

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีสะอาด

เทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology : CT) คือ การพัฒนาเปลี่ยนแปลงปรับปรุงอย่างต่อเนื่องของกระบวนการผลิต การบริการ และการบริโภค โดยก่อให้เกิดผลกระทบหรือความเสี่ยงอันจะเกิดต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ในขณะนั้น และต้องมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งทำได้โดยการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด และการใช้ซ้ำ หรือการเปลี่ยนแปลงเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่) สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2543, หน้า (9

หลักการของเทคโนโลยีสะอาด

หลักการของเทคโนโลยีสะอาดเน้นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ คือ การลดการใช้พลังงาน การใช้น้ำและทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ ซึ่งจะเห็นว่าหลักการของเทคโนโลยีสะอาดเป็นการป้องกันปัญหามากกว่าการแก้ปัญหาตนเอง โดยหลักการของเทคโนโลยีสะอาด สรุปได้ดังนี้

1. การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด แบ่งได้เป็น 2 แนวทางใหญ่ๆ คือ การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ และการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต

1.1 การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ อาจทำได้โดยการออกแบบให้มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด หรือให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

- 1.2 การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1.2.1 การเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบ โดยการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ หรือมีความบริสุทธิ์สูง รวมทั้งลดหรือยกเลิกการใช้วัตถุดิบที่เป็นอันตราย เพื่อหลีกเลี่ยงการเติมสิ่งปนเปื้อนเข้าไปในกระบวนการผลิต และพยายามใช้วัตถุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

1.2.2 การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี ทำได้โดยการออกแบบใหม่ เพิ่มระบบอัตโนมัติเข้าช่วยปรับปรุงคุณภาพของอุปกรณ์ และแสวงหาเทคโนโลยีใหม่มาใช้

1.2.3 การปรับปรุงกระบวนการดำเนินงาน เป็นขั้นตอนที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เสียลดลง และยังทำให้เกิดของเสียที่จะต้องจัดการกำจัดลดน้อยลง โดยกำหนดให้มีขั้นตอนการผลิตกระบวนการงานและขั้นตอนบำรุงรักษาที่ชัดเจน รวมถึงการจัดระบบ การบริหารการจัดการในโรงงาน

2. การนำกลับมาใช้ใหม่ แบ่งออกได้เป็น 2แนวทาง คือ

- 2.1 การใช้ผลิตภัณฑ์หมุนเวียน โดยหาทางนำวัสดุที่ไม่ได้คุณภาพมาใช้ประโยชน์ หรือหาทางใช้ประโยชน์จากสารหรือวัสดุที่ปนอยู่ในของเสีย โดยนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเดิม หรือกระบวนการผลิตอื่นๆ
- 2.2 การใช้เทคโนโลยีหมุนเวียน เป็นการนำเอาของเสียผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อนำเอาทรัพยากรกลับมาใช้อีก หรือเพื่อทำให้เป็นผลพลอยได้

เทคนิคของเทคโนโลยีสะอาด



ภาพที่ 2. 1 เทคนิคของเทคโนโลยีสะอาด

ที่มา)สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2543, หน้า (9

การลดมลพิษที่แหล่งกำเนิดนั้น ต้องมีการค้นหาแหล่งกำเนิดของของเสีย หรือมลพิษ และวิเคราะห์หาสาเหตุว่าของเสียหรือมลพิษเหล่านั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร การลดมลพิษอาจทำได้

โดยการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ และเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต การเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตนั้น อาจต้องมีการเปลี่ยนวัตถุดิบที่เกี่ยวข้อง เปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี หรืออาจต้องเปลี่ยนแปลงการบริหารจัดการ ส่วนการนำกลับมาใช้ใหม่/การใช้ซ้ำนั้นอาจทำได้โดยการนำกลับมาใช้ใหม่โดยตรง เช่น นำกลับมาใช้ในกระบวนการเดิมหรือกระบวนการอื่น หรืออาจต้องนำของเสียเหล่านั้นไปผ่านกระบวนการอย่างใดอย่างหนึ่งก่อนจึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้)สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2543, หน้า 12)

อุตสาหกรรมเหล็ก

กระบวนการหลอมเหล็ก คือ การให้ความร้อนแก่วัตถุดิบที่ใส่ภายในเตา เช่น เหล็กพิก, เศษเหล็ก และอื่น ๆ จนเกิดการหลอมละลายกลายเป็นน้ำเหล็ก หลังจากนั้นจะเทน้ำเหล็กลงในโถงแบบหล่อแล้วปล่อยให้เย็นตัว โดยรูปร่างของชิ้นงานหล่อจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของโถงแบบหล่อ) นฤดล อภัยจิตต์, หน้า 4 (ดังนี้

1. วัตถุดิบสำหรับการหลอมเหล็ก

สำหรับวัสดุต่าง ๆ ที่เติมลงในในเตาหลอม ที่เป็นวัตถุดิบ หรือที่เรียกรวมกันว่าชาร์ต)Charge (มีดังนี้

1.1 เหล็กพิก หรือเหล็กดิบ ได้จากการนำสินแร่ เช่น แร่เหล็ก ไปถลุงในเตาสูง)Blast Furnace (เหล็กพิกที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีราคาแพง และมีปริมาณธาตุคาร์บอนสูง 4-3.5)% (ถ้าใช้เหล็กพิกมาก ต้นทุนจะสูง รวมถึงเหล็กที่ได้จะมีธาตุคาร์บอนสูง ดังนั้นจึงต้องมีการเติมเศษเหล็กลงไปเพื่อลดปริมาณการใช้เหล็กพิก และเพื่อลดปริมาณธาตุคาร์บอน เพราะเศษเหล็กจะมีปริมาณธาตุคาร์บอนต่ำกว่า สำหรับคุณลักษณะของเหล็กพิก คือ

- 1) มีกำมันต์มากไม่เกิน 0.025% ฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.035% และแมงกานีสไม่เกิน %0.1
- 2) มีซิลิกอน %3.0 - 0.05
- 3) ไม่มีพลวง)Sb(, บิสมัด)Bi(, และติเตเนียม)Ti(

