

บทที่ 3

โครงการย่อยที่ 2

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ การใช้กากปูนขาวและเถ้าลอยเป็นส่วนผสมในการทำอิฐมวลเบาโดยการกระตุ้นทางเคมี
Utilization of Lime mud and Fly ash for Lightweight Brick Production by Chemical
Activation

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 148,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2553 ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2554

ชื่อผู้วิจัย นางสาวธรรพร บุศย์น้ำเพชร

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โทรศัพท์ 043-742135

นางสาวพนิดา พันธุ์สมบัติ

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โทรศัพท์ 043-742135

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์จากของเสีย คือ เถ้าลอยและกากปูนขาว ซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ มาใช้ในการผลิตอิฐมวลเบา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของ ทราย ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย กากปูนขาว ปริมาณผงอลูมิเนียมและอาลูบ่มที่เหมาะสม และศึกษาคุณสมบัติของอิฐมวลเบาที่ได้ รวมถึงปริมาณโลหะหนักในเถ้าลอยและกากปูนขาวที่นำมาใช้ในการผลิตอิฐมวลเบา ผลการศึกษา พบว่า ที่อัตราส่วนของทราย : ปูนซีเมนต์ : เถ้าลอย : กากปูนขาว ในอัตราส่วน 50 : 27 : 3 : 20 โดยน้ำหนัก ปริมาณผงอลูมิเนียม 1 % อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากค่ากำลังรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นที่อาลูบ่ม 28 วัน ซึ่งพบว่าให้ค่ากำลังรับแรงอัด 101.5 กก./ซม.² ค่าความหนาแน่น 1,050 กก./ลบ.ม. ค่าการดูดซึมน้ำ 322 กก./ลบ.ม. ปริมาณทองแดง สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียมและนิเกิลในเถ้าลอยและกากปูนขาว ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปริมาณสูงสุดที่ยอมมีได้ของสารอันตรายที่ปนเปื้อนในสารละลายจากการทดสอบการถูกชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) และผ่านเกณฑ์มาตรฐานปริมาณสูงสุดที่สารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (พ.ศ. 2548) ดังนั้นจึงสามารถนำเถ้าลอยและกากปูนขาวไปใช้ในการผลิตอิฐมวลเบาได้

The research was conducted for utilization of fly ash and lime mud, which is the solid waste generated from the pulp and paper mills, for produced lightweight brick, the objective was to study the optimum mix proportion of sand, cement, fly ash, lime mud and aluminum powder,

optimum curing time and heavy metal in fly ash and lime mud. The result that the optimum mix proportion of sand : cement : fly ash : lime mud was 50 : 27 : 3 : 20 by weight, aluminum powder as 1% , water to binder ratio of 0.5 from the consideration of compressive strengths and density at 28 days. The mix yielded compressive strength of 101.5 kg./cm^3 , density of $1,050 \text{ kg./m}^3$ and water absorption of 322 kg./m^3 . Copper, Zine, Lead, Cadmium, Chomium and Nickel in fly ash and lime mud were pass of standard of Notification of the Ministry of Industry on Disposal of waste or unusable materials B.E.2548. The study that fly ash and lime mud which are industrial wastes have the potential to be developed in to a building construction material for making lightweight brick.

บทนำ

ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

อุตสาหกรรมกระดาษของไทยในปัจจุบัน จัดเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ มีตลาดการส่งออกที่สำคัญ คือ จีน ฮองกง ญี่ปุ่น และสิงคโปร์ โดยชนิดของกระดาษที่สำคัญที่มีฐานการผลิตในประเทศไทย แบ่งได้ 4 ประเภท คือ กระดาษหนังสือพิมพ์ (Newsprint Paper) กระดาษอนามัย (Tissue Paper) กระดาษพิมพ์เขียว (Printing And Writing Paper) และกระดาษสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม (เช่น กระดาษกราฟท์ (Kraft Paper) กระดาษแข็ง (Paper Board) เป็นต้น) โดยกระดาษกราฟท์เป็นกระดาษที่มีความต้องการใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมนี้หรือประมาณร้อยละ 47 ของความต้องการใช้กระดาษทั้งหมด(ปริมาณการผลิตทั้งสิ้น 1,544,136 ตัน) รองลงมาได้แก่ กระดาษพิมพ์เขียน ซึ่งมีปริมาณความต้องการใช้ประมาณร้อยละ 14 ของความต้องการใช้กระดาษทั้งหมด(ปริมาณการผลิตทั้งสิ้น 547,502 ตัน) ปัจจุบันพบว่าการขยายตัวโดยเน้นการสร้างตลาดต่างประเทศเป็นสำคัญ ดังจะเห็นได้จากผู้ผลิตรายใหญ่ยังใช้กำลังผลิตสูงประมาณ 90 % ของกำลังผลิตทั้งหมด ผลพวงที่เกิดขึ้นตามมาจากการพัฒนาเพื่อการส่งออกดังกล่าว ก่อให้เกิดของเสียจากกระบวนการผลิตไม่ว่าจะเป็นน้ำเสียหรือกากของเสียต่างๆ เช่น เถ้าลอย เถ้าก้นเตา กากปูนขาว ตะกรัน ฯลฯ ของเสียเหล่านี้มีปริมาณค่อนข้างมากและเกิดขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะเถ้าและกากปูนขาว (Lime mud)

สำหรับกากปูนขาวจะเกิดจากสายการผลิตที่ใช้ไม้ไฟเป็นวัตถุดิบมีปริมาณมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 84.46 ของปริมาณกากของเสียทั้งหมดและมากกว่ากากของเสียจากแหล่งที่อื่นๆอย่างเห็นได้ชัด จึงเป็นที่น่าสนใจหากสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ กากปูนขาว(Lime Mud) เป็นของเหลือใช้ที่ได้จากกระบวนการนำสารเคมีกลับคืน(Chemical Recovery) ซึ่งนำปูนขาว(CaO) มาผสมกับโซเดียมคาร์บอเนต(NaCO_3) ทำให้ได้โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) และแคลเซียมคาร์บอเนต(CaCO_3) หรือกากปูนขาว โดยกระบวนการนี้จะทำให้เกิดกากปูนขาวเป็นปริมาณถึง 0.47 ลบ.ม./ตันเยื่อกระดาษ โดยทางโรงงานสามารถนำกากปูนขาวไปใช้ใหม่ได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ต้องนำไปฝังกลบทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายและพื้นที่ฝังกลบเป็นจำนวนมาก และยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนเถ้าลอยและเถ้าก้นเตาจะเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการต้มเยื่อกระดาษที่มีการใช้เศษเปลือกไม้และฟ่อนไม้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต และมีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาคุณสมบัติของขี้เถ้าและเถ้าก้นเตาทั้งทางกายภาพและเคมี พบว่า ขี้เถ้ามีคุณสมบัติสามารถเป็นวัสดุปอชโซลานได้ โดยจะประกอบด้วยซิลิกาและอะลูมินาเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจากคุณสมบัติของปอชโซลานจะพบว่าไม่ได้มีคุณสมบัติเป็นซีเมนต์โดยตัวมันเองแต่มาจากการผสมเข้ากับ

น้ำและปูนขาว ซิลิกาและอลูมินาในวัสดุปอซโซลานจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (C-AI-H) ตามสมการที่ (2.3) และ (2.4)



ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต จะมีคุณสมบัติในการยึดประสานทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น อีกทั้งช่วยลดช่องว่างภายในคอนกรีตเป็นผลให้อัตราการซึมของน้ำลดลงด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะถาลอยและกากปูนขาวมาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์สำหรับการผลิตอิฐมวลเบาและเป็นการใช้กากปูนขาวให้เกิดประโยชน์ โดยการจัดการของเสียวิธีนี้นอกจากจะเป็นการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นแล้วยังเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียนั้นๆ และยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดได้ในระดับหนึ่ง ดังนั้น การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของถาลอย กากปูนขาว และปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/c) และอายุบ่มที่เหมาะสมในการผลิตอิฐมวลเบา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของถาลอย กากปูนขาว ที่เหมาะสมในการผลิตอิฐมวลเบา
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของอิฐมวลเบาที่ใช้กากปูนขาวและถาลอยเป็นส่วนผสมที่มีการใช้สารเคมีในปริมาณที่ต่างกัน และอายุบ่มของก้อนตัวอย่างที่ต่างกัน
3. เพื่อศึกษาการชะละลายของโลหะหนักที่อัตราส่วนของอิฐมวลเบาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง

ขอบเขตของการวิจัย

1. กากปูนขาว ที่ใช้ในการทดลองได้จากของเสียอุตสาหกรรมกระดาษ
2. สารเคมีที่ใช้กระตุ้น คือ ผงอะลูมิเนียม
4. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ ปูนซีเมนต์ : ทราย : ถาลอย : กากปูนขาว
5. ศึกษาอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสม

6. อายุบ่มที่ศึกษา คือ 7, 14 และ 28 วัน
7. คุณสมบัติของอิฐมวลเบาที่ใช้ทดสอบคือ ค่าการรับกำลังอัด ค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ
8. ทดสอบการชะละลายของโลหะหนักที่อัตราส่วนของอิฐมวลเบาที่เหมาะสมและวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง AAS

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาคุณสมบัติของกากปูนขาวและเถ้าลอย พบว่า กากปูนขาวจะมีองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่คือ แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์ ส่วนเถ้าลอยจะประกอบด้วยซิลิกา อลูมินา และออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับวัสดุปอซโซลานที่ไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสานหรือมีน้อยมาก แต่สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติและมีความชื้นที่เหมาะสม ทำให้เกิดสารประกอบมีคุณสมบัติในการยึดประสานได้ ดังนั้น จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ผู้ศึกษามีความสนใจที่จะนำกากปูนขาวและเถ้าลอย มาเป็นส่วนผสมเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์สำหรับการผลิตอิฐมวลเบา และเป็นการนำของเสียที่เกิดขึ้นจากภาคอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้ง ซึ่งเป็นการอนุรักษ์อย่างหนึ่งและช่วยให้ทรัพยากรธรรมชาติเกิดความยั่งยืนต่อไป สำหรับการศึกษาในครั้งนี้มีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังนี้

อิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาเป็นวิวัฒนาการของการพัฒนาเทคโนโลยีอีกขั้นหนึ่ง การพัฒนาอิฐมวลเบาจนมีการพัฒนาออกมาใช้ ก็เพื่อประโยชน์ต่อการรับน้ำหนัก โครงสร้างของอาคาร เนื่องจากโครงสร้างอาคารปัจจุบันนี้มีทั้งขนาดใหญ่และสูง ผนังของอาคารก็มีจำนวนมาก ดังนั้นถ้าทำให้น้ำหนักของอิฐเบาลงได้ ก็จะมีผลต่อการออกแบบโครงสร้างให้ประหยัดได้ อิฐมวลเบาเป็นการผลิตจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปูนขาว ทรายละเอียด ผงอลูมิเนียม น้ำ และสารผสมเพิ่ม เช่น สารเพิ่มฟองอากาศ โดยหลังจากผสมกันแล้วจะทำให้เกิดช่องอากาศเล็กๆ เป็นรูพรุนที่ไม่ต่อเนื่อง (unconnecting voids) เป็นผลให้มีน้ำหนักเบา

1. คุณสมบัติอิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ ที่การผลิตส่วนใหญ่เป็นการนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรที่นำเข้าจากต่างประเทศอาทิเช่น เยอรมนี ออสเตรเลียฯ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างยุคใหม่ที่มุ่งเน้นให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการนำไปใช้งานทุกด้าน ด้วยคุณสมบัติพิเศษคือ ตัววัสดุมีน้ำหนักเบา ขนาดก้อนได้มาตรฐานเท่ากันทุกก้อน ทนไฟ ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ติดตั้งง่าย ใช้งานได้เกือบ 100% ไม่มีเศษเป็นอิฐหัก และที่สำคัญคือรวดเร็ว สะอาด ลดระยะเวลาในการก่อสร้างและลดต้นทุนโครงสร้างและมีคุณสมบัติที่โดดเด่น ดังนี้

1) คุณสมบัติทางกายภาพ อิฐมวลเบา หนา 10 เซนติเมตร เมื่อรวมน้ำหนักวัสดุรวมปูนฉาบจะหนัก 120 กิโลกรัม ในขณะที่อิฐมอญก่อ 2 ชั้น (เว้นช่องว่างตรงกลาง) จะหนัก 180 กิโลกรัม ซึ่ง

น้ำหนักของการก่ออิฐมอญจะมากกว่าทำให้ต้องเตรียมโครงสร้างเพื่อกันรับน้ำหนักในส่วนนี้ด้วย ทำให้ต้นทุนโครงสร้างเพิ่มขึ้น

2) การกันความร้อน หากเป็นกรณีปกติ “อิฐมวลเบา” จะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าอิฐมอญประมาณ 8-11 เท่า แต่การก่อผนังภายนอกอิฐจะต้องมีความหนา 10 เซนติเมตร และผนังภายในหนา 7 เซนติเมตร ขึ้นไป จึงจะสามารถกันความร้อนได้ดี แต่ในกรณีใช้อิฐมอญก่อ 2 ชั้น ตัวช่องว่างตรงกลาง จะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี และอิฐแถวด้านในไม่สัมผัสความร้อนโดยตรง จึงทำให้คุณสมบัติตรงนี้ของอิฐมอญจะมีความสามารถในการกันความร้อนได้ดีกว่า แต่การเว้นช่องว่างไม่ควรต่ำกว่า 5 เซนติเมตร

3) การกันเสียง ปกติอิฐมวลเบาจะกันเสียงได้ดีกว่าอิฐมอญประมาณ 20% แต่ในกรณีใช้อิฐมอญก่อ 2 ชั้น ช่องว่างตรงกลางจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันเสียงได้ดีกว่าเกือบ 2 เท่า แต่อิฐมวลเบาจะลดการสะท้อนของเสียงได้ดีกว่าเนื่องจากโครงสร้างของอิฐมวลเบา มีฟองอากาศเป็นจำนวนมากอยู่ภายในทำให้ดูดซับ เสียงได้ดี จึงเหมาะสำหรับห้องหรืออาคารที่ต้องการความเงียบ เช่น โรงภาพยนตร์หรือห้องประชุม

4) การกันไฟ อิฐมอญก่อ 2 ชั้น มีฉนวนตรงกลาง (ช่องว่างตรงกลาง) จะกันไฟได้ดีกว่าอิฐมวลเบาเล็กน้อยและทนไฟที่ 1,100 องศาเซลเซียส ได้นานกว่า 4 ชั่วโมงซึ่งนานกว่าอิฐมอญ 2-4 เท่า ทำให้จะช่วยจำกัดความเสียหายในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ได้

5) ความแข็งแรง การใช้งานทั่วไปไม่ต่างกัน แต่ผนังอิฐมอญจะเหมาะสำหรับการใช้วัสดุกรุผนังที่มีน้ำหนักมาก เช่น หินแกรนิต หรือหินอ่อน

6) น้ำหนักเบาและรับแรงกดได้ดี น้ำหนักเบากว่าอิฐมอญ 2-3 เท่า และเบากว่าคอนกรีต 4-5 เท่า ส่งผลให้ประหยัดค่าก่อสร้างโครงสร้างอาคาร และเสาเข็มลงได้อย่างมาก แต่อาคารยังคงมีความแข็งแรงเท่าเดิมจากโครงสร้างของอิฐมวลเบาที่ประกอบไปด้วยฟองอากาศจำนวนมากทำให้มีน้ำหนักเบาและสามารถรับแรงกดได้ดี ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้ทำให้ผู้ใช้สามารถประหยัดต้นทุนในการก่อสร้างได้มาก ยกตัวอย่างเช่น ไม่ต้องลงเสาเข็มลึกมากเนื่องจากโครงสร้างเบาและสามารถ ก่อสร้างโดยใช้โครงสร้างที่เล็กลง ทำให้ประหยัดการใช้เหล็กและมีพื้นที่ใช้สอยภายในมากขึ้น

7) ประหยัดพลังงาน เนื่องจากสามารถกันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญแล้วยังใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กลงได้ ช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าไปได้มาก กันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญถึง 4-8 เท่า จึงช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างดี ช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ถึง 30%

8) ใช้งานง่าย และรวดเร็ว เนื่องจากการผลิตที่เป็นมาตรฐานทำให้สินค้าที่ออกมาเท่ากันทุกก้อน ไม่เหมือนกับอิฐมอญที่ยังมีความไม่เป็นมาตรฐานอยู่ทำให้การก่อสร้างโดยใช้อิฐมวลเบาจะใช้เวลาในการก่อและเกิดการสูญเสียน้อยกว่า โดยเฉลี่ยแล้วภายใน 1 วันการก่อผนังโดยใช้อิฐมวลเบาจะ

ได้พื้นที่ 25 ตรม. ไม่ต้องอาศัยความชำนาญของช่าง สามารถตัด แต่ง เลื่อย ใส เจาะ ฟันต่อระบบได้โดยใช้เครื่องมือเฉพาะที่ใช้งานง่าย และหาซื้อได้ทั่วไป. ขณะที่หากใช้อิฐมอญจะก่อได้เพียง 12 ตรม. นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดวัสดุอื่นๆ เช่น ปูนฉาบด้วย เนื่องจากสามารถก่อฉาบได้บางกว่าช่วยจำกัดความเสียหายในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ได้

9) มิติที่ตรง ขนาดมิติที่ตรง แน่นอน ได้ชิ้นงานที่เรียบ สวยงาม มีหลายขนาดให้เลือก ประหยัดวัสดุ และ แรงงานในการก่อ ฉาบ

10) อายุการใช้งาน ยาวนานเท่าโครงสร้างคอนกรีต (50 ปี) เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทราย ปูนขาว ยิปซัม สารกระจายฟองและเหล็กเส้น จึงมีอายุการใช้งานยาวนานกว่า อิฐมอญซึ่งส่วนผสมส่วนใหญ่ คือ ดิน

2. กรรมวิธีการผลิตอิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปอร์แลนด์ ทราย ปูนขาว ยิปซัม น้ำ และสารกระจายฟองอากาศส่วนผสมพิเศษในอัตราส่วนที่เป็นสูตรเฉพาะตัว ซึ่งผู้ผลิตหลายรายใช้ระบบ AAC (Autoclaved Aerated Concrete) การผลิตส่วนใหญ่เป็นการนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรที่นำเข้าจากต่างประเทศอาทิเช่น เยอรมนี ออสเตรเลีย ฯ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างยุคใหม่ที่มุ่งเน้นให้เกิด ประโยชน์สูงสุดจากการนำไปใช้งานทุกด้าน ด้วยคุณสมบัติพิเศษ คือ วัสดุมีน้ำหนักเบา ขนาดก้อนได้มาตรฐานเท่ากันทุกก้อน อิฐมวลเบา มีมากมายหลายประเภท หากมองเพียงภายนอกอาจแทบไม่แตกต่างกัน แต่แท้จริงแล้วอิฐมวลเบาที่ใช้วัตถุดิบ และกระบวนการผลิตที่ต่างกันจะทำให้คุณสมบัติของอิฐมวลเบาแตกต่างกันด้วย อิฐมวลเบาโดยทั่วไปอาจแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non - Autoclaved System) ซึ่งจะแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบากว่ามาตรฐาน เช่น ขี้เลื่อย ขี้เถ้า ชานอ้อย หรือเม็ดโพรพาร์ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่จะมีอายุการใช้งานที่สั้นเสื่อมสภาพได้เร็ว และหากเกิดไฟไหม้สารเหล่านี้อาจเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (Circular Lightweight Concrete) เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู และทิ้งให้ แข็งตัว คอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมากกว่า ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรง คอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงนี้ส่วนใหญ่เนื้อผลิตภัณฑ์มักจะมีสี เป็นสีปูนซีเมนต์ คอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมากกว่า ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรงต่างจากคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงซึ่งจะมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นผลึกสีขาว

สำหรับขั้นตอนการผลิตแบบไม่ผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

(1) นำวัสดุที่เตรียมไว้มาร้อนด้วยตะแกรงคัดขนาด เอาส่วนหยาบออก ให้เหลือแต่ส่วนละเอียด

(2) กลูกเคล้าส่วนผสมให้สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน

(3) นำวัสดุแต่ละชนิดที่เตรียมไว้ ทอยเทลงในเครื่องผสม เพื่อกลูกเคล้าให้ส่วนผสมทั้งหมดกระจายตัวเข้ากันดี จากนั้น เติมน้ำแปรรูปพิเศษลงไปกลูกเคล้าเป็นลำดับสุดท้าย กลูกเคล้าต่อไปกระทั่งส่วนผสมรวมกันเป็นเนื้อเดียวดีแล้ว

(4) วัสดุผสมที่ได้ก็พร้อมนำไปอัดรูป เป็นอิฐตามขนาดที่ต้องการก่อน

(5) นำไปอัดพิมพ์ควรสังเกตด้วยว่าส่วนผสมนั้น มีความชื้นพอเหมาะดีหรือไม่ หากแห้งเกินไป เมื่ออัดพิมพ์แล้วอาจแตกร้าวได้ จำเป็นต้องปรับส่วนผสมใหม่ให้มีความชื้นพอเหมาะ กลูกเคล้าส่วนผสมด้วยเครื่องผสม

(6) กรอกลส่วนผสมลงแม่พิมพ์ให้มากพอทยอยกรอกลส่วนผสมลงแม่พิมพ์ พร้อมๆกับใช้มืออัดส่วนผสมให้แน่น และให้ส่วนผสมนั้นพุ่งล้นแม่พิมพ์เล็กน้อย จึงอัดพิมพ์ เพื่อให้ได้มวลอิฐที่แน่น ไม่แตกร้าวเมื่อถอดพิมพ์อัดส่วนผสมในพิมพ์ให้แน่น อัดพิมพ์เป็นขั้นตอนสุดท้าย

