำมาผ่าครึ่งทำรางรับน้ำดินได้ 2 ราง (http://www.businessthailand2501.com/default.asp?content=mpagedetail&id=12221) ปัจจุบันโรงงานมีรางหล่อน้ำดินประมาณ 6 ราง หากใช้รางสแตนเลส จะมีต้นทุนค่าวัสดุในการติดตั้งประมาณ 7,000 บาท หรือถ้าใช้ท่อพีวีซีชนิดราคาถูกสุดจะมีต้นทุนอยู่ที่ประมาณ 6,000 บาท หรือโรงงานสามารถเลือกใช้วัสดุอื่นๆ ที่มีความทนทานและไม่ก่อให้เกิดสนิมเพื่อทำเป็นรางรับน้ำดินได้ด้วยเช่นกัน เช่น แผ่นไวนิล แผ่นอะลูมิเนียม เป็นต้น ซึ่งเมื่อคิดเทียบกับสัดส่วนเศษดินที่โรงงานสามารถนำกลับไปใช้ได้ใหม่ในปริมาณอย่างน้อย 50 กรัมต่อชิ้น (ประมาณการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบที่ 25,000 ชิ้นต่อเดือน) จะช่วยให้โรงงานมีเศษดินที่นำกลับไปใช้ใหม่ได้ถึง 1,250 กิโลกรัมต่อเดือน ซึ่งคิดเป็นต้นทุนที่ประหยัดได้ถึงประมาณ 10,000 บาท/เดือน (ราคาดินกิโลกรัมละ 8 บาท) คิดเป็นระยะเวลาคืนทุนไม่ถึง 1 เดือน อีกทั้งยังช่วยลดความเสียหายของแม่พิมพ์จากการกระทบกระแทก และยังช่วยประหยัดเวลาในการทำงาน พนักงานสามารถทำงานได้ง่ายและสะดวกขึ้นอีกด้วย

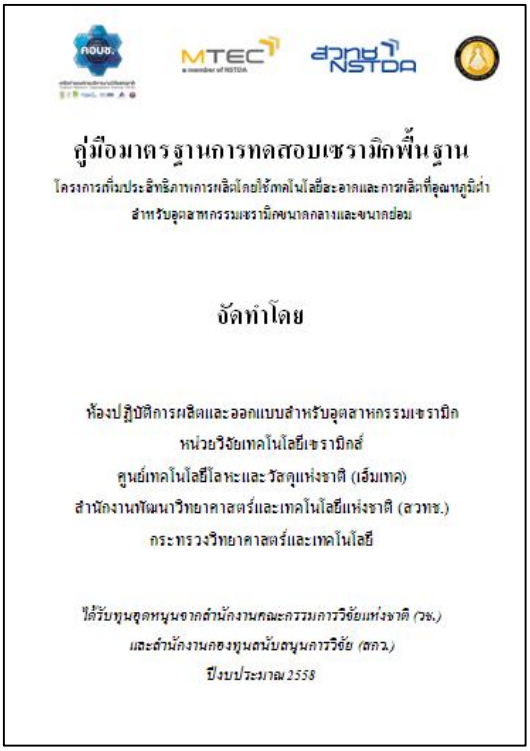
แนวทางที่เลือก

เนื่องจากแนวทางการปรับปรุงรางรับน้ำดินหล่อ โรงงานสามารถดำเนินการและประเมินผลได้เองโดยง่าย การดำเนินงานภายใต้โครงการนี้จึงได้เลือกแนวทางการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต โดยจะให้ความสำคัญกับการลดการสูญเสียตั้งแต่ขั้นตอนการขึ้นรูปไปจนถึงขั้นตอนหลังเผาบิสกิต ซึ่งปัจจุบันมีการสูญเสียค่อนข้างมาก ซึ่งหลังจากได้มีการสำรวจและเก็บข้อมูลมาแล้วเบื้องต้น ทางโครงการได้ดำเนินการจัดทำคู่มือควบคุมคุณภาพพร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานเพื่อวางแผนการดำเนินงานและประเมินผลในลำดับต่อไป

6. การดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด: การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต

หลังจากที่ประชุมมีมติเลือกใช้แนวทางการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตมาประยุกต์ใช้ในโรงงานเพื่อปรับปรุงการดำเนินงานตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยมีเป้าหมายเพื่อลดและควบคุมของเสียในแต่ละขั้นตอนผลิตให้ลดลงจากเดิมอย่างน้อย 10% นั้น ทางโครงการได้มีการจัดทำคู่มือควบคุมคุณภาพเบื้องต้นพร้อมแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลต่างๆ สำหรับใช้ในการฝึกอบรมพนักงานและใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลการควบคุมคุณภาพรวมทั้งข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ ดังต่อไปนี้

- การทดสอบความชื้นของวัตถุดิบ : ASTM Standard: C 324 – 01 (2005)
- การทดสอบหาน้ำหนักที่สูญหายไปหลังเผา (LOI) : ASTM Standard: C 323 – 56 (Reapproved 1999; 2005)
- การทดสอบหากากค้างตะแกรง : ASTM Standard: C 325 – 81 (Reapproved 1997; 2005) & ASTM Standard: C 371 – 89 (Reapproved 2003; 2005)
- การทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานเซรามิก : ASTM Standard: C 373 – 88 (Reapproved 1999; 2005)
- การทดสอบหาค่าการหดตัวหลังอบแห้งและหลังเผาของชิ้นงานเซรามิก : ASTM Standard: C 326 – 03 (2005)
- การทดสอบหาระยะการตกตัว (Warpage) ของตัวอย่างหลังเผา : In-house standard
- การทดสอบเคลือบ : In-house standard
- การวัดการไหลตัวของน้ำดินและน้ำเคลือบโดยใช้ Ford cup : ASTM Standard: D 1200 – 94 (Reapproved 1999; 2005)
- การหาค่าความหนาแน่นของน้ำดินและน้ำเคลือบ : British Standard: BS 3900–A19: 1998 ISO 2811-1:1997



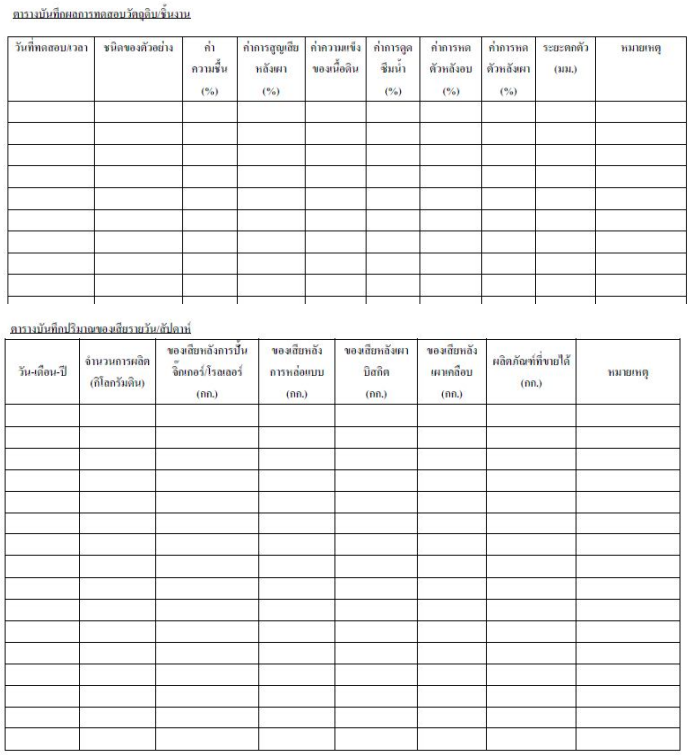
คู่มือมาตรฐานการทดสอบเซรามิกพื้นฐาน

โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ
สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม

จัดทำโดย

ห้องปฏิบัติการผลิตและออกแบบสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก
หน่วยวิจัยเทคโนโลยีเซรามิกส์
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
ปีงบประมาณ 2558



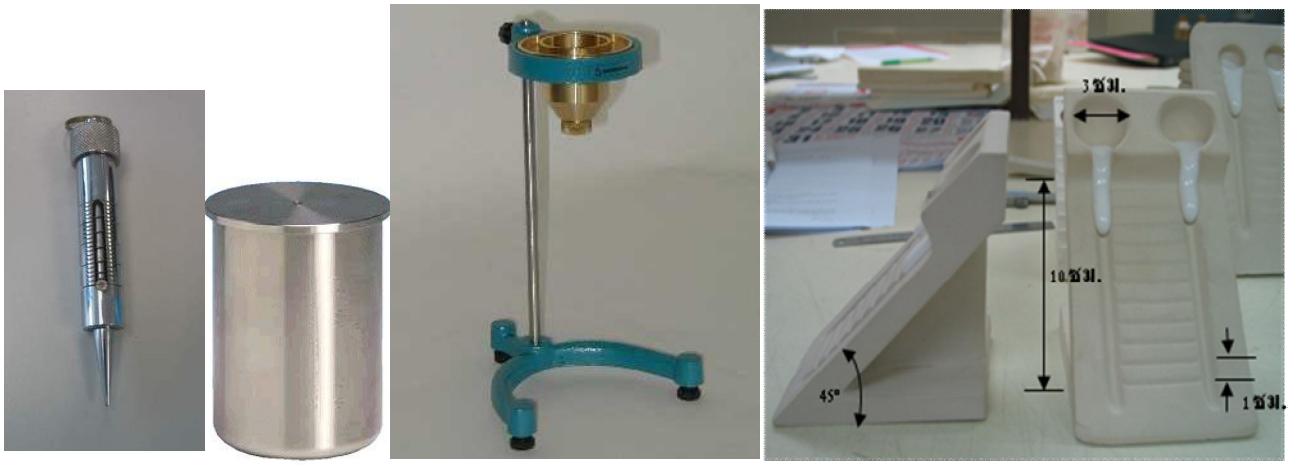
ตารางบันทึกผลการทดสอบวัตถุดิบขึ้นงาน

วันที่ทดสอบ/เวลา	ชนิดของตัวอย่าง	ค่าความชื้น (%)	ค่าการสูญเสียหลังเผา (%)	ค่าความแข็งของเนื้อดิน	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	ค่าการหดตัวหลังอบ (%)	ค่าการหดตัวหลังเผา (%)	ระยะคลตัว (มม.)	หมายเหตุ

ตารางบันทึกปริมาณของเสียรายวันสัปดาห์

วัน-เดือน-ปี	จำนวนการผลิต (กิโลกรัมดิน)	ของเสียหลังการปั้นจิ๊กเกอร์/โรลเลอร์ (กก.)	ของเสียหลังการหล่อแบบ (กก.)	ของเสียหลังเผาบิสกิต (กก.)	ของเสียหลังเผาเคลือบ (กก.)	ผลิตภัณฑ์ที่ขายได้ (กก.)	หมายเหตุ

ภาพที่ 3 คู่มือการควบคุมคุณภาพและแบบฟอร์มบันทึกข้อมูล



ภาพที่ 4 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต

หลังจากที่ได้มีการจัดทำคู่มือการควบคุมคุณภาพ ลำดับถัดไปทางโครงการได้ทำการฝึกอบรมให้กับพนักงานในโรงงานได้เข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของการควบคุมคุณภาพ รวมทั้งได้มีการฝึกอบรมขั้นตอนและวิธีการใช้งานอุปกรณ์วัดและตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้น ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งจากการพูดคุยสอบถามพบว่าความถี่ของการลาออกและเข้างานใหม่ของพนักงานเป็นปัญหาหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อการ

ควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต เนื่องจากพนักงานใหม่จะขาดทักษะความชำนาญในการทำงาน ทำให้เกิดความสูญเสียในกระบวนการผลิตได้ง่าย อย่างไรก็ตาม การสร้างความตระหนักและความใส่ใจในการทำงานให้กับพนักงานทั้งเก่าและใหม่ ควบคู่กับการประยุกต์ใช้ระบบตรวจสอบและควบคุมคุณภาพในแต่ละขั้นตอน จะช่วยให้ผู้ประกอบการเข้าใจและเห็นภาพรวมของโรงงานชัดเจนเป็นรูปธรรมมากขึ้น โดยเฉพาะการนำเอาระบบการบันทึกข้อมูลของเสียมาปรับใช้จะทำให้ผู้ประกอบการทราบถึงประสิทธิภาพการผลิตของโรงงานในแต่ละขั้นตอนได้อย่างชัดเจน และมีข้อมูลเชิงสถิติที่สามารถตรวจสอบย้อนกลับไปยังกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องได้

ภาพที่ 5 ฝึกอบรมให้ความรู้พนักงานเกี่ยวกับระบบการควบคุมคุณภาพและการเก็บบันทึกข้อมูล

7. ผลการวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น

จากการดำเนินงานโดยเลือกแนวทางการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตมาประยุกต์ใช้ตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยมีเป้าหมายเพื่อลดปริมาณของเสียจากทุกขั้นตอนการผลิตลงอย่างน้อย 10% นั้น จากการวิเคราะห์สมดุลมวลกระบวนการผลิตพบว่า ปริมาณของเสียประเภทเศษดินและชิ้นงานหลังการขึ้นรูปลดลงจากเดิม 0.35 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.20 กิโลกรัมต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ปริมาณของเสียหลังเผาบิสกิตลดลงจากเดิม 0.28 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.11 กิโลกรัมต่อการผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้แก๊ส LPG ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก. **<u>พบว่าลดลงจากเดิม</u>** 0.44 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.32 กิโลกรัม ส่วนหนึ่งเกิดจากการที่โรงงานเปลี่ยนไฟเบอร์เตาใหม่ และโรงงานมีของเสียลดลง มีปริมาณ Yield ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้มลภาวะจากการเผาต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ลดลงตามไปด้วย ดังแสดงในสมดุลมวลกระบวนการผลิตต่อไปนี้

<u>สารขาเข้า</u> **<u>สารขาออก</u>**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ดิน PBA/VCB	1.4245	กก./กก.
เคลือบ 010	0.1425	กก./กก.
แม่พิมพ์	0.0950	กก./กก.

พลังงาน	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0190	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.2545	kWh/กก.
เชื้อเพลิง LPG	0.3191	กก./กก.

โรงงาน

ลักษิกา 917

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะ	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	-	ลบ.ม./กก.
ฝุ่นละออง	0.0000	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.9372	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.0002	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0000	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.0014	กก./กก.

กากของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	0.1994	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.1140	กก./กก.
แม่พิมพ์เก่า	0.0237	กก./กก.

8. การประเมินผลการดำเนินงานตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดที่ได้ประยุกต์ใช้งาน

<u>ความเป็นได้เชิงเทคนิค</u>

- **การควบคุมคุณภาพแม่พิมพ์พลาสเตอร์**

เนื่องจากโรงงานสั่งทำแม่พิมพ์จากบริษัทข้างนอก และไม่มีการบันทึกข้อมูลการนำเข้า สถิติการใช้งาน ลักษณะปัญหาหรือตำหนิที่พบ รวมทั้งข้อมูลการนำออกจากโรงงาน ลักษณะการสั่งทำแม่พิมพ์จะขึ้นอยู่กับออเดอร์ที่โรงงานได้รับ และอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ซึ่งไม่มีรูปแบบที่ชัดเจนตายตัว ไม่สามารถระบุอายุการใช้งานได้อย่างชัดเจน โรงงานจะใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูปไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบปัญหาบนผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ หรือจนกระทั่งไม่สามารถใช้งานได้ ระหว่างการดำเนินโครงการ ทางโรงงานไม่ได้มีการเปลี่ยนรูปแบบแม่พิมพ์ หรือมีการสั่งทำแม่พิมพ์ใหม่ จึงไม่สามารถประเมินผลการควบคุมคุณภาพแม่พิมพ์พลาสเตอร์ได้ อย่างไรก็ตามได้ทำความเข้าใจกับผู้ประกอบการและพนักงานถึงผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานแม่พิมพ์ที่ไม่ได้คุณภาพ และได้เน้นย้ำถึงวิธีการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของแม่พิมพ์ก่อนที่จะรับเข้ามาใช้งาน รวมทั้งแนะนำให้มีการบันทึกการใช้งานแม่พิมพ์ให้สามารถตรวจสอบและประเมินผลได้อย่างเป็นระบบ

- **การควบคุมคุณภาพของเนื้อดิน และเคลือบ**

วิธีการตรวจสอบคุณภาพที่มีการใช้เครื่องมือวัดที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบันมีเพียงอย่างเดียว คือการตรวจสอบความหนาแน่นของน้ำเคลือบก่อนการใช้งานโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ ซึ่งพนักงานชุบเคลือบจะเป็นคนวัดและปรับน้ำเคลือบให้เหมาะกับการใช้งานในแต่ละวัน อย่างไรก็ดี การนำเนื้อดินและเคลือบไปใช้งานยังมีการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพอีกหลายอย่างที่มีความสำคัญและสามารถทำได้ง่ายๆ ได้แก่ การวัดค่าความหนาแน่นของน้ำดินหล่อและน้ำเคลือบโดยใช้กระบอกวัดความหนาแน่น (Pyknometer) การวัดการไหลตัวของน้ำดินและเคลือบโดยใช้ Ford's cup และการวัดความแข็งของเนื้อดินโดยใช้เข็มวัดระดับความแข็ง (Hardness tester) ซึ่งทั้งสามการทดสอบนี้โรงงานสามารถนำมาปรับใช้ในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตได้ทันที พร้อมทั้งได้แนะนำให้มีการบันทึกข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพและข้อมูลการผลิตรวมทั้งปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการอย่างชัดเจน ซึ่งทำให้ผู้ประกอบการและพนักงานเกิดความตระหนักและใส่ใจในการทำงานมากขึ้น

<u>ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม</u>

เมื่อพิจารณาข้อมูลการผลิต จากกำลังการผลิตของโรงงานที่ 15,000 กิโลกรัมต่อเดือน พบว่าปัจจุบันโรงงานมีปริมาณของเสียหลังเผาบิสกิตลดลงจากเดิม 2,400 กิโลกรัมต่อเดือน เหลือเพียง 1,200 กิโลกรัมต่อเดือน หรือคิดเป็นปริมาณที่ลดลง 50% และจากการวิเคราะห์สมดุลมวลผลิตภัณฑ์ของโรงงานหลังเข้าร่วมโครงการ พบว่าปริมาณของเสียหลังเผาบิสกิตที่ลดลงซึ่งส่งผลให้ปริมาณ Yield ของโรงงานเพิ่มขึ้นนั้น มีปริมาณ ลดลงจากเดิม 0.28 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.11 กิโลกรัม ต่อการผลิตผผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ทั้งนี้เนื่องมาจากพนักงานมีความตระหนักและใส่ใจในการทำงานมากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังเผาเกิดการ

แตกหักเสียหายน้อยลง ปริมาณ Yield จึงเพิ่มขึ้น โดยของเสียส่วนนี้เป็นส่วนที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การลดปริมาณของเสียดังกล่าวจึงเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้โดยตรง ซึ่งอีกสาเหตุของการลดลงดังกล่าวส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากการจัดเรียงผลิตภัณฑ์ที่สามารถเข้าเผาต่อครั้งได้ในปริมาณที่มากขึ้นด้วย

<u>ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์</u>

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการผลิต พบว่าปริมาณของเสียที่ลดลงส่งผลให้ปริมาณ Yield ของโรงงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 8,640 กิโลกรัมต่อเดือน เป็น 10,530 กิโลกรัมต่อเดือน หรือคิดเป็น 21% ซึ่งนอกจากของเสียที่เกิดการแตกหักเสียหายหลังการเผาบิสกิตที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้แล้ว ยังมีของเสียประเภทเศษดินและชิ้นงานหลังการขึ้นรูปที่สามารถนำกลับไปผสมกับน้ำดินใหม่ได้อีก ซึ่งพบว่าของเสียส่วนนี้ก็มีปริมาณลดลงจากเดิม 3,000 กิโลกรัมต่อเดือน เหลือเพียง 2,100 กิโลกรัมต่อเดือน หรือคิดเป็น 30% และจากการวิเคราะห์สมดุลมวลผลิตภัณฑ์ แสดงให้เห็นว่าปริมาณของเสียประเภทเศษดินและชิ้นงานหลังขึ้นรูปลดลงจากเดิม 0.35 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.20 กิโลกรัม ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม

9. การผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากการวิเคราะห์สมดุลมวลกระบวนการผลิตหลังเข้าร่วมโครงการพบว่า โรงงานมีปริมาณของเสียหลังเผาบิสกิตลดลงจากเดิม 0.28 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.11 กิโลกรัมต่อการผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้แก๊ส LPG ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กก. พบว่าลดลงจากเดิม 0.44 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.32 กิโลกรัม ซึ่งมีผลทำมลภาวะต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการเผาและถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศมีปริมาณลดลงตามไปด้วย ได้แก่ ปริมาณฝุ่นละออง ลดลงจาก 1 กรัม เหลือเพียง 0.045 กรัม ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลดลงจาก 1.31 กิโลกรัม เหลือเพียง 0.94 กิโลกรัม ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ลดลงจาก 0.3 กรัม เหลือเพียง 0.2 กรัม และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ลดลงจาก 2 กรัม เหลือเพียง 1.4 กรัม ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม ดังนั้นการลดปริมาณของเสียและปริมาณมลภาวะที่เกิดจากการเผาดังกล่าวจึงเป็นตัวชี้วัดได้ว่าโรงงาน ลักษิกา 917 มีการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นหลังจากมีการดำเนินการตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

โรงงานดินไทย

1. ข้อมูลทั่วไป

ที่อยู่: นายเกรียงไกร ปากกระโทก
เลขที่ 40 ม.8 ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา

โทรศัพท์: 089 583 7599, 081 282 2513 **โทรสาร:** -

อีเมล์ ole007b@hotmail.com

ผลิตภัณฑ์ โรงงานเริ่มการผลิตในปี พ.ศ.2515 ทำครก โอ่ง กระถางดิน โดยใช้เตาขุด ปัจจุบันผลิตกระเบื้องดินเผา ได้ตรา OTOP 3 ดาว และแจกัน ของตกแต่งสวน นกฮูก เต่า ช้าง

ตลาด: ส่งทั่วประเทศ ส่งออกลาว

กำลังการผลิต: ผลิตภัณฑ์กระเบื้องประมาณ 50,000 แผ่นต่อเดือน และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ประมาณ 10,000 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นประมาณ 20-50 ตันต่อเดือน

จำนวนคนงาน: ประมาณ 15 คน ช่างมีฝีมือ มีรายได้กว่า 30,000 บาท/เดือน

กระบวนการผลิต:

เนื้อดิน โรงงานใช้วัตถุดิบดินท้องถิ่น จัดซื้อดินเหนียวเดือนละ 30 คันรถ ดินทราย เดือนละ 15 คันรถ ใช้รถอีแต๋นในการขนส่งดิน เป็นน้ำหนักดิน/ดินทราย 3 ตัน/เที่ยว ค่าขนส่ง 400 บาท/เที่ยว

การเตรียมเนื้อดิน ทำโดยการผสมดินกับทรายในอัตราส่วน ดิน:ทราย = 2:1 ใช้ดินและทรายตามที่ได้รับ ไม่มีการบดย่อยหรือการคัดแยกการกรองขนาดโดยตะแกรงกรอง หมักดินผสมทิ้งไว้ในบ่อเป็นเวลา24 ชั่วโมง นำขึ้นมาพักไว้ก่อน แล้วจึงทำการโม่หยาบผ่านเครื่องรีดดินจำนวน 2-3 รอบ จนได้ความเหนียวที่ต้องการ พักดินทิ้งไว้รอการนำไปใช้งาน คลุมไว้ด้วยผ้าพลาสติก

การขึ้นรูป วิธีการขึ้นรูปหลักคือการกดอัดลงในแบบพิมพ์ ทิ้งไว้ในแบบเป็นเวลา1 คืน แล้วจึงถอดออกจากแบบและทำการตกแต่ง ชิ้นงานขึ้นรูปเสียหายและเศษดินจะเก็บรวบรวมนำไปใส่บ่อหมัก เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

การเผา เตาเผาของโรงงานเป็นเตาก่อ ขนาดกลาง เผากระเบื้องได้ 50,000 แผ่น/เตา ระยะเวลาการเผาประมาณ 6-7 วัน เฉลี่ยเผาเดือนละ 4 เตา โดยถ้าต้องการให้กระเบื้องมีความมันดำ จะเผาเพิ่มอีกประมาณ 4 วัน อุณหภูมิเผาประมาณ 1,200°C ใช้ไม้ฟืนในการเผา เป็นไม้ผสม ชิ้นงานหลังเผาจะมีความแกร่ง นำไปตกแต่งตามรูปแบบ ส่วนของเสียจากการเผา จะทำการคัดแยก ถ้า

สามารถซ่อมแซมได้ จะใช้กาวซีเมนต์ในการซ่อมแซมแล้วทาสีตกแต่งทับรอยซ่อม ของเสียที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้จะนำไปทิ้งเพื่อถมที่

ปัญหา 1) โรงงานมีของเสียหลังเผา ประมาณ 10% ที่ต้องซ่อมแซมเพื่อขาย

ความต้องการ 1) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ การใช้เคลือบขี้เถ้า

ข้อมูลอื่นๆ 1) เคยร่วมพัฒนาเตาก่อกับ อ.ปรีชา อ.วิโรจน์ อ.สนั่น อ.ทวี มหาวิทยาลัยเทคโนฯ

2) ปัจจุบันร้านดินเผา อ.พิศ มีการเคลือบอยู่เพียงแห่งเดียว

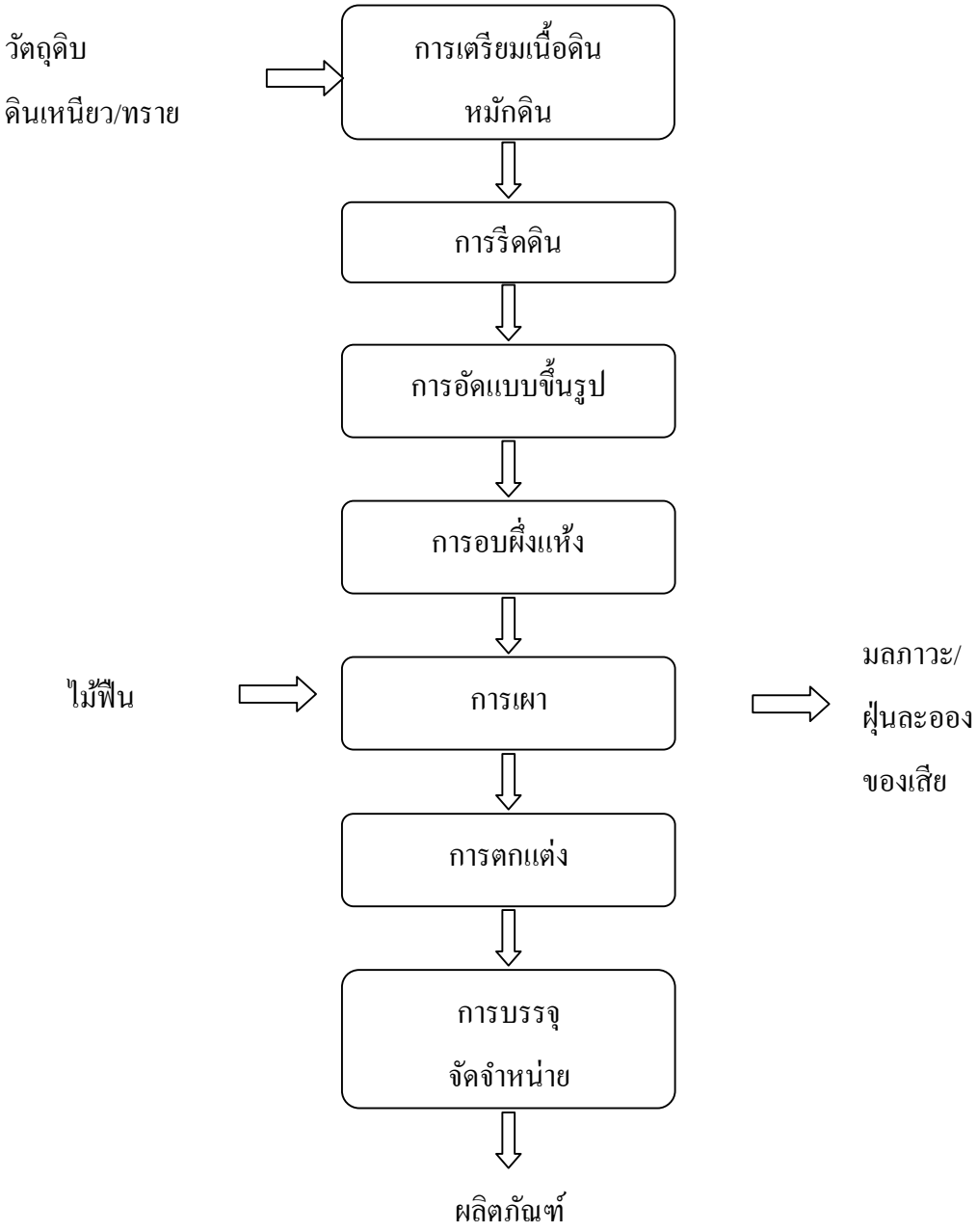
3) ปัจจุบันมีการพัฒนาเตาเคลือบ โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ภาพที่ 5-1 การไปนำเสนอโครงการให้กับโรงงานดินไทย

ภาพที่ 5-2 ลักษณะผลิตภัณฑ์พวกตุ๊กตาของโรงงานดินไทย

2. สมดุลมวลผลิตภัณฑ์ (Mass balance)

1) กระบวนการผลิต



2) สมดุลมวลกระบวนการผลิต

จากผังของกระบวนการผลิต สามารถจัดทำตารางสมดุลมวลได้ดังนี้

สารขาเข้า **สารขาออก**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ดินเหนียว	1.0101	กก./กก.
ทราย	0.5051	กก./กก.