1.2 เศษเหล็กเหนียว)Steel Scraps (เหล็กเหนียวที่ใช้แล้วที่สะอาดจะมีส่วนผสมเหมือน ๆ กัน และหาซื้อได้ในราคาถูก การที่เหล็กเหนียวมีคาร์บอน และซิลิกอนน้อยทำให้เหมาะที่จะใช้ทำชิ้นงานหล่อที่ต้องการ โดยเฉพาะกรณีเหล็กหล่อความแข็งแรงสูงต้องใช้เหล็กเหนียวมากกว่าปกติ

1.3 เหล็กหล่อใช้ซ้ำ)Return Scraps (หมายถึง ชิ้นงานหล่อที่ใช้ไม่ได้ รูล้น รูลเท รูล้าง หรือเหล็กหล่อใช้ซ้ำที่ซื้อมาจากโรงงานอื่น ควรใช้เหล็กหล่อใช้ซ้ำที่มาจากโรงหล่อ นั้น ๆ เพราะรู้ส่วนผสม

2. เตาที่ใช้ในการหลอมเหล็ก

สำหรับเตาที่ใช้ในการหลอมเหล็กนั้นมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงแต่ชนิดที่มีความสำคัญ และนิยมใช้กันในอุตสาหกรรมหลอมเหล็ก

2.1 เตาสูง)Blast Furnace)

เป็นเตาที่ใช้ในการถลุงเหล็ก เพื่อผลิตเหล็กพิก หรือเหล็กดิบ)Pig Iron (ซึ่งถือได้ว่าเป็นวัตถุดิบในขั้นต้นที่ใช้ในการผลิตเหล็กทุก ๆ ชนิด วัตถุดิบที่ใส่ภายในเตาสูง คือแร่เหล็ก รวมทั้งสารที่เป็น Flux ในการเผา ซึ่งได้แก่ หินปูน และ Dolomite เพื่อลดอุณหภูมิ 1500 องศาเซลเซียส สำหรับในประเทศไทยไม่พบการใช้เตานี้เนื่องมาจากไม่มีการถลุงแร่เหล็กในการผลิตเหล็ก เตาสูงนั้นมีลักษณะเป็นปล่องสูง ตอนล่างป้องกันและกักเก็บถลุงเมื่อใกล้ถึงพื้น ตัวเตาจะทำด้วยแผ่นเหล็กหุ้มภายนอก ส่วนภายในเตาเรียงด้วยอิฐทนไฟชนิดต่าง ๆ ตัวเตาแบ่งออกเป็นช่วง ๆ คือ

- 1) ฐานราก)foundation)
- 2) พื้นเตา)furnace bottom)
- 3) ก้นเตา)hearth)
- 4) ท้องเตาหรือบอช)bosh)
- 5) ส่วนบน)top)

ส่วนที่ร้อนที่สุดของเตาสูงคือ ส่วนที่ถัดมาจากก้นเตา อุณหภูมิประมาณ 1900 องศาเซลเซียส เตาสูงจะมีส่วนประกอบดังนี้

21.1. ฐานราก สร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งจะฝังลึกลงไปในดินบางส่วน และมีบางส่วนที่โผล่พื้นดินขึ้นมาและเป็นส่วนที่ต้องรับน้ำหนักของเตาทั้งหมด ขนาดบรรจุของเตาประมาณ 1306 ลูกบาศก์เมตร น้ำหนักประมาณ 7000 ตัน

2 1.2. พื้นเตา เป็นส่วนที่ต่อขึ้นมาจากฐานราก จะก่อด้วยอิฐทนไฟ ปกติจะมีความสูงประมาณ 4-5 เมตรทำหน้าที่รับตัวเตารองจากฐานรากและเป็นส่วนที่ปิดก้นเตา

21.3. ก้นเตา เป็นส่วนที่รองรับน้ำเหล็กเมื่อละลายแล้วจะมากองหรือสะสมอยู่ที่ก้นเตานี้และมีพวกตระกรันไหลมากองอยู่ แต่จะอยู่ส่วนบนของน้ำเหล็กซึ่งมีรู)tuyere) เจาะไว้

สำหรับให้เหล็กและตระแกรงไหลออกมา บริเวณนี้จะเรียงด้วยอิฐทนไฟที่มีคุณภาพต่อการทนร้อนได้ดี ประกอบด้วยมีความหนาตั้งแต่ 0.5-1.5 เมตร

21.4. บอช คือบริเวณที่ร้อนที่สุด และเป็นบริเวณที่เกิดการหลอมละลายของแร่เหล็กหรือแร่จากกรรมวิธีขึ้นเตอร้ง เพราะในช่งนี้จะเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงให้อุณหภูมิสูงมากทางตอนล่างของบอชจะมีรูลม ซึ่งจะมิลมพนเข้ามาเพื่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทำให้เกิดความร้อนได้ดี

21.5. ปล่องเตา(stack) เป็นส่วนที่ต่อขึ้นมาจากบอช โดยมีเปลือกนอกทำด้วยเหล็กเป็นโครงเพือให้ยึดติดกับเสาบนของเตาและเรียงด้วยอิฐทนไฟ เพราะบริเวณนี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าตอนล่าง

21.6. ส่วนบน เป็นส่วนที่ใช้กับการบรรจุแร่เหล็ก ฟลักซ์ และถ่านโค้กที่เติมลงในเตา และส่วนที่เป็นก๊าซเกิดการสันดาปภายในเตาลอยออกมา

