

บทที่ 2

โครงการย่อยที่ 1

บทคัดย่อ

ชื่อโครงการ การการทำอิฐมวลเบาด้วยซีเมนต์ ตะกอนประปาและปูนขาว

Lightweight Cement from Cement Water Supply Sludge and Hydrate Lime

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี 2553 จำนวนเงิน 148,000 บาท

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

ชื่อผู้วิจัย นายนิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โทรศัพท์ 043-742135

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากของเสียเหลือทิ้งได้แก่ตะกอนประปาในการทำอิฐมวลเบา โดยใช้ซีเมนต์ ตะกอนประปา : ปูนขาว : ซีเมนต์ : ทราช : น้ำ : ผงอลูมิเนียม บ่มที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทดสอบค่าการรับกำลังอัด ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำ ของตัวอย่างที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของ ซีเมนต์ : ตะกอนประปา : ปูนขาว : ทราช : น้ำ : ผงอลูมิเนียม เท่ากับ 1.0 : 0.20 : 0.50 : 0.50 : 0.60 : 0.0030 มีค่าการรับกำลังอัดสูงที่สุดที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน เท่ากับ 61 และ 65 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อบ่มที่อุณหภูมิห้อง ตามลำดับ โดยผ่านมาตรฐาน มอก 58-2530 ที่เป็นมาตรฐานคอนกรีตบล็อกมวลเบา ไม่รับน้ำหนัก ค่าการดูดซึมน้ำ ผ่านมาตรฐาน ทุกอัตราส่วนในทุกการบ่ม ส่วนค่าความหนาแน่นไม่ผ่านมาตรฐาน และการทดสอบการรั่วไหลของ โลหะหนักด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัด สิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ปี 2548 และวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) ตามมาตรฐานของ USEPA ในตัวอย่างที่อายุ 28 วัน พบว่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

This research was indicated waste utilization from water supply sludge for Lightweight concrete that using cement , water supply sludge ,hydrate lime, sand ,water and aluminium powder curing at room temperature Compressive strength, density, and water adsorption of samples were studied at 7 and 28 day curing. The result found that the optimum ratio of sample is 1.0: 0.20: 0.50: 0.50: 0.60: 0.0030. The compressive strength of 7 and 28 day curing were showed 61 and 65 a kg/cm² that passes the TIS 58-1987 and water absorption was not over than standard. Besides, Waste Extraction Test (WET) and Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) were not over than the limit standard.

บทนำ

ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ตะกอนประปา (Water supply sludge) เป็นวัสดุเหลือทิ้งชนิดหนึ่งที่เกิดจากขั้นตอนการตกตะกอนโดยใช้สารเคมีต่างๆ ในกระบวนการผลิต แต่สิ่งที่น่าสนใจคือตะกอนดังกล่าวมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ซิลิกาและอะลูมินา ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในงานซีเมนต์ได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการใช้อิฐบล็อกมวลเบา (Lightweight Concrete) ในอุตสาหกรรมก่อสร้างกันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะงานก่อสร้างอาคารเนื่องจากอิฐบล็อกมวลเบามีคุณสมบัติแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดาคือมีคุณสมบัติเด่นในด้านน้ำหนักเบาแต่สามารถรับแรงอัด แรงกดทับใกล้เคียงกันกับคอนกรีตธรรมดา อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน กันเสียง สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายและต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ลดน้ำหนักโครงสร้าง ลดอุณหภูมิภายในอาคาร ใช้เวลาในการก่อสร้างน้อย เนื่องจากน้ำหนักเบาและดัดง่าย ใช้ก่อผนังเป็นห้องเก็บเสียง เป็นต้น แต่ราคานิธิบล็อกมวลเบาที่จำหน่ายในปัจจุบันมีราคาแพงเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐมวลเบาและคอนกรีตธรรมดา ถึงแม้โดยรวมแล้วการใช้อิฐบล็อกมวลเบาในงานก่อสร้างอาคารต่างๆจะช่วยลดขนาดโครงสร้างของอาคาร ลดลดปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศแต่เนื่องจากวัตถุดิบบางส่วนในการผลิตอิฐบล็อกมวลเบา มีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ผู้ที่มียาได้น้อยไม่สามารถนำมาใช้ประกอบการสร้างอาคารได้

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงเป็นการนำตะกอนประปามาผลิตเป็นอิฐมวลเบาโดยใช้ปูนขาวและซีเมนต์ เป็นวัสดุประสานและผงอลูมิเนียมเป็นสารทำให้เกิดฟองอากาศที่ปริมาณต่าง ๆ กันโดยมีการทดสอบคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยมีเป้าหมายเป็นการลดการของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปาและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการนำมาทำเป็นวัสดุที่สามารถนำมาก่อสร้างได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างซีเมนต์ ปูนขาวและตะกอนประปาในการผลิตอิฐมวลเบา
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของอิฐมวลเบาจากปูนขาวและตะกอนประปา ที่มีการใช้ผงอลูมิเนียมในปริมาณ ต่างๆ

ขอบเขตการศึกษา

1. การจัดเตรียมวัสดุและสารเคมี
 - 1.1 ซีเมนต์ ได้แก่ ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
 - 1.2 ปูนขาว Hydrate lime ได้แก่ ปูนขาวเกรดการค้า
 - 1.3 แบบหล่อลูกบาศก์ ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร
 - 1.4 ตะกอนประปา จากการประปาส่วนภูมิภาค จังหวัดมหาสารคาม
ได้แก่ตะกอนดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาที่จากถังตกตะกอนโดยเก็บและนำมา
ผึ่งแดดให้แห้งก่อนนำไปบดลดขนาดด้วยเครื่อง Los Angeles Machine
 - 1.5 ผงอลูมิเนียม
2. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนประปาด้วย เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)
3. ศึกษาค่าดัชนีกำลังอัดของตะกอนประปาที่ผ่านการบดลดขนาดตามมาตรฐาน ASTM C 618
4. นำอัตราส่วนที่มีค่าการรับกำลังอัดที่ดีที่สุดมาทำการทดลองการทำอิฐมวลเบาโดยการผสมผงอลูมิเนียม ในปริมาณ 0 ถึง 0.004 % wt. ตามลำดับ โดยศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของอิฐดังนี้
 - 4.1 การรับกำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน
 - 4.2 ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ
 - 4.3 การร้าวทดสอบการร้าวไหลด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) และ Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)
4. เปรียบเทียบคุณสมบัติของอิฐบล็อกมวลเบาจากตะกอนประปาและปูนขาวที่อัตราส่วนที่เหมาะสมกับมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างตะกอนประปา ปูนขาว ทราย ซีเมนต์ น้ำ และผงอลูมิเนียม ในการทำคอนกรีตมวลเบา
2. ทราบถึงคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาจากตะกอนประปาและปูนขาว
3. ลดปัญหาและค่าใช้จ่ายในการจัดการตะกอนประปา

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

อิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาเป็นวิวัฒนาการของการพัฒนาเทคโนโลยีอีกขั้นหนึ่ง การพัฒนาอิฐมวลเบาจนมีการพัฒนาออกมาใช้ ก็เพื่อประโยชน์ต่อการรับน้ำหนัก โครงสร้างของอาคาร เนื่องจากโครงสร้างอาคารปัจจุบันนี้มีทั้งขนาดใหญ่และสูง ผนังของอาคารก็มีจำนวนมาก ดังนั้นถ้าทำให้น้ำหนักของอิฐเบาลงได้ ก็จะมีผลต่อการออกแบบโครงสร้างให้ประหยัดได้ อิฐมวลเบาเป็นการผลิตจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ปูนขาว ทรายละเอียด ผลอลูมิเนียม น้ำ และสารผสมเพิ่ม เช่น สารเพิ่มฟองอากาศ โดยหลังจากผสมกันแล้วจะทำให้เกิดช่องอากาศเล็ก ๆ เป็นรูพรุนที่ไม่ต่อเนื่อง (Unconnecting voids) เป็นผลให้มีน้ำหนักเบา ตามมาตรฐาน มอก. 1505 – 2541 เรียกชื่ออย่างเป็นทางการว่า อิฐมวลเบาแบบมีฟองอากาศอบไอน้ำ

คุณสมบัติของอิฐมวลเบา

อิฐบล็อกเบาที่ผลิตในประเทศไทยและเป็นที่รู้จักคือ ยี่ห้อซูปเปอร์บล็อกและยี่ห้อคิวคอน บล็อกมวลเบานั้นนอกจากจะให้น้ำหนักที่เบาแล้ว ยังมีคุณสมบัติอื่นๆ ที่พิเศษอีกหลายประการคือ (กวี, 2547)

1. มีน้ำหนักรวมฉาบสองด้านเบามาก ประมาณ 90 กิโลกรัม/ตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับผนังอิฐมอญ จะเบาได้ถึง 2 – 3 เท่า
2. มีความแข็งแรงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐมอญ เพราะสามารถรับแรงกดอัดได้ถึง 40 – 80 กิโลกรัม/ตารางเมตร
3. ก่อสร้างได้รวดเร็วกว่าผนังอิฐมอญ เพราะบล็อกมวลเบาหนึ่งก้อนจะเทียบได้กับอิฐมอญประมาณ 15 – 20 ก้อน และน้ำหนักเบา ทำให้ทำงานได้เร็วขึ้น ทดสอบโดยโยนลงน้ำก็จะไม่จม
4. เลื่อยตัดแต่งบล็อกได้ด้วยเลื่อยตัดไม้ทั่วไปโดยไม่ต้องสกัด จึงลดปัญหาเรื่องการแตกหักเสียหายได้
5. เนื่องจากก้อนบล็อกมีความเรียบทั้งก้อน จึงทำให้งานฉาบง่ายและไม่สิ้นเปลือง
6. เป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดีกว่าผนังอิฐมอญถึง 4 – 5 เท่า ทำให้ประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศถึง 25 – 50%
7. ดูดซับเสียงได้ดี ทำให้ไม่เกิดเสียงสะท้อนหรือเสียงก้อง ช่วยให้ภายในห้องเงียบ
8. ใช้เป็นผนังกันไฟไหม้ได้นานถึง 3 ชั่วโมงขึ้นไป
9. ใช้ปูนทรายยาแนวหนาเพียง 3 – 5 มิลลิเมตร แต่ปูนทรายหรือปูนฉาบควรผสมน้ำยาหน่วงตัวด้วย เพราะมวลเบาจะดูดน้ำจากปูนทรายหรือปูนฉาบให้แห้งเร็วมาก

10. สำหรับงานฉาบควรแบ่งฉาบเป็นสองครั้ง โดยให้ฉาบครั้งแรกเพียงบาง ๆ ประมาณ 5 มิลลิเมตร ให้ทั่วบริเวณก่อน จากนั้นทิ้งไว้ข้ามวันให้แห้งสนิทก่อนจึงค่อยทำการฉาบครั้งที่สอง

การผลิตอิฐมวลเบา

อินทนนท์ และคณะ (2548) อธิบายว่า น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในการผสมอิฐ เพราะนอกจากมีผลต่อความสามารถเทได้ของอิฐสด และมีผลต่อกำลัง ตลอดจนความทนทานของอิฐเมื่อแข็งตัวแล้ว อาจมีผลกระทบต่อสีผิวของอิฐ และการเป็นสนิมของเหล็กเสริมในอิฐ น้ำที่ใช้ผสมในอิฐมีความสำคัญมาก น้ำต้องสะอาดมาก มีความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm. (ส่วนในล้านส่วน) ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน และสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่ออิฐและเหล็กเสริม โดยปกติน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน หรือจากโรงงานอุตสาหกรรม จัดว่ามีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับใช้ในงานอิฐในกรณีที่ไม่น่าจะแน่ใจว่าน้ำที่ใช้มีความสะอาดเพียงพอหรือไม่ ให้ทำการทดสอบโดยทำก้อน มอร์ตาร์ ลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ ซม. ซึ่งผสมด้วยน้ำที่สงสัยและเปรียบเทียบกับกำลังอัดที่ อายุ 7 และ 28 วัน ของก้อนลูกบาศก์มอร์ตาร์ขนาดเท่ากันที่ทำจากน้ำคุณภาพดี หากมีข้อสงสัยก้อนมอร์ตาร์ที่ใช้น้ำมากกว่าร้อยละ 90 ถือว่าน้ำนั้นไม่มีปัญหาด้านคุณภาพ และสามารถใช้อผสมอิฐได้

หน้าที่หลักของน้ำที่ใช้ผสมอิฐ

1. ทำหน้าที่ผสมทำปูนซีเมนต์และทำปฏิกิริยาเคมีเกิดความร้อนที่เรียกว่า Heat of hydration ทำให้ผงปูนเป็นวุ้น และเป็นซีเมนต์เหนียว ซึ่งเป็นตัวประสานผิวระหว่างเม็ดของวัสดุผสม และเกาะยึดกันแน่นเมื่อแข็งตัว
2. ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียก เพื่อให้ปูนซีเมนต์เข้าเกาะโดยรอบและแข็งตัวเกาะกันแน่น
3. ทำหน้าที่หล่อลื่นให้วัสดุทั้งหมด เกิดความเหลว สามารถเทและกระทุ้งหรือเขย่าเข้าแบบหล่อให้เป็นรูปต่างๆ ได้

การใช้ประโยชน์อิฐมวลเบา

อิฐมวลเบา เป็นวัสดุก่อผนังมาตรฐานใหม่ ที่นำเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย มาผลิตเป็น “วัสดุก่อผนังมวลเบา” มีลักษณะเป็นอิฐก้อนตันที่มีมวลเบากว่าอิฐทั่วไป และตัวก้อนจะมีฟองอากาศขนาดเล็ก แบบปิดไม่ต่อเนื่องกระจายอย่างสม่ำเสมอในเนื้ออิฐ และทำให้ใช้ก่อผนังด้วยวิธีก่อผนัง 2-3 มม. ร่วมกับปูนก่อและปูนฉาบอิฐมวลเบาโดยเฉพาะ ซึ่งมีขนาดตามมาตรฐาน กว้าง 20 ซม. ยาว 60 ซม. และมีความหนา 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25 ซม.

ข้อดีของอิฐมวลเบา

- การกันความร้อนได้ดี
- กันเสียงได้ดี
- น้ำหนักเบาและรับแรงกดได้ดี
- ประหยัดพลังงาน
- ใช้งานง่าย และรวดเร็วกว่าอิฐทั่วไป
- อายุการใช้งาน ยาวนานเท่าโครงสร้างอิฐ

ข้อเสียของอิฐมวลเบา

- มีราคาแพง
- ไม่ทนต่อความชื้น

ทั้งนี้ ไม่ว่าจะใช้วัสดุอิฐมวลเบา หรือ อิฐมอญ จะมีข้อดีและข้อเสีย และต้นทุนที่แตกต่างกันไป เช่น ก่อผนังง่ายขึ้น

การทดสอบคุณสมบัติของอิฐมวลเบา

1. ทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาตามอัตราส่วนผสมที่ได้รับการออกแบบไว้ โดยการนำตัวอย่างซึ่งมีอายุการบ่มในอากาศ 7, 14 และ 28 วัน ไปทำการทดสอบโดยการเพิ่มแรงอัดจนตัวอย่างเกิดการวิบัติ โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ขนาด 100 ตัน (Universal Testing Machine) Model CY – 6040A12 ทำการทดสอบตามส่วนผสม ส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง/อายุการทดสอบ เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดต่อไป

2. ทดสอบค่าความหนาแน่นของอิฐโดยการนำเอาตัวอย่างขนาด 5×5×5 ซม. อายุการบ่มในอากาศ 28 วัน ไปอบให้แห้ง บันทึกน้ำหนักแล้วนำตัวอย่างไปแช่ในน้ำจนตัวอย่างนั้นดูดซึมน้ำไว้จนอิ่มตัว นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ทำการเป่าก้อนตัวอย่างให้ก้อนตัวอย่างอิ่มตัวผิวแห้ง บันทึกน้ำหนักอีกครั้ง แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 1505-2541

3. ทำการชั่งน้ำหนักของอิฐจากตัวอย่างอายุการบ่มในอากาศ 7, 14 และ 28 วัน บันทึกน้ำหนักแล้วนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานตามท้องตลาด

ข้อเปรียบเทียบคุณสมบัติอิฐมวลเบาและอิฐมอญหรืออิฐแดง

อิฐมอญ"เป็นวัสดุหลักในการก่อสร้างผนังอาคารมานาน เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาถูก แต่อิฐมอญเป็นวัสดุที่ ยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่าย และยังดูดเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานานกว่าจะเย็นตัวลง จะสังเกตได้ว่าเมื่อเรา ใช้มือสัมผัสผนังภายในบ้านในตอนบ่ายที่ถูกแดดร้อน

จัดผนังจะร้อนมาก และยังคงร้อนอยู่จนถึงช่วงหัวค่ำแล้วจึงเย็นลงใกล้เคียงกับ สภาพปกติ รัฐบาลได้ออกกฎหมายตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 ซึ่งได้กำหนดค่าการถ่ายเท ความร้อนรวม ของผนังด้านนอกอาคารหรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศหรือเรียกว่าค่า OTTV (Overall Thermal Transfer Value) สำหรับอาคาร ควบคุมที่มีพิภพการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 1 พัน กิโลวัตต์ เป็นต้นไป ต้องมีค่าไม่เกิน 45 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งจากการสำรวจบ้านพักอาศัย ที่ก่อสร้างด้วยอิฐมวลยุมีค่า OTTV ประมาณ 51-53 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังนั้น อิฐมวลยุมิไม่ใช่วัสดุ ก่อสร้างเพื่อการประหยัดพลังงานที่ดี

อิฐมวลเบาจึงเป็นทางเลือกใหม่เพื่อการก่อสร้างอาคารที่ต้องการประหยัดพลังงาน อิฐมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้าง ที่เป็นผลิตภัณฑ์อิฐชนิดใหม่ ผลิตจากการสังเคราะห์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย ยิปซั่มและปูนขาว และสารกระจายฟองอากาศขนาดเล็กลอยอย่างสม่ำเสมอในเนื้อวัสดุ แล้วผ่านการอบไอน้ำภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม ด้วยเครื่องจักรที่ใช้ เทคโนโลยีมาตรฐานสูง จึงได้วัสดุที่มีสมบัติพิเศษ เบาแต่แข็งแรงรับแรงอัดได้สูง เริ่มมีการผลิตในประเทศไทยมากกว่า 5 ปีแล้ว ได้รับการยอมรับและนำมาใช้ในงานก่อสร้างทุกประเภท อิฐมวลเบามีความหนาแน่น 500-700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เบากว่าอิฐมวลยุมิ 2-3 เท่า และเบากว่าอิฐ 4-5 เท่า ลดน้ำหนักผนังอาคารเหลือ 90 กิโลกรัมต่อตารางเมตร แข็งแรง รับกำลังอัดได้สูงตั้งแต่ 30-80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าการนำความร้อนต่ำ กันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมวลยุมิ 4-6 เท่า ทนไฟได้นานกว่า 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส โดยไม่แตกร้าวหรือพังทลาย นอกจากนั้นยังเป็นฉนวนกันเสียงและลดการ สะท้อนของเสียงด้วย จากการวิเคราะห์สมรรถนะเชิงความร้อนของบ้านที่สร้างด้วยอิฐมวลเบามีค่า OTTV ต่ำกว่าบ้านที่สร้างด้วยอิฐมวลยุมิถึง 41.56 เปอร์เซ็นต์

ตัวยึดประสานในงานซีเมนต์

ตัวยึดประสานที่ใช้ในงานหล่อแข็งได้แก่

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)

คำนิยามปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ชัชวาล, 2536) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ ไฮดรอลิกแคลเซียมซิลิเกต ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเกิดจากการเผาส่วนต่างๆ ปูนซีเมนต์ ไฮดรอลิกหมายถึง ปูนซีเมนต์ที่สามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ โดยทั่วไปซีเมนต์สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท ซึ่งแล้วแต่ว่าจะใช้ในงานประเภทใด

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติทางกายภาพ-เคมี และองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1. Chemical Composition		Percentage
Silicon Dioxide	SiO ₂	21.20
Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	5.22
Ferric Oxide	Fe ₂ O ₃	3.08
Calcium Oxide	CaO	64.73
Magnesium Oxide	MgO	1.04
Sulphur Trioxide	SiO ₃	2.01
Loss of ignition		1.45
2. Compound Composition		
Tricalcium Silicate	3CaO.SiO ₂ (C ₃ S)	
50.60		
Tricalcium Aluminate	3CaO.Al ₂ O ₃ (C ₃ A)	8.60
Dicalcium Silicate	2CaO.SiO ₂ (C ₂ S)	
22.70		
Tetracalcium Silicate	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃ (C ₄ AF)	9.40
3. Specific Surface Area		
(Blaine's) sq.cm.per gram		3315

ที่มา : ชัชวาล (2536)

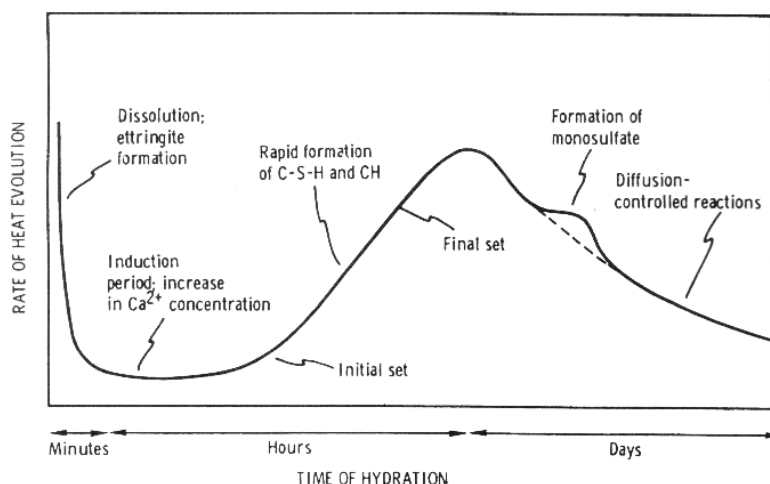
กลไกการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ (Assavapisit, 1998)