สาธารณูปโภค	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0003	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.0135	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	0.7183	กก./กก.

โรงงาน ดินไทย

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะการเผา	ปริมาณ	หน่วย
ฝุ่นละออง	0.0023	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	1.1026	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.0034	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.0012	กก./กก.

ของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.0001	ลบ.ม./กก.
ขี้เถ้า	0.0032	กก./กก.
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	0.4355	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.1100	กก./กก.

หมายเหตุ:

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นการใช้งานรวมกันของโรงงานและที่พักอาศัย
2. ปริมาณมลภาวะทางอากาศจากปล่องเตาเผา คำนวณจาก "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (AP-42) the U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

3. ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดจะเน้นการลดของเสีย/มลภาวะที่แหล่งกำเนิด เน้นที่การลดปริมาณการใช้ทรัพยากรลง ของเสียที่เกิดขึ้นควรจะต้องนำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ลดปริมาณของเสียและลดต้นทุนของการใช้วัตถุดิบลง

1) การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

ในกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ของโรงงาน ใช้ไม้ฟืนเป็นจำนวนมากเป็นเชื้อเพลิง เกิดเป็นขี้เถ้าจากการเผาในปริมาณสูงพอสมควร ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด โดยการนำของเสียประเภทขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาผสมเป็นเคลือบขี้เถ้า จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สำเร็จ เป็นข้อได้เปรียบในการลดการกำจัดของเสียออกจากโรงงาน

2) การศึกษาระบบการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลผลผลิต และการนำไปใช้งาน

ทางโรงงานไม่มีระบบการจัดเก็บข้อมูลการผลิต ทำให้ขาดการสรุปรวมและการวิเคราะห์ตัวเลขเพื่อบ่งชี้ปัญหา และทางโรงงานไม่ทราบตัวเลขปัญหาที่แท้จริงของการผลิต ที่ปรึกษาจะได้ศึกษาสมดุลมวลการ

ผลิตของทางโรงงาน และเสนอแนะแนวทางการบันทึกข้อมูล เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการนำข้อมูลมาใช้งาน

4. การศึกษาความเป็นไปได้ของทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

1) การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

- ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

จากการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ พบว่าโรงงานใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 1100°C และไม่มีกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเคลือบ ของเสียจากกระบวนการเผาจึงเกิดเป็นขี้เถ้าในปริมาณมาก โรงงานมีความสนใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด ด้วยการนำขี้เถ้าจากกระบวนการเผากลับมาใช้ใหม่ โดยการทำเป็นน้ำเคลือบขี้เถ้าเพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้า

ตารางที่ 5-1 สูตรเคลือบอุณหภูมิต่ำเผาที่ 1100°C

วัตถุดิบ	Wt.%
ฟริท 360 (Ferro)	60
แบเรียมคาร์บอเนต	6
โดโลไมท์	3
ดินขาว	5
ขี้เถ้าไม้รวม	5
ฟลักซ์	5
เบนโทไนต์	6
เศษแก้ว	10

กระบวนการเตรียมน้ำเคลือบขี้เถ้า สามารถดำเนินการได้โดย

(1) นำขี้เถ้าที่ได้จากเตาเผา มาร่อนแยกเศษตะกอนหรือถ่านไม้ออกให้หมด

(2) เตรียมวัตถุดิบอื่นๆ ที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ ประกอบด้วย Frit 360 เพื่อเป็นโครงสร้างเคลือบที่มีอุณหภูมิต่ำ $BaCO_3$ Dolomite และเศษแก้ว เพื่อเป็นฟลักซ์ช่วยให้เนื้อเคลือบหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากขี้เถ้านั้นเป็นฟลักซ์ไฟกลางที่หลอมตัวอุณหภูมิ 1,200°C เนื่องจากมี SiO_2, CaO, Al_2O_3, K_2O, Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบหลัก วัตถุดิบดินเลนและเบนโทไนต์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยกระจายตัว

(3) ทำการบดผสมวัตถุดิบด้วยหม้อบด (Pot Mill) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ร่อนน้ำเคลือบผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช และปรับความหนาแน่นของน้ำเคลือบให้เท่ากับ 1.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และอัตราการไหลตัวที่ 10-15 วินาที

(4) นำชิ้นงานที่ต้องการตกแต่ง มาชุบเคลือบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1100°C ตามอุณหภูมิปกติของโรงงาน

- ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันทางโรงงานไม่ได้นำขี้เถ้ามาใช้งานแต่อย่างใด เศษขี้เถ้าในเตาเผาจะถูกกวาดมารวมกันเพื่อรอการนำไปกำจัด โดยการทิ้งถมที่ เกิดเป็นมลภาวะฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงาน เป็นผลเสียต่อสุขภาพคนงาน การนำขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ จึงจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นผลดีต่อสุขอนามัยของคนงานในโรงงาน

- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

การนำเคลือบขี้เถ้ามาประยุกต์ใช้งาน จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าด่านเกวียน อีก 30-50% การปรับปรุงตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด โรงงานต้องจัดหาอุปกรณ์และคนงาน ดังต่อไปนี้

- กระบอกตวงพลาสติกขนาด 100 ml ราคา 115 บาท สำหรับวัดความหนาแน่นน้ำเคลือบ
- Ford Viscosity Cups ขนาด 100 ml ราคา 12,000 บาท สำหรับวัดการไหลตัวของน้ำเคลือบ
- เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้นขนาด 30 กิโลกรัม ราคา 9,000 บาท สำหรับชั่งวัตถุดิบ
- หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท สำหรับบดผสมเคลือบ
- ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท เพื่อกรองคัดแยกขนาดของดินและขี้เถ้าสำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ
- ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท

โดยปัจจุบัน โรงงานมีปริมาณขี้เถ้า 250 ก.ก./เดือน ผลิตเป็นน้ำเคลือบได้เพียงพอกับกำลังการผลิตของโรงงาน 750 ก.ก./เดือน สำหรับการผลิตกระเบื้องตกแต่งขนาด 100 แผ่น/ตารางเมตร จำนวน 200,000 แผ่น (2,000 ตารางเมตร) ราคาขายกระเบื้องตกแต่งไม่เคลือบ ตารางเมตรละ 550 บาท โดยถ้าเป็นกระเบื้องเคลือบ ราคาขายเพิ่มขึ้นเป็นตารางเมตรละ 700 บาท (ประมาณที่ราคาต่ำสุด)

การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ มีระยะเวลาคืนทุนเพียง 0.46 เดือน นั่นทำให้เป็นแนวทางการปรับปรุงที่ควรลงทุน โดยควรทำการศึกษาตลาดและแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์กับการลงทุนตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด

ตารางที่ 5-2 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

รายการ	ผลตอบแทน/การลงทุน
ผลตอบแทน	
กำไรจากการขายกระเบื้องเคลือบ ที่เพิ่มขึ้น (ราคาขายใหม่ – ราคาขายเก่า) x ปริมาณการขาย (700 – 550) x 2,000	300,000 บาท
รวมผลตอบแทน	**300,000 บาท**
การลงทุน	
ค่าอุปกรณ์การเตรียมเคลือบ (Fixed Cost) กระบอกตวงพลาสติก ราคา 115 บาท Ford Viscosity Cups ราคา 12,000 บาท เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้น ราคา 9,000 บาท หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท	124,590 บาท
ค่าสาธารณูปโภค (Variable Cost) ค่าไฟฟ้า หม้อบด 1 แรงม้า กำลังของมอเตอร์ 0.746 kWh ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 3 บาท เป็นค่าไฟฟ้าชั่วโมงละ 2.24 บาท ใช้ไฟฟ้า 6 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 15 วัน/เดือน เป็นค่าไฟ/เดือน	201 บาท/เดือน
ค่าวัตถุดิบ ต้นทุนวัตถุดิบ 39 บาท/กก. ผลิตน้ำเคลือบ 750 กก./เดือน	29,250 บาท
รวมการลงทุน	**154,040 บาท**
ระยะเวลาคืนทุน	**(124,590/(300,000-29,751) = 0.46 เดือน**

2) การศึกษาระบบการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลผลผลิต และการนำไปใช้งาน

- ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

เนื่องจากทางโรงงานไม่มีระบบการจัดเก็บข้อมูลการผลิต ทำให้ขาดการสรุปรวมและการวิเคราะห์ตัวเลขเพื่อบ่งชี้ปัญหา และทางโรงงานไม่ทราบตัวเลขปัญหาที่แท้จริงของการผลิต การสร้างระบบการจัดเก็บและบันทึกข้อมูลผลผลิต และการนำไปประยุกต์ใช้งาน จะทำให้ทางโรงงานทราบปัญหาที่แท้จริงจากการผลิต การทำงานที่ซ้ำซ้อน และต้นทุนที่แท้จริง ทำให้โรงงานสามารถลดการเกิดของเสียได้จากแหล่งกำเนิด

การบันทึกปริมาณของเสีย สามารถบันทึกได้ดังตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 ค่าปริมาณของเสีย ที่เกิดขึ้นในโรงงาน

ผลิตภัณฑ์	จำนวนชิ้น	ร้อยละ
ปริมาณผลิตภัณฑ์ขึ้นรูป		
ผลิตภัณฑ์ เกรด A		
ผลิตภัณฑ์ เกรด B		
สาเหตุผลิตภัณฑ์เกรด B	**จำนวนชิ้น**	**ร้อยละ**
แตกร้าว		
บิดเบี้ยว / เปลี่ยนรูป		
คราบดำ/แดง		
ซ่อมแซม		

- ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต จะช่วยลดปริมาณการเกิดของเสียและการใช้พลังงาน โดยเมื่อกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ปริมาณผลผลิตที่ได้ย่อมเพิ่มสูงมากขึ้น ดังนั้นปริมาณของมลภาวะที่เป็นคุณภาพด้านอากาศต่อหน่วยผลผลิตของทางโรงงานภายหลังการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด ควรมีปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณของมลภาวะที่เป็นคุณภาพด้านอากาศต่อหน่วยผลผลิตของทางโรงงานก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงาน และพัฒนาให้มีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า โดยมีปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ลดลง เมื่อกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ปริมาณผลผลิตที่ได้ย่อมเพิ่มสูงมากขึ้น ดังนั้นปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตของทางโรงงานภายหลังการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด ควรมีปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตของทางโรงงานก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด

- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต จะช่วยลดปริมาณการเกิดของเสียตลอดทั่วทั้งกระบวนการผลิต โดยเมื่อกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ปริมาณผลผลิตที่ได้ย่อมเพิ่มสูงมากขึ้น ดังนั้น ปริมาณของเสียต่อหน่วยผลผลิตของทางโรงงานภายหลังการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด ควรมีปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณของเสียต่อหน่วยผลผลิตของทางโรงงานก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด โดยเป็นการเพิ่ม Yield ของทางโรงงานนั่นเอง

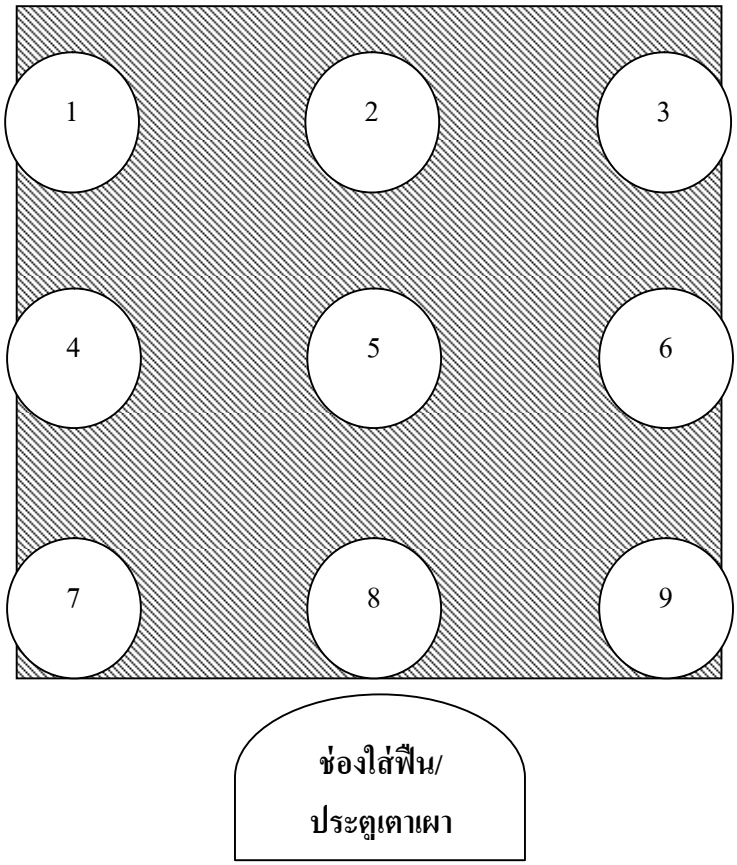
5. ผลการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

การดำเนินการประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดโดยการนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในครั้งนี้ เป็นการทดลองสูตรเคลือบขี้เถ้าไม้ฟืนสำหรับเนื้อดินปั้นด่านเกวียนสูตรต่างๆ เพื่อหาความเหมาะสมและสอดคล้องในการนำไปใช้ในการผลิต โดยสูตรเคลือบที่ทำการทดลอง จะต้องสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1,000 – 1,050^{o}C โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1) <u>การทดสอบอุณหภูมิเผาของโรงงาน</u>

เพื่อให้สูตรเคลือบจากขี้เถ้าไม้ฟืนที่จะทำการทดลอง มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการเผาของโรงงาน จึงทำการทดสอบหาอุณหภูมิเผาที่แท้จริงของโรงงาน โดยวาง Buller Ring ในตำแหน่งต่างๆ เพื่อทดสอบอุณหภูมิภายในเตาเผาของโรงงานแต่ละตำแหน่ง ผลการทดสอบได้ค่าอุณหภูมิดังตารางที่ 5-4

ภาพที่ 5-1 เตาเผาของโรงงาน



ภาพที่ 5-2 ตำแหน่งการวาง Buller Ring ภายในเตาเผาของโรงงาน

ตารางที่ 5-4 อุณหภูมิภายในเตาเผาของโรงงานดินไทย

ตำแหน่งวาง Buller Ring	อุณหภูมิ (°C)
1	970
2	989
3	970
4	1,023
5	989
6	1,001
7	Buller Ring แตก
8	Buller Ring แตก
9	Buller Ring แตก
ค่าเฉลี่ย	**990**

ภาพที่ 5-3 Buller Ring ที่ทำการทดสอบภายในเตาเผาของโรงงาน

จากผลการทดสอบอุณหภูมิเผาภายในเตาเผา พบว่าเตาเผามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิประมาณ 990°C ดังนั้นแล้วการทดลองน้ำเคลือบขี้เถ้า ควรจะต้องมีการหลอมตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 950-1,050°C

2) <u>การทำเคลือบขี้เถ้าในห้องปฏิบัติการ</u>

กระบวนการเตรียมน้ำเคลือบขี้เถ้า สามารถดำเนินการได้โดย

(1) เก็บรวบรวมขี้เถ้าไม้ฟืนจากการเผาผลิตภัณฑ์ในเตาเผา มาทำการร่อนผ่านตะแกรงกรองขนาด 100 เมช เพื่อแยกถ่านไม้และสิ่งเจือปนออกให้หมด

(2) ทำการเตรียมวัตถุดิบอื่นๆ สำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ ประกอบด้วย Frit 360 เพื่อทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเคลือบที่มีอุณหภูมิต่ำ $BaCO_3$ Dolomite และเศษแก้ว เพื่อทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) ช่วยให้เนื้อเคลือบเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง เนื่องจากขี้เถ้านั้นเป็นฟลักซ์ไฟกลางซึ่งหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,200°C เนื่องจากขี้เถ้ามี SiO_2, CaO, Al_2O_3, K_2O, Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบหลัก และเตรียมวัตถุดิบประเภทดินเลนและเบนโทไนต์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยกระจายตัว

(3) นำวัตถุดิบมาชั่งน้ำหนักและผสมกันตามสัดส่วนสูตรเคลือบที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-4 ทำการบดผสมวัตถุดิบด้วยหม้อบด (Pot Mill) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองน้ำเคลือบผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ปรับความหนาแน่นของน้ำเคลือบให้เท่ากับ 1.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และอัตราการไหลตัวที่ 10-15 วินาที

(4) ทำการชุบเคลือบชิ้นงานทดสอบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C ตามอุณหภูมิการเผาปกติของโรงงาน ในเตาทดลอง

ชิ้นงานทดสอบ ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบด้วยเนื้อดินด่านเกวียน ตามลักษณะกระบวนการเผาของด่านเกวียน

ตารางที่ 5-4 สูตรเคลือบขี้เถ้าอุณหภูมิเผาที่ 1050°C (%wt)

วัตถุดิบ	สูตร 5-1
ฟริท 360 (Ferro)	65
แบเรียมคาร์บอเนต	12
โดโลไมท์	3
ดินขาวระนอง	3
ขี้เถ้าไม้รวม	2
ฟลักซ์	10
เศษแก้ว	5

จากการทดลองเผาเคลือบขี้เถ้าในห้องปฏิบัติการ ทำการสังเกตและบันทึกลักษณะของผิวเคลือบบนชิ้นงานหลังจากชุบเคลือบ และลักษณะพื้นผิวเคลือบหลังการเผา ความมัน/ด้าน/ใส/ทึบ การหลอมตัว และสีที่ได้จากการเผา โดยหลังชุบเคลือบ พบว่าชิ้นงานทดสอบแตกร้าวหลังชุบเคลือบ สาเหตุเกิดจากการชุบบนชิ้นงานทดสอบที่แห้งเกินไป เมื่อทำการชุบน้ำเคลือบ ชิ้นทดสอบเกิดการดูดซับน้ำเคลือบเร็ว ทำให้ความชื้นไม่กระจายทั่วไปในเนื้อดินชิ้นงานทดสอบ ทำให้ส่วนที่มีความชื้นมากเกิดการแตกแยกชั้น เมื่อนำไปเผาชิ้นงานจะแตกหักเสียหาย จากปัญหาชิ้นงานทดสอบดูดน้ำเร็วเกินไปทำให้ชิ้นงานทดสอบหลังชุบเคลือบแตกหักเสียหาย การทดลองจึงจะต้องทำการผึ่งชิ้นงานทดสอบให้มีความชื้นไม่ต่ำกว่า 15% ในการชุบเคลือบเพื่อลดการปัญหาการแตกร้าวของชิ้นงานทดสอบ

ลักษณะของเคลือบทดลองสูตรที่ 5-1 ที่ได้จากการเผานั้น พบว่าเนื้อเคลือบเกิดการหลุดร่อนออกจากชิ้นทดสอบระหว่างเผา ทำให้ผิวเคลือบเกิดการหดตัว เคลือบร่น เปิดให้เห็นผิวเนื้อดิน ลักษณะของเนื้อเคลือบหลังเผามีความขุ่นขาว เนื่องจากเคลือบยังไม่สุกตัวดี อาจเพราะวัตถุดิบบางตัวมีความทนไฟสูง เช่น เศษแก้ว และดินขาว นั่นทำให้ เนื้อเคลือบมีการหลอมตัวที่อุณหภูมิเกินกว่าที่ต้องการ คือ 1,050 °C โดยพื้นผิวเคลือบหลังเผาเป็นดังรูปที่ 5-4

ภาพที่ 5-4 ลักษณะผิวเคลือบ สูตรเคลือบ 5-1 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C

ทำการปรับปรุงสูตรเคลือบใหม่ สูตรที่ 5-2 ดังตารางที่ 5-5 โดยยังใช้ Frit 360 ที่เป็นฟริตอุณหภูมิต่ำ เป็นวัตถุดิบหลัก ใช้ขี้เถ้าไม้รวม เศษแก้วโซดาไลม์ และดินขาวระนอง เป็นโครงสร้างของเคลือบ วัตถุดิบฟลักซ์ที่ใช้คือ แบเรียมคาร์บอเนต และบอแรกซ์ ผสมดินด่านเกวียนเป็นตัวช่วยในการกระจายตัวของน้ำเคลือบ

ตารางที่ 5-5 สูตรเคลือบขี้เถ้าอุณหภูมิเผาที่ 1050°C (%wt)

วัตถุดิบ	สูตร 5-2
ฟริท 360 (Ferro)	60
แบเรียมคาร์บอเนต	12
โดโลไมท์	3
ดินขาวระนอง	2
ขี้เถ้าไม้รวม	2
ฟลักซ์	5
เศษแก้ว	3
บอแรกซ์	12
ดินด่านเกวียน	1

ภาพที่ 5-5 ลักษณะผิวเคลือบบนชิ้นงานทดสอบที่เกิดการหลุดร่อนก่อนการเผา ของสูตรเคลือบ 5-2

เมื่อชุบเคลือบบนชิ้นงานทดสอบที่ได้ควบคุมความชื้นของชิ้นงานให้อยู่ระหว่าง 15-20 % แล้วปล่อยให้แห้งในอุณหภูมิปกติ พบว่าเกิดการหลุดร่อนของชั้นเคลือบดังรูปที่ 5-5 เมื่อพิจารณาจากสูตรเคลือบแล้วนั้น สูตรเคลือบยังไม่มีส่วนผสมของสารให้ความเหนียวเพื่อให้เนื้อเคลือบยึดเกาะกับชิ้นทดสอบได้ จึง

ได้เติมสารละลาย CMC ในสูตรเคลือบ โดยได้ทดลองเติมสารละลาย CMC ในสัดส่วน 0.1 0.2 และ 0.3% เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสม โดยพบว่าการเติมสารละลาย CMC ในสูตรเคลือบ ทั้ง 3 สัดส่วน เนื้อเคลือบเกาะติดได้ดีบนผิวชิ้นงานทดสอบ เมื่อแห้งไม่เกิดการหลุดร่อนในอุณหภูมิห้อง

ทำการเผาชิ้นงานทดสอบที่ชุบเคลือบแล้วที่อุณหภูมิ 1,050 °C ตามอุณหภูมิการเผาของโรงงานในเตาทดลอง บันทึกผลการเผาได้ตามตารางที่ 5-6

ตารางที่ 5-6 ผลการเผาสูตรเคลือบขี้เถ้า สูตรที่ 5-2 อุณหภูมิเผาที่ 1050°C

สูตรเคลือบ	ลักษณะเคลือบ	ผลการเผา
5-2 CMC 0.1%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานเพียงบางส่วน อาจเป็นเพราะใช้ปริมาณ CMC ผสมในสูตรเคลือบไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการหลุดร่อนระหว่างเผา
5-2 CMC 0.2%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานได้ดีขึ้น เคลือบใส เกิดการรานตัวของเคลือบเล็กน้อย
5-2 CMC 0.3%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานได้ดีที่สุด เคลือบใส

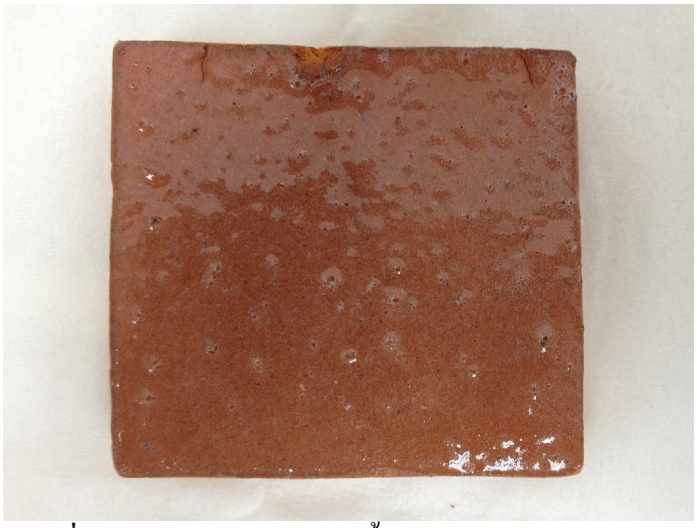
พบว่า สูตรเคลือบ 5-2 นี้ให้ผลการเผาเป็นที่น่าพึงพอใจ การเติมสารละลาย CMC ที่ 0.3% โดยน้ำหนักแห้งในน้ำเคลือบ นั้นเพียงพอต่อให้เนื้อเคลือบยึดเกาะกับชิ้นงานทดสอบ ทั้งนี้ การเติมสารละลาย CMC มากยิ่งขึ้น จะทำให้เคลือบยิ่งยึดเกาะได้ดีขึ้น แต่ไม่ควรใช้มากเกิน 1% โดยน้ำหนักแห้ง เนื่องจากจะทำให้เคลือบเกิดการหดตัวมากเกินไป อาจจะแตกร่อนเป็นเกล็ดขณะที่แห้งหรือเกิดปัญหาเคลือบหดตัวรวมกันเป็นกระจุกภายหลังเผา (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์; ตำหนิเซรามิกและแนวทางแก้ไข, หน้า 27) และสารละลาย CMC นั้นมีราคาค่อนข้างสูง

3) <u>การนำเคลือบขี้เถ้าไปทดลองในโรงงาน</u>

ได้ทำการเตรียมเคลือบปริมาณ 5 กิโลกรัม เพื่อนำไปทดลองในโรงงาน โดยชุบเคลือบบนชิ้นงานของโรงงาน และทำการเผาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้รับในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 5-6 การชุบเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

