

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 โลหะหนัก (LaGrega และคณะ, 1994)

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งหมด 68 ธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ) คุณสมบัติทางด้านกายภาพของโลหะหนักคือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางด้านเคมีที่สำคัญของโลหะหนักคือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Compound) ได้หลายรูปที่เสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organometallic Compound) ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) โลหะหนักหลายชนิดมีสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรง เมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต อาจมีผลให้สิ่งมีชีวิตพิการหรือตายได้

2.2 สีที่ใช้ในอุตสาหกรรม (อร่าม เรืองฤทธิ์, 2539)

สี (Painting) คือวัสดุสีเปลือยที่ใช้ในการตกแต่งงานขั้นสุดท้าย โดยทำให้ชิ้นงานมีความสวยงามและทนทาน สีที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับความประสงค์และชนิดของงาน ซึ่งมีสีแลคเกอร์ (Lacquers) สีอีนาเมล (Enamels) ยากันซึม (Sealers) สีพื้นชนิดใส (Primer) สีพื้นอย่างชั้น (Primer Surfacer) สีทับหน้า (Top Coat) สีโป้วแห้งเร็ว (Putty)

สีที่บรรจุในกระป๋องมีส่วนประกอบดังนี้

(ก) เนื้อสี (Pigment) เนื้อสีมีลักษณะเป็นผงละเอียด มีคุณสมบัติทำให้มองเห็นเป็นสีต่างๆ ได้ตามต้องการ มีอำนาจในการปิดบังและปกคลุมพื้นผิวเบื้องล่างที่อยู่ใต้สี ให้ความทนทาน (Durability) แก่สีที่พ่นลงไป สำหรับเนื้อสีที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น สีทับหน้า (Top Coat or Color Coat) จะให้สีและความทนทานเท่านั้น (มีเนื้อสีน้อย) ส่วนสีพื้น (Under Coat) จะช่วยปกปิดรอยขีดข่วนต่างๆ ที่เกิดจากกระดาดทราย (เนื่องจากมีเนื้อสีมาก)

(ข) กาว (Binder) กาวที่ใช้ผสมในสีมีมากมายหลายชนิด มีลักษณะเป็นของเหลวไหลคล้ายกับน้ำ มีคุณสมบัติในการจับตัวกับสีและเกาะตัวกับงานโลหะที่ต้องการพ่นสีได้ดี ถ้าปราศจากเนื้อสี เมื่อกาวแห้งจะมีลักษณะเป็นของแข็งโปร่งแสงและให้ความมันแวววาว แต่ถ้าอยู่ในเนื้อสี กาวก็จะเพิ่มความมันให้แก่เนื้อสี

(ค) ทินเนอร์หรือตัวทำละลาย (Thinner or Solvent) เป็นสารละลายใสๆ ช่วยให้เนื้อสีและกาวผสมกันได้ดี ทำให้เนื้อสีและกาวเจือจางเป็นของเหลว จึงสามารถทำการพ่นสีหรือทาได้ด้วยแปรง เมื่อพ่นสีเสร็จทินเนอร์จะระเหยกลายเป็นไอทิ้งเนื้อสีและกาวเกาะแข็งตัวกับชิ้นงานกลายเป็นชั้นสีที่แห้ง ตัวทำละลายที่ใช้ผสมสีแลคเกอร์เรียก ทินเนอร์ (Thinner) ส่วนตัวทำละลายที่ใช้ผสมสีอีนาเมล (Enamel) เรียก ริคิวเซอร์หรือน้ำมันสน

2.2.1 ประเภทของสีพื้น (Under Coat)

สีพื้น (Under Coat) คือสีที่ใช้พ่นครั้งแรกเพื่อให้สีเกิดการจับโลหะได้ดี ใช้เป็นพื้นสำหรับการเกาะตัวของสีทับหน้าหรือสีพ่นรถยนต์ (Top Coat) สีพื้นจะมีทั้งสีพื้นแห้งเร็ว (Lacquer undercoat) และสีพื้นแห้งช้า (Synthetic Enamel) รวมประเภทสีพื้นที่ใช้มีดังนี้

2.2.1.1 สีพื้นอย่างใส (Primer) เป็นสีพื้นที่ออกแบบปรับปรุงคุณภาพเพื่อคุณสมบัติในการเกาะตัวกับผิวโลหะและมีความทนทานต่อการกระแทก ปกติจะใช้สีพื้นอย่างใสพ่นกับชิ้นโลหะเปลือย (Bare Metal) และอาจใช้พ่นทับสีเก่าได้เพื่อที่จะเป็นพื้นสำหรับการพ่นสีทับหน้า (Top Coat) โอกาสที่จะแตกหรือร้าวไม่มีเพราะส่วนผสมมีกาวมากมีเนื้อสีน้อย (โดยมีเนื้อกาวอยู่ 80 เปอร์เซ็นต์ และอีก 20 เปอร์เซ็นต์เป็นเนื้อสีโดยประมาณ) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องพ่นสีพื้นหนามาก สีพื้นอย่างใสนี้ไม่ได้ออกแบบไว้เพื่อลบรอยขีดข่วนที่ลึกๆ และไม่จำเป็นต้องขัดด้วยกระดาษทราย

2.2.1.2 สีพื้นอย่างขุ่น (Primer Surfacer) มีคุณสมบัติการเกาะตัวดีคล้ายสีพื้นอย่างใส แต่ในเวลาเดียวกันก็มีคุณสมบัติในการลบรอยขีดข่วนเล็กๆ น้อยๆ ได้ เมื่อแห้งก็ยังสามารถขัดด้วยกระดาษทรายละเอียดเพื่อแก้ไขรอยชำรุดให้สมบูรณ์ ช่วยให้เกิดความมันเงางามและเป็นสีพื้นครั้งสุดท้ายก่อนที่จะพ่นสีทับหน้า เพื่อให้สีพื้นอย่างขุ่นมีคุณสมบัติในการลบรอยขีดข่วนได้ดี จึงมีปริมาณของเนื้อสีมากกว่าสีพื้นอย่างใส คือมีเนื้อสีถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และมีกาว 40 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสีพื้นอย่างขุ่นจึงง่ายต่อการขัดกระดาษทราย และปรับผิวหน้าให้เรียบเสมอกัน

2.2.1.3 ซิลเลอร์หรือสีกันซึม (Sealer) ปกติถูกจัดอยู่ในประเภทของสีพื้นชนิดแลคเกอร์ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

(ก) แบบกันซึม (Bleeder Sealer) ทำหน้าที่ป้องกันการซึมของสีเดิมบางสีที่เกิดการซึมมายังสีทับหน้าใหม่ การเกาะตัวของสีทำให้สีทับหน้าเด่น แต่คุณภาพทางด้านความทนทานและเงางามนั้นจะลดลง

(ข) แบบไม่กันซึม (Non-Bleeder) ซิลเลอร์แบบนี้จะเพิ่มคุณภาพของสีทับหน้าให้สดใส เพิ่มการเกาะตัวของสีดีขึ้น เพิ่มความเงาทำให้สีมีความเข้มสม่ำเสมอและสีจับแน่น ในเวลาเดียวกันจะทำให้สีใหม่เปล่งสีเหมือนกันทั่วทุกด้าน และซิลเลอร์นี้จะช่วยลดรอยขีดข่วนให้น้อยลง ถ้าสีทับหน้าเป็นแลคเกอร์จะช่วยลดการขัดเงาลงด้วย

2.2.1.4 สีพื้นรวมซิลเลอร์ (Primer Sealer) เป็นการรวมสีพื้นและซิลเลอร์เข้าไว้ในตัวเดียวกันเพื่อความสะดวก เนื่องจากซิลเลอร์ธรรมดาเกาะตัวบนสีพื้น จึงเป็นการลดการพ่นซิลเลอร์ลงไปถึง 1 ชั้น ทั้งนี้มีได้หมายความว่าเอาสีพื้นมาผสมกับซิลเลอร์แล้วพ่นสีพื้นรวมกัน ซิลเลอร์จะผสมสำเร็จรูปมาจากโรงงาน และคุณสมบัติของสีพื้นรวมกับซิลเลอร์จะช่วยให้การเกาะตัวดี มีความทนทาน เพิ่มความเงาและทำให้สีทับหน้าสดใส มีความเข้มของสีสม่ำเสมอ

2.2.1.5 สีโป้วแห้งเร็วอย่างใส (Glazing Putty) สีโป้วอย่างใสจัดอยู่ในประเภทของสีพื้นที่ทำหน้าที่เติมรอยขีดข่วนต่างๆ หรือพื้นผิวที่ไม่เรียบในกรณีพ่นสีพื้นอย่างชั้นแล้วไม่สามารถเติมรอยขีดข่วนได้หมด สีโป้วอย่างใสมีเนื้อสีถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และมีกาวเพียง 20 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น มีคุณสมบัติในการโป้วง่าย เติมรอยขีดข่วนได้ดี ไม่มีการยุบตัวเมื่อแห้งแห้งเร็ว การเกาะตัวกับสีพื้นดี ชัดกระดากทรายง่าย การใช้ต้องใช้มีดโป้วหรือแผ่นยางโป้วสีแทนการพ่นสี

2.2.1.6 สีโป้วอย่างขุ่น (Spot Putty) สีโป้วอย่างขุ่นทำหน้าที่ลบรอยขีดข่วนต่างๆ หรือที่ไม่เรียบ มีคุณสมบัติการโป้วง่าย ช่วยลบรอยขีดข่วนได้ดี ไม่มีการยุบตัวเมื่อแห้ง การเกาะตัวกับสีพื้นดี การแข็งตัวดีกว่าสีโป้วอย่างใส สีโป้วอย่างขุ่นจะมีเนื้อสี 90 เปอร์เซ็นต์ และมีกาวเพียง 10 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณเท่านั้น การโป้วใช้มีดโป้วและแผ่นยางโป้วเท่านั้น

2.2.1.7 สีพื้นชนิดพิเศษ (Special Purpose Primer) เป็นสีพื้นที่ใช้พ่นกับงานโลหะบางชนิด เช่นงานอะลูมิเนียม การพ่นงานนี้จะต้องใช้สีพื้นพิเศษ เพราะถ้าใช้สีพื้นอย่างใสและอย่างขุ่นแล้ว การเกาะตัวของสีพื้นไม่ดีพอจะทำให้สีพื้นลอกออกมาได้ สีพื้นพิเศษมีการเกาะตัวดีเยี่ยม เช่น สีพื้น Zinc Chromate Primer

2.2.2 สีพ่นรองน้หรือสีทับหน้า (Top Coat or Color Coat)

เป็นวัสดุที่นำมาใช้เคลือบชิ้นงานเป็นครั้งสุดท้าย เพื่อเพิ่มความสวยงามและความทนทาน (Durability) ให้แก่งานที่ทำการพ่นนั้น ซึ่งแบ่งสีพ่นรองน้หรือสีทับหน้าออกได้ดังนี้

2.2.2.1 สีพ่นรองน้แห้งเร็วหรือสีแลคเกอร์ (Lacquer)

เป็นสีพ่นรองน้ทับหน้าครั้งสุดท้าย ทำให้เกิดความสวยงามความทนทาน เป็นชนิดสีพ่นแห้งเร็ว ซึ่งแบ่งสีพ่นรองน้แห้งเร็วออกได้ คือ

(ก) สีพ่นไนโตรเซลลูโลสแลคเกอร์ (Nitro cellulose lacquer)

เป็นสีพ่นแห้งเร็วที่นิยมใช้กันแพร่หลาย ซึ่งให้ความเงางามและความทนทานสูง สีพ่นไนโตรเซลลูโลสจัดเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) ได้แก่ เซลลูโลสไนเตรท (Cellulose Nitrate)

เซลลูโลสไนเตรท เป็นพลาสติกที่ได้จากผลิตภัณฑ์ทางเกษตร เช่น ฝ้ายหรือฝ้าย (cotton) และพืชชนิดอื่น (wood) เซลลูโลสไนเตรทเป็นพวกแรกที่ถูกคิดค้นนำมาใช้ใน

งานอุตสาหกรรม โดยใช้ทำสีแลคเกอร์ มีความแข็งแรงทนทาน ทนความร้อน ทนกรดต่างๆ ได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้า ติดไฟง่ายและเริ่มใช้เคลือบงานและพื้นชิ้นงาน เมื่อปีค.ศ. 1868 พลาสติกนี้จะละลายง่ายในตัวทำละลาย เช่น อะซิโตน แอลกอฮอล์ บิวทิลอะซิเตด และคีโตน

