

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา
ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย
ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ
ปุนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเก้าเกลบ

ปริญญานิพนธ์
ของ
ศิวกร สุขลังการ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
พฤษภาคม 2546
ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

666.894

๑541ก

ร-3

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา
ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย
ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ
ปุนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเก้าแกลบ

บทคัดย่อ
ของ
ศิวกร สุขลังการ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา

พฤษภาคม 2546

๒๕๔๖

ศิวกร สุขลังการ. (2546) การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงาน อุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และ แก้วเกลบ ปริมาณนิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล, อาจารย์ สุดใจ เห่งสำโพร.

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และ แก้วเกลบ ทำได้โดยการคำนวณหาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากแผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่าแล้วสุ่มแบบเจาะจงมาเพียง 16 สูตร อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก ใช้สูตรที่ 1 – 16 กำหนดปริมาณกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษร้อยละ 10 – 40 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 – 40 ทรายร้อยละ 10 – 40 แก้วเกลบร้อยละ 10 – 40 และน้ำร้อยละ 20 แต่ละสูตรผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกขนาด 70 X 190 X 390 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิคระบบสันสะท้อน จำนวนสูตรละ 20 ก้อน รวม 320 ก้อน แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ (มอก.58-2533) ด้านคุณลักษณะทั่วไป ความต้านทานแรงอัด การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 109-2517) และ (มอก. 110-2517) การทดสอบการหดแห้ง

ผลการทดลองสรุปได้ว่า สูตรที่เหมาะสมที่สุดของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ คือ สูตรที่ 13 มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ คือ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 40 ทรายร้อยละ 40 แก้วเกลบร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 20 มีคุณสมบัติทางกายภาพด้านคุณลักษณะทั่วไป (มอก. 58-2533) คือ ความหนาของแกนผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยมีความหนาของแกน 14 มิลลิเมตร เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้มากกว่าหรือเท่ากับ 12 มิลลิเมตร ขนาดของคอนกรีตบล็อกด้านความหนาไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยมีความหนาเฉลี่ย 65 มิลลิเมตร เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ 70 มิลลิเมตร โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร ขนาดของคอนกรีตบล็อกด้านความสูง ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยมีความสูงเฉลี่ย 194 มิลลิเมตร เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ 190 มิลลิเมตร โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร และขนาดของก้อนคอนกรีตบล็อกด้านความยาวไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยมีความยาวเฉลี่ย 396 มิลลิเมตร เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ 390 มิลลิเมตร โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร ด้านความแข็งแรงผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เพราะก้อนคอนกรีตบล็อกไม่เกิดรอยแตกร้าวและรอยบิ่นใด ๆ ลักษณะก้อนบล็อกมีความแข็งแรง เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ก้อนคอนกรีตบล็อกต้องแข็งแรงทุกก้อนปราศจากรอยแตกร้าว หรือรอยเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อ ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญตรวจพินิจด้านความเหมาะสมในการฉาบปูนหรือแต่งปูน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เพราะมีผิวหน้าของก้อนคอนกรีตหยาบพอแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่ง ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญตรวจพินิจ

ด้านความต้านทานแรงอัด การทดสอบตามมาตรฐาน (มอก. 109-2517) เมื่อก้อนคอนกรีตบล็อกมีอายุ 28 วัน เกณฑ์มาตรฐานกำหนดต่ำสุดแต่ละก้อน 2.0 เมกะพาสคัล และเฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน 2.5 เมกะพาสคัล สูตรที่ 13 ความต้านทานแรงอัด ก้อนที่ 1-5 มีค่า 1.70 เมกะพาสคัล 1.80 เมกะพาสคัล 1.40 เมกะพาสคัล 1.40 เมกะพาสคัล และ 1.80 เมกะพาสคัล ตามลำดับ ส่วนความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยมีค่า

1.60 เมกะพาสคัล ซึ่งค่าความต้านทานแรงอัดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (มอก. 58-2533, มอก. 109-2517) แต่เมื่อนำค่าความต้านทานแรงอัดไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานอังกฤษ Bs 2028 ค่าทั่วไปของกำลังอัดสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบาอัดแน่นบางส่วน พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีกำลังอัดเมื่ออายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัด 16 กิโลกรัม/ซม.² หรืออยู่ในช่วง 14-56 กิโลกรัม/ซม.² ของมาตรฐานอังกฤษ

ด้านการหดแห้ง (มอก. 110-2517) พบว่าากกตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษมีความชื้นสูง และมีความพรุนมาก ค่าการหดแห้งของก้อนคอนกรีตบล็อกมีการหดตัวมาก เมื่อแห้ง และจะเริ่มคงที่เมื่อบ่มหรือตากไว้ให้แห้งสนิท เช่นเดียวกันกับน้ำหนักของก้อนคอนกรีตบล็อก เมื่อแห้งสนิท น้ำหนักจะเริ่มคงที่

A STUDY ON THE RATIO OF MATERIAL COMBINATION OF LIGHT WEIGHT
AGGREGATE NON-LOADED BEARING CONCRETE PRODUCED FROM
WASTEWATER TREATMENT SLUDGE OF PULP AND PAPER
INDUSTRY, PORTLAND CEMENT,
SAND AND RICE-HUSK ASH

AN ABSTRACT
BY
SIVAKORN SUKLUNGKARN

Presented In partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree In Industrial Education
at Srinakharinvirot University
May 2003

Sivakorn Suklungkarn : (2003) *A Study on the ratio of material Combination of Light Weight*

Aggregate Non-Loaded bearing Concrete Produce Wastewater Treatment Sludge of pulp and paper industry, Portland Cement, Sand And Rice-Husk Ash, Master thesis, M.Ed. (Industrial Education). Bangkok : Graduate school, Srinakharinvirot University. Advisor committee : Dr. Upavit Suwakuntakul, Mr. Sudjai Ngosripai

The objective of this research is to aim for studying for suitable ratio of material Combination of Light Weight Aggregate Non-Loaded bearing Concrete Produce Waste Wastewater Treatment Sludge of pulp and paper industry, Portland Concrete, Sand and Rice-Husk Ash by making calculation to find the suitable ratio from square diagram and get random in specific type for only 16 formulas, the mixed ratio by weight will use the formula 1-16, assign the quantity of Produce Wastewater treatment Sludge of pulp and paper industry in percentage of 10-40, portland cement in percentage of 10-40, sand in percentage of 10-40, Rice-Husk Ash in percentage of 10-40 and Water in percentage of 20 in each formula to manufacture block concrete in size of 70 X 190 X 390 millimeter by compressor in hydraulic type in vibration system in amount of each formula 20 pieces, the total of 320 pieces and take them to examine the physical quality (UDC 691.327-478:69.022.324/.324 Standard for Hollow Non-Load-Bearing Concrete Masonry Units) in aspect of general character, compression power resistance, examination as Standard of Industrial Produce (UDC 620.11:69.012 Standard for Sampling and Testing Concrete Masonry Units) and (UDC 691.327-478:620.17 Standard Method of Test for Drying Shrinkage of Concrete Block)

The consequence of this experiment can summary that the most suitable formula of mixed material for Light Weight Aggregate Non-Loaded bearing Concrete composition of Produce Wastewater treatment Sludge of pulp and paper industry is the formula 13 which has the mixed ratio of raw material is : Produce Wastewater treatment Sludge of pulp and paper industry in percentage of 10 portland cement in percentage of 40, sand in percentage of 40, Rice-Husk Ash in percentage of and water in percentage of 20, there are the physical quality in aspect of general character (UDC 691-327-478:69.022.324/.324 Standard for Hollow Non-Load-Bearing Concrete Masonry Units) density of axle 14 millimeter as the assigned standard rule is more than or equal to 12 millimeter, the size of block concrete in aspect of density did not passed as assigned standard rule by having the density is average of 65 millimeter which the standard rule assigned 70 millimeter, it will be able to be displaced not to exceed ± 2 millimeter, the size of block concrete in aspect of height did not passed as the standard rule assigned by having the height is average of 194 millimeter which the standard rule assigned 190 millimeter, it will be able to be displaced not to exceed ± 2 millimeter, the size of block concrete in aspect of length did not passed as the standard rule assigned by having the height is average of 396 millimeter which the standard rule assigned 390 millimeter, it will be able to be displaced not to exceed ± 2 millimeter, in aspect of strength which passed as the standard rule assigned because of the block concrete do not occur in crack and split trace and other chip trace, the character of block piece have strength and the standard rule assigned that all block concrete must be strong without the crack and split trace or other damageable trace to be obstacle

with construction, the examination by the expert to investigate in aspect of appropriation in coating and decoration cement which passed as the standard rule assigned because there are thick surface of rough concrete piece is enough for holding of coating cement or decoration cement test by the expert to investigate.