21.7. อุปกรณ์พ่นลม(blower) เป็นส่วนที่พ่นลมเข้าไปในเตาเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ โดยภายในอุปกรณ์พ่นลมจะเป็นใบพัด กังหัน ซึ่งหมุนด้วยความเร็วรอบสูง และลดความเร็วลมได้ตามต้องการ ซึ่งผ่านเข้าไปในเตาทางตอนล่างของบอช โดยลมจะผ่านไปยังท่อลมใหญ่(wind box) ที่มีลักษณะกลมติดอยู่รอบ ๆ บอช จากนั้นก็มีท่อเล็กแยกมาจากท่อลมใหญ่ไปเข้าเตาทางรูลมหลาย ๆ แห่งที่มีอยู่รอบเตา ทั้งนี้เพื่อให้อลมเข้าไปเผาไหม้ภายในเตาได้ทั้งถึงและอย่างสม่ำเสมอไม่มีจุดดับ โดยทั่วไป หลักการในทางปฏิบัติก่อนที่ลมจะเข้า เตาจะต้องถูกเผาให้ร้อนก่อน(pre heat)โดยให้ร้อนประมาณ 700-1000 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อให้เชื้อเพลิงสูญเสียน้อยและได้ค่าของความร้อนสูง การเผาอากาศก่อนพ่นเข้าเตานั้นได้นำมาจากที่อื่นกระทำได้โดยใช้ตัวของมันเอง โดยต่อท่อจากปล่องของเตาซึ่งมีความร้อนอยู่และมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ติดมาด้วย ทำให้ได้ค่าความร้อนมากแล้วนำมาผ่านตัวเผาอากาศ (cowper) และเตาที่เผาอากาศนี้ต้องอยู่ใกล้กับตัวเตา และบางทีก็ใช้จำนวนหลายหน่วยเพื่อสลับกันในการเผาอากาศ

21.8. ตัวเผาอากาศ จะมีลักษณะเป็นรูปโดม เปลือกชั้นนอกทำด้วยเหล็กแผ่นชั้นในเรียงด้วยอิฐทนไฟ แต่ภายในตัวเตาเผาอากาศจะมีช่วงก๊าซร้อนเข้าทางตอนล่างผ่านขึ้นมาทางตอนบนแล้วหมุนกลับลงทางตอนล่างของเตาอีกด้านหนึ่งระหว่างการเดินทางของก๊าซร้อนจะมีอิฐขวางไว้ลักษณะสลับกันไปมาเพื่อให้อิฐมีโอกาสได้สัมผัสกับก๊าซร้อนได้มากการให้ความร้อนแบบนี้เราเรียกว่า เชกเกอร์เวิร์ก (checker work) ตัวเตาจะมีช่องลมผ่านเข้าและออกอีกชุดหนึ่งเพื่อปิดให้ลมเย็นผ่านเข้าออกไปยังเตาสูงได้ดีและสะดวกยิ่งขึ้น

2.2 เตาคิวโปลา (Cupola)

เตาหลอมแบบคิวโปลาใช้กับการหลอมเหล็กหล่อ (Cast Iron) เป็นหลัก สำหรับเตาคิวโปลาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นเตารูปทรงกระบอกตั้ง ผังภายในบุด้วยวัสดุทนไฟที่ กันด้านล่างเป็นประตูบานพับสามารถเปิดออกได้ ขณะใช้งานในการหลอม จะมีการบรรจุวัตถุดิบ (Charge) (ที่เป็นโลหะ ได้แก่ เหล็กพิก เศษเหล็กเหนียว และเหล็กหล่อใช้ซ้ำ) ส่วนเชื้อเพลิงส่วนมาก ใช้ถ่านโค้ก ซึ่งวัตถุดิบภายในเตาคิวโปลาจะได้รับความร้อนโดยตรงจากพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านโค้ก และจะเลื่อนลงสู่กันเตาเรื่อย ๆ เหล็กที่หลอมแล้วจะหยดลงไปรวมกันอยู่ที่กันเตา ส่วนตะกอนจะลอยอยู่บนผิวน้ำเหล็กบริเวณผนังด้านข้างของเตาเหนือกันถั่งจะมีช่องสำหรับเจาะ น้ำเหล็กออก) Tapping (เหนือขึ้นไปอีกจะมีช่องจ่ายอากาศเข้าเพื่อใช้ในการเผาไหม้นอกจากนี้ยังมีช่องเปิดสำหรับทำการกวาดตะกอนออกภายในเตา

2.2.1 ลักษณะการทำงานของเตาคิวโปลา

(1) เริ่มต้นด้วยการติดเตาโดยใช้ถ่านฟืนหรือวัตถุเชื้อเพลิงในครั้งแรก เมื่อติดดีแล้วจึงเติมถ่านโค้กลงไปให้มีปริมาณสูงกว่ารูปนลมนเล็กน้อยเพราะหากมีปริมาณน้อยเกินไปจะทำให้เหล็กหล่อขาดซิลิคอนและแมงกานีสหรือมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้มีกำมะถันในน้ำเหล็กมาก

(2) ค่อย ๆ ฟนลมเข้าไปในเตาจนกว่าถ่านโค้กจะติดไฟแล้วจึงลดปริมาณลมลง

(3) เติมหินปูนสลับกับเหล็กดิบและเศษเหล็กสลับกันไปเป็นชั้น ๆ จนเต็ม

(4) เมื่อเติมวัตถุดิบจนเต็มแล้วให้ปิดรูน้ำเหล็ก รูชี้ตะกอนให้หมดแล้วเพิ่มปริมาณกระแสลม ทำให้เกิดความร้อนจนกระทั่งเหล็กหลอมละลาย

(5) เมื่อเหล็กหลอมละลายให้เติมวัตถุดิบลงมาเรื่อยๆ โดยเติมสลับกันเป็นชั้น ๆ

(6) เมื่อเหล็กหลอมละลายจนกระทั่งได้ปริมาณที่ต้องการให้เปิดรูชี้ตะกอนออกก่อนแล้วจึงเปิดรูน้ำเหล็กออกนำเข้ามารองรับน้ำเหล็ก เพื่อเทลงแบบหล่อที่เตรียมไว้

2.2.2 เตาคิวโปลา มีข้อดีดังนี้

(1) เป็นเตาหลอมละลายได้รวดเร็ว

(2) เป็นเตาชนิดที่หลอมละลายเหล็กได้ติดต่อกันไป และทำงานได้ง่าย

(3) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งราคาถูก

(4) ปรับปรุงในการใช้งานสะดวก

กากของเสียที่เกิดขึ้นจากการหลอมเหล็ก

1. ตะกรันเตาหลอมเหล็ก

ตะกรันเตาหลอมเหล็ก คือ ของเสียที่เกิดขึ้นภายในเตาหลอม เกิดจากการหลอมตัวของปูนขาวที่ใส่ลงไปจะช่วยทำหน้าที่เป็นฟลัก ซึ่งจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสินแร่ และวัสดุต่างๆที่ไม่บริสุทธิ์มากมาย แล้วกลายเป็นตะกรัน (Slag) ลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำเหล็กเมื่อถูกกวาดออกมาภายนอกเตาหลอม จะปล่อยให้เย็นไปเองตามธรรมชาติ หรือทำให้เย็นอย่างรวดเร็วโดยการเทลงในน้ำ หรือใช้น้ำฉีดทันที ผลก็คือ ตะกรันจะจับตัวกลายเป็นของแข็ง)นฤดล อภัยจิตต์, 2544, หน้า 8 (