(7) หลังจากถอดแบบพิมพ์ ให้ผึ่งลมทิ้งไว้ ประมาณ 3 วัน อิฐมวลเบาที่ได้จะแห้งสนิทสามารถนำไปใช้งานได้ แต่ถ้ามีแสงแดดจัด โดยเฉพาะช่วงถอดพิมพ์ หากนำไปผึ่งแดดจะช่วยให้อิฐแห้งเร็วขึ้นอิฐมวล นี้ใช้ระยะเวลาผึ่งให้แห้งสั้นกว่าอิฐที่ทำจากซีเมนต์ ซึ่งต้องใช้เวลาผึ่งนานถึง 7 วัน ทั้งมีขั้นตอน และกรรมวิธีในการบ่มซับซ้อนกว่าแต่มีข้อพึงระวังระหว่างผึ่งอิฐต้องระมัดระวังมิให้ถูกฝน หรือน้ำมิฉะนั้นอาจเกิดความเสียหายได้เนื่องจากขณะที่อิฐมวลเบาแปรรูปยังไม่แห้งตัวจะละลายไปกับน้ำนั่นเอง

2) ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System)

ซึ่งแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 Lime Base ใช้ปูนขาว ซึ่งควบคุมคุณภาพได้ยาก มาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ มีการดูดซึมน้ำมากกว่า

ประเภทที่ 2 Cement Base ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้คอนกรีต มีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้ว ยังช่วยให้เกิดการตกผลึก (Calcium Silicate) ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรง ทนทาน กว่าที่การผลิตในระบบอื่นมาก

สำหรับขั้นตอนการผลิตแบบผ่านการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

(1) นำวัตถุดิบหลักคือทรายมาบดด้วยเครื่องบด บดผสมกับน้ำ

(2) นำวัตถุดิบที่ใช้ในกรรมวิธีทำอิฐมวลรวมเบา (ปูนขาว, ผงอลูมิเนียม, ทราย, ซีเมนต์, ยิปซัม) ผสมเข้ากันตามอัตราส่วน โดยส่วนผสมหลักคือทราย และซีเมนต์ ตามลำดับ ด้วยเครื่องผสม) การผสม (Mixing) โดยนำทรายและยิปซัมมาผสมกันก่อนในขณะเดียวกันปูนขาวผสมกับซีเมนต์ จากนั้นจึงนำทั้งหมดมาผสมกัน และจึงผสมกับอลูมิเนียม

(3) เทเข้าแม่พิมพ์

(4) นำเข้าห้องบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา เป็นฟองอากาศและฟูขึ้นมา

(5) นำเข้าเครื่องตัด CUTTING MACHINES (M203) และเครื่องทำโครงตาข่าย

(6) นำผ่านเข้าเครื่องอบ Over Dryer (M 114) โดยสายพานลำเลียง CONVEYOR

SYSTEM (M122)

(7) ตรวจสอบ QC บรรจุ โดยทุกขั้นตอนการผลิตมีการใช้คอมพิวเตอร์ทั้งกระบวนการผลิต

3) ข้อดีข้อเสียของอิฐมวลเบา

ข้อดีอิฐมวลเบา

- การกันความร้อนได้ดี
- กันเสียงได้ดี
- การกันไฟ ได้นานกว่า 4 ชั่วโมง
- น้ำหนักเบาและรับแรงกดได้ดี
- ประหยัดพลังงาน
- ใช้งานง่าย และรวดเร็วกว่าอิฐทั่วไป
- อายุการใช้งาน ยาวนานเท่าโครงสร้างคอนกรีต

ข้อเสียอิฐมวลเบา

- มีราคาแพง
- ไม่ทนต่อความชื้น

กากปูนขาว

กากปูนขาว (Lime Mud) เป็นกากของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์กลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการต้มเยื่อไม้ กระบวนการดังกล่าวนี้ทำให้เกิดกากปูนขาวเป็นปริมาณถึง 0.47 ลบ.ม./ตันเยื่อกระดาษ โดยทางโรงงานสามารถนำกากปูนขาวไปใช้ใหม่ได้ประมาณ 30 % ส่วนที่เหลือไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ต้องนำไปฝังกลบทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายและพื้นที่ฝังกลบเป็นจำนวนมาก และจากการศึกษาของ Euanchita (2002) พบว่าองค์ประกอบของกากปูนขาวจะประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) 61.29 wt% แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 34.06 wt% ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) 4.65 wt% และความชื้น 0.7 wt% โดยมีค่า pH เท่ากับ 12.38 และหากเป็นกากปูนขาวที่เกิดจากการใช้ไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบในการผลิตจะทำให้กากปูนขาวธาตุซิลิกา(Si) เจือปนออกมาด้วยกระบวนการหลักที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปูนขาวมี 3 กระบวนการดังต่อไปนี้

1. กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

โรงงานผลิตเยื่อกระดาษโดยทั่วไปจะมีกระบวนการผลิตที่สำคัญ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กระบวนการย่อย ประกอบด้วย กระบวนการผลิตเยื่อ (Pulp mill process) กระบวนการทำแผ่นเยื่อ (Sheeting process) และกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery process)

สำหรับในกระบวนการผลิตเยื่อนั้นสามารถแยกหน่วยการผลิตได้ดังนี้

- หน่วยสับชิ้นไม้และคัดขนาดชิ้นไม้ (Chipping)
- หน่วยต้มเยื่อ (Cooking)
- หน่วยล้างและร่อนเยื่อ (Washing & Screening)
- หน่วยแยกลิกนินด้วยออกซิเจน (Oxygen delignification)
- หน่วยฟอกขาวและทำความสะอาดเยื่อหลังการฟอก (Bleaching & Cleaning)

ในกระบวนการทำแผ่นเยื่อมีหน่วยการผลิตดังภาพที่ 3-1 อธิบายดังนี้

- หน่วยทำแผ่นเยื่อและคังน้ำออก (Sheeting forming & dewatering)
- หน่วยบีบอัด (Pressing)
- หน่วยอบแห้ง (Drying)
- หน่วยตัดแผ่นเยื่อและห่อ (Cutting & bailing)

ทางด้านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่มีวัตถุประสงค์หลักคือ

- ทำการเปลี่ยนสภาพสารอินทรีย์ในน้ำดำ (Black liquor) จากหน่วยต้มเยื่อเพื่อนำไปใช้ผลิตสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งกากปูนขาว (Lime mud) จะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้

- พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้กากปูนขาวจะนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต

- สำหรับขั้นตอนการเปลี่ยนสภาพของน้ำดำ (Black liquor) ไปเป็นน้ำขาว (Lime liquor) เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในการต้มเยื่อนั้นมีหน่วยการผลิตที่สำคัญดังนี้

- โรงระเหย (Evaporators)
- เตาเผาทำลายสารเคมีกลับคืน (Recovery Boiler)
- หน่วยผลิต Caustic soda (Causticizing)

โดยรายละเอียดของกระบวนการผลิตเยื่อในแต่ละส่วนการผลิตมีดังนี้

1) กระบวนการผลิตเยื่อ

(1) หน่วยสับชิ้นไม้และคัดขนาดชิ้นไม้

ส่วนใหญ่จะใช้ไม้ไฟ ปอ และยูคาลิปตัส เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเยื่อ สำหรับในกรณีที่ใช้ไม้ไฟเป็นวัตถุดิบนั้นเมื่อเข้าสู่หน่วยผลิตดังกล่าวจะต้องทำการล้างน้ำก่อนป้อนเข้าสู่เครื่องสับดังกล่าว โดยเครื่องสับจะใช้ในการสับปอและไม้ไฟ ส่วนยูคาลิปตัสจะต้องทำการปอกเปลือกก่อนทำการสับด้วย Ruama disc chippers ไม้ที่ผ่านกระบวนการสับแล้วจะมีสภาพเป็นชิ้นไม้ขนาดเล็กเท่า ๆ กัน ตามที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในการผลิตลำดับต่อไป สำหรับฝุ่นที่เกิดจากการสับไม้และการคัดขนาดของชิ้นไม้นั้นจะส่งไปเผาใน Dust-fired boiler ในลำดับต่อไป

(2) หน่วยต้มเยื่อ

ชิ้นไม้ต้องทำการสับตามขนาดที่ต้องการจากหน่วยสับไม้และคัดขนาดจะถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการต้มเยื่อแบบกราฟท์ ด้วยหม้อต้มที่เรียกว่า “Kamyr” อย่างต่อเนื่อง สำหรับสารเคมีที่เติมเข้าสู่ถังดังกล่าวเพื่อต้มเยื่อนั้นเรียกว่า “น้ำขาว(White liquor)” ซึ่งมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เป็นองค์ประกอบจะถูกป้อนเข้าสู่การดังกล่าวนี้เนื่องจากช่วยให้อุณหภูมิและความดันที่กำหนด เพื่อทำการย่อยสลายลิกนินและสารประกอบอื่นๆ ก่อนไปเก็บที่ Blow tank สำหรับก๊าซที่ก่อให้เกิดกลิ่นและไม่ควบแน่น (Non-condensable gasses) จะถูกรวบรวมเพื่อนำไปบำบัดในขั้นตอนนี้

(3) หน่วยล้างและร้อนเยื่อ

หลังจากผ่านกระบวนการต้มเยื่อแล้วเยื่อทั้งหมดจะถูกส่งเข้าสู่ Blow tank และผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการแยกตาไม้ออก เยื่อที่ทำการแยกตาไม้ออกหมดแล้วจะทำการล้างน้ำด้วยระบบล้างน้ำแบบสวนทาง 3 ขั้นตอน (Three stage brown stock washer) น้ำจากกระบวนการล้างนี้เรียกว่า “น้ำดำ (Black liquor)” ซึ่งมีปริมาณ 150 ลบ./ชม. จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการผลิตสารเคมีกลับคืนเพื่อผลิตสารเคมีนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการต้มเยื่อ สำหรับเยื่อที่ผ่านการล้างน้ำแล้วนั้นจะส่งเข้าสู่เครื่องร้อนภายใต้ความดันแบบ 3 ขั้นตอน (Three stage pressure screen) เพื่อคัดเอาเส้นและอนุภาคแปลกปลอมอื่นๆ ออกจากเยื่อ

(4) หน่วยแยกกลินินด้วยออกซิเจน

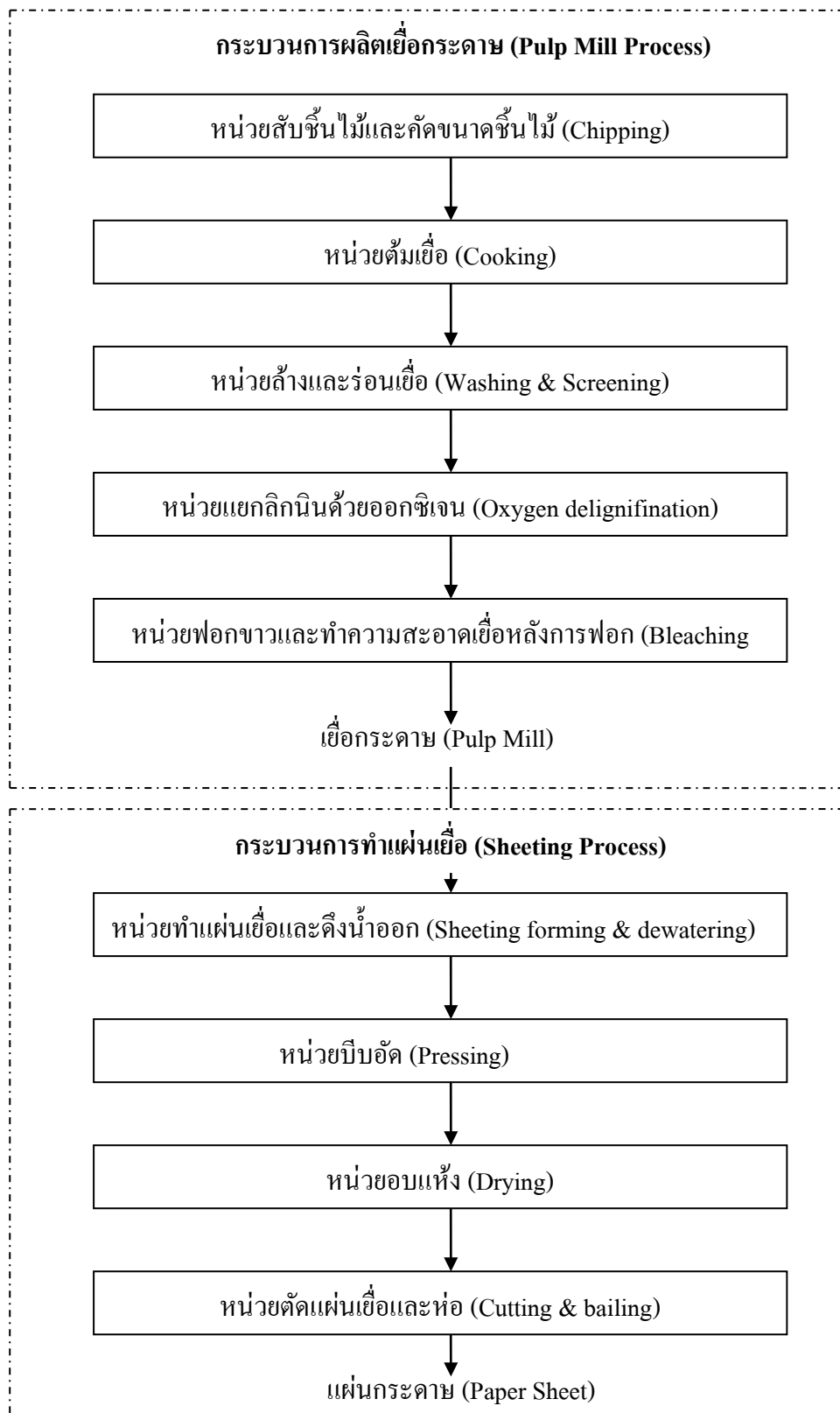
เยื่อที่ผ่านการร่อนแล้วจะส่งเข้าสู่กระบวนการแยกกลินินด้วยออกซิเจนแบบขั้นตอนเดียวเพื่อลดค่า KAPPA NUMBER (ดัชนีแสดงค่ากลินินในเยื่อ) ในกระบวนการดังกล่าวนี้เยื่อจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในถังปฏิกิริยาออกซิเจน (Oxygen reactor) หลังจากนั้นจะส่งเข้าล้างในเครื่องล้างแบบ Wash press

(5) หน่วยฟอกขาวและทำความสะอาดเยื่อหลังการฟอก

ในหน่วยฟอกขาวนี้ ใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อให้ได้เยื่อที่มีสัดส่วนของความสว่างและความขาวตามต้องการ สำหรับขั้นตอนการฟอกขาวเป็นแบบ C/D-Eo-D1-D2 โดยในขั้นตอนแรกจะทำการฟอกด้วยคลอรีนและคลอรีนไดออกไซด์ (Cl_2/ClO_2) หลังจากนั้นทำการฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และออกซิเจน และในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการฟอกด้วยคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) อีก 2 ครั้ง เยื่อที่ได้จากขั้นตอนนี้จะมีความสว่างและมีคุณสมบัติตามต้องการ จากนั้นจะทำการล้างด้วยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ น้ำ เพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่ยังหลงเหลืออยู่ในเยื่อ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการดังกล่าวแล้วเยื่อที่ได้จะถูกส่งเข้า 3 Stage Centriclaening เพื่อกำจัดเศษสิ่งสกปรกก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการทำเยื่อต่อไป

2) กระบวนการทำแผ่นเยื่อ

หน้าที่สำคัญของกระบวนการนี้คือ การกำจัดน้ำในเยื่อและการทำให้เยื่อแห้งหลังจากผ่านกระบวนการผลิตเยื่อมาแล้วเพื่อให้เยื่ออยู่ในรูปที่ส่งออกจำหน่ายได้ง่าย เยื่อขุ่น (Slurry) ที่ได้จากการฟอกขาวเมื่อเข้าสู่กระบวนการทำแผ่นเยื่อจะถูกทำให้กระจายเป็นแผ่นเรียบบนสายพานตะแกรงและมีการดึงน้ำออกตลอดเวลา ซึ่งระบบดังกล่าวนี้จะทำการผลิตเยื่ออย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นจะทำการบีบอัดภายใต้แรงดัน 2 ขั้นตอน เพื่อลดปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ สำหรับแผ่นเยื่อหลังผ่านกระบวนการบีบอัดแล้วจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 50 จากนั้นจะส่งผ่านเข้าสู่ Multi cylinders และนำไปอบใน Flask Dryer แผ่นเยื่อที่ได้เรียกว่า “เยื่อแห้ง” ซึ่งมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 10-11 หลังจากนั้นจะทำการตัดให้ได้มาตรฐานบรรจุห่อขนาดห่อละ 200 กิโลกรัม ก่อนจะส่งไปเก็บยังโกดังเพื่อรอส่งให้ลูกค้าในลำดับต่อไป



ภาพที่ 3-1 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและกระบวนการทำแผ่นเยื่อ
ที่มา: บริษัท คอนซัลแทนท์ ออฟ เทคโนโลยีจำกัด (2544)

3) กระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่

(1) โรงระเหย

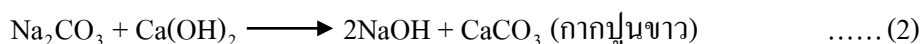
จุดมุ่งหมายพื้นฐานของโรงระเหย จะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำดำเจือจาง (Weak black liquor) ที่ได้จากการล้างในกระบวนการผลิตเยื่อ ซึ่งมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบ เพื่อให้ได้น้ำดำที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นก่อนนำไปเผาในสารเคมีกลับคืน (Recovery boiler) ในระหว่างการระเหยเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำดำนี้ น้ำดำจะถูกกำจัดออกนำกลับมาใช้ยังหน่วยผลิต Caustic soda (Causticizing plant)

(2) เตาเผาในสารเคมีกลับคืน

หน้าที่ของเตาเผาในสารเคมีกลับคืนคือการเผาใน การเผา น้ำดำเข้มข้น (Concentrate blank liquor) สำหรับความร้อนที่ได้จะนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ส่วนน้ำเขียว (Green liquor) อันเป็นผลพลอยได้จากหน่วยผลิตนี้จะใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตน้ำขาว (White liquor) ในหน่วยผลิต Caustic soda อย่างไรก็ตามจะต้องควบคุมความเข้มข้นของกำมะถันในน้ำขาวด้วย ดังนั้นจึงมีการเติม โซเดียมซัลเฟตและได้จากเครื่องบำบัดมลพิษทางอากาศแบบไฟฟ้าสถิตเข้าไปในเตาเผาในสารเคมีกลับคืนก่อนทำการเผา น้ำดำ

(3) หน่วยผลิต Caustic soda

น้ำเขียว (Green liquor) ที่ได้จากเตาเผาในสารเคมีกลับคืนเป็นสารผสมระหว่าง Smelt และ Weak liquor (มี โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และ โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) เป็นองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่) ในหน่วยการผลิตนี้จะนำปูนขาวไปผสมกับน้ำเขียว (Green liquor) ก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปเนื่องจากกระบวนการทางเคมีกลายเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และนำกลับมาใช้ใหม่ในหน่วยต้มเยื่อ สำหรับสมการเคมีสามารถสรุปได้ดังนี้



เถ้าลอย

เถ้าลอย (Fly ash) คือ อนุภาคขนาดเล็กซึ่งเกิดจากการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ของถ่านหินหรือเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งอื่นๆ องค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ของเถ้าลอยจะประกอบด้วยซิลิกา อลูมินา และออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับวัสดุปอซโซลาน เถ้าลอยมักมีส่วนประกอบของโลหะหนักอยู่ด้วยซึ่งเมื่อหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจและความผิดปกติทางประสาทได้ นักวิจัยได้มีความพยายามที่จะนำเถ้าลอยที่ถูกดักจับได้เหล่านี้มาผลิตเป็นอิฐเพื่อใช้ในการก่อสร้างแทนอิฐทั่วไปนานแล้ว แต่ยังคงมีความกังวลว่า “อิฐเถ้าลอย” นี้จะปล่อยโลหะหนักออกมาเมื่อนำไปใช้ในการ

ก่อสร้าง แต่ตอนนี้ทีมนักวิจัยจากสหรัฐอเมริกาพบว่า อิฐเถ้าลอยกำลังทำตรงกันข้ามโดยการดูดซับ โลหะหนักเป็นพิษออกจากบรรยากาศ ทุกปีเถ้าลอยปริมาณมากถึง 25 ล้านตันจากโรงงานไฟฟ้าถ่านหิน ถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของวัสดุก่อสร้างเช่น คอนกรีต แทนซีเมนต์ที่ใช้อยู่ทั่วไป

เถ้าลอยนี้สามารถนำมาผสมในซีเมนต์แทนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland cement) ได้มากถึงร้อยละ 50 โดยมวล เพื่อเพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงของคอนกรีต ความทนทานต่อสารเคมีและความคงทนในการใช้งาน นอกจากเพิ่มสมบัติด้านดังกล่าวแล้ว ยังสามารถลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้ซีเมนต์พอร์ตแลนด์อีกด้วย (ในการผลิตซีเมนต์พอร์ตแลนด์ 1 ตัน จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ตัน) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เถ้าลอยผสมกับซีเมนต์ ได้แก่ ปูนสำหรับเทฐานรากปูนสำหรับก่ออิฐ ก้อนคอนกรีตและกระเบื้องมุงหลังคา นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเติมในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้และพลาสติก สี และการหล่อโลหะ เป็นต้น (http://www.mtec.or.th/th/news_st/news_st-detail.asp?newsid=218)