ปูนซีเมนต์เมื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชันจะให้ความร้อนออกมาซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) อัตราการเกิดความร้อนกับระยะเวลาที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แสดงในภาพที่ 2-1 ระยะไฮโดรไลซิส (Initial Hydrolysis) ช่วงแรกของปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดความร้อนสูงในช่วง 2-3 นาทีแรก

ระยะหน่วงปฏิกิริยา (Induction Period)

เป็นระยะที่อัตราการเกิดความร้อนลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งสอดคล้องกับผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดเจลห่อหุ้มเม็ดปูนเป็นเมมเบรนทำให้การแพร่ของน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ภายในเม็ดปูนช้าลง ในขณะที่ไอออนขนาดเล็กเช่น Ca²⁺ และ OH⁻ สามารถแพร่ออกมาสู่ภายนอกได้ ส่วนไอออน

ขนาดใหญ่ เช่นซิลิเกตไม่สามารถแพร่ผ่านเมมเบรนไปได้ เมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึงระดับหนึ่งเกิดแรงดันออสโมติกภายในเมมเบรนมากขึ้นจนกระทั่งเมมเบรนแตกออก ระยะเวลาทั้งหมดไป ซิลิเกตออกมาภายในจึงออกมาทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} เกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ได้



ภาพที่ 2-1 อัตราการเกิดความร้อนระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ระยะเร่งปฏิกิริยา (Acceleration Stage) หลังจากที่ชั้นเมมเบรนแตกออกน้ำจะสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับเม็ดปูนต่อไป และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซิลิเกตอย่างรวดเร็วให้ความร้อนออกมา คล้ายระยะแรกสังเกตได้จากค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้น

ระยะหลังช่วงเร่งปฏิกิริยา (Post Acceleration Stage) อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเริ่มช้าลงอีกครั้ง ทำให้อัตราการเกิดความร้อนลดลงจนกระทั่งถึงสู่ภาวะสมดุล

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Material)

ตามมาตรฐาน ASTM C 618 วัสดุปอซโซลานคือวัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกา และอลูมินา มีสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือปูนขาวในสภาวะปกติได้ และเมื่อมีความชื้นจะเกิดเป็นสารประกอบที่มีสมบัติในการยึดประสาน วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างมาตั้งแต่สมัยโบราณกว่า 2000 ปีและในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ วัสดุปอซโซลานสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

Class N ได้แก่วัสดุปอซโซลานที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Pozzolan Material) เช่น วัสดุปอซโซลานที่ได้จากเถ้าที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ (Volcanic Tuff) และ หินพูน (Pumicite)

Class F ได้แก่วัสดุปอซโซลานที่ได้ จากขบวนการผลิต (Artificial Pozzolan Material) เป็นวัสดุที่ได้จากกระบวนการทางความร้อนโดยการเผาวัตถุดิบจากธรรมชาติ ได้แก่ เถ้าลอย เถ้าแกลบ ดินเหนียว เปลือกถั่ว เปลือกหอย หินภูเขาไฟ วัสดุเหล่านี้เมื่อนำไปใช้งานจะต้องนำไปผ่านกระบวนการต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้งาน เช่น การเผา การบด และการทำให้แห้ง

Class C ได้แก่เป็นวัสดุปอซโซลานสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนเช่นเดียวกัน แต่มีข้อกำหนดบางประการที่แตกต่างกันในการจัดประเภทของวัสดุปอซโซลานนั้นจะมีข้อกำหนดทางกายภาพและทางเคมีดังตามตารางที่ 3 ส่วนชนิดของวัสดุปอซโซลานธรรมชาติดูจาก ตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ชนิดของวัสดุปอซโซลานธรรมชาติ

Category	Typical Material	Active Component
Natural Materials	unaltered volcanic ash, weathered volcanic ash (tuff, trass, etc.), pumice	aluminosilicate glass, aluminosilicate glass, zeolites, aluminosilicate glass
	diatomaceous earth, opaline cherts and earth	amorphous hydrated silica, hydrated silica gel
By product material	flyash class F, class C, silica fume	aluminosilicate glass, calcium
	rice husk ash, calcined clay	aluminosilicate glass, amorphous silica
		amorphous silica, amorphous, aluminosilicate, silica (metakaolin)

ที่มา : Sidney และคณะ (2003)

ตารางที่ 2-3 ข้อกำหนดสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมีและข้อกำหนดเสริมของวัสดุปอชโซลาน
ประเภทต่างๆตามมาตรฐาน ASTM C 618

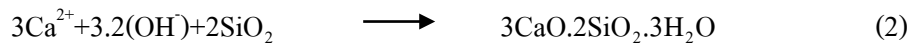
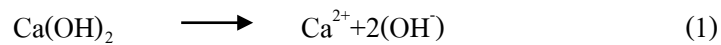
พารามิเตอร์	Mineral Admixtrue Class		
	N	F	C
Physical Requirement			
Fineness			
Amount retained when wet sieved on 45 um (No 325) ,max%	34	34	34
Strength activity index :			
with Portland cement, at 7 days, min, percent of control	75	75	75
with Portland cement, at 7 days, min, percent of control	75	75	75
with lime, at 7 days min, psi (kpa)	800 (5500)	800 (5500)	(5500)
water requirement, max, percent of control	115	115	115
Soundness :			
Autoclave expansion or contraction, max, %	0.8	0.8	0.8
Uniformily, requirement:			
The specific gravity and fineness of individual sample shall not Vary from the average established by the ten proceeding test, or by all proceeding tests			
If the number is less than ten, by more than:			
Specific gravity, max variation from average, %	5	5	5
Percent retained on 45 um. (No. 325), max variation, percentage point from average	5	5	5

ตารางที่ 2-3 (ต่อ)

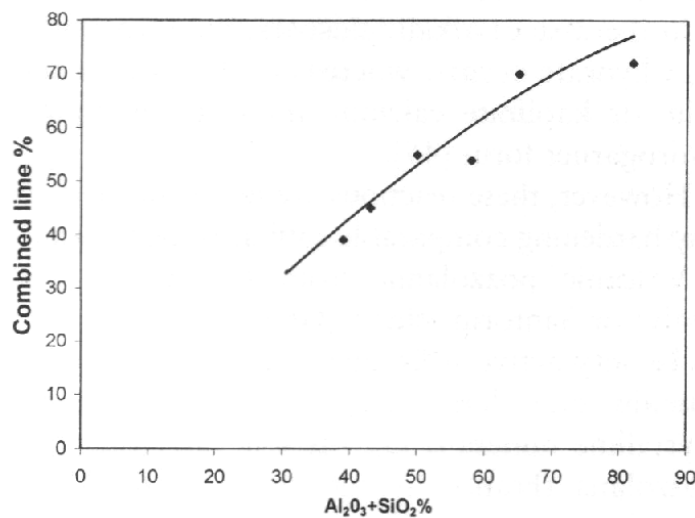
พารามิเตอร์	Mineral Admixtrue Class		
	N	F	C
<u>Supplementary optional physical requirement</u>			
Multiple factor, calculate as the product of loss on ignition and fineness	-	225	-
Amount retained when wet sieved on No 325 (45 um) sieved, max%			
In addition, when air entrainment concrete is specified, the quantity of air entraining agent require to produce and air content of 18% volume of mortar shall not vary from average established by the preceding test if less than ten, more than,%	20	20	20
Increase of drying shrinkages of mortar bars at 28 days, max,%	0.03	0.03	0.03
Reactive with cement Alkali:	75	-	-
Reduction of mortar expansion at 14 days, min,%	0.020	0.020	0.020
Mortar expansion at 14 days, max,%			
<u>Chemical requirement</u>			
Silicondioxide(SO ₂) plus aluminium oxide(Al ₂ O ₃) plus iron oxide (Fe ₂ O ₃), min%	70	70	50
Sulfur trioxide (SO ₃), max%	4.0	4.0	4.0
Moisture content, max%	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max%	10.0	10.0	10.0
<u>Supplementary Optional Chemical requirement</u>			
Available alkalies, as Na ₂ O, max,%	1.5	1.5	1.5

ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)

Sidney และคณะ (2003) วัสดุปอซโซลานสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ (สมการที่ 1 และ 2) เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต สามารถก่อตัวแข็งได้ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลานจัดเป็นส่วนประกอบสำคัญในการเพิ่มการพัฒนาการรับแรงอัด การเกิดปฏิกิริยานี้จำเป็นต้องมีค่า pH สูงกว่า 12.4 จึงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี ปฏิกิริยาปอซโซลานแสดงในสมการที่ 1-3



นอกจากนี้วัสดุปอซโซลานสามารถทำปฏิกิริยากับปูนขาวได้โดยตรงโดยนำมาผสม แต่ปริมาณที่ผสมจะมีช่วงที่กว้าง เนื่องจากมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้ความต้องการปูนขาวแตกต่างกัน เช่นองค์ประกอบทางเคมี พื้นที่ผิวที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาของวัสดุปอซโซลาน อัตราส่วนปูนขาวต่อวัสดุปอซโซลาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน ระยะเวลาการบ่ม และอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนขาวที่ใช้กับปริมาณซิลิกาและอลูมินา และตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปอซโซลานประเภทต่าง ๆ ในงานคอนกรีต



ภาพที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนขาวกับปริมาณซิลิกาและอลูมินา
ที่มา : Sidney และคณะ (2003)

ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปอชโซลานประเภทต่างๆในงานคอนกรีต

CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES	COMPOSITION—% BY WEIGHT				
	CLASS N ^a	CLASS F	CLASS C	GBFS ^b	SF ^c
SiO ₂	73.2	43.4	32.5	31.5	97.2
Al ₂ O ₃	13.1	18.5	21.9	17.0	0.0
Fe ₂ O ₃	0.8	29.9	5.1	0.5	0.0
CaO	1.3	4.3	27.4	37.0	0.0
MgO	0.3	0.9	4.6	10.8	0.0
Total Alkali (as Na ₂ O)	7.26	0.60	1.10	N.D. ^e	0.23
L.O.I. ^d	2.4	1.2	1.2	N.D.	1.8
SO ₃	0.1	1.2	2.8	2.8	0.02
Fineness- cm ² /g	10,000+	4120	4380	4210	10,000+
Specific Gravity	2.43	2.63	2.38	2.89	2.21

^aGround expanded perlite.

^bGBFS—Granulated blast furnace slag.

^cS.F.—Silica fume.

^dL.O.I.—loss on ignition

^eN.D.—not determined

ปูนขาว (Lime)

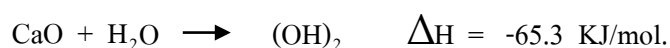
ปูนขาวเป็นวัสดุก่อสร้างที่เก่าแก่ที่สุดที่มนุษย์สร้างขึ้นโดยนำมาเป็นวัสดุยึดประสานในการก่อสร้างอาคารหรือถนนมาตั้งแต่สมัยกรีก โรมัน และอียิปต์โบราณ โดยทั่วไปนิยามของปูนขาว คือ สารที่มีองค์ประกอบของออกไซด์และไฮดรอกไซด์ของแคลเซียมและแมกนีเซียม เป็นผลผลิตที่ได้มาจากการเผาหินปูนที่มีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) สามารถขุดพบหินที่ใช้ผลิตปูนขาวได้ทั้งในสภาพที่บริสุทธิ์และไม่บริสุทธิ์ ซึ่งปูนขาวสามารถแบ่งตามลักษณะทางเคมีได้เป็น 2 ประเภท คือ Quick Lime และ Hydrated Lime

Quick Lime

คือ ปูนขาวที่มี Calcium Oxide (CaO) เป็นส่วนประกอบหลักและมี Magnesium Oxide (MgO) เป็นส่วนประกอบรอง Quick Lime สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท

1. High Calcium Quicklime, CaO
2. Dolomitic Calcium Quicklime, CaO+MgO

Quick Lime เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ผลของปฏิกิริยาจะทำให้ Quick Lime แตกตัวออกเป็น Hydrate Lime หรือ Slake Lime และมีความร้อนเกิดขึ้นดังสมการเคมีที่ 2.1



Hydrate Lime

เมื่อ Quick Lime รวมตัวกับน้ำให้เกิดปฏิกิริยา Hydrations กลายเป็น Hydrate Lime ซึ่งจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. Hydrate high-Calcium Lime, Ca(OH)_2
2. Normal hydrate or Monohydrate Dolomitic Lime, $\text{Ca(OH)}_2 + \text{MgO}$
3. Predure Hydrate or Dihydrate Dolomitic Lime, $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(OH)}_2$

ปูนขาวประเภท Hydrate Lime จะนิยมใช้กันกว้างกว่าประเภท Quick Lime ทั้งนี้เป็นเพราะ Hydrate Lime เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะคายความร้อนออกมาน้อยกว่า มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนเครื่องจักรและ เป็นอันตรายต่อผู้ใช้น้อยกว่า Quick Lime

การผลิตน้ำประปา

ดวงกมล และคณะ (2547) น้ำประปาเป็นน้ำที่ผ่านขบวนการต่างๆ มากมายกว่าจะเป็นน้ำประปาให้บริการแก่ประชาชนได้นั้น มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอนและต้องมีการลงทุนที่สูงมาก ดังขบวนการผลิตต่อไปนี้

1. การสูบน้ำ การผลิตน้ำประปา เริ่มจาก "โรงสูบน้ำแรงต่ำ" ทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบจากนักวิทยาศาสตร์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นน้ำประปาได้และต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง

2. การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ น้ำดิบที่สูบน้ำเข้ามาแล้วจะผสมด้วยสารเคมี เช่น สานส้มและปูนขาว เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบสารละลายสารส้มจะช่วยให้มีการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้นและสารละลายปูนขาวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำหรือสาหร่ายในน้ำ หรือบางครั้งจะมีการเติมคลอรีน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจจะปนมากับน้ำในขั้นตอนนี้ก่อน

3. การตกตะกอน ขั้นตอนนี้จะปล่อยน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวแล้ว ที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนเพื่อให้ น้ำกับสารเคมีรวมตัวกันจะช่วยให้มีการจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้นและจะนำน้ำเหล่านี้ให้เข้าสู่ถังตะกอนที่มีขนาดใหญ่ เพื่อทำให้เกิดน้ำนิ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกลงสู่ก้นถังและถูกดูดทิ้งน้ำใสด้านบนจะไหลตามรางรับน้ำเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

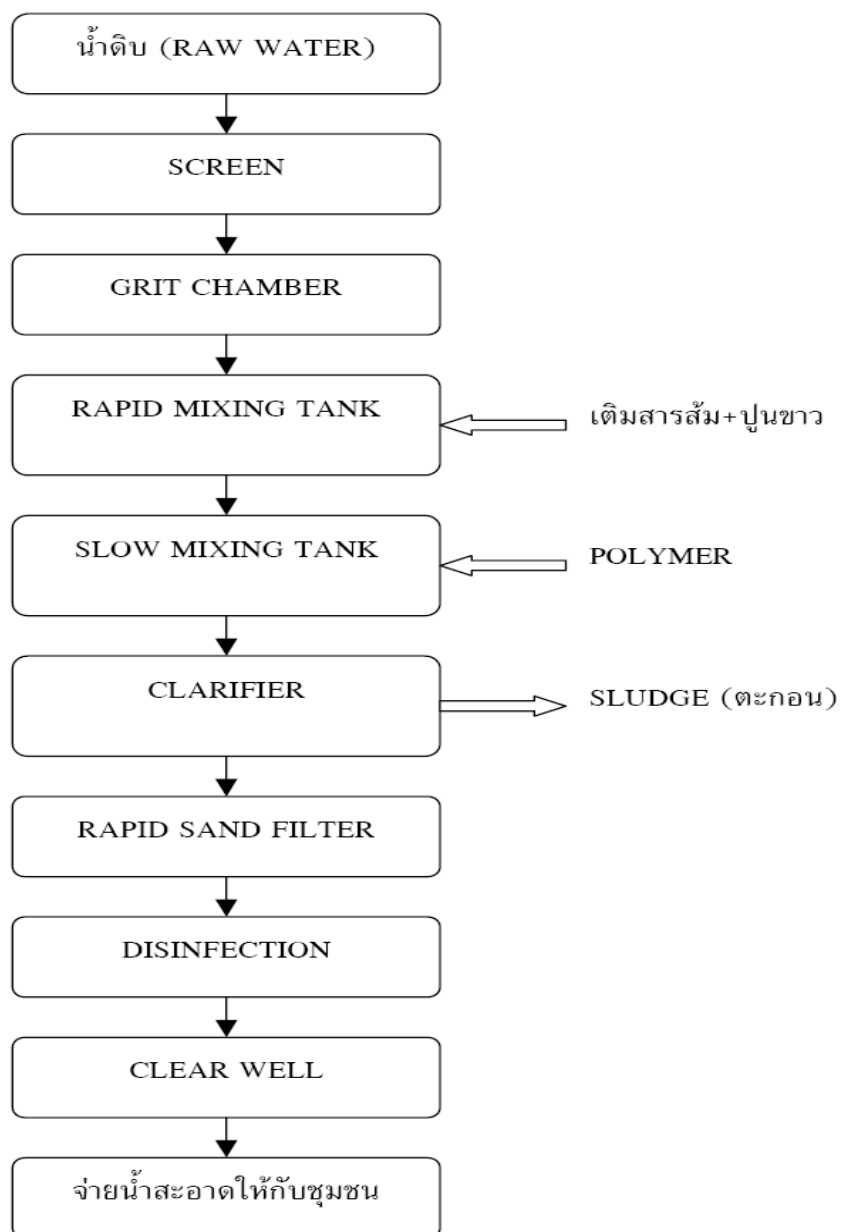
4. การกรอง ในการกรองจะใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรองตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำ และให้มีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้ น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใสมากแต่จะมีความขุ่นหลงเหลืออยู่ประมาณ 0.2-2.0 หน่วยความขุ่น และทรายกรองจะมีการล้างทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้การกรองมีประสิทธิภาพ

5. การฆ่าเชื้อโรค น้ำที่ผ่านการกรองมาแล้วจะมีความใส แต่อาจจะมีเชื้อโรคเจือปนมาก น้ำนั้นจึงจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรค โดยใช้ คลอรีน ซึ่งคลอรีนนี้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี น้ำที่ได้รับการผสมคลอรีนแล้ว เรียกกันว่า " น้ำประปา" สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ และจะทำการจัดเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ เรียกว่า ถังน้ำใส เพื่อจัดการบริการต่อไป น้ำประปาที่ทำการผลิตมาแล้วนั้น จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งจากนักวิทยาศาสตร์ และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค

6. การสูบน้ำ น้ำประปาที่ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องให้บริการถึงบ้านเรือนของประชาชนผู้ใช้น้ำ โดยส่งผ่านไปตามเส้นทาง ดังนั้นการสูบน้ำจึงมีความจำเป็น ด้านการส่งจากหอถังสูงที่สามารถบริการได้ในพื้นที่ใกล้เคียง และในพื้นที่ห่างไกลออกไปหรือมีความสูงมากจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงดันน้ำ เพื่อให้ น้ำประปาสามารถบริการได้อย่างทั่วถึงจากกระบวนการผลิตน้ำประปาซึ่งมีขั้นตอนการตกตะกอนจะมีปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจำนวนมาก ซึ่งเป็นกากตะกอนที่จะมาใช้ในการทดสอบต่อไป

Sludge ที่เกิดเป็นส่วนของน้ำตะกอนดินที่ตกตะกอนจากกระบวนการ Clarification และน้ำที่ใช้ล้าง

Filter ซึ่งจะถูกปั๊มสู่ Sludge Lagoon จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการตากตะกอน เพื่อให้ตะกอนแห้ง พอที่จะขนย้ายต่อไป



ภาพที่ 2-3 กระบวนการผลิตน้ำประปา
ที่มา : ดวงกมล และคณะ (2547)

ตารางที่ 2-5 ปริมาณการผลิตตะกอนของโรงผลิตน้ำประปาบางเขนระหว่างปี 2542-2546

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำประปา (ลบ.ม.)	ปริมาณตะกอนดิน (ตัน)	เฉลี่ย/วัน
2546 (ม.ค.-ต.ค.)	908,692,127	82,004	273
2545	1,088,751,325	95,824	263
2544	1,070,075,066	118,892	325
2543	1,055,192,193	110,968	304
2542	1,018,955,612	113,324	310

ที่มา : ดวงกมล และคณะ (2547)

ตารางที่ 2-6 องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนประปา

ต.ย.	ผลการทดสอบคิดเป็นร้อยละ									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO
A1	47.77	0.74	28.94	6.11	0.52	1.23	0.19	0.14	0.12	0.06
A2	41.78	0.76	37.45	7.38	1.16	4.06	0.14	1.34	-	-
A3	52.62	0.81	24.40	5.90	0.79	0.44	0.24	1.61	-	0.10

ที่มา : ดวงกมล และคณะ (2547)

หมายเหตุ :

A1=ตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปาธนบุรี, A2 = ตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปamahavassdi

A3 = ตะกอนดินโรงผลิตน้ำประปาบางเขน (4/11/2546)