สีฟันไนโตรเซลลูโลสแลคเกอร์ ซึ่งใช้เคลือบผลิตภัณฑ์เป็นครั้งสุดท้าย เป็นสีฟันแห้งเร็ว จะแห้งโดยการระเหยออกของทินเนอร์ไปจากสี จึงทิ้งฟิล์มสีแข็งให้เกาะติดอยู่บนชิ้นงาน จุดอ่อนของไนโตรเซลลูโลสแลคเกอร์คือ ไม่สามารถสร้างฟิล์มหนาๆ ได้ ดังนั้นจึงต้องพ่นสีหลายชั้น อย่างต่ำ 6 ชั้นหรือ 10 ชั้นหรือ 25 ชั้น

การเพิ่มฟิล์มสีไนโตรเซลลูโลสแลคเกอร์ให้หนา สามารถทำได้ โดยการพ่นสีแบบใช้ความร้อน ซึ่งสามารถเพิ่มเนื้อแลคเกอร์ขึ้นได้ถึง 30-40 เปอร์เซ็นต์ วิธีเพิ่มความร้อนจะทำให้แลคเกอร์ไหลพ่นได้ อุณหภูมิความร้อนที่ใช้ 160 องศาฟาเรนไฮด์ ถ้าอุณหภูมิความร้อนไม่ถึง 160 องศาฟาเรนไฮด์ จะทำให้สีแลคเกอร์มีความหนืดสูงขึ้น ทำให้การพ่นของสีเป็นฝอยไม่ถูกต้อง แต่ถ้าสีแลคเกอร์ร้อนมากเกินไป ในการพ่นนานๆ อาจทำให้แลคเกอร์ละลายหรือลุกไหม้ได้ (ที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮด์ สามารถทำการพ่นได้หลายชั่วโมงโดยไม่ทำให้แลคเกอร์เสื่อมคุณภาพ) การพ่นสีโดยใช้ความร้อนจะสามารถลดจำนวนครั้งในการพ่นลงได้ ข้อดีและข้อเสียของสีฟันไนโตรเซลลูโลสแลคเกอร์ดังตารางที่ 2.1

(ข) สีฟันรถยนต์อะคริลิกแลคเกอร์ (Acrylic lacquer)

เป็นสีฟันรถยนต์แห้งเร็วชนิดหนึ่ง ซึ่งบางครั้งก็เรียกว่า อะคริลิกเรซิน (Acrylic Resin หรือ Polymethyl methacrylate) จัดเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อทางการค้าเช่น เพลลิกลาส (Plexiglas) ลูซิเต้ (Lucite) และโพลีกลาส (Polyglas) เป็นต้น อะคริลิกแลคเกอร์ถูกนำมาใช้ในสหรัฐอเมริกาเมื่อปีค.ศ.1936 เมื่อนำไปผสมกับพลาสติกชนิดอื่นเกิดเป็นพลาสติกชนิดใหม่ เช่น Methyl Methacrylate โดยกระบวนการโพลิเมอไรเซชัน (Polymerization)

ลักษณะทั่วไปของอะคริลิกแลคเกอร์

เป็นของเหลวใส เมื่อแห้งแล้วมีความเงาแวววาว มีความแข็งแรงพอสมควร เป็นรอยขีดข่วนง่าย ทนแสงอุลตราไวโอเลตได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก สามารถทนสารเคมีได้พอสมควร แต่ไม่ควรให้ถูกน้ำมันเบนซิน อะซิโตน คลอโรฟอร์ม สเปรย์น้ำหอม และพวกกรดออกซิไดซิง (Oxidizing Acid) ชนิดเข้มข้น อะคริลิกยังทำเป็นสีต่างๆ ได้ ทั้งใส ฟ้า และทึบแสง สามารถละลายได้ในทินเนอร์ โดยจะใสโปร่งแสงได้เท่ากันทุกจุด ดูเด่นสะดุดตา ทนแดดฝน มีความต้านทานต่อความชื้น เหมาะที่จะใช้เคลือบโลหะและนิยมมากในการเคลือบทองเหลืองทองแดง อะลูมิเนียม เมื่อขัดจะขึ้นมัน มีการสะท้อนแสงได้ดี

อะคริลิกแลคเกอร์จัดอยู่ในประเภทเทอร์โมพลาสติก สามารถนำไปขึ้นเป็นรูปต่างๆ ได้ เมื่อได้รับความร้อนเข้าไป จะเกิดการอ่อนตัวและแผ่ขยาย เกิดการไหลยืมที่

อุณหภูมิประมาณ 140-160 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มเนื้อของสีให้หนา เกิดความเรียบสม่ำเสมอ และเมื่อเย็นตัวก็จะรักษารูปเดิมไว้ ข้อดีและข้อเสียของสีฟันอะคริลิกแลคเกอร์ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของสีฟันในโตรเซลลูโลสแลคเกอร์และสีฟันอะคริลิกแลคเกอร์ (อร่าม เริงฤทธิ์, 2539)

	สีฟันในโตรเซลลูโลสแลคเกอร์	สีฟันอะคริลิกแลคเกอร์
ข้อดี	<ol style="list-style-type: none"> 1. สีจะแห้งเร็วในเวลา 15-20 นาที 2. ทิ้งไว้เวลา 24 ชั่วโมงก็ทำการขัดสีได้ 3. สามารถซ่อมสีได้อย่างดี 4. ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์การอบสี 5. การเกาะตัวดีมีความทนทานสูง 6. สามารถทนต่อน้ำมัน แก๊ส โซลีน สบู่อาร์บี น้ำมันเครื่อง กรดอ่อน แอลกอฮอล์เจือจาง และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 7. สภาพของสีเมื่อเปียกและแห้ง มีความแตกต่างกันน้อยมาก 8. ควบคุมคุณภาพในการผลิตได้ 9. ทนต่ออุณหภูมิสูงได้โดยสีไม่อ่อนตัว 10. ขัดมันได้ง่าย 11. มีความเงา 	<ol style="list-style-type: none"> 1. สีจะแห้งเร็วในเวลา 15 – 20 นาที 2. ทิ้งไว้เวลา 24 ชั่วโมงก็ทำการขัดสีได้ 3. ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อบสี 4. การเกาะตัวดีมีความทนทานสูง 5. สามารถทนต่อน้ำมัน กรด อาร์บี สบู่อและแอลกอฮอล์ 6. มีความเงางาม สีดูใหม่ตลอดเวลา 7. ขัดมันได้ง่าย 8. ทนต่ออุณหภูมิสูงได้โดยไม่อ่อนตัว 9. ไม่มีฝ้าในฟิล์มสีเมื่อใช้งาน 10. สีอะคริลิก เป็นพลาสติกใสมาก จึงไม่มีการทำให้เงาสีเปลี่ยน 11. คุณสมบัติในการขัดเงามีน้อยมาก จึงเป็นการง่ายในการกลืนสีที่ซ่อมใหม่ 12. อะคริลิกที่ฟันไปแล้วสามารถกลายเป็นของเหลวได้อีกเมื่อถูกทินเนอร์ จึงทำให้ซึมประสานเหมือนสีเดิม
ข้อเสีย	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่สามารถทาสีด้วยแปรงได้ 2. การฟันสีแลคเกอร์โดยไม่ใช้ความร้อนช่วยจะทำให้ฟันหลายชั้น 3. ถ้าฟันสีแลคเกอร์บนน้ำมันวานิชหรือสีน้ำมัน จะเกิดการลอกฟองออก 4. ถ้านำสีแลคเกอร์ไปฟันไม้ แล้วนำไปใช้ภายนอก สีจะไม่มี ความทนทาน 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ถ้าฟันสีอะคริลิก แลคเกอร์ ลงบนวานิช จะเกิดการลอกฟองเพราะทินเนอร์ มีอำนาจในการทำลายสูง 2. ถ้าฟันอะคริลิก ทับอะคริลิกเดิม ระวังจะเกิดการฟองขึ้น 3. จะต้องฟันสีจำนวนหลายชั้น ถ้าไม่ใช้ฟันความร้อนช่วย

2.2.2.2 สีพ่นรถยนต์แห้งช้าหรือสีอีนาเมล (Enamel)

สีพ่นรถยนต์แห้งช้าหรือสีอีนาเมล เป็นสีพ่นรถยนต์ครั้งสุดท้าย ให้ความสวยงาม ทนทานสูง มีทั้งชนิดคอบด้วยความร้อน และไม่อบ ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

(ก) สีแห้งช้าแอลคิค (Alkyd Enamel) บางครั้งก็เรียกว่า แอลคิคเรซิน (Alkyd Resin) หรือเรียกสีสังเคราะห์แห้งช้า (Synthetic Enamel) ค้นพบเมื่อปี ค.ศ.1926 สีแอลคิคเมื่อพ่นเสร็จแล้วจะเกิดความเงางาม (gloss) ขึ้นเอง คุณสมบัติทางกายภาพมีความทนทานอยู่ช่วงเวลานึงเท่านั้น ประมาณ 2-4 ปี ดังนั้นสีแอลคิคจึงเป็นน้ำมันออกซิไดซิง (Nonoxidizing) ซึ่งจัดอยู่ในประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting) ขณะพ่นสีลงบนชิ้นงาน บริเวณนั้นควรปราศจากฝุ่นละอองต่างๆ และเมื่อพ่นแล้วสีจะแข็งตัว สามารถนำออกใช้งานได้หลังจาก 24 ชั่วโมง และสีจะแห้งอย่างแท้จริงหลังจากการพ่น 3 เดือน ลักษณะการแห้งของสีแอลคิคเป็นไป 2 สถานะคือ การแห้งโดยที่ตัวทำละลายระเหยออกไปจากเนื้อสี และการแห้งของสีโดยความร้อนซึ่งออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยารวมกับสีทำให้สีแห้งและแข็งอย่างแท้จริง

(ข) สีแห้งช้าอะคริลิค (Acrylic Enamel) เป็นสีใช้พ่นรถยนต์ครั้งสุดท้ายชนิดแห้งช้า ซึ่งเมื่อพ่นงานเสร็จเรียบร้อยแล้วจะเกิดความเงามัน มีความทนทานสูง ทนต่อกรด แอลกอฮอล์ น้ำมันและละอองสารเคมี ไม่มีโคลสีจับเช่นเดียวกับสีอะคริลิคแลคเกอร์ แต่สีแห้งช้าอะคริลิคมีจำนวนชั้นที่พ่นน้อยกว่าสีอะคริลิคแลคเกอร์ ซึ่งจะพ่นประมาณ 2-3 ชั้นเท่านั้น และมีข้อยุ่งยากเกี่ยวกับการพ่น คือ บริเวณพ่นชิ้นงานจะต้องปราศจากฝุ่นละอองต่างๆ สีจะแข็งตัวอย่างแท้จริง ประมาณ 3 เดือน แต่หลังจากพ่นแล้ว 24 ชั่วโมง สามารถใช้งานได้ สีแห้งช้าอะคริลิคสามารถทำให้แห้งได้โดยการอบด้วยความร้อนซึ่งจะแห้งในเวลา 20 นาที ทั้งนี้ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ออบและองค์ประกอบอื่นๆ การแห้งของสีแห้งช้าอะคริลิคจะเป็นไป 2 สถานะคือ การแห้งโดยตัวทำละลายระเหยออกไปจากสีที่พ่นลงบนงาน และการแห้งของสีโดยความร้อนซึ่งออกซิเจนในอากาศเข้าทำปฏิกิริยารวมตัวกับสี ทำให้สีแห้งและแข็งตัวอย่างแท้จริง

(ค) สีแห้งช้าโพลิยูเรเทนหรือยูเรเทน (Polyurethane Enamel or Urethane Enamel) เป็นสีพ่นรถยนต์ครั้งสุดท้าย มีความเงางามสูง ชีดจางได้ยาก ทนสารเคมี ทนน้ำมัน เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ทนการสึกกร่อน เหนียว ทนความร้อน ไม่ติดไฟง่าย ค้นพบเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1848 ในสหรัฐอเมริกา และเริ่มใช้ในอุตสาหกรรมในปี ค.ศ.1954 นี้เอง จัดอยู่ในประเภทเทอร์โมเซตติง โพลิยูเรเทนนอกจากจะใช้พ่นเคลือบผิวโลหะแล้ว ยังใช้เคลือบไม้ ยาง ผ้า คอนกรีต กระดาษ หนัง และอื่นๆ ได้อีกด้วย

คุณสมบัติที่ดีของสีอีนาเมล

- ให้ความมันเงาสูง (High gloss) โดยไม่ต้องขัดมัน
- เมื่อสีแห้งแล้ว จะแข็งตลอดจากผิวหน้าถึงส่วนล่าง
- ความทนทานสูง สีไม่ซีดจาง

- ง่ายที่จะทำการอบด้วยความร้อนให้แห้ง โดยใช้อุณหภูมิต่ำๆ
- การแตกตัวของสีในเวลาพ่นสีดี
- การแผ่กระจายของสีดี ทำให้สีสม่ำเสมอ
- ง่าย
- ทนน้ำ น้ำมัน ไม่เกิดการต่าง
- แห้งเร็ว