In aspect of compression power resistance, the test as standard (UDC 620.11:69.012 Standard for Sampling and Testing Concrete Masonry Units), when the block concrete piece have be aged 28 days, the lowest standard rule assigned for each piece 2.0 mega pascal and is average from block concrete 6 pieces 2.5 megapascal. In formula 13, the compression power resistance in piece 1-5 value 1.70 megapascal and 1.80 megapascal, 1.40 megapascal and 1.40 megapascal and 1.80 megapascal respectively, in compression power resistance is average value of 1.60 megapascal which the value of compression power resistance do not passed as the standard rule assigned (UDC 691.327-478:69.022.324/.324, UDC 620.11:69.012) but for taking the value of compression power resistance to compare with English Standard Bs 2028, the general value of compression power for light concrete which is compression in some parts found that it is in standard rule by having the compression power is aged 28 days, value of compression power 15 kg/cm^2 or in range of $14\text{-}56 \text{ kg/cm}^2$ of English Standard.

In aspect of shrinkage and dryness (UDC 691.327-478:620.17 Standard Method of Test for Drying Shrinkage of Concrete Block) found that the Produce Wastewater treatment Sludge of pulp and paper industry which manufacture paper tissue and paper have to be high moisture and many full of holes, the value of shrinkage and dryness of block concrete has to be very shrunken, when it dried and will steadily begin when maturity or sun-dried as well as the weight of block concrete piece the time without moisture, the weight will steadily begin.

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา
ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย
ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ
ปุนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และถั่วแกลบ

ของ

นายศิวักร สุขลังการ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. นภาพร หะวานนท์)

วันที่ ๙ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๔๖

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



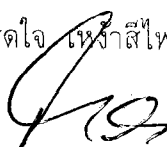
.....ประธาน

(อาจารย์ ดร.อุปวิทย์ สุวคันชกุล)



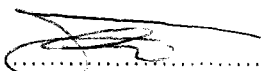
.....กรรมการ

(อาจารย์สุดใจ เห่งสีไพร)



.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร. ไพรัช วงศ์ยุทธไกร)



.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์โอภาส สุขหวาน)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความเมตตา ให้คำแนะนำ แก้ไขข้อเสนอแนะ ดูแลและให้กำลังใจอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.อุวิทย์ สุวคันทรกุล และอาจารย์สุดใจ เหง้าสีไพร ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร และอาจารย์ โอภาส สุขหวาน ที่ให้คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการโรงเรียนบ้านโป่ง บริษัทสยามกราฟท์อุตสาหกรรม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้จัดการ บริษัท ไทยพาวเวอร์ ชัฟฟลาย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ชี้แจงเอกสาร ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์การทดสอบก่อนคอนกรีตบล็อกมวลเบา

ขอขอบพระคุณ คุณนรา รัตนวงศ์ นักวิชาการ 8 คุณพิชิต เจนบรรจง นักวิชาการ 5 และคุณสุวัฒน์ชัย ทองน้อย นักวิชาการ 5 ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญให้ข้อมูล คำแนะนำและทำการทดสอบก่อนคอนกรีตบล็อกมวลเบา

อนึ่ง ผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนและให้กำลังใจเป็นอย่างยิ่งจากคณาจารย์และกรรมการบริหารหลักสูตรสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษาทุกท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคล ที่ไม่สามารถกล่าวชื่อนามได้ทั้งหมดที่มีส่วนช่วยเหลือแนะนำ สนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดา ครู – อาจารย์ อันเป็นที่เคารพสักการะ ให้ทั้งความรู้ กำลังใจ กำลังทรัพย์ และให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ อันพระคุณนี้หาที่เปรียบมิได้

ศิวกร สุขลังการ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	5
สมมติฐานการวิจัย.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
คอนกรีตบล็อกมวลเบา.....	7
วัสดุผสม.....	30
กระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อก.....	45
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.....	51
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	56
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	60
วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง.....	60
ตัวแปรที่จะศึกษา.....	60
เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อก.....	64
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	64
ลำดับขั้นตอนการทดลอง.....	64
แผนการดำเนินการวิจัย.....	73
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	74
การวิเคราะห์ลักษณะทั่วไปของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา.....	74
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	79
สรุปผลการวิจัย.....	80
อภิปรายผล.....	81
ข้อเสนอแนะ.....	82
บรรณานุกรม.....	84

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก. หนังสือขอความอนุเคราะห์ หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญ และประวัติผู้เชี่ยวชาญ..	104
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	115

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ประเภทของคุณสมบัติของมวลรวมเบา.....	8
2 คำทั่ว ๆ ไปของกำลังอัดสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบาชนิดต่าง ๆ.....	19
3 คำทั่ว ๆ ไปของการหดตัวเมื่อแห้งสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา.....	20
4 คำทั่ว ๆ ไปของการหดตัวเมื่อแห้งสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา.....	21
5 ชนิดโรงงาน กำลังการผลิตและปริมาณภาคตะกอน.....	30
6 จุลธาตุภาคตะกอน.....	34
7 แสดงปริมาณโลหะหนักของภาคตะกอน.....	34
8 แสดงคุณสมบัติทางเคมีอื่น ๆ ของภาคตะกอน.....	35
9 คุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของภาคตะกอน.....	35
10 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	38
11 เปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีต.....	39
12 อิทธิพลของการบดรวมปูนซีเมนต์-ซีเถ้ากลับ ที่มีต่อความละเอียด ความต้องการน้ำ และกำลังรับแรงอัด.....	42
13 ความต้องการน้ำ กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมซีเถ้ากลับ จากก้อนทดสอบรูปทรงกระบอก.....	44
14 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก ชนิดไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐาน มอก. 58-2533.....	51
15 รายงานผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก: มอก. 58-2533.....	55
16 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักจากส่วนผสมภาค ตะกอนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย เถ้ากลับ เทียบกับมาตรฐาน มอก. 58-2533.....	56
17 สัดส่วนของวัตถุดิบ A,B,C และ D ใน Quadraxial Blend ขนาด 36 จุด.....	62
18 อัตราส่วนผสมของวัสดุคอมโพสิตซีเมนต์สำหรับคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบาชนิดไม่รับ น้ำหนักที่คำนวณได้จากแผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่า.....	63
19 แผนการดำเนินการวิจัย.....	73
20 การวิเคราะห์ขนาด เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน และลักษณะทั่วไปของวัสดุผสมสำหรับ คอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของภาคตะกอนจากบ่อบำบัด น้ำเสียของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และ เถ้ากลับ เทียบกับมาตรฐาน มอก.58-2533.....	75

บัญชีภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1 คอนกรีตเบาชนิดพื้น ๑ 3 ชนิด.....	9
2 กลุ่มของคอนกรีตน้ำหนักเบา.....	9
3 คอนกรีตบล็อกแบบกลวงชนิดรับน้ำหนัก.....	22
4 คอนกรีตบล็อกแบบกลวงชนิดไม่รับน้ำหนัก.....	22
5 ชนิดและขนาดต่าง ๆ ของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย.....	23
6 การใช้ประโยชน์จากตะกอนโดยโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ.....	30
7 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ.....	32
8 ขั้นตอนของการบำบัดโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษและเศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้น.....	33
9 รูปร่างลักษณะของ C3S ซึ่งเป็นรูปผลึก รูปหกเหลี่ยม และ C2S เป็นเม็ดกลมสีดำ (ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2539:12)	38
10 การพัฒนากำลังของสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ (ชัชวาล เศรษฐบุตร.2539:203).....	39
11 ขั้นตอนในการผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกโดยใช้เครื่องผลิตคอนกรีตบล็อกแบบใช้แรงคน.....	47
12 ขั้นตอนในการผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกแบบใช้ไฮดรอลิค.....	49
13 แผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่าขนาด 36 จุด.....	61
14 ลำดับขั้นตอนการทดลองผลิตวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก.....	65
15 ขั้นตอนในการผลิตวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา โดยใช้เครื่องผลิตแบบใช้เครื่องไฮดรอลิค.....	68