จากตารางที่ 6 ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนประปาพบว่าปริมาณซิลิกา อลูมินา และเหล็กออกไซด์เมื่อนำมารวมกันมีค่ามากกว่า 70% แสดงว่าตะกอนประปามีคุณสมบัติทางเคมีเป็นไปตามมาตรฐานวัสดุปอซโซลาน (ASTM C 618) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับซีเมนต์ต่อไป



ภาพที่ 2-4 ตะกอนประปา

ที่มา : ดวงกมล และคณะ (2547)

การคำนวณหาปริมาณดินตะกอนที่ได้จากระบบผลิตน้ำประปา

ชัยพร (2547) การผลิตน้ำประปาใน 1 ลูกบาศก์เมตร มีน้ำ 1,000 ลิตร มีน้ำหนัก 1,000 กิโลกรัม ในทางวิทยาศาสตร์พบว่า น้ำดิบที่มีความขุ่น 30-40 หน่วยเอ็นทียูจะมีปริมาณดินตะกอนประมาณ 25-35 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือในการผลิตประปา 1 ลูกบาศก์เมตรจะมีปริมาณตะกอน 25,000-35,000 มิลลิกรัม หรือ 0.025-0.035 กิโลกรัม ยกตัวอย่างการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำประปาวางเขน ใน 1 วัน (ประมาณ 3 ล้าน ลูกบาศก์เมตร) จะมีปริมาณดินตะกอน 75,000-105,000 กิโลกรัม. หรือประมาณวันละ 100 ตันต่อวัน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการนำตะกอนประปามาใช้ประโยชน์

ชัยพร และคณะ (2547) ได้ศึกษาคุณสมบัติของอิฐสามัญที่นำตะกอนจากระบบประปาและเถ้าแกลบมาเป็นวัสดุผสม ซึ่งการศึกษาได้ทำการศึกษาจากการนำตะกอนจากงานประปา 2 แหล่งด้วยกัน คือ กองงานประปามหาวิทยาลัยขอนแก่น และ การประปาส่วนภูมิภาคเขต 6 จังหวัดขอนแก่น โดยอัตราส่วนที่นำมาทดสอบได้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม แบ่งตามแหล่งที่มาที่อัตราส่วนผสมระหว่าง ดินเหนียวกับ ตะกอนประปาและเถ้าแกลบ 90:10:0, 80:20:0, 70:30:0, 60:40:0, 50:50:0, 80:10:10, 70:20:10, 60:40:10, 50:40:10 โดยทำการศึกษาตาม มอก. 77-2517 พบว่าอัตราส่วนผสม 70:20:10 จากตะกอนมหาวิทยาลัยขอนแก่นและตะกอนการประปาส่วนภูมิภาคมีกำลังรับแรงอัดสูงสุดเป็น 48.00 ksc. และ 50.03 ksc. ตามลำดับและมีความคุ้มค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานส่วนความคลาดเคลื่อนของขนาดมีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานแต่สามารถแก้ไขได้โดยทำแบบพิมพ์ให้ใหญ่ขึ้น

จิตรกร (2543) ได้ศึกษาการนำ ตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากระบวนการผลิตน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนและโรงงานผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์ มาใช้เป็นวัสดุปลูกพืชแกลนในงานด้านคอนกรีตโดยทำการเผาตะกอนสลัดจ์ที่อุณหภูมิ 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผา 15, 30 และ 60 นาที แล้วทำการทดสอบหาค่าดัชนี การรับกำลังอัด จากผลการวิจัยพบว่าค่าดัชนีกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมตะกอนสลัดจ์ จากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขนทุกตัวอย่างมีค่ามากกว่าร้อยละ 75 ผ่านตามมาตรฐาน ASTM C 618 ส่วนค่าดัชนีการรับกำลังของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าตะกอนสลัดจ์จากโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์มีค่ามากกว่ามาตรฐานที่อุณหภูมิการเผาที่ 900 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการเผา 60 นาที โดยมีค่าดัชนีการรับกำลังสูงสุดของตะกอนบางเขนเท่ากับ ร้อยละ 95 ส่วนมหาสวัสดิ์เท่ากับ ร้อยละ 78

กฤษดา (2540) ได้ศึกษาการนำ ตะกอนที่ได้จากระบบการผลิตน้ำประปามาใช้แทนดินเหนียว โดยการผลิตอิฐมอญได้แบ่งอัตราส่วนผสมออกเป็น 6 สูตร มีอัตราส่วนผสมของดินเหนียว : ตะกอน : จีเถ้าแกลบ : น้ำ โดยน้ำหนักดังนี้ สูตรที่ 1 10:0:3:1 สูตรที่ 2 8:2:3:1 สูตรที่ 3 6:4:3:1 สูตรที่ 4 4:6:3:1 สูตรที่ 5 2:8:3:1 สูตรที่ 6 0:10:3:1 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของตะกอนในสูตรที่ 1 ถึง 6 นั้น มีการเพิ่มปริมาณตะกอนตามลำดับดังนี้ คือ ร้อยละ 0, 20, 40, 80 และ 100 ของน้ำหนักดิน จากการศึกษาคุณสมบัติของอิฐในแต่ละสูตร โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 77-2531 ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบดังนี้คือ การทดสอบการดูดซึมน้ำ การรับกำลังอัด และความคลาดเคลื่อนตามยาว กว้าง และหนา พบว่าอิฐที่มีการผสมตะกอนไม่เกินร้อยละ 40 คือสูตรที่ 1-3 สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดทุกการทดสอบ แต่ในสูตรที่มีปริมาณตะกอนมากกว่าร้อยละ 40 สูตรที่ 4-6 นั้นไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดเนื่องจากผลการทดสอบ การดูดซึมน้ำ การรับกำลังอัด และ ความคลาดเคลื่อนตามความยาว กว้าง และหนา ไม่ผ่านค่ามาตรฐานตามที่ มอก.77-2531 กำหนด และเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐจากดินเหนียวจะมีน้ำหนักลดลงร้อยละ 33 ของน้ำหนัก

สมเกียรติ (2541) ได้ศึกษาพบว่า การเพิ่มคุณภาพของอิฐมอญ ที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปาโดยใช้สารเคมีผสมเพิ่ม ได้แก่ เถ้าลอย หินภูเขาไฟเนื้อแก้วและปูนขาว จากการทดลองพบว่า เถ้าลอยเป็นสารผสมเพิ่มที่สามารถทำให้ลูกดินสามารถรับกำลังอัดได้สูงที่สุดจึงพิจารณานำ เถ้าลอยมาเป็นสารผสมเพิ่มในการผลิตอิฐมอญ โดยแบ่งอัตราส่วนผสมออกเป็น 2 สูตร ซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบเป็นดินเหนียว ตะกอน เถ้าลอย ใช้อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักดังนี้ สูตรที่ 1 (27.5:70:10) ผสมจีเถ้าแกลบร้อยละ 10 ของอัตราส่วนผสมทั้งหมด ได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.77-2531 ได้ผลดังนี้ปริมาณเถ้าลอยที่ร้อยละ 2.5 และร้อยละ 10 ทำให้อิฐสามารถรับกำลังแรงอัดได้สูงกว่าที่ มอก.77-2531 กำหนดไว้ โดยอิฐที่ผลิตได้จากการผสมเถ้าลอยที่ร้อยละ 2.5 และร้อยละ 10 มีน้ำหนักเบากว่าอิฐที่ผลิตได้ทั่วไปร้อยละ 16-20 และสามารถใช้น้ำประปาได้สูงถึงร้อยละ 70 ทำให้อิฐสามารถผ่าน มอก.77-2531 ซึ่งสามารถทำให้ปริมาณตะกอนที่มีอยู่มากให้มีปริมาณลดน้อยลงได้

กรณ์ชัย และคณะ (2548) ได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำตะกอนประปาเพื่อนำมาใช้เป็นสารปอชโซลาน การหาค่ากำลังอัดประลัยของก้อนบล็อกลอนกรีตปูพื้นที่มีตะกอนประปาเป็นส่วนผสม และเปรียบเทียบกำลังอัดประลัยกับก้อนตัวอย่างมาตรฐาน ซึ่งมีการทดสอบโดยการนำตะกอนประปามาใช้ผสมบล็อกลอนกรีตปูพื้น ในปริมาณตะกอนประปา ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับหินเกร็ด บ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน จากนั้น ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตปูพื้นธรรมดา ผลการทดลองพบว่า บล็อกลอนกรีตปูพื้นผสมตะกอนประปา ร้อยละ 10 ที่ค่าน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.6 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบครั้งนี้ ซึ่งผลทดสอบที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน มีดังนี้คือ กำลังอัดประลัยมีค่า 407.52 กก./ซม² ความหนาแน่นมีค่า 2540 กก./ม³ ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าร้อยละ 4.03 ซึ่งมีกำลังอัดประลัยน้อยกว่าก้อนบล็อกลอนกรีตปูพื้นธรรมดา เท่ากับ 22.4 กก./ซม² จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ตะกอนประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอชโซลาน ในการทำบล็อกลอนกรีตปูพื้นได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำอิฐมวลเบา

Phaiboon (2008) การนำขยะ Thermosetting plastic กลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา ซึ่งเป็นพลาสติกประเภทที่ไม่สามารถย่อยสลายหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มาใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตอิฐ มวลเบา โดยในขั้นตอนการทดลองได้ทำการหาค่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตอิฐ มวลเบา ซึ่งประกอบด้วย พลาสติกเมลามีน ทราช น้ำ เกล็ดอลูมิเนียม และผงอลูมิเนียม สำหรับคุณสมบัติของอิฐมวลเบาที่นำมาพิจารณา คือ ค่าการรับแรงอัด และค่าความหนาแน่น จากผลการทดลอง พบว่า การผสมพลาสติกเมลามีนในการผลิตอิฐมวลเบาจะทำให้ค่าการรับแรงอัดและค่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบาลดลง และอัตราส่วนผสมระหว่าง พลาสติก เมลามีน : ทราช : น้ำ : เกล็ดอลูมิเนียม : ผงอลูมิเนียม ที่เหมาะสม เท่ากับ 0.9 : 0.8 : 0.75 : 0.3 : 0.0035 ซึ่งอิฐมวลเบาที่ ผลิตได้จากอัตราส่วนผสมดังกล่าวมีค่าการรับแรงอัดเท่ากับ 4.14 N/mm² และค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1395 kg/m³ ตามลำดับ โดยค่าที่ได้สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ASTM C129-05 ประเภทที่ 2 สำหรับอิฐมวลเบาที่ใช้ในงานที่ไม่ต้องรับแรงกดทับ

Tanyildizi, H. และ Coskun, A. (2008) จากการศึกษาคุณสมบัติการรับกำลังอัดและการรับค่าแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของผงซิลิกาภายใต้การบ่มในอุณหภูมิสูงโดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติร่วมด้วย โดยได้ทำการทดลองหาอัตราส่วนผสมของผงซิลิกา ได้ดังนี้ 0% , 10%, 20% และ 30% ภายใต้การให้อุณหภูมิ 200 , 400 และ 800 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นนำก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ได้มาทดสอบหาค่าการรับกำลังอัดและการรับแรงดึง นำมาเทียบกับวิธีทาคุชิ (Taguchi) L₁₆ (4⁵) ที่ช่วยลดจำนวนการทดลอง ปัจจัยที่ควบคุมการทดลองนี้คือ ผงซิลิกาและค่าความร้อนที่ได้จากการเผา นำผลการทดสอบพบว่าวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยโดยวิธีโอโนวา

Tommy Y. Lo, W.C. Tang และ H.Z. Cui (2007) งานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยหลายอย่าง ในส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา 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%

X.C. Qiao a., B.R. Ng a, M. Tyrer b, C.S. Poon c, C.R. Cheeseman (2008) ทำการศึกษานาฬิกาของเถ้าแก้ว (14-40 มม.) จากโรงไฟฟ้าและทำการบดให้มีขนาดน้อยกว่า 5 มม. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 600, 700, 800 และ 900 องศาเซลเซียส การใช้ความร้อนสูงสามารถช่วยให้ลดปริมาณคาร์บอนและช่วยเพิ่มปริมาณ wollastonite ($CaSiO_3$), mayenite ($Ca_{12}Al_{14}O_{33}$) and gehlenite ($Ca_2Al_2SiO_7$). จากนั้นนำผงเถ้าแก้วที่เตรียมได้มาผสมกับปูนซีเมนต์ที่มีการใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆ และที่อัตราส่วนต่ำกว่าซีเมนต์กับปูนขาวในปริมาณต่างๆด้วยเช่นกัน ทำการหาค่าการขยายตัวของตัวอย่างและค่าการรับกำลังอัด จากการทดลองพบว่าการขยายตัวของก้อนตัวอย่างในทุกชุดการทดลอง ค่าการรับกำลังอัดของวัสดุมวลเบา (ค่าความหนาแน่นน้อยกว่า 1.8 กรัม/ลบ.ซม.) ที่อายุบ่ม 28 วัน ที่ค่ามากกว่า 10 เมกะปาสกาล ในตัวอย่างที่เตรียมจากซีเมนต์ 20 % และ 80 % เถ้าแก้วที่เผาอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ($w/c = 0.20$) การขยายตัวของตัวอย่างเกิดจากก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียมที่มีอยู่ในเถ้าแก้ว นอกจากนั้นยังพบว่าผลึกที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่บ่ม 28 วัน คือ portlandite ($Ca(OH)_2$), calcite ($CaCO_3$) calcium aluminate carbonate hydrates ($Ca_4Al_2O_6(CO_3)_{0.5} \cdot 12 H_2O$ และ $Ca_8Al_4O_{14}CO_2 \cdot 24H_2O$)

Sancak, E., Dursun S.Y., Simsek, O., (2008) ทำการศึกษาโครงสร้างของคอนกรีตมวลเบาที่ทำจาก Pumice และ คอนกรีตธรรมดา วัดค่าการรับกำลังอัดและการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างหลังจากนำไปเผาที่อุณหภูมิ 20, 100, 400, 800 และ 1000 องศาเซลเซียส ส่วนผสมมีทั้งหมด 12 อัตราส่วน ซึ่งมีความแตกต่างกันที่ปริมาณผงซิลิกาที่นำมาแทนที่ซีเมนต์ปริมาณ 0%, 5% และ 10%

โดยน้ำหนัก มีการเติมสาร superplasticizers (SP) ทั้งหมด 6 อัตราส่วน อัตราส่วนละ 2 % โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาเบากว่าคอนกรีตธรรมดาถึง 23 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเติม 2% ของ SP พบว่ามีค่าการรับกำลังอัดน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา 38 % การลดลงของค่าการรับกำลังอัดมีมากขึ้นนั้นขึ้นกับอัตราส่วนของการใช้ผงซิลิกาและอุณหภูมิที่มากกว่า 800 องศาเซลเซียสขึ้นไป

Tayfun, C. Mehmet, T. (2007) จากปริมาณเถ้าลอยในประเทศตุรกีที่มีมากถึง 10 ล้านตันต่อปี จากโรงไฟฟ้าถ่านหินนั้น มีการนำมาใช้ในงานโครงสร้างเพื่อทดแทนซีเมนต์ ดังนั้นการศึกษานี้การทำอิฐมวลเบาจากเถ้าลอย ทรายและปูนขาว โดยกระตุ้นด้วยการบ่มความร้อนสูง พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ ปริมาณเถ้าลอย 60 % ทราย 20 % และ ปูนขาว 12 % ใช้แรงกดขึ้นรูปที่ 20 เมกะปาสกาล ระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่มความร้อนคือ 6 ชั่วโมง และความดัน 105 เมกะปาสกาล มีค่าการรับกำลังอัด 10.25 เมกะปาสกาล ความหนาแน่น 1.14 กรัมต่อ ลบ.ซม. การดูดซึมน้ำ 40.5% และค่าการนำความร้อน $0.34 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. น้ำประปา
2. ปูนขาว ชนิด Hydrate Lime
3. ตะกอนประปาจากการประปาส่วนภูมิภาค จังหวัด มหาสารคาม
4. ผงอลูมิเนียม
5. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ทรานกอินทรีย์
6. ทรายคัดขนาด
7. กรดไนตริกเข้มข้น
8. โซเดียมซิเตรต
9. กรดอะซิติก

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องผสมวัสดุ
2. เครื่องชั่งละเอียด
3. เครื่องบดตัวอย่าง LA
4. ชุดทดสอบแรงอัด (universal testing machine)
5. แบบหล่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5x5x5 เซนติเมตร
6. เกรียง ช้อนตักสาร ถูมือยาง
7. เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
8. เครื่องเขย่าสาร (table shaker)
9. ตะแกรงร่อน
10. เกรียง ช้อนตักสาร ถูมือยาง ถูพลาสติกกรองไน หนังกยาง จุกยาง
11. ขวดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 25 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร
12. ขวดปริมาตรทรงกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร
13. กรวยกรอง (funnel)
14. ปิเปต (pipette)
- 15.
16. กระดาษกรอง
17. แท่งแก้ว (glass rod)

18.

19. ปีกเกอร์ขนาดต่างๆ (beaker)

3. การเตรียมวัสดุ**การเตรียมตะกอนประปา**

ตะกอนประปาจากประปาส่วนภูมิภาค จังหวัดมหาสารคามมาผึ่งแดดให้แห้งก่อนนำไปบด
ลดขนาดด้วยเครื่องบดและนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 120

การเตรียมปูนขาว

นำปูนขาวที่จะใช้มาร่อนด้วยเครื่องร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 120

4. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม

ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างซีเมนต์ ปูนขาวและตะกอนประปาโดยมีขั้นตอน
การทดลองดังต่อไปนี้

5. การออกแบบการทดลอง

ตารางที่ 2-7 การศึกษาปริมาณทรายที่เหมาะสม

ซีเมนต์	ทราย	น้ำ (w/c)	ตะกอนประปา	ปูนขาว	ผงอลูมิเนียม
1.0	0.5	0.75	0.1	0.1	0.004
1.0	0.6	0.75	0.1	0.1	0.004
1.0	0.7	0.75	0.1	0.1	0.004
1.0	0.8	0.75	0.1	0.1	0.004
1.0	0.9	0.75	0.1	0.1	0.004
1.0	1.0	0.75	0.1	0.1	0.004

ตารางที่ 2-8 ศึกษาปริมาณน้ำที่เหมาะสม

ซีเมนต์	ทราย	น้ำ	ตะกอนประปา	ปูนขาว	ผงอลูมิเนียม
1.0	A	0.60	0.1	0.1	0.004
1.0	A	0.65	0.1	0.1	0.004
1.0	A	0.70	0.1	0.1	0.004
1.0	A	0.75	0.1	0.1	0.004

1.0	A	0.80	0.1	0.1	0.004
1.0	A	0.85	0.1	0.1	0.004

ตารางที่ 2-9 ศึกษาปริมาณตะกอนประปาที่เหมาะสม

ซีเมนต์	ทราย	น้ำ	ตะกอนประปา	ปูนขาว	ผงอลูมิเนียม
1.0	A	B	0.1	0.1	0.004
1.0	A	B	0.2	0.1	0.004
1.0	A	B	0.3	0.1	0.004
1.0	A	B	0.4	0.1	0.004
1.0	A	B	0.5	0.1	0.004
1.0	A	B	0.6	0.1	0.004

ตารางที่ 2-10 ศึกษาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสม

ซีเมนต์	ทราย	น้ำ	ตะกอนประปา	ปูนขาว	ผงอลูมิเนียม
1.0	A	B	C	0.1	0.004
1.0	A	B	C	0.2	0.004
1.0	A	B	C	0.3	0.004
1.0	A	B	C	0.4	0.004
1.0	A	B	C	0.5	0.004
1.0	A	B	C	0.6	0.004

ตารางที่ 2-11 ศึกษาปริมาณผงอลูมิเนียมที่เหมาะสม

ซีเมนต์	ทราย	น้ำ	ตะกอนประปา	ปูนขาว	ผงอลูมิเนียม
1.0	A	B	C	D	0.0025
1.0	A	B	C	D	0.0030
1.0	A	B	C	D	0.0035
1.0	A	B	C	D	0.0040
1.0	A	B	C	D	0.0045
1.0	A	B	C	D	0.0050

A คือ ปริมาณทรายที่เหมาะสมจากการผลทดลองในตารางที่ 2-7

B คือ ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจากการผลทดลองในตารางที่ 2-8

C คือ ปริมาณตะกอนประปาที่เหมาะสมจากการผลทดลองในตารางที่ 2-9

D คือ ปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมจากการผลทดลองในตารางที่ 2-10

6. การทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่าง

6.1 การทดสอบการดูดกลืนน้ำตามมาตรฐาน TIS 1505-2541 ของก้อนตัวอย่างจากอัตราส่วนที่เหมาะสม

6.2 การทดสอบการรั่วไหลของโลหะหนัก WET ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ.2548.ของก้อนตัวอย่างจากอัตราส่วนที่เหมาะสม

6.3 การทดสอบการรั่วไหลของโลหะหนักด้วยวิธี TCLP ตามมาตรฐาน USEPA ของก้อนตัวอย่างจากอัตราส่วนที่เหมาะสม