ภาพที่ 5-7 การชุบเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน



ภาพที่ 5-8 ผลการเผาเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

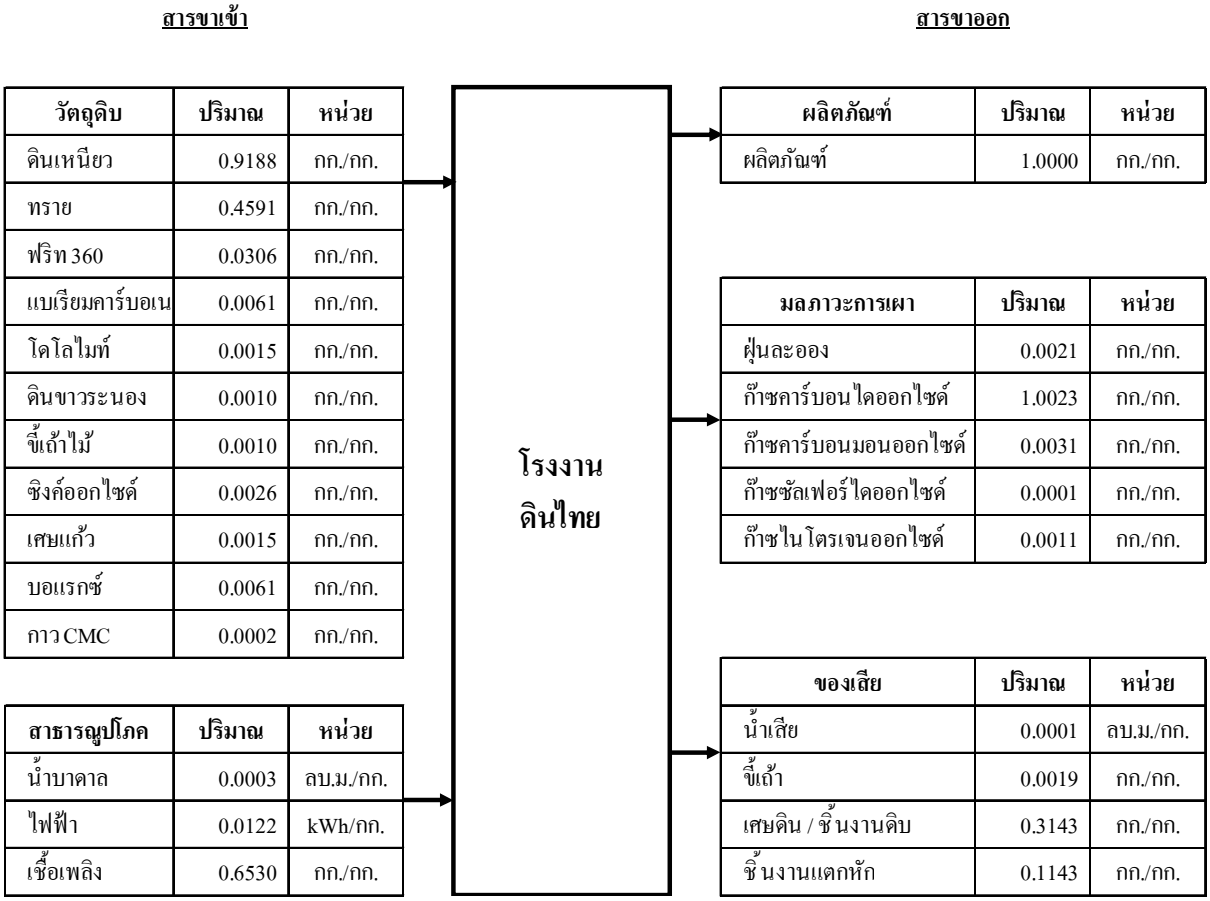
ผลการทดลองโรงงานดังภาพที่ 5-8 พบว่าผลิตภัณฑ์ของโรงงานสามารถเคลือบได้ดี เนื้อเคลือบเกิดการสุกตัวตามอุณหภูมิการเผาของโรงงาน ลักษณะพื้นผิวเคลือบหลังเผา ได้เคลือบใสที่มีความมันวาวสวยงาม เกิดฟองอากาศบนผิวเคลือบเล็กน้อย เนื่องจากกระบวนการเตรียมดินของโรงงาน ขาดระบบการรีดดินที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ยังมีอากาศหลงเหลืออยู่ในเนื้อดิน เมื่อเผา จึงเกิดเป็นฟองอากาศที่ยังไม่สามารถดันออกจากผิวเคลือบได้

เพื่อปรับปรุงการตกแต่งผลิตภัณฑ์ของโรงงาน จึงได้ทำการทดลองชุบเคลือบกับผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น ได้แก่ตุ๊กตาดินปั้น ที่ขึ้นรูปโดยวิธีการกดอัดในแม่แบบปูนปลาสเตอร์ โดยทดลองผสมสีออกไซด์เพื่อเป็นตัวอย่างการตกแต่งผลิตภัณฑ์ให้กับทางโรงงาน ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจ ผลการเผาเป็นไปดังภาพที่ 5-9

ภาพที่ 5-9 ผลการเผาเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น

การประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการนำของเสียกลับมาใช้งานใหม่นั้น การนำของเสียประเภทเศษดิน/ชิ้นงานดิบ กลับไปผสมในกระบวนการเตรียมดินเป็น Common Practice ที่ควรทำในทุกโรงงาน เพราะยังไม่ผ่านการเผา สามารถนำมาใช้งานใหม่ได้ 100% และการประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ โดยการดำเนินงาน จะได้นำมาผสมเคลือบขี้เถ้า เป็นวิธีการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สำเร็จ เป็นข้อได้เปรียบในการลดการกำจัดของเสียออกจากโรงงาน โดยการนำของเสียขี้เถ้าไม้ฟืนกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ปริมาณการเกิดของเสียประเภทขี้เถ้าไม้ ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลง ดังสมดุลมวลกระบวนการผลิต ต่อไปนี้



วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ดินเหนียว	0.9188	กก./กก.
ทราย	0.4591	กก./กก.
ฟริท 360	0.0306	กก./กก.
แบเรียมคาร์บอเน	0.0061	กก./กก.
โดโลไมท์	0.0015	กก./กก.
ดินขาวระนอง	0.0010	กก./กก.
ขี้เถ้าไม้	0.0010	กก./กก.
ซิงค์ออกไซด์	0.0026	กก./กก.
เศษแก้ว	0.0015	กก./กก.
บอแรกซ์	0.0061	กก./กก.
กาว CMC	0.0002	กก./กก.

สาธารณูปโภค	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0003	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.0122	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	0.6530	กก./กก.

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะการเผา	ปริมาณ	หน่วย
ฝุ่นละออง	0.0021	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	1.0023	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.0031	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.0011	กก./กก.

ของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.0001	ลบ.ม./กก.
ขี้เถ้า	0.0019	กก./กก.
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	0.3143	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.1143	กก./กก.

หมายเหตุ:

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นการใช้งานรวมกันของโรงงานและที่พักอาศัย
2. ปริมาณมลภาวะทางอากาศจากปล่องเตาเผา คำนวณจาก "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (AP-42) the U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

7. การประเมินผลการพัฒนาตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

- การประเมินผลด้านเทคนิคการผลิต/ประสิทธิภาพ

จากการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ พบว่าโรงงานใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 1,000–1,100°C และไม่มีกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเคลือบ ของเสียจากกระบวนการเผาจึงเกิดเป็นขี้เถ้าในปริมาณมาก โรงงานมีความสนใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด ด้วยการนำขี้เถ้าจากกระบวนการเผากลับมาใช้ใหม่ โดยการทำเป็นน้ำเคลือบขี้เถ้าเพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้า ผลการวิจัยได้สูตรเคลือบดังตารางที่ 5-5 และลักษณะเคลือบหลังเผาดังภาพที่ 5-8 และ 5-9 ที่ได้แสดงไว้ใน*ข้อที่ 5. การดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด*

- การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม

จากการที่ทางโรงงานไม่ได้นำขี้เถ้ามาใช้งานแต่อย่างใด เศษขี้เถ้าในเตาเผาจะถูกกวาดมารวมกันเพื่อรอการนำไปกำจัด โดยคนงานจะร่อนแยกถ่านไม้ออกก่อน เพื่อนำไปใช้งานหรือขาย ส่วนของขี้เถ้านั้นเกิดเป็นมลภาวะฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงาน เป็นผลเสียต่อสุขภาพคนงาน การนำขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ จึงจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นผลดีต่อสุขอนามัยของคนงานในโรงงาน โดยจากสมดุลมวลกระบวนการผลิตก่อนการดำเนินงานพบว่า เกิดเป็นขี้เถ้าไม้รวมในปริมาณ 0.0032 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ โดยภายหลังการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด เกิดเป็นขี้เถ้าไม้รวมในปริมาณ 0.0021 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ ลดลง 0.0011 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ คิดเป็นปริมาณขี้เถ้าที่ลดลง 34.38% ดังสมดุลมวลกระบวนการผลิตที่ได้แสดงไว้ใน*ข้อที่ 6. การวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น* คิดเป็นปริมาณของเสียที่ลดลง

ปริมาณของเสียก่อนการปรับปรุง	=	1.2228 กก./กก.ผลิตภัณฑ์
ปริมาณของเสียหลังการปรับปรุง	=	1.1249 กก./กก.ผลิตภัณฑ์
คิดเป็นปริมาณของเสียที่ลดลง	=	9.79%

- การประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์

การนำเคลือบขี้เถ้ามาประยุกต์ใช้งาน จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าด่านเกวียน อีก 30-50% การปรับปรุงตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด โรงงานต้องจัดหาอุปกรณ์และคนงาน ดังต่อไปนี้

- กระบอกตวงพลาสติกขนาด 100 ml ราคา 115 บาท สำหรับวัดความหนาแน่นน้ำเคลือบ
- Ford Viscosity Cups ขนาด 100 ml ราคา 12,000 บาท สำหรับวัดการไหลตัวของน้ำเคลือบ
- เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้นขนาด 30 กิโลกรัม ราคา 9,000 บาท สำหรับชั่งวัตถุดิบ
- หม้อบดผสมเคลือบขนาด 50 กิโลกรัม จำนวน 2 เครื่อง ราคาเครื่องละ 98,975 บาท
- ตะแกรงกรองขนาด 100 เมช ราคา 2,500 บาท เพื่อกรองคัดแยกขนาดของดินและขี้เถ้าสำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ
- ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท

โดยปัจจุบัน โรงงานมีปริมาณขี้เถ้าประมาณ 250 ก.ก./เดือน ซึ่งนำมาใช้งานประมาณ 100 กก.ผลิตเป็นน้ำเคลือบได้เพียงพอกับกำลังการผลิตของโรงงาน 5,000 ก.ก./เดือน สำหรับการผลิตกระเบื้องตกแต่งขนาด 100 แผ่น/ตารางเมตร จำนวน 800,000 แผ่น (8,000 ตารางเมตร) ราคาขายกระเบื้องตกแต่งไม่

เคลือบ ตารางเมตรละ 550 บาท โดยถ้าเป็นกระเบื้องเคลือบ ราคาขายเพิ่มขึ้นเป็นตารางเมตรละ 700 บาท (ประมาณที่ราคาต่ำสุด)

ตารางที่ 5-7 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

รายการ	ผลตอบแทน/การลงทุน
ผลตอบแทน กำไรจากการขายกระเบื้องเคลือบที่เพิ่มขึ้น (ราคาขายใหม่ – ราคาขายเก่า) x ปริมาณการขาย (700 – 550) x 8,000	1,200,000 บาท
รวมผลตอบแทน	**1,200,000 บาท**
การลงทุน ค่าอุปกรณ์การเตรียมเคลือบ (Fixed Cost) กระบอกตวงพลาสติก ราคา 115 บาท Ford Viscosity Cups ราคา 12,000 บาท เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้น ราคา 9,000 บาท หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม 2 เครื่อง ราคาเครื่องละ 98,975 บาท ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท	223,565 บาท
ค่าสาธารณูปโภค (Variable Cost) ค่าไฟฟ้า หม้อบด 1 แรงม้า กำลังของมอเตอร์ 0.746 kWh ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 3 บาท เป็นค่าไฟฟ้า ชั่วโมงละ 2.24 บาท ใช้ไฟฟ้า 6 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 20 วัน/เดือน เป็นค่าไฟ/เดือน	268.8 บาท/เดือน
ต้นทุนวัตถุดิบ 47.1 บาท/กก. ผลิตน้ำเคลือบ 5,000 กก./เดือน	235,500 บาท/เดือน
รวมการลงทุน	**459,333.80 บาท**
ระยะเวลาคืนทุน	**223,565** **(1,200,000-235,768.8)** **= 0.23 เดือน**

การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ มีการลงทุนค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ 223,565 บาท และค่าใช้จ่ายวัตถุดิบและสาธารณูปโภคต่อเดือน 235,768.8 บาท ผลตอบแทน 1,200,000 บาท/เดือน ทำให้มีระยะเวลาคืนทุนเพียง 0.23 เดือน เป็นแนวทางการปรับปรุงที่คุ้มค่าในการลงทุน โดยควรทำการศึกษาตลาดและแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์กับการลงทุนตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด

โรงงานมดแดงดินเผา

1. ข้อมูลทั่วไป

ที่อยู่ น.ส. สุพรรณา พัสการภักดี
เลขที่ 45 ม.8 บ้านด่านเกวียน ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา
โทรศัพท์ 044 338 200, 081 709 9650 **โทรสาร:** -
อีเมล์ Janey206@hotmail.com

ผลิตภัณฑ์ แจกัน ตุ๊กตา กระถางดินเผา กระถางซีเมนต์
ตลาด วางขายหน้าโรงงาน ร้านค้าชุมชน และจัดส่งทั่วประเทศ
กำลังการผลิต 10,000 ชิ้นต่อเดือน
จำนวนคนงาน ประมาณ 8 คน

กระบวนการผลิต

การเตรียมเนื้อดิน โรงงานใช้วัตถุดิบดินท้องถิ่น จัดซื้อดินปีละประมาณ 2-3 ครั้ง ใช้รถอีแต๋นในการขนส่งดิน จัดซื้อดินครั้งละประมาณ 30-40 เที่ยวคันรถ เป็นน้ำหนักดิน 2 ตัน/เที่ยว ค่าขนส่ง 400 บาท/เที่ยว
การเตรียมเนื้อดิน ทำโดยการผสมดินกับทรายในอัตราส่วน ดิน:ทราย = 4:3 ใช้ดินและทรายตามที่ได้รับมาจากการจัดซื้อ ไม่ได้ทำการกรองขนาดโดยตะแกรงกรอง บ่อหมักดินขนาด กว้าง × ยาว × ลึก = 2.5×2.5×1.2 เมตร หมักดินผสมทิ้งไว้ในบ่อเป็นเวลา48 ชั่วโมง นำขึ้นมาพักไว้ก่อน แล้วจึงทำการโม่หยาบผ่านเครื่องรีดดินจำนวน 1 รอบ พักดินทิ้งไว้รอการนำไปใช้งาน คลุมไว้ด้วยผ้าพลาสติก

การขึ้นรูป วิธีการขึ้นรูปหลักคือการปั้นแป้นหมุน วิธีการอื่นๆ จะใช้วิธีการกดอัดลงในแบบพิมพ์จากปูนปลาสเตอร์และไม้ แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์จะจ้างทำกันเองภายในกลุ่ม ก่อนการขึ้นรูป จะต้องทำการรีดดินอีก 2 รอบ เพื่อให้มีความเหนียวและขนาดที่เหมาะสมกับการปั้นขึ้นรูป
รูปแบบและขนาดของผลิตภัณฑ์ จะเป็นไปตามที่ลูกค้ากำหนด ชิ้นงานขึ้นรูปที่ไม่ได้ขนาด เสียหาย และเศษดิน จะเก็บรวบรวมนำไปใส่บ่อหมัก เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

การอบแห้ง หลังจากขึ้นรูป ชิ้นงานจะถูกวางผึ่งลมภายในพื้นที่โรงเรือนของโรงงาน เป็นเวลาประมาณ 2-3 วัน แล้วแต่ขนาดและสภาพภูมิอากาศ แล้วจึงทำการแกะลายและตกแต่งชิ้นงาน ผึ่งลมทิ้งไว้อีกประมาณ1 อาทิตย์ ก่อนนำไปเผา

การเคลือบ โรงงานไม่ได้ทำการเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำเคลือบ การตกแต่งจะใช้สีน้ำทาบ้านสีขาวทารองพื้น แล้วใช้สีอะคริลิคพ่นหรือทาลงบนผิวชิ้นงาน และทาทับด้วยแลคเกอร์เพื่อเพิ่มความเงางาม

การเผา เตาดินของโรงงานมีขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 2×8×2 เมตร ด้านข้างเตามีตาให้ฟืนข้างละ 2 ตา ระยะเวลาการเผาประมาณ 5 วัน โดยเป็นการเผาอบ 2 วัน และเผาแกร่ง 3 วัน เฉลี่ยแล้วเผาอาทิตย์ละเตาโดยใช้ฟืน 2 คันรถ/เตา เป็นปริมาณฟืน 1.8 ตัน/คันรถ ค่าใช้จ่าย 1,200 บาท/คันรถ
เผาที่อุณหภูมิประมาณ 900-1000°C การเผาจะใช้ของเสียวางบังไฟหน้าเตาเพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์รับไฟโดยตรง จากนั้นจะเรียงตามด้วยของขนาดใหญ่ ส่วนของขนาดเล็กจะวางท้ายเตา เมื่อเผาแล้วนำไปตกแต่งตามรูปแบบ

ปัญหา 1) โรงงานมีของเสียหลังเผาประมาณ 10% ต่อเตา
2) การพ่นสีอะคริลิคทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ เป็นละอองสีลอยไปติดกำแพงโรงงานและพื้นที่ใกล้เคียง

ความต้องการ 1) การพัฒนาเนื้อดินที่คงเอกลักษณ์ด่านเกวียนโดยใช้เตาแก๊สเผา
2) การใช้ขี้เถ้าทำเคลือบ

ข้อมูลอื่นๆ โรงงานมดแดงดินเผา เป็นโรงงานต้นแบบของชุมชน ที่ปัจจุบันมีการทดลองพัฒนาเนื้อดินและเคลือบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ โดยมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ภาพที่ 6-1 การเก็บวัตถุดิบดินเหนียวของโรงงาน

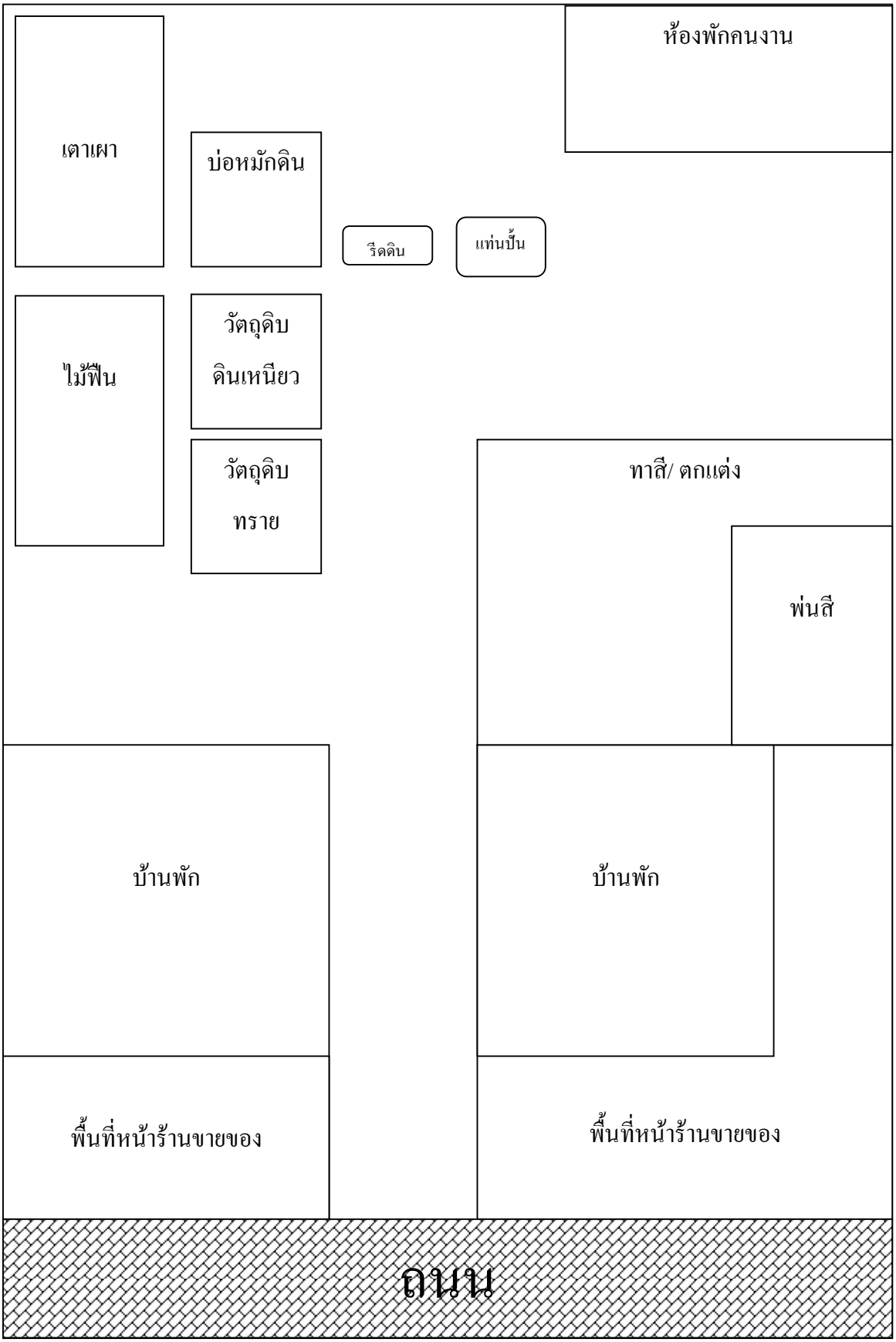
ภาพที่ 6-2 ไม้ฟืนของโรงงาน ส่วนใหญ่เป็นไม้ซีกยูคาลิปตัส

ภาพที่ 6-3 แท่นหมุนสำหรับการปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 6-4 การพ่นสีตกแต่งผลิตภัณฑ์

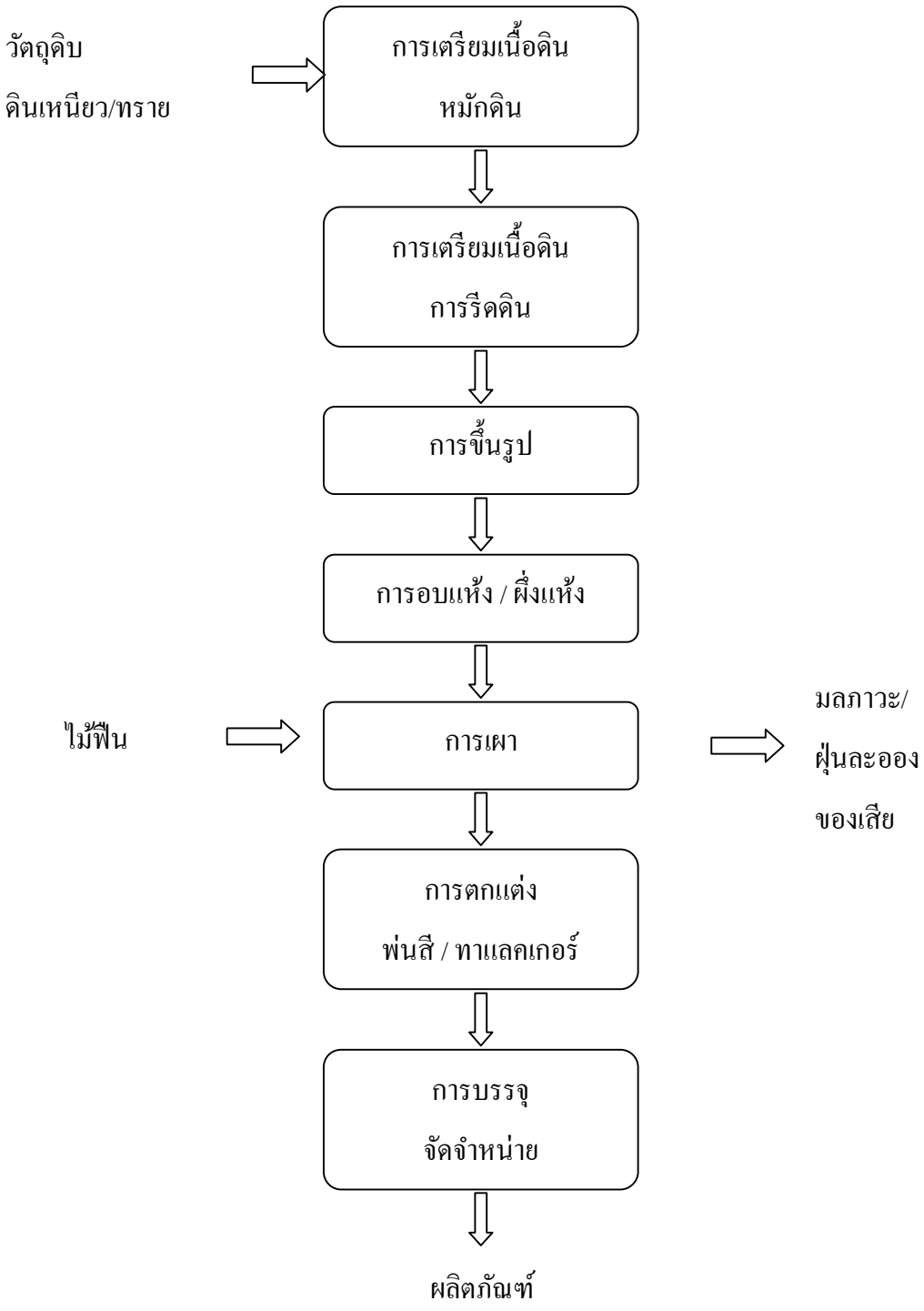
ภาพที่ 6-5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

แผนผังโรงงาน



2. สมดุลมวลผลิตภัณฑ์ (Mass balance)

1) แผนผังกระบวนการผลิต



2) สมดุลมวลกระบวนการผลิต

สารขาเข้า **สารขาออก**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ดินเหนียว	0.8466	กก./กก.
ทราย	0.6349	กก./กก.

สาธารณูปโภค	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0004	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.0790	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	0.7111	กก./กก.

โรงงานมดแดงดินเผา

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะการเผา	ปริมาณ	หน่วย
ฝุ่นละออง	0.0022	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	1.0915	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.0034	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.0012	กก./กก.

ของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.0002	ลบ.ม./กก.
ขี้เถ้า	0.0032	กก./กก.
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	0.3704	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.1111	กก./กก.