อร่าม เรืองฤทธิ์ (2539) ได้แสดงถึงความแตกต่างระหว่างสีแลคเกอร์กับสีอีนาเมลไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างระหว่างสีแลคเกอร์กับสีอีนาเมล (อร่าม เรืองฤทธิ์, 2539)

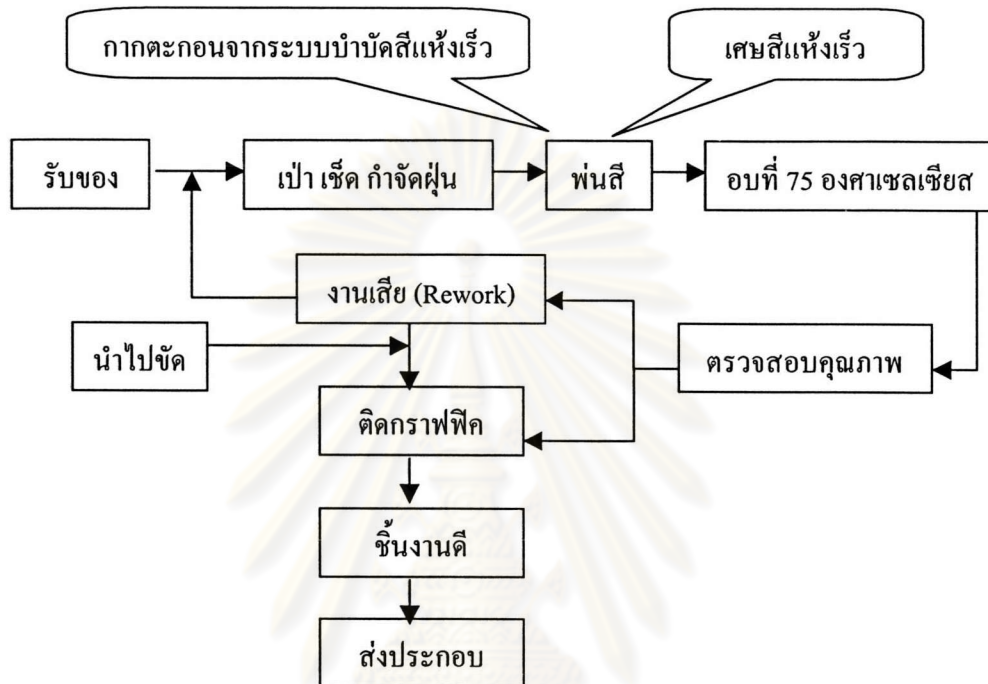
สีแลคเกอร์	สีอีนาเมล
1. สีแลคเกอร์แห้งเร็วกว่าสีอีนาเมล	1. สีอีนาเมลแห้งช้ากว่าสีแลคเกอร์
2. สีแลคเกอร์เมื่อแห้งแล้วต้องขัดมันจึงจะให้ความเงา	2. สีอีนาเมลแห้งแล้วไม่ต้องขัดมัน
3. สีแลคเกอร์จะแห้งได้โดยการระเหยออกของทินเนอร์อย่างเดียว	3. สีอีนาเมลแห้งโดยการระเหยของริควิเซอร์ ความร้อนและออกซิเจนจากอากาศเข้าทำปฏิกิริยากับสี
4. สีแลคเกอร์ต้องพ่นประมาณ 6 ชั้น (สีพื้นและสีพ่นรถยนต์) สีแลคเกอร์พิเศษบางชนิดพ่นถึง 25 ชั้น	4. สีอีนาเมลพ่นเพียง 2-3 ชั้น (สีพื้นและสีพ่นรถยนต์ สีพื้นควรพ่นเพียง 1 ชั้น เท่านั้น)
5. เมื่อพ่นแล้วทำการขัดได้ภายใน 2-3 ชั่วโมง ถ้าจะให้ดีควรขัดเมื่อสีแห้งเกิน 24 ชั่วโมง	5. ถ้าจะทำการขัด ต้องให้สีแห้งตัวประมาณ 30 วันไปแล้ว
6. ใช้ความดันลมในการพ่นที่ 40-45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	6. ใช้ความดันลมในการพ่นที่ 60-75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
7. ใช้ทินเนอร์เป็นตัวทำละลาย	7. ใช้ริควิเซอร์ (น้ำมันสน) เป็นตัวทำละลาย
8. ใช้งานได้เมื่อพ่นเสร็จแล้ว 2-3 ชั่วโมง	8. ใช้งานได้เมื่อพ่นสีเสร็จแล้ว 24 ชั่วโมง (ชนิดที่ไม่อบ) และจะแห้งสนิทใน 3 เดือน ถ้าอบด้วยความร้อนจะแห้งภายใน 20 นาที

2.3 กากของเสียจากอุตสาหกรรมเคลือบสีรถยนต์ (โรงงานอุตสาหกรรมเคลือบสีรถยนต์, 2544)

กากของเสียที่ใช้ในการวิจัยได้รับมาจากโรงงานอุตสาหกรรมเคลือบสีรถยนต์แห่งหนึ่ง ประกอบด้วยเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว โดยมีที่มาจากการบวนการผลิตส่วนพ่นสี ดังนี้

แผนกที่ 1 รับผิดชอบเกี่ยวกับการพ่นสีในส่วนตัวถัง
การพ่นสีแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การพ่นสีพลาสติก กับ การพ่นสีเหล็ก ก่อนที่จะ
นำชิ้นส่วนไปประกอบเป็นรถ

1. การพ่นสีพลาสติก มีแผนผังกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้



เมื่อรับของจากร้านค้า ก็จะมีการตรวจเช็คและส่งเข้าสายการพ่นสี จึงต้องมีการ
เป่า เช็ด เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานที่อาจจะมีส่วนฝุ่นติดมาให้หลุดออกจากชิ้นงาน จากนั้นส่งต่อไป
ยังส่วนทำการพ่นสี จุดนี้ก็จะเกิดของเสีย คือ อากาศที่มีเม็ดสีส่วนเกิน ทินเนอร์ส่วนเกิน สีที่เหลือจาก
การพ่น ซึ่งเรียกว่า เศษสีแห้งเร็ว และกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว ซึ่งมีที่มาจาก การบำบัด
น้ำที่ใช้ในการทำน้ำเพื่อดักจับละอองสีในระหว่างการพ่นชิ้นงาน เมื่อทำการพ่นเสร็จแล้วจะนำ
ชิ้นงานไปอบที่ 70-80 องศาเซลเซียส เพื่อให้สีแห้งและจับชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้น แล้วทำการตรวจสอบ
คุณภาพ หากเป็นชิ้นงานที่ดีก็จะนำไปติดกราฟฟิคแล้วส่งไปประกอบ แต่ถ้าหากไม่ผ่านการทดสอบ
ชิ้นงานนั้นจะถูกส่งไปเป่า เช็ด อีกครั้งเพื่อทำการพ่นสีใหม่

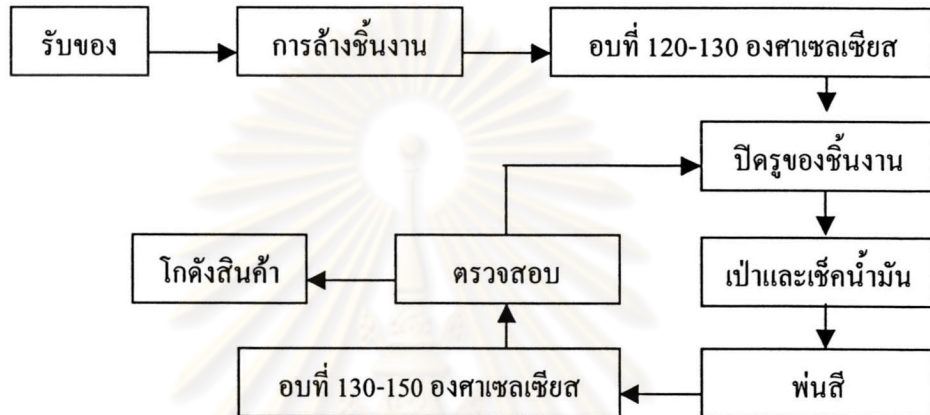
2. การพ่นสีเหล็ก

สามารถแบ่งได้เป็น 2 สาย คือ สายการพ่นสีโครงและถังเชื้อเพลิง (Line C) กับ
สายการพ่นสีหม้อกรองไอเสีย (Line D)

สายการพ่นสีเหล็กจะต่างจากสายการพ่นสีพลาสติกคือ เหล็กจะถูกล้างน้ำมันออก
จากชิ้นงานและทำการเคลือบฟอสเฟต เพื่อให้เกิดการขัดเกาะกับสีที่พ่นได้ดียิ่งขึ้น ในส่วนนี้จะเกิดน้ำ
เสียที่มีโลหะหนักปนออกมาด้วย ได้แก่ นิกเกิล สังกะสี และน้ำเสียเป็นกรด-ด่าง หลังจากผ่าน

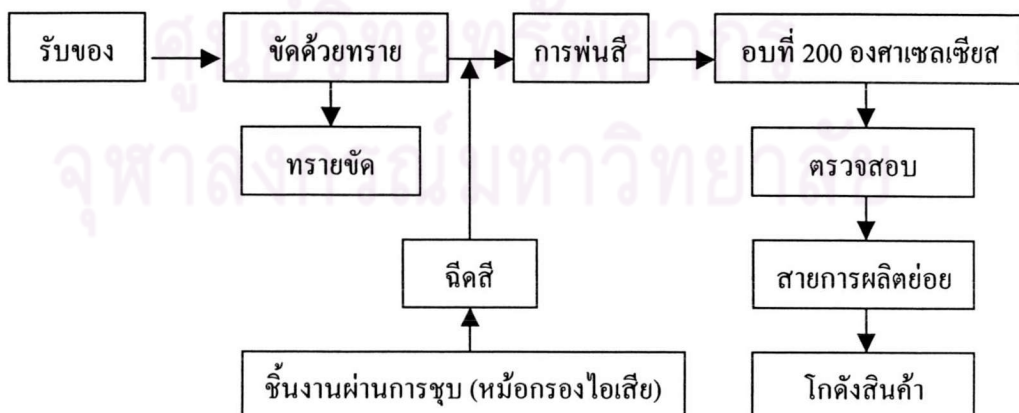
กระบวนการล้างชิ้นงานแล้ว ชิ้นงานจะถูกส่งไปอบที่ 120-130 องศาเซลเซียสให้แห้ง และทำการปกปิดบริเวณที่เป็นรูต่างๆ ของชิ้นงานเพื่อป้องกันการเข้าไปอุดตันของสีที่พ่น จากนั้นจะทำการเช็ดน้ำมันและเป่าฝุ่นที่ติดที่ชิ้นงาน แล้วจึงส่งต่อไปกระบวนการเคลือบสีซึ่งจะนำชิ้นงานไปผ่านการอบที่ 130-150 องศาเซลเซียส ก่อนจะส่งไปเก็บที่โกดังเก็บสินค้า

Flow Diagram Line C



ในการพ่นสีท่อไอเสียใน Line D จะรับชิ้นงานมาจาก 2 ส่วน คือ จากร้านค้าซึ่งจะต้องนำชิ้นงานมาขัดผิวด้วยการพ่นทราย (Shot Blasting) ก่อนจึงพ่นสี กับชิ้นงานที่รับมาจากส่วนชุบ จะต้องฉีดสีเข้าท่อเสียก่อน แล้วจึงทำการพ่นสีที่จุดพ่นทรายขัด ซึ่งในจุดนี้ก็จะเกิดของเสียคือ ทรายขัดที่เสื่อมคุณภาพโดยอาจจัดเป็นของเสียอันตราย หลังจากชิ้นงานผ่านการพ่นสีก็จะถูกส่งไปอบที่ 200 องศาเซลเซียส แล้วจึงส่งไปยังสายการผลิตต่อไป

Flow Diagram Line D



แผนกที่ 2 รับผิดชอบเกี่ยวกับการพ่นสีชิ้นส่วนเครื่องยนต์

กระบวนการในการผลิตของแผนกนี้มีแบ่งไว้ 4 สายการผลิต คือ

(ก.) สาย A - การชุบสีชิ้นงานโดยใช้กระแสไฟฟ้าช่วย (E.D. COATING LINE)

(ข.) สาย B - การพ่นสีโดยใช้คนเป็นผู้ควบคุมงาน (SPRAY COATING LINE)

(ค.) สาย C - การชุบชิ้นงานด้วยโครเมต (CHROMATING LINE)

(ง.) สาย D - การพ่นสีที่ต้องการความละเอียด (AUTOMATIC WAITING LINE)