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม ตลอดจนความเจริญของสังคมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ก่อให้เกิดความต้องการในการใช้พลังงาน เพื่อผลิตและการใช้พลังงานในอัตราที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้เกิดแนวโน้มการขาดแคลนวัสดุในการประกอบการ และเป็นสาเหตุที่สำคัญทำให้ราคาวัสดุสูงขึ้น สิ่งที่กำลังก้าวหน้าควบคู่ไปกับการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ซึ่งนำไปสู่ความเจริญในภาคอุตสาหกรรม คือ ปัญหามลภาวะซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของกากเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมการแปรรูปต่าง ๆ ส่วนใหญ่เป็นเศษวัสดุที่เน่าเสียง่าย และมักจะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะ กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม กากของเสียนับเป็นสิ่งที่สำคัญที่ผู้ผลิตไม่สามารถหลีกเลี่ยงความรับผิดชอบสิ่งต่าง ๆ ที่เป็นผลมาจากกากของเสีย ในกรณีที่เศษวัสดุเหลือใช้มีปริมาณมากก็จะเป็นภาระและหน้าที่ของโรงงานในการกำจัดให้ถูกวิธี และยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม (ศุภกิจ นนทนันทน์, 2537:59) จากรายงานการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษระบุว่าในปี พ.ศ. 2539 มีกากของเสียอุตสาหกรรมจำนวน 1,634,104 ตัน และจะเพิ่มจำนวนเป็น 2,813,980 ตัน ในปี พ.ศ.2544 ตัวเลขดังกล่าวทำให้สถานการณ์ปัญหาสิ่งแวดล้อมรุนแรงมากเพราะกากของเสียจากภาคอุตสาหกรรมมีเพียงบางส่วนที่ได้รับการบำบัด หรือกำจัดอย่างถูกต้อง โดยกรรมวิธีการกำจัดอาจกระทำภายในโรงงาน หรือใช้บริการจากศูนย์บริการบำบัดของเสีย ของกระทรวงอุตสาหกรรม (กิตติภูมิ มีประดิษฐ์, 2544:15)

อุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่ส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้วัตถุดิบภายในท้องถิ่น เช่น ชานอ้อย ไม้ไผ่ และไม้เนื้อแข็งชนิดต่าง ๆ เพื่อให้วัตถุดิบเหล่านี้เกิดมูลค่าเพิ่มและมีการจ้างแรงงานเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันอุตสาหกรรมนี้เป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้วัตถุดิบเป็นจำนวนมากในการผลิต และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำและระบบนิเวศน์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2537:1-1) ในประเทศไทยมีการผลิตเยื่อกระดาษตั้งแต่ ปีพ.ศ.2524 ถึงปี พ.ศ.2540 และเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี โดยในปี พ.ศ.2540 มีการผลิตเยื่อกระดาษ 573,000 ตันต่อปี และผลิตกระดาษเป็นปริมาณถึง 2,271,000 ตันต่อปี (กรมป่าไม้, 2540) โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตกระดาษ และโรงงานที่ผลิตทั้งเยื่อกระดาษและกระดาษทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ในประเทศไทยมีทั้งหมด 102 โรง กระจายอยู่ใน 4 ภาค คือ ภาคกลาง 76 โรง ภาคเหนือ 18 โรง ภาคตะวันออก 8 โรง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2 โรง ทั้งหมดมีปริมาณกำลังการผลิตรวม 3,800,960 ตัน มีปริมาณกากตะกอนจากกระบวนการผลิตรวม 204,182 ตัน และจากการสำรวจปริมาณกากตะกอนจากโรงงานพบว่ายังไม่มีมีการนำไปใช้ประโยชน์ ร้อยละ 44 รองลงมาคือใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในโรงงาน และนำไปเป็นวัสดุปรับปรุงดิน ร้อยละ 20 ส่วนที่เหลือนำไปถมที่และมีผู้มาขอซื้อไปทำประโยชน์อื่น ๆ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2540) กากตะกอนจากบ่อน้ำบาดาลน้ำเสียมีปริมาณมากเป็นภาระที่ทางโรงงานต้องรับผิดชอบในการกำจัดไม่ให้เกิดมลภาวะกับสภาพแวดล้อม การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่โดยนำเศษวัตถุดิบเศษสิ่งเหลือใช้ รวมถึงกากของเสียที่เกิดจากระบบบำบัดมาแปรสภาพเป็นวัสดุผลิตภัณฑ์ และสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ การนำเอากากอุตสาหกรรมไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์ใหม่ของกากโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีองค์ประกอบสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ เป็นวัสดุก่อสร้างอย่างมีศักยภาพได้แก่ คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมี

ชนิดและปริมาณของสารแข็งตัวที่เหมาะสม การออกแบบส่วนผสม สารผสมช่วยเพิ่มคุณภาพตลอดจนข้อกำหนดในการบ่ม (ศุภกิจ นนทนานันท์. 2538:62) คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักเป็นวัสดุก่อผนังซึ่งเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่ใช้มากในการก่อสร้างมีข้อดี คือ ขนาดและคุณภาพเป็นมาตรฐานมีความแข็งแรงทนไฟและระบายความร้อนให้กับตัวอาคารทั้งยังสะดวกในการใช้งาน (ประณต กุลประสูตร. 2536:192) การใช้คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ขนาด 70X190X390 มิลลิเมตร มีน้ำหนักก้อนละประมาณ 6.5 - 7.0 กิโลกรัม ยังคงประสบปัญหาด้านน้ำหนักของตัวเองเมื่อนำมาก่อสร้างเพราะจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของฐานราก เสา คาน และเหล็กเส้นเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักของผนังคอนกรีตบล็อกด้วย การคำนวณและออกแบบงานโครงสร้างจึงต้องมีการเผื่อน้ำหนักบรรทุกคงที่ (dead load) เพิ่มด้วยทำให้ราคาก่อสร้างสูง คอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนักจึงเป็นเป้าหมายสำคัญของการวิจัยวัสดุก่อสร้าง

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก ทั้งนี้จะเป็นการใช้ประโยชน์ใหม่ของกากอุตสาหกรรมและวัสดุเหลือใช้มาเป็นวัตถุดิบที่จะนำมาเป็นวัสดุก่อสร้าง วัตถุประสงค์ที่จะนำมารวมกัน ได้แก่ กากตะกอนจากบ่อน้ำบาดาลเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราายและเถ้าแกลบ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยพบว่า กากตะกอนจากบ่อน้ำบาดาลเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อและกระดาษมีคุณสมบัติที่น่ามาใช้ประโยชน์ได้ มีลักษณะทางกายภาพเป็นเชลลูโลสเส้นใยสั้น (สุนทร ดุริยะประพันธ์ ทักษิณ อาชาวคม และ สายันต์ ตันพานิช. 2542:17-20) จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าแกลบโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ พบว่ามีซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 90 หากนำมาผสมกับซีเมนต์จะทำให้มีกำลังรับแรงอัดได้สูง (บุรฉัตร จัตรวีระ. 2537:42-49) สำหรับปูนซีเมนต์มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียมซิลิกอน เหล็ก และอลูมิเนียม เมื่อผสมน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวได้จัดว่าเป็นตัวประสานในช่องว่างที่ดี (รุท กล่อมชุ่ม. 2530:52)

จากคุณสมบัติของวัสดุดังกล่าวผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำเอากากอุตสาหกรรมและวัสดุเหลือทิ้งเพื่อแปรสภาพกากอุตสาหกรรมเป็นวัสดุผลิตภัณฑ์และสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่อีกครั้งหนึ่งซึ่งจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายที่ต้องการกำจัดของเสีย และเป็นการควบคุมปัญหามลภาวะในระยะยาวอีกทั้งยังเป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานและเป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์มีคุณค่าซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิตของภาคอุตสาหกรรม

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของ กากตะกอนจากบ่อน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราาย และเถ้าแกลบ
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533) ด้านคุณลักษณะทั่วไป และความต้านทานแรงอัด การทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.109-2517) และ (มอก.110-2517) การหดแห้ง

ความสำคัญของการวิจัย

ได้สูตรอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533) กำหนดอีกทั้งเป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์ และลดต้นทุนในการผลิตของภาคอุตสาหกรรม

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตของการศึกษาไว้ดังนี้

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

จะเป็นส่วนผสมในการทำวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ได้แก่

- 1.1 กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ
- 1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
- 1.3 หินทราย
- 1.4 แก้วกลบ