หมายเหตุ:

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นการใช้งานรวมกันของโรงงานและที่พักอาศัย
2. ปริมาณมลภาวะทางอากาศจากปล่องเตาเผา คำนวณจาก "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (AP-42) the U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

3. ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดจะเน้นการลดของเสีย/มลภาวะที่แหล่งกำเนิด เน้นที่การลดปริมาณการใช้ทรัพยากรลง ของเสียที่เกิดขึ้นควรจะต้องนำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ลดปริมาณของเสียและลดต้นทุนของการใช้วัตถุดิบลง

1) การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

ในกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ของโรงงาน ใช้ไม้ฟืนเป็นจำนวนมากเป็นเชื้อเพลิง เกิดเป็นขี้เถ้าจากการเผาในปริมาณสูงพอสมควร ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด โดยการนำของเสียประเภทขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาผสมเป็นเคลือบขี้เถ้า จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สำเร็จ เป็นข้อได้เปรียบในการลดการกำจัดของเสียออกจากโรงงาน

2) การปรับปรุงกระบวนการพ่นสี

ทางโรงงานใช้วิธีการพ่นสีเพื่อตกแต่งผลิตภัณฑ์ ตามรูปแบบที่ต้องการของลูกค้า ซึ่งใช้วิธีการพ่นสีแบบดั้งเดิม ที่พนักงานจะทำการฉีดพ่นสีอะคริลิคให้ทั่วผิวชิ้นงานในพื้นที่เปิดโล่ง ดังแสดงไว้ในภาพที่ 6-6 การพ่นสีตกแต่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งวิธีการนี้ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ เป็นละอองสีลอยอยู่ในอากาศ เป็นผลเสียต่อสุขภาพของคนงาน เศษละอองยังลอยไปติดอยู่บริเวณกำแพง และบ้านเรือนใกล้เคียง การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามหลักการของเทคโนโลยีสะอาด สามารถทำได้โดยการปรับปรุงแท่นพ่นสี มีตู้พ่นสีเพื่อกักเก็บละอองสีไม่ให้ลอยฟุ้งในอากาศ เป็นผลดีต่อสภาพแวดล้อม

4. การศึกษาความเป็นไปได้ของทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

1) การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

- ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

เคลือบขี้เถ้า เป็นสูตรเคลือบที่มีการทำมานานแล้ว เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาราชบุรี ที่มีการผลิตโอ่ง กระถาง เคลือบขี้เถ้าจำหน่าย ดังนั้นการนำขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ จึงมีความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน เพียงแต่ปริมาณของขี้เถ้าที่ได้รับจากการผลิตในปัจจุบันนั้นมีไม่สูงมากนัก

ตารางที่ 6-1 สูตรเคลือบอุณหภูมิต่ำเผาที่ 950°C

วัตถุดิบ	Wt.%
Frit 360 (Ferro)	60
$BaCO_3$	15
ฟลักซ์	10
Borax	6
ขี้เถ้าไม้รวม	5
ดินเลน	4
$LiCO_3$	5
Bentonite	6
เศษแก้ว	10

กระบวนการเตรียมน้ำเคลือบขี้เถ้า สามารถดำเนินการได้โดย

(1) นำขี้เถ้าที่ได้จากเตาเผา มาร่อนแยกเศษตะกอนหรือถ่านไม้ออกให้หมด

(2) เตรียมวัตถุดิบอื่นๆ ที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ ประกอบด้วย Frit 360 เพื่อเป็นโครงสร้างเคลือบที่มีอุณหภูมิต่ำ $BaCO_3$ Borax และเศษแก้ว เพื่อเป็นฟลักซ์ช่วยให้เนื้อเคลือบหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ

เนื่องจากขี้เถ้านั้นเป็นฟลักซ์ไฟกลางที่หลอมตัวอุณหภูมิ 1,200°C เนื่องจากมี SiO_2, CaO, Al_2O_3, K_2O, Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบหลัก วัตถุดิบดินเลนและเบนโทไนต์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยกระจายตัว

(3) ทำการบดผสมวัตถุดิบด้วยหม้อบด (Pot Mill) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ร่อนน้ำเคลือบผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช และปรับความหนาแน่นของน้ำเคลือบให้เท่ากับ 1.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และอัตราการไหลตัวที่ 10-15 วินาที

(4) นำชิ้นงานที่ต้องการตกแต่ง มาชุบเคลือบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 950°C ตามอุณหภูมิปกติของโรงงาน

- ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันทางโรงงานไม่ได้นำขี้เถ้ามาใช้งานแต่อย่างใด เศษขี้เถ้าในเตาเผาจะถูกกวาดมารวมกันเพื่อรอการนำไปกำจัด โดยการทิ้งถมที่ เกิดเป็นมลภาวะฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงาน เป็นผลเสียต่อสุขภาพคนงาน การนำขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ จึงจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นผลดีต่อสุขอนามัยของคนงานในโรงงาน

- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

การนำเคลือบขี้เถ้ามาประยุกต์ใช้งาน จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าด่านเกวียน อีก 30-50% การปรับปรุงตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด โรงงานต้องจัดหาอุปกรณ์และคนงาน ดังต่อไปนี้

- กระบอกตวงพลาสติกขนาด 100 ml ราคา 115 บาท สำหรับวัดความหนาแน่นน้ำเคลือบ
- Ford Viscosity Cups ขนาด 100 ml ราคา 12,000 บาท สำหรับวัดการไหลตัวของน้ำเคลือบ
- เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้นขนาด 30 กิโลกรัม ราคา 9,000 บาท สำหรับชั่งวัตถุดิบ
- หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท สำหรับบดผสมเคลือบ
- ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท เพื่อกรองคัดแยกขนาดของดินและขี้เถ้าสำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ
- ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 2 ถัง ราคาถังละ 500 บาท

โดยปัจจุบัน โรงงานมีปริมาณขี้เถ้า 30 ก.ก./เดือน ผลิตเป็นน้ำเคลือบได้ 150 ก.ก. สำหรับการผลิตกระถางเคลือบขนาด 5 ลิตร จำนวน 900 ใบ ราคาขายกระถางตกแต่งไม่เคลือบ ใบละ 40 บาท โดยถ้าเป็นกระถางเคลือบ ราคาขายเพิ่มขึ้นเป็น 60 บาท (ประมาณที่ราคาต่ำสุด) โดยประมาณการขายกระถางได้ 500 ใบ/เดือน และกำลังคนเพียงพอต่อการเพิ่มงานการเตรียมน้ำเคลือบ

ตารางที่ 6-2 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

รายการ	ผลตอบแทน/การลงทุน
ผลตอบแทน กำไรจากการขายกระถางเคลือบขนาด 5 ลิตร ที่เพิ่มขึ้น (ราคาขายใหม่ – ราคาขายเก่า) x ปริมาณการขาย (60 – 40) x 500	10,000 บาท/เดือน
รวมผลตอบแทน	**10,000 บาท/เดือน**
การลงทุน ค่าอุปกรณ์การเตรียมเคลือบ (Fixed Cost) กระบอกตวงพลาสติก ราคา 115 บาท Ford Viscosity Cups ราคา 12,000 บาท เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้น ราคา 9,000 บาท หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท ค่าสาธารณูปโภค (Variable Cost) ค่าไฟฟ้า หม้อบด 1 แรงม้า กำลังของมอเตอร์ 0.746 kWh ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 3 บาท เป็นค่าไฟฟ้าชั่วโมงละ 2.24 บาท ใช้ไฟฟ้า 6 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 4 วัน/เดือน เป็นค่าไฟ/เดือน	124,590 บาท 54 บาท/เดือน
ค่าวัตถุดิบ ต้นทุนวัตถุดิบ 58 บาท/กก. ผลิตน้ำเคลือบ 150 กก./เดือน	8,700 บาท/เดือน
รวมการลงทุน	**133,344 บาท**
ระยะเวลาคืนทุน	**(124,590/(10,000-8,754)** **= 100 เดือน** **= 8 ปี 4 เดือน**

การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ มีระยะเวลาคืนทุนเกิน 5 ปี ทำให้เป็นแนวทางการปรับปรุงที่ยังไม่ควรลงทุน โดยควรทำการศึกษาตลาดและแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์กับการลงทุนตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด อย่างไรก็ตาม ที่ปรึกษาได้นำตัวอย่างขี้เถ้าของโรงงาน มาทำการทดสอบการเตรียมน้ำเคลือบ เพื่อนำไปทดลองผลิตจริงที่โรงงาน เพื่อเป็นข้อมูลทางเลือก

ให้โรงงาน ในการพัฒนารูปแบบและมูลค่าผลิตภัณฑ์ โดยอยู่ในขั้นตอนของการผลิตน้ำเคลือบเพื่อนำไปทดลองที่โรงงาน

2) การปรับปรุงกระบวนการพ่นสี

- ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

ทางโรงงานใช้วิธีการพ่นสีเพื่อตกแต่งผลิตภัณฑ์ ตามรูปแบบที่ต้องการของลูกค้า ซึ่งใช้วิธีการพ่นสีแบบดั้งเดิม ที่พนักงานจะทำการฉีดพ่นสีอะคริลิคให้ทั่วผิวชิ้นงานในพื้นที่เปิดโล่งการปรับปรุงโรงงานควรมีระบบเก็บกักละอองสีจากการพ่นสี โดยเบื้องต้นทำเป็นตู้พ่นสี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจาย มีปริมาณของละอองสีในอากาศไม่เกินที่กฎหมายกำหนด และในระยะที่สอง อาจจะปรับปรุงระบบม่านน้ำตก เพื่อเก็บกักละอองสีให้ดีขึ้น ง่ายต่อการนำไปกำจัด โดยเป็นน้ำทิ้งของโรงงาน

ภาพที่ 6-9 ลักษณะตู้พ่นสีที่ควรทำการปรับปรุง

- ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

การปรับปรุงจัดทำตู้พ่นสี จะเป็นผลดีต่อการกักเก็บละอองสีจากการพ่นสี ไม่เกิดการฟุ้งกระจายไปในพื้นที่โรงงานและบ้านเรือนใกล้เคียง มีปริมาณละอองสีในอากาศภายในโรงงานลดลง

- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

การปรับปรุงจัดทำตู้พ่นสีเป็นการลงทุนปรับปรุงที่จะไม่ได้รับผลตอบแทนในทางด้านการเงิน ด้วยเป็นการลงทุนปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและชีวอนามัยของ

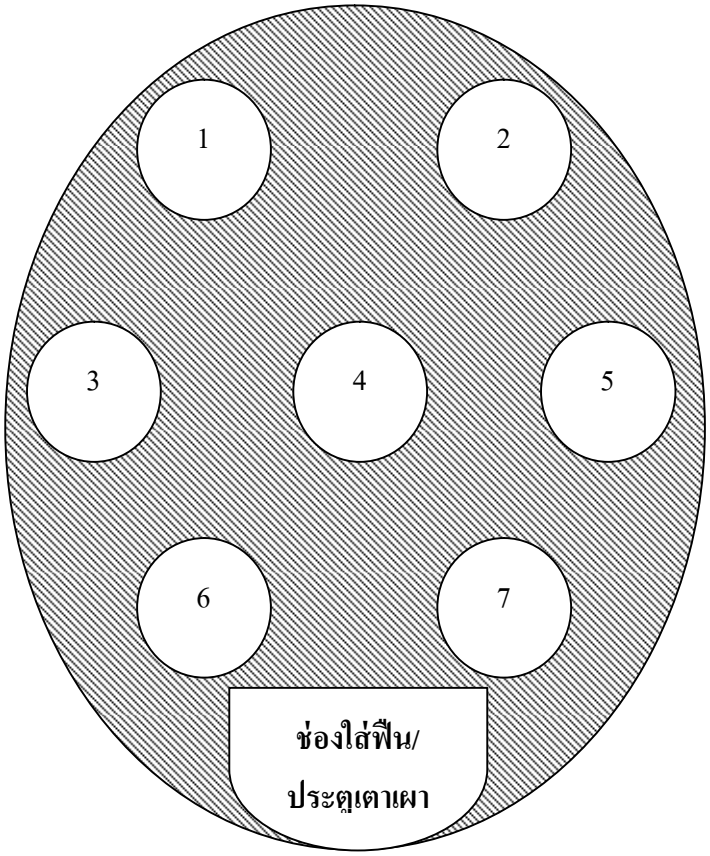
คนงานในระยะยาว โดยการลงทุนติดตั้งตู้พ่นสีเท่ากับ 12,000 บาท เป็นตู้พ่นสีที่มีระบบดูดอากาศผ่านตะแกรงกรอง เพื่อดักจับละอองสี

5. ผลการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

การดำเนินการประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดในโรงงาน โดยการนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในครั้งนี้ เป็นการทดลองสูตรเคลือบขี้เถ้าไม้ฟืนสำหรับเนื้อดินปั้นด่านเกวียนของโรงงานมดแดงดินเผา เพื่อหาความเหมาะสมและสอดคล้องในการนำไปใช้ในการผลิต โดยสูตรเคลือบที่ทำการทดลองจะต้องสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1,000–1,050°C โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1) <u>การทดสอบอุณหภูมิเผาของโรงงาน</u>

เพื่อให้สูตรเคลือบจากขี้เถ้าไม้ฟืนที่จะทำการทดลอง มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับอุณหภูมิการเผาของโรงงาน จึงทำการทดสอบหาอุณหภูมิเผาที่แท้จริงของโรงงาน โดยวาง Buller Ring ในตำแหน่งต่างๆ เพื่อทดสอบอุณหภูมิภายในเตาเผาของโรงงานแต่ละตำแหน่ง ผลการทดสอบได้ค่าอุณหภูมิดังตารางที่ 6-3



ภาพที่ 6-10 ตำแหน่งการวาง Buller Ring ภายในเตาเผาของโรงงาน

ภาพที่ 6-11 Buller Ring ที่ทำการทดสอบภายในเตาเผาของโรงงาน

ตารางที่ 6-3 อุณหภูมิภายในเตาเผาของโรงงานมดแดงดินเผา

ตำแหน่งวาง Buller Ring	อุณหภูมิ (°C)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	N/A	1,005
2	N/A	1,018
3	N/A	1,018
4	N/A	1,058
5	989	1,022
6	N/A	1,018
7	989	1,018
ค่าเฉลี่ย	**989**	**1,022.43**

จากผลการทดสอบอุณหภูมิเผาภายในเตาเผา พบว่าเตาเผามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำกว่า 1,000°C โดยการทดสอบ Buller Ring มีการหดตัวไม่อยู่ในเกณฑ์การวัดค่าอุณหภูมิ จึงได้ทำการทดสอบครั้งที่ 2 โดยเลือกใช้ Buller Ring สำหรับช่วงอุณหภูมิ 850-1,100°C การทดสอบครั้งที่ 2 พบว่าเตาเผามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ 1,022.43°C ดังนั้นแล้วการทดลองน้ำเคลือบขี้เถ้า ของโรงงานมดแดงดินเผา ควรจะต้องมีช่วงอุณหภูมิการหลอมตัวระหว่าง 950-1,050°C

2) <u>การทำเคลือบขี้เถ้าในห้องปฏิบัติการ</u>

กระบวนการเตรียมน้ำเคลือบขี้เถ้า สามารถดำเนินการได้โดย

(1) ดำเนินการเก็บรวบรวมขี้เถ้าไม้ฟืนจากการเผาผลิตภัณฑ์ในเตาเผา มาทำการร่อนผ่านตะแกรงกรองขนาด 100 เมช เพื่อแยกถ่านไม้และสิ่งเจือปนออกให้หมด

(2) ทำการเตรียมวัตถุดิบอื่นๆ สำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ ประกอบด้วย Frit 360 เพื่อทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเคลือบที่มีอุณหภูมิต่ำ $BaCO_3$ และเศษแก้ว เพื่อทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) ช่วยให้เนื้อเคลือบเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง เนื่องจากขี้เถ้านั้นเป็นฟลักซ์ไฟกลางซึ่งหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,200°C เนื่องจากขี้เถ้ามี SiO_2, CaO, Al_2O_3, K_2O, Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบหลัก และเตรียมวัตถุดิบประเภทดินเลนและเบนโทไนต์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยกระจายตัว

(3) นำวัตถุดิบมาชั่งน้ำหนักและผสมกันตามสัดส่วนสูตรเคลือบที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6-4 ทำการบดผสมวัตถุดิบด้วยหม้อบด (Pot Mill) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองน้ำเคลือบผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ปรับความหนาแน่นของน้ำเคลือบให้เท่ากับ 1.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และอัตราการไหลตัวที่ 10-15 วินาที

(4) ทำการชุบเคลือบชิ้นงานทดสอบ แล้วเผาที่อุณหภูมิ 950°C ตามอุณหภูมิการเผาปกติของโรงงาน ในเตาทดลอง

ชิ้นงานทดสอบ ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบด้วยเนื้อดินด่านเกวียน ตามลักษณะกระบวนการเผาของด่านเกวียน

ตารางที่ 6-4 สูตรเคลือบขี้เถ้าอุณหภูมิเผาที่ 950°C (%wt)

วัตถุดิบ	สูตร 6-1
ฟริท 360 (Ferro)	65
แบเรียมคาร์บอเนต	12
ดินขาวระนอง	3
ขี้เถ้าไม้รวม	2
ฟลักซ์	5
เศษแก้ว	5
โคลีมาไนท์	4
เบนโทไนต์	3

จากการทดลองเผาเคลือบขี้เถ้าในห้องปฏิบัติการ ทำการสังเกตและบันทึกลักษณะของผิวเคลือบบนชิ้นงานหลังจากชุบเคลือบ และลักษณะพื้นผิวเคลือบหลังการเผา ความมัน/ด้าน/ใส/ทึบ การหลอมตัว และสีที่ได้จากการเผา โดยหลังชุบเคลือบ พบว่าชิ้นงานทดสอบแตกร้าวหลังชุบเคลือบ สาเหตุเกิดจากการชุบบนชิ้นงานทดสอบที่แห้งเกินไป เมื่อทำการชุบน้ำเคลือบ ชิ้นทดสอบเกิดการดูดซับน้ำเคลือบเร็ว ทำให้

ความชื้นไม่กระจายทั่วไปในเนื้อดินชิ้นงานทดสอบ ทำให้ส่วนที่มีความชื้นมากเกิดการแตกแยกชั้น เมื่อนำไปเผาชิ้นงานจะแตกหักเสียหาย จากปัญหาชิ้นงานทดสอบดูดน้ำเร็วเกินไปทำให้ชิ้นงานทดสอบหลังชุบเคลือบแตกหักเสียหาย การทดลองจึงจะต้องทำการผึ่งชิ้นงานทดสอบให้มีความชื้นไม่ต่ำกว่า 15% ในการชุบเคลือบเพื่อลดการปัญหาการแตกร้าวของชิ้นงานทดสอบ

ลักษณะของเคลือบทดลองสูตรที่ 6-1 ที่ได้จากการเผานั้น พบว่าเนื้อเคลือบเกิดการหลุดร่อนออกจากชิ้นทดสอบระหว่างเผา ทำให้ผิวเคลือบเกิดการหดตัว เคลือบร่น เปิดให้เห็นผิวเนื้อดิน ลักษณะของเนื้อเคลือบหลังเผามีความขุ่นขาว เนื่องจากเคลือบยังไม่สุกตัวดี อาจเพราะวัตถุดิบบางตัวมีความทนไฟสูง เช่น เศษแก้ว และดินขาว นั่นทำให้ เนื้อเคลือบมีการหลอมตัวที่อุณหภูมิเกินกว่าที่ต้องการ คือ 950°C โดยพื้นผิวเคลือบหลังเผาเป็นดังรูปที่ 6-12

ภาพที่ 6-12 ลักษณะผิวเคลือบ สูตรเคลือบ 6-1 หลังเผาที่อุณหภูมิ 950 °C

ตารางที่ 6-5 สูตรเคลือบขี้เถ้าอุณหภูมิเผาที่ 950°C (%wt)

วัตถุดิบ	สูตร 6-2
ฟริท 360 (Ferro)	60
แบเรียมคาร์บอเนต	12
ดินขาวระนอง	2
ขี้เถ้าไม้รวม	2
ฟลักซ์	10
เศษแก้ว	3
โคลีมาไนท์	4
บอแรกซ์	6
ดินด่านเกวียน	1

ทำการปรับปรุงสูตรเคลือบใหม่ สูตรที่ 6-2 ดังตารางที่ 6-5 โดยยังใช้ Frit 360 ที่เป็นฟริตอุณหภูมิต่ำ เป็นวัตถุดิบหลัก ใช้ขี้เถ้าไม้รวม เศษแก้วโซดาไลม์ และดินขาวระนอง เป็นโครงสร้างของเคลือบ วัตถุดิบฟลักซ์ที่ใช้คือ แบเรียมคาร์บอเนต ซิงค์ออกไซด์ โดโลไมท์ และบอแรกซ์ ผสมดินด่านเกวียนเป็นตัวช่วยในการกระจายตัวของน้ำเคลือบ

ภาพที่ 6-13 ลักษณะผิวเคลือบบนชิ้นงานทดสอบที่เกิดการหลุดร่อนก่อนการเผา ของสูตรเคลือบ 6-2

เมื่อชุบเคลือบบนชิ้นงานทดสอบที่ได้ควบคุมความชื้นของชิ้นงานให้อยู่ระหว่าง15-20% แล้วปล่อยให้แห้งในอุณหภูมิปกติ พบว่าเกิดการหลุดร่อนของชั้นเคลือบดังรูปที่ 5-5 เมื่อพิจารณาจากสูตรเคลือบแล้วนั้น สูตรเคลือบยังไม่มีส่วนผสมของสารให้ความเหนียวเพื่อให้เนื้อเคลือบยึดเกาะกับชิ้นทดสอบได้ จึงได้เติมสารละลาย CMC ในสูตรเคลือบ โดยได้ทดลองเติมสารละลาย CMC ในสัดส่วน 0.1, 0.2 และ 0.3% เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสม โดยพบว่าการเติมสารละลาย CMC ในสูตรเคลือบ ทั้ง 3 สัดส่วน เนื้อเคลือบเกาะติดได้ดีบนผิวชิ้นงานทดสอบ เมื่อแห้งไม่เกิดการหลุดร่อนในอุณหภูมิห้อง

ทำการเผาชิ้นงานทดสอบที่ชุบเคลือบแล้ว ที่อุณหภูมิ 1,050°C ตามอุณหภูมิการเผาของโรงงานในเตาทดลอง บันทึกผลการเผาได้ตามตารางที่ 5-6

พบว่า สูตรเคลือบ 6-2 นี้ให้ผลการเผาเป็นที่น่าพึงพอใจ การเติมสารละลาย CMC ที่ 0.3% โดยน้ำหนักแห้งในน้ำเคลือบ นั้นเพียงพอต่อให้เนื้อเคลือบยึดเกาะกับชิ้นงานทดสอบ ทั้งนี้ การเติมสาระละลาย CM มากยิ่งขึ้น จะทำให้เคลือบยิ่งยึดเกาะได้ดีขึ้น แต่ไม่ควรใช้มากเกิน 1% โดยน้ำหนักแห้ง เนื่องจากจะทำให้เคลือบเกิดการหดตัวมากเกินไป อาจจะแตกร่อนเป็นเกล็ดขณะที่แห้งหรือเกิดปัญหาเคลือบหดตัวรวมกันเป็นกระจุกภายหลังเผา (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์; ตำหนิเซรามิกและแนวทางแก้ไข, หน้า 27) และสารละลาย CMC นั้นมีราคาค่อนข้างสูง

ตารางที่ 6-6 ผลการเผาสูตรเคลือบขี้เถ้า สูตรที่ 5-2 อุณหภูมิเผาที่ 1050°C

สูตรเคลือบ	ลักษณะเคลือบ	ผลการเผา
6-2 CMC 0.1%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานเพียงบางส่วน อาจเป็นเพราะใช้ปริมาณ CMC ผสมในสูตรเคลือบไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการหลุดร่อนก่อนการเผาและระหว่างเผา
6-2 CMC 0.2%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานได้ดีขึ้น เคลือบใส เกิดการรานตัวของเคลือบเล็กน้อย เกิดการหลุดร่อนบ้างเล็กน้อย
6-2 CMC 0.3%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานได้ดีที่สุด เคลือบใส สุกตัวดี

3) <u>การนำเคลือบขี้เถ้าไปทดลองในโรงงาน</u>

ได้ทำการเตรียมเคลือบปริมาณ 5 กิโลกรัม เพื่อนำไปทดลองในโรงงาน โดยชุบเคลือบบนชิ้นงานของโรงงาน และทำการเผาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้รับในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 6-14 การนำเคลือบขี้เถ้าไปทดลองในโรงงาน

ภาพที่ 6-15 ผลการเผาเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน ชุบเคลือบบนเนื้อดินที่ผ่านการเผาบิสกิตก่อน แล้วจึงเผาเคลือบ

ภาพที่ 6-16 ผลการเผาเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน ชุบเคลือบบนเนื้อดินดิบแห้งหมาด เผาครั้งเดียว

ภาพที่ 6-17 ผลการเผาเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน
ชุบเคลือบบนเนื้อดินดิบแห้งหมาด เผาครั้งเดียว

ผลการทดลองโรงงานดังภาพที่ 6-15 ถึง 6-17 พบว่าผลิตภัณฑ์ของโรงงานสามารถเคลือบได้ดี เนื้อเคลือบเกิดการสุกตัวตามอุณหภูมิการเผาของโรงงาน ลักษณะพื้นผิวเคลือบหลังเผา ได้เคลือบใสที่มีความมันวาวสวยงาม และเกิดเป็นเอฟเฟคบนผิวเคลือบบางส่วนเนื่องจากลักษณะบรรยากาศการเผาด้วยเตาฟืนของโรงงาน ตำแหน่งการวางชิ้นงานเผามีผลกับการสุกตัวของผลิตภัณฑ์ โดยเกิดเป็นฟองอากาศบนผิวเคลือบเล็กน้อย เนื่องจากกระบวนการเตรียมดินของโรงงาน ขาดระบบการรีดดินที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ยังมีอากาศหลงเหลืออยู่ในเนื้อดิน เมื่อเผา จึงเกิดเป็นฟองอากาศที่ยังไม่สามารถดันออกจากผิวเคลือบได้

6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น

การประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการนำของเสียกลับมาใช้งานใหม่นั้น การนำของเสียประเภทเศษดิน/ชิ้นงานดิบ กลับไปผสมในกระบวนการเตรียมดินเป็น Common Practice ที่ควรทำในทุกโรงงาน เพราะยังไม่ผ่านการเผา สามารถนำมาใช้งานใหม่ได้ 100% และการประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ โดยการดำเนินงาน จะได้นำมาผสมเคลือบขี้เถ้า เป็นวิธีการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สำเร็จ เป็นข้อได้เปรียบในการลดการกำจัดของเสียออกจากโรงงาน โดยการนำของเสียขี้เถ้าไม้ฟืนกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ปริมาณการเกิดของเสียประเภทขี้เถ้าไม้ ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลง ดังสมดุลมวลกระบวนการผลิต ต่อไปนี้

สารขาเข้า **สารขาออก**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ดินเหนียว	0.7772	กก./กก.
ทราย	0.5822	กก./กก.
ฟริท 360	0.0543	กก./กก.
แบเรียมคาร์บอเนต	0.0109	กก./กก.
ดินขาวระนอง	0.0018	กก./กก.
ขี้เถ้าไม้	0.0018	กก./กก.
ซิงค์ออกไซด์	0.0045	กก./กก.
เศษแก้ว	0.0027	กก./กก.
โคลีมาไนท์	0.0036	กก./กก.
บอแรกซ์	0.0054	กก./กก.
ลิเทียมคาร์บอเนต	0.0045	กก./กก.
กาว CMC	0.0003	กก./กก.

สาธารณูปโภค	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0004	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.0725	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	0.6521	กก./กก.

โรงงานมดแดงดินเผา

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะการเผา	ปริมาณ	หน่วย
ฝุ่นละออง	0.0021	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	1.0009	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.0031	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0001	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.0011	กก./กก.

ของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.0002	ลบ.ม./กก.
ขี้เถ้า	0.0011	กก./กก.
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	0.3623	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.0870	กก./กก.