1. คุณสมบัติเถ้าลอย

- 1) เถ้าลอยช่วยเพิ่มความสามรถได้ เนื่องจากเถ้าลอยมีรูปร่างที่ค่อนข้างเป็นทรงกลมจึงสามารถลดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาค และลดความต้องการน้ำเพื่อให้คอนกรีตสามารถไหลลื่นได้
- 2) เถ้าลอยที่มีคุณภาพดี จะต้องมีความละเอียดของอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน เถ้าลอยมีปริมาณ ซิลิกาออกไซด์ ซึ่งมีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต
- 3) ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยในประเทศไทยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 – 2.8

ตารางที่ 3-1 ตารางเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 กับเถ้าลอย (Fly Ash)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ โดยน้ำหนัก	
	ปูนซีเมนต์ Type 1	เถ้าลอย
SiO ₂	19-22	20-55
Al ₂ O ₃	4-7	5-40
Fe ₂ O ₃	3-4	1-15
CaO	63-68	1-35
MgO	0-2	0-5
Na ₂ O	0-1	0-2
K ₂ O	0-1	0-5
SO ₃	2-3	0-10

ตารางที่ 3-2 ชั้นคุณภาพการใช้ Fly Ash ตามมาตรฐาน ASTM

Type	Replacement % by weight
ASTM Class F	15-25
ASTM Class C	20-35

หมายเหตุ : การแบ่งชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM ใช้ค่าความละเอียดเป็นเกณฑ์ Class F จะต้องมียอดน้อยกว่า 5 ไมครอนร้อยละ 90 Class C จะต้องมียอดน้อยกว่า 5 ไมครอนร้อยละ 93 ขึ้นไป

วัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) เป็นวัสดุที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์หรือคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการลดต้นทุนของคอนกรีตหรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น เพิ่มความทนทานของคอนกรีตต่อสภาพการกัดกร่อน ช่วยปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตสดเพื่อให้ทำงานได้ง่ายขึ้น เป็นต้น

ปอซโซลาน หมายถึง วัสดุที่มีซิลิกา (Siliceous) หรือ ซิลิกาและอลูมินา (Siliceous and Aluminous) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยปกติแล้ววัสดุปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสานหรือมีน้อยมาก แต่เมื่อมีความละเอียดสูงและมีความชื้นที่เพียงพอ จะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้สารประกอบมีคุณสมบัติในการยึดประสานได้

ปฏิกิริยาปอซโซลาน

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันขึ้น ผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยานี้คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, C-S-H) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ตามสมการที่ (2.1) และ (2.2) แต่ถ้านำวัสดุปอซโซลานผสมมอร์ตาร์หรือคอนกรีต สารประกอบซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) อันเป็นสารประกอบอย่างหนึ่งของวัสดุปอซโซลานจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (C-AI-H) ตามสมการที่ (2.3) และ (2.4) ดังที่กล่าวไว้ในความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย โดยที่เรียกสมการที่ได้ว่า ปฏิกิริยาปอซโซลานสำหรับค่า x , y และ z เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต จะมีคุณสมบัติในการยึดประสานทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น อีกทั้งช่วยลดช่องว่างภายในคอนกรีตเป็นผลให้อัตราการซึมของน้ำลดลงด้วย

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบของซีเมนต์ โดยปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดใน 2 ลักษณะคือ

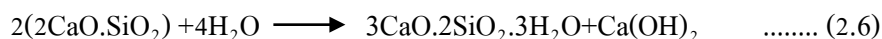
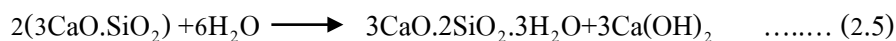
1) อาศัยสารละลาย ซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิด Ions ในสารละลายและ Ions นี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น

2) การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิกิริยานี้เรียกว่า “Solid State Reaction”

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสารละลายและในช่วงต่อไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้ อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้จะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักของซีเมนต์แต่ละประเภท (จิตติมา, 2547)

1) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต (C_3S , C_2S)

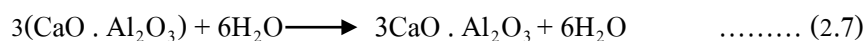
ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ เกิดจากสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$), ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$) รวมกับน้ำจะทำให้ปูนซีเมนต์มีลักษณะเป็นของเหลวข้นและเกิดสารประกอบขึ้นมา 2 ชนิดคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$) หรือเรียกย่อๆว่า C-S-H แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ดังสมการที่ (2.5) และ (2.6)



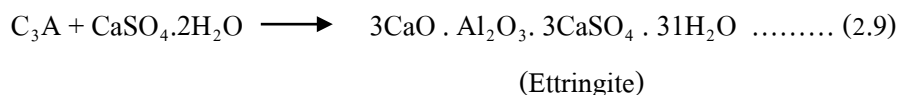
แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต เป็นวัสดุประสานทำให้คอนกรีตเกิดแรงยึดเหนี่ยวให้กำลังอัดได้ ส่วนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นส่วนที่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีต่อไปได้ ซึ่งกำลังอัดของคอนกรีตไม่ได้มีเฉพาะปฏิกิริยาไฮเดรชันเท่านั้น แต่มีปฏิกิริยาอื่นที่ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงขึ้น เช่น ปฏิกิริยาปอซโซลาน หรือการอัดตัวของอนุภาค (Packing effect) ซึ่งปฏิกิริยาปอซโซลานเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากสารผสมเพิ่มซึ่งได้แก่ เถ้าถ่านหิน เถ้าก้นเตา เถ้ากลบ เป็นต้น

2) ปฏิกิริยาไฮเดรชันไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A จะเกิดทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ดังสมการที่ (2.7) และ (2.8)



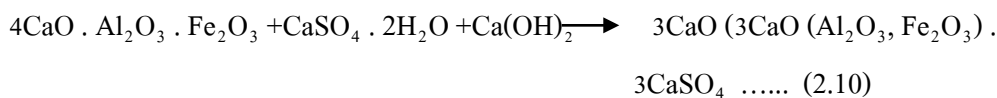
เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เข้าไปในระหว่าง
ขบวนการบดซีเมนต์ ยิปซัมจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวอนุภาค C_3A ดัง
สมการที่ (2.9)



ชั้นของ Ettringite ก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ C_3A และทำให้การก่อตัวช่วงแรกนี้
ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S และ C_2S เป็นส่วนใหญ่แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการ
เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A กล่าวคือเมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มาจากการเพิ่มปริมาตรของ
ของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออกและเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A แต่เมื่อเกิด
การแตกตัวจะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะ
เป็นไปอย่างนี้จนกระทั่ง Sulphate Ions มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮ
เดรชันของ C_3A โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น Monosulphate

3) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_4AF นี้จะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับยิปซัม และ
 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoferrite ดังสมการที่ (2.10)



การบ่มคอนกรีต

เนื่องจากคอนกรีตมีชีเมนต์กับน้ำ เป็นตัวที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาและเกิดความร้อนขึ้น ด้วยเหตุนี้
จึงต้องมีการควบคุมป้องกัน หรือมีการสนับสนุนให้ปฏิกิริยาดำเนินไปอย่างครบถ้วน การรักษาหรือ
บ่ม (Curing) นั้นเอง ด้วยเหตุที่ว่าความแข็งแรงของปูนซีเมนต์จะเกิดขึ้นช้าๆ แม้ในระยะวันแรกจนถึง
1 เดือน และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไป ดังนั้นในระหว่างที่กำลังแข็งตัวอยู่นี้คอนกรีตต้องการน้ำหล่อเลี้ยง
ปูนซีเมนต์ เพื่อปฏิกิริยาทางเคมี ถ้าน้ำแห้งไปก่อนกำหนดในระยะเวลาใด ความแข็งแรงจะหยุดอยู่ในระยะ
นั้น และถ้าอยู่ในระยะเวลาที่มีความแข็งแรงไม่พอที่จะต้านทานการหดตัวอันเนื่องจากการระเหยของน้ำ
หรือเนื่องมาจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงแล้ว อาจทำให้เกิดการเสียหายแตกร้าวขึ้นในเนื้อคอนกรีต หรือ
ตามผิวที่แห้งค่อนนั้นได้ทุกเมื่อ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการเก็บน้ำให้ชุ่ม โดยการลาดน้ำตลอดเวลา ชังน้ำ
หรือวิธีอื่นหมายถึงการกันไม่ให้ น้ำที่มีอยู่เดิมระเหยออกไปเพื่อให้ดำเนินปฏิกิริยาจนสำเร็จให้มากที่สุด
เท่าที่จะทำได้การกระทำนี้ก็คือ การบ่มคอนกรีต

ความสำคัญในการบ่มคอนกรีตให้เก็บความชื้นไว้ในคอนกรีต จนแน่ใจว่าน้ำจะเข้าทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ได้อย่างสมบูรณ์ใน 7 วัน ถือเป็นช่วงอันตรายที่ควรควบคุม คอนกรีตจะมีกำลังประมาณถึง 70% และอายุคอนกรีตที่บ่ม 14 วัน จะมีกำลังประมาณ 85% ของกำลังคอนกรีตที่มีอยู่ 28 วัน ซึ่งได้ออกแบบกับงานโครงสร้างและทางหลวงได้ ภายใต้อุณหภูมิที่สูงขึ้นเนื่องมาจากความร้อนทำให้ความชื้นที่ได้ควบคุมอยู่นั้นระเหยหนีออกไปได้ ฉะนั้นจึงต้องเลือกวัสดุที่จะมาคลุมให้สนิท ควรเก็บความชื้นไว้ถึง 100% ที่อุณหภูมิ 70 องศาฟาเรนไฮต์ จะมีน้ำที่ต้องหารอยู่ 0.016 ปอนด์ต่ออากาศหนัก 1 ปอนด์ ถ้าบ่มในอุณหภูมิ 104 องศาฟาเรนไฮต์ จะมีน้ำอยู่ 0.15 ปอนด์ และ 0.66 ปอนด์ ในอุณหภูมิ 100 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นต้น วัสดุและกรรมวิธีเป็นสิ่งจำเป็นต้องทำร่วมกัน อาทิ การฉีดยาน้ำเป็นฝอย ควรทำให้สม่ำเสมอ การใช้ผ้าใบหรือกระสอบคลุม เคลือบน้ำยอเคมี กระดาษกันน้ำคลุม แผ่นพลาสติกคลุม ใช้น้ำแบบคลุม ควรปิดให้มิดชิดการอบด้วยไอน้ำ หรือการผสมแคลเซียมคลอไรด์ก็เป็นวิธีที่ใช้ได้ผลดีมาก (พิภพ, 2539)

การชะละลาย (Leaching)

กากของเสียที่อันตรายเมื่อไม่ได้รับการบำบัดและกำจัดอย่างถูกวิธี เช่น การนำกากของเสียอันตราย ไปทิ้งบนพื้นดิน หรือการนำไปฝังกลบ อาจเกิดการย่อยสลายของกากของเสียออกมาทำให้เกิดการชะละลายของสารพิษ ซึ่งอาจแพร่กระจายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทะเล หรือซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้ และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตจากสารพิษที่รั่วไหลออกมา

น้ำชะ (Leachate) คือ น้ำที่ชะมลพิษต่างๆ ออกมาจากของเสีย เช่น ฝน น้ำผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน ประกอบด้วยสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และของแข็งอื่นๆ ปนอยู่ในรูปของสารละลายและตะกอนแขวนลอย ซึ่งขึ้นกับลักษณะและองค์ประกอบของกากของเสียอันตราย รวมทั้งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ความสามารถในการรั่วซึมของสารมลพิษ (Leachability : L) หาได้จากอัตราส่วนของปริมาณของสารมลพิษที่ออกมาจากตัวอย่างและปริมาณสารมลพิษที่มีอยู่เดิมในตัวอย่าง

$$L = C_1 / C_0$$

โดย L = ความสามารถในการชะละลาย (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_1 = ความเข้มข้นของสารพิษก่อนทำการสกัด

C_2 = ความเข้มข้นของสารพิษที่ออกมาจากตัวอย่างหลังการสกัด

หรือเท่ากับปริมาณสารพิษที่ออกมาจากตัวอย่างหลังการสกัด (W_1) หารด้วยปริมาณสารพิษก่อนทำการสกัด

$$L = W_1/W_0$$

โดย W_0 = ปริมาณสารพิษก่อนทำการสกัด (กรัม)

W_1 = ปริมาณสารพิษที่ออกมาจากตัวอย่างหลังการสกัด (มิลลิกรัม)

วิธีการสกัดสารอันตรายปกติใช้วิธีที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานสากล เช่น Extraction Procedure Toxicity (EP toxicity), Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) ซึ่งความเข้มข้นสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำชะ

1. Toxicity characteristic Leaching Procedure (TCLP)

เป็นวิธีการทดสอบตามกฎหมายของประเทศสหรัฐอเมริกา จัดทำโดย US EPA ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1986 และเริ่มนำมาใช้แทน EP toxicity test ในปี ค.ศ. 1990 ใช้ในการทดสอบใน 2 ประเด็น ได้แก่ ทดสอบว่าของเสียนั้นเป็นของเสียอันตรายประเภทสารพิษหรือไม่ และทดสอบว่าของเสียนั้นมีความคงตัวเพียงพอที่จะนำไปฝังกลบหรือไม่ วิธีการทดสอบมีดังนี้

- บดของเสียให้มีอนุภาคขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 9.5 มิลลิเมตร
- สกัดด้วยสารละลายกรดอะซิติกซึ่งได้จากการผสมน้ำกับกรดจนมี pH 2.88 ± 0.05 ซึ่งเป็น pH ภายในหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน
- อัตราส่วนระหว่างของเหลวต่อของแข็ง 20 : 1
- นำของผสมไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบหมุนในอัตรา 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
- กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วขนาดรูพรุน 0.6–0.8 μm . ของเหลวที่กรองได้เรียกว่า สารสกัดด้วยวิธี TCLP
- นำสารสกัดไปวิเคราะห์สารปนเปื้อนต่างๆ ทั้งโลหะ สารปราบศัตรูพืชที่ไม่ระเหย กึ่งระเหยและสารระเหยดังแสดงในตารางที่ 3-3 ถ้ามีการปนเปื้อนต่ำกว่าที่กำหนดถือว่าของเสียนั้นเป็นของเสียที่ไม่อันตราย

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าวิธีการนี้จะวิเคราะห์ทั้งสารปนเปื้อนที่ไม่ระเหย กึ่งระเหย และสารระเหย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการป้องกันการระเหยของสารระหว่างการทำการสกัด ดังนั้นถ้าของเสียปนเปื้อนด้วยสารระเหย ต้องทำการสกัดในขวดสกัดแบบ zero-head-space ซึ่งจะทำให้สารระเหยเหล่านี้ละลายอยู่ในสารละลายสกัดทั้งหมด

อย่างไรก็ตามมีข้อวิจารณ์ต่างๆ เกี่ยวกับวิธี TCLP ดังนี้

- การกำหนดขนาดของของแข็งให้ขนาด ≤ 9.5 มิลลิเมตร ทำให้ลดการเกิดกลไก macroencapsulation และ microencapsulation ในของเสีย ซึ่งในความเป็นจริงของเสียที่เป็นก้อนใหญ่ ยังคงมีกลไกทั้ง 2 นี้อยู่

2. ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการชะละลาย

1) พื้นที่ผิวของของเสีย

สถานะในการทดสอบการชะละลายของก้อนหล่อแข็งของเสียควรจะคล้ายคลึงกับสถานะในหลุมฝังกลบมากที่สุด แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ ดังนั้นวิธีการทดสอบส่วนใหญ่จึงใช้การเพิ่มพื้นที่ผิวของตัวอย่างโดยการบดเพื่อให้การทดสอบมีความถูกต้องมากขึ้น อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบจะต้องตระหนักว่าวิธีการบดตัวอย่างนั้นไม่สามารถควบคุมได้เพียงพอ เนื่องจากการบดสามารถกำหนดขนาดอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดได้แต่ไม่สามารถกำหนดขนาดที่เล็กที่สุดและการกระจายของขนาดได้ ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้จึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเหล่านี้ด้วย

2) การเตรียมตัวอย่าง

ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะตัวอย่างที่ต่างกัน วิธีการทดสอบ ขนาดของตัวอย่าง การบ่ม และอายุของก้อนหล่อแข็ง

3) ส่วนประกอบของสารที่ใช้ชะ

ส่วนประกอบของสารละลายที่ใช้ชะหรือการใช้เป็นสารละลายสำหรับการกัดกร่อนที่ต่างกัน มีความสามารถในการชะสารอันตรายซึ่งถูกตรึงในก้อนหล่อแข็งของเสียได้แตกต่างกัน เช่น น้ำ สารละลายกรด-ด่าง

4) วิธีที่ใช้สกัด

การเขย่าตัวอย่าง การส่งเสริมให้เกิดการเคลื่อนที่ การเพิ่มปัจจัยให้เกิดการถ่ายเทมวลกับองค์ประกอบอื่น สภาพภาชนะที่ใช้สกัดและสภาวะบรรยากาศ มีผลต่อการชะละลาย

ตารางที่ 3-3 ปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของสารอันตรายที่ปะปนในสารละลายจากการทดสอบ การ
ถูกชะล้างตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ชนิดของสาร	ความเข้มข้นใน สารละลาย จากการสกัด (มก./ล.)	ชนิดของสาร	ความเข้มข้นใน สารละลาย จากการสกัด (มก./ล.)
Total Arsenic	5.0	Total Lead	5.0
Barium	100.0	Lindane	0.4
Benzene	0.5	Total Mercury	0.2
Total Cadmium	1.0	Methoxychlor	10.0
Carbon tetrachloride	0.5	Methyl ethyl ketone	200.0
Chlordane	0.03	Nitrobenzene	2.0
Chlorobenzene	100.0	2,4-Nitrotoluene	0.13
Chloroform	6.0	Pentachlorophenol	100.0
Total Chromium	5.0	Pyridine	5.0
Ortho-Cresol	200.0	Selenium	1.0
Meta-Cresol	200.0	Silver	5.0
Para-Cresol	200.0	Tetrachloroethylene	0.7
2,4-D	10.0	Toxaphene	0.5
1,2-Dichloroethane	0.5	Trichloroethylene	0.5
1,1-Dichloroethylene	0.7	2,4,5-Trichlorophenol	400.0
Endrin	0.02	2,4,6-Trichlorophenol	2.0
Heptachlor (and its hydroxide)	0.008	2,4,5-TP (Silvex)	1.0
Hexachlorobutadiene	0.5	Vinyl Chloride	0.2
Hexachlorocyclopentadiene	3.0		

ที่มา : เกียรติก้อง (2546)

5) อัตราส่วนของผิวสัมผัสต่อสารที่ใช้ชะ

เมื่อความเข้มข้นและปริมาตรของสารที่ใช้ชะตัวอย่างเท่ากัน ก้อนหล่อแข็งตัวอย่างที่มีผิวสัมผัสมากกว่าจะถูกชะละลายออกมามากกว่า

6) จำนวนครั้งในการชะ

วิธีทดสอบบางวิธีของเสียจะถูกสกัดด้วยสารชะเพียงครั้งเดียว แต่บางวิธีถูกออกแบบมาเพื่อให้ได้สิ่งแวดล้อมชาติที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบส่วนมาก นั่นคือการเปลี่ยนสารชะใหม่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งโดยทั่วไปสันนิษฐานว่าสารที่ถูกชะออกมามีความเข้มข้นขององค์ประกอบสูงสุด เพราะสารชะสัมผัสกับความเข้มข้นสูงสุดบนผิวหน้าของของเสีย แต่อย่างไรก็ตามในกรณีของโลหะหนักไม่จำเป็นต้องเป็นอย่างนี้เสมอ (สุธาทิพย์, 2545)

7) ระยะเวลาสัมผัส

ตัวอย่างที่มีการสัมผัสสารละลายที่ใช้ชะเป็นเวลานานจะถูกชะละลายมากกว่าตัวอย่างที่มีการสัมผัสสารที่ใช้ชะเป็นเวลาน้อย อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นๆ ประกอบอีก เช่น ลักษณะของตัวอย่างที่เป็นก้อนหรือตัวอย่างที่ผ่านการบดให้มีขนาดตามต้องการ

8) อุณหภูมิ

อุณหภูมิของการชะตัวอย่างที่ต่างกันมีผลต่อการชะละลายของสารเคมีได้ต่างกัน เช่น กากของเสียบางชนิดต้องทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะมีผลต่อการเร่งการละลายตลอดจนผลกระทบต่อสมบัติของกากของเสีย

9) การปรับพีเอช

การควบคุมพีเอชเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการประเมินความสามารถในการชะละลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับโลหะควรจะบันทึกค่าพีเอชสุดท้ายของสารชะเมื่อสิ้นสุดการทดสอบไว้เสมอ เนื่องจากเป็นค่าที่มักจะใช้ตัดสินว่าของเสียเป็นไปตามมาตรฐานบังคับสำหรับโลหะหรือไม่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุมาลี และคณะ (2540) ทำการศึกษาการขึ้นรูปแผ่นทนความร้อนด้วยกากปูนขาวจากการฟอกเยื่อกระดาษ โดยอาศัยตัวช่วยประสานที่ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ขาว และผงยาแนวกระเบื้อง พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมคือ กากปูนขาว : น้ำ : ปูนซีเมนต์ขาว : ผงยาแนวกระเบื้อง เป็น 75.76 : 15 : 8 : 1.33 ผลผลิตที่ได้จากสัดส่วนนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็น 0.001322 W/mK ค่าความหนาแน่นเป็น 0.9354 g/cm³ และค่าความทนต่อแรงกระแทกเป็น 0.295 J

จินตวัฒน์ และคณะ (2541) ทำการศึกษาการใช้กากปูนขาวจากอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษ เพื่อผลิตแผ่นยิปซัมประยุกต์ โดยใช้วัสดุผสมชนิดต่างๆ พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมคือ กากปูน