2. ตัวแปรที่จะศึกษา

2.1 ตัวแปรต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ตัวแปรต้นคือ สูตรส่วนผสมของวัตถุดิบ ซึ่งประกอบด้วย กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ อยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 หินทราย อยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 แก้วกลบ อยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 ปริมาณน้ำร้อยละ 20 ของน้ำหนักมวลรวม ทั้งนี้จะทำการทดลองโดยการสุ่มแบบเจาะจงจากแผนภาพ 4 เหลี่ยมด้านเท่า ดังภาพประกอบ 13 จำนวน 16 อัตราส่วนผสม ดังตาราง 17 แต่ละอัตราส่วนผสมจะผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาขนาด 70X190X390 มิลลิเมตร จำนวน 20 ก้อน รวมทั้งหมด 320 ก้อน

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

คุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ (มอก.58-2533)

2.2.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องแข็งแรงปราศจากรอยแตกร้าวหรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอย่างถูกต้องหรือทำให้ สิ่งก่อสร้างเสียกำลังหรือความคงทนถาวร ยกเว้นรอยร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติหรือรอยปริเล็กน้อย เนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา การฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้เป็นอย่างดี การก่อแบบผิวเผยด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยบิ่น รอยร้าวหรือตำหนิอื่นๆ

2.2.2 ความต้านทานแรงอัด

ค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน ไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตแต่ละก้อน ไม่น้อยกว่า 2.0 เมกะพาสคัล การทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.109-2517)

2.2.3 การหดแห้ง (มอก. 110 – 2517)

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. อัตราส่วนผสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก

หมายถึง ปริมาณของวัตถุดิบที่นำมาผสมเป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก ประกอบด้วย

1.1 กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ กากตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ มีลักษณะทางกายภาพเป็นเซลล์โลส เส้นใยสั้นที่ผลิตได้จาก ไม้ยูคาลิปตัส ไม้ไผ่ ชานอ้อย และฟางข้าว

1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

1.3 ทรายหยาบ ทรายหยาบเม็ดใหญ่ในสภาวะแห้งจากจังหวัดราชบุรี ขนาด 2 ถึง 4 มิลลิเมตร

1.4 แก้วกลบ ซีเมนต์ที่ได้จากการเผาแก้วที่อุณหภูมิระหว่าง 450 – 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ลักษณะเป็นเกร็ดสีเทาดำ จากโรงไฟฟ้าเกษตรรุ่งเรือง จังหวัดฉะเชิงเทรา

2. คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก หมายถึง ค่ามาตรฐานที่ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นบรรทัดฐานในการสร้างผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดให้เป็นมาตรฐานเดียวกันและใช้เป็นค่าสอบเทียบคุณสมบัติสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ใช้ มอก.58-2533 ว่าด้วยการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนักดังนี้

2.1 คุณสมบัติทั่วไป (มอก. 58-2533)

หมายถึง คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักทุกก้อนต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนที่เสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อก หรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลัง หรือความคงทนถาวร ยกเว้นรอยร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติ หรือรอยปริเล็กน้อยเนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา และคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอสมควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้อย่างดี การทดสอบให้ทำโดยผู้เชี่ยวชาญตรวจพินิจ

2.2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ค่าของแรงเค้นอัดขณะที่ทำให้ชิ้นทดสอบเริ่มเสียหาย มีหน่วยเป็นเมกะพาสคัล (กระทรวงอุตสาหกรรม มอก.109-2517:1) ทั้งค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยและค่ากำลังต้านทานแรงอัดแต่ละก้อน ดังนี้

2.2.1 ค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน ไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ทดสอบตามลักษณะการใช้งาน โดยตั้งอยู่ในแนวตั้ง

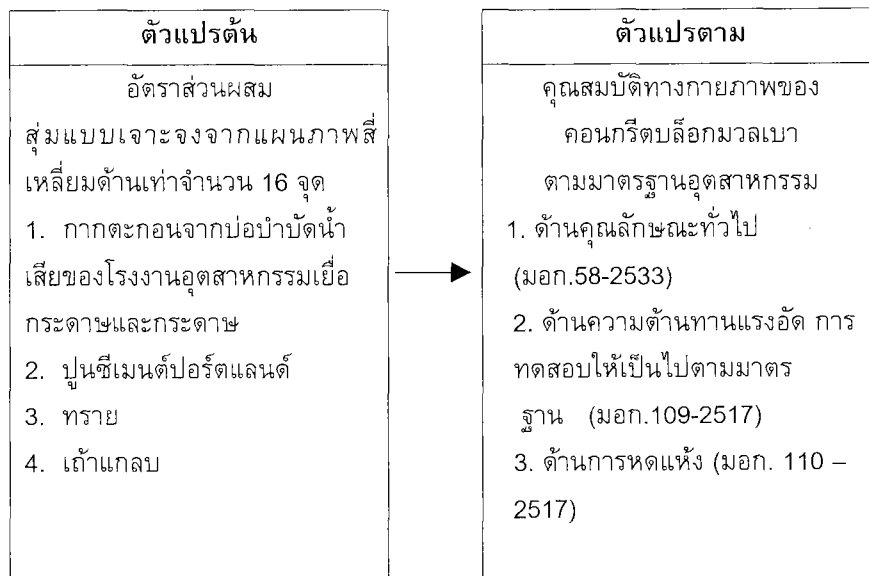
2.2.2 ค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนไม่น้อยกว่า 2.0 เมกะพาสคัล การทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 109-2517)

2.3 การทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (มอก. 110 – 2517)

3. คอนกรีตบล็อกมวลเบา

หมายถึง คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือที่มีน้ำหนักต่อหน่วยเบากว่าคอนกรีตทั่วไป

กรอบแนวคิดการวิจัย



สมมติฐานการวิจัย

คอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่ผลิตขึ้นจากส่วนผสมของ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเถ้าแกลบ มีคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านคุณลักษณะทั่วไป และด้านความต้านทานแรงอัด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533) , (มอก.109-2517) และ (มอก. 110 – 2517)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลต่างๆ จากตำราเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะเป็นประโยชน์และทำให้งานวิจัยครั้งนี้บรรลุจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้โดยจำแนกสาระสำคัญที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

คือ

1. คอกริตบล็อกรวมเบา

- 1.1 การจำแนกรวมเบา
- 1.2 ชนิดของคอกริตเบา
- 1.3 การจำแนกประเภทของคอกริตมวรวมน้ำหนักเบาตามความอัดแน่น
- 1.4 คุณสมบัติต่าง ๆ ของคอกริตน้ำหนักเบา
- 1.5 ประโยชน์ของคอกริตน้ำหนักเบา
- 1.6 ลักษณะของคอกริตบล็อก

2. วัสดุผสม

- 2.1 กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ
 - 2.1.1 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ
 - 2.1.2 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษและกระดาษ
 - 2.1.3 คุณสมบัติของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษและกระดาษ
- 2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
- 2.3 ทราาย
- 2.4 เถ้าแกลบ

3. กระบวนการผลิตคอกริตบล็อก

- 3.1 เครื่องผลิตก้อนคอกริตบล็อก
- 3.2 ขั้นตอนการผลิตคอกริตบล็อก
- 3.3 การใช้คอกริตบล็อก
- 3.4 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน

4. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

- 4.1 มอก.58-2533 คอกริตบล็อกไม่รับน้ำหนัก
- 4.2 มอก.109-2517 วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อสร้างทำด้วยคอกริต
- 4.3 มอก.110 – 2517 วิธีทดสอบการหดแห้งของคอกริตบล็อก

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. คอนกรีตบล็อกมวลเบา

คอนกรีตเบา (Lightweight Concrete) เป็นคอนกรีตที่นิยมใช้ในการก่อสร้างตั้งแต่ทำเป็นฉนวนกันความร้อน จนถึงใช้เป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง เช่น พื้น เสา คาน ฐานราก และผนังอาคาร เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้งานโครงสร้างที่สำคัญคือ ลดน้ำหนักของอาคาร ส่งผลให้เป็นการประหยัดต้นทุนโดยรวม

1.1 การจำแนกมวลรวมเบา

แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดคือ

- 1) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หิน Vermiculite, Perlite, Pumice และ Scoria ซึ่งเป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติ เกิดขึ้นเวลาภูเขาไฟระเบิด มวลรวมชนิดนี้ใช้ผสมทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมากนัก และมวลรวมจะดูดซึมน้ำมาก
- 2) มวลรวมเบาที่ได้จากขบวนการผลิต เป็นมวลรวมเบาที่ใช้ผลิตคอนกรีตมากที่สุดสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทคือ