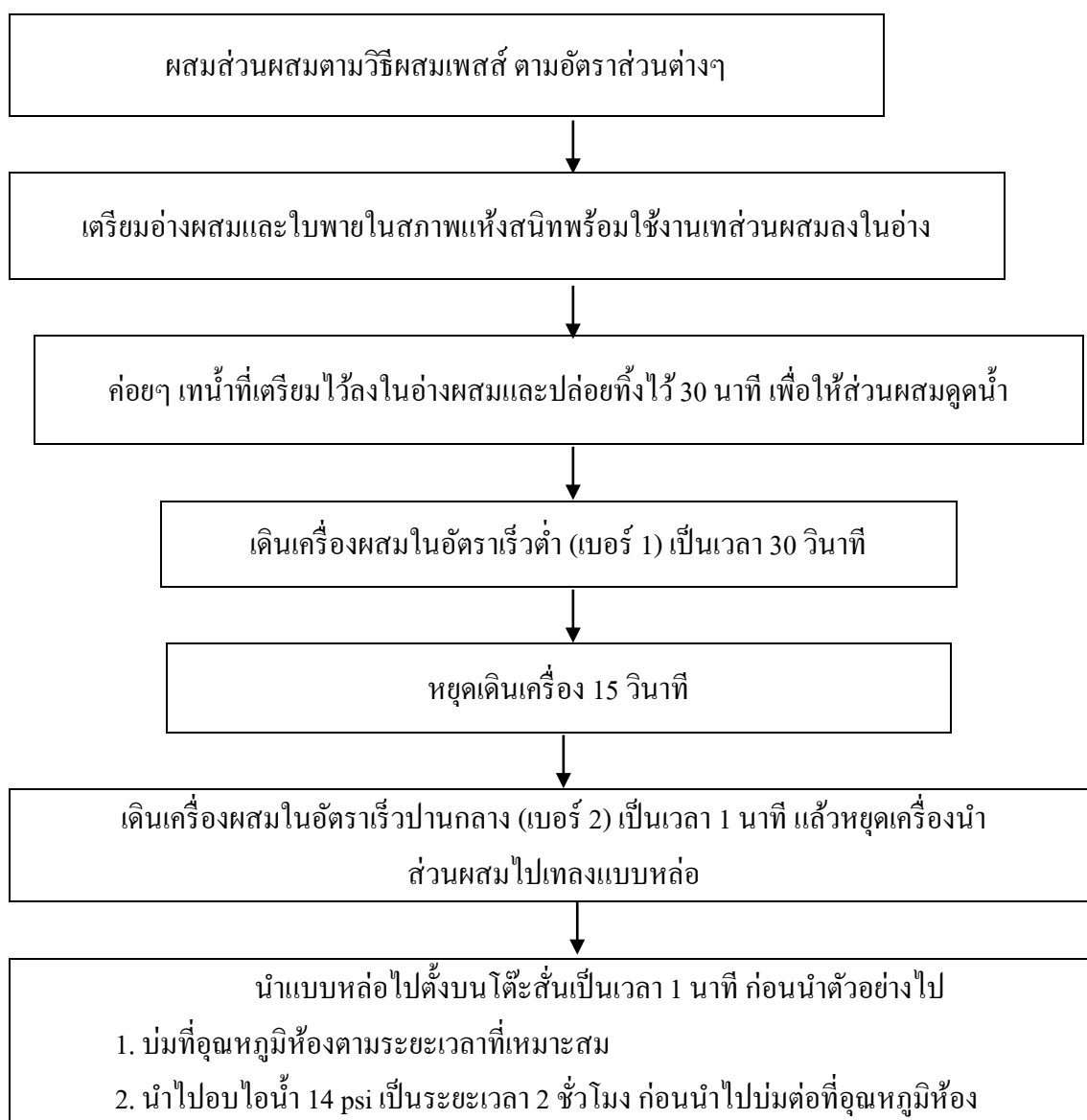
7. การศึกษาเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา

7.1 ผสมตามวิธีมาตรฐาน

เทลงในแบบ ขนาดเส้นผ่าน 5x5x5 ซม. ก่อนนำไปทดสอบค่าการรับกำลังอัดและค่าความหนาแน่นหลังจากบ่มเป็นเวลา 7 และ 28 วัน ในทุกขั้นตอนของการทดลอง

วิธีการผสม

ผสมส่วนผสมตามวิธีผสมคอนกรีต ที่ออกแบบไว้ (ตารางที่ 3-1) เตรียมอ่างผสมและใบพายในสภาพแห้งสนิทพร้อมใช้งาน เทวัสดุที่ตวงไว้ลงในอ่างผสม ค่อยๆ เทน้ำที่เตรียมไว้ลงในอ่างผสมและปล่อยทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้ส่วนผสมทั้งหมดดูดซับน้ำ แล้วเดินเครื่องผสมในอัตราเร็วต่ำ (เบอร์ 1) เป็นเวลา 30 วินาที หยุดเครื่อง 15 วินาที แล้วเดินเครื่องผสมในอัตราเร็วปานกลาง (เบอร์ 2) เป็นเวลา 1 นาที หยุดเครื่องนำส่วนผสมไปเทลงแบบหล่อที่เตรียมไว้ ก่อนนำแบบที่บรรจุของผสมไปตั้งบนโต๊ะสั่นเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำถุงพลาสติกปิดคลุมผิวหน้าเพื่อนำไปบ่มอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาต่างๆและนำไปบ่มไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนบ่มต่อที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาต่างๆ กัน



ภาพที่ 2-5 ขั้นตอนการศึกษาเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา

7.2 การทดสอบค่าการรับกำลังอัด ตาม TIS 1505-2541

หลังจากบ่มชิ้นทดสอบอิฐบล็อก ขนาด $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ในน้ำเป็นเวลา 28 วันจะนำตัวอย่างอิฐบล็อกออกมาตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง 24 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบหาความต้านการอัด ด้วยเครื่องทดสอบความต้านการอัดของคอนกรีต เริ่มด้วยการนำชิ้นทดสอบอิฐบล็อกวางไว้ระหว่างแท่นเครื่อง (plate) บนและล่าง หลังจากนั้นเริ่มเดินเครื่องเพื่อให้เกิดชิ้นทดสอบในแนวตั้งฉาก

กับด้านยาวของชั้นทดสอบซึ่งจะได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชั้นทดสอบแตก โดยแต่ละสูตรจะใช้ตัวอย่างชั้นทดสอบ จำนวน 5 ชิ้น ทำการคำนวณหาค่าความต้านการอัด โดยใช้สูตรตามสมการ

$$\text{ค่าความต้านการอัด (กก./ตร.ซม.)} = \text{แรงอัดสูงสุด} / \text{พื้นที่หน้าตัดชั้นทดสอบ}$$

7.3 การทดสอบความหนาแน่น ตาม TIS 1505-2541

นำตัวอย่างที่เตรียมได้มาทดสอบความหนาแน่นตาม มาตรฐาน มอก.1505-2541

การเตรียมชั้นทดสอบ

นำตัวอย่างที่เตรียมได้มาทดสอบความหนาแน่นตาม มาตรฐาน มอก.1505-2541 โดยเตรียมชั้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด $5 \times 5 \times 5$ มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ± 1 มิลลิเมตร ในกรณีชั้นทดสอบมีความน้อยกว่าที่กำหนดให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนาแน่น

เครื่องมือ

1. เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร
2. เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม
3. ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 105 ± 5 องศาเซลเซียส

วิธีทดสอบ

ให้วัดปริมาตรและมวลของชั้นทดสอบหลังอบในตู้อบ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การรายงานผล

ให้รายงานความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชั้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ย จากสูตร

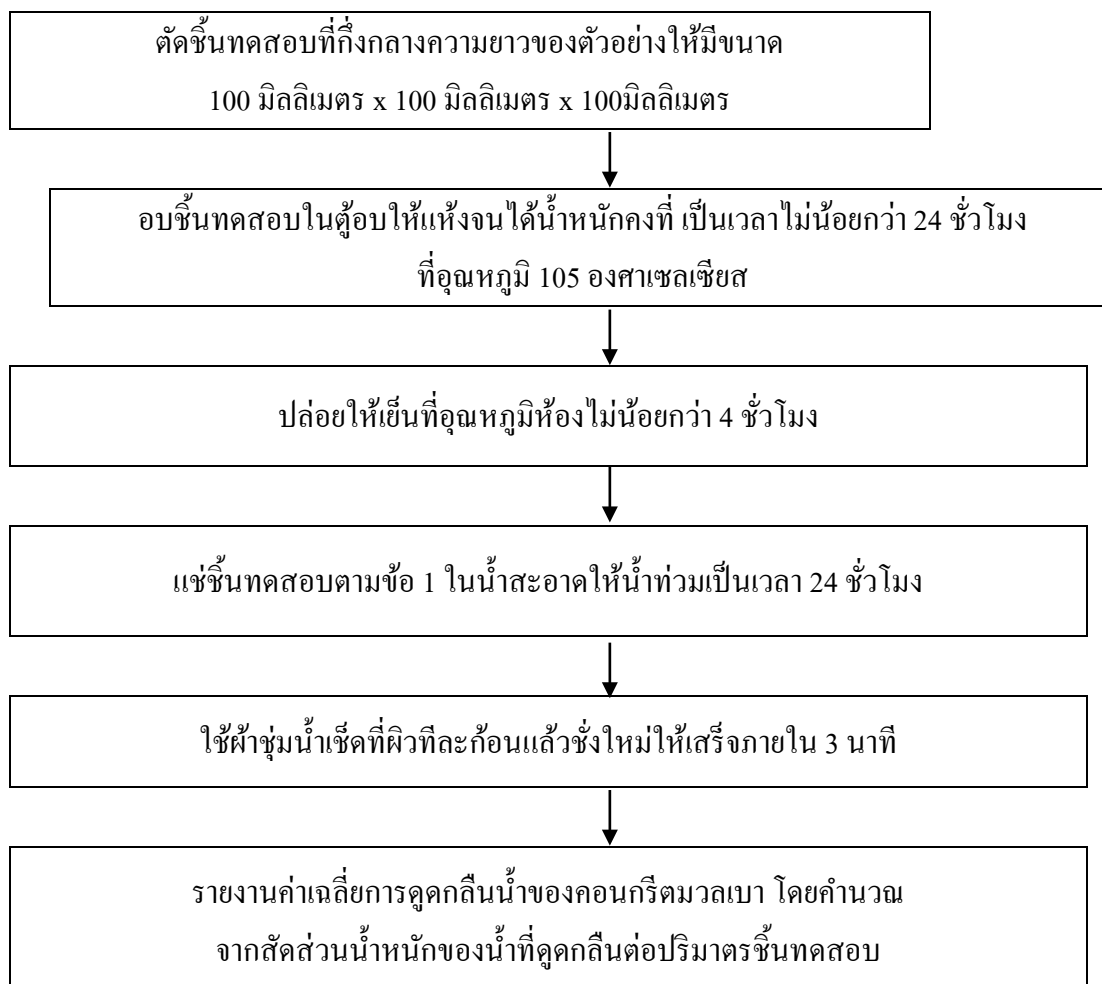
$$\text{ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง} = \frac{\text{มวลของชั้นทดสอบหลังอบในตู้อบ}}{\text{ปริมาตรของชั้นทดสอบ}}$$

7.4 การทดสอบการดูดกลืนน้ำ ตาม TIS 1505-2541

หลังจากบ่มชั้นทดสอบอิฐในท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 10 ซม. ในน้ำครบ 28 วัน จะนำตัวอย่างอิฐบล็อก ตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง 24 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างอิฐบล็อกโดยการอบชั้นทดสอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง ทำการวัดค่ามวลและปริมาตรของชั้นทดสอบ ซึ่งจะใช้จำนวนชั้นทดสอบทั้งหมด 5 ชิ้น หลังจากนั้นทำการแช่ชั้นทดสอบในน้ำให้ท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วยกชั้นทดสอบออก ใช้ผ้าชุมน้ำเช็ดที่ผิวชั้นทดสอบแต่ละก้อนและทำการชั่งชั้นทดสอบ

ใหม่ให้เสร็จภายในเวลา 3 นาที ทำการคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ ค่าการดูดซึมน้ำของชั้นทดสอบอิฐบล็อกจะต้องไม่เกิน 500 กก./ลบ.ม. ตาม มอก. 1505-2541

$$\text{การดูดซึมน้ำ (กก./ลบ.ม.)} = \frac{(\text{มวลหลังแช่น้ำ} - \text{มวลหลังอบ}) \times 100}{\text{มวลหลังแช่น้ำ}}$$



ภาพที่ 2-6 ขั้นตอนการทดสอบการดูดกลืนน้ำ ตาม TIS 1505-2541

7.5 การทดสอบ WET ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ปี 2548

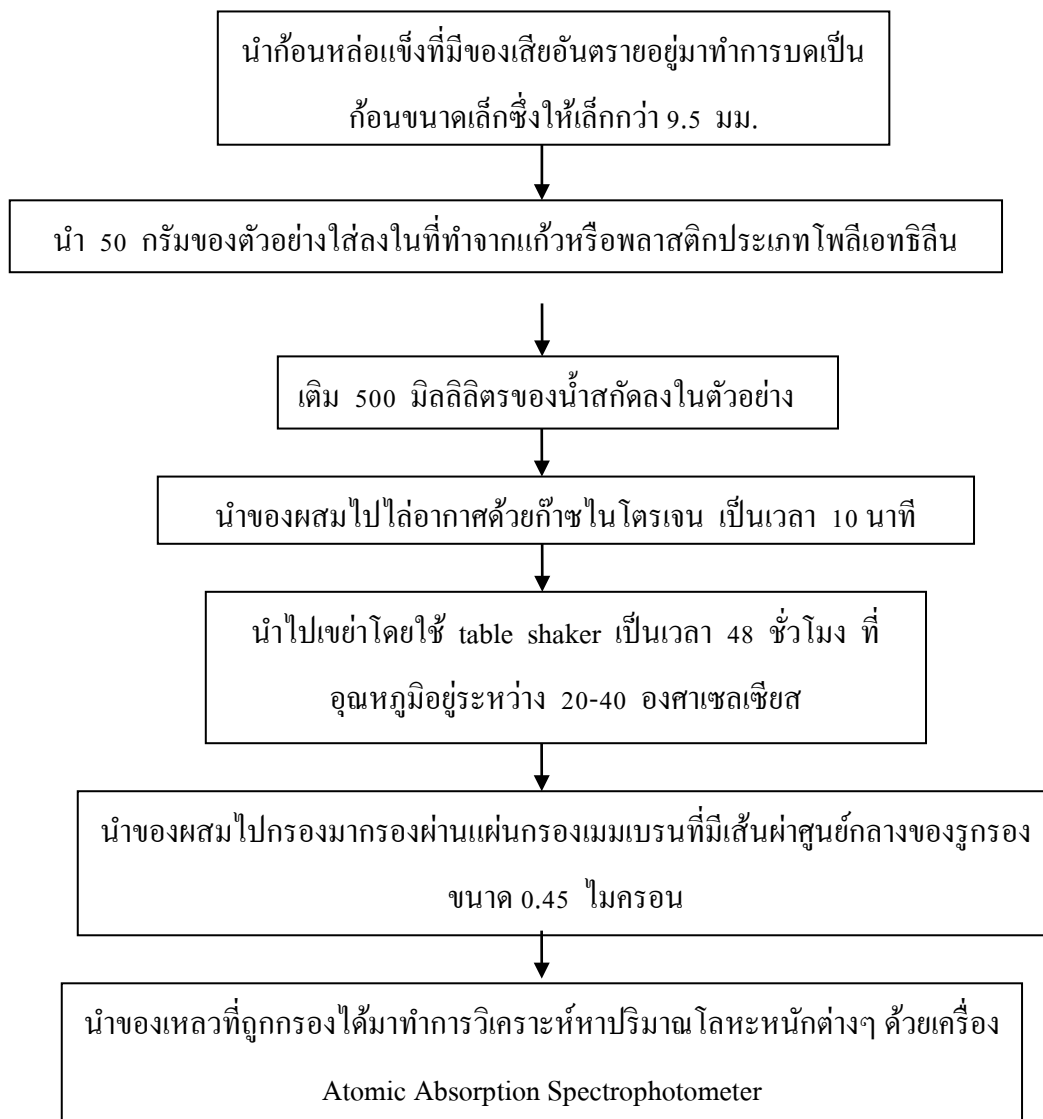
นำก้อนตัวอย่างที่เตรียมได้มาทดสอบการรั่วไหลของโลหะหนักด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) ดังนี้

1. นำ 50 กรัมของตัวอย่างใส่ลงในภาชนะที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน ล้างภาชนะที่ใช้ในการสกัดด้วยสารละลายกรดไนตริก
2. เติม 500 มิลลิลิตรของน้ำสกัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในตัวอย่าง จากนั้นนำของผสมไปใส่ภาชนะด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 10 นาที เพื่อไล่ออกซิเจนในน้ำสกัดและป้องกัน

ไม่ให้ออกซิเจนในอากาศละลายลงไปในตัวอย่าง ทำการปิดฝาภาชนะอย่างรวดเร็ว และนำไปเขย่าโดยใช้ table shaker ให้ของผสมอยู่ในสภาพถูกกวนผสมอยู่ตลอดเวลาเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3. จากนั้นนำเอาของผสมไปกรองแล้วนำมารองผ่านแผ่นกรองเมมเบรน (membrane filter) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูกรอง 0.45 ไมครอน
4. ควรปรับอุณหภูมิในระหว่างการสกัดให้อยู่ระหว่าง 20-40 องศาเซลเซียส
5. นำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Adsorption Spectroscopy

Spectroscopy

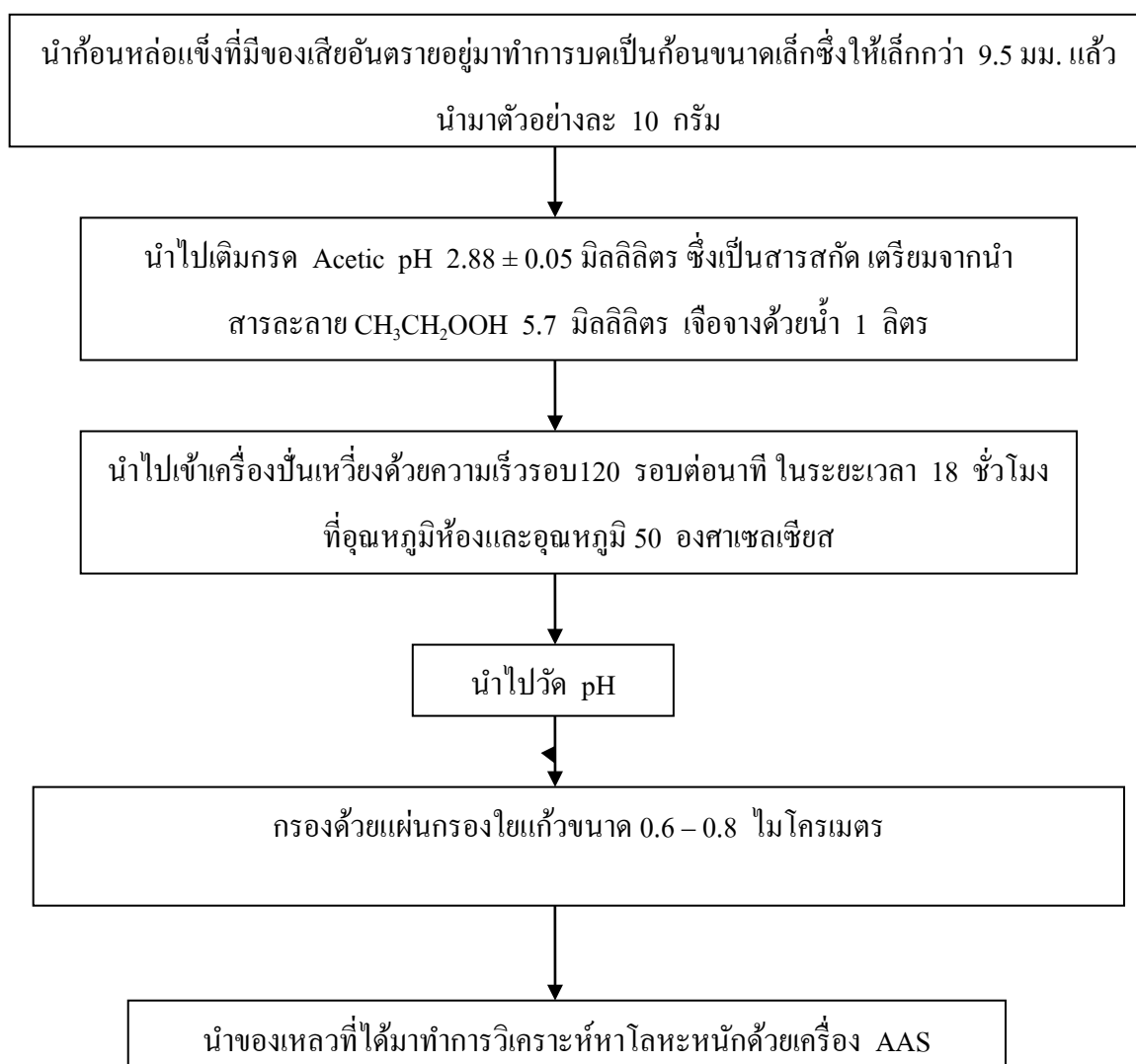


ภาพที่ 2-7 ขั้นตอนการทดสอบการรั่วไหลของโลหะหนักด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET)

7.6 การทดสอบ TCLP ตามเกณฑ์มาตรฐาน USEPA

การทดสอบการชะละลายโลหะหนักด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (EPA method 1311)

นำก้อนหล่อแข็งที่มีของเสียอันตรายอยู่มาทำการบดเป็นก้อนขนาดเล็กซึ่งให้เล็กกว่า 9.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปผสมกับกรด Acetic pH 2.88 ± 0.05 ซึ่งเป็นสารสกัดเตรียมจากน้ำสารละลาย $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OOH}$ 5.7 มิลลิตร เจือจางด้วยน้ำ 1 ลิตร จากนั้นนำไปใส่ไว้ในขวดแล้วทำการหมุนขวด 120 รอบต่อนาที ในระยะเวลา 18 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นำไปวัด pH แล้วกรองด้วยแผ่นกรองใยแก้วขนาด 0.6 – 0.8 ไมครอนเมตร นำของเหลวที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาโลหะหนักต่างๆ หากผลการวิเคราะห์เกินมาตรฐานแสดงว่าไม่ผ่านการปรับเสถียรและ การทำก้อนแข็งที่เหมาะสม