ขาว : ปูนปลาสเตอร์ : แกลบเผา : กากชานอ้อย : แป้งมัน : ปูนซีเมนต์ขาว คิดเป็นร้อยละ 37 : 37 : 6.2 : 2.5 : 7.3 : 10 โดยน้ำหนัก ผลผลิตที่ได้แข็งแรงและมีความเปราะน้อย มีน้ำหนักเบาเกือบเท่ากับแผ่นยิปซัมมาตรฐาน สามารถติดกระดาษได้ดี ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าประมาณ 3.5–3.9 W/m K ซึ่งมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับวัสดุที่เป็นตัวนำความร้อน และมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวน แผ่นยิปซัมประยุกต์มีค่าความทนต่อแรงกระแทกประมาณ 0.38–0.40 J ซึ่งน้อยกว่าแผ่นยิปซัมมาตรฐาน 0.1–0.2 J

บุญเรือน และคณะ (2541) ได้ทำการศึกษาการใช้กากปูนขาวจากอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษเพื่อผลิตแผ่นยิปซัมประยุกต์ โดยใช้วัสดุผสมชนิดต่างๆ พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมคือ กากปูนขาว : ปูนซีเมนต์ขาว : น้ำ คิดเป็นร้อยละ 42 : 25 : 30 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้การผสมแกลบ 102.4 กรัม ต่อส่วนผสม 1 กิโลกรัม ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติดีขึ้น ทำให้การแตกหักลดลง แผ่นยิปซัมประยุกต์มีค่าความทนต่อแรงกระแทก 0.40 J ซึ่งใกล้เคียงกับแผ่นยิปซัมมาตรฐาน สำหรับความหนาแน่นของแผ่นยิปซัมประยุกต์มีค่า 2.021 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่ายิปซัมมาตรฐาน 2 เท่า และความสามารถดูดซับน้ำได้มีค่าร้อยละ 30.942 โดยน้ำหนัก ซึ่งน้อยกว่ายิปซัมมาตรฐาน 2 เท่า คุณสมบัติที่ดีอีกประการหนึ่งของแผ่นยิปซัมประยุกต์คือ ไม่ติดไฟ

อิสเรศ (2543) ทำการศึกษาการใช้เถ้าลอยในการปรับปรุงคุณสมบัติของปูนก่อและปูนฉาบในส่วนที่ศึกษาจริงจากโครงการก่อสร้างสนามในเขตพื้นที่จังหวัดขอนแก่นจำนวน 5 โครงการ พบว่า วัสดุที่นำมาใช้โดยส่วนมากเป็นปูนซีเมนต์ผสม (Mix Cement) หรือปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) ทราายที่ใช้เป็นทรายในภูมิภาค โดยทรายที่ใช้ในงานฉาบจะมีความละเอียดมากกว่าในงานก่อ สำหรับส่วนผสมและปริมาณวัสดุที่ใช้พบว่า อัตราส่วนของทรายต่อปูนซีเมนต์ที่ใช้สำหรับปูนก่อและปูนฉาบเท่ากับ 1 : 3 และ 1 : 4 โดยปริมาตร ตามลำดับ ในการผสมจะใช้น้ำผสมโดยมีปริมาตรน้ำต่อปริมาตรปูนซีเมนต์และทรายรวมกัน สำหรับปูนก่อเท่ากับ 1 : 3 และ สำหรับปูนฉาบเท่ากับ 1 : 2 ขนาดละเอียดและโมดูลัสความละเอียดของทรายจากโครงการก่อสร้างสนาม พบว่า โมดูลัสความละเอียดของปูนก่อเฉลี่ยเท่ากับ 1.75 และค่าโมดูลัสความละเอียดของปูนฉาบเฉลี่ยเท่ากับ 1.48 นอกจากนี้พบว่า ค่าการไหลแผ่ของปูนก่อเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 95 และของปูนฉาบเท่ากับร้อยละ 125 ในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่จะนำมาผสมมอร์ตาร์พบว่า ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าลอย มีค่าเท่ากับ 3.15 และ 2.02 ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะของทรายเท่ากับ 2.56 โมดูลัสความละเอียดของทรายมีค่าเท่ากับ 1.75 ในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ โดยมีมอร์ตาร์ที่ทดสอบ ใช้อัตราส่วนทราย ต่อสารซีเมนต์ เท่ากับ 3 : 1 โดยน้ำหนัก พบว่าสำหรับปูนก่อ อัตราส่วนที่แนะนำคือ ปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอย เท่ากับ 60 : 40 และ 40 : 60 ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 256 และ 145 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร และจัดเป็นปูนก่อประเภท M และ S สำหรับปูนฉาบ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอย ควรใช้เท่ากับ 40 : 60 และใช้สารมอร์ตาร์พลาสติกไซเซอร์ร้อยละ

0.02 ซึ่งจะทำให้ส่วนผสมมีปริมาณฟองอากาศตามมาตรฐาน มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 104 กิโลกรัม /ตารางเซนติเมตร และเป็นส่วนผสมที่ฉาบง่ายและประหยัด

นิคม (2545) ทำการศึกษาคุณสมบัติของมอร์ตาร์ปูนก่อและมอร์ตาร์ฉาบของปูนซีเมนต์ซิลิกาผสมเถ้าลอย และสารมอร์ตาร์พลาสติกไซเซอร์ โดยมอร์ตาร์ที่ทดสอบใช้อัตราส่วน ทรายต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 3 : 1 โดยน้ำหนัก ทุกอัตราส่วนผสม (ยกเว้นปูนก่อและปูนฉาบสำเร็จรูป) อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ที่ใช้ในแต่ละส่วนผสม (ยกเว้นการทดสอบความชื้นเหลวปกติและการก่อตัว) ได้จากการทดสอบค่าการไหลแผ่โดยพิจารณาความชื้นเหลวที่สามารถทำงานได้ดีที่สุดของมอร์ตาร์ ตามแต่ละประเภทของงานคือ มอร์ตาร์ในงานปูนก่อและมอร์ตาร์ในงานปูนฉาบ ในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่นำมาผสมมอร์ตาร์พบว่า ความละเอียดของปูนซีเมนต์ยี่ห้อ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 4300 4200 4600 ซม²/กรัม ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะของปูนยี่ห้อ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 2.94 2.92 และ 2.96 ตามลำดับ โมดูลัสความละเอียดของทราย ที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้งมีค่าเท่ากับ 2.623 ในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลแผ่กับอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ของมอร์ตาร์เป็นเส้นตรง ค่าการไหลแผ่ที่เหมาะสมของปูนก่อและปูนฉาบอยู่ในช่วง 0.45 – 0.62 และ 0.50 – 0.75 ตามลำดับ เถ้าลอยทำให้มอร์ตาร์ผสมง่ายไหลลื่นดี มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ความต้องการน้ำลดลง สามารถลดอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ในปูนก่อและปูนฉาบได้ร้อยละ 5 และ 11.4 ตามลำดับ เถ้าลอยทำให้ค่าการไหลแผ่ที่เหมาะสม ความชื้นเหลวปกติ ความสามารถในการอุ้มน้ำ การหดตัวเมื่อตากแห้ง กำลังรับแรงอัดและแรงค้ำของมอร์ตาร์ที่อายุ 3 และ 7 วัน มีค่าลดลง และทำให้ระยะเวลาการก่อตัว ปริมาณอากาศ กำลังรับแรงอัดและแรงค้ำที่อายุ 28 และ 90 วันของมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มมากขึ้น

ดิศพล (2547) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กากปูนขาวซึ่งเป็นของเสียอุตสาหกรรมผลิตเชื้อกระดาษาใช้แทนที่ทรายในวัสดุก่อสร้าง อันได้แก่ ปูนก่อและปูนฉาบ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า กากปูนขาวจากโรงงานผลิตเชื้อกระดาษามีความเหมาะสมในการนำมาใช้แทนที่ทรายสำหรับปูนก่อและปูนฉาบ

สมิทรและปริญญ (2549) ได้ผลิตคอนกรีตมวลเบาจากเถ้าลอยลิกไนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และตะกรันเหล็ก โดยนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ในการเตรียมส่วนผสมใช้เถ้าลอยลิกไนต์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์และตะกรันเหล็กแทนที่ในอัตราส่วน 10:70:20 และ 5:60:35 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแทนที่ช่วงว่างในคอนกรีตมวลเบา เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมวลเบาจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1,192-1,757 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ให้กำลังอัดขั้นต่ำที่ 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นอกจากนั้นคอนกรีตบล็อกมวลเบายังมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำมากอยู่ระหว่าง 0.133-0.190 วัตต์ต่อองศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ มอก.58-2530 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

ชัยชาญและคณะ (2550) ได้ศึกษาสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ทำจากปูนซีเมนต์ เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อยและทราย โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน จากผลการศึกษาพบว่า ส่วนผสมที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อยและทราย ที่ 45:25:25:5 โดยน้ำหนักให้กำลังอัด ความหนาแน่นและการดูดกลืนที่อายุบ่ม 28 วัน เท่ากับ 43.13 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร 1,045 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และร้อยละ 5.71 ตามลำดับ จากการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าปฏิกิริยาปอซโซลานจากเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อยจะเริ่มเกิดขึ้นที่อายุบ่ม 28 วัน

Tommy Y. Lo, W.C. Tang และ H.Z. Cui (2007) งานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยหลายอย่างในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา ได้แก่ การรับกำลังอัด อัตราส่วน w/c และความพรุนของบริเวณพื้นที่ผิวข้างนอกและข้างในซีเมนต์เพสต์ ตัวอย่างคอนกรีตประกอบด้วยอัตราส่วนน้ำที่แตกต่างกัน 3 อัตราส่วน ประกอบด้วย 0.4, 0.44 และ 0.48 และศึกษาค่าการรับกำลังอัดของตัวอย่างที่ใช้ขนาดวัสดุ เซรามิกที่แตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 25, 15 และ 5 มิลลิเมตร และทำการวัดความพรุนจากก้อนตัวอย่างด้วย จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตลดลง และพบว่าความพรุนพบมากที่บริเวณผิวหน้า

Byung-wan Jo , Seung-kook Park และ Jong-bin Park (2007) ทำการศึกษาคุณสมบัติของเพสต์ที่ทำจากเถ้าลอยและกระตุ้นด้วยด่างในการนำมาผลิตเป็นอิฐมวลเบา พบว่ามีค่าการรับกำลังอัดสูงสุด 33.9 MPa ในสภาวะ NaOH 10%, Sodium silicate 15%, และ MnO_2 5% เมื่อบ่มในห้องอุณหภูมิ 24 ซม. ก่อนบ่มต่อในห้องความชื้น อุณหภูมิ 50 °C การทำ AFLA(alkali activated fly ash light aggregate) มีค่า ความถ่วงจำเพาะ (SSD, OD) การดูดซึมน้ำ น้ำหนัก และเปอร์เซ็นต์ปริมาตรของแข็ง เท่ากับ 1.85 SSD 1.66 OD 11.8 % , 972 kg/m^3 และ 58.6% ตามลำดับ การชะของโลหะหนักเป็นไปตามกฎของ US EPA มีความแข็งแรง 26.47 MPa และมีค่า freeze-thaw resistance ที่ 6.0%

Phaiboon (2008) ศึกษาการนำขยะ Thermosetting plastic กลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา ซึ่งเป็นพลาสติกประเภทที่ไม่สามารถย่อยสลายหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มาใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตอิฐมวลเบา โดยในขั้นตอนการทดลองได้ทำการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตอิฐ มวลเบา ซึ่งประกอบด้วย พลาสติกเมลามีน ทราย น้ำ เถ้าลอยลิกไนต์ และผงอลูมิเนียม สำหรับคุณสมบัติของอิฐมวลเบาที่นำมาพิจารณา คือ ค่าการรับแรงอัด และค่าความหนาแน่น จากผลการทดลอง พบว่า การผสมพลาสติกเมลามีนในการผลิตอิฐมวลเบาจะทำให้ค่าการรับแรงอัด และค่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบาลดลง และอัตราส่วนผสมระหว่าง พลาสติกเมลามีน : ทราย : น้ำ : เถ้าลอยลิกไนต์ : ผงอลูมิเนียม ที่เหมาะสม เท่ากับ 0.9 : 0.8 : 0.75 : 0.3 : 0.0035 ซึ่งอิฐมวลเบาที่ผลิตได้จากอัตราส่วนผสมดังกล่าวมีค่าการรับแรงอัดเท่ากับ 4.14 N/mm^2 และค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1395 kg/m^3 ตามลำดับ โดยค่าที่ได้สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ASTM C129-05 ประเภทที่ 2 สำหรับอิฐมวลเบาที่ใช้ในงานที่ไม่ต้องรับแรงกดทับ

ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง
 - 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตรานกอินทรี
 - 2) แก้วลอย จากโรงงานกระดาษฟีนิกซ์ อ.น้ำพอง จ.ขอนแก่น
 - 3) กากปูนขาว จากโรงงานกระดาษฟีนิกซ์ อ.น้ำพอง จ.ขอนแก่น
 - 4) ทราช
 - 5) น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำประปา
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
 - 1) เครื่องบดละเอียด
 - 2) ตะแกรงร่อน
 - 3) ตูบมหรือตูบ
 - 4) เครื่องทดสอบการรับกำลังอัด (Compressive Strength machine)
 - 5) เครื่องเขย่า
 - 6) เครื่องหมุนเหวี่ยง
 - 7) เครื่องวัด pH
 - 8) เครื่อง Flame Atomic Absorption Spectrophotometer

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง
 - 1) จัดเตรียมแก้วลอยจากโรงงานกระดาษ โดยการนำร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 325
 - 2) จัดเตรียมกากปูนขาวจากโรงงานกระดาษ โดยการนำมาร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 325
 - 3) จัดเตรียมทราช โดยการนำมาร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 35
 - 4) จัดเตรียมปูนซีเมนต์ สำหรับการศึกษาดทดลองในครั้งนี้ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. การศึกษาปริมาณโลหะหนัก

ทำการศึกษปริมาณโลหะหนักในกากกันเตาโรงงานกระดาษด้วยวิธี Gentle Reflux โดยโลหะหนักที่ทำการตรวจวัด คือ ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม นิเกิล และเหล็ก หากผล

การทดลองปรากฏว่า ถ้าก้อนเตามีปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนไม่เกินมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมทุกตัว ไม่ต้องมีการทดสอบการชะละลายโลหะหนักในก้อนตัวอย่าง

3. ศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) เบื้องต้น

1) เตรียมส่วนผสมบล็อกลมวลา (ทราย: ปูนซีเมนต์: กากปูนขาว: พงอลูมิเนียม) ตามอัตราส่วนที่กำหนดดังตารางที่ 3-1

2) ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องผสม แล้วค่อยๆ เทน้ำลงไปตามอัตราส่วนน้ำ/วัสดุประสาน (w/c) เท่ากับ 0.40, 0.45, 0.50, 0.55 0.60, 0.65 และ 0.70 ตามลำดับ

3) เทส่วนผสมที่ได้ลงแบบหล่อ ปล่อยให้เซตตัวภายในแบบหล่อ พร้อมทั้งคลุมพลาสติกไว้ 24 ชั่วโมง ถอดอิฐบล็อกลมวลาแล้วนำมาบ่มต่อโดยการห่อหุ้มด้วยพลาสติก ตามกำหนดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน แล้วทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด เพื่อเลือกค่า w/c ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองในขั้นต่อไป

ตารางที่ 3-4 ส่วนผสมที่ใช้สำหรับศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเบื้องต้น

ทราย	ปูนซีเมนต์	กากปูนขาว	พองอลูมิเนียม	W/C
50	30	20	1.0	0.40
50	30	20	1.0	0.45
50	30	20	1.0	0.50
50	30	20	1.0	0.55
50	30	20	1.0	0.60
50	30	20	1.0	0.65
50	30	20	1.0	0.70

4. ศึกษาผลของปริมาณเถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์

1) เตรียมส่วนผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดดังตารางที่ 3-2 โดยมีการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30

2) ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องผสม แล้วค่อยๆ เทน้ำลงไปตามอัตราส่วนน้ำ/วัสดุประสาน (w/c) ที่ได้จากข้อ 2 โดยพิจารณาจากค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้สูงสุด และเลือกมา 3 ค่าคือ 0.40, 0.45 และ 0.50

3) เทส่วนผสมที่ได้ลงแบบหล่อ ปล่อยให้เซตตัวแบบหล่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบหล่อออกแล้วนำไปบ่มต่อโดยการห่อหุ้มด้วยพลาสติก ตามระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน แล้วทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดกลืนน้ำ

ตารางที่ 3-5 อัตราส่วนผสมสำหรับการศึกษาผลของปริมาณเถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์สำหรับการผลิตอิฐมวลเบา

W/C	ทราย	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	กากปูนขาว	ผงอลูมิเนียม
0.40	50	30.0	0.0	20	1.0
	50	27.0	3.0	20	1.0
	50	24.0	6.0	20	1.0
	50	21.0	9.0	20	1.0
0.45	50	30.0	0.0	20	1.0
	50	27.0	3.0	20	1.0
	50	24.0	6.0	20	1.0
	50	21.0	9.0	20	1.0
0.50	50	30.0	0.0	20	1.0
	50	27.0	3.0	20	1.0
	50	24.0	6.0	20	1.0
	50	21.0	9.0	20	1.0

5. ศึกษาผลของปริมาณกากปูนขาวสำหรับการผลิตอิฐมวลเบา

- เตรียมส่วนผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดดังตารางที่ 3-3 โดยใช้ค่า W/C และปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.50 และร้อยละ 10 ตามลำดับ
- ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องผสม แล้วค่อยๆ เทน้ำลงไป
- เทส่วนผสมที่ได้ลงแบบหล่อ ปล่อยให้เซตตัวแบบหล่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบหล่อออกแล้วนำไปบ่มต่อโดยการห่อหุ้มด้วยพลาสติก ตามระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน แล้วทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดกลืนน้ำ

ตารางที่ 3-6 อัตราส่วนผสมสำหรับการศึกษาผลของปริมาณกากปูนขาว สำหรับการผลิตอิฐมวลเบา

W/C	ทราย	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	กากปูนขาว	ผงอลูมิเนียม
0.50	55	27.0	3.0	15	1.0
	50	27.0	3.0	20	1.0
	45	27.0	3.0	25	1.0
	40	27.0	3.0	30	1.0

6. ศึกษาผลของปริมาณผงอลูมิเนียมสำหรับการผลิตอิฐมวลเบา

ตารางที่ 3-7 อัตราส่วนผสมสำหรับการศึกษาผลของปริมาณผงอลูมิเนียม สำหรับการผลิตอิฐมวลเบา

W/C	ทราย	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	กากปูนขาว	ผงอลูมิเนียม
0.50	50	27.0	3.0	20	0.5
	50	27.0	3.0	20	1.0
	50	27.0	3.0	20	1.5
	50	27.0	3.0	20	2.0

สถิติที่ใช้ในการทดลอง

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน บรรยายเชิงพรรณนา

ผลการวิจัย อภิปรายและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในถ้ำลอยและกากปูนขาว

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในถ้ำลอยและกากปูนขาว โดยทำการตรวจวัดโลหะหนักโดยวิธีย่อยสลายตัวอย่างด้วยวิธี Gentle Reflux โดยโลหะหนักที่ทำการตรวจวัด คือ ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม และนิเกิล ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักแสดงในตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 ปริมาณโลหะหนักในถ้ำลอยและกากปูนขาวที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดโลหะหนัก	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มก./ล)		ค่ามาตรฐาน	ผ่าน/ไม่ผ่าน
	ถ้ำลอย	กากปูนขาว		
Cu	0.0424	0.0389	25	ผ่าน
Zn	0.2106	0.1431	250	ผ่าน
Pb	0.2424	0.2974	5.0	ผ่าน
Cd	0.0088	0.0190	1.0	ผ่าน
Cr	0.0512	0.0778	5.0	ผ่าน
Ni	0.0747	0.0513	20	ผ่าน
Fe	21.1395	6.4039	-	-

จากตารางที่ 3-8 ทำการตรวจวัดโลหะหนักทั้งหมด 7 ตัว ผลปรากฏว่า ถ้ำลอยและกากปูนขาว มีความเข้มข้นของโลหะหนักได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปริมาณสูงสุดที่ยอมรับได้ของสารอันตรายที่ปนเปื้อนในสารละลายจากการทดสอบการถูกชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน ส่วนความเข้มข้นของ ทองแดง สังกะสี และนิเกิล ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปริมาณสูงสุดที่สารอันตรายที่ยอมรับให้มีได้ในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (พ.ศ. 2548) ส่วนปริมาณความเข้มข้นเหล็กไม่มีกล่าวในมาตรฐานดังกล่าว ถึงอย่างไรก็ตามการนำถ้ำลอยและกากปูนขาวมาผลิตอิฐมวลเบาในการผลิตบล็อกปูพื้นสามารถตรึงเหล็กไว้ในบล็อกตัวอย่างมีให้รื้อไหลออกมาได้ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ถ้ำก้นเตาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสาน

แทนที่ปูนซีเมนต์ได้โดยไม่ต้องมีการทดสอบการชะละลายโลหะหนักด้วยวิธี TCLP จากก้อนตัวอย่างอีก

ศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/C) เบื้องต้น

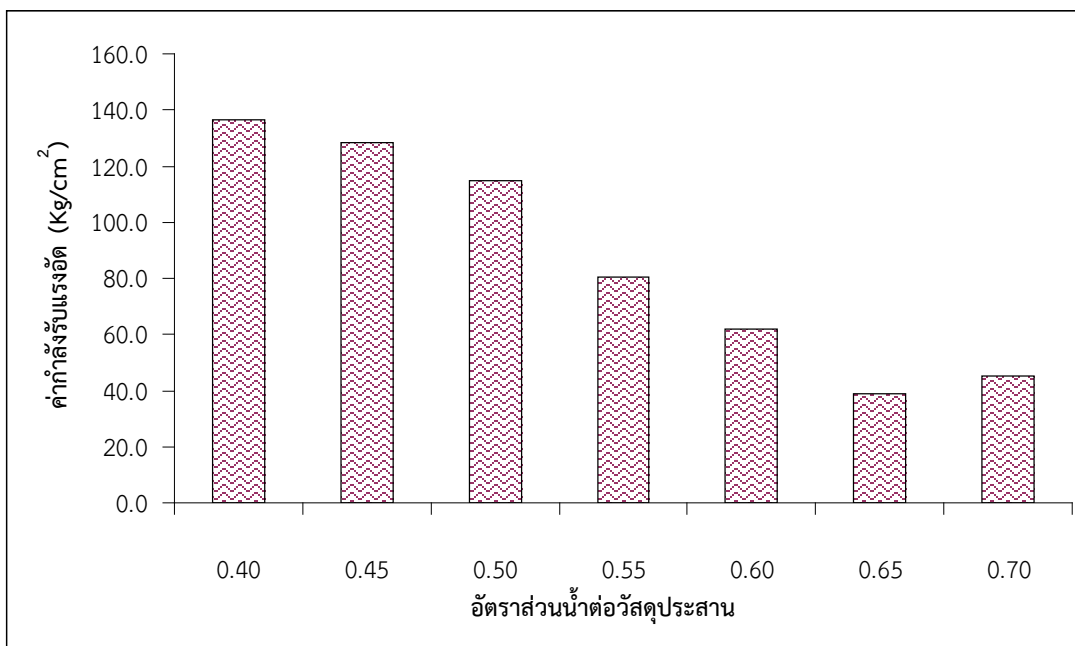
จากการศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่อัตราส่วน 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65 และ 0.70 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนของวัสดุผสมดังตารางที่ 3-1 ทำการบ่มอิฐมวลเบาที่จากการทดลองด้วยการห่อหุ้มพลาสติกเป็นระยะเวลา 7 วัน นำไปทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด แล้วเลือกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด เพื่อทำการทดลองต่อไป จากการศึกษาได้ผลดังตารางที่ 3-9 และภาพที่ 3-2

ตารางที่ 3-9 ผลการทดสอบอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเบื้องต้น

W/C	ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด (kg/cm ²)			เฉลี่ย	SD
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3		
0.40	130	142	137	136.3	7.5
0.45	140	131	114	128.3	13.2
0.50	110	116	119	115.0	4.6
0.55	87	75	79	80.3	6.1
0.60	55	71	60	62.0	8.2
0.65	40	39	38	39.0	1.0
0.70	47	50	39	45.3	5.7

จากภาพที่ 3-2 จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการที่มีน้ำมากเกินไปจะทำให้เกิดการเยิ้มของน้ำขึ้นมาแทนที่ผิวหน้า เมื่อก้อนตัวอย่างเซตตัวจะทำให้เกิดการแยกตัว และเกิดช่องว่างภายในโครงสร้างส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำลง สอดคล้องกับสมนึก (2542) ที่กล่าวว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานจะเป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดค่ากำลังรับแรงอัด ซึ่งถ้าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่สูงจะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่ำลง เนื่องจากอัตราส่วนน้ำวัสดุประสานที่สูงจะทำให้เกิดช่องว่างกะปิลารี (Capillary pores) มากในเพสต์ ซึ่งเป็นผลทำให้ความหนาแน่นของเพสต์ต่ำ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจึงต่ำตามไปด้วย และจากการศึกษาพบว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 ถึงแม้จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดแต่ในระหว่างการทดลอง

พบว่า อิฐมวลเบาไม่สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์เนื่องจากอิฐมวลเบามีการแข็งตัวเร็ว เทลงบล็อกได้ยาก และในการทดลองในขั้นตอนต่อไปจะมีการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ ซึ่งการผสมเถ้าลอยจะทำให้ ปริมาตรวัสดุเชื่อมประสานสูงขึ้นเนื่องจากเถ้าลอยมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ (ปริญญา, 2549) นอกจากนี้ สมนึก (2542) ยังกล่าวไว้ว่า คอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงจะมี อัตราการพัฒนากำลังต่อเนื่องดีกว่าคอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำเนื่องจากมีปริมาณ น้ำมากสำหรับการทำปฏิกิริยาต่อเนื่องในระยะยาว อย่างไรก็ตามก็ดีกว่าคอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ ประสานต่ำก็มักจะมีกำลังรับแรงอัดในระยะยาวสูงกว่าคอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูง เนื่องจากผลของค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดมีไม่มากเมื่อเทียบกับผล ของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อปริมาณช่องว่างกะปี้ลารีในเพสต์ ดังนั้นสำหรับการทดลองใน ขั้นตอนต่อไปจึงปรับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานขึ้นเล็กน้อย คือ เลือกอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ไว้ 3 อัตราส่วน คือ 0.45, 0.50 และ 0.55



ภาพที่ 3-2 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่ได้จากการทดลองที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ต่างกัน

ศึกษาปริมาณเถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์

1) ผลของปริมาณเถ้าลอยต่อค่ากำลังรับแรงอัด

จากการศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 พบว่าเมื่อมีการใช้ปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์มากขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเถ้าลอยมีขนาดอนุภาคที่เล็ก เมื่อผสมกับน้ำเถ้าลอยจะจับตัวเป็นก้อนไปกีดขวางการกระจายตัวของปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุเชื่อมประสานจึงทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมีค่าลดลง นอกจากนี้ จิตติมา (2547) กล่าวว่า สารปอซโซลานเมื่อถูกนำมาใช้เป็นสารผสมเพิ่มในการทำคอนกรีตจะเป็นส่วนผสมที่ทำให้คอนกรีตมีสมบัติเปลี่ยนแปลงไป ผลกระทบของคอนกรีตเมื่อใช้สารปอซโซลานที่เสื่อมคุณภาพหรือใช้สารปอซโซลานในสัดส่วนที่มากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อพัฒนาการกำลังอัดของคอนกรีตลดลง

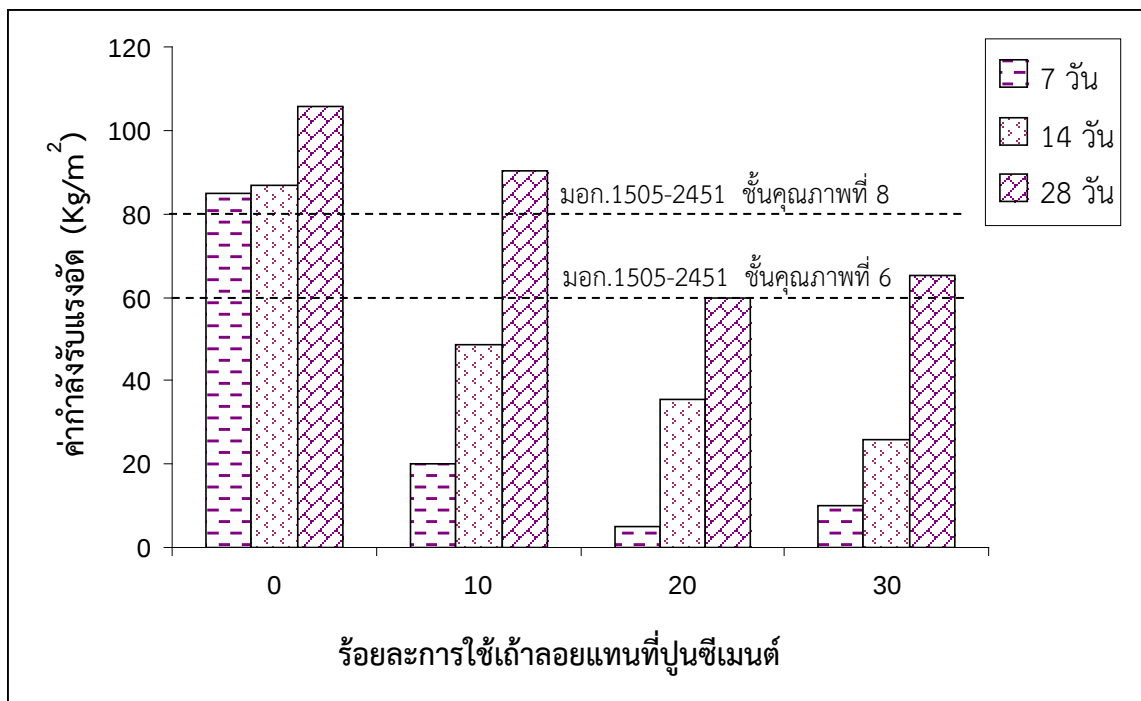
จากภาพที่ 3-3 จะเห็นได้ว่าก่อนอิฐมวลเบาที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมที่อายุบ่มน้อยจะมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่มีการใช้ปูนซีเมนต์อย่างเดียว และจะค่อยๆ พัฒนาค่ากำลังรับแรงอัดขึ้นเมื่อมีระยะเวลาการบ่มมากขึ้นจนมีค่ากำลังรับแรงอัดเกือบเทียบเท่าการก่ออิฐมวลเบาที่มีการใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องมาจากการใส่เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้น้ำและโครงสร้างของโพรงเปลี่ยนแปลงไป ปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงต้นขึ้นอยู่กับการปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันที่เกิดขึ้นเข้าไปแทรกในที่ว่างทำให้โพรงมีขนาดเล็กลง การใส่เถ้าลอยทำให้ปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงต้นลดลง เป็นผลให้โพรงของเพสต์มีมากขึ้นเมื่อเทียบกับเพสต์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Chindaprasirt et al., 2004) แต่อย่างไรก็ตามการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของเพสต์ยังคงมีต่อไป ผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันเข้าไปแทรกในโพรงทำให้ปริมาตรโพรงลดลง ก่อนอิฐมวลเบาที่อายุมากขึ้นปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าลอยเกิดมากขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดจะมีการพัฒนาตัวสูงขึ้น (ปริญญ, 2549) และจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการใช้เถ้าลอยมากขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดจะลดลง ทั้งนี้เพราะว่าก่อนอิฐมวลเบาที่มีการใช้เถ้าลอยที่เหมาะสมจะทำให้การลดลงของโพรงเกิดขึ้นได้เร็วกว่าก่อนอิฐมวลเบาที่ส่วนผสมของเถ้าลอยมาก ส่งผลให้ก่อนอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมเถ้าลอยน้อยมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงก่อนอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยมาก

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอิฐมวลเบาที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานอิฐบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533) ที่กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดไว้ไม่ต่ำกว่า 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (4 MPa) ที่ระยะการบ่ม 28 วัน พบว่าทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (มอก. 1505-2541) พบว่าที่อัตราส่วนการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนน้ำ 0.45 และ 0.50 ที่ระยะการบ่ม 28 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่าต่ำสุดชั้นคุณภาพ 8 ส่วนที่อัตราส่วนการใช้เถ้าลอยร้อยละ 15 และ ร้อยละ 20 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.45 ที่ระยะการบ่ม 28 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่าต่ำสุดชั้นคุณภาพ

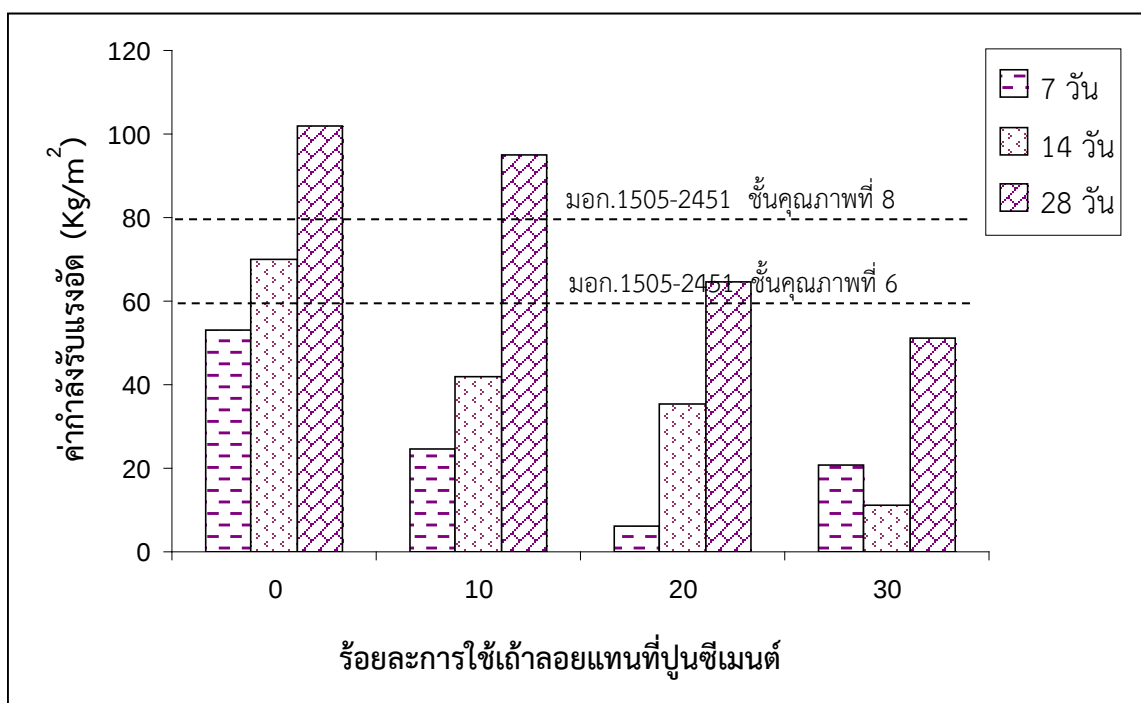
6 และจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าร้อยละ 20 และร้อยละ 30 และที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุด ดังนั้นในขั้นตอนต่อไป จึงเลือกใช้อัตราส่วนการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 สำหรับการทดลองหาปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 3-10 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.45, 0.50 และ 0.55
ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

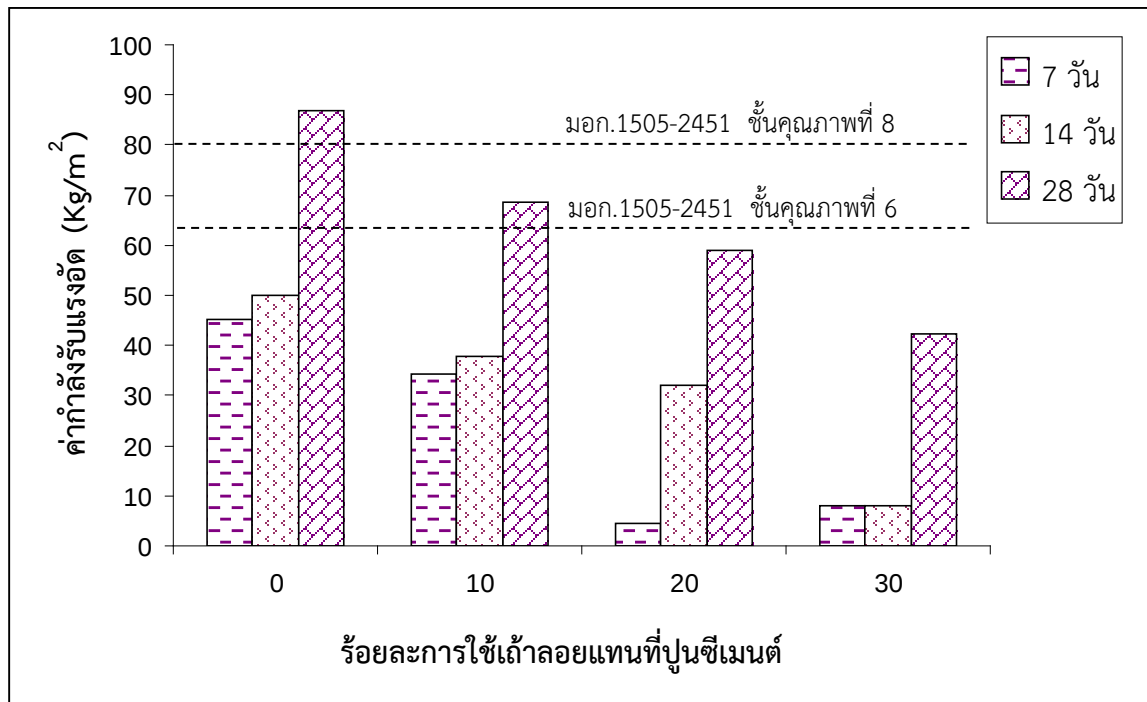
ร้อยละของเถ้า ลอยในการแทนที่ ปูนซีเมนต์	ระยะเวลาการ บ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)					
		W/C = 0.45		W/C = 0.50		W/C = 0.55	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
0	7	84.7	2.5	53.0	1.7	45.3	4.2
	14	86.7	4.7	70.0	4.6	50.0	2.8
	28	105.7	5.0	102.0	7.2	87.0	3.0
10	7	20.0	1.7	24.7	5.0	34.3	0.6
	14	48.7	3.2	42.0	4.6	37.7	3.1
	28	90.3	10.1	95.0	6.2	68.7	9.0
20	7	5.0	1.2	6.0	1.5	4.5	1.0
	14	35.5	2.9	35.5	2.9	32.0	1.5
	28	60.0	1.5	64.5	3.6	59.0	4.6
30	7	10.0	0.0	20.7	3.5	8.0	0.0
	14	26.0	1.7	11.0	0.0	8.0	1.0
	28	65.3	3.2	51.0	3.6	42.3	3.2



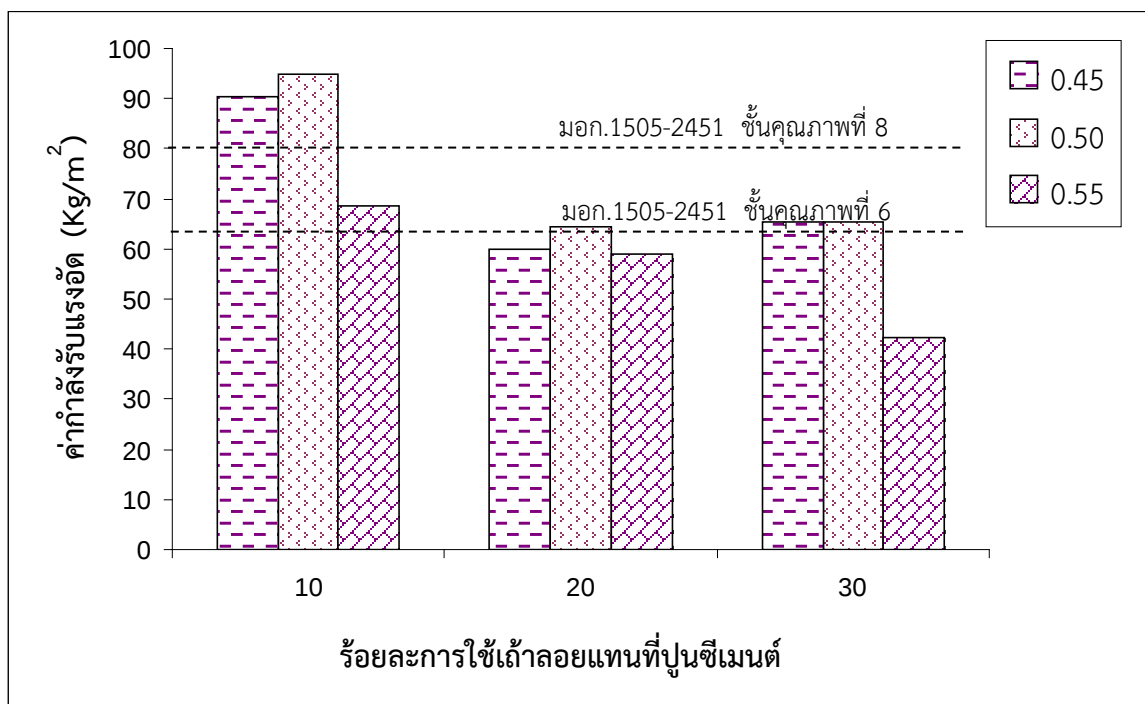
ภาพที่ 3-3 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.45 และระยะเวลาการบ่ม 0, 14 และ 28 วัน



ภาพที่ 3-4 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และระยะเวลาการบ่ม 0, 14 และ 28 วัน



ภาพที่ 3-5 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.55 และระยะเวลาการบ่ม 0, 14 และ 28 วัน

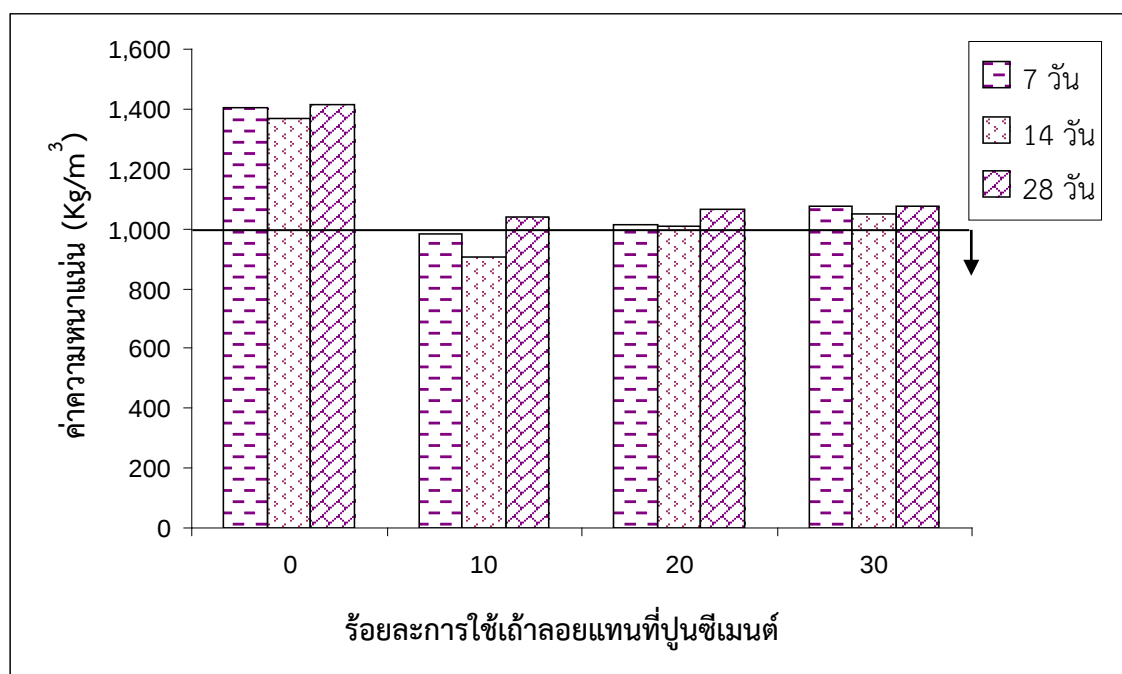


ภาพที่ 3-6 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.55 และระยะเวลาการบ่ม 0, 14 และ 28 วัน