สาย A การชุบสีชิ้นงานโดยใช้กระแสไฟฟ้าช่วย

ในสายนี้จะแบ่งเป็นกระบวนการย่อยๆ ได้ 2 ช่วงกระบวนการ คือ กระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานเบื้องต้น (Pretreatment) และกระบวนการชุบสีชิ้นงานโดยใช้กระแสไฟฟ้าช่วย

ในช่วงแรก กระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานเบื้องต้น กระทำโดยจุ่มชิ้นงานในบ่อน้ำยาล้างไขมัน (FC-T320) ซึ่งจะไปกำจัดคราบน้ำมันที่ติดอยู่ที่ชิ้นงานให้หมดไป เมื่อชิ้นงานถูกล้างเสร็จแล้ว จะถูกส่งไปล้างคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกต่างๆ ที่ยังติดอยู่ที่ชิ้นงานให้หลุดออกในบ่อน้ำที่อยู่ถัดไป จากนั้นชิ้นงานจะถูกส่งไปทำการชุบในบ่อโครเมต เพื่อเวลาที่ส่งชิ้นงานไปพ่นสีจะทำให้สีสามารถที่จะติดชิ้นงานได้ง่ายขึ้น หลังจากชิ้นงานผ่านการชุบโครเมตแล้ว จะถูกส่งไปล้างด้วยน้ำเปล่า 2 บ่อ และล้างด้วยน้ำปราศจากอ็อกซิเจนเพื่อป้องกันสนิม

ในช่วงที่สอง กระบวนการชุบสีชิ้นงานโดยใช้กระแสไฟฟ้าช่วย ในขั้นแรกของกระบวนการ ชิ้นงานจะถูกจุ่มลงในบ่อเพื่อทำการชุบสีชิ้นงานโดยใช้กระแสไฟฟ้าช่วย แล้วสีที่ถูกปล่อยออกมาจะเข้าไปติดที่ชิ้นงาน ต่อจากนั้นชิ้นงานจะถูกล้างด้วยน้ำเปล่าในบ่อถัดไป และล้างโดยวิธีสเปรย์เพื่อให้สีที่ค้างตามซอกหลุดออกจริงๆ สุดท้ายจะล้างด้วยน้ำปราศจากอ็อกซิเจนอีกครั้ง ก่อนจะส่งเข้าเตาอบเฉพาะชิ้นงานที่ผ่านการชุบสีโดยใช้กระแสไฟฟ้าช่วย (E.D. BAKING OVEN) เพื่อจะได้ทำการอบชิ้นงานให้แห้งสนิทจริงๆ ก่อนจะส่งไปยังแผนกอื่นๆ

สาย B การพ่นสีโดยใช้คนเป็นผู้ควบคุมงาน

ในส่วนของสาย B นี้จะเป็นส่วนที่ทำการพ่นสีโดยใช้คนเป็นผู้ควบคุมงานและทำการพ่นสี ส่วนใหญ่จะเป็นงานพ่นสีในส่วนที่เกี่ยวข้องกับด้านเครื่องยนต์เป็นหลัก

กระบวนการผลิตแบ่งออกเป็นจุดต่างๆ ได้ดังนี้

- จุด 1 - ชิ้นงานจะถูกแขวนไว้บนตะขอตตามจำนวนและชนิดของชิ้นงาน
- จุด 2 - ชิ้นงานจะเคลื่อนที่ตามราง (CONVEYOR) มาเรื่อยๆ จนถึงจุดที่จะนำชิ้นงานมาจุ่มสารเคมี ซึ่งมีหลักการในการจุ่มและจุดประสงค์ในการจุ่มเหมือนกระบวนการสาย A เพียงแต่ว่ากระบวนการนี้ไม่มีบ่อจุ่มสี
- จุด 3 - เมื่อชิ้นงานได้ทำการจุ่มสารเคมีแล้วจะถูกส่งเข้าเตาอบ (BAKING OVEN) เพื่อทำการอบชิ้นงานให้ผิวชิ้นงานแห้ง

- จุด 4 - ที่จุดนี้ชิ้นงานจะถูกพ่นด้วยลมอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีเศษของฝุ่นละอองต่างๆ ติดอยู่ที่ชิ้นงาน เพื่อตอนที่ทำการพ่นสี สีนั้นจะได้ติดชิ้นงานจริงๆ ไม่หลุด
- จุด 5 - ที่จุดนี้เป็นกระบวนการพ่นสีชิ้นงาน (PAINTING BOOTH) โดยจะแบ่งการพ่นสีออกเป็น 2 ครั้ง ในครั้งแรกจะพ่นแบบหยาบๆ ก่อน และครั้งที่ 2 จะพ่นแบบเก็บละเอียด ในขั้นตอนนี้สามารถที่จะพบเห็นเศษของฝุ่นที่ติดชิ้นงานได้ก็ต่อเมื่อสีถูกพ่นไปแล้ว คือจะเป็นรอยอนุชิ้นมา และในจุดนี้จะมีการป้องกันสีที่มีการย้อนกลับหรือมีการฟุ้งกระจายโดยใช้ลมเป่าออกมาจากด้านบนเพื่อกดสีที่ฟุ้งขึ้นให้ต่ำลงเมื่อสีนั้นเคลื่อนที่ต่ำลงมาแล้วจะมีลมที่เป่าออกมาจากด้านล่าง ซึ่งแนวลมนี้จะมีทิศตั้งฉากกับแนวลมที่เป่ามาทางด้านบน แล้วลมนี้จะเป่าให้สีที่เคลื่อนต่ำลงมาเคลื่อนที่ไปชนกับม่านน้ำซึ่งทำให้สีติดอยู่ที่ผิวหน้าแล้วถูกพาออกไปได้
- จุด 6 - ห้องพักชิ้นงานเพื่อให้สีเซตตัว (SETTING ROOM) เป็นห้องที่มีการปรับอุณหภูมิและจะมีลมที่ผ่านเข้าออกด้วย จุดประสงค์ของห้องนี้คือ เมื่อสีได้ถูกพ่นแล้วก่อนที่จะนำไปผ่านการอบอีกครั้งซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย จะต้องรอให้สีที่เพิ่งจะถูกพ่นนี้ ได้มีเวลาในการเซตตัวเสียก่อน ซึ่งจะเป็นการทำให้สีนั้นติดแน่นกับชิ้นงานจริงๆ เมื่อชิ้นงานได้ผ่านการอบเป็นครั้งสุดท้ายแล้ว
- จุด 7 - จุดนี้เป็นกระบวนการสุดท้ายในการพ่นสีชิ้นงาน โดยเป็นกระบวนการอบชิ้นงานให้แห้งที่สุด (DRY OFF OVENDER) ซึ่งจะใช้ความร้อนอุณหภูมิสูงกว่าที่ใช้ในกระบวนการอบผิวชิ้นงานให้แห้ง
- จุด 8 - เป็นจุดที่นำชิ้นงานลงจากตะขอ

สาย C การชุบชิ้นงานด้วยโครเมต

ในสายการผลิตนี้ ส่วนใหญ่ชิ้นงานจะส่งตรงมาจากบ้านค้าโดยตรง เพื่อจะนำมาทำการชุบด้วยโครเมต ขั้นตอน วิธีการและสารเคมีที่ใช้ของการชุบแบบนี้จะมีวิธีที่คล้ายๆ กับกระบวนการที่ได้กล่าวไปแล้วทั้งสิ้น แต่ที่ต่างคือจำนวนชิ้นงานที่ทำการชุบในแต่ละครั้งจะมีจำนวนมากกว่าในกระบวนการอื่นๆ

สาย D การพ่นสีที่ต้องการความละเอียด

ในกระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการพ่นสีที่ต้องการความละเอียด เช่น พ่นสีที่ตัวหนังสือบนชิ้นงาน จึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน กระบวนการคือวางชิ้นงานลงบนเครื่อง สีจะถูกพ่นไปที่ชิ้นงานซึ่งก่อนที่จะทำการพ่นสีจะต้องตั้งชื่อรุ่นของชิ้นงานก่อนเสมอ เพื่อให้ได้ความถูกต้องในแต่ละชิ้นงาน จากนั้นจะส่งต่อไปยังห้องพักชิ้นงานเพื่อรอให้สีมีการเซตตัวเสียก่อน แล้วจึงส่งไปทำการอบชิ้นงานให้แห้งที่สุดก่อนเอาชิ้นงานออก

ปริมาณเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการบำบัดเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วของโรงงานอุตสาหกรรมเคลือบสีรถยนต์แห่งนี้ ดังสรุปในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการบำบัด (โรงงานอุตสาหกรรมเคลือบสีรถยนต์, 2544)

ชนิดของเสีย	บริษัทที่รับกำจัด	วิธีการกำจัด	ปริมาณที่ส่ง (ตัน)	ราคาในการกำจัด (บาท / ตัน)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1. เศษสีแห้งเร็ว	GENCO (แสมดำ)	ฝังกลบ	5	3,687	18,435
2. กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็ว	GENCO (แสมดำ)	ฝังกลบ	5	3,787	18,935

2.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (วินิต ช่อวิเชียร, 2539)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างทางวิศวกรรมเมื่อผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หิน กรวด ทรายและน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีตซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็งแรงทนทานคล้ายหิน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 1400-1500 องศาเซลเซียส วัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตปูนซีเมนต์ ได้แก่ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน เหล็กและอะลูมิเนียม โดยมีอัตราส่วนผสมที่พอเหมาะเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ

เมื่อเผาวัตถุดิบปูนซีเมนต์ ออกไซด์ของแคลเซียม ซิลิกอน เหล็กและอะลูมิเนียมจะทำปฏิกิริยาทางเคมีและรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate) ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium Aluminate) และเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite) ดังตารางที่ 2.4

คุณสมบัติของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

- ไตรแคลเซียมซิลิเกต ทำให้ปูนซีเมนต์รับแรงได้เร็ว ให้กำลังสูงเกิดความร้อนมาก
- ไดแคลเซียมซิลิเกต ทำให้ปูนซีเมนต์รับแรงได้ช้า ให้กำลังสูงเกิดความร้อนน้อย
- ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้เร็ว เกิดการก่อตัวทันทีที่ผสมกับน้ำ ให้ความร้อนสูง โดยจะให้กำลังรับแรงเล็กน้อยในวันแรกและจะไม่ให้กำลังเพิ่มขึ้นตามเวลา แต่จะมีประโยชน์ในการช่วยเร่งปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมซิลิเกต

-เตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ จะก่อตัวอย่างรวดเร็ว แต่ช้ากว่าและให้ความร้อนน้อยกว่าไตรแคลเซียมอะลูมิเนตเล็กน้อย ส่วนการให้กำลังรับแรงยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอน

ตารางที่ 2.4 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (วินิต ช่อวิเชียร, 2539)

ชื่อของสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

ในปูนซีเมนต์จะมีสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกตรวมกันประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมความแข็งแรงของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณของซิลิกาและอะลูมินาอยู่มากจะเป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังสูง แต่ปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณของซิลิกามากเพียงอย่างเดียวจะเป็นปูนซีเมนต์ที่มีระยะเวลาก่อตัวช้า

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (มอก.15) และ ASTM แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็นประเภทใหญ่ๆ 5 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement, OPC)

สำหรับใช้ทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าปกติและสำหรับใช้ในงานก่อสร้างตามปกติทั่วไปที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรงหรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษที่ความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตราย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียวและตราเพชรเม็ดเดียว

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ดัดแปลง

มีปริมาณไตรแคลเซียมอะลูมิเนตน้อยกว่าประเภท 1 โดยจะต้องมีไม่เกินร้อยละ 8 ใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อน มีความทนซัลเฟตได้ปานกลาง

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์แข็งเร็วหรือซูเปอร์ซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา สามารถผลิตได้โดยทำการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้นหรือทำการเปลี่ยนสัดส่วนผสมของไตรแคลเซียมซิลิเกตและไตรแคลเซียมอะลูมิเนตให้เพิ่มมากขึ้น

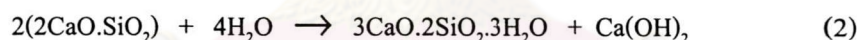
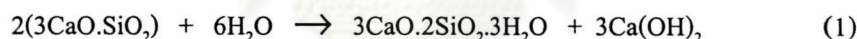
ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ
ทำขึ้นโดยใช้ไตรแคลเซียมอะลูมิเนตน้อย แต่ใช้ไดแคลเซียมซิลิเกตมาก นิยมใช้
ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ในการก่อสร้างคอนกรีตหลา เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำขณะแข็งตัว

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง
เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่มีความต้านทานซัลเฟตได้สูง เพราะมีปริมาณส่วนผสมของ
ไตรแคลเซียมอะลูมิเนตน้อยมาก ปกติไม่เกินร้อยละ 5 แต่ถ้าจะให้ดีไม่ควรเกินร้อยละ 4 สำหรับใช้
กับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง

2.5 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัว ซึ่ง
ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นกับสารประกอบในปูนซีเมนต์ โดยสารประกอบดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากันและ
เปลี่ยนเป็นวัสดุประสาน ผลผลิตของปฏิกิริยาไฮเดรชันมีชื่อเรียกรวมๆ ว่า ซีเมนต์เจล (Cement gel)
ประกอบไปด้วยแคลเซียม-ซิลิเกต-ไฮเดรต (C-S-H) ร้อยละ 50-90 โดยปริมาตร และมีแคลเซียม-
ไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) ร้อยละ 20-25 โดยปริมาตร ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกที่หายากและมีขนาดเล็ก
โดยมีการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



ขั้นตอนของปฏิกิริยาไฮเดรชัน คือ เมื่อผงซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ถูกผสมกับน้ำจะเกิด
เป็นไฮเดรตคอมพาวนด์ โดยไตรแคลเซียมซิลิเกต (C₃S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C₂S) จะแตกตัว
ออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 ปฏิกิริยานี้จะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ โดยที่แคลเซียม-
ออกไซด์ (CaO) จะแยกตัวออกมาจากแคลเซียมซิลิเกต (CaO·SiO₂) แล้วเปลี่ยนไปเป็นแคลเซียม-
ไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) จนกว่าสารละลายนั้นจะอิ่มตัวไปด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือจนกว่า
สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตถูกทำปฏิกิริยาไปจนหมด

สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันทั้ง 2 ส่วน ได้แก่

(ก) แคลเซียม-ซิลิเกต-ไฮเดรต (Calcium-Silicate-Hydrate, C-S-H) มีสูตรเคมีดังนี้
3CaO·2SiO₂·3H₂O ซึ่งจัดเป็นวัสดุประสาน

(ข) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, C-H) เป็นสารที่สามารถทำ
ปฏิกิริยาต่อไปได้อีกถ้ามีสารประกอบที่เหมาะสมมาร่วมทำปฏิกิริยา

2.6 กระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์ (Solidification and Stabilization Process)

กระบวนการทำให้เป็นก้อนและการทำลายฤทธิ์ เป็นวิธีการที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันการละลายของสารเคมีที่เป็นของเสียอันตรายและการปนเปื้อนของสารพิษลงสู่สิ่งแวดล้อม วัตถุประสงค์ของกระบวนการดังกล่าว เพื่อสร้างมวลของแข็งเนื้อเดียวที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้น้อยและมีโครงสร้างที่มั่นคงแข็งแรง โดยกำหนดหลักสำคัญในการบำบัดของเสียอันตราย ดังนี้

- ปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของของเสียให้เหมาะสมต่อการเคลื่อนย้าย
- การลดพื้นที่ผิวของของเสียเพื่อป้องกันหรือลดการสูญเสียสารมลพิษ
- การจำกัดการละลายของสารมลพิษที่อยู่ในของเสีย

ตารางที่ 2.5 แสดงรายละเอียดของกระบวนการทำให้เป็นก้อนประเภทต่างๆ 7 วิธีการเลือกวิธีการบำบัดของเสียดังกล่าวควรเลือกให้เหมาะสมกับของเสียประเภทต่างๆ

ตารางที่ 2.5 กระบวนการกำจัดของเสียที่เป็นอันตรายด้วยการทำให้เป็นก้อน

(Engineering & Science และคณะ, 1989)

กระบวนการทำให้เป็นก้อน (Solidification Process)	รายละเอียด
1.Cement Based	ของเสียจะถูกผสมลงในซีเมนต์ น้ำและส่วนผสมอื่นๆ และปล่อยให้แห้งจนแข็งตัวเป็นก้อนซีเมนต์
2.Pozzolanic (Lime Based)	ของเสียถูกผสมกับปูนขาวและวัสดุที่มีสมบัติเป็นปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย ผงซีเมนต์ที่เผาเผาเป็นต้น ซึ่งมีสมบัติแข็งตัวได้เมื่อผสมน้ำ
3.Thermoplastic	นำของเสียมาทำให้แห้ง ให้ความร้อนแล้วผสมของเสียให้กระจายตัวในพลาสติกที่ร้อน เช่น บิทูเมน (Bitumen) พาราฟิน (Parafin) หรือโพลีเอทิลีน (Polyethylene) แล้วปล่อยให้เย็นลงและแข็งตัว
4.Organic Polymer	ของเสียจะถูกผสมกับสารโพลีเมอร์ (gelling agents หรือ urea formaldehyde) และเติมสารแคตตาลิสต์ผสมให้เข้ากันก่อนที่โพลีเมอร์จะแข็งตัว
5.Surface Encapsulation	ของเสียจะถูกอัดให้เกาะตัวแน่นแล้วเคลือบผิวนอกของเสียที่ถูก บดอัดด้วยสารเหนียว เช่น Polyethylene หรือ Organic Resins
6.Self-Cementing	สารที่มีสมบัติเป็นสารซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซิลิเฟตและแคลเซียม-ซิลิไฟด์ที่เกิดจากการกำจัดของเสียอุตสาหกรรมคือ ก๊าซซิลเฟอร์-ไดออกไซด์ สามารถนำมาผสมกับกากตะกอนของเสียเพื่อหล่อให้แข็งตัวได้ โดยวัสดุที่ได้จะมีสมบัติง่ายต่อการเคลื่อนย้ายและมีความสามารถให้น้ำซึมได้น้อย
7.Glassification and Production of Synthetic Minerals or Ceramics	สารที่เป็นอันตรายมาก เช่น กากสารกัมมันตภาพรังสีสามารถจะนำมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้กลายเป็นส่วนผสมของแก้วหรือ Synthetic Silicate Mineral เพื่อป้องกันไม่ให้สารอันตรายนี้ถูกชะละลายด้วยน้ำและสามารถนำไปกำจัดต่อโดยไม่ต้องมีการหุ้มหรือบรรจุเป็นครั้งที่ 2

Lagrega และคณะ (1994) ได้สรุปข้อดีและข้อเสียสำหรับกระบวนการทำให้เป็น
ก้อน 7 วิธี ดังสรุปไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 รายละเอียดและข้อดีข้อเสียของวิธีการทำก้อนแข็ง (Lagrega และคณะ, 1994)

วิธีการทำก้อนแข็ง	รายละเอียดของวิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ซีเมนต์	นำของเสียผสมซีเมนต์และเติมส่วนผสมอื่นๆ จากนั้นทิ้งไว้ให้แข็งตัว	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - สามารถกำจัดของเสียจำพวกโลหะหนักได้ดี - ไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับเรื่องกำลังรับแรงอัด 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่เหมาะสมกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ - เป็นการเพิ่มน้ำหนักและขนาดของของเสีย - เป็นปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ของที่ดิน
2. ปูนขาว หรือ วัสดุจำพวกปอชโซลาน	นำของเสียผสมปูนขาวและวัสดุที่เป็นปอชโซลานพร้อมทั้งผสมกับน้ำทิ้งไว้ให้แข็งตัว	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - สามารถกำจัดของเสีย 2 ชนิดภายในขั้นตอนเดียวกัน 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่เหมาะสมกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ - เป็นการเพิ่มน้ำหนักและขนาดของของเสีย - เป็นปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ของที่ดิน
3. วัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์	นำของเสียผสมกับสารที่มีสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลไฟด์ที่เกิดจากการกำจัดของเสียจากกระบวนการอุตสาหกรรม	<ul style="list-style-type: none"> - มีสารเติมในส่วนผสมที่ทำให้การแข็งตัวของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว 	<ul style="list-style-type: none"> - สารอินทรีย์บางชนิดทำลายการแข็งตัวของซีเมนต์
4. หลอมให้เป็นแก้ว	นำของเสียอันตรายประเภท สารกัมมันตภาพรังสีมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้เป็นแก้วหรือผลึกซิลิเกตซึ่งสามารถนำไปทิ้งโดยไม่ต้องมีการห่อหุ้มอีกต่อไป	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - การห่อหุ้มอยู่ในเกณฑ์ดี - สามารถใช้ในการบำบัด สารกัมมันตภาพรังสีได้ 	<ul style="list-style-type: none"> - เสียค่าใช้จ่ายมากในการให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ - ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการบำบัดของเสียที่ไม่ใช่สารกัมมันตภาพรังสี
5. ตรีโอมพลาสติก	นำของเสียมาทำให้แห้งจากนั้นทำให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกร้อน เช่น พาราฟิน (Parafin) บิทูเมน (Bitumen) ทิ้งไว้ให้เย็นลงจะเกิดการแข็งตัว	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมีได้เป็นอย่างดี 	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องมือที่ใช้มีราคาแพง - ต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการควบคุมดูแล
6. วิธีการเทอร์โมซตติง	นำของเสียผสมกับสารประเภทออร์แกนิคโพลีเมอร์ จากนั้นใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ผสมก่อนที่จะเกิดการแข็งตัวของโพลีเมอร์	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> - การหุ้มห่อเป็นไปอย่างหลวมๆ - สารที่มีค่าพีเอชต่ำจะทำให้โลหะละลายได้มากขึ้น
7. เอนแคปซูเลชัน	นำของเสียมาอัดให้เกาะตัวกันแน่น จากนั้นใช้วัสดุเคลือบเช่น Polyethylene หรือ Organic resin หุ้มผิวนอก	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีอื่นๆ - ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถป้องกันน้ำได้ดี 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่เหมาะสมกับการใช้งานเมื่อมีปริมาณของเสียมากๆ

Lagrega และคณะ (1994) ได้แสดงรายละเอียดของกลไกการจับยึดในการทำให้
แข็งตัวเป็นก้อนไว้ในตารางที่ 2.7 ดังนี้

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดกลไกการจับยึดในการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน (Lagrega และคณะ, 1994)

กลไกการจับยึด	รายละเอียด
1. แมคโครเอนแคปซูเลชัน	เป็นวิธีทางกายภาพ ซึ่งเป็นลักษณะของรูภายในที่ ไม่ต่อเนื่องจับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการ เคลื่อนที่อย่างอิสระ
2. ไมโครเอนแคปซูเลชัน	เป็นวิธีทางกายภาพ ซึ่งของเสียนจะถูกจับภายใน โครงสร้างของผลึก โดยจะจับอนุภาคที่มีขนาดเล็ก เป็นส่วนมาก
3. การดูดซับ	เป็นวิธีทางเคมี ซึ่งใช้ในการปรับปรุงให้ส่วนของ ลักษณะของก้อนเพื่อให้สะดวกต่อการเป็นก้อน กระบวนการแรกๆของวิธีนี้ คือ การดูดซับของเหลว ที่อยู่ในรูปของเสียน
4. การดูดซึม	เป็นวิธีการทางเคมี เป็นปรากฏการณ์ที่ผิว และยัง เป็นวิธีการทำให้เกิดการจับตัวกันซึ่งอาจจะหมาย รวมถึงพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ มัก จะเกิดเมื่อวัสดุประเภทซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ของของเสียน
5. การทำให้ตกผลึก	เป็นวิธีการทางเคมีเพื่อทำให้เสียนมากขึ้น โดยเป็น วิธีที่ใช้กับของเสียนประเภทอนินทรีย์ สารที่เป็นตัว ก่อให้เกิดผลึก ได้แก่ ไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ ซิลิเกต คาร์บอเนต และฟอสเฟต
6. การทำให้ความเป็นพิษลดลง	เป็นวิธีการทางเคมีที่เกิดขึ้นขณะเกิดกระบวนการ ทำให้เสียน เป็นการเปลี่ยนทางเคมีเพื่อให้เกิดใน รูปอื่นที่มีความเป็นพิษน้อยลง หรือไม่มีความเป็น พิษเลย

ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2531) ได้แสดงวิธีการทำลายสิ่งปฏิภูลหรือ
วัสดุที่ไม่ใช่แล้วเฉพาะประเภทไว้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 วิธีการทำลายสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วเฉพาะประเภท (ตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2531)