ภาพที่ 2-8 ขั้นตอนการทดสอบการชะละลายโลหะหนักด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching

ผลการวิจัย อภิปรายและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาการนำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามาใช้ในการผลิตคอนกรีต มวลเบาโดยการนำเอาตะกอนประปาผสมกับปูนขาว ทราายในอัตราส่วนที่ต่างกันและใช้ผงอลูมิเนียมเป็นสารเพิ่มฟองอากาศ นำก้อนตัวอย่างบ่มที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา และเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1505-2541 และ 58-2530 จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปทดสอบการรั่วไหลของโลหะหนัก ด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว ปี 2548 และวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) ตามมาตรฐานของ USEPA โดยการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตมีดังนี้

1. การศึกษาคุณสมบัติของตะกอนประปาด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

ตารางที่ 2-12 การศึกษาคุณสมบัติของตะกอนประปาด้วยเครื่อง (XRF)

องค์ประกอบของตะกอนประปา	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
SiO ₂	35.10
Al ₂ O ₃	18.30
Fe ₂ O ₃	37.52
SO ₃	1.98
LOI	0.79

วิเคราะห์โดย ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากตารางที่ 2-12 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนประปาที่วิเคราะห์ด้วยวิธี XRF (X-Ray Fluorescence Spectrometer) ซึ่งส่งวิเคราะห์ ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา พบองค์ประกอบทางเคมีของ

ตะกอนประปาดังนี้ ซิลิกา อลูมินา และเหล็กออกไซด์ ที่มีปริมาณ 35.1, 18.3 และ 37.52 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อนำองค์ประกอบทั้ง 3 มารวมกัน มีปริมาณที่เกินร้อยละ 70 ซึ่งเป็นค่าบ่งชี้ถึงความเปราะบางของวัสดุและเป็นปริมาณที่เป็นไปตามข้อกำหนด ตามมาตรฐาน ASTM C618

จากผลการทดสอบนี้เป็นการยืนยันได้ว่าตะกอนประปามีองค์ประกอบที่สามารถนำไปทดแทนซีเมนต์ได้ ดังนั้น การใช้ตะกอนประปาในการทดแทนซีเมนต์จึงเป็นแนวทางในการลดปัญหาของตะกอนประปาที่มีปริมาณมากจนเกินไป และช่วยลดต้นทุนในการใช้ปูนซีเมนต์ ซึ่งปัจจุบันมีราคาที่สูง และจากการศึกษาของ คุณากรและจักรพล (2550) ที่ศึกษาค่าดัชนีกำลังอัดของตะกอนประปา พบว่ามีค่าไม่ต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับซีเมนต์ควบคุม ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ตามลำดับ โดยเป็นไปตามเกณฑ์ของวัสดุพอลิเมอร์ตามมาตรฐาน ASTM C 618

2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์ ตะกอนประปาและปูนขาว

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนตะกอนประปาและปูนขาวโดยการทดสอบค่ารับกำลังอัด โดยการศึกษาของศุภพันธุ์และธนาภรณ์(2553) ที่อัตราส่วนต่างๆ ของตะกอนประปาและปูนขาว (CaO) ที่ 60:40 , 55:45 , 50:50 , 45:55 และ 40:60 โดยให้ปริมาณทราย ปริมาณน้ำ และปริมาณผงอลูมิเนียมผงที่ 0.5 , 0.75 และ 0.004 โดยน้ำหนักตามลำดับ พบว่าเมื่อหล่อแบบตัวอย่างลงในท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 10 ซม. และบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 และ 28 วัน ก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาสามารถเซตตัวแข็งได้เร็วเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงทำให้ความร้อนในปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้นและก้อนตัวอย่างยังมีลักษณะเป็นรูพรุนเนื่องจากฟองอากาศจากก๊าซไฮโดรเจน แต่เมื่อถอดจากแบบก้อนตัวอย่างมีสภาพเปราะ และแตกหักได้ง่าย จึงสรุปได้ว่าการใช้ตะกอนประปาและปูนขาวโดยไม่มีซีเมนต์เป็นส่วนผสมอาจจะทำให้การเกาะตัวกันของก้อนตัวอย่างเกิดขึ้นได้ไม่ดีเนื่องจากปูนขาวทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อย่างรวดเร็ว ผู้วิจัยจึงได้เพิ่มซีเมนต์ในส่วนผสมที่ปริมาณ 0.30, 0.35 และ 0.40 ตามลำดับ เพื่อเพิ่มความสามารถในการก่อตัวและเพิ่มความแข็งแรงให้กับก้อนตัวอย่าง ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีการใช้ซีเมนต์เป็นส่วนผสมเพิ่มเติมในทุกอัตราส่วนในการทดลองขั้นต่อไป

3. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการศึกษาทำคอนกรีตมวลเบา

1) เตรียมส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา (ปูนซีเมนต์: ทราย: น้ำ: ตะกอนประปา: ปูนขาว: ผงอลูมิเนียม) ตามอัตราส่วนที่กำหนดดังตารางที่ 1-5 ซึ่งเป็นการหาสัดส่วนที่เหมาะสมตามขั้นตอน โดยกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาได้แก่ ปริมาณทราย น้ำ ตะกอนประปา ปูนขาว และผงอลูมิเนียม

2) ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องผสม แล้วค่อยๆ เทน้ำลงไปตามอัตราส่วนในตารางที่ได้ ตามลำดับ

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

จากตารางการทดลองจะนำตัวอย่างไปทดสอบค่าการรับกำลังอัด ค่าความหนาแน่น ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน และค่าการดูดกลืนน้ำ ที่อายุบ่ม 28 วัน ตามลำดับ ตามตารางที่ 2-7 ถึง 2-11

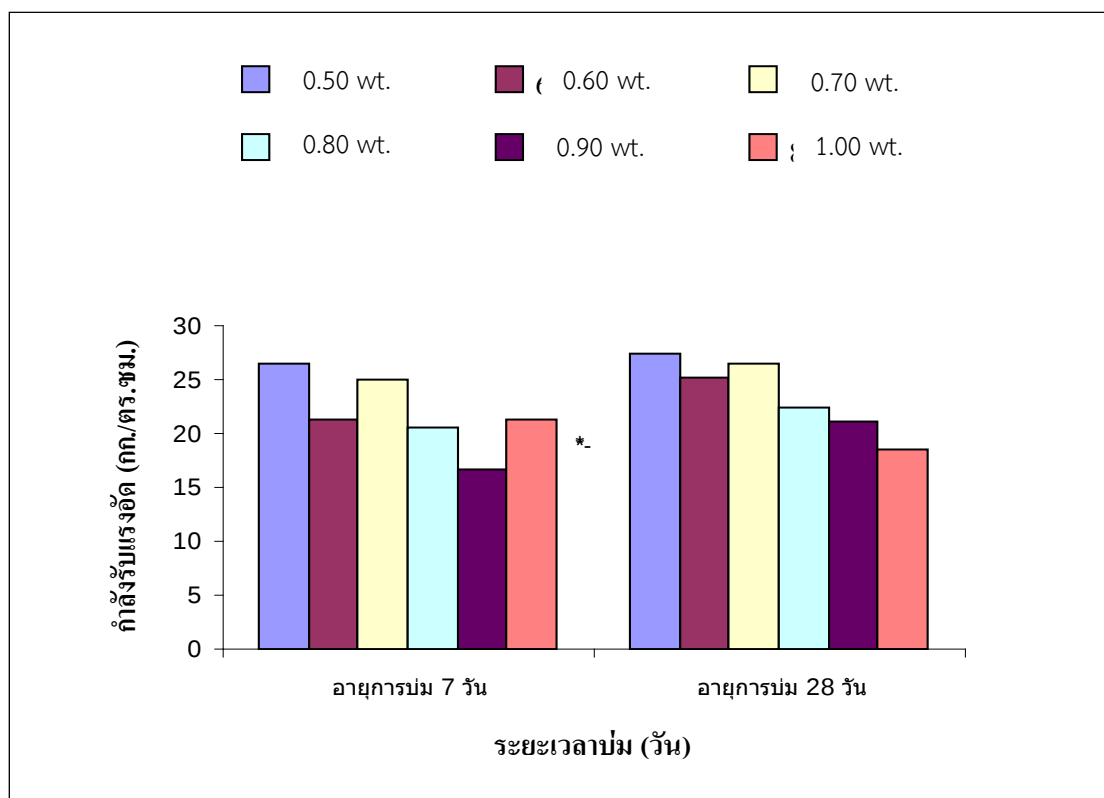
4. ผลการศึกษาการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม

การศึกษาคูณสมของคอนกรีตมวลเบาในการศึกษานี้ เริ่มจากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1505-2541 (ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ) และ มอก. 58-2533 (คอนกรีตบล็อกมวลเบาไม่รับน้ำหนัก) ได้แก่ ค่าการรับกำลังอัด ความหนาแน่น และค่าการดูดกลืนน้ำ โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมนั้นเป็นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาได้แก่ อัตราส่วนระหว่างตะกอนประปาและปูนขาว ปริมาณทราย ปริมาณน้ำ และปริมาณผงอลูมิเนียม เป็นต้น โดยผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

5. อิทธิพลของปริมาณทราย

5.1 อิทธิพลของปริมาณทรายมีต่อค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาปริมาณน้ำที่มีต่อค่ารับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่บ่มที่อุณหภูมิห้อง ได้ทำการเลือกปริมาณน้ำที่ 60 เปอร์เซนต์ มาทดลองต่อโดยปรับเปลี่ยนปริมาณทราย ดังแสดงในภาพที่ 2-9 พบว่าปริมาณทรายที่ 50 เปอร์เซนต์ มีค่ารับกำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 22.85 และ 36.32 กก./ซม² ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ส่วนตารางที่ 7 ที่แสดงถึงอัตราส่วนที่ผสมในแต่ละชุดตัวอย่าง ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน และค่าการดูดกลืนน้ำ ที่อายุบ่ม 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่าทุกอัตราส่วนมีค่ารับกำลังอัดไม่ผ่าน มอก 1505-2541 และ มอก 58-2533 โดยปกติการเพิ่มทรายในส่วนผสมสามารถช่วยให้ค่าการรับกำลังอัดสูงขึ้น โดยทรายไปทำหน้าที่ช่วยยึดและตรึงโครงสร้างภายในได้ดี (Phaiboon และ Mallika , 2008) แต่ถ้าใช้ทรายมากเกินไปในส่วนผสมจะทำให้ไม่เกิดการยึดเกาะกันจึงทำให้มีโครงสร้างที่ไม่แข็งแรงและยังส่งผลให้ค่ารับกำลังอัดลดลงอีกด้วย



ภาพที่ 2-9 ค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เพิ่มปริมาณทราย อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

5.2 อิทธิพลของปริมาณทราย ที่มีต่อความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาค่าความหนาแน่นตามปริมาณทรายที่เหมาะสมดังตารางที่ 2-13 พบว่าที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1010 – 1280 กก./ม³ ส่วนอายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1020 – 1110 กก./ม³ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ดีที่สุดกับ มอก ทั้ง 2 แบบ พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์

5.3 อิทธิพลของปริมาณทรายที่มีต่อการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา

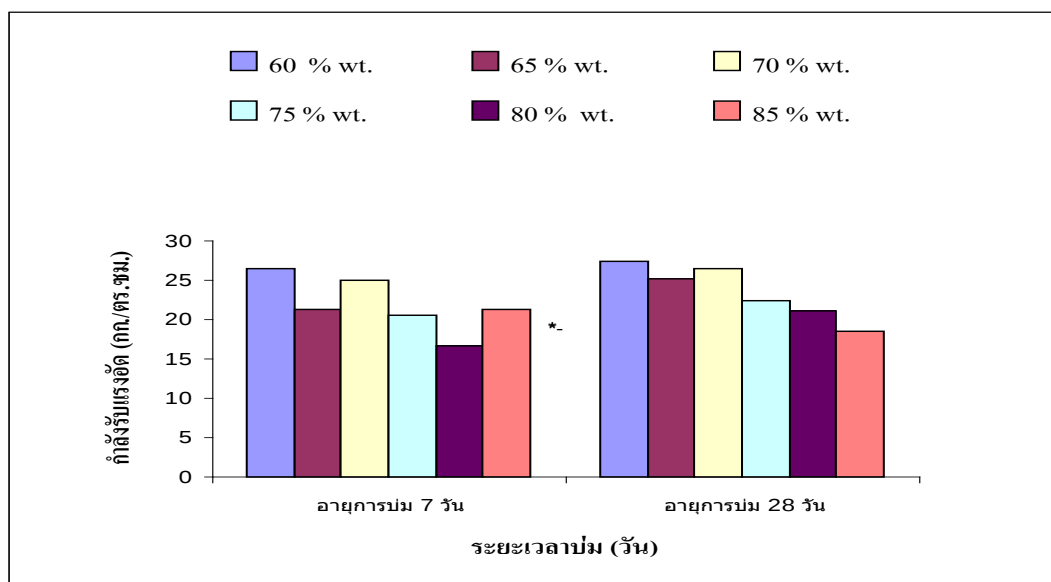
จากการศึกษาค่าการดูดกลืนน้ำตามปริมาณน้ำที่เหมาะสมดังตารางที่ 2-13 พบว่าก้อนตัวอย่างที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 280 – 384 กก./ม³ เมื่อเปรียบเทียบกับ มอก ทั้ง 2 แบบ พบว่าผ่านเกณฑ์ มอก ทั้ง 2 แบบ การดูดกลืนน้ำในโครงสร้างของก้อนตัวอย่างเกิดจากช่องว่างภายในโครงสร้างจึงทำให้ก้อนตัวอย่างดูดกลืนน้ำได้แต่ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (Tayfun และ Mehmet , 2007) การใช้อัตราส่วนทรายมากขึ้นสามารถลดการดูดความชื้นของก้อนคอนกรีตได้ดี เพราะทรายเป็นวัสดุ

มวลรวมที่แข็งแรงไม่ขยายตัวมากและมีความทนทาน (บุรณัตร, 2537) และจากการทดลองจะพบว่าเมื่อใช้ทรายมากขึ้นปริมาณการดูดซึมน้ำมีค่าลดลงในทุกอัตราส่วน การบ่มคอนกรีตนานขึ้นอาจช่วยให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงได้อีกเพราะการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานที่ยังไม่สิ้นสุดของคอนกรีตทำให้โครงสร้างยังมีความต้องการน้ำในการทำปฏิกิริยา

6. อิทธิพลของปริมาณน้ำ

6.1 อิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาปริมาณน้ำที่มีต่อค่าการรับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่บ่มอุณหภูมิห้อง อายุบ่มต่างๆกันดังแสดงในภาพที่ 2-10 พบว่าปริมาณน้ำที่ 60 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการรับกำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 26.42 และ 27.34 กก./ซม² ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าการรับกำลังอัดไม่ผ่าน มอก 1505-2541 และ มอก 58-2533



ภาพที่ 2-10 ค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เพิ่มปริมาณน้ำอายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

การที่ปริมาณน้ำการใช้ก่อนข้างต่ำเนื่องจากวัสดุที่ใช้ในส่วนผสมมีการดูดซึมความชื้นได้น้อยดังนั้นปริมาณน้ำที่ดูดกลืนเข้าไปจึงน้อย เพราะเนื่องจากใช้ทรายในปริมาณที่น้อย ซึ่งปริมาณที่ใช้ควรอยู่ในระดับปานกลางเพราะหากมากเกินไปทำให้ค่าการรับกำลังอัดลดลงและถ้าหากใช้ปริมาณน้ำที่มากเกินไปทำให้สภาพการไหลของคอนกรีตไม่ดีทำให้ใช้งานได้ยากขึ้น (Phaiboon และ Mallika, 2008)

ตารางที่ 2-13 ส่วนผสมที่ออกแบบสำหรับคอนกรีตมวลเบาเมื่อเพิ่มปริมาณทราย

ซีเมนต์ (wt)	ทราย (wt)	น้ำ (wt)	ตะกอนประปา (wt)	ปูนขาว (wt)	ผงอลูมิเนียม (wt)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (กก./ม ³)		การดูดกลืนน้ำ (กก./ม ³)
						7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	
1.0	0.50	0.75	0.10	0.10	0.004	22.85	36.32	1030	1110	296
1.0	0.60	0.75	0.10	0.10	0.004	18.97	24.48	1120	1040	296
1.0	0.70	0.75	0.10	0.10	0.004	8.16	12.48	1240	1020	384
1.0	0.80	0.75	0.10	0.10	0.004	7.44	11.42	1190	1060	344
1.0	0.90	0.75	0.10	0.10	0.004	17.14	21.22	1010	1020	280
1.0	1.0	0.75	0.10	0.10	0.004	21.83	25.10	1280	1040	416

6.2 อิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาค่าความหนาแน่นตามปริมาณน้ำที่เหมาะสมดังตารางที่ 2-14 พบว่าที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1020 – 1130 กก./ม³ ส่วนอายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1030-1090 กก./ม³ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ดีที่สุด พบว่าผ่านเกณฑ์ มอก 1505-2541 ชั้นคุณภาพ 8 ชนิด 0.9 (810 – 900 กก./ม³) แต่ไม่ผ่าน มอก 58-2516

6.3 อิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนน้ำตามปริมาณน้ำที่เหมาะสมดังตารางที่ 2-14 พบว่าก้อนตัวอย่างที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 363 – 457 กก./ม³ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ มอก ทั้ง 2 แบบ พบว่าผ่านเกณฑ์ทั้ง 2 แบบ การดูดกลืนน้ำในโครงสร้างของก้อนตัวอย่างเกิดจากช่องว่างภายในโครงสร้างจึงทำให้ก้อนตัวอย่างดูดกลืนน้ำได้แต่ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (Tayfun และ Mehmet , 2007)

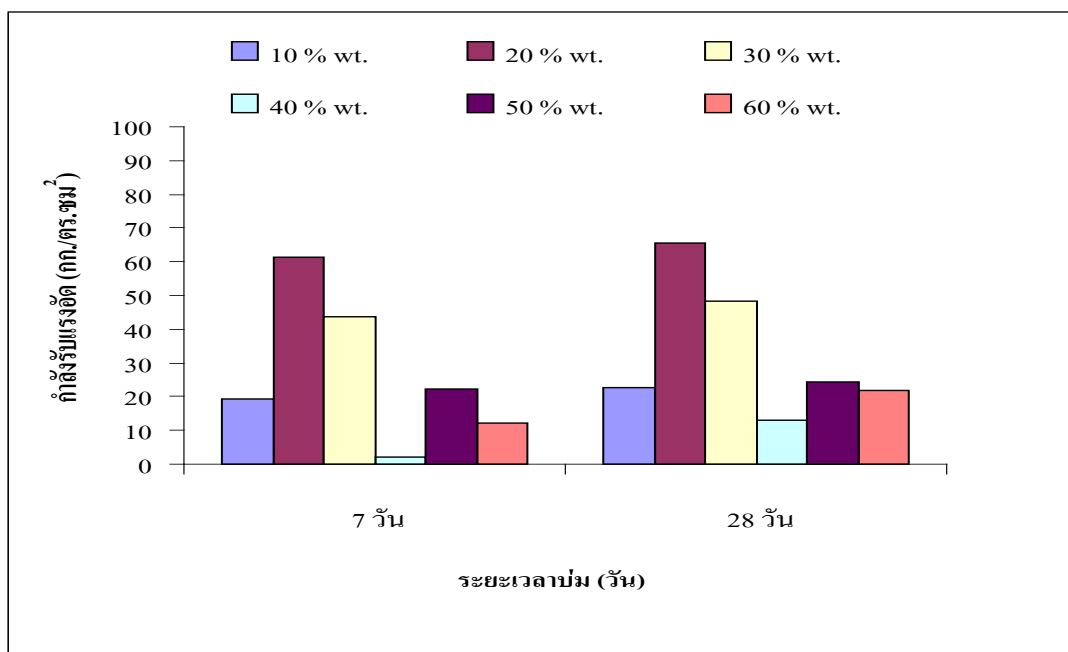
ตารางที่ 2-14 ส่วนผสมที่ออกแบบสำหรับคอนกรีตมวลเบาเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำ

ซีเมนต์ (wt)	ทราย (wt)	น้ำ (wt)	ตะกอนประปา (wt)	ปูนขาว (wt)	ผงอลูมิเนียม (wt)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (กก./ม ³)		การดูดกลืนน้ำ (กก./ม ³)
						7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	
1.0	0.50	0.60	0.10	0.10	0.004	26.42	27.34	1130	1080	240
1.0	0.50	0.65	0.10	0.10	0.004	21.32	25.10	1080	1030	272
1.0	0.50	0.70	0.10	0.10	0.004	25.00	26.53	1050	1090	232
1.0	0.50	0.75	0.10	0.10	0.004	20.61	22.44	1060	1090	264
1.0	0.50	0.80	0.10	0.10	0.004	16.63	21.02	1120	1050	256
1.0	0.50	0.85	0.10	0.10	0.004	21.24	18.57	1020	1050	200