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของตะกรัน)Slag(

องค์ประกอบของตะกรันเตาหลอมเหล็กประกอบด้วย ซิลิกา และอะลูมิเนียม เป็นองค์ประกอบหลักนอกจากนี้ยังมี แคลเซียม และแมกนีเซียม ออกไซด์ ซึ่งปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่บรรจุในเตา และอุณหภูมิภายในเตาหลอม ถ้าแบ่งตะกรันตามลักษณะของการทำให้เย็นตัว สามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ)นฤดล อภัยจิตต์, 2544, หน้า 8 (คือ

1.1 Air Cooled Slag

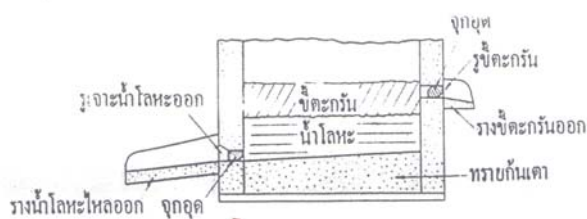
ตะกรันจะถูกนำออกสู่ภายนอกเตา โดยการเทลงบ่อดิน หรือวางเหล็กจนกระทั่งค่อย ๆ เย็นตัวลง ซึ่งตะกรันที่ได้จะมีลักษณะเป็นก้อนผลึกคล้ายหินธรรมชาติ โดยมีขนาดใหญ่กว่า 4 มิลลิเมตร และเนื่องจากก้อนตะกรันนี้มีขนาดใหญ่ แข็งคล้ายหิน จึงมักใช้เป็นมวลรวมผสมในคอนกรีต หรือการทำถนน

1.2 Formed or Expanded Slag

ตะกรันลักษณะนี้จะมีการควบคุมปริมาณน้ำ เพื่อการทำให้ตะกรันเย็นตัว โดยการเทลงบ่อน้ำ หรือการใช้น้ำฉีด ขณะนำตะกรันออกสู่ภายนอกเตา จะเกิดไอก๊าซพุ่งกระจาย ทำให้ตะกรันมีลักษณะเป็นก้อนแข็งแต่เบา มีความพรุนสูง เหมาะในการใช้เป็นวัสดุผสมในงานคอนกรีตมวลเบา หรือในการผลิตคอนกรีตบล็อก

1.3 Granulated Slag

การทำให้ตะกรันเมื่อออกสู่ภายนอกเตาเย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยใช้น้ำที่ฉีดจากหัวฉีดความดันสูง และมีปริมาณมากจนตะกรันไม่มีเวลาจับกันเป็นก้อน ทำให้ตะกรันที่ได้มีขนาดเล็กมาก ซึ่งจะมีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร เนื่องจากตะกรันที่ได้มีขนาดเล็กจึงนิยมนำมาบดให้มีลักษณะเป็นผงใช้เป็นตัวผสมกับด่างเพื่อเป็นตัวกระตุ้น Alkaline Activation เช่น ปูนขาวหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สำหรับใช้เป็นส่วนผสมในงานคอนกรีต หรือถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ หรือที่เรียกว่า Portland Slag Cement



ภาพที่ 2.3 กรรมวิธีการเจาะน้ำเหล็กและตะกรันออกภายนอกเตา
ที่มา)นฤดล อภัยจิตต์, 2544, หน้า 9 (

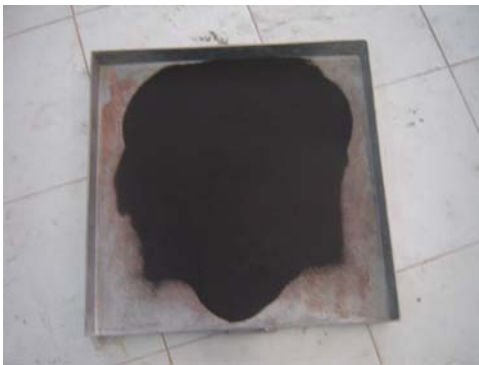
2. ทรายดำ

ทรายดำ คือ กากของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเตรียมแบบหล่อที่ทำจากทราย โดยที่ทรายดำนั้นเก็บมาจากส่วนของระบบบำบัดอากาศแบบถุงกรอง ซึ่งทางโรงงานนำไปทิ้งไว้โดยเปล่าประโยชน์ ทรายสำหรับแบบหล่อ Sand Preparation)วารภรณ์ กิจชัยนุกูล, 2540, หน้า 20 (ควรมีคุณสมบัติดังนี้

2.2.1 ขึ้นรูปได้ง่าย)Formability (และทำแบบหล่อได้สะดวก โดยที่มีความแข็งแรงพอ แบบหล่อที่ทำเสร็จแล้วจะต้องแข็งแรงพอที่จะยกไปได้ และเทน้ำเหล็กเข้าไปได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ดังนั้นจึงต้องมีความแข็งแรงทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง

2.2.2 จะต้องให้ก๊าซซึมออกได้ (Permeability) สะดวกพอ ถ้าอากาศ หรือก๊าซที่เกิดขึ้นไม่สามารถซึมผ่านเม็ดทรายออกไปจากแบบหล่อเร็วพอในขณะที่หน้าโลหะแล้วอาจเกิดจุดเสียบประเภทรูโหว่ที่เกิดจากการหดตัว และรูพูนที่ผิว

2.2.3 ขนาดของเม็ดทราย และปริมาณของเม็ดทรายแต่ละขนาดต้องเหมาะสม ถ้าใช้ทรายละเอียดทำแบบหล่อผิวของชิ้นงานละเอียดดี แต่ถ้าเม็ดทรายละเอียดเกินไปทำให้ก๊าซออกไม่ได้ถูกกักไว้ภายในทำให้เกิดรูพูน (Blow hole) ดังนั้นต้องจัดให้ขนาดของเม็ดทรายและปริมาณของเม็ดทรายแต่ละขนาดเหมาะสม ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงทั้งสองประเด็นข้างต้น