2.1) Expanded Clay Aggregate ได้จากการนำดินเหนียวมาผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศและนำไปเผาในหม้อเผา (Rotary Klin) ที่ 1,200 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้จะมีการขยายตัว เนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์เกิดเป็นฟองอากาศอยู่ในเนื้อดินลักษณะของหินพวกนี้จะมีรูปร่างกลม แข็ง ผิวเรียบแน่น แต่เนื้อภายในเป็นโพรงอากาศ

2.2) Expanded Shale Aggregate ได้จากการนำดินดาน (Shale) มาผสมกับถ่านที่บดละเอียดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส วัตถุดิบจะถูกหลอมรวมกันและจะมีฟองอากาศถูกกักไว้ภายในเนื้อหิน ลักษณะจะเป็นหินที่มีความแข็งแรงมากหลังจากที่เผามวลรวมทั้ง 2 นี้ได้ทีแล้ว จะนำมวลรวมเบาที่ได้ไปย่อยให้ได้ขนาดที่ที่ต้องการ มวลรวมเบาชนิดนี้จะมี ความแข็งแรงค่อนข้างดี จึงเป็นที่นิยมใช้ผลิตคอนกรีตเบา

2.3) Sintered Fly Ash ได้จากการนำเอา Fly Ash หรือ PFA ที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินไปทำให้เป็นเม็ดก่อน แล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้อนุภาคของ Ash จะเกาะกัน ผิวของมวลรวมเบาชนิดนี้ค่อนข้างเรียบ

- 3) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้หรือพลาสติกบางชนิด ใส่ผสมเข้าไปในคอนกรีต

- 4) มวลรวมที่ได้จากของเหลือของขบวนการผลิต ได้แก่ ถ่านที่หนัก (Furnace Bottom Ash) ที่ได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง หรือ ได้จากการพ่นน้ำไปบน Slag ที่หลอมเหลว อันจะก่อให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อ Slag ที่แข็งตัว หลังจากนั้นจะนำไปย่อย เพื่อให้ได้ขนาดที่ต้องการ

ตาราง 1 ประเภทและคุณสมบัติของมวลรวมเบา

วัสดุ	หน่วย น้ำหนัก มวลรวมเบา (กก./ลบ.ม.)	แหล่งกำเนิด	หน่วยน้ำหนัก คอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	กำลังอัดรูป ทรงลูกบาศก์ (กก./ลบ.ม.)	การดูดซึม (%)
Expanded clay, Expanded Shale	550 – 1050	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	1100 - 1850	180 – 450	5 – 15
Foamed Slag	650 – 900	สังเคราะห์	1100 – 1850	180 – 450	5 – 25
Sintered Fly ash	600 – 1000	สังเคราะห์	1350 – 1900	180 – 450	14 – 24
Vermiculite	65 – 200	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	400 – 950	8 – 35	20 – 35
Perlite	65 – 200	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	550 – 800	7 – 42	10 – 50
Pumice	-	ธรรมชาติ	800 – 1300	50 – 60	สูงมาก
Crushed Stone	1450 – 1750	ธรรมชาติ	2250 - 2400	240 – 550	0.5 – 2.0

1.2 ชนิดของคอนกรีตเบา

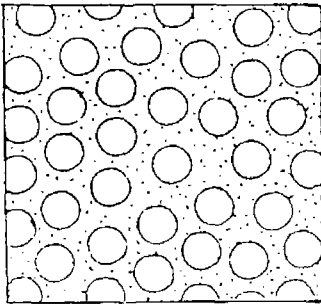
คอนกรีตเบาทั้งหมดมีความหนาแน่นต่ำได้เพราะการกักขังอากาศไว้ในช่องว่างภายในโครงสร้างของเนื้อคอนกรีตนี้สามารถทำให้เกิดขึ้นได้ 3 ทางคือ

โดยการทำให้เกิดฟองแก๊สในซีเมนต์เพสต์ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะทำให้วัสดุที่มีลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายฟองน้ำ คอนกรีตชนิดนี้เรียกกันว่า “Aerated concrete” หรือ “คอนกรีตฟองอากาศ”

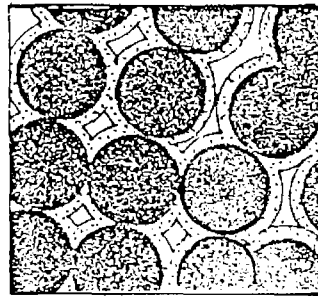
โดยการละทิ้งมวลรวมขนาดเล็กจากการคั่นแบ่งขนาดของมวลรวมและเหลือไว้แต่มวลรวมหยาบ ผลที่ได้จะเป็นคอนกรีตที่เรียกกันว่า “No-fines concrete” หรือ “คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด”

โดยการใช้มวลรวมที่มีลักษณะเป็นรูพรุนหรือมีช่องว่างอยู่ในเนื้อวัสดุมาผสมกับปูนซีเมนต์แทนมวลรวมธรรมดา คอนกรีตที่ได้เรียกกันว่า “Light weight aggregate concrete” หรือ “คอนกรีตมวลร่วนน้ำหนักเบา”

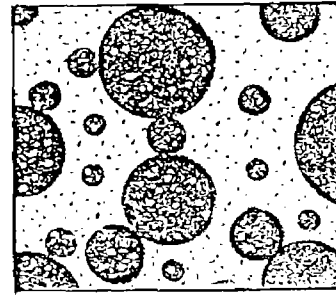
คอนกรีตเบาทั้งสามชนิดอาจจะแสดงลักษณะของเนื้อคอนกรีตอย่างเป็นรูปภาพได้ดังภาพประกอบ 1 นอกจากนี้ คอนกรีตเบายังสามารถผลิตขึ้นได้โดยการผสมกันระหว่างชนิดพื้นๆ 3 ชนิดที่กล่าวมา ตัวอย่างคอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดหรือคอนกรีตฟองอากาศผสมกับมวลร่วนน้ำหนักเบาเป็นต้น



คอนกรีตฟองอากาศ

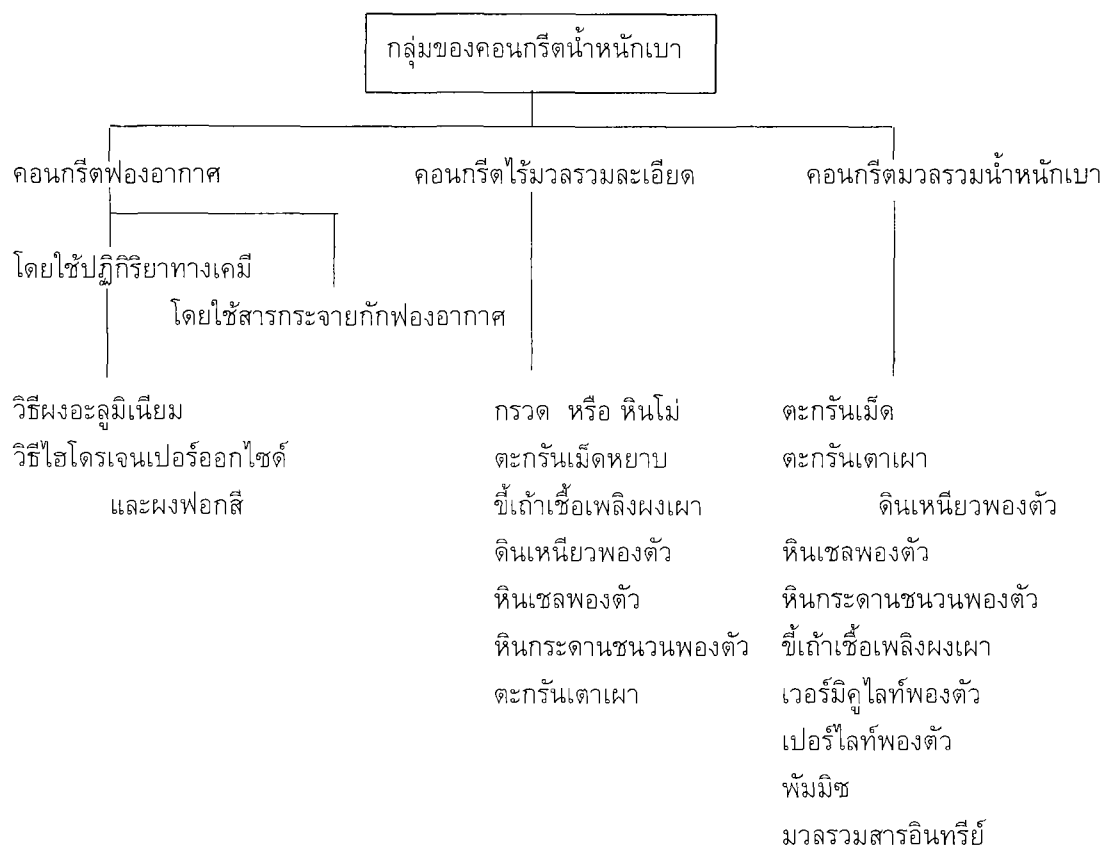


คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด



คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา

ภาพประกอบ 1 คอนกรีตเบาชนิดพื้น ๆ 3 ชนิด



ภาพประกอบ 2 กลุ่มของคอนกรีตน้ำหนักเบา

1.2.1 คอนกรีตฟองอากาศ (Aerated Concrete)