7. อิทธิพลของตะกอนประปา

7.1 อิทธิพลของตะกอนประปาที่มีต่อค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาปริมาณตะกอนประปาที่มีต่อค่าการรับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่บ่มอุณหภูมิห้อง อายุบ่มต่างๆกันดังแสดงในภาพที่ 2-11 พบว่าปริมาณน้ำที่ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการรับกำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 61.22 และ 65.51 กก./ซม² ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าทุกอัตราส่วนมีค่าการรับกำลังอัดไม่ผ่าน มอก 1505-2541 และ มอก 58-2533 การที่ปริมาณตะกอนประปาก่อนข้างต่ำเนื่องจากวัสดุที่ใช้ในส่วนผสมมีการดูดซึมความชื้นได้น้อย ดังนั้นปริมาณตะกอนประปาที่ดูดกลืนเข้าไปจึงน้อย เพราะเนื่องจากใช้ทรายและน้ำในปริมาณที่น้อย ซึ่งปริมาณที่ใช้ควรอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำเพราะหากมากเกินไปอาจทำให้ค่าการรับกำลังอัดลดลง (Phaiboon และ Mallika, 2008)



ภาพที่ 2-11 ค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เพิ่มปริมาณตะกอนประปาอายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

7.2 อิทธิพลของปริมาณตะกอนประปาที่มีต่อค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาค่าความหนาแน่นตามปริมาณตะกอนประปาที่เหมาะสมดังตารางที่ 2-15 พบว่าที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1020 – 1150 กก./ม³ ส่วนอายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1060-1170 กก./ม³ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ดีที่สุด พบว่าผ่านเกณฑ์ มอก 1505-2541 ชั้นคุณภาพ 8 ชนิด 0.9(810 – 900 กก./ม³) แต่ไม่ผ่าน มอก 58-2533

7.3 อิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนน้ำตามปริมาณน้ำที่เหมาะสมดังตารางที่ 2-15 พบว่าก้อนตัวอย่างที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 240 – 352 กก./ม³ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ มอก ทั้ง 2 แบบ พบว่าผ่านเกณฑ์ทั้ง 2 แบบ การดูดกลืนน้ำในโครงสร้างของก้อนตัวอย่างเกิดจากช่องว่างภายในโครงสร้างจึงทำให้ก้อนตัวอย่างดูดกลืนน้ำได้แต่ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (Tayfun และ Mehmet , 2007)

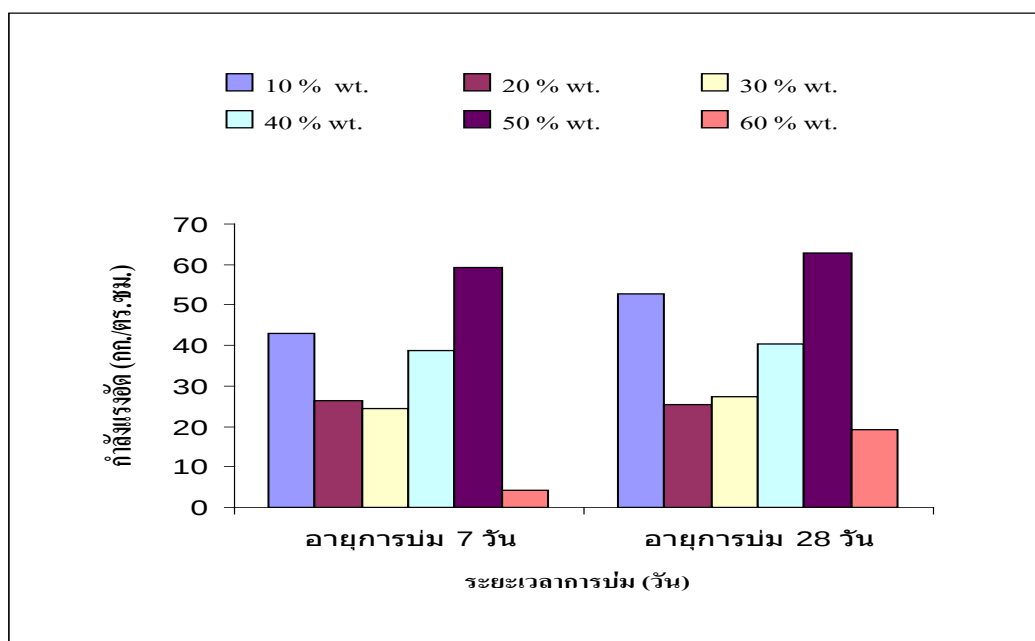
ตารางที่ 2-15 ส่วนผสมที่ออกแบบสำหรับคอนกรีตมวลเบาเมื่อเพิ่มปริมาณตะกอนประปา

ซีเมนต์ (wt)	ทราย (wt)	น้ำ (wt)	ตะกอนประปา (wt)	ปูนขาว (wt)	ผงอลูมิเนียม (wt)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (กก./ม ³)		การดูดกลืนน้ำ (กก./ม ³)
						7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	
1.0	0.50	0.60	0.10	0.10	0.004	19.38	22.85	1130	1060	256
1.0	0.50	0.60	0.20	0.10	0.004	61.22	65.51	1030	1150	264
1.0	0.50	0.60	0.30	0.10	0.004	43.87	48.16	1120	1110	240
1.0	0.50	0.60	0.40	0.10	0.004	2.04	13.03	1110	1130	264
1.0	0.50	0.60	0.50	0.10	0.004	22.44	24.48	1150	1170	272
1.0	0.50	0.60	0.60	0.10	0.004	12.24	21.83	1020	1080	352

8. อิทธิพลของปูนขาว

8.1 อิทธิพลของปูนขาวที่มีต่อค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาอัตราส่วนต่างๆ ปูนขาว ที่ 10, 20 , 30 , 40 , 50 และ 60 โดยให้ ปริมาณน้ำ และปริมาณผงอลูมิเนียม คงที่ที่ 60 และ 0.004 โดยน้ำหนักตามลำดับ แสดงในตารางที่ 2-16 จากการทดสอบพบว่าเมื่อหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร และบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 และ 28 วัน พบว่า ก้อนตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาสามารถเซตตัวแข็งได้เร็วเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงทำให้ความร้อนในปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น และ ก้อนตัวอย่างยังมีลักษณะเป็นรูพรุนเนื่องจากฟองอากาศของไฮโดรเจน แต่เมื่อถอดจากแบบก้อนตัวอย่างมีสภาพเปราะ และแตกหักได้ง่าย จึงสรุปได้ว่าการใช้ตะกอนประปาและปูนขาวโดยไม่มีซีเมนต์เป็นส่วนผสมอาจจะทำให้การเกาะตัวกันของก้อนตัวอย่างเกิดขึ้นได้ไม่ดีเนื่องจากปูนขาวทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อย่างรวดเร็ว เพื่อเพิ่มความสามารถในการก่อตัวและเพิ่มความแข็งแรงให้กับก้อนตัวอย่าง



ภาพที่ 2-12 ค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เพิ่มปริมาณปูนขาวอายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

หลังจากเพิ่มปริมาณปูนขาวในส่วนผสมและนำไปทดสอบค่ารับกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาว 0.50 โดยน้ำหนัก มีค่าการรับกำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 59.18 กก./ซม² และ 62.95 กก./ซม² แสดงในภาพที่ 4.4 ดังนั้นจึงนำปริมาณปูนขาวนี้ในการทดสอบปริมาณผงอลูมิเนียมที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป ปูนขาวที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันยังสามารถช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซ

โซลานกับตะกอนประปาได้ดีขึ้นเช่นเดียวกันทั้งนี้ปูนขาวที่เป็นส่วนผสมของตัวอย่างมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานแต่อาจเกิดขึ้นได้ไม่มากนักจึงทำให้ตัวอย่างไม่จับเป็นก้อนที่แข็งแรง

8.2 อิทธิพลของปริมาณปูนขาวที่มีต่อค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาค่าความหนาแน่นตามปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมดังตารางที่ 2-16 พบว่าที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1060 – 1160 กก./ม³ ส่วนอายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1040-1140 กก./ม³ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ดีที่สุด พบว่าผ่านเกณฑ์ มอก 1505-2541 ชั้นคุณภาพ 8 ชนิด 0.9 (810 – 900 กก./ม³) แต่ไม่ผ่าน มอก 58-2533

8.3 อิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีต่อการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนน้ำตามปริมาณน้ำที่เหมาะสมดังตารางที่ 2-16 พบว่าก่อนตัวอย่างที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 216 – 272 กก./ม³ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ มอก ทั้ง 2 แบบ พบว่าผ่านเกณฑ์ทั้ง 2 แบบ การดูดกลืนน้ำในโครงสร้างของก้อนตัวอย่างเกิดจากช่องว่างภายในโครงสร้างจึงทำให้ก้อนตัวอย่างดูดกลืนน้ำได้แต่ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (Tayfun และ Mehmet , 2007)

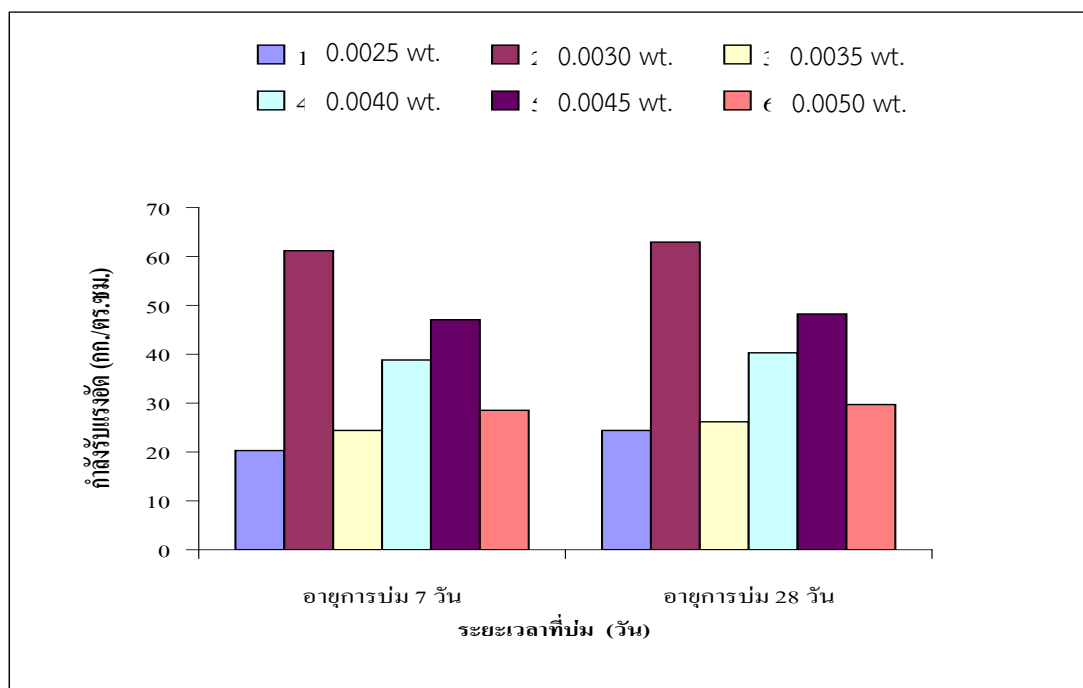
ตารางที่ 2-16 ส่วนผสมที่ออกแบบสำหรับคอนกรีตมวลเบาเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาว

ซีเมนต์ (wt)	ทราย (wt)	น้ำ (wt)	ตะกอนประปา (wt)	ปูนขาว (wt)	ผงอลูมิเนียม (wt)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (กก./ม ³)		การดูดกลืนน้ำ (กก./ม ³)
						7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	
1.0	0.50	0.60	0.20	0.10	0.004	42.85	52.85	1060	1060	248
1.0	0.50	0.60	0.20	0.20	0.004	26.53	25.30	1120	1110	248
1.0	0.50	0.60	0.20	0.30	0.004	24.48	27.24	1160	1140	256
1.0	0.50	0.60	0.20	0.40	0.004	38.77	40.30	1060	1140	216
1.0	0.50	0.60	0.20	0.50	0.004	59.18	62.95	1120	1140	272
1.0	0.50	0.60	0.20	0.60	0.004	4.08	19.08	1130	1040	224

9. อิทธิพลของปริมาณผงอลูมิเนียม

9.1 อิทธิพลของปริมาณผงอลูมิเนียมมีต่อค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาปริมาณน้ำที่มีต่อค่ารับกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่บ่มอุณหภูมิห้องได้ทำการเลือกปริมาณน้ำที่ 60 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณทราย 50 เปอร์เซ็นต์มาทดลองต่อโดยปรับเปลี่ยนปริมาณอลูมิเนียม ดังแสดงในภาพที่ 2-13 พบว่าปริมาณอลูมิเนียมที่ 0.0030 เปอร์เซ็นต์ มีค่ารับกำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 61.22 กก./ซม² และ 63.06 กก./ซม² ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน จึงมีค่าผ่าน มอก 58-2533 ส่วนตารางที่ 2-17 ที่แสดงถึงอัตราส่วนที่ผสมในแต่ละชุดตัวอย่าง ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ไม่ผ่าน มอก 1505-2541 และ มอก 58-2533 และค่าการดูดกลืนน้ำ ที่อายุบ่ม 28 วัน ผ่าน มอก 58-2533 การใช้อลูมิเนียมในส่วนผสมสามารถช่วยให้เกิดฟองอากาศทำให้คอนกรีตที่ได้มีน้ำหนักเบาแต่ทำให้ค่าการรับกำลังอัดลดลง (Phaiboon และ Mallika , 2008)



ภาพที่ 2-13 ค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่เพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียมอายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

9.2 อิทธิพลของปริมาณฝนฤดูมรสุมที่มีต่อค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาค่าความหนาแน่นตามปริมาณฝนฤดูมรสุมที่เหมาะสมดังตารางที่ 2-18 พบว่าที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1180 - 1360 กก./ม³ ส่วนอายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 1090 - 1140 กก./ม³ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่ดีที่สุดกับ มอก ทั้ง 2 แบบ พบว่าผ่านเกณฑ์ มอก 1505-2541 ชั้นคุณภาพ 8 ชนิด 0.9 (810 - 900 กก./ม³) แต่ไม่ผ่าน มอก 58-2533

9.3 อิทธิพลของปริมาณฝนฤดูมรสุมที่มีต่อการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนน้ำตามปริมาณน้ำที่เหมาะสมดังตารางที่ 2-18 พบว่าก่อนตัวอย่างที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 208 - 264 กก./ม³ เมื่อเปรียบเทียบกับ มอก. ทั้ง 2 แบบ พบว่าผ่านเกณฑ์ มอก. ทั้ง 2 แบบ ซึ่งการดูดกลืนน้ำในโครงสร้างของก้อนตัวอย่างเกิดจากช่องว่างภายในโครงสร้างจึงทำให้ก้อนตัวอย่างดูดกลืนน้ำได้แต่ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (Tayfun และ Mehmet , 2007) สังกัดได้ว่าการเพิ่มขึ้นของฝนฤดูมรสุมในส่วนผสมส่งผลให้ก้อนตัวอย่างมีการดูดกลืนน้ำมากขึ้นทั้งนี้ เป็นผลจากการเพิ่มฝนฤดูมรสุมเป็นการเพิ่มปริมาณฟองอากาศทำให้โครงสร้างของก้อนตัวอย่างมีความพรุนทำให้มีการดูดกลืนน้ำมากขึ้นด้วย

ดังนั้นจากการศึกษาการทำคอนกรีตมวลเบจากตะกอนประปา ปูนขาว และซีเมนต์ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมตามลำดับขั้นนั้น จากการศึกษพบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วน ทราย : น้ำ : ตะกอนประปา : ปูนขาว : ฝนฤดูมรสุม เท่ากับ 0.50 : 0.60 : 0.20 : 0.50 : 0.0030 อัตราส่วนที่ดีอันดับรองลงมาได้แก่ 0.50 : 0.60 : 0.20 : 0.50 : 0.0045 แต่พบว่าคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตได้นั้น ยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์ มอก ที่กำหนดแต่มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพชั้นที่ 6 ตาม มอก 1505/2541 และผ่านเกณฑ์คอนกรีตไม่รับน้ำหนัก มอก 58/2533 ของอัตราส่วนที่ดีที่สุด ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงต้องทำการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มศักยภาพของการใช้ประโยชน์ของกากของเสียนี้ต่อไป

ตารางที่ 2-17 ส่วนผสมที่ออกแบบสำหรับคอนกรีตมวลเบาเมื่อเพิ่มปริมาณผงอลูมิเนียม

ซีเมนต์ (wt)	ทราย (wt)	น้ำ (wt)	ตะกอนประปา (wt)	ปูนขาว (wt)	ผงอลูมิเนียม (wt)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (กก./ม ³)		การดูดกลืนน้ำ (กก./ม ³)
						7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน	28 วัน
1.0	0.50	0.60	0.20	0.50	0.0025	20.40	24.48	1090	1080	232
1.0	0.50	0.60	0.20	0.50	0.0030	61.22	63.06	1140	1140	232
1.0	0.50	0.60	0.20	0.50	0.0035	24.48	26.22	1120	1120	248
1.0	0.50	0.60	0.20	0.50	0.0040	38.77	40.40	1140	1140	264
1.0	0.50	0.60	0.20	0.50	0.0045	46.93	48.16	1170	1170	208
1.0	0.50	0.60	0.20	0.50	0.0050	28.57	29.67	1080	1080	248

10. การทดสอบการรั่วไหลของโลหะหนัก

จากตารางที่ 2-18 และตารางที่ 2-19 เป็นผลการศึกษาเบื้องต้นอิมมูวอลเบาจาก 2 อัตราส่วนที่อายุ บ่ม 28 วันพบว่าไม่มีโลหะหนักทั้งในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามข้อประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548 โดยทดสอบด้วยวิธี WET และเกณฑ์ของโลหะหนักที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน US EPA โดยทดสอบด้วยวิธี TCLP ซึ่งจากการทดสอบพบว่าไม่มีการรั่วไหลของโลหะหนักทำให้เป็นที่มั่นใจได้ว่าอิมมูวอลเบาที่ได้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ที่นำไปใช้งานต่อไป ทั้งนี้จากข้อมูลรายงานวิชาการของดวงกมลและคณะ (2547) เรื่อง การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา ของสำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ที่ทำการศึกษาระยะกอนดินจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขน ที่พบองค์ประกอบของ Si มากที่สุด ร้อยละ 26 และรองลงมาอันดับสองคือ Al ร้อยละ 15 นอกจากนั้นเป็นแร่ธาตุอื่นๆ เช่น Fe ร้อยละ 5.6 ที่มากเป็นอันดับสาม ในขณะที่ไม่พบธาตุโลหะหนักที่เป็นข้อกำหนดของ USEPA แต่พบธาตุ Zn และ Cu ที่มีอยู่ปริมาณน้อยมากคือร้อยละ 0.21 และ 0.09 ตามลำดับ

ตารางที่ 2-18 ผลการทดสอบค่าการรั่วไหลของโลหะ (WET)

ชนิดโลหะหนัก	ค่ามาตรฐาน (มก/ล)	ค่าที่วัดได้ (มก/ล)	
		อัตราส่วน Ce/Sa/Wa/Sl/Li/Al 0.50/0.60/0.20/0.50/0.0030	อัตราส่วน Ce/Sa/Wa/Sl/Li/Al 0.50/0.60/0.20/0.50/0.0045
Fe	b	0.001	0.001
Ni	20a	ไม่พบ	ไม่พบ
Cr	5.0a	ไม่พบ	ไม่พบ
Pb	5.0a	ไม่พบ	ไม่พบ
Cu	25.0a	ไม่พบ	ไม่พบ
Zn	250.0a	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ a : มาตรฐาน WET, b : ไม่กำหนดในมาตรฐาน, - : ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

Ce=cement/Sa=sand/Wa=water/Sl=sludge/Li=lime/Al=aluminium

ตารางที่ 2-19 ผลการทดสอบค่าการรั่วไหลของโลหะ (TCLP)

ชนิดโลหะหนัก	ค่ามาตรฐาน (มก/ล)	ค่าที่วัดได้ (มก/ล)	
		อัตราส่วน Ce/Sa/Wa/Sl/Li/Al 0.50/0.60/0.20/0.50/0.0030	อัตราส่วน Ce/Sa/Wa/Sl/Li/Al 0.50/0.60/0.20/0.50/0.0045
As	5.0a	ไม่พบ	ไม่พบ
Cd	1.0a	ไม่พบ	ไม่พบ
Cr	5.0a	ไม่พบ	ไม่พบ
Pb	5.0a	ไม่พบ	ไม่พบ
Hg	0.2a	ไม่พบ	ไม่พบ
Fe	b	0.001	0.002
Zn	b	ไม่พบ	ไม่พบ
Cu	b	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ a : มาตรฐาน WET, b : ไม่กำหนดในมาตรฐาน, - : ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