หมายเหตุ:

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นการใช้งานรวมกันของโรงงานและที่พักอาศัย
2. ปริมาณมลภาวะทางอากาศจากปล่องเตาเผา คำนวณจาก "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (AP-42) the U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

7. การประเมินผลการพัฒนาตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

- การประเมินผลด้านเทคนิคการผลิต/ประสิทธิภาพ

จากการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ พบว่าโรงงานใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 1,000–1,100°C และไม่มีกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเคลือบ ของเสียจากกระบวนการเผาจึงเกิดเป็นขี้เถ้าในปริมาณมาก โรงงานมีความสนใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด ด้วยการนำขี้เถ้าจากกระบวนการเผากลับมาใช้ใหม่ โดยการทำเป็นน้ำเคลือบขี้เถ้าเพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้า ผลการวิจัยได้สูตรเคลือบดังตารางที่ 6-5 และลักษณะเคลือบหลังเผาดังภาพที่ 6-15 และ 6-16 ที่ได้แสดงไว้ใน*ข้อที่ 6. การดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด*

- การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม

จากการที่ทางโรงงานไม่ได้นำขี้เถ้ามาใช้งานแต่อย่างใด เศษขี้เถ้าในเตาเผาจะถูกกวาดมารวมกันเพื่อรอการนำไปกำจัด โดยคนงานจะร่อนแยกถ่านไม้ออกก่อน เพื่อนำไปใช้งานหรือขาย ส่วนของขี้เถ้านั้นเกิดเป็นมลภาวะฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงาน เป็นผลเสียต่อสุขภาพคนงาน การนำขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ จึงจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นผลดีต่อสุขอนามัยของคนงานในโรงงาน โดยจากสมดุลมวลกระบวนการผลิตก่อนการดำเนินงานพบว่า เกิดเป็นขี้เถ้าไม้รวมในปริมาณ 0.0029 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ โดยภายหลังการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด เกิดเป็นขี้เถ้าไม้รวมในปริมาณ 0.0011 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ ลดลง 0.0018 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ คิดเป็นปริมาณขี้เถ้าที่ลดลง 62.07% ดังสมดุลมวลกระบวนการผลิตที่ได้แสดงไว้ใน*ข้อที่ 6. การวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น* คิดเป็นปริมาณของเสียที่ลดลง

ปริมาณของเสียก่อนการปรับปรุง = 1.2128 กก./กก.ผลิตภัณฑ์

ปริมาณของเสียหลังการปรับปรุง = 1.0954 กก./กก.ผลิตภัณฑ์

คิดเป็นปริมาณของเสียที่ลดลง = 11.75%

- การประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์

การนำเคลือบขี้เถ้ามาประยุกต์ใช้งาน จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าด่านเกวียน อีก 30-50% การปรับปรุงตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด โรงงานต้องจัดหาอุปกรณ์และคนงาน ดังต่อไปนี้

- กระบอกตวงพลาสติกขนาด 100 ml ราคา 115 บาท สำหรับวัดความหนาแน่นน้ำเคลือบ
- Ford Viscosity Cups ขนาด 100 ml ราคา 12,000 บาท สำหรับวัดการไหลตัวของน้ำเคลือบ
- เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้นขนาด 30 กิโลกรัม ราคา 9,000 บาท สำหรับชั่งวัตถุดิบ
- หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม จำนวน 1 เครื่อง ราคา 98,975 บาท สำหรับบดผสมเคลือบ
- ตะแกรงกรองขนาด 100 เมช ราคา 2,500 บาท เพื่อกรองคัดแยกขนาดของดินและขี้เถ้าสำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ
- ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท

โดยปัจจุบัน โรงงานมีปริมาณขี้เถ้าประมาณ 32 ก.ก./เดือน ซึ่งนำมาใช้งานประมาณ 20 กก. ผลิตเป็นน้ำเคลือบได้เพียงพอกับกำลังการผลิตของโรงงาน 1,000 ก.ก./เดือน สำหรับการผลิตกระถางดินเผาจำนวน 4,000 ใบ ราคาขายกระถางตกแต่งไม่เคลือบ ใบละ 40 บาท โดยถ้าเป็นกระถางเคลือบ ราคาขายเพิ่มขึ้นเป็นใบละ 60 บาท (ประมาณที่ราคาต่ำสุด)

ตารางที่ 6-7 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

รายการ	ผลตอบแทน/การลงทุน
ผลตอบแทน กำไรจากการขายกระถางเคลือบ ที่เพิ่มขึ้น (ราคาขายใหม่ – ราคาขายเก่า) x ปริมาณการขาย (60 – 40) x 4,000	80,000 บาท
รวมผลตอบแทน	**80,000 บาท**
การลงทุน ค่าอุปกรณ์การเตรียมเคลือบ (Fixed Cost) กระบอกตวงพลาสติก ราคา 115 บาท Ford Viscosity Cups ราคา 12,000 บาท เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้น ราคา 9,000 บาท หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท	124,590 บาท
ค่าสาธารณูปโภค (Variable Cost) ค่าไฟฟ้า หม้อบด 1 แรงม้า กำลังของมอเตอร์ 0.746 kWh ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 3 บาท เป็นค่าไฟฟ้าชั่วโมงละ 2.24 บาท ใช้ไฟฟ้า 6 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 5 วัน/เดือน เป็นค่าไฟ/เดือน	67.14 บาท/เดือน
ค่าวัตถุดิบ ต้นทุนวัตถุดิบ 65.40 บาท/กก. ผลิตน้ำเคลือบ 1,000 กก./เดือน	65,400 บาท/เดือน
รวมการลงทุน	**190,057.14 บาท**
ระยะเวลาคืนทุน	**124,590** **(80,000- 65,467.14)** **= 8.57 เดือน**

การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ มีการลงทุนค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ 124,590 บาท และค่าใช้จ่ายวัตถุดิบและสาธารณูปโภคต่อเดือน 65,467.14 บาท ผลตอบแทน 80,000 บาท/เดือน ทำให้มีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 8 เดือนครึ่ง เป็นแนวทางการปรับปรุงที่คุ้มค่าในการลงทุน โดยควรทำการศึกษาตลาดและแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์กับการลงทุนตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด

โรงงานบุญส่งดินเผา

1. ข้อมูลทั่วไป

ที่อยู่ บุญส่ง เปล้ากระโทก ประธานชุมชนในเขตเทศบาลตำบลด่านเกวียน
48 ม.10 ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา

โทรศัพท์ 089 948 8160 **โทรสาร** -

ผลิตภัณฑ์ กระถางชุด แจกัน อิฐ กระเบื้องผสมแกลบ

ตลาด ในประเทศ กำลังจะทำกระเบื้องมุงหลังคาโบสถ์ด่านเกวียน

กำลังการผลิต กระถางชุด 3 ชิ้น ประมาณ 6,000 ชุด/เดือน

จำนวนคนงาน โรงงานมีช่างปั้น 1 คน และคนงานอื่นๆ อีก 8 คน

กระบวนการผลิต

เนื้อดิน โรงงานใช้วัตถุดิบดินท้องถิ่น เป็นดินทุ่ง และทรายมูล การจัดซื้อดินปีละครั้ง ใช้รถ 6 ล้อในการขนส่ง โดยเป็นดินเหนียว 60 คันรถ และทรายมูล 30 คันรถ เป็นน้ำหนักดิน/ทราย 7 ตัน/คันรถ ค่าขนส่ง 1,000 บาท/คันรถ ผลิตภัณฑ์บางชนิดจะมีการผสมดินลำปางเพื่อเพิ่มความแกร่ง ผลิตภัณฑ์ประเภทโมบายตกแต่ง เคยใช้ดินจอมปลวกผสม แต่ปัจจุบันไม่มีการผลิตแล้ว

การเตรียมดิน ทำโดยการผสมดินกับทรายในอัตราส่วน ดิน:ทราย = 2:1 ใช้ดินและทรายตามที่ได้รับมาจากการจัดซื้อทั้งหมด ไม่มีกระบวนการบดย่อยขนาด หรือการกรองขนาดโดยตะแกรงกรอง บ่อหมักดินขนาด กว้าง × ยาว × ลึก = 1.5×2.5×0.8 เมตร ทำการหมักดินผสมทิ้งไว้ในบ่อเป็นเวลา24 ชั่วโมง นำขึ้นมาพักไว้ก่อน แล้วจึงทำการโม่หยาบผ่านเครื่องรีดดินจำนวน 3 รอบ เป็นดินแท่งขนาดหน้ากว้าง 6 นิ้ว พักดินทิ้งไว้รอการนำไปใช้งาน คลุมไว้ด้วยผ้าพลาสติก

การขึ้นรูป วิธีการขึ้นรูปคือการปั้นแป้นหมุน ก่อนการขึ้นรูป อาจจะมีการรีดดินอีกครั้งหนึ่ง ถ้าความเหนียวไม่ได้ตามที่ต้องการ โดยช่างปั้น สามารถปั้นกระถางขนาด 15” ได้ 150 ชิ้น/วัน และถ้าเป็นขนาด 12” ได้ 200 ชิ้น/วัน

การอบแห้ง ชิ้นงานจะถูกวางผึ่งลมภายในพื้นที่ของโรงงาน เป็นเวลา24 ชั่วโมง ก่อนนำไปตกแต่งลาย แล้วผึ่งลมไว้เป็นเวลา 5-7 วัน แล้วแต่ขนาดและสภาพภูมิอากาศ ถ้าเป็นชิ้นงานขนาดเล็กสามารถตากแดดได้ เมื่อชิ้นงานแห้งแล้ว จึงนำไปเผา

การเคลือบ โรงงานไม่ได้ทำการเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำเคลือบ มีการเขียนลายก่อนเผา และมีการตกแต่งโดยใช้สีอะคริลิคทาลงบนผิวชิ้นงาน และทาทับด้วยแลคเกอร์เพื่อเพิ่มความเงางาม เฉพาะบางผลิตภัณฑ์

การเผา โรงงานมีเตาดินจำนวน 3 เตา แต่เป็นเตาที่เสียหายยังไม่ได้ซ่อมแซม 1 เตา อีก 2 เตาสามารถใช้งานสลับกันได้ เตาเผาของโรงงานมีขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 5×5×2.5 เมตร มีช่องใส่ฟืนแค่ด้านหน้าเตา ความจุเตา ถ้าเผากระถางขนาด 15” ได้ 150 ชุด/เตา และถ้าเป็นขนาด 12” ได้ 200 ชุด/เตา ระยะเวลาการเผาประมาณ 5 วัน โดยเป็นการเผาอบ 2 วัน และเผาแกร่ง 3 วัน ปัจจุบันเผาเดือนละ 6 รอบ โดยใช้ฟืน 3 คันรถอีแต๋น/เตา เป็นปริมาณฟืน 1.8 ตัน/คันรถ ค่าใช้จ่าย 1,200 บาท/คันรถ เป็นไม้ผสมตามที่คนหาฟืนจะจัดหาให้ได้ (ไม้มะม่วง ไม้ขนุน ไม้ยูคา ไม้กระถิ่น)

การเผาจะใช้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องตกแต่งและของเสียวางบังไฟหน้าเตา เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์อื่นๆ รับไฟโดยตรง กระเบื้องที่วางบังไฟ จะมีความแกร่งและเป็นลวดลาย สามารถนำไปขายได้ ถ่านจากไม้ฟืนจะถูกเก็บรวบรวมเพื่อขาย สามารถขายได้ในราคา 50 -60 บาท/ถุง

ของเสียจากการเผา จะทำการคัดแยก ถ้าสามารถซ่อมแซมได้ จะใช้กาวซีเมนต์ในการซ่อมแซมแล้วทาสีตกแต่งทับรอยซ่อม ของเสียที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้จะนำไปทิ้งเพื่อถมที่ หรือแจกจ่ายไปใช้ประโยชน์ เช่น โรงเรียน วัด

ปัญหา 1) โรงงานมีของเสียหลังเผาประมาณ 3% ต่อเตา ที่เป็นการเบี้ยว ฉีก เกิดเป็นของเสีย

ความต้องการ 1) การพัฒนารูปแบบ เพราะเริ่มมีการฟ้องร้องลิขสิทธิ์

2) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

ภาพที่ 7-1 เครื่องรีดดินที่ใช้งานของโรงงาน

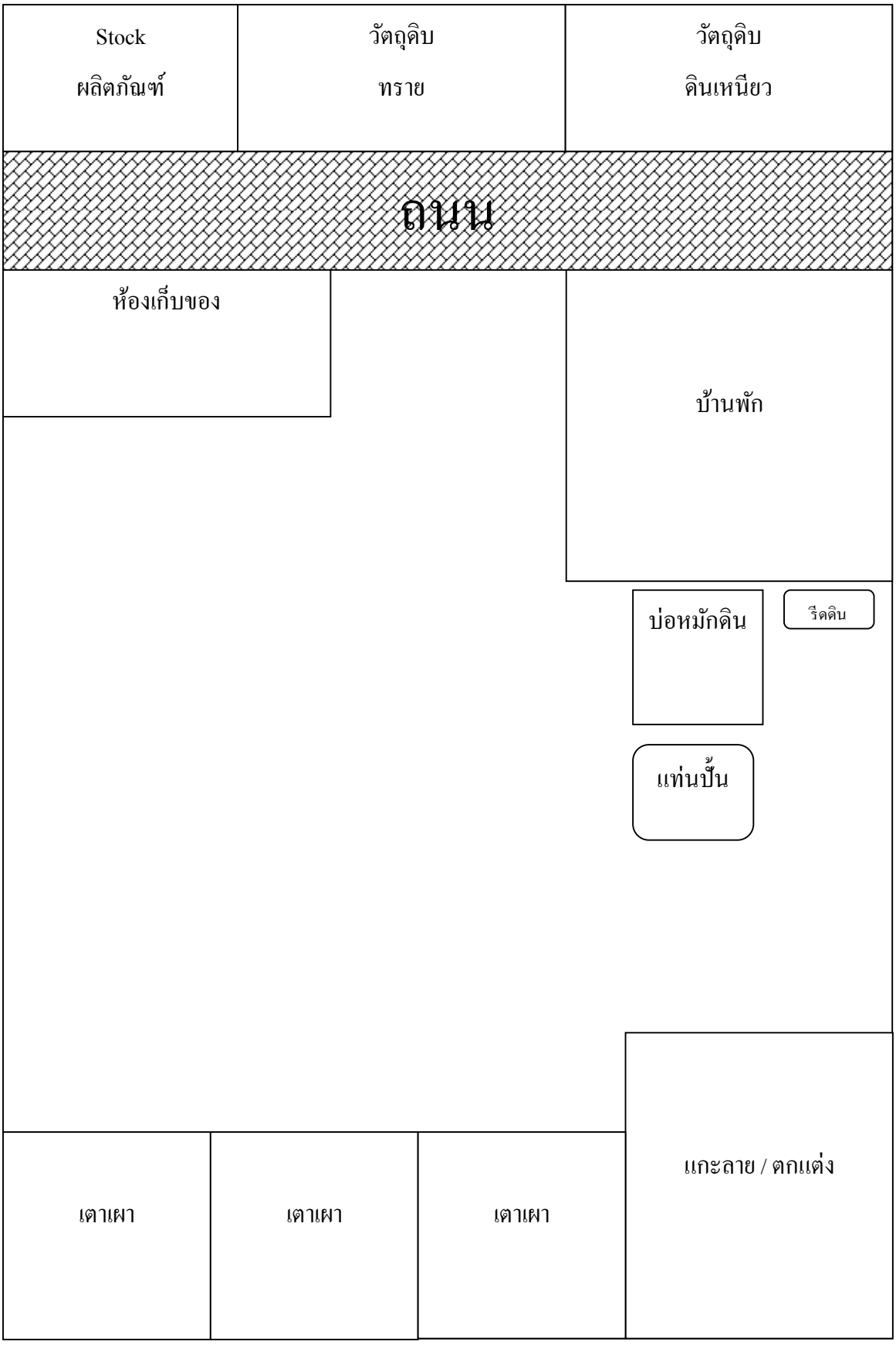
ภาพที่ 7-2 การปั้นขึ้นรูปด้วยแท่นหมุน

ภาพที่ 7-3 การตกแต่งชิ้นงานขึ้นรูปด้วยวิธีการแกะลาย

ภาพที่ 7-4 การผึ่งลมชิ้นงานขึ้นรูปก่อนนำไปเผา

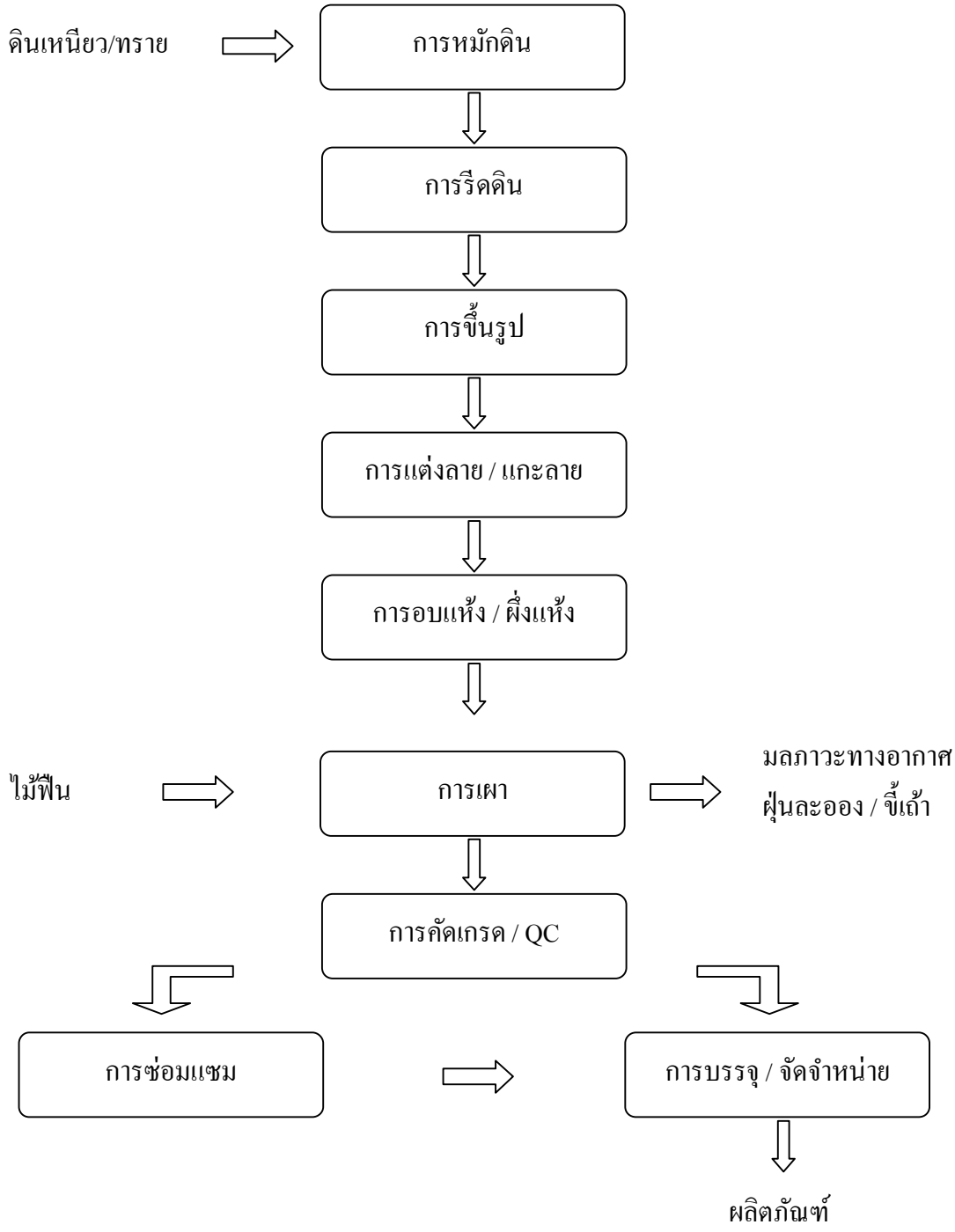
ภาพที่ 7-5 เตาเผาที่ใช้งานของโรงงาน

แผนผังโรงงาน



2. สมดุลมวลผลิตภัณฑ์ (Mass balance)

1) แผนผังกระบวนการผลิต



2) สมดุลมวลกระบวนการผลิต

สารขาเข้า **สารขาออก**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ดินเหนียว	0.8591	กก./กก.
ทราย	0.4296	กก./กก.

สาธารณูปโภค	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0002	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.0295	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	0.7953	กก./กก.

โรงงานบุญส่งดินเผา

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะการเผา	ปริมาณ	หน่วย
ฝุ่นละออง	0.0025	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	1.2208	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.0038	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0002	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.0014	กก./กก.

ของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.0001	ลบ.ม./กก.
ขี้เถ้า	0.0036	กก./กก.
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	0.2577	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.0309	กก./กก.

หมายเหตุ:

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นการใช้งานรวมกันของโรงงานและที่พักอาศัย

2. ปริมาณมลภาวะทางอากาศจากปล่องเตาเผา คำนวณจาก "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (AP-42) the U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

3. ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดจะเน้นการลดของเสีย/มลภาวะที่แหล่งกำเนิด เน้นที่การลดปริมาณการใช้ทรัพยากรลง ของเสียที่เกิดขึ้นควรจะต้องนำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ลดปริมาณของเสียและลดต้นทุนของการใช้วัตถุดิบลง

1) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ของโรงงานใช้วัตถุดิบหลักคือดินเหนียว ที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติแบบหมดไป การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มมูลค่าสินค้าให้กับโรงงาน โดยการนำวัสดุรีไซเคิลจากแหล่งต่างๆ มาเป็นวัตถุดิบเป็นข้อได้เปรียบในการลดปริมาณการใช้วัตถุดิบ เช่น เศษแก้ว (Glass Cullet) ที่สามารถนำมาใช้งานผสมเป็นวัตถุดิบ ซึ่งการนำเศษแก้วมาใช้งานเป็นวัตถุดิบ จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติ การหดตัวหลังเผา

เพิ่มมากขึ้น ลดการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์ ลดอุณหภูมิในการเผา ทำให้ลดการปลดปล่อยมลภาวะทางอากาศ

2) การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

ในกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ของโรงงาน ใช้ไม้ฟืนเป็นจำนวนมากเป็นเชื้อเพลิง เกิดเป็นขี้เถ้าจากการเผาในปริมาณสูงพอสมควร ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด โดยการนำของเสียประเภทขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาผสมเป็นเคลือบขี้เถ้า จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สำเร็จ เป็นข้อได้เปรียบในการลดการกำจัดของเสียออกจากโรงงาน

4. การศึกษาความเป็นไปได้ของทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

1) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

- ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

การผสมวัสดุเหลือใช้ เช่นเศษแก้ว สามารถทำได้ โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติได้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตอุณหภูมิต่ำ ให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิกราชบุรี และลำปาง โดยการผสมเศษแก้วจะทำให้จุดหลอมเหลวในกระบวนการผลิตลดต่ำลง แต่การผสมเศษแก้ว จะมีผลต่อความเหนียวของดินในการขึ้นรูป ที่จะไม่เหมาะสมกับการนำมาปั้นแป้นหมุนมากนัก ควรผสมในปริมาณที่เหมาะสม

- ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันทางโรงงานไม่ได้นำวัสดุเหลือใช้มาใช้งานแต่อย่างใด ใช้ดินเหนียวกับทรายเป็นวัตถุดิบ โดยถ้าโรงงานใช้เศษแก้วเป็นวัตถุดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ของส่วนผสมทั้งหมดจะลดพลังงานได้ร้อยละ 3-5 และเกิดผลต่อเนื่องกับการลดมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้ด้วย

- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

การนำเศษแก้วมาประยุกต์ใช้งาน จะลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลง โดยการปรับปรุงตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด ถ้าโรงงานใช้เศษแก้วในการผลิต 10% ของปริมาณวัตถุดิบ จะใช้เศษแก้วประมาณ 5,000 ก.ก./เดือน ราคาเศษแก้ว 10 บาท/ก.ก. คิดเป็นต้นทุนที่เพิ่มขึ้น 50,000 บาท/เดือน

โดยสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3-5 ดังนั้นปริมาณการใช้ฟืนลดลง 1,800 ก.ก./เดือน คิดเป็นค่าไม้ฟืน 1,200 บาท/เดือน ซึ่งเห็นได้ชัดว่าผลตอบแทนไม่คุ้มค่ากับการลงทุนทางเศรษฐศาสตร์ เพราะต้นทุนเชื้อเพลิงของโรงงานมีราคาถูก แต่เป็นการปรับปรุงที่ทางโรงงานควรนำไปพิจารณา เพื่อเป็นการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระยะยาว เพราะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อลอยขึ้นไปบนชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการสะสมความร้อนของผิวโลก หรือที่เรียกว่าปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect)

2) การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

- ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

เคลือบขี้เถ้า เป็นสูตรเคลือบที่มีการทำมานานแล้ว เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาราชบุรี ที่มีการผลิตโอ่ง กระถาง เคลือบขี้เถ้าจำหน่าย ดังนั้นการนำขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ จึงมีความเป็นไปได้ในการดำเนินงาน เพียงแต่ปริมาณของขี้เถ้าที่ได้รับจากการผลิตในปัจจุบันนั้นมีไม่สูงมากนัก จากการเก็บข้อมูลพบว่าโรงงานต้องการเคลือบใสที่อุณหภูมิ 1000°C เพื่อให้เห็นเนื้อดินที่ยังคงเป็นเอกลักษณ์ของด่านเกวียน โดยทั่วไปมักพบเคลือบขี้เถ้าที่อุณหภูมิกลาง-สูง คือ 1200-1280°C เนื่องจากขี้เถ้าเป็นฟลักซ์ไฟกลางหลอมที่ 1200°C ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการเตรียมเคลือบไฟต่ำโดยเติมสารช่วยหลอมในปริมาณที่เหมาะสม

กระบวนการเตรียมน้ำเคลือบขี้เถ้า สามารถดำเนินการได้โดย

(1) นำขี้เถ้าที่ได้จากเตาเผา มาร่อนแยกเศษตะกอนหรือถ่านไม้ออกให้หมด

(2) เตรียมวัตถุดิบอื่นๆ ที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ ประกอบด้วย Frit 360 เพื่อเป็นโครงสร้างเคลือบที่มีอุณหภูมิต่ำ $BaCO_3$ Borax และเศษแก้ว เพื่อเป็นฟลักซ์ช่วยให้เนื้อเคลือบหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากขี้เถ้านั้นเป็นฟลักซ์ไฟกลางที่หลอมตัวอุณหภูมิ 1,200°C เนื่องจากมี SiO_2, CaO, Al_2O_3, K_2O, Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบหลัก วัตถุดิบดินเลนและเบนโทไนต์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยกระจายตัว

(3) ทำการบดผสมวัตถุดิบด้วยหม้อบด (Pot Mill) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ร่อนน้ำเคลือบผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช และปรับความหนาแน่นของน้ำเคลือบให้เท่ากับ 1.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และอัตราการไหลตัวที่ 10-15 วินาที

(4) นำชิ้นงานที่ต้องการตกแต่ง มาชุบเคลือบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,000°C ตามอุณหภูมิปกติของโรงงาน

ตารางที่ 7-1 สูตรเคลือบอุณหภูมิต่ำเผาที่ 1000°C

วัตถุดิบ	%wt
Frit 360 (Ferro)	60
$BaCO_3$	15
ฟลักซ์	10
Borax	6
ขี้เถ้าไม้รวม	7
ดินเลน	2

- ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันทางโรงงานไม่ได้นำขี้เถ้ามาใช้งานแต่อย่างใด เศษขี้เถ้าในเตาเผาจะถูกกวาดมารวมกันเพื่อรอการนำไปกำจัด โดยการทิ้งถมที่ เกิดเป็นมลภาวะฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงาน เป็นผลเสียต่อสุขภาพคนงาน การนำขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ จึงจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นผลดีต่อสุขอนามัยของคนงานในโรงงาน

- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

การนำเคลือบขี้เถ้ามาประยุกต์ใช้งาน จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าด่านเกวียน อีก 30-50% การปรับปรุงตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด โรงงานต้องจัดหาอุปกรณ์และคนงาน ดังต่อไปนี้