คอนกรีตชนิดนี้ผลิตได้โดยการทำให้เกิดฟองอากาศหรือแก๊สในซีเมนต์ลักษณะที่แข็งตัวแล้ว เนื้อคอนกรีตจะมีช่องอากาศเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ความจริงในซีเมนต์เพสต์มักมีมวลรวมจำพวกทรายละเอียดหรือตัวดูด เช่น ฝุ่นผงของทราย ขี้เถ้าเชื้อเพลิง หรือตะกั่วจากเตาถลุง แต่ไม่มีมวลรวมหยาบ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ามอร์ตาร์ฟองอากาศ (Aerated mortar)

คอนกรีตฟองอากาศทำได้ทั้งสองแบบคือ หล่อสำเร็จโดยปกติบ่มด้วยไอน้ำภายใต้ความดันสูง ๆ การบ่มด้วยไอน้ำความดันสูง (autoclaving) เท่านั้นที่สามารถผลิตคอนกรีตฟองอากาศน้ำหนักเบาจริง ๆ ได้ ขณะที่กำลังและการหดตัวเมื่อแห้งของมันอยู่ในขอบเขต ซึ่งสามารถยอมรับได้สำเร็จการใช้งานทางโครงสร้าง สำหรับการหล่อในที่แน่นอนการบ่มอาจจะต้องใช้อากาศธรรมชาติ ซึ่งมักทำให้กำลังของคอนกรีตที่ได้ น้อยกว่าราว ๆ ครึ่งหนึ่งของกำลังของคอนกรีตที่บ่มด้วยไอน้ำโดยที่มีความหนาแน่นเท่ากัน และการหดตัวก็มากกว่าถึง 4 หรือ 5 เท่านั้น คอนกรีตฟองอากาศไม่สามารถใช้ปูนขาวแทนซีเมนต์ได้ ความหนาแน่นของคอนกรีตแบบนี้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 300-800 กก./ม³ ดังนั้น คอนกรีตฟองอากาศที่หล่อในที่จึงเหมาะสมเฉพาะสำหรับองค์ประกอบของโครงสร้างที่กำลังของวัสดุไม่ใช่สิ่งสำคัญ เช่น วัสดุฉนวนหลังคา

คุณสมบัติที่เด่นของคอนกรีตฟองอากาศ คือ ความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีขึ้นส่วนหล่อสำเร็จสำหรับใช้ในงานโครงสร้างมีผลดีออกมาในรูปต่าง ๆ ทั้งเป็นคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตเสริมเหล็ก ในกรณีของคอนกรีตเสริมเหล็กต้องระลึกไว้ด้วยคอนกรีตฟองอากาศเต็มไปด้วยรูพรุน และ ต้องแน่ใจว่าเหล็กเสริมได้รับการป้องกันการเกิดสนิมอย่างดี

1.2.2 คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด (No-fines Concrete)

คอนกรีตชนิดนี้ประกอบด้วยปูนซีเมนต์และมวลรวมหยาบเท่านั้น ขนาดของมวลรวมหยาบอยู่ในระหว่าง 10 – 20 มม. การผสมแบบนี้ทำให้เกิดช่องอากาศกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอตลอดเนื้อคอนกรีต มวลรวมหยาบที่ใช้สำหรับคอนกรีตชนิดนี้อาจจะเป็นชนิดเนื้อแน่นอย่างที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป เช่น กรวดหรือหิน หรือชนิดน้ำหนักเบา เช่น กากเชื้อเพลิงเผา (sintered pulverised – fuelash) ตะกั่วโลหะเตาถลุง (foamed blastfurnace slag) หรือดินเหนียวพองตัว (expanded clay)

น้ำหนักของคอนกรีตชนิดนี้มีค่าประมาณ เศษสามส่วนสี่ หรือ เศษสองส่วนสาม เท่าของน้ำหนักคอนกรีตธรรมดาที่ทำด้วยมวลรวมชนิดเดียวกัน กำลังของคอนกรีตขึ้นอยู่กับมวลรวมที่ใช้และแปรผันโดยตรงกับปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ (ปูนซีเมนต์มากขึ้น กำลังจะเพิ่มขึ้น) ส่วนผสมที่ใช้กันคือ 1 : 8 โดยปริมาตร และอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 กำลังต่ออายุ 28 วันของคอนกรีตชนิดนี้อยู่ในราว ๆ 50-80 กก. ต่อซม. (5-8 MN/m²) เนื่องจากกำลังรับน้ำหนักต่ำ ประโยชน์ของคอนกรีตชนิดนี้ส่วนใหญ่ใช้ทำกำแพงหรือผนังที่ไม่ต้องรับน้ำหนัก เช่น ผนังกันห้อง ทำกำแพงรั้ว ทำใส่ในพื้น และทำแผ่นคอนกรีตปูหลังคา

การใช้คอนกรีตชนิดที่ทำผนังหรือกำแพงด้านนอกจำเป็นต้องฉาบผิวหน้าเพราะเนื้อรูพรุนของคอนกรีตทำให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย แต่มีปัญหาในแง่การดูดน้ำอย่างแคพิลลารี เพราะฉะนั้นจึงเป็นพื้นอย่างดีสำหรับการฉาบปูนทรายหรือปูนพลาสติก ข้อแตกต่างกับคอนกรีตแบบชนิดอื่นๆ คือ คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดนี้มีการหดตัวเมื่อเปรี๊ยะเทียบกับคอนกรีตธรรมดาที่ทำมาจากมวลรวมหยาบอย่างเดียวกันการเป็นสื่อนำความร้อนของผนังคอนกรีตชนิดนี้มีค่าพอ ๆ กันของผนังอิฐที่หนาเท่ากันสำหรับความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำฝนนั้นถ้ามีการฉาบปูนผิวหน้าไว้ดี ควรจะเปรียบเทียบได้กับความต้านทานของผนังอิฐกลวงข้างในที่หนา 287 มม. คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดไม่เหมือนกับคอนกรีตธรรมดาตรงที่ว่าแปรผันง่ายต่อการ

เปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับมวลรวมแต่ละชนิดหาได้โดยการทดลองหลาย ๆ ครั้ง ปริมาณน้ำที่ถูกต้องสำหรับคอนกรีตไร้ มวลรวมละเอียดแต่ละชนิดจะพิจารณาได้จากผลที่ปรากฏขึ้น

คอนกรีตมวลรวมละเอียดต้องการแรงงานกรรมกรน้อยมากสำหรับการก่อสร้างถ้าใช้ท่า กำแพงจะรวดเร็วกว่าที่ทำด้วยคอนกรีตชนิดอื่นและจะประหยัดมากถ้ารูปแบบของอาคารซ้ำ ๆ กัน เกี่ยวกับ หดตัวเมื่อแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตเบาชนิดอื่นแล้วคอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดมีการหดตัวน้อยกว่า แต่อัตราการหดตัวของคอนกรีตชนิดนี้เร็วกว่าคอนกรีตธรรมดา เช่นภายใน 100 วันการหดตัวของคอนกรีต ไร้มวลรวมละเอียดจะเกิดขึ้นราว ๆ 80 % แต่คอนกรีตธรรมดาก่อให้เกิดการหดตัวเพียง 60% เท่านั้น

1.2.3 คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา (Light weight aggregate concrete)

มวลรวมน้ำหนักเบาส่วนใหญ่ได้จากผลิตขึ้นมาโดยตรงจากอุตสาหกรรมหรือจากผลพลอยได้ ของอุตสาหกรรมอื่น ๆ วัสดุน้ำหนักเบาที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติมีบ้างเป็นส่วนน้อย เช่น พัมมิช มวลรวม น้ำหนักเบาที่สำคัญที่สุดทำมาจากเถาถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ถ่านคือตะกรันเม็ดเตาตะกรันเม็ดเตาถูกล้างด้วยน้ำ เชื้อเพลิงผงดินเหนียวฟองตัวหินเซลฟองตัวและพัมมิช