Ce=cement/Sa=sand/Wa=water/Sl=sludge/Li=lime/Al=aluminium

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการทำคอนกรีตมวลเบาโดยใช้วัสดุเหลือทิ้ง คือ ตะกอนประปา ผสมรวมกับปูนขาวชนิด Hydrated lime ซีเมนต์ ทราย และใช้ผงอลูมิเนียมเป็นสารเพิ่มฟองอากาศ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. องค์ประกอบของตะกอนประปามีปริมาณซิลิกา อลูมินา และเหล็กออกไซด์สูงผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C 618 เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง XRF จึงมีคุณสมบัติเป็นวัสดุพอชโซลาน
2. ปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปคอนกรีตมวลเบา คือ 0.60 โดยค่าการรับกำลังอัดไม่ผ่านเกณฑ์ มอก. 1505-2541 และ มอก. 58-2533 ค่าความหนาแน่นผ่านเกณฑ์ มอก. 1505-2541 เป็นชั้นคุณภาพ 8 ชนิด 0.9 แต่ไม่ผ่านเกณฑ์ มอก. 58-2533 ส่วนค่าการดูดกลืนน้ำผ่านทั้ง 2 แบบ
3. ปริมาณทรายที่เหมาะสม คือ 0.5 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้ปริมาณน้ำ 0.60 โดยค่าการรับกำลังอัดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. ทั้ง 2 แบบ ส่วนค่าการดูดกลืนน้ำผ่านเกณฑ์
4. ปริมาณผงอลูมิเนียมที่เหมาะสม คือ 0.0030 โดยน้ำหนัก เมื่อใช้น้ำ 0.60 และ ทราย 0.50 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยค่าการรับกำลังอัดไม่ผ่านเกณฑ์ มอก. 1505-2541 และ มอก. 58-2533 ค่าความหนาแน่นผ่านเกณฑ์ มอก. 1505-2541 เป็นชั้นคุณภาพ 8 ชนิด 0.9 แต่ไม่ผ่านเกณฑ์ มอก. 58-2533 ส่วนการดูดกลืนน้ำผ่านเกณฑ์ทั้ง 2 แบบ
5. อัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในระหว่าง ซีเมนต์, ทราย , น้ำ , ตะกอนประปา , ปูนขาว และผงอลูมิเนียม คือ 1.0, 0.50 , 0.60 , 0.20 , 0.50 และ 0.0030 โดยน้ำหนัก เนื่องจากให้ค่าการรับกำลังอัดสูงสุด แต่ทั้งนี้ต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความหนาแน่นให้ลดลงต่อไป
6. จากการทดสอบการรั่วไหลของโลหะหนักทั้งหมด 3ชนิด พบปริมาณ Fe ที่ 0.001 มก/ล แต่ไม่พบธาตุโลหะหนักที่เป็นข้อกำหนดของ USEPA และของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการปรับสภาพตะกอนประปาด้วยความร้อนก่อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้นและควรศึกษารูปแบบการกระตุ้นปฏิกิริยาในรูปแบบอื่นๆ ได้แก่ ไมโครเวฟ
2. ควรมีการศึกษาระบวนการกระตุ้นปฏิกิริยาของตะกอนประปาด้วยวิธีอื่นๆ เช่น กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมซิลิเกตหรือแคลเซียมออกไซด์
3. ศึกษาและเปรียบเทียบการนำวัสดุอื่นๆ มาใช้แทนซีเมนต์
4. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ข้อดี และข้อเสีย ของตะกอนประปากับวัสดุพอชโซลานชนิดอื่น

บรรณานุกรม

- กรชัย และคณะ, 2548, การศึกษาบล็อกลูกพื้นคอนกรีตผสมตะกอนประปา, วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร
เหนือ.
- กฤษดา นุ่มนวล, 2540, การใช้ตะกอนจากระบบประปาทดแทนดินเหนียวในการผลิตอิฐมอญ, วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- กวี หวังนิเวศน์กุล. 2547 วัสดุวิศวกรรมก่อสร้าง. สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น , กรุงเทพฯ .348 หน้า
- คุณากร ทุมจีน และ จักรพล ไชยแสง. 2550. การทดสอบการรับแรงอัดก้อนหล่อแข็งที่มีกากตะกอน
โลหะหนักโดยใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ร่วมกับตะกอนประปาเป็นวัสดุเชื่อมประสาน. สาขา
เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,
มหาสารคาม
- จิตรกร วงศ์กรขวลิต, 2543, คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากการผลิตน้ำประปาและ
การนำไปใช้งานเป็นวัสดุปอซโซแลนในงานวัสดุก่อสร้าง, วิทยานิพนธ์คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2536, คอนกรีตเทคโนโลยี, บริษัทวัสดุก่อสร้าง, กรุงเทพฯ, หน้า 11-19, 112-117.
- ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2542, คอนกรีตเทคโนโลยี, พิมพ์ครั้งที่ 7, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้างจำกัด,
กรุงเทพฯ, หน้า 1-16, 49.
- ชัยพร เบ้าแก้ว, 2547, การนำตะกอนที่ได้จากระบบประปามาทำเป็นอิฐสามัญ, รายงานโครงการ
หมายเลข CE 2003-24, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ดวงกมล สุริยจันทร์ และคณะ, 2547, รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ. 16/2547 การประยุกต์ใช้ตะกอนดิน
จากน้ำประปา, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

บุรฉัตร นัตรวีระ และพิชัย นิมินขงสกุล, 2537, การผลิตซีเมนต์เถ้าแกลบที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาและการประยุกต์ใช้ในบล็อกซีเมนต์ผสมดินแบบอัดแน่น, วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, หน้า 119-137.

ศุภณัฐ รัฐเมือง และ ธนาภรณ์ โพไพศรี. 2552 คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่มีปูนขาวและตะกอนประปาเป็นวัสดุประสานในสถานะที่มีและไม่มีภาระกระตุ้นด้วยความร้อน. สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม

สมเกียรติ รอดดียิ่ง, 2541, การพัฒนาคุณภาพอิฐมอญที่ผลิตจากตะกอนน้ำประปา, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

อินทนนท์ ราตรี, ณรงฤทธิ์ เนื่อนวล และ ณัฐพล อุ่นสัดิต. 2548. การใช้เถ้าลอยและเถ้าก้นเตาในคอนกรีตบล็อกมวลเบา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมชนบท). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

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

Assavapisit, S., 1998, Solidification, System for Metal Containing Hazardous Wastes, Thesis, Doctor of Philosophy of Engineering, Department of Civil Engineering, Imperial Collage of Science, Technology and Medicine, pp. 21-23.

Byung-wan, J., Seung-kook, P., Jong-bin, P., 2007, “Properties of concrete made with alkali-activated fly ash lightweight aggregate (AFLA)”, Cement and Concrete Composites, Vol. 29, pp.128-135.

Harun Tanyildizi *, Ahmet Coskun., 2008, “Performance of lightweight concrete with silica fume after high temperature”, Construction and Building Materials, Vol. 22, pp.2124-2129.

- Panyakapo, P. Panyakapo, M., 2008, "Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete", *Waste Management*, Vol. 28, pp.1581-1588.
- Qiao, X.C., Ng a, B.R., Tyrer b, M., Poon, C.S., Cheeseman, C.R., 2008 "Production of lightweight concrete using incinerator bottom ash", *Construction and Building Materials*, Vol. 22, pp.473-480
- Sancak, E., Dursun S.Y., Simsek, O., 2008, "Effects of elevated temperature on compressive strength and weight loss of the light-weight concrete with silica fume and superplasticizer" *Cement and Concrete Composites*, Vol., pp.715-721.
- Sidney, M., Francis, J.Y., David, D., 2003, *Concrete*, 2nd ed., Pearson Education, Inc., New Jersey, pp.93-94, 287-301.
- Tayfun, C. Mehmet, T. 2007 "Lime based steam autoclaved fly ash bricks" *Construction and Building Materials*, Vol. 21, pp. 1295-1300
- Tommy Y.L., Tang, W.C., Cui, H.Z., 2007, "The effects of aggregate properties on lightweight concrete", *Building and Environmental*, Vol. 42, pp.3025-3029.

ภาคผนวก ก
เอกสารประกอบ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 1505 – 2541)
ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ
TIS 1505-1998 Autoclaved Aerated Leigh Concrete

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดรายละเอียดของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำซึ่งเป็นวัสดุก่อผนังมวลเบา โดยมีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในเนื้อคอนกรีต และอบด้วยไอน้ำโดยกำหนดชั้นคุณภาพและชนิด ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน วัสดุ และการทำ คุณลักษณะที่ต้องการบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การเก็บคอนกรีตมวลเบา การชักตัวอย่าง และเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบ

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต และอบในเตาอบไอน้ำ และไม่เสริมเหล็ก

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “คอนกรีตมวลเบา” หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตทั่วไปที่มีขนาดเดียวกัน โดยมีฟองอากาศเล็กๆ แทรกกระจายในเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แข็งด้วยการอบไอน้ำ และไม่เสริมเหล็ก เหมาะสำหรับใช้ก่อผนังด้วยวิธีก่อ

บาง รูปที่ 1

2.2 วิธีก่อบาง หมายถึง วิธีก่อที่มีลักษณะปูนก่อบาง มีความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร และจำเป็นต้องใช้ปูนก่อที่ทำขึ้นด้วยส่วนผสมพิเศษ ที่สามารถให้แรงยึดหยุ่นมากเพียงพอเหมาะสมกับความหนา

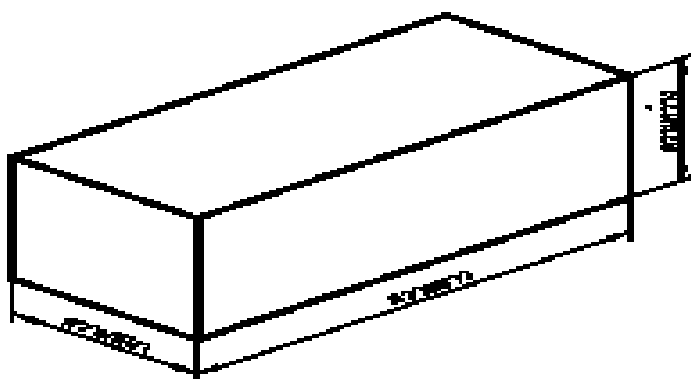
2.3 ร่องปูนก่อ หมายถึง ร่องที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาที่จะประกอประกกันให้เป็นช่อง ใช้สำหรับใส่ปูนก่อขณะทำงานก่อผนัง

2.4 ร่อง หมายถึง ส่วนของคอนกรีตมวลเบาที่อยู่ต่ำกว่าพื้นผิวด้านข้าง สำหรับให้ลื่นขึ้นเข้ามาเพื่อการประสาน

2.5 ลื่น หมายถึง ส่วนของคอนกรีตมวลเบาที่ยื่นเลยพื้นผิวส่วนอื่น สำหรับแทรกไปในร่องเพื่อการประสาน

2.6 ความหนาของคอนกรีตมวลเบา หมายถึง ความหนาของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ก่อผนัง

2.7 ร่องมือจับ หมายถึง ร่องที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาที่อยู่ต่ำจากขอบบน ใช้สำหรับจับยกเพื่อทำงาน



ภาพที่ ก-1 ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

3. ชั้นคุณภาพและชนิด

3.1 คอนกรีตมวลเบาแบ่งตามความต้านแรงอัดออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ และแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรออกเป็น 7 ชนิด โดยชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบามีความสัมพันธ์กันตามตารางที่ 1

ตารางที่ ก-1 ชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบา

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

4.2 ความได้ฉากของคอนกรีตมวลเบา ที่ระยะ 300 มิลลิเมตร วัดจากมุมฉากจะคลาดเคลื่อนจากแนวฉากได้ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร

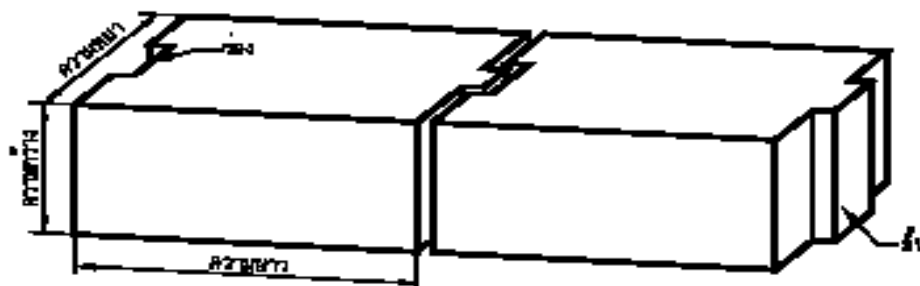
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 11.1

4.3 ร่องและลิ้น (ถ้ามี) รูปที่ 3

คอนกรีตมวลเบาอาจทำเป็นร่องและลิ้นในตัวได้ และให้เป็นดังนี้

4.3.1 ขนาดของร่องและลิ้น ไม่ควรเล็กกว่าเศษหนึ่งส่วนเจ็ด และไม่ ควรเกินเศษสองส่วนห้าของความหนาของคอนกรีตมวลเบา โดยในแต่ละด้านอาจมีร่องและลิ้นได้หลายแนว

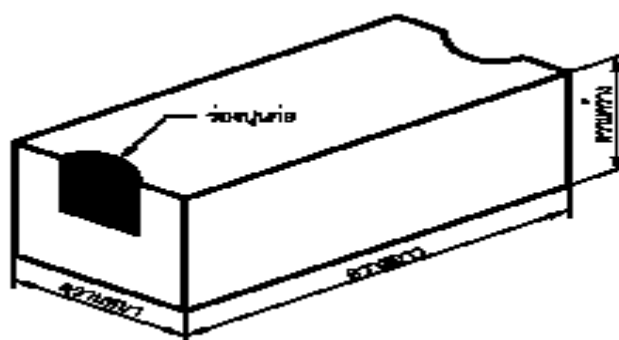
4.3.2 ความกว้าง และความลึกของลิ้นในทุกๆ ด้าน ควรเล็กกว่าความกว้างและความลึกของร่องระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิเมตร



ภาพที่ ก-3 ตัวอย่างร่องและลิ้นของคอนกรีตมวลเบา

4.4 ร่องปูนก่อ (ถ้ามี) รูปที่ 4

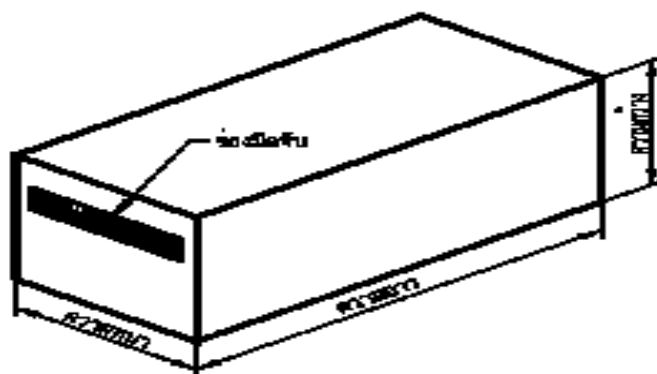
ร่องปูนก่อที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาและมีขนาดเริ่มจากผิวบนลงมามีระยะ $\frac{1}{4}$ ถึง $\frac{1}{2}$ ของความกว้างของคอนกรีตมวลเบา



ภาพที่ ก-4 ตัวอย่างร่องปูนก่อสำหรับคอนกรีตมวลเบา

4.5 ร่องจับมือ (ถ้ามี) รูปที่ 5

กรณีที่คอนกรีตมวลเบามีขนาดใหญ่ เพื่อความสะดวกในการทำงานอาจมีร่องสำหรับมือจับด้วย



ภาพที่ ก-5 ตัวอย่างร่องมือจับสำหรับคอนกรีตมวลเบา

5. วัสดุและการทำ

5.1 วัสดุ

5.1.1 ปูนซีเมนต์ต้องเป็นปูนซีเมนต์ประเภท 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1

5.1.2 ปูนขาวต้องเป็นไปตาม มอก. 319

5.1.3 มวลผสมต้องเป็นวัสดุ ซิลิกา หรือทรายควอตซ์ หรือตะกรันจากเตาถลุงแบบพ่นลม หรือ ถ้ำถ่านหินหรือวัสดุอื่นใดที่ไม่มีสาร เช่น โคลน ฟูน สารอินทรีย์ ในจำนวนที่อาจเป็นผลเสีย นำมาบดละเอียดโดยให้มีขนาดไม่ใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร

5.1.4 สารก่อฟองและสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ต้องเป็นวัสดุทำให้เกิดฟองอากาศมีเสถียรภาพ และคุมเวลาแข็งตัวโดยต้องไม่ก่อให้เกิดผลเสียใดๆ ต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา

5.2 การทำ

คอนกรีตมวลเบาต้องทำโดยผสมส่วนผสมตามที่ระบุในข้อ 5.1.1 ถึงข้อ 5.1.3 เข้าด้วยกันอย่างสม่ำเสมอจากนั้นเติมน้ำจำนวนที่เหมาะสม สารก่อฟอง และสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ให้มีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอแล้วเทลงในแบบนำไปบ่มจนแข็งพอที่จะแกะแบบเพื่อทำการตัดตามขนาดที่ต้องการ จากนั้นนำไปอบด้วยไอน้ำเพื่อให้ได้ค่าความต้านแรงอัดตามที่กำหนดที่ความดันไม่ต่ำกว่า 1.0 เมกะปาสคัลและอุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ ให้ตัดคอนกรีตมวลเบาในแนวที่ทำให้ด้านยาวขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของฟองอากาศ

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 ผู้ทำต้องจัดเรียงคอนกรีตมวลเบาบนแพงรองรับที่เหมาะสม มีการป้องกันขอบไม่ให้แตกบิ่นเสียหายที่จะเป็นผลเสียต่อการใช้งานทั้งในการเก็บรักษาและขนส่ง รวมทั้งให้มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

8. เครื่องหมายและฉลาก

8.1 ที่คอนกรีตมวลเบา อย่างน้อยทุกๆ 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. การชักตัวอย่าง□และเกณฑ์ตัดสิน

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 เพื่อนำมาทำเป็นชิ้นทดสอบจำนวน 9 ชิ้น

10.2.2.2 ชิ้นทดสอบทุกชิ้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.4 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรและอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

10.2.3.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ก้อน เพื่อนำมาทำเป็นชิ้นทดสอบสำหรับการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร 3 ชิ้น และอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว 3 ชิ้น

10.2.3.2 ชิ้นทดสอบทุกชิ้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.2 และ 6.3 ในแต่ละรายการ จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.2.4 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำ

10.2.4.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ก้อน เพื่อนำมาทำเป็นชิ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น

10.2.4.2 ชิ้นทดสอบทุกชิ้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.5 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่าง

คอนกรีตมวลเบาต้องเป็นไปตามข้อ 10.2.1.2 ข้อ 10.2.2.2 ข้อ 10.2.3.2 และข้อ 10.2.4.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

11. การทดสอบ

11.1 ขนาด

11.1.1 เครื่องมือ

11.1.1.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.1.1.2 เวอร์เนียที่วัดได้ถึง 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

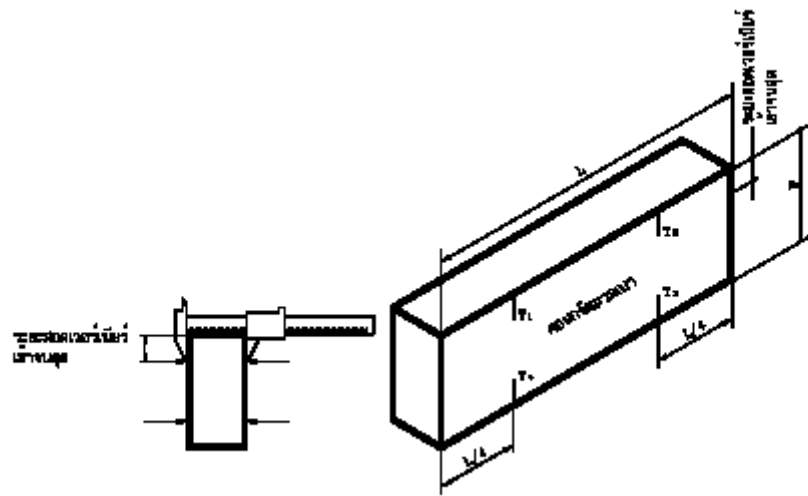


ภาพที่ ก-6 ตำแหน่งวัดความกว้าง และความยาว

(ข้อ 11.1.2.1)

11.1.2.2 ความหนา

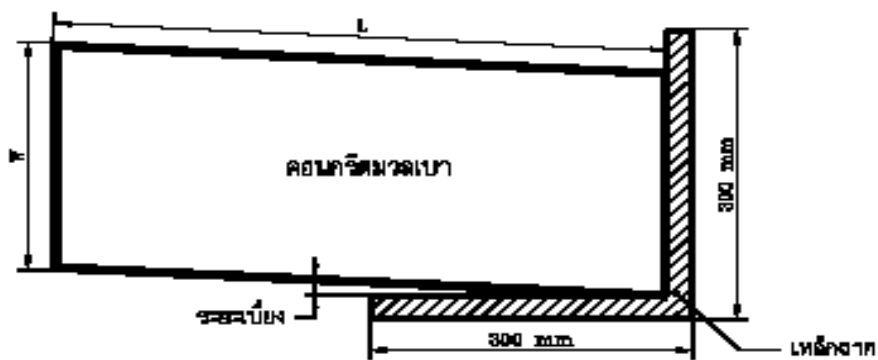
ใช้เวอร์เนียวัดความหนาของตัวอย่างที่ตำแหน่งห่างจากขอบด้านยาวของชิ้นทดสอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของความยาว โดยสอดเวอร์เนียเข้าจนสุด ดังรูปที่ 7



ภาพที่ ก-7 ตำแหน่งวัดความหนา
(ข้อ 11.1.2.2)

11.1.2.3 ความได้นาก

หาบเหล็กฉากที่ด้านสั้นของตัวอย่าง จากนั้นวัดความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นที่ ระยะประมาณ 300 มิลลิเมตรจากมุมของเหล็กฉาก รูปที่ 8



ภาพที่ ก-8 การวัดความได้นาก
(ข้อ 11.1.2.3)

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 มิลลิเมตรกรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด 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 จากสูตรค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง =

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 องศา

เซลเซียส และมีความชื้น

สัมพัทธ์ร้อยละ 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 ชั่งมวลและวัด

ความยาวทุกวันจนมวลของชิ้นทดสอบมีค่าต่ำกว่าค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 ซึ่งคำนวณได้จากข้อ 11.3.3.1

มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ

ปริมาตรของชิ้นทดสอบ

11.3.3.3 วัดความยาวและชั่งมวลของชิ้นทดสอบทุก 3 วัน จนความยาวเข้าสู่สภาพสมดุล โดยชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่า ร้อยละ 0.003 ต่อ 3 วัน