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของทรายดำ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เมื่อเผาวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งได้แก่ หินปูน (Limestone) ดินเหนียว (Clay) ดินดาน (Shale) และแร่เหล็ก เป็นต้น จะได้เม็ดปูนที่มีสัดส่วนของออกไซด์ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ร้อยละน้ำหนักดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนออกไซด์ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ธาตุในรูปออกไซด์	ร้อยละโดยมวล
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
CaO	60-67
Fe ₂ O ₃	0.5-0.6
MgO	0.1-5.5
SO ₃	1-3
Na ₂ O, K ₂ O	0.5-1.3
TiO ₃	0.1-0.4

ที่มา (นฤดล อภัยจิตต์, หน้า 11)

ออกไซด์หลักจะรวมตัวกันในระหว่างเกิดเม็ดปูน (Clinker) เกิดเป็นสารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง ดังตารางที่ 2.2 และคุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หลังการเผาแล้ว

สารประกอบ	สูตรเคมี	สัญลักษณ์
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

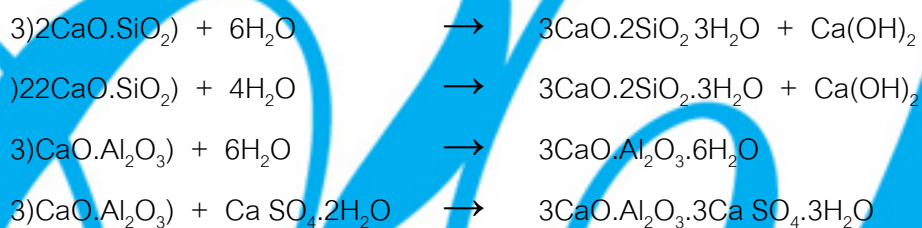
ที่มา (นฤดล อภัยจิตต์, หน้า 11)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

คุณสมบัติ	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	เร็ว)ช.ม.(	ช้า)วัน(	ทันทีทันใด	เร็วมาก(นาที)
การพัฒนากำลังอัด	เร็ว)วัน(	ช้า)อาทิตย์(	เร็วมาก)วัน	เร็วมาก)วัน
กำลังอัดประลัย	สูง	ค่อนข้างสูง	ต่ำ	ต่ำ
ควา ม ร้ อ น จ า ก	ปานกลาง	น้อย	สูงมาก	ปานกลาง
ปฏิกิริยาไฮเดรชัน	)500 J/g(	)250 J/g(	)850 J/g(	)420 J/g(
คุณสมบัติอื่นๆ	คุณสมบัติเหมือนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	-	ไม่คงตัวในน้ำ	ทำ ำ ไ ห้ ปูนซีเมนต์มีสีเทา

ที่มา)นฤดล อภัยจิตต์, หน้า 12(

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน คือ การที่สารประกอบในปูนซีเมนต์)C₃S, C₂S, C₃A และ C₄AF (ทำปฏิกิริยากับน้ำได้สารประกอบใหม่ ทำให้เกิดความเหนียว และเกาะแน่นกับวัสดุผสม ออกไซด์ในปูนซีเมนต์จะเปลี่ยนรูปไปเป็น ไฮเดรตเมื่อถูกน้ำดังสมการต่อไปนี้



วัสดุปอซโซลาน

ตามมาตรฐาน ASTM C 618 ปอซโซลาน)Pozzolana) คือ วัสดุที่มีซิลิกาอะลูมินา และเหล็กออกไซด์ เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งโดยตัวของมันเองจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน)Cementious Properties) แต่เมื่อมีความละเอียดสูง และความชื้นเพียงพอ จะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับด่างที่อุณหภูมิปกติ จะได้สารประกอบใหม่ที่มีสมบัติเป็นวัสดุประสาน

ตามมาตรฐาน ASTM C 618 ได้จำแนกวัสดุปอซโซลานเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. Class N ได้แก่ สารปอซโซลานที่ได้จากธรรมชาติ (Natural pozzolan) คือ วัสดุที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ (Volcanic tuff) และหินพูน (Pumice) เป็นต้น

2. Class F ได้แก่ สารปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial pozzolan) คือวัสดุที่ได้จากการผ่านกระบวนการทางความร้อนโดยการเผาวัสดุดิบที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ดินเหนียว หินเซล ซีเมนต์แกลบ เป็นต้น

3. Class C ได้แก่ สารปอซโซลานสังเคราะห์ที่ได้จากการผ่านกระบวนการทางความร้อนเช่นเดียวกับ Class F แต่มีข้อกำหนดสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน

การจัดการของเสียและกากของเสียอันตรายจากอุตสาหกรรมเหล็ก

อุตสาหกรรมเหล็กมีปริมาณการผลิตมาก โดยใช้วัตถุดิบและพลังงานปริมาณสูง นอกจากนี้กระบวนการผลิตยังซับซ้อน ดังนั้น ปริมาณขยะและประเภทขยะจึงมีมาก

เนื่องจากกากของเสียจากอุตสาหกรรมเหล็กมีส่วนที่เป็นเหล็กอยู่มาก หากนำไปฝังทิ้งจะเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรและพลังงาน และเป็นการทำลายธรรมชาติที่มีคุณค่า ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของอุตสาหกรรมเหล็กที่จะต้องลดปริมาณกากของเสีย โดยการแยกเหล็กออกจากกากของเสีย และนำไปหลอมใหม่ (Recycle) เพื่อลดการนำไปทิ้ง และลดปริมาณน้ำทิ้ง

ตารางที่ 2.4 แหล่งกำเนิดกากของเสีย

เครื่องจักรและอุปกรณ์	สารที่ปล่อยออกมา
เตาหลอมไฟฟ้า	ฝุ่น, Slag, เศษวัสดุทนไฟ
เครื่องหล่อแบบต่อเนื่อง	Scale, เศษวัสดุทนไฟ
เตาอบเหล็กแท่ง (RHF)	Scale, เศษวัสดุทนไฟ
ขั้นรีดเหล็ก	Scale, น้ำมันทิ้ง, เศษหินขัด, ฝุ่นจากการตัด
อื่น ๆ	ตะกอนจากการจัดการน้ำทิ้ง, ตะกอนจากการทำกรดให้เป็นกลาง, ดินที่เหลือจากการทำความสะอาด, วัสดุของการบรรจุ, หนีบท่อ, เศษไหมไฟ