- กระบอกตวงพลาสติกขนาด 100 ml ราคา 115 บาท สำหรับวัดความหนาแน่นน้ำเคลือบ
- Ford Viscosity Cups ขนาด 100 ml ราคา 12,000 บาท สำหรับวัดการไหลตัวของน้ำเคลือบ
- เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้นขนาด 30 กิโลกรัม ราคา 9,000 บาท สำหรับชั่งวัตถุดิบ
- หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท สำหรับบดผสมเคลือบ
- ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท เพื่อกรองคัดแยกขนาดของดินและขี้เถ้าสำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ
- ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท

โดยปัจจุบัน โรงงานมีปริมาณขี้เถ้า 140 ก.ก./เดือน ผลิตเป็นน้ำเคลือบได้ 600 ก.ก. สำหรับการผลิตกระถางเคลือบขนาด 12” จำนวน 3,500 ใบ ราคาขายกระถางตกแต่งไม่เคลือบ ใบละ 50 บาท โดยถ้าเป็นกระถางเคลือบ ราคาขายเพิ่มขึ้นเป็น 85 บาท (ประมาณที่ราคาต่ำสุด) โดยประมาณการขายกระถางได้ 2,500 ใบ/เดือน และกำลังคนเพียงพอต่อการเพิ่มงานการเตรียมน้ำเคลือบ

ตารางที่ 7-2 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

รายการ	ผลตอบแทน/การลงทุน
ผลตอบแทน กำไรจากการขายกระถางเคลือบขนาด 12” ที่เพิ่มขึ้น (ราคาขายใหม่ – ราคาขายเก่า) x ปริมาณการขาย (85 – 50) x 2,500	87,500 บาท
รวมผลตอบแทน	**87,500 บาท**
การลงทุน ค่าอุปกรณ์การเตรียมเคลือบ (Fixed Cost) กระบอกตวงพลาสติก ราคา 115 บาท Ford Viscosity Cups ราคา 12,000 บาท เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้น ราคา 9,000 บาท หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท ค่าสาธารณูปโภค (Variable Cost) ค่าไฟฟ้า หม้อบด 1 แรงม้า กำลังของมอเตอร์ 0.746 kWh ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 3 บาท เป็นค่าไฟฟ้าชั่วโมงละ 2.24 บาท ใช้ไฟฟ้า 6 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 15 วัน/เดือน เป็นค่าไฟ/เดือน	124,590 บาท 201 บาท/เดือน
ค่าวัตถุดิบ ต้นทุนวัตถุดิบ 44 บาท/กก. ผลิตน้ำเคลือบ 600 กก./เดือน	26,400 บาท/เดือน
รวมการลงทุน	**151,191 บาท**
ระยะเวลาคืนทุน	**(124,590/(87,500-26,601) = 2.05 เดือน**

การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ มีระยะเวลาคืนทุนเพียง 2.05 เดือน นั่นทำให้เป็นแนวทางการปรับปรุงที่ควรลงทุน โดยควรทำการศึกษาตลาดและแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์กับการลงทุนตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด และที่ปรึกษา ได้นำตัวอย่างขี้เถ้าของโรงงาน มาทำการทดสอบการเตรียมน้ำเคลือบ เพื่อนำไปทดลองผลิตจริงที่โรงงาน โดยอยู่ในขั้นตอนของการผลิตน้ำเคลือบเพื่อนำไปทดลองที่โรงงาน

5. ผลการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

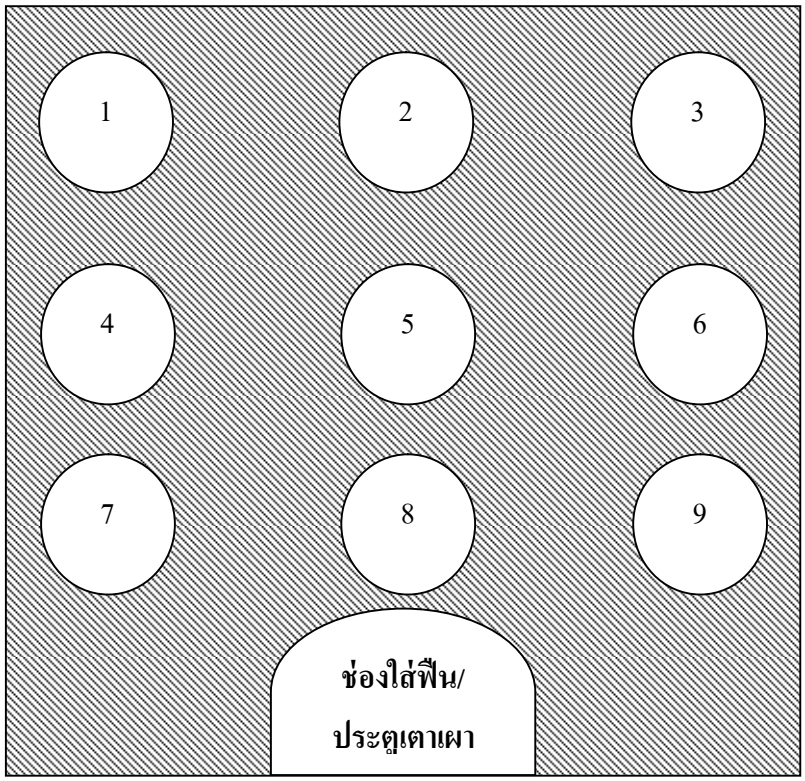
การดำเนินการประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดโดยการนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในครั้งนี้ เป็นการทดลองสูตรเคลือบขี้เถ้าไม้ฟืนสำหรับเนื้อดินปั้นด่านเกวียนของโรงงาน เพื่อหาความเหมาะสมและสอดคล้องในการนำไปใช้ในการผลิต โดยสูตรเคลือบที่ทำการทดลอง จะต้องสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1,000–1,050°C โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1) <u>การทดสอบอุณหภูมิเผาของโรงงาน</u>

เพื่อให้สูตรเคลือบจากขี้เถ้าไม้ฟืนที่จะทำการทดลอง มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการเผาของโรงงาน จึงทำการทดสอบหาอุณหภูมิเผาที่แท้จริงของโรงงาน โดยวาง Buller Ring ในตำแหน่งต่างๆ เพื่อทดสอบอุณหภูมิภายในเตาเผาของโรงงานแต่ละตำแหน่ง ผลการทดสอบได้ค่าอุณหภูมิดังตารางที่ 5-4

ภาพที่ 7-12 เตาเผาของโรงงาน

จากผลการทดสอบอุณหภูมิเผาภายในเตาเผา พบว่าเตาเผามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำกว่า 1,000°C โดยการทดสอบ Buller Ring มีการหดตัวไม่อยู่ในเกณฑ์การวัดค่าอุณหภูมิ จึงได้ทำการทดสอบครั้งที่ 2 โดยเลือกใช้ Buller Ring สำหรับช่วงอุณหภูมิ 850-1,100°C การทดสอบครั้งที่ 2 พบว่าเตาเผามีช่วงอุณหภูมิที่สูงบริเวณหัวเตาที่เป็นช่องใส่ฟืน และอุณหภูมิลดลงไปตามระยะเตา โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ 979.67°C ดังนั้นแล้วการทดลองน้ำเคลือบขี้เถ้า ของโรงงานมดแดงดินเผา ควรจะต้องมีช่วงอุณหภูมิการหลอมตัวระหว่าง 950-1,050°C



ภาพที่ 7-13 ตำแหน่งการวาง Buller Ring ภายในเตาเผาของโรงงาน

ตารางที่ 7-3 อุณหภูมิภายในเตาเผาของโรงงานบุญส่ง

ตำแหน่งวาง Buller Ring	อุณหภูมิ (°C)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	N/A	N/A
2	N/A	N/A
3	N/A	N/A
4	N/A	877
5	N/A	956
6	N/A	866
7	Buller Ring แตก	1,073
8	Buller Ring แตก	1,046
9	Buller Ring แตก	1,060
ค่าเฉลี่ย	**N/A**	**979.67**

2) <u>การทำเคลือบขี้เถ้าในห้องปฏิบัติการ</u>

กระบวนการเตรียมน้ำเคลือบขี้เถ้า สามารถดำเนินการได้โดย

(1) เก็บรวบรวมขี้เถ้าไม้ฟืนจากการเผาผลิตภัณฑ์ในเตาเผา มาทำการร่อนผ่านตะแกรงกรองขนาด 100 เมช เพื่อแยกถ่านไม้และสิ่งเจือปนออกให้หมด

(2) ทำการเตรียมวัตถุดิบอื่นๆ สำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ ประกอบด้วย Frit 360 เพื่อทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเคลือบที่มีอุณหภูมิต่ำ $BaCO_3$ Borax และเศษแก้ว เพื่อทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) ช่วยให้เนื้อเคลือบเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง เนื่องจากขี้เถ้านั้นเป็นฟลักซ์ไฟกลางซึ่งหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,200°C เนื่องจากขี้เถ้ามี SiO_2, CaO, Al_2O_3, K_2O, Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบหลัก และเตรียมวัตถุดิบประเภทดินเลนและเบนโทไนต์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยกระจายตัว

(3) นำวัตถุดิบมาชั่งน้ำหนักและผสมกันตามสัดส่วนสูตรเคลือบที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 7-4 ทำการบดผสมวัตถุดิบด้วยหม้อบด (Pot Mill) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองน้ำเคลือบผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ปรับความหนาแน่นของน้ำเคลือบให้เท่ากับ 1.4 กรัม/ลบ.ซม. และอัตราการไหลตัวที่ 10-15 วินาที

(4) ทำการชุบเคลือบชิ้นงานทดสอบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,000°C ตามอุณหภูมิการเผาปกติของโรงงาน ในเตาทดลอง

ชิ้นงานทดสอบ ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบ และเผาเช่นเดียวกันการเผาของด่านเกวียน

ตารางที่ 7-4 สูตรเคลือบขี้เถ้าอุณหภูมิเผาที่ 1000°C (%wt)

วัตถุดิบ	สูตร 7-1
ฟริท 360 (Ferro)	63
แบเรียมคาร์บอเนต	10
ดินขาวระนอง	3
ขี้เถ้าไม้รวม	2
เศษแก้ว	5
ฟลักซ์	9
บอแรกซ์	8
เบนโทไนต์	3

จากการทดลองเผาเคลือบขี้เถ้าในห้องปฏิบัติการ ทำการสังเกตและบันทึกลักษณะของผิวเคลือบบนชิ้นงานหลังจากชุบเคลือบ และลักษณะพื้นผิวเคลือบหลังการเผา ความมัน/ด้าน/ใส/ทึบ การหลอมตัว และสีที่ได้จากการเผา โดยหลังชุบเคลือบ พบว่าชิ้นงานทดสอบแตกร้าวหลังชุบเคลือบ สาเหตุเกิดจากการชุบบนชิ้นงานทดสอบที่แห้งเกินไป เมื่อทำการชุบน้ำเคลือบ ชิ้นทดสอบเกิดการดูดซับน้ำเคลือบเร็ว ทำให้

ความชื้นไม่กระจายทั่วไปในเนื้อดินชิ้นงานทดสอบ ทำให้ส่วนที่มีความชื้นมากเกิดการแตกแยกชั้น เมื่อนำไปเผาชิ้นงานจะแตกหักเสียหาย จากปัญหาชิ้นงานทดสอบดูดน้ำเร็วเกินไปทำให้ชิ้นงานทดสอบหลังชุบเคลือบแตกหักเสียหาย การทดลองจึงจะต้องทำการผึ่งชิ้นงานทดสอบให้มีความชื้นไม่ต่ำกว่า 15% ในการชุบเคลือบเพื่อลดการปัญหาการแตกร้าวของชิ้นงานทดสอบ

ลักษณะของเคลือบทดลองสูตรที่ 7-1 ที่ได้จากการเผานั้น พบว่าเนื้อเคลือบเกิดการหลุดร่อนออกจากชิ้นทดสอบระหว่างเผา ทำให้ผิวเคลือบเกิดการหดตัว เคลือบร่น เปิดให้เห็นผิวเนื้อดิน ลักษณะของเนื้อเคลือบหลังเผามีความขุ่นขาว เนื่องจากเคลือบยังไม่สุกตัวดี อาจเพราะวัตถุดิบบางตัวมีความทนไฟสูง เช่น เศษแก้ว และดินขาว นั่นทำให้ เนื้อเคลือบมีการหลอมตัวที่อุณหภูมิเกินกว่าที่ต้องการ คือ 1,000°C โดยพื้นผิวเคลือบหลังเผาเป็นดังรูปที่ 7-14

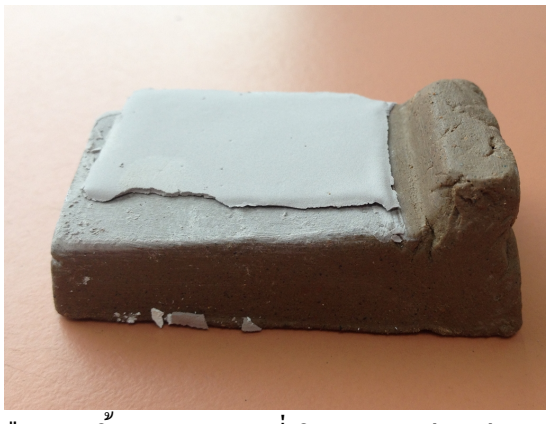
ภาพที่ 7-14 ลักษณะผิวเคลือบ สูตรเคลือบ 7-1 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C

ตารางที่ 7-5 สูตรเคลือบขี้เถ้าอุณหภูมิเผาที่ 1000°C (%wt)

วัตถุดิบ	สูตร 7-2
ฟริท 360 (Ferro)	63
แบเรียมคาร์บอเนต	12
ดินขาวระนอง	2
ขี้เถ้าไม้รวม	2
เศษแก้ว	3
ฟลักซ์	9
บอแรกซ์	8
ดินด่านเกวียน	1

ทำการปรับปรุงสูตรเคลือบใหม่ สูตรที่ 7-2 ดังตารางที่ 7-5 โดยยังใช้ Frit 360 ที่เป็นฟริตอุณหภูมิต่ำ เป็นวัตถุดิบหลัก ใช้ขี้เถ้าไม้รวม เศษแก้วโซดาไลม์ และดินขาวระนอง เป็นโครงสร้างของเคลือบ วัตถุดิบฟลักซ์ที่ใช้คือ แบเรียมคาร์บอเนต ซิงค์ออกไซด์ และบอแรกซ์ ผสมดินด่านเกวียนเป็นตัวช่วยในการกระจายตัวของน้ำเคลือบ

เมื่อชุบเคลือบบนชิ้นงานทดสอบที่ได้ควบคุมความชื้นของชิ้นงานให้อยู่ระหว่าง 15-20% แล้วปล่อยให้แห้งในอุณหภูมิปกติ พบว่าเกิดการหลุดร่อนของชั้นเคลือบดังรูปที่ 7-15

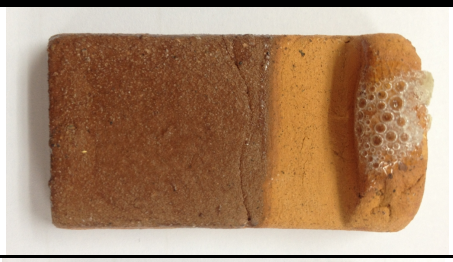
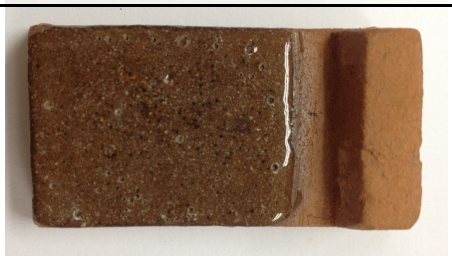


ภาพที่ 7-15 ลักษณะผิวเคลือบบนชิ้นงานทดสอบที่เกิดการหลุดร่อนก่อนการเผาของสูตรเคลือบ 7-2

เมื่อพิจารณาจากสูตรเคลือบแล้วนั้น สูตรเคลือบยังไม่มีส่วนผสมของสารให้ความเหนียวเพื่อให้เนื้อเคลือบยึดเกาะกับชิ้นทดสอบได้ จึงได้เติมสารละลายCMC ในสูตรเคลือบ โดยได้ทดลองเติมสารละลาย CMC ในสัดส่วน 0.1, 0.2 และ 0.3% เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสม โดยพบว่าการเติมสารละลาย CMC ในสูตรเคลือบ ทั้ง 3 สัดส่วน เนื้อเคลือบเกาะติดได้ดีบนผิวชิ้นงานทดสอบ เมื่อแห้งไม่เกิดการหลุดร่อนในอุณหภูมิห้อง

ทำการเผาชิ้นงานทดสอบที่ชุบเคลือบแล้วที่อุณหภูมิ 1,000°C ตามอุณหภูมิการเผาของโรงงานในเตาทดลอง บันทึกผลการเผาได้ตามตารางที่ 7-6

ตารางที่ 7-6 ผลการเผาสูตรเคลือบขี้เถ้า สูตรที่ 7-2 อุณหภูมิเผาที่ 1000°C

สูตรเคลือบ	ลักษณะเคลือบ	ผลการเผา
7-2 CMC 0.1%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานเพียงบางส่วน อาจเป็นเพราะใช้ปริมาณ CMC ผสมในสูตรเคลือบไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการหลุดร่อนระหว่างเผา
7-2 CMC 0.2%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานได้ดีขึ้น เคลือบใส เกิดการรานตัวของเคลือบเล็กน้อย
7-2 CMC 0.3%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานได้ดีที่สุด เคลือบใส

พบว่า สูตรเคลือบ 7-2 นี้ให้ผลการเผาเป็นที่น่าพึงพอใจ การเติมสารละลาย CMC ที่ 0.3% โดยน้ำหนักแห้งในน้ำเคลือบ นั้นเพียงพอต่อให้เนื้อเคลือบยึดเกาะกับชิ้นงานทดสอบ ทั้งนี้ การเติมสารละลาย CMC มากยิ่งขึ้น จะทำให้เคลือบยิ่งยึดเกาะได้ดีขึ้น แต่ไม่ควรใช้มากเกิน 1% โดยน้ำหนักแห้ง เนื่องจากจะทำให้เคลือบเกิดการหดตัวมากเกินไป อาจจะแตกร่อนเป็นเกล็ดขณะที่แห้งหรือเกิดปัญหาเคลือบหดตัวรวมกันเป็นกระจุกภายหลังเผา (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์; ตำหนิเซรามิกและแนวทางแก้ไข, หน้า 27) และสารละลาย CMC นั้นมีราคาค่อนข้างสูง

3) <u>การนำเคลือบขี้เถ้าไปทดลองในโรงงาน</u>

ได้ทำการเตรียมเคลือบปริมาณ 5 กิโลกรัม เพื่อนำไปทดลองในโรงงาน โดยชุบเคลือบบนชิ้นงานของโรงงาน และทำการเผาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้รับในห้องปฏิบัติการ

พบว่าผลิตภัณฑ์ของโรงงานสามารถเคลือบได้ดี เนื้อเคลือบเกิดการสุกตัวตามอุณหภูมิการเผาของโรงงาน ลักษณะพื้นผิวเคลือบหลังเผา ได้เคลือบใสที่มีความมันวาวสวยงาม เกิดฟองอากาศบนผิวเคลือบเล็กน้อย เนื่องจากกระบวนการเตรียมดินของโรงงาน ขาดระบบการรีดดินที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ยังมีอากาศหลงเหลืออยู่ในเนื้อดิน เมื่อเผา จึงเกิดเป็นฟองอากาศที่ยังไม่สามารถดันออกจากผิวเคลือบได้ รวมถึงเกิดการร่อนของผิวเคลือบ เนื่องจากความชื้นของชิ้นงานที่นำมาชุบเคลือบยังไม่เหมาะสมมากนัก

ภาพที่ 7-16 การชุบเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

ภาพที่ 7-17 ผลการเผาเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

เพื่อปรับปรุงการตกแต่งผลิตภัณฑ์ของโรงงาน และศึกษาผลของอุณหภูมิภายในเตาเผาที่มีผลต่อลักษณะเคลือบ จึงได้ทำการควบคุมความชื้นของชิ้นงานและทดลองชุบเคลือบกับผลิตภัณฑ์ของโรงงานอีกครั้ง ผลการเผาเป็นไปดังภาพที่ 7-18 ถึง 7-20

ภาพที่ 7-18 การชุบเคลือบบนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

ภาพที่ 7-19 ผลการเผาเคลือบครั้งที่ 2 บนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน
ที่วางชิ้นงานเข้าเผาในตำแหน่งด้านหน้าเตา

ภาพที่ 7-20 ผลการเผาเคลือบครั้งที่ 2 บนผลิตภัณฑ์ของโรงงาน
ที่วางชิ้นงานเข้าเผาในตำแหน่งด้านท้ายเตา

จากผลการเผา ภาพที่ 7-19 และ 7-20 พบว่า ช่วงท้ายเตามีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดสุกตัวของเคลือบ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เผาท้ายเตาเคลือบไม่สุกตัวเกิดเป็นของเสีย ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่เผาหัวเตา อุณหภูมิเหมาะสม เคลือบสุกตัวดี ผิวเคลือบมีความมันวาวสวยงาม การนำเคลือบขี้เถ้าไปทดลองในโรงงาน ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ สามารถนำไปขยายผลสู่การผลิตจริงได้ โดยทางโรงงาน ต้องทำการปรับปรุงเรื่อง ลักษณะการวางผลิตภัณฑ์เข้าเผา และตำแหน่งการวางเข้าเผา เพื่อให้สามารถทำการเผาผลิตภัณฑ์ได้อย่างต่อเนื่อง ไม่เกิดเป็นผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของโรงงาน

6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น

การประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการนำของเสียกลับมาใช้งานใหม่นั้น การนำของเสียประเภทเศษดิน/ชิ้นงานดิบ กลับไปผสมในกระบวนการเตรียมดินเป็น Common Practice ที่ควรทำในทุกโรงงาน เพราะยังไม่ผ่านการเผา สามารถนำมาใช้งานใหม่ได้ 100% และการประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ โดยการดำเนินงาน จะได้นำมาผสมเคลือบขี้เถ้า เป็นวิธีการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สำเร็จ เป็นข้อได้เปรียบในการลดการกำจัดของเสียออกจากโรงงาน โดยการนำของเสียขี้เถ้าไม้ฟืนกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ปริมาณการเกิดของเสียประเภทขี้เถ้าไม้ ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลง ดังสมดุลมวลกระบวนการผลิต ต่อไปนี้

สารขาเข้า **สารขาออก**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ดินเหนียว	0.8280	กก./กก.
ทราย	0.4137	กก./กก.
ฟริท 360	0.0298	กก./กก.
แบเรียมคาร์บอเนต	0.0057	กก./กก.
ดินขาวระนอง	0.0009	กก./กก.
ขี้เถ้าไม้	0.0009	กก./กก.
เศษแก้ว	0.0014	กก./กก.
สตรอนเทียมคาร์บอ	0.0019	กก./กก.
บอแรกซ์	0.0038	กก./กก.
ลิเทียมคาร์บอเนต	0.0024	กก./กก.
กาว CMC	0.0001	กก./กก.

สาธารณูปโภค	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0002	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.0284	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	0.7660	กก./กก.

โรงงานบุญส่งดินเผา

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะการเผา	ปริมาณ	หน่วย
ฝุ่นละออง	0.0024	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	1.1758	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.0036	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0002	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.0013	กก./กก.

ของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.0001	ลบ.ม./กก.
ขี้เถ้า	0.0025	กก./กก.
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	0.2577	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.0309	กก./กก.