2) ผลของปริมาณเถ้าลอยต่อค่าความหนาแน่น

การทดสอบค่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบาที่ได้จากการทดลอง ได้ผลดังตารางที่ 11 และภาพที่ 3-7 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยมากขึ้น ค่าความหนาแน่นจะมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้เนื่องจากเถ้าลอยมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ และจากการสังเกตจะพบว่าอิฐมวลเบาที่มีการใช้ปริมาณเถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์มากขึ้นจะมีการฟองตัวของก้อนอิฐมวลเบาน้อยลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเถ้าลอยมีการดูดซับน้ำไว้ จึงทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อย ผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์จึงเกิดขึ้นน้อย ปฏิกิริยาของผงอลูมิเนียมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ก่อให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนจึงเกิดขึ้นได้น้อย นอกจากนี้ยังอาจเป็นผลมาจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นบางส่วนทำปฏิกิริยากับซิลิกาและอลูมินาในเถ้าลอย จึงส่งผลทำให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นน้อย

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอิฐมวลเบา ตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 พบว่าค่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบายังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าปริมาณการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 มีแนวโน้มที่จะให้ค่าความหนาแน่นลดลงได้ ดังนั้นจึงเลือกปริมาณการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 สำหรับการทดลองหาค่าปริมาณการกักน้ำที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 3-7 ค่าความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 0, 14 และ 28 วัน ที่ปริมาณการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ 0, 10, 20 และ 30 วัน

ตารางที่ 3-11 ค่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.45, 0.50 และ 0.55
ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

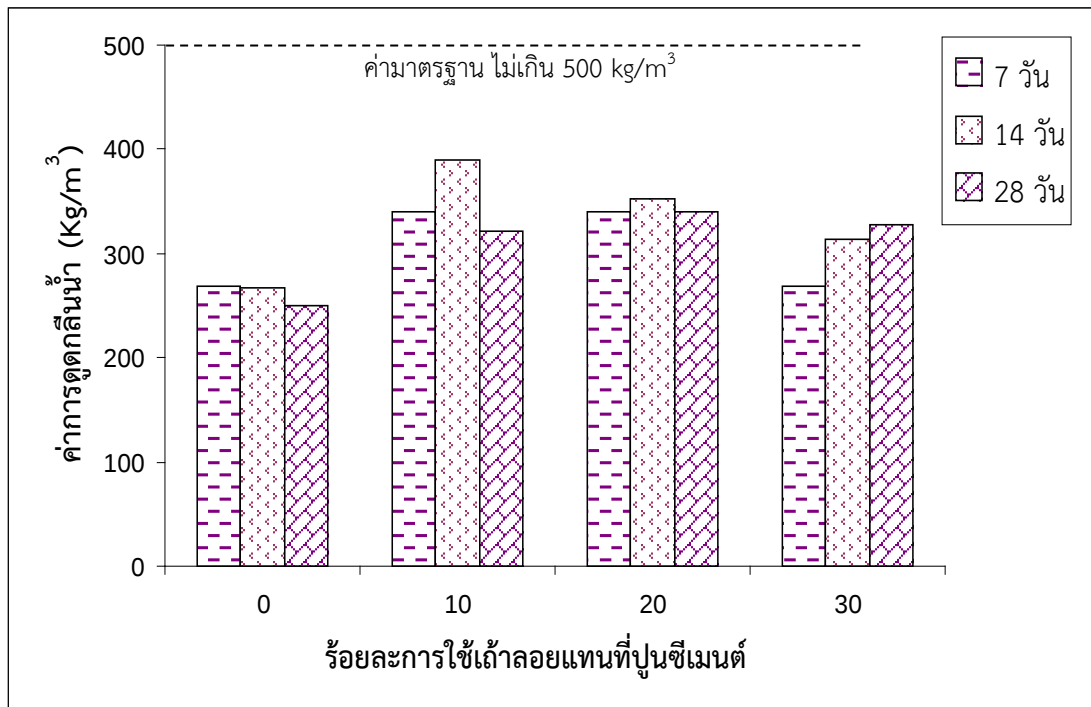
ร้อยละของเถ้า ลอยในการแทนที่ ปูนซีเมนต์	ระยะเวลาการ บ่ม	ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)					
		W/C = 0.45		W/C = 0.50		W/C = 0.55	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
0	7	1,383.3	5.8	1,403.3	21.2	1,326.7	21.2
	14	1,386.7	5.8	1,366.7	11.5	1,256.7	7.1
	28	1,423.3	57.7	1,416.7	5.8	1,316.7	98.7
10	7	1,123.3	64.3	983.3	36.9	1,040.0	26.5
	14	1,163.3	66.6	906.7	41.6	1,050.0	20.0
	28	1,153.3	23.1	1,036.7	41.6	1,133.3	5.8
20	7	920.0	20.0	1,015.0	43.6	920.0	30.6
	14	1,090.0	11.5	1,010.0	41.6	1,040.0	5.8
	28	1,080.0	17.3	1,065.0	25.2	895.0	17.3
30	7	1,020.0	45.8	1,073.3	63.5	973.3	159.5
	14	1,063.3	23.1	1,050.0	20.0	1,046.7	11.5
	28	1,056.7	5.8	1,073.3	25.2	1,083.3	11.5

3) ผลของปริมาณเถ้าลอยต่อค่าการดูดกลืนน้ำ

จากการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐมวลเบาที่ได้จากการทดลอง ได้ผลดังตารางที่ 12 และภาพที่ 3-8 จะเห็นว่าถ้าเพิ่มปริมาณเถ้าลอยมากขึ้นอัตราการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย และยังพบว่าทุกอัตราส่วนเมื่อเพิ่มอายุการบ่มค่าการดูดซึมน้ำก็จะมีแนวโน้มค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามอิฐมวลเบาที่ได้จากการทดลองทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 3-12 ค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.45, 0.50 และ 0.55
ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ร้อยละของเส้น ลอยในการแทนที่ ปูนซีเมนต์	ระยะเวลาการ บ่ม	ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)					
		W/C = 0.45		W/C = 0.50		W/C = 0.55	
		เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD	เฉลี่ย	SD
0	7	222.3	3.8	268.3	5.1	267.3	2.8
	14	235.0	1.0	267.0	5.3	275.0	4.2
	28	221.3	5.7	249.3	7.1	250.7	2.1
10	7	291.0	2.6	340.3	4.5	356.0	4.6
	14	334.0	8.2	389.7	7.6	366.3	2.3
	28	260.0	0.0	322.0	7.2	318.7	2.5
20	7	290.0	4.2	340.0	0.6	314.5	13.8
	14	293.5	7.1	352.0	1.2	370.0	8.3
	28	329.5	13.0	340.0	1.2	371.5	4.6
30	7	285.3	13.7	268.0	7.2	316.7	12.1
	14	301.3	5.5	314.3	8.1	412.3	6.1
	28	313.7	2.5	327.7	5.5	386.0	5.2



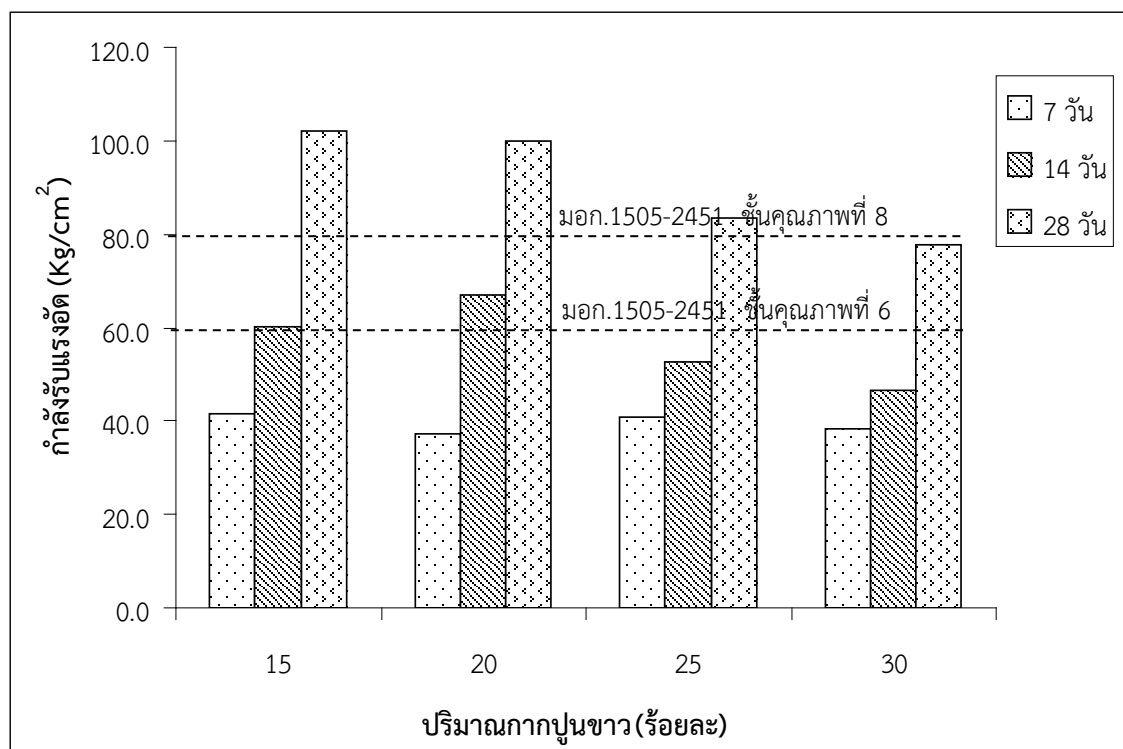
ภาพที่ 3-8 ค่าการดูดกลืนน้ำที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 0, 14 และ 28 วัน ที่ปริมาณการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ 0, 10, 20 และ 30 วัน

ศึกษาปริมาณกากปูนขาวที่เหมาะสม

1) ผลของปริมาณกากปูนขาวต่อค่ากำลังรับแรงอัด

จากการศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และปริมาณกากปูนขาว 15, 20, 25 และ 30 ได้ผลดังตารางที่ 13 พบว่าเมื่อมีการใช้ปริมาณกากปูนขาวเพิ่มมากขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 3-9 ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณกากปูนขาวมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าทรายและปูนซีเมนต์ เมื่อมีปริมาณมากขึ้นจะไปแย่งน้ำทำให้การทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำน้อยลงส่งผลเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันต่ำ เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตน้อย การเซตตัวของก้อนอิฐมวลเบาเกิดได้ไม่ดี ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำลง สอดคล้องกับการทดลองของ ดิสพล (2547) ที่ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากปูนขาวจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษมาใช้ในการแทนที่ทรายในวัสดุก่อสร้าง โดยพบว่า เมื่อปริมาณกากปูนขาวในมอดาร์เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทรายทำหน้าที่หลักในการรับแรง ส่วนกากปูนขาวจะมีความสามารถในการรับแรงได้น้อยกว่า ประกอบกับกากปูนขาวมีอนุภาคขนาดเล็กที่เป็นฝุ่นผงซึ่งจะไปเคลือบติดที่ผิวของมวลรวม ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยว

ระหว่างมวลรวมกับซีเมนต์เพสต์ลดลง ทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อมีการใช้ปริมาณกากปูนขาวมากขึ้น การพองตัวของก้อนอิฐมวลเบาจะน้อยลง ซึ่งก็เป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างผงอะลูมิเนียมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ก่อให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนน้อยลงเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นที่ได้จากการทดลองพบว่ามีค่าความหนาแน่นสูงขึ้นเมื่อมีการใช้ปริมาณกากปูนขาวมากขึ้น



ภาพที่ 3-9 ค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ที่ปริมาณการปริมาณกากปูนขาวร้อยละ 15, 20, 25 และ 30

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอิฐมวลเบาที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานอิฐบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533) ที่กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดไว้ไม่ต่ำกว่า 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (4 MPa) ที่ระยะการบ่ม 28 วัน พบว่าทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (มอก. 1505-2541) พบว่าที่อัตราส่วนการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนน้ำ 0.50 ปริมาณกากปูนขาวร้อยละ 15, 20 และ 25 ที่ระยะการบ่ม 28 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่าต่ำสุดชั้นคุณภาพ 8 ส่วนที่อัตราส่วนการใช้ปริมาณกากปูนขาวร้อยละ 30 ที่ระยะการบ่ม 28 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่าต่ำสุดชั้นคุณภาพ 6

ดังนั้นในขั้นตอนต่อไป จึงเลือกใช้อัตราส่วนการใช้ปริมาณกากปูนขาวที่ร้อยละ 20 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 สำหรับการทดลองหาปริมาณผงอลูมิเนียมที่เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 3-13 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่อัตราส่วนการใช้ปริมาณกากปูนขาวต่างๆ กัน

ปริมาณกากปูนขาว	ระยะเวลาการบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	
		W/C = 0.50	
		เฉลี่ย	SD
15	7	40.7	5.1
	14	52.7	2.3
	28	83.3	2.9
20	7	41.7	5.8
	14	60.3	4.0
	28	100.3	2.1
25	7	38.3	5.8
	14	46.7	2.9
	28	77.7	7.5
30	7	37.3	2.5
	14	67.0	1.7
	28	85.0	5.0

2) ผลของปริมาณกากปูนขาวต่อค่าความหนาแน่น

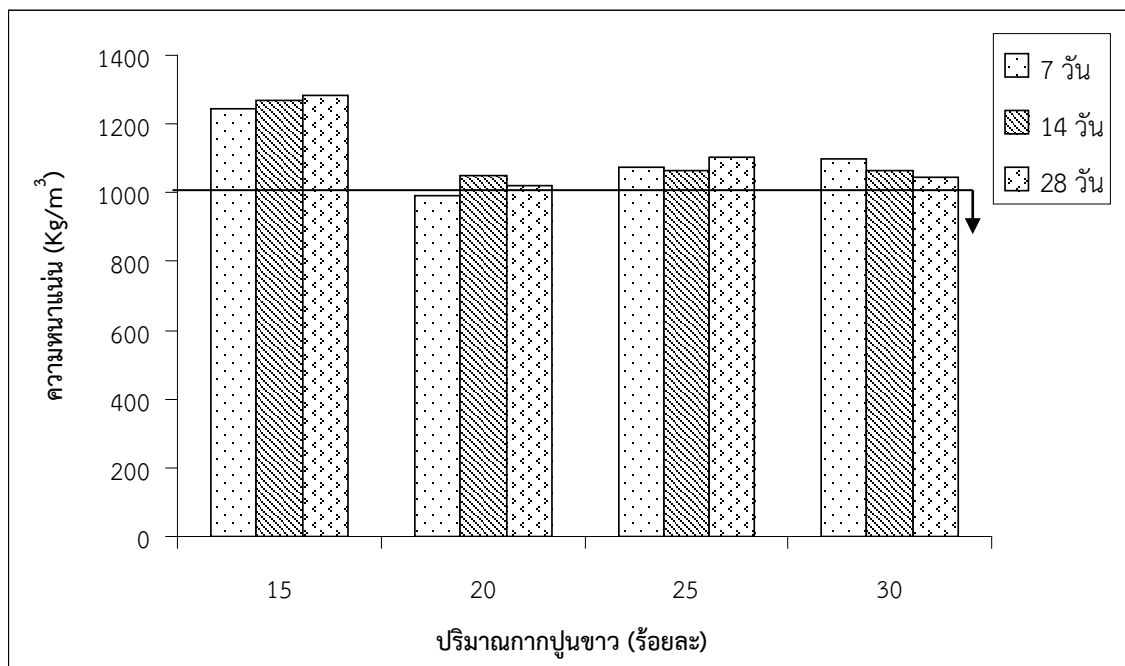
การทดสอบค่าความหนาแน่นของอิฐบล็อกมวลเบาที่ได้จากการทดลอง ได้ผลดังตารางที่ 14 และภาพที่ 3-10 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกากปูนขาวมากขึ้น ค่าความหนาแน่นจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากกากปูนขาวมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าทรายและปูนซีเมนต์ และจากการสังเกตจะพบว่าอิฐมวลเบาที่มีการใช้ปริมาณกากปูนขาวสูงขึ้นและปริมาณทรายน้อยลงจะมีการพองตัวของก้อนอิฐมวลเบาน้อยลง ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของผงอลูมิเนียมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ก่อให้เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นได้น้อย จึงส่งผลให้การขยายตัวของก้อนอิฐมวลเบาน้อยลง ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างจึงสูงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเทียบกับปริมาณทรายที่หายไป

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอิฐมวลเบา ตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 พบว่าค่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบายังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่

อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าปริมาณการใช้กากปูนขาว ร้อยละ 20 ให้ค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ นั่นหมายความว่า หากมีการหาวิธีการทำให้ก้อนตัวอย่างมีการเซ็ทตัวที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในก้อนตัวอย่าง เช่น การกระตุ้นด้วยความร้อน เป็นต้น ก็สามารถพัฒนานำกากปูนขาวที่เหลือจากอุตสาหกรรมเอื้อกระดาศนี้กลับมาใช้ประโยชน์ในการผลิตอิฐมวลเบาได้ในอนาคตได้

ตารางที่ 3-14 ค่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบาที่มีการใช้ปริมาณกากปูนขาวต่างๆ กัน ที่ระยะบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ปริมาณกากปูนขาว	ระยะเวลาการบ่ม	ค่าความหนาแน่น (kg/cm ³)	
		W/C = 0.50	
		เฉลี่ย	SD
15	7	1243.3	40.4
	14	1268.3	17.6
	28	1281.7	22.5
20	7	993.3	15.3
	14	1050.0	40.0
	28	1020.0	30.0
25	7	1076.7	25.2
	14	1065.0	44.4
	28	1103.3	45.1
30	7	1096.7	80.2
	14	1063.3	11.5
	28	1043.3	60.3



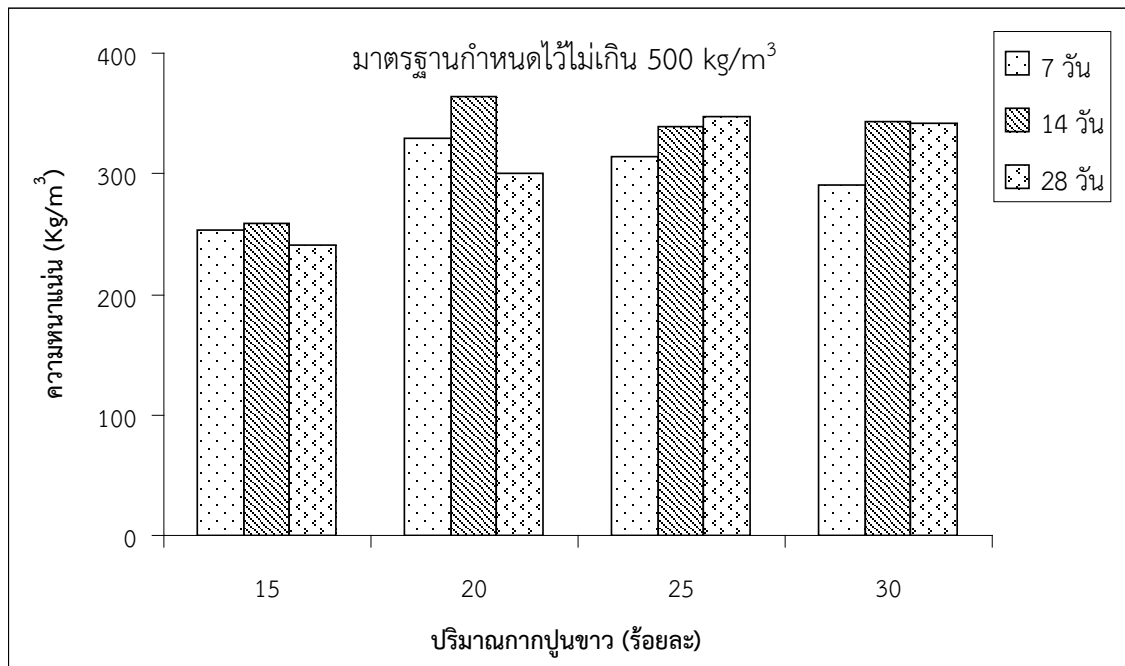
ภาพที่ 3-10 ค่าความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ที่ปริมาณการปริมาณกากปูนขาวร้อยละ 5, 10, 15 และ 20