1.2.4 ตะกรันเม็ดเตาเผา (Furnace clinker)

มวลรวมชนิดนี้ผลิตขึ้นโดยการนำเอากากที่เหลือจากการเผาไหม้เป็นอย่างดีในเตาไฟมาเผาหรือ หลอมให้เป็นก้อนจนกระทั่งมีคุณสมบัติและคุณภาพถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เช่น ขีดจำกัดสำหรับ ปริมาณซัลเฟตและปริมาณวัสดุที่เผาไหม้ไม่หมดรวมทั้งหลักปฏิบัติสำหรับการทดสอบการยึดหดตัว (soundness test) ในมาตรฐานอังกฤษ BS 1165 ปริมาณของการที่เผาไหม้ไม่หมดสามารถทำให้ลดลงได้ โดยการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 6 มม. และแยกส่วนที่ละเอียดออก เหลือที่เผาไหม้ไม่หมดส่วนที่เหลือเป็นวัสดุ หยาบซึ่งสามารถนำมาบดและแยกขนาดตามความต้องการได้อีกทางหนึ่งเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่หมด สามารถแยกออกได้โดยการนำกากที่ได้กลับมาเผาไหม้บนแท่นเผาที่สามารถใช้ลมเป่าเพื่อการเผาไหม้ที่ดีขึ้น

วัสดุที่เผาแล้วเป็นก้อน (clinker) บางส่วนมีผงปูนขาวที่ยังไม่ได้ประกอบกับน้ำ (quick lime) ปนอยู่สิ่งนี้จะขยายตัวอย่างช้า ๆ เมื่อถูกน้ำในกรณีที่มีการฉาบปูนจะทำให้ปูนฉาบเกิดการบวมเนื่องจากน้ำใน ปูนฉาบทำให้ตะกรันเม็ดเกิดการขยายตัวการแก้ไขสามารถทำได้โดยการเก็บตะกรันเม็ดไว้ในที่ชื้นเป็นเวลา 2-3 อาทิตย์ ก่อนที่จะนำมาใช้งาน สิ่งที่เกี่ยวข้อง ๆ ไปอีกอันหนึ่ง คือ เหล็กซึ่งสามารถทำให้เกิดรอยสนิมใน คอนกรีตได้ สิ่งที่เกี่ยวข้องนี้สามารถแยกออกได้โดยการดูดด้วยแม่เหล็กขณะที่ทำการบด

ประโยชน์ของมวลรวมชนิดนี้มีขีดจำกัดในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก เพราะสิ่งเจือปนในตะกรัน เม็ดมีผลทำให้เหล็กเสริมเกิดเป็นสนิมได้ง่าย บางประเทศถึงกับห้ามใช้สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก

วัตถุดิบสำหรับทำมวลรวมชนิดนี้เป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ใช้ ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และโรงงานปูนซีเมนต์ ราคาโดยทั่ว ๆ ไปถูก แต่สำหรับประเทศไทยวัสดุนี้อาจจะมี ปริมาณไม่มากพอที่จะนำมาทำเป็นวัสดุก่อสร้างอย่างเป็นล่ำเป็นสันได้

1.2.5 ตะกรันเตาถลุง (Foamed Blastfurnace Slag)

วัสดุชนิดนี้ผลิตได้โดยการนำเอา ตะกรันโลหะที่เกิดขึ้นในเตาถลุงโลหะมา และให้สัมผัสกับน้ำจำนวนจำกัดจำนวนหนึ่ง ขณะที่ตะกรันโลหะยัง ร้อนเหลืออยู่ หรือโดยการพ่นไอน้ำและอากาศจัดตรงไปยังมวลโลหะร้อนเหลวที่ไหลออกมา การทำเช่นนี้โดย วิธีใดวิธีหนึ่ง ทำให้ตะกรันโลหะเกิดการขยายตัวและกลายเป็นวัสดุที่มีรูพรุนคล้ายกับพัมมิช วัสดุที่ได้จะถูก นำมาบดแล้วร่อนแยกขนาดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ สำหรับมวลรวม ความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 320-880 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดที่แยกไว้

มวลรวมชนิดนี้ใช้ทำคอนกรีตหล่อในที่สำหรับเป็นฉนวนหลังคา กันความร้อน แต่ส่วนใหญ่ใช้ทำคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบา นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กได้อีกด้วย

แหล่งวัตถุดิบสำหรับมวลรวมชนิดนี้ คือ โรงงานถลุงเหล็ก โรงงานหลอมเหล็ก และโรงงานทำเหล็กกล้าซึ่งกำลังจะมีมากขึ้นในประเทศไทย

1.2.6 ซีเมนต์เชื้อเพลิงผง (Sintered Pulverised Fuel Ash) ซีเมนต์เชื้อเพลิงแบบนี้เป็นกากที่เหลือจากการเผาไหม้ของผงถ่านหิน กากนี้เป็นผงสีเทา และมีความละเอียดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผงซีเมนต์เชื้อเพลิงนี้สามารถนำมาทำเป็นมวลร่วนน้ำหนักเบาได้โดยการนำเอาผงละเอียดนี้มาทำให้ขึ้นแล้วทำให้เป็นลูกกลม ๆ หลังจากการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส วัสดุที่ได้จะมีลักษณะแข็งเป็นปุม และมีรูพรุน วัสดุเหล่านี้สามารถนำไปบดและแยกขนาดเพื่อใช้เป็นมวลร่วนน้ำหนักเบา สำหรับทำคอนกรีตบล็อก ทำแผ่นคอนกรีตเบา ทำคอนกรีตเสริมเหล็ก กระทั่งทำคอนกรีตอัดแรง ถ้าการหล่อคอนกรีตได้รับการอัดแน่นอย่างดี

ในประเทศไทย ซีเมนต์ผงถ่านหินนี้สามารถหาได้ที่โรงไฟฟ้าถ่านหินลิทไนท์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง แต่ผลพลอยได้นี้จะมีไม่มากพอสำหรับทำอุตสาหกรรมคอนกรีตเบา

1.2.7 หินกระดานชนวนพองตัว หินเชลพองตัว และดินเหนียวพองตัว (Expanded Clay, Shale, and Slate) เมื่อดินเหนียวบางชนิดหรือหินเชลบางชนิดถูกนำมาเผาจนเกือบถึงจุดหลอม มันจะขยายตัวหรือพองขึ้นเนื่องจากการเกิดแก๊สขึ้นภายในเนื้อวัสดุ และเมื่อเย็นลงโครงสร้างที่ประกอบด้วยโพรงเล็ก ๆ ยังคงอยู่ วัสดุน้ำหนักเบาที่ได้นี้จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นมวลร่วนสำหรับคอนกรีตเบา ดินเหนียวบางชนิดไม่มีสารประกอบที่จะทำให้เกิดพองแก๊สขึ้นได้เมื่อได้รับความร้อน แต่สามารถทำให้พองตัวได้โดยการเติมวัสดุบางอย่างประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเพื่อช่วยให้เกิดพองแก๊สขึ้นได้เมื่อได้รับความร้อน วัสดุตัวเติมเหล่านี้ได้แก่ ถ่านหิน ซีลี้อย แกลบ ฟาง มูลวัว และน้ำอ้อย

มวลรวมแบบพองตัวนี้อาจจะผลิตให้มีลักษณะเป็นลูกกลมโดยการเผาในเตาหมุน (Rotary Kiln) หรืออาจจะผลิตให้เป็นเศษชิ้นเล็กชิ้นน้อยจากการบดก้อนวัสดุรูปทรงที่ทำขึ้นโดยการเผาบนเตา sinter-strand ก็ได้ ประโยชน์ของมันใช้ทำคอนกรีตบล็อก ทำชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กและทำชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง

นอกจากนี้ หินกระดานชนวนบางชนิด เมื่อนำมาเผาให้ร้อนอย่างรวดเร็ว จะเกิดการขยายตัวหรือพองตัวขึ้นคล้าย ๆ กับดินเหนียวและหินเชล วัสดุที่ได้เป็นรูปพรุนและมีน้ำหนักเบา ซึ่งสามารถใช้เป็นมวลร่วนน้ำหนักเบาสำหรับคอนกรีตได้เป็นอย่างดี