หมายเหตุ:

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นการใช้งานรวมกันของโรงงานและที่พักอาศัย
2. ปริมาณมลภาวะทางอากาศจากปล่องเตาเผา คำนวณจาก "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (AP-42) the U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

7. การประเมินผลการพัฒนาตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

- การประเมินผลด้านเทคนิคการผลิต/ประสิทธิภาพ

จากการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ พบว่าโรงงานใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 1,000 – 1,100°C และไม่มีกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเคลือบ ของเสียจากกระบวนการเผาจึงเกิดเป็นขี้เถ้าในปริมาณมาก โรงงานมีความสนใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดด้วยการนำขี้เถ้าจากกระบวนการเผากลับมาใช้ใหม่ โดยการทำเป็นน้ำเคลือบขี้เถ้าเพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้า ผลการวิจัยได้สูตรเคลือบดังตารางที่ 7-5 และลักษณะเคลือบหลังเผาดังภาพที่ 7-19 ที่ได้แสดงไว้ใน*ข้อที่ 6. การดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด*

- การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม

การที่ทางโรงงานไม่ได้นำขี้เถ้ามาใช้งาน ทำให้เศษขี้เถ้าในเตาเผาจะถูกกวาดมารวมกันเพื่อรอการนำไปกำจัด โดยคนงานจะร่อนแยกถ่านไม้ออกก่อน เพื่อนำไปใช้งานหรือขาย ส่วนของขี้เถ้านั้นเกิดเป็น

มลภาวะฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงาน เป็นผลเสียต่อสุขภาพคนงาน การนำขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ จึงจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นผลดีต่อสุขอนามัยของคนงาน โดยจากสมดุลมวลกระบวนการผลิตก่อนการดำเนินงานพบว่า เกิดเป็นขี้เถ้าไม้รวมในปริมาณ 0.0036 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ โดยภายหลังการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด เกิดเป็นขี้เถ้าไม้รวมในปริมาณ 0.0025 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ ลดลง 0.0011 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ คิดเป็นปริมาณขี้เถ้าที่ลดลง 30.56% ดังสมดุลมวลกระบวนการผลิตที่ได้แสดงไว้ใน*ข้อที่ 6. การวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น* คิดเป็นปริมาณของเสียที่ลดลง

ปริมาณของเสียก่อนการปรับปรุง = 1.2651 กก./กก.ผลิตภัณฑ์

ปริมาณของเสียหลังการปรับปรุง = 1.2054 กก./กก.ผลิตภัณฑ์

คิดเป็นปริมาณของเสียที่ลดลง = 5.77%

- การประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์

การนำเคลือบขี้เถ้ามาประยุกต์ใช้งาน จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าด่านเกวียน อีก 30-50% การปรับปรุงตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด โรงงานต้องจัดหาอุปกรณ์และคนงาน ดังต่อไปนี้

- กระบอกตวงพลาสติกขนาด 100mL ราคา 115 บาท สำหรับวัดความหนาแน่นน้ำเคลือบ
- Ford Viscosity Cups ขนาด 100mL ราคา 12,000 บาท สำหรับวัดการไหลตัวของน้ำเคลือบ
- เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้นขนาด 30 กิโลกรัม ราคา 9,000 บาท สำหรับชั่งวัตถุดิบ
- หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม จำนวน 1 เครื่อง ราคา 98,975 บาท สำหรับบดผสมเคลือบ
- ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท เพื่อกรองคัดแยกขนาดของดินและขี้เถ้าสำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ
- ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท

โดยปัจจุบัน โรงงานมีปริมาณขี้เถ้าประมาณ 140 ก.ก./เดือน ซึ่งนำมาใช้งานประมาณ 40 กก. ผลิตเป็นน้ำเคลือบได้เพียงพอกับกำลังการผลิตของโรงงาน 2,000 ก.ก./เดือน สำหรับการผลิตกระถางเคลือบจำนวน 8,000 ใบ ราคาขายกระถางไม่เคลือบ ใบละ 40 บาท โดยถ้าเป็นกระถางเคลือบ ราคาขายเพิ่มขึ้นเป็นใบละ 60 บาท (ประมาณที่ราคาต่ำสุด)

ตารางที่ 7-7 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

รายการ	ผลตอบแทน/การลงทุน
ผลตอบแทน กำไรจากการขายกระถางเคลือบ ที่เพิ่มขึ้น (ราคาขายใหม่ – ราคาขายเก่า) x ปริมาณการขาย (60 – 40) x 8,000	160,000 บาท
รวมผลตอบแทน	**160,000 บาท**
การลงทุน ค่าอุปกรณ์การเตรียมเคลือบ (Fixed Cost) กระบอกตวงพลาสติก ราคา 115 บาท Ford Viscosity Cups ราคา 12,000 บาท เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้น ราคา 9,000 บาท หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท	124,590 บาท
ค่าสาธารณูปโภค (Variable Cost) ค่าไฟฟ้า หม้อบด 1 แรงม้า กำลังของมอเตอร์ 0.746 kWh ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 3 บาท เป็นค่าไฟฟ้าชั่วโมงละ 2.24 บาท ใช้ไฟฟ้า 6 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 15 วัน/เดือน เป็นค่าไฟ/เดือน	201.42 บาท/เดือน
ค่าวัตถุดิบ ต้นทุนวัตถุดิบ 63.6 บาท/กก. ผลิตน้ำเคลือบ 2,000 กก./เดือน	127,200 บาท/เดือน
รวมการลงทุน	**251,991.42 บาท**
ระยะเวลาคืนทุน	**124,590** **(160,000-127,401.42)** **= 3.82 เดือน**

การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ มีการลงทุนค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ 124,590 บาท และค่าใช้จ่ายวัตถุดิบและสาธารณูปโภคต่อเดือน 127,401.42 บาท ผลตอบแทน 160,000 บาท/เดือน ทำให้มีระยะเวลาคืนทุน 3.82 เดือน เป็นแนวทางการปรับปรุงที่คุ้มค่าในการลงทุน โดยควรทำการศึกษาตลาดและแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์กับการลงทุนตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด

โรงงานเที่ยงเจริญดินเผา

1. ข้อมูลทั่วไป

ที่อยู่ นางจำปา เบี๊ยกระโทก (ประธานด่านกลาง)
เลขที่ 3 ม. 1 ต.ด่านเกวียน อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา

โทรศัพท์ 044 375 355, 089 848 0285 **โทรสาร** -180,000 บาท

ผลิตภัณฑ์ แจกัน ตุ๊กตา และของตกแต่งสวนรูปสัตว์

ตลาด วางขายหน้าโรงงาน ร้านค้าชุมชน และจัดส่งทั่วประเทศ

กำลังการผลิต ประมาณ 3,000-5,000 ชิ้น/เดือน

จำนวนคนงาน ประมาณ 10 คน

กระบวนการผลิต

เนื้อดิน โรงงานใช้วัตถุดิบดินท้องถิ่น จัดซื้อดินเหนียวเดือนละ 25 คันรถ ดินทราย เดือนละ 12 คันรถ ใช้รถอีแต๋นในการขนส่งดิน เป็นน้ำหนักดิน/ดินทราย 2 ตัน/เที่ยว ค่าขนส่ง 400 บาท/เที่ยว

การเตรียมเนื้อดิน ทำโดยการผสมดินกับทรายในอัตราส่วน ดิน:ทราย = 2:1 ใช้ดินและทรายตามที่ได้รับ ไม่มีการบดย่อยหรือการคัดแยกการกรองขนาดโดยตะแกรงกรอง บ่อหมักดินขนาด กว้าง × ยาว × ลึก = 2×2×1 เมตร หมักดินผสมทิ้งไว้ในบ่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำขึ้นมาพักไว้ก่อน แล้วจึงทำการโม่หยาบผ่านเครื่องรีดดินจำนวน 2-3 รอบ จนได้ความเหนียวที่ต้องการ พักดินทิ้งไว้รอการนำไปใช้งาน คลุมไว้ด้วยผ้าพลาสติก

การขึ้นรูป วิธีการขึ้นรูปหลักคือการกดอัดลงในแบบพิมพ์ ทิ้งไว้ในแบบเป็นเวลา 1 คืน แล้วจึงถอดออกจากแบบและทำการตกแต่ง ชิ้นงานขึ้นรูปเสียหายและเศษดินจะเก็บรวบรวมนำไปใส่บ่อหมัก เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

การอบแห้ง หลังจากขึ้นรูป ชิ้นงานจะถูกวางผึ่งลมภายในพื้นที่โรงเรือนของโรงงาน เป็นเวลาประมาณ 2-3 วัน แล้วแต่ขนาดและสภาพภูมิอากาศ แล้วจึงทำการแกะลายและตกแต่งชิ้นงาน ผึ่งลมทิ้งไว้อีกประมาณ 1 อาทิตย์ ก่อนนำไปเผา

การเคลือบ โรงงานไม่ได้ทำการเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำเคลือบ การตกแต่งจะใช้สีน้ำทาบ้านสีขาวทารองพื้น แล้วใช้สีอะคริลิคพ่นหรือทาลงบนผิวชิ้นงาน และทาทับด้วยแลคเกอร์เพื่อเพิ่มความเงางาม

การเผา เตาดินของโรงงานมีขนาด กว้าง × ยาว × สูง = 2×6×2 เมตร ระยะเวลาการเผาประมาณ 6-7 วัน เฉลี่ยเผาเดือนละ 4 เตา ใช้ไม้ฟืนในการเผา โดยใช้ฟืน 4 คันรถ/เตา นำไปตกแต่งตามรูปแบบ ส่วนของเสียจากการเผา จะทำการคัดแยก ถ้าสามารถซ่อมแซมได้ จะใช้กาวซีเมนต์ในการซ่อมแซมแล้วทาสีตกแต่งทับรอยซ่อม ของเสียที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้จะนำไปทิ้งเพื่อถมที่

ปัญหา 1) โรงงานมีของเสียหลังเผา ประมาณ 10% ที่ต้องซ่อมแซมเพื่อขาย

2) โรงงานเป็นกลุ่มชุมชนที่ร่วมกันผลิต มีการขนย้ายชิ้นงานบ่อยครั้ง เกิดโอกาสที่ของเสียหายได้

ความต้องการ 1) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ การใช้เคลือบขี้เถ้า

2) การลดของเสีย

ภาพที่ 8-1 เครื่องรีดดินของโรงงาน

ภาพที่ 8-2 การกดแบบเพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

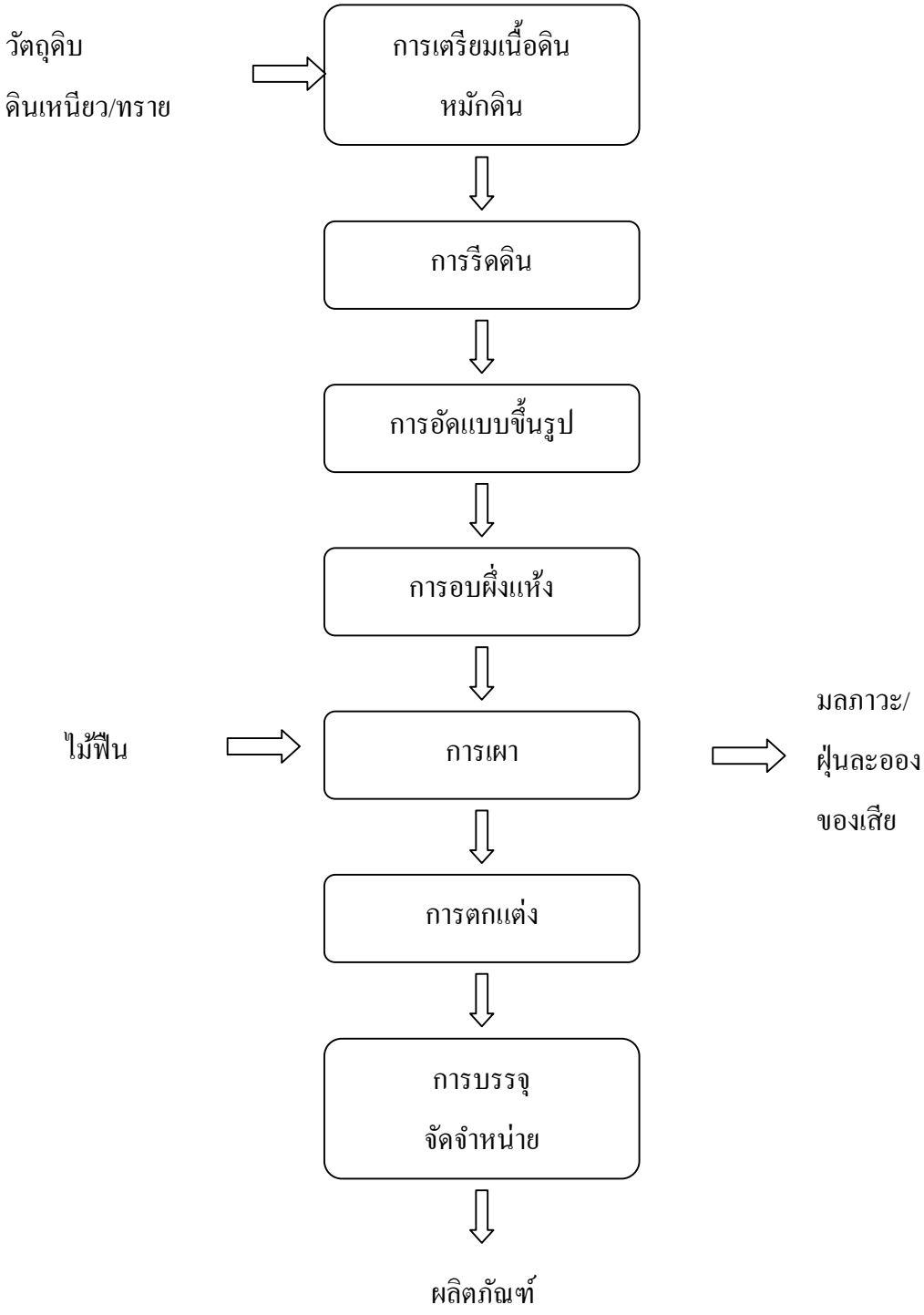
ภาพที่ 8-3 การตกแต่งผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้ว

ภาพที่ 8-4 การทาสีตกแต่งผลิตภัณฑ์

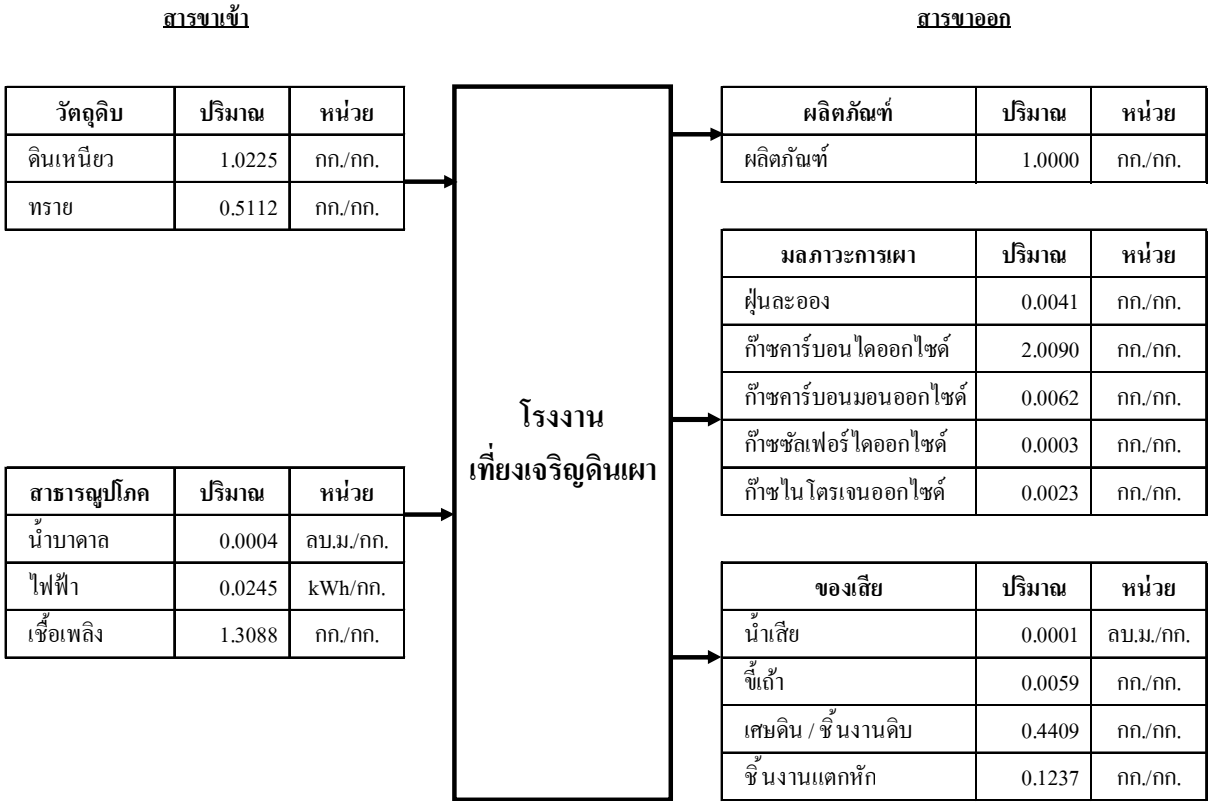
ภาพที่ 8-5 การเผาของโรงงาน

2. สมดุลมวลผลิตภัณฑ์ (Mass balance)

1) กระบวนการผลิต



2) สมดุลมวลกระบวนการผลิต



วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ดินเหนียว	1.0225	กก./กก.
ทราย	0.5112	กก./กก.

สาธารณูปโภค	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0004	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.0245	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	1.3088	กก./กก.

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะการเผา	ปริมาณ	หน่วย
ฝุ่นละออง	0.0041	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	2.0090	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.0062	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0003	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.0023	กก./กก.

ของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.0001	ลบ.ม./กก.
ขี้เถ้า	0.0059	กก./กก.
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	0.4409	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.1237	กก./กก.

หมายเหตุ:

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นการใช้งานรวมกันของโรงงานและที่พักอาศัย

2. ปริมาณมลภาวะทางอากาศจากปล่องเตาเผา คำนวณจาก "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (AP-42) the U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

3. ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

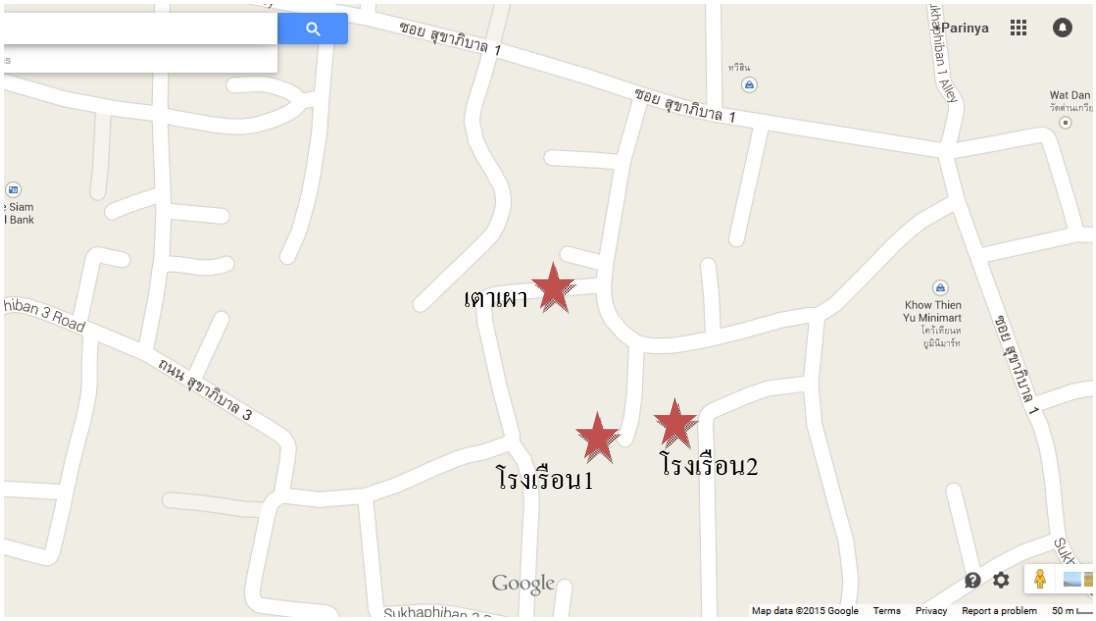
ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดจะเน้นการลดของเสีย/มลภาวะที่แหล่งกำเนิด เน้นที่การลดปริมาณการใช้ทรัพยากรลง ของเสียที่เกิดขึ้นควรจะต้องนำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ลดปริมาณของเสียและลดต้นทุนของการใช้วัตถุดิบลง

1) การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

ในกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ของโรงงาน ใช้ไม้ฟืนเป็นจำนวนมากเป็นเชื้อเพลิง เกิดเป็นขี้เถ้าจากการเผาในปริมาณสูงพอสมควร ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด โดยการนำของเสียประเภทขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาผสมเป็นเคลือบขี้เถ้า จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สำเร็จ เป็นข้อได้เปรียบในการลดการกำจัดของเสียออกจากโรงงาน

2) การจัดวางผังโรงงานใหม่ที่ช่วยลดระยะการเคลื่อนย้ายวัสดุ

โรงงานตั้งอยู่ในชุมชนด่านกลาง ที่ใช้พื้นที่บ้านในการทำการผลิต ทำให้โรงงานมีผังการผลิตที่ขาดความต่อเนื่อง มีการเคลื่อนย้ายวัสดุ ชิ้นงาน และผลิตภัณฑ์บ่อยครั้ง โดยจากการหมักดินที่โรงเรือน1 จะนำไปขึ้นรูปที่โรงเรือน1 และโรงเรือน2 แล้วจึงนำไปเผาที่เตาเผา ก่อนนำกลับมาที่โรงเรือนทั้ง 2 แห่งเพื่อทำการตกแต่ง ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ ทางโรงงานควรมีการจัดผังโรงงานใหม่ ที่ช่วยลดระยะการเคลื่อนย้ายวัสดุ



ภาพที่ 8-8 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่โรงงาน

4. การศึกษาความเป็นไปได้ของทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

1) การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

- ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

จากการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ พบว่าโรงงานใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 1100°C และไม่มีกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเคลือบ ของเสียจากกระบวนการเผาจึงเกิดเป็นขี้เถ้าในปริมาณมาก โรงงานมีความสนใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาด ด้วยการนำขี้เถ้าจากกระบวนการเผากลับมาใช้ใหม่ โดยการทำเป็นน้ำเคลือบขี้เถ้าเพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้า

กระบวนการเตรียมน้ำเคลือบขี้เถ้า สามารถดำเนินการได้โดย

(1) นำขี้เถ้าที่ได้จากเตาเผา มาร่อนแยกเศษตะกอนหรือถ่านไม้ออกให้หมด

(2) เตรียมวัตถุดิบอื่นๆ ที่ใช้ในการเตรียมเคลือบ ประกอบด้วย Frit 360 เพื่อเป็นโครงสร้างเคลือบที่มีอุณหภูมิต่ำ $BaCO_3$ ZnO Dolomite และเศษแก้ว เพื่อเป็นฟลักซ์ช่วยให้เนื้อเคลือบหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากขี้เถ้านั้นเป็นฟลักซ์ไฟกลางที่หลอมตัวอุณหภูมิ 1,200°C เนื่องจากมี SiO_2, CaO, Al_2O_3, K_2O, Na_2O และ MgO เป็นองค์ประกอบหลัก วัตถุดิบดินเลนและเบนโทไนต์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยกระจายตัว

นอกจากนี้ทางโรงงานต้องให้เคลือบมีสีด้วย จึงจะเติมสีออกไซด์ต่างๆ เช่น Fe_2O_3 CuO ลงไปอีกประมาณ 10% โดยน้ำหนัก

(3) ทำการบดผสมวัตถุดิบด้วยหม้อบด (Pot Mill) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ร่อนน้ำเคลือบผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช และปรับความหนาแน่นของน้ำเคลือบให้เท่ากับ 1.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และอัตราการไหลตัวที่ 10-15 วินาที

(4) นำชิ้นงานที่ต้องการตกแต่ง มาชุบเคลือบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,000°C ตามอุณหภูมิปกติของโรงงาน

ตารางที่ 8-1 สูตรเคลือบอุณหภูมิต่ำเผาที่ 1000°C

วัตถุดิบ	Wt. %
Frit 360 (Ferro)	60
$BaCO_3$	15
ฟลักซ์	10
Borax	6
ขี้เถ้าไม้รวม	7
ดินเลน	2

- ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันทางโรงงานไม่ได้นำขี้เถ้ามาใช้งานแต่อย่างใด เศษขี้เถ้าในเตาเผาจะถูกกวาดมารวมกันเพื่อรอการนำไปกำจัด โดยการทิ้งถมที่ เกิดเป็นมลภาวะฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงาน เป็นผลเสียต่อสุขภาพคนงาน การนำขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ จึงจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นผลดีต่อสุขอนามัยของคนงานในโรงงาน

- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

การนำเคลือบขี้เถ้ามาประยุกต์ใช้งาน จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าด่านเกวียน อีก 30-50% การปรับปรุงตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด โรงงานต้องจัดหาอุปกรณ์และคนงาน ดังต่อไปนี้

- กระบอกตวงพลาสติกขนาด 100 ml ราคา 115 บาท สำหรับวัดความหนาแน่นน้ำเคลือบ
- Ford Viscosity Cups ขนาด 100 ml ราคา 12,000 บาท สำหรับวัดการไหลตัวของน้ำเคลือบ
- เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้นขนาด 30 กิโลกรัม ราคา 9,000 บาท สำหรับชั่งวัตถุดิบ
- หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท สำหรับบดผสมเคลือบ
- ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท เพื่อกรองคัดแยกขนาดของดินและขี้เถ้าสำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ
- ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท

โดยปัจจุบัน โรงงานมีปริมาณขี้เถ้า 250 ก.ก./เดือน ผลิตเป็นน้ำเคลือบได้เพียงพอกับกำลังการผลิตของโรงงาน 750 ก.ก./เดือน สำหรับการผลิตของตกแต่งสวน ราคาขายชุดตกแต่งสวนแบบไม่เคลือบ ราคาตัวละ 550 บาท จำนวน 1,200 ตัว/เดือน โดยถ้าเป็นชุดตกแต่งสวนแบบเคลือบ ราคาขายเพิ่มขึ้นเป็นตัวละ 700 บาท (ประมาณที่ราคาต่ำสุด)

การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ มีระยะเวลาคืนทุนเพียง 0.89 เดือน นั่นทำให้เป็นแนวทางการปรับปรุงที่ควรลงทุน โดยควรทำการศึกษาตลาดและแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์กับการลงทุนตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด และที่ปรึกษา ได้นำตัวอย่างขี้เถ้าของโรงงาน มาทำการทดสอบการเตรียมน้ำเคลือบ เพื่อนำไปทดลองผลิตจริงที่โรงงาน โดยอยู่ในขั้นตอนของการผลิตน้ำเคลือบเพื่อนำไปทดลองที่โรงงาน

ตารางที่ 8-2 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

รายการ	ผลตอบแทน/การลงทุน
ผลตอบแทน	
กำไรจากการขายชุดตกแต่งสวน ที่เพิ่มขึ้น	
(ราคาขายใหม่ – ราคาขายเก่า) x ปริมาณการขาย	
(700 – 550) x 1,200	180,000 บาท
รวมผลตอบแทน	**180,000 บาท**
การลงทุน	
ค่าอุปกรณ์การเตรียมเคลือบ (Fixed Cost)	124,590 บาท
กระบอกตวงพลาสติก ราคา 115 บาท	
Ford Viscosity Cups ราคา 12,000 บาท	
เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้น ราคา 9,000 บาท	
หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท	
ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท	
ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท	
ค่าสาธารณูปโภค (Variable Cost)	
ค่าไฟฟ้า หม้อบด 1 แรงม้า	201 บาท/เดือน
กำลังของมอเตอร์ 0.746 kWh ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 3 บาท เป็นค่าไฟฟ้าชั่วโมงละ 2.24 บาท ใช้ไฟฟ้า 6 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 15 วัน/เดือน เป็นค่าไฟ/เดือน	
ค่าวัตถุดิบ	
ต้นทุนวัตถุดิบ 54 บาท/กก. ผลิตน้ำเคลือบ 750 กก./เดือน	40,500 บาท/เดือน
รวมการลงทุน	**165,291 บาท**
ระยะเวลาคืนทุน	**(124,590/(180,000-40,701) = 0.89 เดือน**

2) การจัดวางผังโรงงานใหม่ที่ช่วยลดระยะการเคลื่อนย้ายวัสดุ

- ความเป็นไปได้เชิงเทคนิค

บริเวณพื้นที่ของทางโรงงานที่มีจำกัด ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายวัสดุบ่อยครั้ง การจัดผังโรงงานใหม่นั้นจะช่วยลดปัญหาลงได้ โดยมีการใช้งานโรงเรือนเดิม การลงทุนทำโรงเรือนในบริเวณของเตาเผาเพิ่ม และให้มีการจัดเก็บฟืนใหม่ เพื่อเพิ่มพื้นที่การขึ้นรูปและการตกแต่ง ลดการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน

ภาพที่ 8-9 ลักษณะพื้นที่ปัจจุบันของบริเวณเตาเผาที่ควรทำการปรับปรุง

- ความเป็นไปได้เชิงสิ่งแวดล้อม

การปรับปรุงพื้นที่ จะเป็นผลดีต่อการขนย้ายต่างๆ ลดการเกิดของเสียเนื่องจากการขนย้าย ลดของเสียที่จะต้องถูกนำไปกำจัดทิ้ง

- ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์

การปรับปรุงแผนผัง สามารถดำเนินการได้โดยการปรับพื้นที่ของไม้ฟืนให้เหมาะสม จัดพื้นที่โณงเรือนที่มีอยู่แล้วให้สะอาด เหมาะแก่การใช้งาน เป็นการปรับปรุงที่ไม่ต้องลงทุน สามารถดำเนินการได้ทันที ในส่วนของการปรับปรุงที่ต้องลงทุน จะมีการจัดการพื้นที่เพื่อสร้างเป็นอาคารโรงเรือน ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง จากราคาประเมินค่าก่อสร้างอาคารโดยมูลนิธิประเมินค่าทรัพย์สินแห่งประเทศไทย (องค์กรสาธารณประโยชน์) ปี 2556 ราคาประเมินค่าก่อสร้างโกดัง/โรงงานทั่วไป เท่ากับ 6,110 บาท/ตารางเมตร โดยการก่อสร้างอาคารสำหรับพื้นที่ 30 ตารางเมตร คิดเป็นต้นทุน 183,300 บาท

การสูญเสียจากการขนย้ายชิ้นงานดิบและชิ้นงานเผา เท่ากับ 5% ของกำลังการผลิต คิดเป็นชุดตกแต่งสวนแบบไม่เคลือบ ราคาตัวละ 550 บาท จำนวน 15 ตัว/เดือน เป็นผลตอบแทนที่ลดการเกิดของเสียมูลค่า 8,250 บาท/เดือน