ที่มา)สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, หน้า 26(

แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการกากของเสีย เป็นเรื่องสำคัญในการทำให้มีการนำกากของเสียกลับมาใช้ใหม่ สามารถทำได้ดังนี้

1. การแก้ไขที่แหล่งกำเนิด

ควบคุมการเกิดสารที่จะต้องมีการบำบัดโดยปรับปรุงกระบวนการผลิต, อุปกรณ์ที่ใช้ Treatment กากของเสียที่หน่วยการผลิต

2. การทราบถึงปริมาณและคุณสมบัติของกากของเสีย

การทราบปริมาณและคุณสมบัติของสารอย่างถูกต้อง โดยควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมวัตถุดิบโดยใช้แผนการผลิต

3. การแยกจัดเก็บ

แยกจัดเก็บกากของเสียหลาย ๆ ชนิด โดยอย่าให้ปะปนกัน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

4. การใช้ประโยชน์โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

เลือกวิธีนำกลับมาใช้ใหม่ โดยพิจารณาประโยชน์โดยรวมทั้งด้านการผลิต และด้านสิ่งแวดล้อม

5. เงื่อนไขของวัตถุดิบที่จำเป็นต่อกระบวนการผลิต หรือเงื่อนไขที่ขายให้กับบริษัท

ภายนอก

6. การลดปริมาณกากของเสียที่นำไปทิ้งขั้นสุดท้าย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรพจน์ พนมพรพานิช (2547) ได้ทำการศึกษาการนำเถ้าลอยชานอ้อย ที่ผ่านการดูดซับโครเมียมและตะกั่วมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผสมเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแล้วคอนกรีตบล็อกก่อนั่ง ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยชานอ้อย รวมทั้งทำการศึกษาการพัฒนากำลังรับแรงอัด ของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับโครเมียมและตะกั่ว เปรียบเทียบกับเถ้าลอยชานอ้อยที่ไม่ได้ดูดซับโลหะหนัก นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบลักษณะของน้ำชะจากคอนกรีตที่ผสมด้วยเถ้าลอยชานอ้อยที่ดูดซับด้วยโครเมียมและตะกั่ว ตามข้อกำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) เพื่อยืนยันถึงความปลอดภัยในการนำคอนกรีตบล็อกทั้งสองประเภทไปใช้ประโยชน์ ผลการทดสอบสมบัติของเถ้าลอยชานอ้อย สรุปได้ว่า เถ้าลอยชานอ้อยไม่สามารถจัดเป็นวัสดุพิษโซลานตามข้อกำหนดใน ASTM C618 เมื่อนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ ที่อัตราส่วนผสม 1:1.1:1.9

(ปูนซีเมนต์ :ทราย :หิน(พบว่ากำลังรับแรงอัดของเถ้าลอยขานอ้อยที่ดูดซับโลหะหนักมีความแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเทียบกับเถ้าลอยขานอ้อยที่ไม่ดูดซับโลหะหนัก และเมื่อนำข้อมูลการแปรค่าอัตราการแทนที่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และกำลังรับแรงอัด มาหาความสัมพันธ์ ได้สมการออกมาตามระยะเวลาการบ่ม เมื่อทดลองสมการที่ระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน โดยการกำหนดกำลังรับแรงอัด 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราการแทนที่ร้อยละ 15 ได้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.536 เมื่อทำการนำอัตราส่วนดังกล่าวไปหล่อเป็นคอนกรีตบล็อก พบว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูนพื้นเท่ากับ 210กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรคอนกรีตบล็อกก่อผนังเท่ากับ 203 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ในน้ำชะของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยขานอ้อยที่ดูดซับตะกั่วและโครเมียมพบว่ามีความต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

นฤตล อภัยจิตต์ (2544) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ตะกรันที่เกิดจากกระบวนการหล่อหลอมเหล็ก เป็นส่วนผสมทดแทนปูนซีเมนต์ในบล็อกปูถนน ตะกรันเตาหลอมเหล็กที่ใช้มาจากเตาควิโปลา และเตาเหนียวนำไฟฟ้า ตะกรันถูกนำมาบดให้มีความละเอียด 3 ขนาด คือ ความละเอียดต่ำ ปานกลาง และสูง โดยมีปริมาณค่าแรงแบบเบอร์ 325 ในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 50, 34 และ 10 ตามลำดับ จากนั้นทำการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์เพื่อหาคุณสมบัติปอซโซลาน เมื่อใช้ ตะกรันเตาควิโปลา และเตาเหนียวนำไฟฟ้า แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน จากผลกำลังอัดมอร์ตาร์พบว่าตะกรันเตาควิโปลา สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ดีกว่าตะกรันเตาเหนียวนำไฟฟ้า และนำมาใช้เป็นวัสดุ ทดแทนปูนซีเมนต์ในการทำบล็อกปูถนน ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก วัสดุประสาน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุประสาน :ทราย :หินฝุ่น เท่ากับ 1 : 1 : 1 พบว่า บล็อกปูถนนที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.3 สามารถนำตะกรันเตาควิโปลา ที่มี ความละเอียดปานกลางและสูง มาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ได้สูงถึงร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน โดยที่ความสามารถในการรับกำลังอัดของบล็อกปูถนนที่อายุ 28 วัน มีค่าไม่ต่ำกว่า 400 กก./ตร.ซ.ม. ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก .827

พีระพันธุ์ แก้วฉิมพลี (2545) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสิ่งที่เหลือใช้ ที่เป็นตะกอนผงโลหะที่ได้จากการผลิตเหล็กผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่า ให้แก่โลหะ โดยการนำผงโลหะกับมาใช้ใหม่ ทั้งยังช่วยลดมลภาวะที่เกิดจากการกำจัด ผลิตภัณฑ์ เช่น มลภาวะทางอากาศ อันเกิดจากการเผาทิ้ง ทั้งยังช่วยลดปริมาณการใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้