3) ผลของปริมาณกากปูนขาวต่อค่าการดูดกลืนน้ำ

จากการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกจากมวลเบาที่ได้จากการทดลอง ได้ผลดังตารางที่ 15 และภาพที่ 3-11 จะเห็นว่าถ้าเพิ่มปริมาณกากปูนขาวมากขึ้นอัตราการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย และยังพบว่าทุกอัตราส่วนเมื่อเพิ่มอายุการบ่มค่าการดูดซึมน้ำก็จะมีแนวโน้มค่าลดลงแต่อย่างไรก็ตามอิฐมวลเบาที่ได้จากการทดลองทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 3-15 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐมวลเบาที่มีการใช้ปริมาณกากปูนขาวต่างๆ กัน ที่ระยะบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ปริมาณกากปูนขาว	ระยะเวลาการบ่ม	ค่าความหนาแน่น (kg/cm ³)	
		W/C = 0.50	
		เฉลี่ย	SD
15	7	252.6	26.3
	14	259.0	21.2
	28	240.4	16.6
20	7	329.1	33.9
	14	363.3	28.0
	28	300.2	34.9
25	7	314.8	25.0
	14	338.5	40.0
	28	347.0	21.9
30	7	290.0	24.7
	14	342.6	60.7
	28	342.5	38.3



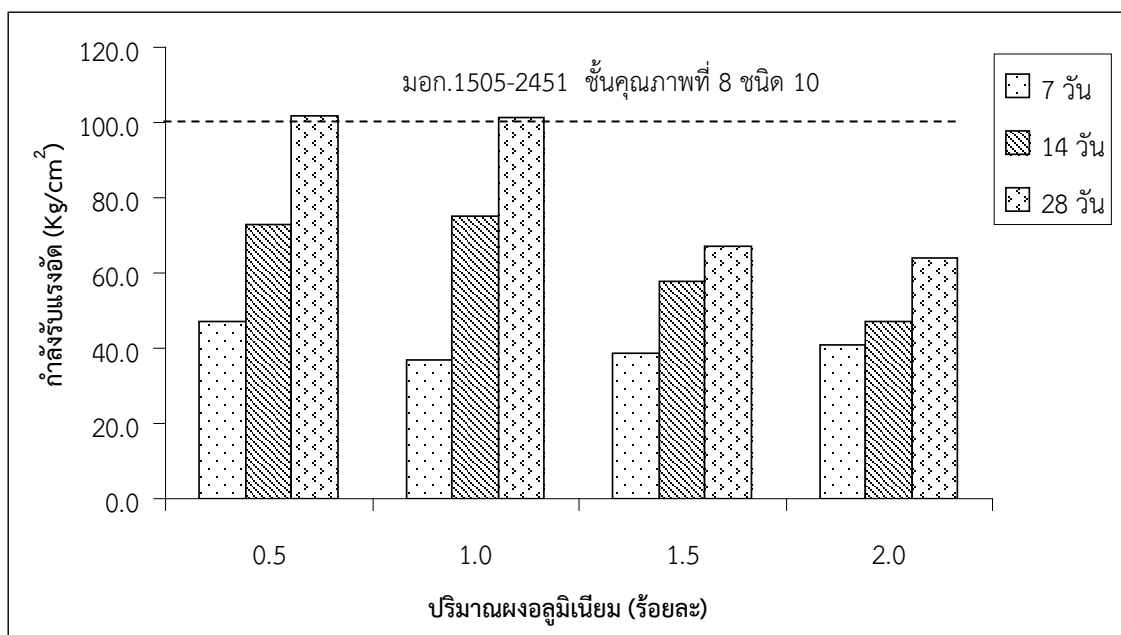
ภาพที่ 3-11 ค่าการดูดซึมน้ำที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ที่ปริมาณการปริมาณกากปูนขาวร้อยละ 5, 10, 15 และ 20

ศึกษาปริมาณผงอลูมิเนียมที่เหมาะสม

1) ผลของปริมาณผงอลูมิเนียมต่อค่ากำลังรับแรงอัด

จากการศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และปริมาณกากปูนขาวร้อยละ 20 ปริมาณผงอลูมิเนียม 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ได้ผลดังตารางที่ 16 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถ้ามีการใช้ปริมาณผงอลูมิเนียมมากขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 3-12 ทั้งนี้เนื่องมาจากการใส่ปริมาณผงอลูมิเนียมที่มากเกินไปทำให้ก้อนอิฐมวลเบาเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนปริมาณมาก และเกิดการขยายตัวของก้อนอิฐมวลเบาอย่างรวดเร็ว เมื่อก้อนอิฐมวลเบาแข็งตัวส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำลง

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบอิฐมวลเบาที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานอิฐบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533) ที่กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดไว้ไม่ต่ำกว่า 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (4 MPa) ที่ระยะการบ่ม 28 วัน พบว่าทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (มอก. 1505-2541) พบว่า ทุกอัตราส่วน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่าต่ำสุดชั้นคุณภาพ 8 ดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 ค่ากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ที่ปริมาณการปริมาณกากปูนขาวร้อยละ 20 ปริมาณผงอลูมิเนียม 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

ตารางที่ 3-16 ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่อัตราส่วนการใช้ปริมาณผงอลูมิเนียมต่างๆ กัน

ปริมาณผงอลูมิเนียม	ระยะเวลาการบ่ม	ค่ากำลังรับแรงอัด (kg/cm ²)	
		W/C = 0.50	
		เฉลี่ย	SD
0.5	7	47.0	2.0
	14	73.0	2.0
	28	102.0	1.4
1.0	7	37.0	2.8
	14	75.0	0.0
	28	101.5	0.7
1.5	7	38.7	1.6
	14	58.0	2.8
	28	67.0	7.1
2.0	7	41.0	0.0
	14	47.0	5.7
	28	64.0	5.7

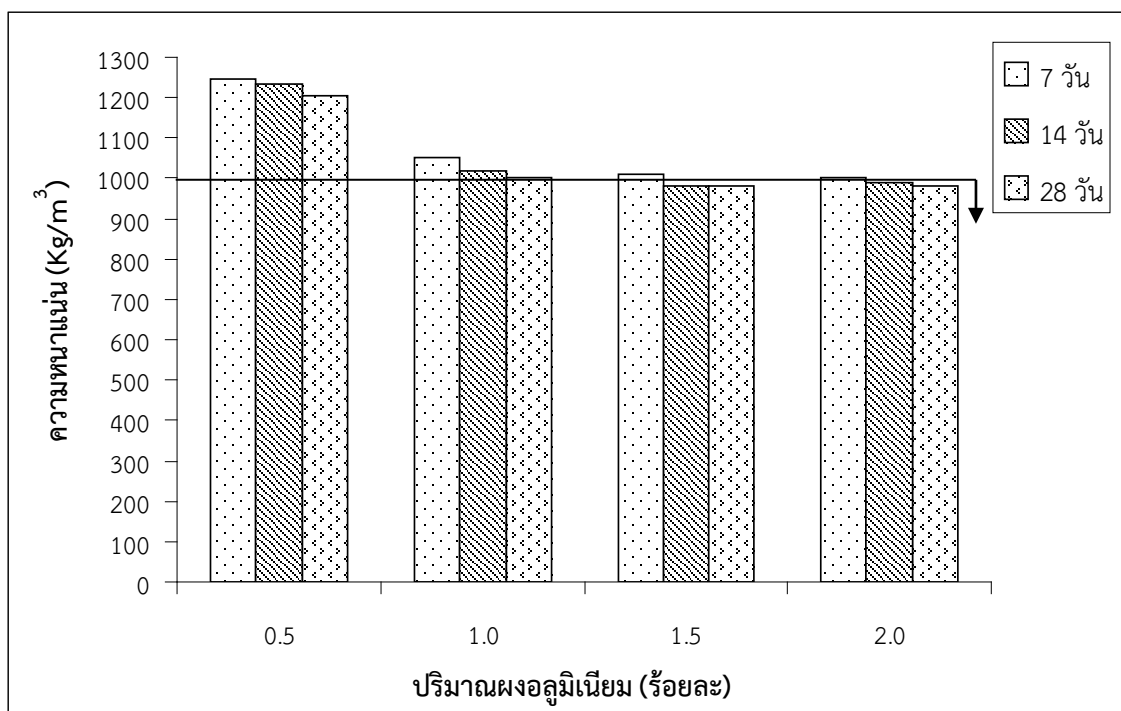
2) ผลของปริมาณผงอลูมิเนียมต่อค่าความหนาแน่น

การทดสอบค่าความหนาแน่นของอิฐบล็อกมวลเบาที่ได้จากการทดลอง ได้ผลดังตารางที่ 17 และภาพที่ 3-13 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมมากขึ้น ค่าความหนาแน่นจะมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เพราะผงอลูมิเนียมจะช่วยให้ก้อนตัวอย่างมีการขยายตัวมากขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับผงอลูมิเนียม เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนคั่นเนื้อวัสดุภายในก้อนอิฐมวลเบาขยายตัว

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอิฐมวลเบา ตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 พบว่าค่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบาที่มีใกล้เคียงเกณฑ์มาตรฐาน ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 3-17 ค่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบาที่มีการใช้ปริมาณผงอลูมิเนียมต่างๆ กัน ที่ระยะบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ปริมาณผงอลูมิเนียม	ระยะเวลาการบ่ม	ค่าความหนาแน่น (kg/cm ³)	
		W/C = 0.50	
		เฉลี่ย	SD
0.5	7	1245	81.9
	14	1235	28.9
	28	1205	50.0
1.0	7	1050	30.0
	14	1020	11.5
	28	1003	15.3
1.5	7	1010	11.5
	14	980	60.3
	28	980	11.5
2.0	7	1000	17.3
	14	990	10.0
	28	980	20.0



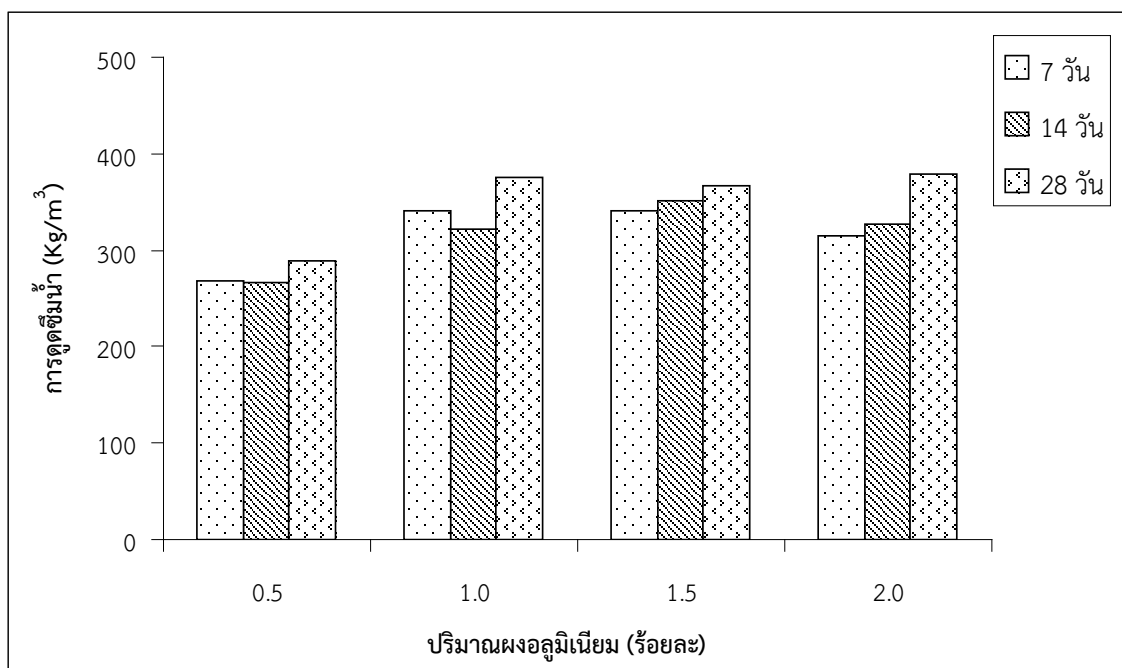
ภาพที่ 3-13 ค่าความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ที่ปริมาณการปริมาณกากปุ๋ยขาวร้อยละ 20 ปริมาณผงอูมิเนียม 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

3) ผลของปริมาณผงอูมิเนียมต่อค่าการดูดกลืนน้ำ

จากการทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกมวลเบาที่ได้จากการทดลอง ได้ผลดังตารางที่ 18 และภาพที่ 3-14 จะเห็นว่าถ้าเพิ่มปริมาณกากปุ๋ยขาวมากขึ้นอัตราการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย และยังพบว่าทุกอัตราส่วนเมื่อเพิ่มอายุการบ่มค่าการดูดซึมน้ำก็จะมีแนวโน้มค่าลดลงแต่อย่างไรก็ตามอิฐมวลเบาที่ได้จากการทดลองทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 3-18 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐมวลเบาที่มีการใช้ปริมาณผงอลูมิเนียมต่างๆ กัน ที่ระยะบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

ปริมาณผงอลูมิเนียม	ระยะเวลาการบ่ม	ค่าความหนาแน่น (kg/cm ³)	
		W/C = 0.50	
		เฉลี่ย	SD
0.5	7	268.3	31.8
	14	267.0	28.3
	28	289.0	20.8
1.0	7	340.3	46.0
	14	322.0	22.8
	28	375.0	41.5
1.5	7	340.0	17.3
	14	352.0	54.1
	28	367.0	29.7
2.0	7	314.3	22.2
	14	327.7	78.5
	28	379.0	51.1



ภาพที่ 3-14 ค่าการดูดซึมน้ำที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน
ที่ปริมาณการปริมาณกากปูนขาวร้อยละ 20 ปริมาณพองลูนีเยม 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในถ้ำลอยและกากปูนขาว ได้แก่ ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียมและนิเกิล พบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปริมาณสูงสุดที่ยอมมีได้ของสารอันตรายที่ปนเปื้อนในสารละลายจากการทดสอบการถูกชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) และผ่านเกณฑ์มาตรฐานปริมาณสูงสุดที่สารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในน้ำสกัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (พ.ศ. 2548) ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจึงไม่ต้องการทดสอบการชะละลายโลหะหนักด้วยวิธี TCLP จากก้อนตัวอย่างอีกครั้ง

2) อัตราส่วนของ ทราช : ปูนซีเมนต์ : ถ้ำลอย : กากปูนขาว : พงอคูมินีเยม ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองในครั้งนี้ คือ 50 : 27 : 3 : 20 : 1 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 โดยให้ค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 101.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 ที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (10.0 N/mm^2) และให้ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,050 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใกล้เคียงเกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งยังต้องหาวิธีการปรับปรุงอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านค่าความหนาแน่นอีกต่อไป ส่วนค่าการดูดซึมน้ำ พบว่ามีค่าเท่ากับ 322 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3) จากการศึกษาระยะเวลาการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่า เมื่อระยะเวลาการบ่มมากขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งการที่ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาที่ได้จากการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ก็เนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของก้อนตัวอย่างจะเกิดได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มมากขึ้น ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน จะให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. สำหรับการทดลองในครั้งนี้ พบว่า ถ้ำลอยและกากปูนขาว สามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตอิฐมวลเบาได้ แต่ยังอาจไม่เหมาะสมสำหรับงานโครงสร้าง ดังนั้น อาจต้องมีการศึกษาเพื่อใช้งานในรูปแบบอื่นที่ไม่รองรับน้ำหนักมาก เช่น คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานฉนวนความร้อน เป็นต้น
2. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพการนำความร้อนของอิฐมวลเบาที่ได้
3. สำหรับอัตราส่วนที่มีค่าความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ค่ากำลังรับแรงอัดยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ควรมีการพัฒนากระบวนการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สมบูรณ์ขึ้น เพื่อพัฒนาค่ากำลังรับแรงอัดให้ดียิ่งขึ้น เช่น การกระตุ้นด้วยความร้อนในช่วงแรก เป็นต้น
4. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ในการนำถ้ำลอยและกากปูนขาวมาผลิตเพื่อใช้เป็นวัสดุปอสโซลาน

บรรณานุกรม

- จิตติมา ประสาระเอ. 2547. การศึกษาการใช้เก้าอี้แถบผสมปูนขาวในการทำลือกปูพื้นถนน. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.
- จันทวัฒน์ โหมยิตวัฒนาพานิชย์ วรพงษ์ ชวาลเจริญชัย ศิริชัย แซ่ลี้ม บุญส่ง เทียบพิมพ์ และสุวิทย์ คุณเศรษฐ์. 2541. การใช้กากปูนขาวจากอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษเพื่อผลิตแผ่นยิปซัมประยุกต์[โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. ขอนแก่น:ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ฉัตรชัย ชูทองและคณะ. 2547. ผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ต่อกำลังอัดเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตผสมถั่วกั้นตาบดละเอียด. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมชนบท) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- ดิศพล เชาวรัตน์. 2547. การนำกากปูนขาวจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษมาใช้ในการปูนก่อและปูนฉาบ. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- ธนา สุนทองและคณะ. 2548. ผลของการอัดตัวของวัสดุเหนียวและถั่วถ่านหินในมอร์ต้า. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมชนบท) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- นิคม บัวภา. 2545. การศึกษาคุณสมบัติของมอร์ตาร์ในงานปูนก่อและฉาบ [วิทยานิพนธ์ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง]. ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์. 2537. คอนกรีตวิทยา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 275 น.

นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์. 2541. วัสดุก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 5. คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 275 น.

บุญเรือน สรรเพชร ปัญญา ดันติยาสวัสดิกุล และเอกสิทธิ์ สิทธิหาโคตร. 2541. การใช้กากปูนขาว
จากอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษเพื่อผลิตแผ่นยิปซัมประยุกต์ [โครงการวิศวกรรมศาสตร์
บัณฑิต]. ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปริญญา จินดาประเสริฐและชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2547. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต. สมาคม
คอนกรีตไทย. กรุงเทพฯ. 346 น.

มอก. 1505-2541. มาตรฐานอุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ.
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. หน้า 1-12

สุรชาติพงษ์ อินทรวงศ์. 2545. การเปรียบเทียบวิธีการชะละลายโลหะหนักจากก้อนหล่อแข็งของเสียที่
ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุยึดประสาน วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

อิสเรศ พิกุล. 2543. การใช้เถ้าลอยในการปรับปรุงคุณสมบัติของปูนก่อและปูนฉาบ [วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง]. ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

American Society For Testing and Material, 1997, ASTM C 618-97:Standard Specification for coal
fly ash and raw or calcined nature pozzolan, In “Annual Book of ASTM Standard”, section 4
vol.04.02, pp.294-295

Caijun, S., Robert,L.D., 1993, “Acceleration of strength gain of lime –pozzolan cements by thermal
activation”, Cement and Concrete Research, Vol. 23, pp. 824-832.

Chindaprasirt. P., Jaturapitakkul. C., Sinsiri. T. 2004. Effect of fly ash fineness on compressive
strength and pore size of blended cement paste, Cement and Concrete Composites, accepted
for publication.

Paya,J., Monzo, J., Borrachero, M.V., Peris-Mora, E., Amahjour, F., 2000, “Mechanical treatment of fly ashes Part IV. Strength development of ground fly ash-cement mortars cured at different temperature”, Cement and Concrete Research, Vol. 30, pp.543-551.

Robert, L.D., Caijun, S., 1994, “Influence of the fineness of pozzolan on the strength of lime natural-pozzolan cement pastes”, Cement and Concrete Research, Vol. 24, No.8 pp.1485-1491.

Robert, L.D., Caijun, S., 1994, “Influence of the fineness of pozzolan on the strength of lime natural-pozzolan cement pastes”, Cement and Concrete Research, Vol. 24, No.8 pp.1485-1491.