ระยะเวลาคืนทุน คิดจากมูลค่าการลงทุนต่อผลตอบแทนที่ได้รับ

ระยะเวลาคืนทุน = 183,300 / 8,250

= 22.21 เดือน

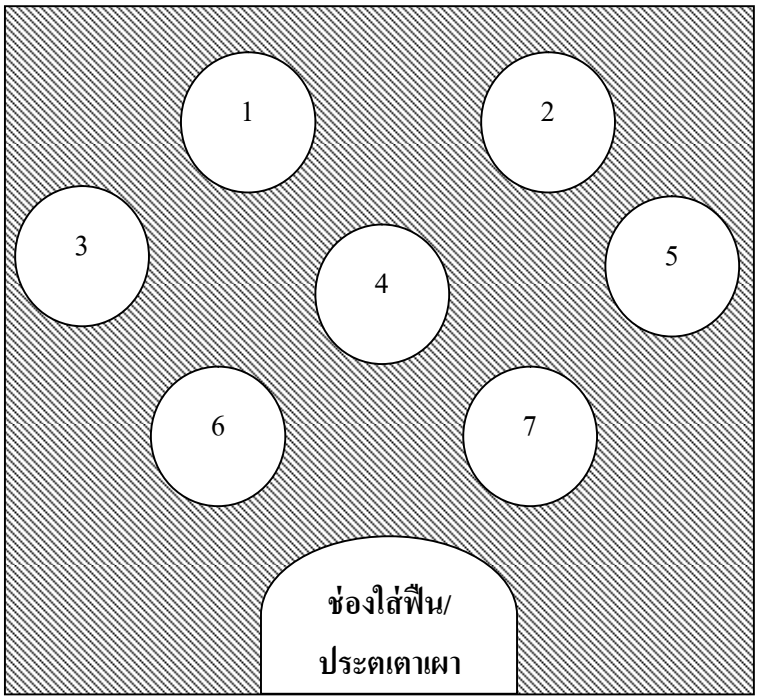
ระยะเวลาคืนทุนของการปรับปรุงตามหลักเทคโนโลยีสะอาด โดยการจัดวางผังโรงงานใหม่ที่ช่วยลดระยะการเคลื่อนย้ายวัสดุ คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 22.21 เดือน หรือประมาณ 1 ปี 10 เดือน คิดเป็นการลงทุนที่ควรพิจารณาในลำดับต่อมา เพราะมีระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนานกว่า 1 ปี

5. ผลการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

การดำเนินการประยุกต์ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดโดยการนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในครั้งนี้ เป็นการทดลองสูตรเคลือบขี้เถ้าไม้ฟืนสำหรับเนื้อดินปั้นด่านเกวียนสูตรต่างๆ เพื่อหาความเหมาะสมและสอดคล้องในการนำไปใช้ในการผลิต โดยสูตรเคลือบที่ทำการทดลอง จะต้องสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1,000 – 1,050^{o}C โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1) <u>การทดสอบอุณหภูมิเผาของโรงงาน</u>

เพื่อให้สูตรเคลือบจากขี้เถ้าไม้ฟืนที่จะทำการทดลอง มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการเผาของโรงงาน จึงทำการทดสอบหาอุณหภูมิเผาที่แท้จริงของโรงงาน โดยวาง Buller Ring ในตำแหน่งต่างๆ เพื่อทดสอบอุณหภูมิภายในเตาเผาของโรงงานแต่ละตำแหน่ง ผลการทดสอบได้ค่าอุณหภูมิดังตารางที่ 8-3



ภาพที่ 8-10 ตำแหน่งการวาง Buller Ring ภายในเตาเผาของโรงงาน

ภาพที่ 8-11 Buller Ring ที่ทำการทดสอบภายในเตาเผาของโรงงาน

ตารางที่ 8-3 อุณหภูมิภายในเตาเผาของโรงงานเที่ยงเจริญดินเผา

ตำแหน่งวาง Buller Ring	อุณหภูมิ (°C)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	Buller Ring แตก	1,030
2	Buller Ring แตก	1,030
3	Buller Ring แตก	1,058
4	Buller Ring แตก	1,005
5	970	1,058
6	1,062	1,018
7	983	1,026
ค่าเฉลี่ย	1,005	1,032.14

จากผลการทดสอบอุณหภูมิเผาภายในเตาเผา พบว่าเตาเผามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิประมาณ 1,005 °C โดยการทดสอบมี Buller Ring แตกในหลายตำแหน่ง จึงได้ทำการทดสอบครั้งที่ 2 โดยเลือกใช้ Buller Ring สำหรับช่วงอุณหภูมิ 850 – 1,100°C การทดสอบครั้งที่ 2 พบว่าเตาเผามีช่วงอุณหภูมิที่สม่ำเสมอพอสมควร โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ 1,032.14°C ดังนั้นแล้วการทดลองน้ำเคลือบขี้เถ้า ของโรงงานเที่ยงเจริญดินเผา ควรจะต้องมีช่วงอุณหภูมิการหลอมตัวระหว่าง 1,000 – 1,050 °C

2) <u>การทำเคลือบขี้เถ้าในห้องปฏิบัติการ</u>

กระบวนการเตรียมน้ำเคลือบขี้เถ้า สามารถดำเนินการได้โดย

1) เก็บรวบรวมขี้เถ้าไม้ฟืนจากการเผาผลิตภัณฑ์ในเตาเผา มาทำการร่อนผ่านตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ เพื่อแยกถ่านไม้และสิ่งเจือปนออกให้หมด

2) ทำการเตรียมวัตถุดิบอื่นๆ สำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ ประกอบด้วย Frit 360 เพื่อทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเคลือบที่มีอุณหภูมิต่ำ $BaCO_3$ Sr_2CO_3 และเศษแก้ว เพื่อทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) ช่วยให้เนื้อเคลือบเกิดการหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำลง เนื่องจากขี้เถ้านั้นเป็นฟลักซ์ไฟกลางซึ่งหลอมตัวที่อุณหภูมิ 1,200°C เนื่องจากขี้เถ้ามี SiO_2, CaO, Al_2O_3, K_2O, NaO และ MgO เป็นองค์ประกอบหลัก และเตรียมวัตถุดิบประเภทดินเลนและเบนโทไนต์ เพื่อใช้เป็นสารช่วยกระจายตัว

3) นำวัตถุดิบมาชั่งน้ำหนักและผสมกันตามสัดส่วนสูตรเคลือบที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5-4 ทำการบดผสมวัตถุดิบด้วยหม้อบด (Pot Mill) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองน้ำเคลือบผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ปรับความหนาแน่นของน้ำเคลือบให้เท่ากับ 1.4 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และอัตราการไหลตัวที่ 10-15 วินาที

4) ทำการชุบเคลือบชิ้นงานทดสอบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,050 °C ตามอุณหภูมิการเผาปกติของโรงงาน ในเตาทดลอง

ชิ้นงานทดสอบ ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบด้วยเนื้อดินด่านเกวียน ตามลักษณะกระบวนการเผาของด่านเกวียน

ตารางที่ 8-4 สูตรเคลือบขี้เถ้าอุณหภูมิเผาที่ 1000°C (%wt)

วัตถุดิบ	สูตร 8-1
ฟริท 360 (Ferro)	62
แบเรียมคาร์บอเนต	10
ดินขาวระนอง	3
ขี้เถ้าไม้รวม	2
เศษแก้ว	5
ฟลักซ์	4
บอแรกซ์	6
คอปเปอร์ออกไซด์	5
เฟอริคออกไซด์	3
เบนโทไนต์	3

จากการทดลองเผาเคลือบขี้เถ้าในห้องปฏิบัติการ ทำการสังเกตและบันทึกลักษณะของผิวเคลือบบนชิ้นงานหลังจากชุบเคลือบ และลักษณะพื้นผิวเคลือบหลังการเผา ความมัน/ด้าน/ใส/ทึบ การหลอมตัว และสีที่ได้จากการเผา โดยหลังชุบเคลือบ พบว่าชิ้นงานทดสอบแตกร้าวหลังชุบเคลือบ สาเหตุเกิดจากการชุบบนชิ้นงานทดสอบที่แห้งเกินไป เมื่อทำการชุบน้ำเคลือบ ชิ้นทดสอบเกิดการดูดซับน้ำเคลือบเร็ว ทำให้ความชื้นไม่กระจายทั่วไปในเนื้อดินชิ้นงานทดสอบ ทำให้ส่วนที่มีความชื้นมากเกิดการแตกแยกชั้น เมื่อนำไปเผาชิ้นงานจะแตกหักเสียหาย จากปัญหาชิ้นงานทดสอบดูดน้ำเร็วเกินไปทำให้ชิ้นงานทดสอบหลังชุบเคลือบแตกหักเสียหาย การทดลองจึงจะต้องทำการผึ่งชิ้นงานทดสอบให้มีความชื้นไม่ต่ำกว่า 15% ในการชุบเคลือบเพื่อลดการปัญหาการแตกร้าวของชิ้นงานทดสอบ

ลักษณะของเคลือบทดลองสูตรที่ 8-1 ที่ได้จากการเผานั้น พบว่าเนื้อเคลือบเกิดการหลุดร่อนออกจากชิ้นทดสอบระหว่างเผา ทำให้ผิวเคลือบเกิดการหดตัว เคลือบร่น เปิดให้เห็นผิวเนื้อดิน ลักษณะของเนื้อเคลือบหลังเผามีสีเขียวเข้ม โดยพื้นผิวเคลือบหลังเผาเป็นดังรูปที่ 8-12

ภาพที่ 8-12 ลักษณะผิวเคลือบ สูตรเคลือบ 8-1 หลังเผาที่อุณหภูมิ 1,000 °C

ทำการปรับปรุงสูตรเคลือบใหม่ สูตรที่ 8-2 ดังตารางที่ 8-5 โดยยังใช้ Frit 360 ที่เป็นฟริตอุณหภูมิต่ำ เป็นวัตถุดิบหลัก ใช้ขี้เถ้าไม้รวม เศษแก้วโซดาไลม์ และดินขาวระนอง เป็นโครงสร้างของเคลือบ วัตถุดิบฟลักซ์ที่ใช้คือ แบเรียมคาร์บอเนต ซิงค์ออกไซด์ และบอแรกซ์ ผสมดินด่านเกวียนเป็นตัวช่วยในการกระจายตัวของน้ำเคลือบ

ตารางที่ 8-5 สูตรเคลือบขี้เถ้าอุณหภูมิเผาที่ 1000°C (%wt)

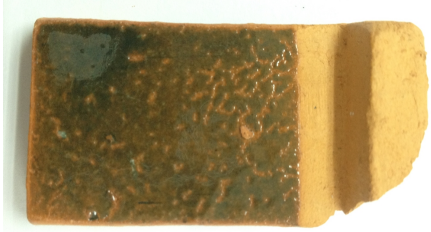
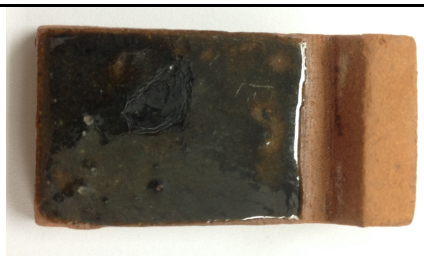
วัตถุดิบ	สูตร 8-2
ฟริท 360 (Ferro)	62
แบเรียมคาร์บอเนต	12
ดินขาวระนอง	2
ขี้เถ้าไม้รวม	2
ฟลักซ์	4
เศษแก้ว	3
บอแรกซ์	8
คอปเปอร์ออกไซด์	4
เฟอริคออกไซด์	2
ดินด่านเกวียน	1

ภาพที่ 8-13 ลักษณะผิวเคลือบบนชิ้นงานทดสอบที่เกิดการหลุดร่อนก่อนการเผาของสูตรเคลือบ 8-2

เมื่อชุบเคลือบบนชิ้นงานทดสอบที่ได้ควบคุมความชื้นของชิ้นงานให้อยู่ระหว่าง 15-20 % แล้วปล่อยให้แห้งในอุณหภูมิปกติ พบว่าเกิดการหลุดร่อนของชั้นเคลือบดังรูปที่ 8-13 เมื่อพิจารณาจากสูตรเคลือบแล้วนั้น สูตรเคลือบยังไม่มีส่วนผสมของสารให้ความเหนียวเพื่อให้เนื้อเคลือบยึดเกาะกับชิ้นทดสอบได้ จึงได้เติมสารละลาย CMC ในสูตรเคลือบ โดยได้ทดลองเติมสารละลาย CMC ในสัดส่วน 0.1 0.2 และ 0.3% เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสม โดยพบว่าการเติมสารละลาย CMC ในสูตรเคลือบ ทั้ง 3 สัดส่วน เนื้อเคลือบเกาะติดได้ดีบนผิวชิ้นงานทดสอบ เมื่อแห้งไม่เกิดการหลุดร่อนในอุณหภูมิห้อง

ทำการเผาชิ้นงานทดสอบที่ชุบเคลือบแล้วที่อุณหภูมิ 1,000°C ตามอุณหภูมิการเผาของโรงงานในเตาทดลอง บันทึกผลการเผาได้ตามตารางที่ 8-6

ตารางที่ 8-6 ผลการเผาสูตรเคลือบขี้เถ้า สูตรที่ 8-2 อุณหภูมิเผาที่ 1000°C

สูตรเคลือบ	ลักษณะเคลือบ	ผลการเผา
8-2 CMC 0.1%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานเพียงบางส่วน อาจเป็นเพราะใช้ปริมาณ CMC ผสมในสูตรเคลือบไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการหลุดร่อนระหว่างเผา
8-2 CMC 0.2%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานได้ดีขึ้น เคลือบใส เกิดการรานตัวของเคลือบเล็กน้อย
8-2 CMC 0.3%		เนื้อเคลือบติดบนชิ้นงานได้ดีที่สุด เคลือบสุกตัวดี

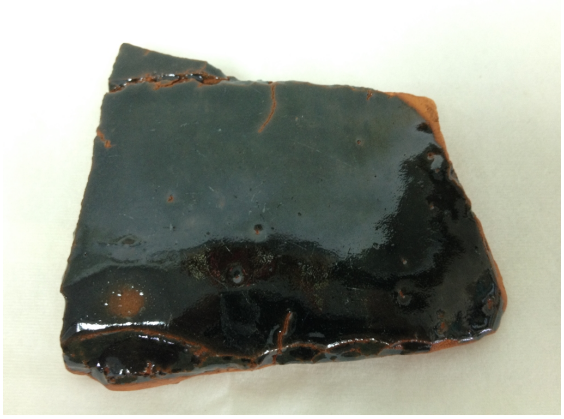
พบว่า สูตรเคลือบ 8-2 นี้ให้ผลการเผาเป็นที่น่าพึงพอใจ การเติมสารละลาย CMC ที่ 0.3% โดยน้ำหนักแห้งในน้ำเคลือบ นั้นเพียงพอต่อให้เนื้อเคลือบยึดเกาะกับชิ้นงานทดสอบ ทั้งนี้ การเติมสาระละลาย CM มากยิ่งขึ้น จะทำให้เคลือบยิ่งยึดเกาะได้ดีขึ้น แต่ไม่ควรใช้มากเกิน 1% โดยน้ำหนักแห้ง เนื่องจากจะทำให้เคลือบเกิดการหดตัวมากเกินไป อาจจะแตกร่อนเป็นเกล็ดขณะที่แห้งหรือเกิดปัญหาเคลือบหดตัวรวมกันเป็นกระจุกภายหลังเผา (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์; ตำหนิเซรามิกและแนวทางแก้ไข, หน้า 27) และสารละลาย CMC นั้นมีราคาค่อนข้างสูง

3) <u>การนำเคลือบขี้เถ้าไปทดลองในโรงงาน</u>

ได้ทำการเตรียมเคลือบปริมาณ 5 กิโลกรัม เพื่อนำไปทดลองในโรงงาน โดยชุบเคลือบบนชิ้นงานของโรงงาน และทำการเผาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้รับในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 8-14 การชุบเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

ภาพที่ 8-15 การชุบเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน



ภาพที่ 8-16 ผลการเผาเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

ผลการทดลองโรงงานดังภาพที่ 8-16 พบว่าผลิตภัณฑ์ของโรงงานสามารถเคลือบได้ดี เนื้อเคลือบเกิดการสุกตัวตามอุณหภูมิการเผาของโรงงาน ลักษณะพื้นผิวเคลือบหลังเผา ได้เคลือบใสที่มีความมันวาวสวยงาม เกิดฟองอากาศบนผิวเคลือบเล็กน้อย เนื่องจากกระบวนการเตรียมดินของโรงงาน ขาดระบบการรีดดินที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ยังมีอากาศหลงเหลืออยู่ในเนื้อดิน เมื่อเผา จึงเกิดเป็นฟองอากาศที่ยังไม่สามารถดันออกจากผิวเคลือบได้

เพื่อปรับปรุงการตกแต่งผลิตภัณฑ์ของโรงงาน จึงได้ทำการทดลองชุบเคลือบกับผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น ได้แก่ตุ๊กตาดินปั้น ที่ขึ้นรูปโดยวิธีการกดอัดในแม่แบบปูนปลาสเตอร์ ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจ ผลการเผาเป็นไปดังภาพที่ 8-17

ภาพที่ 8-17 ผลการเผาเคลือบบนชิ้นงานผลิตภัณฑ์ของโรงงาน

6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น

การประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการนำของเสียกลับมาใช้งานใหม่นั้น การนำของเสียประเภทเศษดิน/ชิ้นงานดิบ กลับไปผสมในกระบวนการเตรียมดินเป็น Common Practice ที่ควรทำในทุกโรงงาน เพราะยังไม่ผ่านการเผา สามารถนำมาใช้งานใหม่ได้ 100% และการประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด โดยการนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ โดยการดำเนินงาน จะได้นำมาผสมเคลือบขี้เถ้า เป็นวิธีการในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์สำเร็จ เป็นข้อได้เปรียบในการลดการกำจัดของเสียออกจากโรงงาน โดยการนำของเสียขี้เถ้าไม้ฟืนกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ปริมาณการเกิดของเสียประเภทขี้เถ้าไม้ ต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลง ดังสมดุลมวลกระบวนการผลิต ต่อไปนี้

สารขาเข้า **สารขาออก**

วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
ดินเหนียว	0.9851	กก./กก.
ทราย	0.4922	กก./กก.
ฟริท 360	0.0381	กก./กก.
แบเรียมคาร์บอเนต	0.0074	กก./กก.
ดินขาวระนอง	0.0012	กก./กก.
ขี้เถ้าไม้	0.0012	กก./กก.
เศษแก้ว	0.0018	กก./กก.
สตรอนเทียมคาร์บอเนต	0.0025	กก./กก.
บอแรกซ์	0.0049	กก./กก.
คอปเปอร์ออกไซด์	0.0025	กก./กก.
เฟอริคออกไซด์	0.0012	กก./กก.
กาว CMC	0.0002	กก./กก.

สาธารณูปโภค	ปริมาณ	หน่วย
น้ำบาดาล	0.0004	ลบ.ม./กก.
ไฟฟ้า	0.0295	kWh/กก.
เชื้อเพลิง	1.2552	กก./กก.

โรงงาน
เที่ยงเจริญดินเผา

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณ	หน่วย
ผลิตภัณฑ์	1.0000	กก./กก.

มลภาวะการเผา	ปริมาณ	หน่วย
ฝุ่นละออง	0.0040	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	1.9268	กก./กก.
ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์	0.0059	กก./กก.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.0002	กก./กก.
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	0.0022	กก./กก.

ของเสีย	ปริมาณ	หน่วย
น้ำเสีย	0.0002	ลบ.ม./กก.
ขี้เถ้า	0.0044	กก./กก.
เศษดิน / ชิ้นงานดิบ	0.4154	กก./กก.
ชิ้นงานแตกหัก	0.1231	กก./กก.

หมายเหตุ:

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นการใช้งานรวมกันของโรงงานและที่พักอาศัย
2. ปริมาณมลภาวะทางอากาศจากปล่องเตาเผา คำนวณจาก "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (AP-42) the U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

7. การประเมินผลการพัฒนาตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด

- การประเมินผลด้านเทคนิคการผลิต/ประสิทธิภาพ

จากการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ พบว่าโรงงานใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 1,000 – 1,100°C และไม่มีกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการเคลือบ ของเสียจากกระบวนการเผาจึงเกิดเป็นขี้เถ้าในปริมาณมาก โรงงานมีความสนใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดด้วยการนำขี้เถ้าจากกระบวนการเผากลับมาใช้ใหม่ โดยการทำเป็นน้ำเคลือบขี้เถ้าเพื่อเพิ่มมูลค่าของสินค้า ผลการวิจัยได้สูตรเคลือบดังตารางที่ 8-5 และลักษณะเคลือบหลังเผาดังภาพที่ 8-16 และ 8-17 ที่ได้แสดงไว้ใน*ข้อที่ 5. การดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด*

- การประเมินผลด้านสิ่งแวดล้อม

จากการที่ทางโรงงานไม่ได้นำขี้เถ้ามาใช้งานแต่อย่างใด เศษขี้เถ้าในเตาเผาจะถูกกวาดมารวมกันเพื่อรอการนำไปกำจัด โดยคนงานจะร่อนแยกถ่านไม้ออกก่อน เพื่อนำไปใช้งานหรือขาย ส่วนของขี้เถ้านั้นเกิดเป็นมลภาวะฝุ่นฟุ้งกระจายในโรงงาน เป็นผลเสียต่อสุขภาพคนงาน การนำขี้เถ้ากลับมาใช้ใหม่ จึงจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นผลดีต่อสุขอนามัยของคนงานในโรงงาน โดยจากสมดุลมวลกระบวนการผลิตก่อนการดำเนินงานพบว่า เกิดเป็นขี้เถ้าไม้รวมในปริมาณ 0.0059 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ โดยภายหลังการดำเนินงานประยุกต์ทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด เกิดเป็นขี้เถ้าไม้รวมในปริมาณ 0.0044 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ ลดลง 0.0015 กก./กก.ผลิตภัณฑ์ คิดเป็นปริมาณขี้เถ้าที่ลดลง 25.42% ดังสมดุลมวลกระบวนการผลิตที่ได้แสดงไว้ใน*ข้อที่ 6. การวิเคราะห์ปริมาณ/คุณภาพของเสีย มลภาวะ ที่เกิดขึ้น* คิดเป็นปริมาณของเสียที่ลดลง

ปริมาณของเสียก่อนการปรับปรุง	=	2.1514 กก./กก.ผลิตภัณฑ์
ปริมาณของเสียหลังการปรับปรุง	=	2.0666 กก./กก.ผลิตภัณฑ์
คิดเป็นปริมาณของเสียที่ลดลง	=	8.49%

- การประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์

การนำเคลือบขี้เถ้ามาประยุกต์ใช้งาน จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าด่านเกวียน อีก 30-50% การปรับปรุงตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด โรงงานต้องจัดหาอุปกรณ์และคนงาน ดังต่อไปนี้

- กระบอกตวงพลาสติกขนาด 100mL ราคา 115 บาท สำหรับวัดความหนาแน่นน้ำเคลือบ
- Ford Viscosity Cups ขนาด 100mL ราคา 12,000 บาท สำหรับวัดการไหลตัวของน้ำเคลือบ
- เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้นขนาด 30 กิโลกรัม ราคา 9,000 บาท สำหรับชั่งวัตถุดิบ
- หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท สำหรับบดผสมเคลือบ
- ตะแกรงกรองขนาด 100 เมช ราคา 2,500 บาท เพื่อกรองคัดแยกขนาดของดินและขี้เถ้าสำหรับการเตรียมน้ำเคลือบ
- ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท

โดยปัจจุบัน โรงงานมีปริมาณขี้เถ้าประมาณ 230 ก.ก./เดือน ซึ่งนำมาใช้งานประมาณ 50 กก. ผลิตเป็นน้ำเคลือบได้เพียงพอกับกำลังการผลิตของโรงงาน 2,500 ก.ก./เดือน สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ตกแต่งสวน จำนวน 860 ตัว ราคาขายผลิตภัณฑ์ตกแต่งสวนไม่เคลือบ ตัวละ 500 บาท โดยถ้าเป็นผลิตภัณฑ์เคลือบ ราคาขายเพิ่มขึ้นเป็นตัวละ 700 บาท (ประมาณที่ราคาต่ำสุด)

ตารางที่ 8-7 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์

รายการ	ผลตอบแทน/การลงทุน
ผลตอบแทน	
กำไรจากการขายผลิตภัณฑ์ตกแต่งสวน ที่เพิ่มขึ้น	
(ราคาขายใหม่ – ราคาขายเก่า) x ปริมาณการขาย (700 – 550) x 1,200	180,000 บาท
รวมผลตอบแทน	**180,000 บาท**
การลงทุน	
ค่าอุปกรณ์การเตรียมเคลือบ (Fixed Cost)	124,590 บาท
กระบอกตวงพลาสติก ราคา 115 บาท	
Ford Viscosity Cups ราคา 12,000 บาท	
เครื่องชั่งดิจิตอลแบบตั้งพื้น ราคา 9,000 บาท	
หม้อบดขนาด 50 กิโลกรัม ราคา 98,975 บาท	
ตะแกรงกรองขนาด 100 เมซ ราคา 2,500 บาท	
ถังเก็บเคลือบขนาด 100 ลิตร 4 ถัง ราคาถังละ 500 บาท	
ค่าสาธารณูปโภค (Variable Cost)	
ค่าไฟฟ้า หม้อบด 1 แรงม้า	201.42 บาท/เดือน
กำลังของมอเตอร์ 0.746 kWh ค่าไฟฟ้า หน่วยละ 3 บาท เป็นค่าไฟฟ้า	
ชั่วโมงละ 2.24 บาท ใช้ไฟฟ้า 6 ชั่วโมงต่อวัน	
จำนวน 15 วัน/เดือน เป็นค่าไฟ/เดือน	
ค่าวัตถุดิบ	
ต้นทุนวัตถุดิบ 66.5 บาท/กก. ผลิตน้ำเคลือบ 2,500 กก./เดือน	166,250 บาท/เดือน
รวมการลงทุน	**291,041.42 บาท**
ระยะเวลาคืนทุน	**124,590**
	(180,000- 166,451.42)
	= 9.2 เดือน

การนำขี้เถ้าไม้ฟืนมาใช้ประโยชน์ มีการลงทุนค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ 124,590 บาท และค่าใช้จ่ายวัตถุดิบและสาธารณูปโภคต่อเดือน 166,451.42 บาท ผลตอบแทน 180,000 บาท/เดือน ทำให้มีระยะเวลาคืนทุน 9.2 เดือน เป็นแนวทางการปรับปรุงที่คุ้มค่าในการลงทุน โดยควรทำการศึกษาตลาดและแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด

สัญญาเลขที่ RDG5750048

โครงการ “การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดและการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขนาดกลางและขนาดย่อม”

เอกสารแนบ ข. รายงานฉบับสมบูรณ์

ตาราง Output

Output		ความล่าช้า
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	ผลสำเร็จ (%)	
1. การศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตเซรามิกเพื่อพิจารณาทางเลือกตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด	100%	-
2. การศึกษาความเป็นไปได้ของทางเลือกตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีการผลิตที่อุณหภูมิต่ำ	100%	-
3. การดำเนินงานตามทางเลือกในพื้นที่กลุ่มเป้าหมาย	100%	เนื่องจากข้อจำกัดในการผลิตตามคำสั่งซื้อของโรงงานทำให้มีการล่าช้า
4. การประเมินผลการดำเนินงานตามทางเลือกเทคโนโลยีที่ได้ประยุกต์ใช้งาน	100%	ผลกระทบต่อเนื่อง ทำให้มีการประเมินผลล่าช้า
5. การนำเสนอผลประยุกต์ทางเลือกตามหลักเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต โดยการจัดการประชุมสัมมนา	100%	มีการขอขยายระยะเวลาการทำงานออกไป 1 เดือน

ลงชื่อ..... (หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน)

(นายอนุชา วรรณก้อน)

วันที่.....25 พฤศจิกายน 2558.....