ลดน้อยลง การวิจัยทำการทดลองโดยรวบรวมผงโลหะจาก Scrubber นำไปผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 270 ผงที่ได้จากการแยกร่อน จะมีการทดสอบเป็นร้อยละ (%) คือมี Cr 45.11%, Fe(2)O(,3)= 33.78%, Ni = 4.84%, CaO = 3.66%, SiO(,2) = 3.64%, K(,2)O = 2.62%, MnO(,2) = 2.16%, Pb = 1.86%, SO(,3) = 1.23%, Al(,2)O(,3) = 0.95%, and P(,2)O(,5) = 0.15%. และมีสีน้ำตาล แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก ของปูนซีเมนต์ ในงานคอนกรีตบล็อก ประสานปูพื้น ขนาด 9.5 ซม. x 19.5 ซม. x 6.0 ซม. กว้าง x ยาว x หนา (และอายุการบ่มน้ำที่ 3, 11, 14 และ 28 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่าง มาทดสอบกำลังอัด ผลการวิจัยพบว่าอัตรา ส่วนผสมอายุการบ่มน้ำที่แตกต่างกันจะมีความสามารถในการ รองรับแรงอัดที่แตกต่างกัน คือ การทดสอบความต้านทานต่อแรงอัด ผลการแทนที่ของปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ 12% ด้วยผงโลหะ อายุการบ่มน้ำที่ 3, 11, 14 และ 28 วัน แสดงว่าชิ้นงาน ทดสอบมีความต้านทานต่อแรงอัดที่ 243.1, 387.4, 425.7 และ 442.5 กก./ซม²) ตามลำดับ สามารถนำผงโลหะจากโรงงานผลิตเหล็ก เพื่อใช้เป็นวัสดุผสมกับปูนซีเมนต์ ในงานคอนกรีต บล็อกประสานปูพื้นได้

ฉัตรภา ตะปะสา (2545) ได้ทำการศึกษาการนำของเสียประเภทตะกรันเตาหลอม เหล็กมาใช้ประโยชน์ ในการทำบล็อกคอนกรีตประสานปูพื้น ทั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลองเพื่อ หาอัตราส่วน ที่เหมาะสมระหว่างสัดส่วนของทรายและตะกรันเตาหลอมเหล็กผสมกับปูนซีเมนต์ โดยแปรค่า สัดส่วนของทรายเท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 ส่วนค่าสัดส่วนของตะกรันเตาหลอมเหล็ก เท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5 และแปรค่าสัดส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ซึ่ง ทรายและตะกรันเตาหลอมเหล็กในสัดส่วนเหล่านี้ได้ถูกนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ ในสัดส่วนเท่ากับ 1.0 โดยใช้ระยะเวลาบ่ม 7 วัน หลังจากนั้นก้อนแข็งจะถูกนำไปทดสอบ ค่าความต้านทานแรงอัด และการทดสอบการชะละลายของโครเมียม การทดสอบค่าต้านทานแรงอัด ของก้อนแข็งจะต้องมี ค่าไม่น้อยกว่า 35 Mpa ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 827-2532 การทดสอบ การชะละลายของ โครเมียมโดยใช้วิธีการสกัดสารที่เรียกว่า Leachate Extraction Test และ Leaching Test ซึ่งเป็นการนำก้อนแข็งไปแช่น้ำสกัดที่ปรับพีเอชเป็น 4.5 เป็นระยะ เวลา 10 วัน การวิจัยนี้แบ่งการศึกษา เป็น 2 ตอนดังนี้ ตอนที่ 1 การหาอัตราส่วนที่ เหมาะสมโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และตอนที่ 2 การหาอัตราส่วนที่ เหมาะสมโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสม จากการทดลองในตอนที่ 1 พบว่า ค่าความต้านทานแรงอัดสูงกว่ามาตรฐานที่ต้องการ จากการวิเคราะห์ของค่าความต้านทานแรงอัด ของสัดส่วนตะกรันเตาหลอมเหล็กเท่ากับ 0.5 ค่าความต้านทานแรงอัดจะสูงกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 1.0 และ 1.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้สัดส่วนของทรายเท่ากับ 1.0 ค่าความต้านทาน แรงอัดจะสูงกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 1.5 และ 2.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสัดส่วนปริมาณน้ำ

ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ค่าความต้านทานแรงอัดจะสูงกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 0.5 และ 0.6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดสอบการชะละลายของโครเมียมพบว่าเมื่อสัดส่วนตะกรันเตาหลอมเหล็กเท่ากับ 1.5 การชะละลายของโครเมียมจะสูงกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 1.0 และ 0.5 อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ นอกจากนี้สัดส่วนของทรายเท่ากับ 2.0 และ 1.5 การชะละลายของโครเมียมจะสูงกว่า ที่สัดส่วนเท่ากับ 1.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสัดส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 การชะละลายของโครเมียมจะสูงกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 0.4 และ 0.5 อย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ อัตราส่วนของปูนซีเมนต์, ทราย และ ตะกรันเตาหลอมเหล็กที่เหมาะสม คือ อัตราส่วน 1.0: 2.0: 1.0 ที่สัดส่วนปริมาณน้ำที่ 0.4 และ 0.5 เป็นอัตราส่วนที่ ทำให้ก้อนแข็งมีค่าความต้านทานแรงอัด และมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการทำ คอนกรีตบดอัดประสานปูพื้นจากการทดลองในตอนที่ 2 พบว่า ค่าความต้านทานแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐานที่ต้องการ จากการวิเคราะห์ของค่าความต้านทานแรงอัดของสัดส่วนตะกรันเตาหลอมเหล็กเท่ากับ 0.5 และ 1.0 ค่าความต้านทานแรงอัดจะสูงกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 1.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้สัดส่วนของทรายเท่ากับ 1.5 ค่าความต้านทานแรงอัดจะสูงกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 1.0 และ 2.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสัดส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ค่า ความต้านทานแรงอัดจะสูงกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 0.5 และ 0.6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดสอบการชะละลายของโครเมียมพบว่าเมื่อสัดส่วนตะกรันเตาหลอมเหล็กเท่ากับ 1.5 การชะละลายของโครเมียมจะสูงกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 1.0 และ 0.5 อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ นอกจากนี้สัดส่วนของทรายเท่ากับ 2.0 และ 1.5 การชะละลายของโครเมียมจะสูงกว่า ที่สัดส่วนเท่ากับ 1.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสัดส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.6 การชะละลายของโครเมียมจะสูงกว่าที่สัดส่วนเท่ากับ 0.4 และ 0.5 อย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ

ศิริภัทร์ นาคศรีชุม (2545) งานวิจัยนี้ศึกษาการหล่อแข็งกากตะกอนโรงชุบโลหะประเภทสังกะสี-ไซยาไนด์ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุยึดประสานใช้กากตะกอน โรงชุบโลหะร้อยละ 0,10,20 และ 30 โดยน้ำหนักและเถ้าลอยลิกไนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 0,10,20 และ 30 โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อของแข็งเท่ากับ 0.5 ตลอดจนการทดลอง จากการทดลองพบว่า ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์ เพลสต์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์โดย เถ้าลอยลิกไนต์พบว่าความสามารถในการรับแรงอัดของก้อนหล่อแข็งจะมีค่าต่ำกว่า ซีเมนต์เพลสต์ในระยะต้นและเพิ่มขึ้นกระทั่งสูงกว่าหลังจากบ่มเป็นเวลา 57 วัน สำหรับก้อนหล่อแข็งของเสียจะมีความสามารถในการรับแรงอัดต่ำมากเมื่อเทียบกับ ก้อนควบคุมและความสามารถในการรับแรงอัดลดลงเมื่อ

ปริมาณกากตะกอนโรงชุบ เพิ่มขึ้น สำหรับผล TCLP พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วและโครเมียมในสารละลายกรด อะซิติกจะมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดโดย US. EPA นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าสังกะสีและเหล็กที่ชะละลายจากก้อนหล่อแข็งต่ำกว่าจากกากตะกอนโรงชุบโลหะมาก ความทนทานต่อการกัดกร่อน โดยสารละลายกรดเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ กรดซัลฟูริก > กรดไนตริก > กรดอะซิติก และเมื่ออัตราส่วนผสมของกากตะกอน โรงชุบโลหะเพิ่มขึ้นความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมรุนแรงจะลดลง

วารภรณ์ กิจชัยนุกูล และอานนท์ ป้อมประสิทธิ์ (2540) โดยได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการหล่อแข็งโดยใช้ฝุ่นทรายดำ ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังอัดได้แก่ รูปทรงและวิธีการบ่มก้อนหล่อแข็งที่อายุการบ่ม 7, 14, และ 28 วัน โดยใช้สัดส่วนของปูนซีเมนต์ต่อฝุ่นทรายดำร้อยละเท่ากับ 20 ต่อ 80 เปรียบเทียบผลของรูปทรงของก้อนหล่อแข็ง 2 รูปทรงกระบอก และรูปทรงลูกบาศก์ และเปรียบเทียบผลของวิธีการบ่มที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือการบ่มในน้ำและในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จากการทดลองพบว่า ก้อนหล่อแข็งรูปทรงลูกบาศก์ที่บ่มในน้ำ ที่อายุการบ่ม 28 วัน ให้ค่าความสามารถรับกำลังอัดโดยเฉลี่ยมากที่สุด คือเท่ากับ 152.3 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร และก้อนหล่อแข็งรูปทรงลูกบาศก์ที่บ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อายุการบ่ม 28 ให้ค่าความสามารถรับกำลังอัดโดยเฉลี่ยมากที่สุด คือเท่ากับ 132.1 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร

วันชัย บุรพา (2543) การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของเก้าอี้ถ่านหินหยาบที่มีอัตราการเกิด ปฏิกิริยาปอซโซลานต่ำมาทำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน โดยนำเก้าอี้ถ่านหินจากโรงงาน ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าที่อำเภอแม่เมาะมาคัดแยกขนาดละเอียดออกด้วยเครื่องคัดแยกขนาดด้วยลม จากนั้นนำเก้าอี้ถ่านหินหยาบที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 962 ซม).2)/ก. มาบดผสมร่วมกับปูนเม็ดหรือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 15, 35 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุ ประสาน จากนั้นบดส่วนผสมจนมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 3250, 3850, 4450 และ 5050 ซม).2)/ก. แล้วนำส่วนผสมมาศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและเคมี กำลังอัดของมอร์ตาร์ ขนาด 5x5x5 ซม).3) ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานทั้ง 2 วิธี ทำการทดสอบที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน รวมทั้งทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ ค่าการไหลของมอร์ตาร์ และเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I ผสมเก้าอี้ถ่านหินกับมอร์ตาร์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานที่ได้จากการบดเก้าอี้ถ่านหิน หยาบกับปูนเม็ดหรือบดร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I ผลการทดสอบพบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานที่ได้จากการบดปูนเม็ดผสมเก้าอี้ถ่านหิน หยาบมีคุณสมบัติ

ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานที่ได้จากการบดปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภท I กับเถ้าถ่านหินหยาบ ในการบดร่วมกับปูนเม็ดหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท I สามารถผสม เถ้าถ่านหินหยาบได้ถึงร้อยละ 35 เมื่อบดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน ให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 4450 ซม).2)/ก. จะได้คุณสมบัติใกล้เคียงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I โดยมีการใช้พลังงานในการบดมากกว่า 2.3 เท้า และใช้เวลาในการบดมากกว่า 1.9 เท้า แต่เมื่อ พิจารณาพลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์แล้วพบว่ามีย่าน้อยกว่าประมาณร้อยละ 27 เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I และเมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานที่ได้จากการบดเถ้าถ่านหิน หยาบร่วมกับปูนเม็ดหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I พบว่ามีกำลังอัดของมอร์ต้าร์ในช่วง อายุต้นสูงกว่าของมอร์ต้าร์ที่ได้จากการผสมเถ้าถ่านหินกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I เพราะการบดเถ้าถ่านหินหยาบร่วมกับปูนเม็ดหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I จะทำให้ ปูนซีเมนต์บางส่วนถูกบดจนมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I จึง สามารถทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่า