ประเภทสิ่งปนเปื้อน	วิธีการทำลายฤทธิ์
1. กากตะกอนที่มีสารปรอทปนเปื้อน	นำกากตะกอนมาผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นปรอทซัลไฟด์ (HgS) แล้วจึงทำให้เป็นก้อน (Solidification) ด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดอัตราการซึมของสารพิษให้ใช้สารตัวเติม (additives) ผสมลงไปด้วย
2. กากของเสียที่เกิดจากการผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีสารปรอทปนเปื้อน	นำกากที่อาจต้องผ่านการบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนเพื่อช่วยให้ทำปฏิกิริยาทางเคมีได้ทั่วถึงมาผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เป็นปรอทซัลไฟด์ (HgS) แล้วจึงทำให้เป็นก้อน (Solidification) ด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์ ในกรณีที่ต้องการจะเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดอัตราการซึมของสารพิษให้ใช้สารตัวเติม (additives) ผสมลงไปด้วย
3. กากตะกอนหรือฝุ่นที่มีองค์ประกอบของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว แมงกานีส เป็นต้น	ใช้สารละลายด่าง เช่น ปูนขาว หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ผสมกับกากตะกอนให้ทั่วกันจนสารโลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบของเกลือไฮดรอกไซด์ที่มีค่าพีเอช (pH) ของของผสมประมาณ 11 แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง ในกรณีที่เป็นกากตะกอนหรือฝุ่นที่ปนเปื้อนด้วย แคดเมียม (Cd) จะต้องทำให้เป็นก้อนต่อด้วยการผสมกับปูนซีเมนต์
4. กากตะกอนหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีส่วนผสมของยาฆ่าแมลง ยาใช้กำจัดศัตรูพืช หรือยากำจัดเชื้อราปนเปื้อน	เติมสารละลายด่าง เช่น ปูนขาว หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในปริมาณที่สามารถจะทำลายพิษด้วยตัวยาแต่ละชนิดได้หมด

2.7 เกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่ผ่านการปรับเสถียร (Stabilization) และการทำให้เป็นก้อนแข็ง (Solidification)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม (2540) กำหนดเกณฑ์มาตรฐานสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่ผ่านการปรับเสถียรและการทำให้เป็นก้อนแข็งไว้ดังนี้

1. สามารถรับแรงอัด (Unconfined compressive strength) ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-1633 และ D-2166 ได้ ไม่น้อยกว่า 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือต้องสามารถรับน้ำหนักที่กดทับด้านบนเมื่ออยู่ในหลุมฝังกลบ (Secured landfill) ได้อย่างปลอดภัย
2. มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร
3. มีปริมาณความเข้มข้นของสารอันตรายเจือปนในน้ำสกัด (Leachant หรือ extraction fluid) เป็นไปตามเกณฑ์การสกัดสาร (Leachate extraction procedure) เพื่อทดสอบว่าสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช่แล้วได้ผ่านการทำลายฤทธิ์และปรับเสถียรอย่างสมบูรณ์ ก่อนนำไปฝังกลบ

2.8 คอนกรีตบล็อก (Concrete block)

คอนกรีตบล็อก หมายถึง แท่งคอนกรีตที่ทำจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่างๆ เช่น ทราย กรวด หินย่อย และอาจมีสารอื่นที่เหมาะสมปนอยู่ด้วย นำมาอัดเข้าแบบมาตรฐานเป็นบล็อกต่างๆ จัดเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยใช้ก่อเป็นผนังกันและกำแพงทั้งภายในและภายนอกของอาคาร หรือก่อเป็นพื้นทางเท้า ถนนเป็นต้น ด้วยสมบัติในการทนไฟและระบายความร้อนได้ดี น้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน ขนาดและคุณภาพได้ตามมาตรฐาน ทำให้คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่มีประโยชน์อย่างมากต่องานก่อสร้าง คอนกรีตบล็อกที่ดีนั้นต้องมีสมบัติที่ได้มาตรฐานตามที่กำหนดโดยสมาคมทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (The American Society for Testing and Materials, ASTM) หรือตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย

คอนกรีตบล็อกสามารถแบ่งออกกว้างๆ ตามประโยชน์การใช้สอย แบ่งออกเป็น คอนกรีตบล็อกสำหรับปูผนัง และคอนกรีตบล็อกสำหรับปูพื้น

2.8.1 คอนกรีตบล็อกสำหรับปูผนัง

คอนกรีตบล็อกปูผนังสามารถจำแนกออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

2.8.1.1 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบกลวง (Hollow concrete block) ซึ่งเป็นคอนกรีตบล็อกที่มีลักษณะกลวง มีรูหรือโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน สามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่สามารถรับน้ำหนักได้ (Load bearing block) ใช้สำหรับผนังที่มีการออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักของก้อนคอนกรีตบล็อกเอง รายละเอียดดังกล่าวในภาพผนวก ง.1 และ

ชนิดที่ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ (Non-load bearing block) ซึ่งจะไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกใดๆ ได้เลยนอกจากน้ำหนักของก้อนคอนกรีตบล็อกเอง รายละเอียดดังกล่าวในรูปที่ 2.1 แสดงรูปของก้อนคอนกรีตบล็อกปูผนังแบบกวางมาตรฐานที่มีการผลิตและใช้ในประเทศไทย

2.8.1.2 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบตัน (Solid concrete block) เป็นคอนกรีตบล็อกที่ผลิตเฉพาะชนิดสามารถรับน้ำหนักได้เท่านั้น

2.8.2 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (Interlocking concrete paving block)

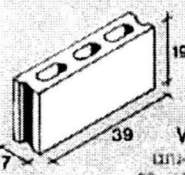
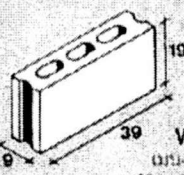
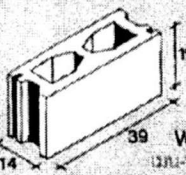
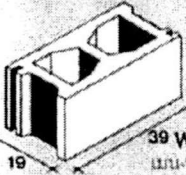
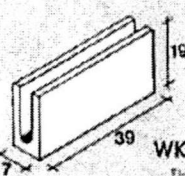
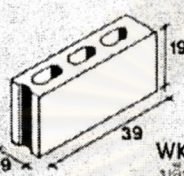
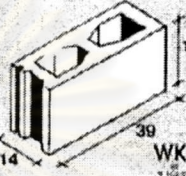
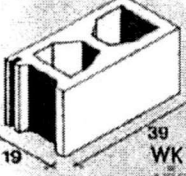
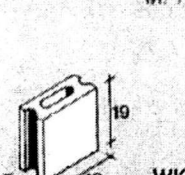
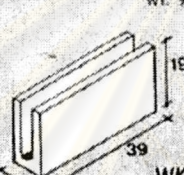
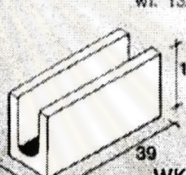
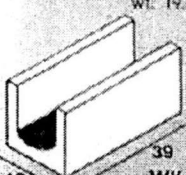
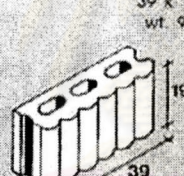
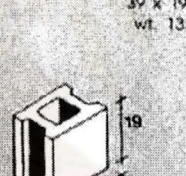
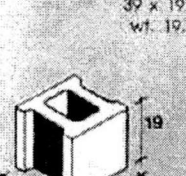
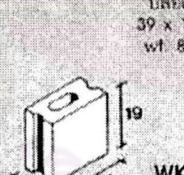
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีลักษณะเป็นก้อนคอนกรีตตันที่สามารถนำมาวางเรียงประสานกันได้อย่างต่อเนื่อง มีสีตามธรรมชาติหรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งบล็อกหรือมีสีเฉพาะที่ชั้นผิวหน้าและจะมีรูปร่างแบบใดก็ได้ เหมาะสำหรับใช้ปูพื้นเช่น ถนน ทางเท้า บริเวณลานจอดรถ และลานเก็บกองวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบโครงสร้างชั้นพื้นและชั้นรองพื้นให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน

ชนิดและขนาดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในรูปที่ 2.2 ใช้เกณฑ์ในการแบ่งประเภทโดยพิจารณาตามลักษณะรูปร่างของก้อนคอนกรีตบล็อก ซึ่งขึ้นอยู่กับการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้

- (ก) คอนกรีตบล็อกซีแพคขนาด 6 ซม. ใช้สำหรับปูทางเท้าและถนนภายในอาคาร
- (ข) คอนกรีตบล็อกซีแพคขนาด 10 ซม. ใช้สำหรับงานที่ต้องรับน้ำหนักสูงเช่น ลานจอดรถในโรงงาน พื้นโกดังสินค้า ถนนสาธารณะ
- (ค) ขอบคันหินซีแพค สำหรับก่อทำคันทางเดินหรือขอบของถนนที่ปูด้วยบล็อกชนิดนี้ ให้มีความเรียบร้อยสวยงาม
- (ง) คอนกรีตบล็อกรูปตัว 'ไอ' ใช้สำหรับงานที่ต้องการความสะดวกและรวดเร็วในการปูซ้อนเพื่อทำพื้นถนน

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้

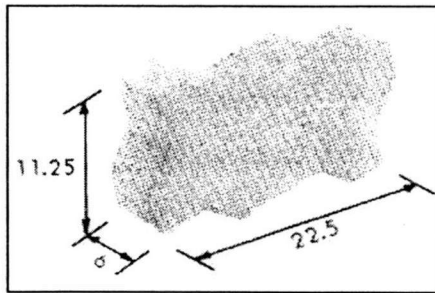
- ปูง่าย สะดวกและรวดเร็ว เมื่อปูเสร็จแล้วสามารถใช้งานได้ทันที
- สะดวกและง่ายต่อการซ่อมบำรุง เนื่องจากลักษณะเป็นก้อนต่อเนื่องกัน จึงไม่มีการแตกหักเป็นรอยร้าวเช่นพื้นคอนกรีตทั่วไป
- ในกรณีที่ต้องเปลี่ยนหรือซ่อม ก็สามารถที่จะถอดเปลี่ยนได้เฉพาะก้อน

คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน แบบและขนาดต่าง ๆ			
Size 3ins Block บล็อกขนาด 3 นิ้ว	Size 4ins Block บล็อกขนาด 4 นิ้ว	Size 6ins Block บล็อกขนาด 6 นิ้ว	Size 8ins Block บล็อกขนาด 8 นิ้ว
 <p>WK 3 แบบ-บล็อก 39 x 19 x 7 wt. 7.6 kg.</p>	 <p>WK 4 แบบ-บล็อก 39 x 19 x 9 wt. 8.5 kg.</p>	 <p>WK 6 แบบ-บล็อก 39 x 19 x 14 wt. 13.0 kg.</p>	 <p>WK 8 แบบ-บล็อก 39 x 19 x 19 wt. 18.3 kg.</p>
 <p>WK 3-1 รู-บล็อก 39 x 19 x 7 wt. 7.5 kg.</p>	 <p>WK 4-1 บล็อก-มุม 39 x 19 x 9 wt. 9.0 kg.</p>	 <p>WK 6-1 บล็อก-มุม 39 x 19 x 14 wt. 13.0 kg.</p>	 <p>WK 8-1 บล็อก-มุม 39 x 19 x 19 wt. 19.0 kg.</p>
 <p>WK 3-2 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 7 wt. 4.0 kg.</p>	 <p>WK 4-2 รู-บล็อก 39 x 19 x 9 wt. 9.4 kg.</p>	 <p>WK 6-2 รู-บล็อก 39 x 19 x 14 wt. 13.0 kg.</p>	 <p>WK 8-2 รู-บล็อก 39 x 19 x 19 wt. 19.3 kg.</p>
	 <p>WK 4-3 บล็อก-กลอน 39 x 19 x 9 wt. 8.4 kg.</p>	 <p>WK 6-3 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 14 wt. 6.0 kg.</p>	 <p>WK 8-3 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 19 wt. 8.0 kg.</p>
	 <p>WK 4-4 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 9 wt. 4.5 kg.</p>		

รูปที่ 2.1 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบกลวงมาตรฐาน แบบและขนาดต่างๆ

(แผ่นพับข้างหุ่นส่วนจำกัดวงกลม)

ชวลิต นิตยะ (2524) กล่าวว่า วิธีการในการสร้างคอนกรีตบล็อกที่ดี หลักใหญ่คือ ทำให้รับกำลังได้ดีที่สุดในขณะที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด และใช้ปูนซีเมนต์น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เพื่อเป็นการลดค่าวัสดุ และการหดตัวจะได้ลดน้อยลงด้วย



บล็อกปูถนนซีแพค 6 ซม.

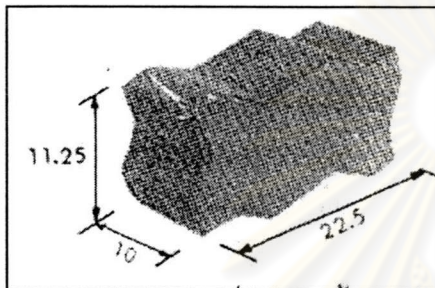
สำหรับงานปูทางเท้า จอครถนนภายใน บ้าน

1 ตารางเมตร ใช้ 40 ก้อน

ความยาว 22.5 ซม.

ความกว้าง 11.25 ซม.

หนา 6 ซม.



บล็อกปูถนนซีแพค 10 ซม.