ภาคผนวก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มอก. 1505-2541

ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

Autoclaved aerated lightweight concrete elements

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบา
แบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

มอก. 1505 -2541

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 2023300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 115 ตอนที่ 105ง
วันที่ 31 ธันวาคม พุทธศักราช 2541

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบา แบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดรายละเอียดของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ซึ่งเป็นวัสดุก่อผนังมวลเบา โดยมีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในเนื้อคอนกรีต และอบด้วยไอน้ำ โดยกำหนดชั้นคุณภาพและชนิด ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน วัสดุและการทำ คุณลักษณะที่ต้องการ การบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การเก็บคอนกรีตมวลเบา การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบ
- 1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ กระจายอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต และอบในเตาอบไอน้ำ และไม่เสริมเหล็ก

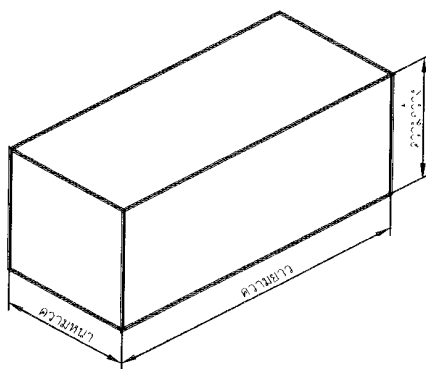
2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “คอนกรีตมวลเบา” หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตทั่วไปที่มีขนาดเดียวกัน โดยมีฟองอากาศเล็ก ๆ แทรกกระจายในเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แข็งด้วยการอบไอน้ำ และไม่เสริมเหล็ก เหมาะสำหรับการใช้ก่อผนังด้วยวิธีก่อแบบ ดูรูปที่ 1
- 2.2 วิธีก่อแบบ หมายถึง วิธีก่อที่มีลักษณะปูนก่อบาง มีความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร และจำเป็นต้องใช้ปูนก่อที่ทำขึ้นด้วยส่วนผสมพิเศษ ที่สามารถให้แรงยึดหน่วงมากเพียงพอเหมาะสมกับความหนา

มอก. 1505-2541

- 2.3 ร่องปูนก่อ หมายถึง ร่องที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาที่จะประกอบกันให้เป็นช่อง ใช้สำหรับใส่ปูนก่อขณะทำงานก่อผนัง
- 2.4 ร่อง หมายถึง ส่วนของคอนกรีตมวลเบาที่อยู่ต่ำกว่าพื้นผิวด้านข้าง สำหรับให้ลึนยื่นเข้ามาเพื่อการประสาน
- 2.5 ลึน หมายถึง ส่วนของคอนกรีตมวลเบาที่ยื่นเลยพื้นผิวส่วนอื่น สำหรับแทรกไปในร่องเพื่อการประสาน
- 2.6 ความหนาของคอนกรีตมวลเบา หมายถึง ความหนาของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ก่อผนัง
- 2.7 ร่องมือจับ หมายถึง ร่องที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาที่อยู่ต่ำจากขอบบน ใช้สำหรับจับยกเพื่อทำงาน



รูปที่ 1 ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา
(ข้อ 2.1)

3. ชั้นคุณภาพและชนิด

- 3.1 คอนกรีตมวลเบาแบ่งตามความต้านแรงอัดออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ และแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรออกเป็น 7 ชนิด โดยชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบามีความสัมพันธ์กันตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบา
(ข้อ 3.1)

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัด นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร		ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร เฉลี่ย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด		
2	2.5	2.0	0.4	0.31 ถึง 0.40
			0.5	0.41 ถึง 0.50
4	5.0	4.0	0.6	0.51 ถึง 0.60
			0.7	0.61 ถึง 0.70
			0.8	0.71 ถึง 0.80
6	7.5	6.0	0.7	0.61 ถึง 0.70
			0.8	0.71 ถึง 0.80
8	10.0	8.0	0.8	0.71 ถึง 0.80
			0.9	0.81 ถึง 0.90
			1.0	0.91 ถึง 1.00

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ขนาดของคอนกรีตมวลเบาที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานนี้ ออกแบบเพื่อให้เป็นไปตามระบบการประสานทางพิกัดในงานก่อสร้างอาคาร ซึ่งได้กำหนดหน่วยพิกัดมาตรฐาน (พ) ให้เท่ากับ 100 มิลลิเมตร ขนาดของคอนกรีตมวลเบาเป็นไปตามตารางที่ 2 โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน + 2 มิลลิเมตร

ในกรณีมีร่องและล้นให้เพิ่มได้อีกมิตละ 9 มิลลิเมตร

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 11.1

ตารางที่ 2 ขนาดคอนกรีตมวลเบา

(ข้อ 4.1)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความกว้าง	ความยาว	ความหนา
200	600	75
300		90
400		100
		125
		150
		175
		200
		250

หมายเหตุ ความกว้างและความยาวตามตารางที่ 2 เป็นค่าที่รวมความหนาของปูนก่อ 3 มิลลิเมตรไว้แล้ว (ดูรูปที่ 2)



รูปที่ 2 ความหนาของปูนก่อตามระบบประสานทางพิกัด

มอก. 1505-2541

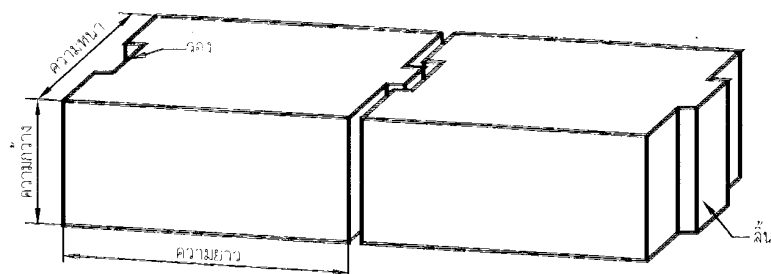
4.2 ความได้ฉาก

คอนกรีตมวลเบา ที่ระยะ 300 มิลลิเมตร วัดจากมุมฉากจะคลาดเคลื่อนจากแนวฉากได้ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 11.1

4.3 ร่องและสัน (ถ้ามี) รูปที่ 3

คอนกรีตมวลเบาอาจทำเป็นร่องและสันในตัวได้ และให้เป็นดังนี้

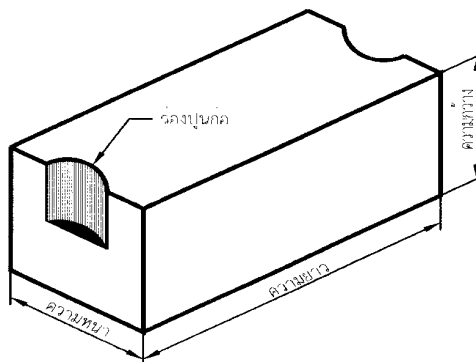
- 4.3.1 ขนาดของร่องและสัน ไม่ควรเล็กกว่าเศษหนึ่งส่วนเจ็ด และไม่ควรเกินเศษสองส่วนห้าของความหนาของคอนกรีตมวลเบา โดยในแต่ละด้านอาจมีร่องและสันได้หลายแนว
- 4.3.2 ความกว้าง และความลึกของสันในทุก ๆ ด้าน ควรเล็กกว่าความกว้างและความลึกของร่องระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3 ตัวอย่างร่องและสันของคอนกรีตมวลเบา
(ข้อ 4.3)

4.4 ร่องปูนก่อ (ถ้ามี) รูปที่ 4

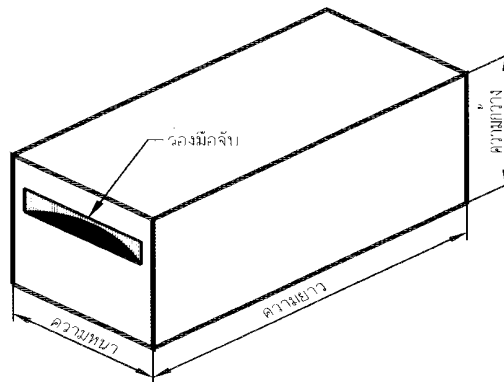
ร่องปูนก่อที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาและมีขนาดเริ่มจากผิวบนลงมามีระยะ $\frac{1}{4}$ ถึง $\frac{1}{2}$ ของความกว้างของคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 4 ตัวอย่างร่องปูนก่อสำหรับคอนกรีตมวลเบา
(ข้อ 4.4)

4.5 ร่องมือจับ (ถ้ามี) รูปที่ 5

กรณีที่คอนกรีตมวลเบาขนาดใหญ่ เพื่อความสะดวกในการทำงานอาจมีร่องสำหรับมือจับด้วย



รูปที่ 5 ตัวอย่างร่องมือจับสำหรับคอนกรีตมวลเบา
(ข้อ 4.5)

5. วัสดุและการทำ

5.1 วัสดุ

- 5.1.1 ปูนซีเมนต์ต้องเป็นปูนซีเมนต์ประเภท 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1
- 5.1.2 ปูนขาวต้องเป็นไปตาม มอก. 319
- 5.1.3 มวลผสมต้องเป็นวัสดุซิลิกา หรือทรายควอตซ์ หรือตะกอนจากเตาถลุงแบบฟั่นลม หรือเถ้านหิน หรือวัสดุอื่นใดที่ไม่มีสาร เช่น โคลน ผุ่น สารอินทรีย์ ในจำนวนที่อาจเป็นผลเสีย นำมาบดละเอียดโดยให้มีขนาดไม่ใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร
- 5.1.4 สารก่อฟองและสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ต้องเป็นวัสดุทำให้เกิดฟองอากาศมีเสถียรภาพ และคุมเวลาแข็งตัว โดยต้องไม่ก่อให้เกิดผลเสียใดๆ ต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา

5.2 การทำ

คอนกรีตมวลเบาต้องทำโดยผสมส่วนผสมตามที่ระบุในข้อ 5.1.1 ถึงข้อ 5.1.3 เข้าด้วยกันอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นเติมน้ำจำนวนที่เหมาะสม สารก่อฟอง และสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ให้มีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอ แล้วเทลงในแบบนำไปบ่มจนแข็งพอที่จะแกะแบบเพื่อทำการตัดตามขนาดที่ต้องการ จากนั้นนำไปอบด้วยไอน้ำ เพื่อให้ได้ค่าความต้านแรงอัดตามที่กำหนดที่ความดันไม่ต่ำกว่า 1.0 เมกะพาสคัลและอุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ ให้ตัดคอนกรีตมวลเบาในแนวที่ทำให้ด้านยาวขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของฟองอากาศ

มอก. 1505-2541

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

- 6.1 ลักษณะทั่วไป
ต้องไม่แตกร้าว ไม่บิดเบี้ยว ไม่แอ่นตัว และไม่มีตำหนิใด ๆ ที่เป็นผลเสียหายต่อการใช้งาน
- 6.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร
เมื่อทดสอบตามข้อ 11.2 แล้ว คอนกรีตมวลเบาต้องมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยตามตารางที่ 1 โดยคอนกรีตมวลเบาแต่ละก้อนจะมีค่าแตกต่างจากที่กำหนดได้ไม่เกิน $+ 0.05$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
- 6.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว
เมื่อทดสอบตามข้อ 11.3 แล้ว อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวต้องไม่เกินร้อยละ 0.05
- 6.4 ความต้านแรงอัด
เมื่อทดสอบตามข้อ 11.4 แล้ว คอนกรีตมวลเบาต้องมีความต้านแรงอัดตามตารางที่ 1
- 6.5 อัตราการดูดกลืนน้ำ
เมื่อทดสอบตามข้อ 11.5 แล้ว อัตราการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

7. การบรรจุ

- 7.1 เมื่อนำคอนกรีตมวลเบาออกจำหน่าย ผู้ทำต้องจัดเรียงคอนกรีตมวลเบาบนแผงรองรับที่เหมาะสม มีการป้องกันขอบไม่ให้แตกบิ่นเสียหายที่จะเป็นผลเสียต่อการใช้งานทั้งในการเก็บรักษาและขนส่ง รวมทั้งให้มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

8. เครื่องหมายและฉลาก

- 8.1 ที่คอนกรีตมวลเบา อย่างน้อยทุก ๆ 10 ก้อน ต้องมีเลขอักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และถาวร
 - (1) ชั้นคุณภาพ หรือความต้านแรงอัดต่ำสุด
 - (2) ชนิดของคอนกรีตมวลเบา
 - (3) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
 ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น
- 8.2 ที่ภาชนะบรรจุคอนกรีตมวลเบา อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายและรายละเอียดต่อไปนี้
 - (1) ชั้นคุณภาพ หรือความต้านแรงอัดต่ำสุด
 - (2) ชนิดของคอนกรีตมวลเบา
 - (3) ความยาว ความกว้าง ความหนา เป็นมิลลิเมตร
 - (4) ปี เดือน ที่ทำ
 - (5) จำนวนที่บรรจุในหีบห่อ
 - (6) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

9. การเก็บคอนกรีตมวลเบา

- 9.1 ต้องเก็บคอนกรีตมวลเบาไว้ที่แห้งมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก และมีการป้องกันความชื้นไม่ให้เข้าถึงคอนกรีตมวลเบาได้ทุกฤดูกาล
- 9.2 ควรกองเก็บคอนกรีตมวลเบาให้สามารถนำคอนกรีตมวลเบารุ่นที่มาถึงก่อนไปใช้ได้ก่อน

10. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 10.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง คอนกรีตมวลเบาชั้นคุณภาพเดียวกัน ส่วนผสมเดียวกัน จำนวนไม่เกิน 1 000 ลูกบาศก์เมตร ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน
- 10.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้
 - 10.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาดและลักษณะทั่วไป
 - 10.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 ก้อน
 - 10.2.1.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4 และข้อ 6.1 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
 - 10.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด
 - 10.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากคอนกรีตมวลเบาที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดข้อ 10.2.1 เพื่อนำมาทำเป็นชั้นทดสอบจำนวน 9 ชั้น
 - 10.2.2.2 ชั้นทดสอบทุกชั้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.4 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
 - 10.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรและอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว
 - 10.2.3.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ก้อน เพื่อนำมาทำเป็นชั้นทดสอบสำหรับการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร 3 ชั้น และอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว 3 ชั้น
 - 10.2.3.2 ชั้นทดสอบทุกชั้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.2 และ 6.3 ในแต่ละรายการ จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
 - 10.2.4 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำ
 - 10.2.4.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ก้อน เพื่อนำมาทำเป็นชั้นทดสอบจำนวน 3 ชั้น
 - 10.2.4.2 ชั้นทดสอบทุกชั้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.5 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- 10.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาต้องเป็นไปตามข้อ 10.2.1.2 ข้อ 10.2.2 ข้อ 10.2.3.2 และข้อ 10.2.4.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

มอก. 1505-2541

11. การทดสอบ

11.1 ขนาด

11.1.1 เครื่องมือ

11.1.1.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.1.1.2 เวอร์เนียร์ที่วัดได้ถึง 200 มิลลิเมตร

11.1.1.3 เหล็กฉากที่มีความยาวแต่ละด้านไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร

11.1.2 วิธีทดสอบ

11.1.2.1 ความกว้างและความยาว

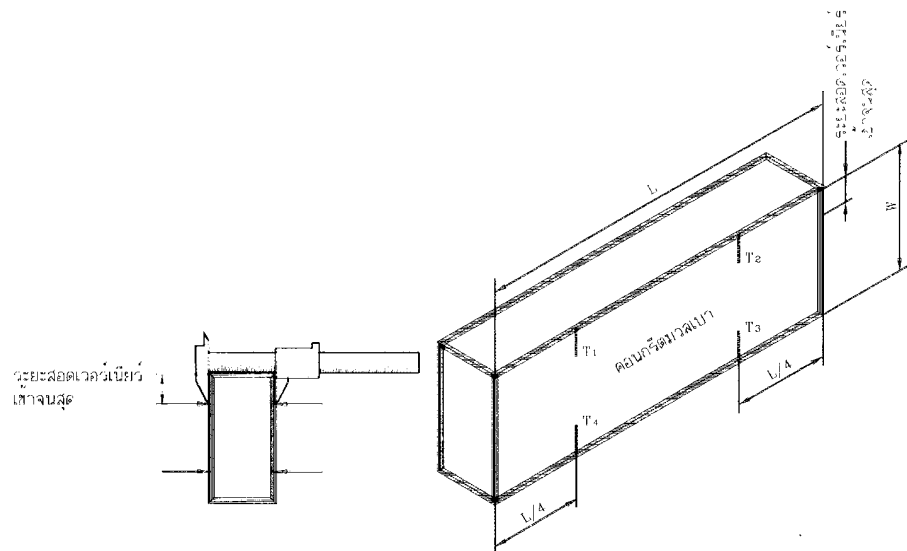
ใช้เครื่องวัดตามข้อ 11.1.1.1 วัดความกว้างและความยาวของตัวอย่าง โดยวัดที่ตำแหน่งห่างจากขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของด้านนั้นๆ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งวัดความกว้าง และความยาว
(ข้อ 11.1.2.1)

11.1.2.2 ความหนา

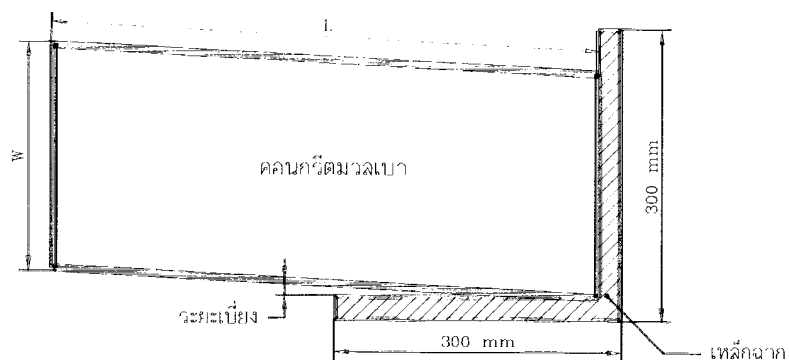
ใช้เวอร์เนียร์วัดความหนาของตัวอย่างที่ตำแหน่งห่างจากขอบด้านยาวของชิ้นทดสอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของความยาว โดยสอดเวอร์เนียร์เข้าจนสุด ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตำแหน่งวัดความหนา
(ข้อ 11.1.2.2)

11.1.2.3 ความได้ฉาก

หาบเหล็กฉากที่ด้านสั้นของตัวอย่าง จากนั้นวัดความเปียงเบนที่เกิดขึ้นที่ระยะประมาณ 300 มิลลิเมตรจากมุมของเหล็กฉาก ดูรูปที่ 8



รูปที่ 8 การวัดความได้ฉาก
(ข้อ 11.1.2.3)

มอก. 1505-2541

11.1.3 การรายงานผล

ให้รายงาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่วัดได้

11.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

11.2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ± 1 มิลลิเมตร

กรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด ให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา

11.2.2 เครื่องมือ

11.2.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.2.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

11.2.2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียส

11.2.3 วิธีทดสอบ

ให้วัดปริมาตรและมวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

11.2.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ย จากสูตร

$$\text{ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง} = \frac{\text{มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ}}{\text{ปริมาตรของชิ้นทดสอบ}}$$

11.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

11.3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 40 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร x 160 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตร และให้ด้านยาวของชิ้นทดสอบขนานกับด้านยาวของตัวอย่าง

11.3.2 เครื่องมือ

11.3.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.005 มิลลิเมตร

11.3.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

11.3.2.3 อ่างน้ำที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส + 2 องศาเซลเซียส

11.3.2.4 ห้องหรือภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส + 2 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 43 + ร้อยละ 2 ได้

11.3.2.5 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียส

11.3.3 วิธีทดสอบ

11.3.3.1 นำชิ้นทดสอบเข้าอบในตู้อบเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็น ชั่งมวลและวัดความยาวของชิ้นทดสอบถือเป็นมวลในสภาพแห้ง คำนวณหาค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40

11.3.3.2 นำชิ้นทดสอบไปแช่ในอ่างน้ำตามข้อ 11.3.2.3 โดยผิวบนของชิ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 3 เซนติเมตรเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นให้เก็บรักษาที่ห้องหรือภาชนะปิดตามข้อ 11.3.2.4 ชั่งมวลและวัดความยาวทุกวันจนมวลของชิ้นทดสอบมีค่าต่ำกว่าค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 ซึ่งคำนวณได้จากข้อ 11.3.3.1

- 11.3.3.3 วัดความยาวและช่วงมวลของชิ้นทดสอบทุก 3 วัน จนความยาวเข้าสู่สภาพสมดุล โดยชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่า ร้อยละ 0.003 ต่อ 3 วัน

หมายเหตุ การรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีใช้ภาชนะปิด ให้ทำโดยเก็บชิ้นทดสอบไว้ในห้องสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต ที่ละลายอยู่ในภาวะสมดุลกับน้ำในภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ และต้องมีการกวนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการก่อตัวของเกลือโพแทสเซียม หรือฝ้าที่ผิว

11.3.4 การรายงานผล

ให้รายงานอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวจากสูตร

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ (R)} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100$$

เมื่อ l_1 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 เป็นมิลลิเมตร

l_2 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบเมื่อเข้าสู่สภาพสมดุล เป็นมิลลิเมตร

หมายเหตุ ความยาวของชิ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 หาโดยการประมาณค่าจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความยาวที่ได้จากการทดสอบตามข้อ 11.3.3.1 กับข้อ 11.3.3.2

11.4 ความต้านแรงอัด

11.4.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่ตำแหน่ง ตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของคอนกรีตมวลเบาให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายแสดงด้านยาวของตัวอย่าง ทำการทดสอบเมื่อชิ้นทดสอบมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10 + ร้อยละ 2 กรณีชิ้นทดสอบมีความชื้นมากกว่าที่กำหนด ให้อบชิ้นทดสอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 75 องศาเซลเซียสจนได้ความชื้นตามที่ต้องการ

กรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด ให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา

11.4.2 เครื่องมือ

11.4.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.4.2.2 เครื่องกดที่อ่านได้ละเอียดถึง 100 นิวตัน และสามารถควบคุมอัตราเพิ่มแรงอัดได้ระหว่าง 0.05 ถึง 0.20 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที

11.4.2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส $\pm$ 5 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 75 องศาเซลเซียส สำหรับการอบหาปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 10 + ร้อยละ 2 ได้

11.4.3 วิธีทดสอบ

11.4.3.1 ให้ทดสอบด้วยวิธีตามที่ระบุใน มอก.109 โดยใช้อัตราเพิ่มแรงอัดตามตารางที่ 4 ในแนวดิ่งฉากกับด้านยาวของชิ้นตัวอย่างจนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตกเสียหาย

11.4.3.2 วัดปริมาณความชื้นของชิ้นทดสอบ

มอก. 1505-2541

ตารางที่ 4 อัตราเพิ่มแรงอัดตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา
(ข้อ 11.4.3.1)

ชั้นคุณภาพ	อัตราเพิ่มแรงอัด นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที
20	.05
40	.10
60	.15
80	.20

11.4.4 การรายงานผล

ให้รายงานปริมาณความชื้น และค่าความต้านแรงอัดของชั้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ย

11.5 อัตราการดูดกลืนน้ำ

11.5.1 การเตรียมชั้นทดสอบ

ตัดชั้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตร

กรณีชั้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด ให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา

11.5.2 เครื่องมือ

11.5.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.5.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

11.5.2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียส

11.5.3 วิธีทดสอบ

11.5.3.1 อบชั้นทดสอบในตู้อบให้แห้งจนได้น้ำหนักคงที่ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส + 5 องศาเซลเซียส ปลอ่ยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จากนั้นวัดมวลและมิติของแต่ละก้อน

11.5.3.2 แช่ชั้นทดสอบตามข้อ 11.5.3.1 ในน้ำสะอาดให้น้ำท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วยกออก ใช้ผ้าชุมน้ำเช็ดที่ผิวที่ละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 นาที น้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาที่ดูดกลืนน้ำ

กรณีตัวอย่างไม่ผ่านการทดสอบ ให้ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 11.5.3.1 โดยใช้ตัวอย่างเดิมกับน้ำกลั่นอีก 1 ครั้ง

11.5.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา โดยคำนวณจากสัดส่วนน้ำหนักของน้ำที่ดูดกลืนต่อปริมาตรชั้นทดสอบซึ่งคำนวณจากมิติ