หมายเหตุ การรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกรณี ใช้ภาชนะปิด ให้ทำโดยเก็บชิ้นทดสอบไว้ในห้องสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต ที่ ละลายอยู่ในภาวะสมดุลกับน้ำในภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ ☐ จะต้องมีการกวนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการก่อตัวของเกลือโพแทสเซียม หรือฝ้าที่ผิว

11.3.4 การรายงานผล

ให้รายงานอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวจากสูตร

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ (R)} = \frac{I_1 - I_2 \times 100}{I_1}$$

เมื่อ I_1 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 เป็นมิลลิเมตร I_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 + 5 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 75 องศาเซลเซียส สำหรับการอบหาปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 10 + ร้อยละ 2 ได้

11.4.3 วิธีทดสอบ

11.4.3.1 ให้กดชิ้นทดสอบด้วยวิธีตามที่ระบุใน มอก.109 โดยใช้อัตราเพิ่มแรงอัดตามตารางที่ 4 ในแนวดิ่งจากกับด้านยาวของชิ้นตัวอย่างจนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตกเสียหาย

11.4.3.2 วัดปริมาณความชื้นของชิ้นทดสอบ

ตารางที่ ก-3 อัตราเพิ่มแรงอัดตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

(ข้อ 11.4.3.1)

ชั้นคุณภาพ	อัตราเพิ่มแรงอัด นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที
2	0.05
4	4 0.10
6	6 0.15
8	8 0.20

11.4.4 การรายงานผล

ให้รายงานปริมาณความชื้น และค่าความต้านแรงอัดของชั้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ย

11.5 อัตราการดูดกลืนน้ำ

11.5.1 การเตรียมชั้นทดสอบ

ตัดชั้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน + 1 มิลลิเมตรกรณีชั้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด 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 ปลอบให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จากนั้นวัดมวลและมิติของแต่ละก้อน

11.5.3.2 แช่ชั้นทดสอบตามข้อ 11.5.3.1 ในน้ำสะอาดให้น้ำท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วยกออก ใช้ผ้าชุมน้ำเช็ดที่ผิวที่ละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้ เสร็จภายใน 3 นาที น้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาที่ดูดกลืนน้ำ

กรณีตัวอย่างไม่ผ่านการทดสอบ ให้ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 11.5.3.1 โดยใช้ตัวอย่างเดิมกับ น้ำกลั่นอีก 1 ครั้ง

11.5.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา โดยคำนวณจากสัดส่วนน้ำหนักของน้ำที่ดูดกลืนต่อปริมาตรชั้นทดสอบซึ่งคำนวณจากมิติ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533)

คอนกรีตบล็อกมวลเบาไม่รับน้ำหนัก

บทนิยาม

คอนกรีตบล็อก หมายถึง คอนกรีตทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่างๆ และอาจจะมีสารอื่นผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ สำหรับงานก่อผนังหรือกำแพงมีรูหรือโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน และมีพื้นที่หน้าตัดสุทธิที่ระนาบขนานกับผิวทานน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน

คอนกรีตบล็อกมวลเบาไม่รับน้ำหนัก หมายถึงคอนกรีตบล็อกที่ใช้สำหรับทำแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ นอกจากรับน้ำหนักตัวเอง

คุณลักษณะที่ต้องการ

ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาไม่รับน้ำหนัก เมื่อส่งถึงสิ่งก่อสร้างทั้งค่าเฉลี่ยของแต่ละก้อนเป็นไปตามตารางที่ ก-4

ตารางที่ ก-4 เกณฑ์กำหนดกำลังความต้านทานแรงอัด

กำลังความต้านทานแรงอัด ต่ำสุด กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม)	
เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
25	20

ที่มา : มอก. 58-2516

ปริมาณความชื้นของคอนกรีตบล็อกประเภทควบคุมความชื้น ซึ่งเกณฑ์กำหนดเป็นดังตารางที่ ก-5

ตารางที่ ก-5 เกณฑ์กำหนดปริมาณความชื้นสำหรับคอนกรีตบล็อกควบคุมความชื้น

การหดตัวทางยาว (%)	ปริมาณความชื้นสูงเป็นร้อยละของการดูดกลืนน้ำเต็มที่ (ทดสอบ 5 ก่อน) เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ		
	ค่าความชื้นสัมพัทธ์		
	มากกว่า 75	75-50	น้อยกว่า 50
0.03หรือต่ำกว่า	45	40	35
0.03-0.45	40	35	30
0.45 หรือสูงกว่า	35	30	20

ที่มา :มอก.58-2533

ตารางที่ ก – 6 คอนกรีตเบาที่แบ่งตามลักษณะการนำไปใช้งาน ACI 2112.2-18

ประเภทของคอนกรีต	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
1.คอนกรีตเบาสำหรับงานฉนวนความร้อน (Insulating light-weigh concrete)	น้อยกว่า 800	10-100
2.คอนกรีตเบาสำหรับงานฉาบ (Masonry light-weigh concrete)	500-800	10-180
3.คอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural light-weigh concrete)	1,400-1,800	180-400

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เป็นของเสียอันตราย

1. สิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วประเภทสารพิษ (Toxic substances) ที่มีลักษณะและคุณสมบัติ ดังนี้

1 เป็นสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยหรือสิ่งแวดล้อม เพราะมีคุณสมบัติของความเป็นสารก่อมะเร็ง สารพิษแบบเฉียบพลัน สารพิษแบบเรื้อรัง สารที่มีคุณสมบัติสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตหรือตกค้างยาวนานในสิ่งแวดล้อม เช่นสารเคมีที่ก่อให้เกิดมะเร็งตามบัญชีรายชื่อในกลุ่ม 1

2. เป็นสารที่มีความเป็นพิษ ดังต่อไปนี้ เป็นสารที่มีค่า Acute oral LD50 น้อยกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัมเมื่อใช้หนู (Rat) เป็นสัตว์ทดลอง หรือมีค่า Acute inhalation สัตว์ทดลอง มีค่า acute dermal LD50 น้อยกว่า 4,300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักตัวหนึ่งกิโลกรัม ทั้งนี้ค่าเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LD50 มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมของสารพิษต่อน้ำหนักตัวสัตว์ทดลองหนึ่งกิโลกรัม และค่า LC50 หมายถึง ค่า (ความเข้มข้น) เฉลี่ยของสารพิษ (Medium lethal concentration) ในตัวกลางที่ทำให้สัตว์ที่ใช้ในการทดลองเสียชีวิตไปครึ่งหนึ่ง (50%) ค่า LC50 มีหน่วยเป็น (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของสารพิษต่อล้านส่วน (โดยปริมาตรหรือน้ำหนัก) ของตัวกลาง

3. สารที่มีค่า Acute aquatic 96-hour LC50 น้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตรเมื่อวัดในน้ำอ่อน (ความกระด้างทั้งหมด เท่ากับ 40-48 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูปแคลเซียมคาร์บอเนต) กับปลา fathead minnows (*Pimephales promelas*) ปลา rainbow trout (*Salmo gairdneri*) หรือปลา golden shiners (*Notemigonus crysoleucas*) ตามที่กำหนดใน Part 800 ของ the “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (16th Edition), “American Public Health Association 1085

4. เป็นสารที่มีองค์ประกอบของสารที่ระบุไว้ข้างล่างนี้ ในปริมาณความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่ง หรือปริมาณรวมของสารทั้งหมด มากกว่าหรือเท่ากับ 0.001% โดยน้ำหนัก

4.1 2-Acetylaminofluorene (2-AAF)

4.2 Acrylonitrile

4.3 4-Aminodiphenyl

4.4 Benzidine and its salts

4.5 bis (Chloromethy) ether (BCME)

4.6 Methyl chloromethy ether

4.7 1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP)

4.8 3,3'-Dichlorobenzidine and its salts (DCB)

4.9 4-Dimethylaminoazobenzene (DAB)

4.10 Ethylenimine (EL)

- 4.11 alpha-Naphthylamine (1-NA)
- 4.12 beta- Naphthylamine (2-NA)
- 4.13 4-Nitrobiphenyl (4-NBP)
- 4.14 N-Nitrosodimethylamine (DMN)
- 4.15 beta-Pro piolactone (BPL)
- 4.16 Viny chloride (VCM)

2. สิ่งปนื้อหรือวัตถุที่ไม่ใช่แล้วมีองค์ประกอบของสิ่งเจือปน ที่กำหนดไว้ดังนี้

1. เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นทั้งหมดของสิ่งเจือปน พบว่ามีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์อันตรายสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วยมิลลิกรัมของสารต่อหนึ่งกิโลกรัมของสิ่งปนื้อหรือวัตถุที่ไม่ใช่แล้ว (mg/kg; wet weight) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

แอนติโมนี และ /หรือสารประกอบแอนติโมนี (Antimony and /or antimony compounds)	500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารหนู และ/หรือ สารประกอบของสารหนู (Arsenic and/or arsenic compounds)	500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แร่ใยหินหรือสารแอสเบสตอส (Asbestos)	1.0 (ร้อยละ)
แบเรียม และ/หรือสารประกอบแบเรียม (ยกเว้นแบไรต์และแบเรียมซัลเฟต) (Barium and/or barium compounds (excluding barite and barium sulfate))	10,000มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เบริลเลียม และ/หรือ สารประกอบเบริลเลียม	75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียม และ/หรือสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and/or cadmium compounds)	100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารประกอบของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ (Chromium (VI) compounds)	500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โครเมียม และ/หรือ สารประกอบโครเมียมไตรวาเลนท์ (Chromium and/or chromium (III) compounds)	2,500มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โคบอลต์ และ/หรือ สารประกอบของโคบอลต์ (Cobalt and/or cobalt compounds)	8,000,มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ทองแดง และ /หรือ สารประกอบของทองแดง (Copper ans/or copper compounds)	2,500มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สารประกอบเกลือของฟลูออไรด์ (Fluoride salts)	18,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ตะกั่ว และ/หรือ สารประกอบตะกั่ว (Lead and/or lead compounds)	1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ปรอท และ/หรือ สารประกอบปรอท (Mercury and/or mercury compounds)	20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โมลิบดีนัม และ/หรือ สารประกอบโมลิบดีนัม (ไม่รวมโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์) (Molybdenum and/or molybdenum compounds ; excluding molybdenum disulfide)	3,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
นิกเกิล และ/หรือ สารประกอบนิกเกิล (Nickel and/or nickel compounds)	2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ซีลีเนียม และ/หรือ สารประกอบซีลีเนียม (Selenium and/or selenium compounds)	100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เงิน และ/หรือ สารประกอบของเงิน (Silver and/or silver compounds)	500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ทาลเลียม และ/หรือ สารประกอบทาลเลียม (Thallium and/or thallium compounds)	700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
วานาเดียม และ/หรือ สารประกอบวานาเดียม (Vanadium and/or vanadium compounds)	2,400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สังกะสี และ/หรือ สารประกอบสังกะสี (Zinc and/or zinc compounds)	5,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แอลดริน (Aldrin)	1.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
คลอเดน (Chlordane)	2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ดีดีที ดีดีอี หรือ ดีดีดี (DDT, DDE ,DDD)	1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
2,4-ดี (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid)	100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ดีลดริน (Dieldrin)	8.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ไดออกซิน (Dioxin (2,3,7,8-TCDD)	0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เอนดริน (Endrin)	0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)	4.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
คีโปน (Kepone)	21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่ว (Lead compounds ,organic)	13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ลินเดน (Lindene)	4.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เมททอกซีคลอร์ (Methoxychlor)	100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ไมเร็กซ์ (Mirex)	21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โพลีคลอริเนตเตดไบฟีนิล (Polychlorinated bipynyls (PCBs))	50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ทอกซาฟีน (Toxaphene)	5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	2,040 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ซิลเว็กซ์ (Silvex ; 2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid)	10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

หมายเหตุ: ค่าที่กำหนดของสารอินทรีย์ เป็นค่าที่วัดจากความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารองค์ประกอบ ในกรณีของแอสเบสตอสและโลหะธาตุ ค่าที่กำหนดไว้ใช้กับสารที่อยู่ในสภาพร่วนเป็นผงละเอียดเท่านั้น ทั้งนี้แอสเบสตอส จะรวมถึง chrysotile amosite crocidolite tremolite anthophyllite และ actinolite

2 สิ่งปลูกหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วที่เมื่อนำมาสกัดด้วยวิธี Wasts Extraction Test (WET) และวิเคราะห์น้ำสกัดแล้ว ม้องค์ประกอบของสารอินทรีย์อันตรายและสารอินทรีย์อันตราย ในหน่วย มิลลิกรัมของสารต่อลิตรของน้ำสกัด (mg/l) เท่ากับหรือมากกว่าค่า Soluble Threshold LimitConcentration (STLE) ที่กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

สาหร่าย และ/หรือ สารประกอบของสาหร่าย (Arsenic and/or arsenic compounds)	5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แบเรียม และ/หรือ สารประกอบแบเรียม (ยกเว้นแบไรต์และแบเรียมซัลเฟต) (Barium and/or barium compounds (excluding barite and barium sulfate))	100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
เบริลเลียม และ/หรือสารประกอบเบริลเลียม (Beryllium and/or beryllium compounds)	0.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
แคดเมียม และ / หรือสารประกอบแคดเมียม (Cadmium and/or cadmium compounds)	1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
สารประกอบของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Chromium (VI) compounds)	5 มิลลิกรัมต่อลิตร

โครเมียม และ / หรือ สารประกอบของโครเมียมไตรวาเลนท์ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Chromium and /or chromium(III)compounds)	
โคบอลท์ และ/หรือ สารประกอบของโคบอลท์ (Cobalt and/or cobalt compounds)	80 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทองแดง และ/หรือ สารประกอบทองแดง (Copper and/or copper compounds)	25 มิลลิกรัมต่อลิตร
สารประกอบเกลือของฟลูออไรด์ (Fluoride salts)	180 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่ว และ/หรือสารประกอบตะกั่ว (Lead and/or lead compounds)	5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปรอท และ/หรือสารประกอบปรอท (Mercury and/or mercury compounds)	0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
โมลิบดีนัม และ/หรือสารประกอบโมลิบดีนัม (ไม่รวมโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์) (Molybdenum and/or molybdenum compounds; excluding molybdenum disulfide)	350 มิลลิกรัมต่อลิตร
นิกเกิล และ/หรือสารประกอบนิกเกิล (Nickel and/or nickel compounds)	20 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีลีเนียม และ/หรือสารประกอบซีลีเนียม (Selenium and/or selenium compounds)	1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
เงิน และ/หรือสารประกอบของเงิน (Silver and/or silver compounds)	5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทาลเลียม และ/หรือสารประกอบทาลเลียม (Thallium and/or thallium compounds)	7 มิลลิกรัมต่อลิตร
วานาเดียม และ/หรือสารประกอบวานาเดียม (Vanadium and/or vanadium compounds)	24 มิลลิกรัมต่อลิตร
สังกะสี และ/หรือสารประกอบสังกะสี (Zinc and/or zinc compounds)	250 มิลลิกรัมต่อลิตร
แอลดริน (Aldrin)	0.14 มิลลิกรัมต่อลิตร
คลอเดน (Chlordane)	0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
ดีดีที ดีดีอี หรือ ดีดีดี (DDT, DDE, DDD)	0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร
2,4-ดี (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid)	10 มิลลิกรัมต่อลิตร
ดีลดริน (Dieldrin)	0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร
ไดออกซิน (Dioxin (2,3,7,8-TCDD))	0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร
เอนดริน (Endrin)	0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)	0.47 มิลลิกรัมต่อลิตร
คีโปน (Keepone)	2.1 มิลลิกรัมต่อลิตร
ลินเดน (Lindane)	0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร
เมททอกซีคลอร์ (Methoxychlor)	10 มิลลิกรัมต่อลิตร
ไมเร็กซ์ (Mirex)	2.1 มิลลิกรัมต่อลิตร
เพนตาคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	1.7 มิลลิกรัมต่อลิตร
โพลีคลอรีเนตเตดไบฟีนิล (Polychlorinated biphenyls (PCBs))	0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ทอกซาฟีน (TOXAPHENE)	0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร
ไตรคลอโรเอทีลีน (Trichloroethylene)	204 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซิลเว็กซ์ (Silvex; 2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid)	1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

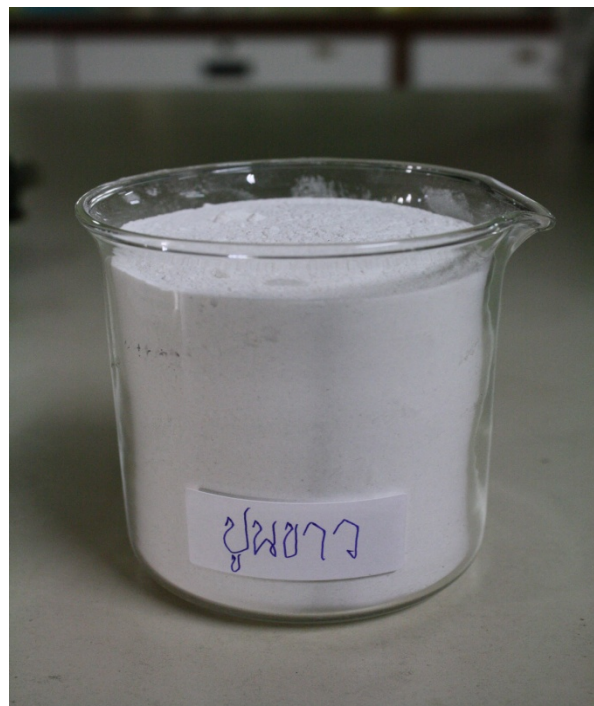
หมายเหตุ : ค่าที่กำหนดของสารอนินทรีย์ เป็นค่าที่วัดเป็นความเข้มข้นของธาตุ ไม่ใช่ของสารประกอบ

3 การทดสอบสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว โดยนำมาสกัดด้วยวิธี Waste Extraction Test (WET) จะทำขึ้นก็ต่อเมื่อ ค่าความเข้มข้นทั้งหมด (Total Concentration) ของสารอันตรายใดๆ มีค่าไม่เกิน TTLC ในข้อ 5.1 แต่มีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่า STLC ของสารนั้นที่กำหนดในข้อ 2 หรือเมื่อต้องการนำสิ่งปนเปื้อนหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วนั้น ไปกำจัดโดยวิธีฝังกลบ

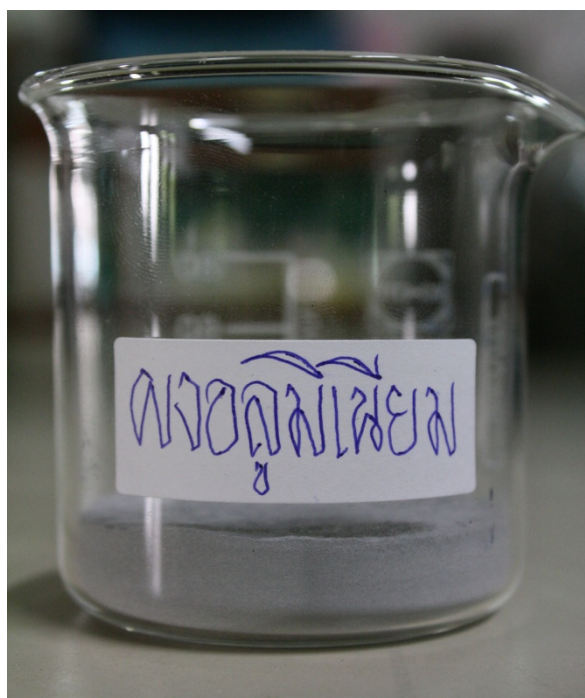
ภาคผนวก ข
ภาพการทดลอง



ภาพที่ ข-1 ทรายแม่น้ำที่ผ่านการร่อนตะแกรงเบอร์ 18



ภาพที่ ข-2 ปูนขาว ชนิด Hydrated lime



ภาพที่ ข-3 ผงอลูมิเนียม



ภาพที่ ข-4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ภาพที่ ข-5 เครื่องผสมวัสดุ



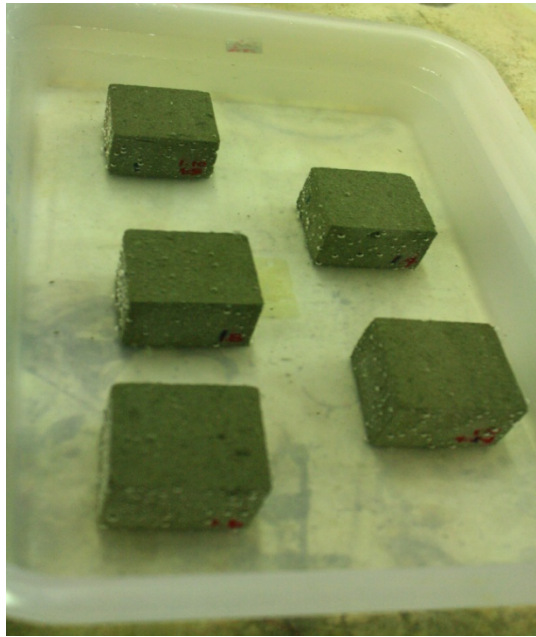
ภาพที่ ข-6 แบบหล่อตัวอย่างทรงลูกบาศก์ ขนาด 5x5x5 ซม.



ภาพที่ ข-7 การทดสอบแรงอัด



ภาพที่ ข-8 เครื่องทดสอบกำลังอัด



ภาพที่ ข-9 การทดสอบการดูดซึมน้ำ