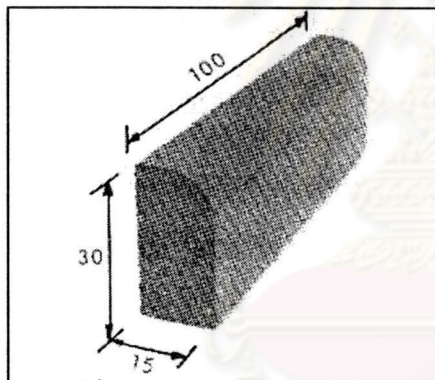
สำหรับใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักสูง เช่น ลานจอครถนนภายใน
โรงงาน โกดังสินค้า ถนนสาธารณะ

1 ตารางเมตร ใช้ 40 ก้อน

ความยาว 22.5 ซม.

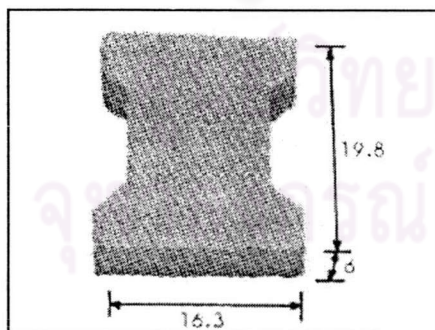
ความกว้าง 11.25 ซม.

หนา 10 ซม.



ขอบคันหินซีแพค

เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการสร้างถนน ซีแพคได้
ผลิตขอบคันหินสำเร็จรูป ขนาดกว้าง 15 ซม. สูง 30 ซม.
ยาว 1 เมตร เพื่อใช้ทำขอบถนนต่างๆไป เหมาะสมมาก
สำหรับใช้ควบคู่ไปกับบล็อกปูถนนซีแพค สามารถที่จะ
ทำการติดตั้งได้ง่ายๆ เพียงแต่นำมาวางเรียงต่อกันเท่านั้น



บล็อกปูถนนรูปตัว “ไอ”

เป็นบล็อกปูถนนซีแพคแบบใหม่ มีลักษณะรูปตัวไอ

1 ตารางเมตร ใช้ 35 ก้อน

ความกว้าง 16.3 ซม.

ความยาว 19.8 ซม.

หนา 6 ซม.

น้ำหนัก 3.8 กิโลกรัม

รูปที่ 2.2 ลักษณะและขนาดของบล็อกแต่ละชนิด (พิภพ สุนทรสมัย, 2530)

2.9 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

นฤมิต คินิมาน (2537) ศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีโดยการนำไปทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ แล้วทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ความชื้นได้ของน้ำ และการชะละลายเพื่อหาความเข้มข้นของโครเมียม โปรท และเหล็ก ผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.25 อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.25 และระยะเวลาบ่ม 28 วัน ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับการทดสอบการชะละลายพบว่าความเข้มข้นของโปรท โนน้ำสกัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่โครเมียมและเหล็กมีค่าต่ำมาก โดยสามารถสรุปว่าปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ร้อยละ 50 มีประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของโปรท โครเมียม และเหล็กเท่ากับ 30.7 50 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนมีค่า 3,600 บาท ต่อตันของตะกอนโลหะหนักแห้ง

รักษพล ชูชาติ (2538) ศึกษาวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาทำเสถียรกากตะกอนจาโรไซด์ให้เป็นก้อน โดยวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมปูนขาว และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกต วิธีที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัดและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด ผลการทดสอบพบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด คืออัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 สำหรับกากตะกอนจาโรไซด์แบบธรรมดา และร้อยละ 15 สำหรับกากตะกอนซิลิโคจาโรไซด์ ส่วนการทดสอบการชะละลายแบบคอลัมน์ที่ระยะเวลา 90 วันเมื่อกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งกรมโรงงานอุตสาหกรรม

อนุวัฒน์ ปูนพันธ์ฉาย (2539) ศึกษาการทำเสถียรกากตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีโดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ลงไปในตะกอนก่อนนำไปทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ แล้วทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น ความชื้นได้ของน้ำ และการชะละลายเพื่อหาความเข้มข้นโครเมียม โปรท และเหล็ก ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการทำเสถียรของโครเมียมและเหล็กมีค่าเท่ากับ 60.01 และ 91.40 เปอร์เซ็นต์ ที่สัดส่วนการเติมโซเดียมซัลไฟด์ 1.75 เท่าตามลำดับ และที่สัดส่วนการเติมโซเดียมซัลไฟด์ 3.00 เท่า มีประสิทธิภาพเท่ากับ 94.00 และ 99.49 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนผสมของตะกอนต่อตัวประสานเท่ากับ 0.25 และการประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัดสำหรับการเติมโซเดียมซัลไฟด์ 1.75 เท่าและ 3.00

เท่า มีค่าเท่ากับ 5,000 และ 5,790 บาทต่อตันของตะกอน แต่ถ้าหากไม่มีการเติมโซเดียมซัลไฟด์เลย จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 3,900 บาทต่อตันของตะกอน แต่ความเข้มข้นของปรอทสูงกว่ามาตรฐาน

ดวงสมร ผดุงเกียรติวงษ์ (2540) เปรียบเทียบการทำปรอทซัลไฟด์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีและกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้คงตัวโดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ลงไปก่อนทำให้เป็นก้อน แล้วทดสอบการชะละลายเพื่อหาความเข้มข้นของโครเมียม ปรอท และเหล็ก ผลการทดลองพบว่า

การทำตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.75 ซิลิกาฟูมเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เท่ากับ 0.5 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ประสิทธิภาพในการทำปรอทและโครเมียมคงตัวเท่ากับ 96.89 และ 94.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 7,770 บาทต่อตันตะกอน

การทำกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ ที่อัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.50 ซิลิกาฟูมเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เท่ากับ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัวเท่ากับ 97.72 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 4,930 บาทต่อตันตะกอน

การทำกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนโดยที่ใช้น้ำปูนซีเมนต์ผสมกับเถ้าลอยลิกไนต์ มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 2.50 โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยลิกไนต์เท่ากับ 1 : 1 ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ประสิทธิภาพในการทำให้ปรอทคงตัวเท่ากับ 97.77 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 2,610 บาทต่อตันตะกอนซึ่งน้อยกว่าการใช้ซิลิกาฟูมเป็นวัสดุประสาน

พชรพงศ์ ชื่นศิริ และ แสงวงลิน เกตุโตประการ (2540) ศึกษาถึงเรื่องการนำกากตะกอนของสีน้ำทาบ้านมาเป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตบล็อก ผลการทดลองพบว่า สามารถที่จะผสมกากตะกอนสีน้ำทาบ้านในคอนกรีตบล็อกได้ 20 เปอร์เซ็นต์ และรับแรงกดได้สูงสุด 13.17 เมกะปาสกาล โดยมีอัตราการชะละลายออกมาของโลหะหนักในน้ำไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด (ยกเว้นเหล็กที่มีอัตราการชะละลายสูงสุด 0.9-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เกินจากมาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีน้ำหนักเบากว่าผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาดถึง 1.136 เท่า ส่วนราคาของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้นั้นมีราคาถูกกว่า

ผลิตภัณฑ์ทั่วไปตามท้องตลาดประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ยังไม่ได้คิดราคาต้นทุนจากการนำกากตะกอนสีน้ำทาบ้านแบบเปียกมาทำให้แห้งและบดให้ละเอียด

ภูพิงค์ ทวีทรัพย์ (2540) ศึกษาการทำเสถียรโลหะหนักในเศษสีจากกระบวนการขัดลอกสีเก่าจากถังบรรจุภัณฑ์หุงต้มและฝุ่นสีจากการขัดสีรถยนต์ก่อนพ่นสีจริงทับด้วยวิธีการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ผลการทดลองพบว่า สัดส่วนผสมของกากของเสียทั้ง 2 ชนิดต่อซีเมนต์ที่สัดส่วน 1 : 1 เป็นสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด หรือในกรณีที่มีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ พบว่าจะใช้ปริมาณของซีเมนต์น้อยลง โดยจะใช้สัดส่วนกากของเสียต่อซีเมนต์ที่ 3:1 สำหรับกรณีที่ใช้ปูนขาวและซีเมนต์ในอัตราส่วน 1:1 เป็นวัสดุประสาน พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมนั้นคือ ปริมาณกากของเสียต่อปูนขาวและซีเมนต์เป็น 3:1 นอกจากนี้จากการทดลองหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์พบว่า ที่อัตราส่วน เท่ากับ 0.4 เป็นค่าที่เหมาะสม และจากการทดสอบการชะละลายพบว่า มีปริมาณโลหะหนักน้อยกว่าที่มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด เมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายพบว่า สัดส่วนผสมที่ประหยัดที่สุดคือ สัดส่วนผสมกากเศษสีหรือฝุ่นสีผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 7.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อปูนซีเมนต์ที่สัดส่วน 3:1 โดยมีค่าใช้จ่ายที่ 2,050 บาทต่อตันของกากเศษสี

ประเสริฐ งามเลิศประเสริฐ (2541) ศึกษาการทำเสถียรตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีและกากหลออดฟลูออเรสเซนซ์โดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ลงไปก่อนทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์และซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัสดุประสาน ผลการทดลองพบว่า การทำตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยการใช้ปูนซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์ที่เดิมเท่ากับ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน มีประสิทธิภาพในการทำให้โปรทและโครเมียมคงตัวเท่ากับ 88.39 และ 82.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของสารแอนทราควินโนนเท่ากับ 61.97 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 5,110 บาทต่อตันตะกอนแห้ง

การทำกากหลออดฟลูออเรสเซนซ์ให้เป็นก้อนโดยการใช้ปูนซีเมนต์ผสมด้วยซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.75 อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1:1 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ปริมาณของโซเดียมซัลไฟด์ที่เดิมเท่ากับ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ที่ระยะเวลาบ่ม 3 วัน มีประสิทธิภาพในการทำให้โปรทคงตัวเท่ากับ 82.17 เปอร์เซ็นต์ และมี

ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของสารแอนทราควินโนนเท่ากับ 60.56 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 5,620 บาทต่อตันตะกอนแห้ง

Gonzalez และคณะ (1998) ได้ศึกษาเรื่องการนำสลัดจ์ที่ระเหยตัวมาใช้เป็นสารเติมในส่วนผสมของแอสฟัลท์ ทำการทดลองโดยใช้ปริมาณสลัดจ์ที่แตกต่างกัน 3 ค่า ผลการทดลองพบว่า องค์ประกอบที่เป็นอันตรายจะถูกกำจัดโดยการตรึงกับที่ สารอินทรีย์ระเหยง่ายจะถูกกำจัดโดยกระบวนการทำแห้ง และโลหะหนักเช่น โครเมียมจะถูกตรึงโดยแอสฟัลท์ดิกเรซิน จากการนำเอาสลัดจ์นี้ไปใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุปูทาง ผลการทดสอบพบว่า มีเสถียรภาพ และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ไฉทีย อภิธรรมวิริยะ (2542) ได้ศึกษาเรื่องการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นวัสดุปูพื้นในรูปคอนกรีตบล็อก โดยทำการทดสอบผลกระทบต่างๆ ที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อนและแสดงสมบัติทางกายภาพเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และค่าความชื้นน้ำ นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบการชะละลายของสารประเภทแอนทราควินโนน ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.25 เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็น 0.50 เนื่องจากผลการทดสอบให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นสูงที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายเท่ากับ 72 เปอร์เซ็นต์ มีค่าใช้จ่าย 3.76 บาทต่อคอนกรีตบล็อกขนาด 3 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาบ่มที่เหมาะสม 28 วัน เมื่อทำการศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมคืออัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็น 0.50 เนื่องจากผลการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน และที่ระยะเวลาบ่ม 14 วัน มีประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลาย 54 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่าย 3.30 บาทต่อคอนกรีตบล็อกขนาด 3 กิโลกรัม

Chawakitchareon และ Tuantet (2000) ได้ทำการวิจัยเปรียบเทียบการทำเสถียรตะกอนที่มีนิกเกิดจากการชุบโลหะที่ได้จากโรงงานผลิตเพิ่ม โดยใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน และการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนขาวผสมแฉ่ำลอยลิกไนต์เป็นวัสดุประสาน ทำการทดลองหาอัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนที่เหมาะสมในการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อน โดยพิจารณาจากกำลังรับแรงอัด และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายโลหะนิกเกิด โดยในการทำเสถียรได้ทำการแปรค่าอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนขาวต่อตะกอนที่ 0.40 0.50 0.60 0.75 และ 1.00 รวมทั้งแปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.40 0.50 0.60 และ 0.75 ส่วนในการทำให้เป็นก้อนทำการแปรค่าอัตราส่วนวัสดุประสาน นั่นคือปูนขาวผสมแฉ่ำลอยลิกไนต์ต่อตะกอนที่ 0.25 0.50 0.75 1.00 และ 1.25 รวมทั้งแปรอัตราส่วนปูนขาวต่อแฉ่ำลอยที่ 0.25 0.50 0.75 1.00 1.25 และ 1.50

ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำเสถียรได้แก่อัตราส่วนปูนขาวต่อตะกอนเป็น 0.50 โดยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.75 ส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำให้เป็นก้อนคืออัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอน 0.75 และอัตราส่วนปูนขาวต่อถ้ำลอยเป็น 1.00 เมื่อแปรค่าระยะเวลาบ่มพบว่า ระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้นไม่ช่วยให้สมบัติทางกายภาพรวมถึงการลดการชะละลายโลหะหนักเพิ่มขึ้น เมื่อแปรอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานพบว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำให้เป็นก้อนเป็น 0.60 ผลการทดสอบการชะละลายในระยะยาวพบว่า นิกเกิลถูกชะละลายออกมามากใน 20 วันแรกและลดต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จนตลอดการทดลอง ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายนิกเกิลในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนเท่ากับ 97.04 เปอร์เซ็นต์ และ 63.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการทำเสถียรด้วยปูนขาว การทำให้เป็นก้อนด้วยปูนขาวผสมถ้ำลอยลิกไนต์ และหากใช้ปูนซีเมนต์ผสมถ้ำลอยลิกไนต์เป็นวัสดุประสานในการทำเป็นก้อน เป็น 2,500 1,903 และ 883 บาทต่อตันตะกอนตามลำดับ

Damanhuri และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาการทำเสถียรโลหะหนักในถ้ำจากอุตสาหกรรมเหล็กกล้าโดยการผสมในซีเมนต์คอนกรีตเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างพบว่า อัตราส่วนผสมของถ้ำลอยต่อซีเมนต์ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน สามารถรับกำลังอัดได้ 473 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และผ่านมาตรฐานการชะละลาย TCLP ของอินโดนีเซีย นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบในสภาวะแบบชื้นและแบบแห้งโดยการทำให้อ่อนตัวอย่างชุ่มน้ำสลับกับการให้ความร้อนเป็นระยะเวลา 13 วันผลสรุปว่ามีการสูญเสียด้านน้ำหนัก 8.15-10.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผ่านเกณฑ์ของ ASTM D4843 (ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์)

Koe และคณะ (2000) ได้ศึกษาถึงปฏิกิริยาไฮเดรชันในระหว่างการทำเป็นก้อนและการทำเสถียรของเสียที่เป็นพิษ โดยทำการผสมซีเมนต์ วัสดุพอซโซลาน (ถ้ำลอย) และตะกอนจากการขุดโลหะที่สัดส่วนต่างๆกัน ทำการศึกษาด้านการแข็งตัว ค่ากำลังรับแรงอัดและความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน พบว่ามากกว่า 10% ของของเสียส่งผลต่อการชะลอกการแข็งตัวและทำให้ค่ากำลังอัดลดลง และจากการศึกษาด้านความร้อนอันเกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน พบว่าจะได้รับผลกระทบอันมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบของของเสีย

Li และคณะ (2000) ได้ศึกษาพฤติกรรมของการชะละลายของโลหะหนักจากของเสียที่ผ่านการทำเสถียรและการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ โดยของเสียที่นำมาทดลองนี้เป็นสลัดจ์ที่ได้จากโรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้าซึ่งมีปริมาณของทองแดง สังกะสี และตะกั่วสูง นำมาทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ผสมถ้ำลอยที่สัดส่วนต่างๆ กัน จากการศึกษาการชะละลายด้วยการใช้โซเดียมอะซิเตต (NaOAc) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 5.0 สัดส่วนปริมาณของแข็งต่อของเหลวเป็น 1 : 60 พบว่าโลหะหนักจะอยู่ในรูปเชิงซ้อนกับแคลเซียมซัลไฟด์ไฮเดรต (C-S-H)

ถ้ำลอย และอนุภาคสลัดจ์ โดยพฤติกรรมการชะละลายจะถูกควบคุมโดยความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ของแข็งซื่อนั้น จากการทดสอบการชะละลายในระยะยาวพบว่า ความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ของสารแข็งซื่อนั้นจะลดลง พร้อมกับการไม่ละลายตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต ในขณะที่เดียวกันก็สามารถชะละลายโลหะหนักออกมาได้มากขึ้น จึงสรุปได้ว่าความสามารถในการถูกชะละลายจะถูกกำหนดโดยค่าพีเอช และความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์

Peralta และคณะ (2000) ได้ศึกษาเรื่องการบำบัดและกำจัดของเสียที่มีโลหะหนัก โดยการนำมาทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ ในการศึกษานี้ได้ทดลองใช้สลัดจ์จากหอระบายความร้อนของโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งจะมีปริมาณโลหะหนักในระดับที่สูง เช่น อาร์เซนิก เงิน แคลเมียม โครเมียม โปรท และตะกั่ว โดยนำมาทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ และซีเมนต์ผสมถ้ำลอยในอัตราส่วนที่เท่าๆ กัน ผลการศึกษาพบว่าต้องใช้ตัวประสานเป็นปริมาณ 3 เท่าของสลัดจ์ จึงจะไม่มี การเคลื่อนที่ของโลหะหนัก และสามารถใช้ตัวประสานได้ดีทั้งคู่

Minocha และคณะ (2002) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของสารอินทรีย์ที่มีต่อกระบวนการทำตะกอนโลหะหนักให้เป็นก้อนแข็ง โดยการทดลองใช้วัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ผสมถ้ำลอย และปูนขาวผสมถ้ำลอย มาทำก้อนแข็งตะกอนโลหะหนักที่ประกอบด้วยสารประกอบไนเตรตของโครเมียม นิกเกิล แคลเมียม และโปรท ที่สัดส่วนตะกอนต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ผสมถ้ำลอย และปูนขาวผสมถ้ำลอย) เท่ากับ 3.33 1.43 และ 1.25 ตามลำดับ และทำการศึกษาผลกระทบของการเติมสารอินทรีย์อื่น ได้แก่ ไขมัน น้ำมัน เฮกซะคลอโรเบนซีน ไตรคลอโรเอทิลีน และฟีนอล ก้อนตัวอย่างถูกบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 28 วันจึงทำการตรวจสอบสมบัติทางด้านกายภาพเช่น ค่าความหนาแน่น และค่ากำลังรับแรงอัด ผลการทดลองพบว่าฟีนอล ไขมัน และน้ำมัน ส่งผลในการลดค่ากำลังรับแรงอัดลงอย่างมาก ในขณะที่ เฮกซะคลอโรเบนซีนและไตรคลอโรเอทิลีนส่งผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่า

Nehdi และ Sumner (2002) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการนำของเสียที่เป็นสีลาเทกซ์กลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นส่วนผสมของคอนกรีตปูทางเท้า โดยในการทดลอง ของเสียที่เป็นสีลาเทกซ์จะถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตทั้งที่เป็นการทดแทนสีลาเทกซ์บริสุทธิ์และทดแทนน้ำที่ใช้สำหรับผสมคอนกรีต การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การใช้ของเสียที่เป็นสีลาเทกซ์ผสมในคอนกรีตสามารถปรับปรุงความสามารถได้ ให้ค่ากำลังรับแรงดัดที่สูงขึ้น ลดการแทรกซึมของคลอไรด์ไอออน ลดการเกิดตะกักรันบริเวณผิวของคอนกรีตอันเนื่องมาจากการละลายของเกลือ และเป็นการประหยัดเนื่องจากการใช้น้ำในส่วนผสมลดน้อยลง และมีปริมาณอากาศในส่วนผสมเพิ่ม

มากขึ้น ผลจากการนำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตปูทางเท้าจริงพบว่ามีความทนทานและมีคุณสมบัติเป็นที่น่าพอใจ

Poon และคณะ (2002) ได้ศึกษาเรื่องการผลิตคอนกรีตบล็อกและอิฐคอนกรีตโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการรีดอลงสิ่งก่อสร้างเป็นวัสดุผสม ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งทดแทนวัสดุผสมหยาบปริมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ และทดแทนวัสดุผสมละเอียดปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่ากำลังรับแรงอัด แต่ถ้ามีการนำมาทดแทนเป็นปริมาณมากกว่านี้จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง อย่างไรก็ตามจากการศึกษายังพบว่า เมื่อมีการทดแทนวัสดุผสมด้วยวัสดุเหลือทิ้งเพิ่มมากขึ้นกลับทำให้กำลังรับแรงตามขวางของก้อนตัวอย่างมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยสรุปแล้วสามารถใช้วัสดุเหลือทิ้งทดแทนวัสดุผสมได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์เพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกปูพื้นระยะเวลาบ่ม 28 วัน และให้ค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 49 เมกะปาสกาล โดยไม่ต้องมีการผสมเถ้าลอยร่วมด้วย ส่วนการผลิตคอนกรีตบล็อกและอิฐคอนกรีตที่ต้องการค่ากำลังรับแรงอัดเพียง 30 เมกะปาสกาล ซึ่งสามารถใช้ในการผสมเถ้าลอยร่วมด้วยได้

หุญษ์ ธิติพันธ์ (2546) ทำการศึกษาเรื่องการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุแทนที่ในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยทำการทดลองศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อกระบวนการทำก้อนแข็ง ตลอดจนลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของวัสดุ เช่น องค์ประกอบ ดัชนีความเป็นปอซโซลาน การกระจายขนาดอนุภาค รวมถึงสมบัติทั่วไปของก้อนตัวอย่างคอนกรีต ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นศึกษาโดยแปรค่าสัดส่วนวัสดุผสมเป็น 2 3 5 8 10 และ 11 เท่าโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน บ่มที่ระยะเวลา 7 และ 28 วัน และแปรค่าอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วสถานะต่างๆ ต่อวัสดุประสาน เป็น 0.05 0.10 0.15 0.25 และ 0.35 ที่ระยะเวลาบ่ม 7 14 21 และ 28 วัน เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่ของเสียในซีเมนต์ โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ตลอดจนการทดลอง ผลการศึกษาพบว่าความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตลดลงตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของวัสดุผสมและอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน โดยสัดส่วนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ดที่เหมาะสมต่อการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น คือ 1 : 1.2 : 1.8 และการบดซิลิกา-อะลูมินาใช้แล้วให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอนโดยไม่จำเป็นต้องเผาจะทำให้ได้วัสดุที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถแทนที่ซีเมนต์ได้ในปริมาณมากขึ้น โดยที่สภาวะเหมาะสมต่อการผลิตสามารถแทนที่ซีเมนต์ด้วยซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอนได้ในสัดส่วน 0.15 เท่าของวัสดุประสาน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีสมบัติทางกายภาพที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยคอนกรีตบล็อกปูพื้นที่กล่าวข้างต้นมีราคา 2.74 บาทต่อก้อนผลิตภัณฑ์น้ำหนัก 4.40 กิโลกรัม

Minocha และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของสารอนินทรีย์ที่มีต่อกระบวนการทำตะกอนโลหะหนักให้เป็นก้อนแข็ง โดยการทดลองใช้วัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย และปูนขาวผสมเถ้าลอย มาทำก้อนแข็งตะกอนโลหะหนักประกอบด้วยสารประกอบไนเตรตของโครเมียม นิกเกิล แคดเมียม และปรอท ที่สัดส่วนตะกอนต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอย และปูนขาวผสมเถ้าลอย) เท่ากับ 3.33 1.43 และ 1.25 ตามลำดับ และทำการศึกษาผลกระทบของการเติมสารอนินทรีย์ได้แก่ ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมซัลเฟต ก้อนตัวอย่างถูกนำมาบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วันจึงทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพเช่น ค่าความหนาแน่น และค่ากำลังรับแรงอัด ผลการทดลองพบว่า โลหะทุกชนิดและเกลือของโซเดียมที่เติมเป็นปริมาณ 2 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลต่อการเพิ่มความหนาแน่นเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างสำหรับทุกวัสดุประสาน ส่วนทองแดงและตะกั่วจะส่งผลในการลดค่ากำลังรับแรงอัดสำหรับการใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยและปูนขาวผสมเถ้าลอยเป็นวัสดุประสาน สังกะสีจะส่งผลในการลดค่ากำลังรับแรงอัดสำหรับทุกวัสดุประสาน ยกเว้นในสัดส่วนการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานและมีการเติมสังกะสี 2 เปอร์เซ็นต์ ตะกั่วจะส่งผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง สำหรับในการที่มีการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน และให้ค่าค่อนข้างคงที่สำหรับทุกสัดส่วนการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้อัตราการเซตตัวของก้อนตัวอย่างเร็วมากขึ้น และช่วยเพิ่มค่ากำลังรับแรงอัด ในขณะที่การเติมโซเดียมซัลเฟตจะส่งผลกระทบต่อ