ในประเทศไทย ดินเหนียวที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นวัสดุน้ำหนักเบามีอยู่ในจังหวัดอยุธยาและจังหวัดปทุมธานี แต่เนื่องจากการเผาท้องการอุณหภูมิสูงมาก (ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส) ต้นทุนการผลิตมวลร่วนน้ำหนักเบาจากดินเหนียวอาจจะสูงมากจนไม่คุ้มประโยชน์

ความหนาแน่นธรรมชาติของมวลร่วนน้ำหนักเบาชนิดนี้อยู่ในระหว่าง 300-900 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับดินเหนียวพองตัว และ 400-1,200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

1.2.8 พัมมิช (Pumice) เป็นวัสดุน้ำหนักเบาที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการระเบิดของภูเขาไฟ การขยายตัวของแก๊สที่ระเบิดขึ้นมีผลทำให้วัสดุเต็มไปด้วยรูพรุน โดยปกติวัสดุนี้มีสีอ่อนและมีเนื้อเป็นโพรงเล็ก ๆ เชื่อมโยงติดต่อกันอย่างสม่ำเสมอ หินภูเขาไฟอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะคล้าย ๆ กับพัมมิชคือ Scoria ซึ่งโดยปกติมีสีเข้มกว่า เชลล์ในเนื้อวัสดุมีรูปร่างขรุขระและขนาดใหญ่กว่าและเชลล์เหล่านี้ไม่ติดต่อกัน

พัมมิชที่ขุดได้มาโดยทั่วไปจะถูกเจือปนไปด้วยฝุ่นผงภูเขาไฟ ดินเหนียว และหินเชล สิ่งเจือปนเหล่านี้ควรจะต้องล้างให้หมดไปจากการบด พัมมิชที่บดจนได้ขนาดตามที่ต้องการแล้วสามารถทำให้แข็งแกร่งยิ่งขึ้นไปอีกได้ โดยการเผาให้ร้อนจนเกือบถึงจุดหลอมละลาย

ประโยชน์ของหินชนิดนี้ใช้ทำคอนกรีตบล็อก ชั้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จมวลรวมน้ำหนักเบาชนิดไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับงานคอนกรีตหล่อในที่เพราะว่ามีแนวโน้มที่จะลอยขึ้นสู่วิวนซึ่งนำไปสู่การแยกตัวของคอนกรีต ในการใช้กับเหล็กเสริมมวลรวมชนิดนี้จะต้องผ่านการล้างอย่างดี เพื่อขจัดสิ่งสกปรกเจือปน

วัสดุน้ำหนักเบานี้ดูเหมือนจะหาได้ยากมากในประเทศไทย ความหนาแน่นธรรมชาติของพัมมิชอยู่ในระหว่าง 350-650 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

1.2.9 เเปอร์ไลต์ฟองตัวและเวอร์มิคิวไลต์ฟองตัว (Expanded Perlite and Vermiculite) เเปอร์ไลต์เป็นหินภูเขาไฟที่มีลักษณะคล้ายแก้ว ส่วนเวอร์มิคิวไลต์เป็นแร่ที่มีลักษณะเป็นเกล็ดคล้ายไมกา (mica) วัสดุทั้งสองชนิดนี้เมื่อได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมจะขยายตัวจนกลายเป็นวัสดุพรุนเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบาในคอนกรีตสำหรับป้องกันความร้อน แต่ไม่เหมาะสำหรับใช้ในคอนกรีตโครงสร้างเพราะคอนกรีตที่ทำด้วยมวลรวมน้ำหนักเบาทั้งสองชนิดนี้มีกำลังต่ำ

หินทั้งสองชนิดนี้หาได้ยากมากในประเทศไทย ความหนาแน่นธรรมชาติของมันอยู่ในระหว่าง 40- 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับเปอร์ไลต์

1.2.10 ไดอะตอมไมท์ (Diatomite) วัสดุน้ำหนักเบานี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และมีชื่อที่รู้จักกันทั่ว ๆ ไปหลายชื่อ เช่น Kieselguhr, tripolite, fossil flour เป็นต้น ประโยชน์ที่สำคัญของมันในงานก่อสร้างคือใช้เป็นตัวช่วยให้คอนกรีตทำงานได้ดีขึ้น และการเผาในเตาหมุนจะทำให้วัสดุชนิดนี้กลายเป็นมวลรวมน้ำหนักเบาอย่างดีที่สุดสำหรับคอนกรีต ความหนาแน่นธรรมชาติของมวลรวมชนิดนี้อยู่ในราว 3,430 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

แหล่งวัตถุดิบในประเทศไทยอยู่ที่อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง และเชื่อว่าเป็นจำนวนมาก ราคาวัตถุดิบชนิดนี้ค่อนข้างต่ำ

1.2.11 มวลรวมสารอินทรีย์ (Organic Aggregates) สารอินทรีย์ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติบางชนิดสามารถใช้เป็นมวลรวมสำหรับคอนกรีตเบาได้ สารอินทรีย์ที่กล่าวมานี้ได้แก่กากของพืชผล เช่น เปลือกข้าวหรือแกลบ แต่ที่สำคัญที่สุดในบรรดามวลรวมชนิดนี้ คือ ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมไม้ ชีลื้อยสามารถใช้เป็นมวลรวมผสมกับคอนกรีตได้ และให้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า "Saxdust-cement" นอกจากนี้ชีลื้อยก็อาจจะใช้เป็นมวลรวมสำหรับคอนกรีตเบาได้อีกด้วย

ข้อเสียของมวลรวมชนิดนี้ คือ เมื่อคอนกรีตแห้งจะมีการหดตัวมาก ดังนั้นประโยชน์ของมวลรวมชนิดนี้จึงมีขอบเขตใช้งานจำกัด การหดตัวอย่างมากเมื่อแห้งนี้อาจจะแก้ไขได้โดยการเติมทรายเข้าไปในส่วนผสมซีเมนต์ ชีลื้อย แต่ต้องแลกกับการมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและความเป็นฉนวนกันความร้อนลดลง

ในปัจจุบันมีสารอินทรีย์สังเคราะห์เป็นจำนวนมากที่สามารถใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบาได้ เช่น foamed polystyrene และ polypropylene fibres ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับเป็นตัวฉนวนกันความร้อนสูง ๆ เนื่องจากสารสังเคราะห์เหล่านี้มีราคาแพงมากในประเทศไทย ดังนั้นจึงมีผู้ทำการทดลองนำเอาเศษพืชที่ทิ้งแล้วมาดัดแปลงเพื่อทำหน้าที่คล้ายกับสารสังเคราะห์ดังกล่าว และปรากฏว่าได้ผล เศษพืชชนิดนี้ ได้แก่ ขางข้าวโพดตากแห้ง

1.3 การจำแนกประเภทของคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาตามความอัดแน่น

ในทางปฏิบัติ คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาอัดแน่นบางส่วน (Partially compacted lightweight aggregate concrete)

2. คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสำหรับโครงสร้าง (Structural lightweight aggregate concrete)

ชนิด (1) ใช้กันมากสำหรับทำชิ้นส่วนคอนกรีตแผ่นคอนกรีตเบาสำเร็จรูปและทำหลังคาและผนังกันความร้อนแบบหล่อในที่ คอนกรีตชนิดนี้ไม่เหมาะสมกับงานคอนกรีตเสริมเหล็กและไม่ควรใช้เป็นคอนกรีตโครงสร้างรับแรงมาก ๆ การที่คอนกรีตชนิดนี้จะมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับงานหนึ่ง ๆ หรือมีความหนาแน่นต่ำพอที่จะเป็นฉนวนความร้อนที่ดีหรือไม่ และมีการหดตัว เมื่อแห้งน้อยพอที่จะไม่เป็นเหตุให้เกิดการแตกร้าวหรือไม่ นั้น สิ่งเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมที่ใช้ ส่วนผสม การอัดแน่น และวิธีการบ่ม อย่างไรก็ตาม การที่จะได้คอนกรีตน้ำหนักเบาที่มีคุณสมบัติครบทุกประการอาจจะเป็นสิ่งที่ทำได้ยากสำหรับมวลรวมน้ำหนักเบาหนึ่ง ๆ โดยปกติการออกแบบคอนกรีตชนิดนี้จะต้องประเมินประนีประนอมให้ได้จุดประสงค์ที่สำคัญที่สุดของงาน ซึ่งอาจจะมีความแข็งแรง หรือการเป็นฉนวนความร้อนหรือการหดตัวเมื่อแห้ง เช่น สำหรับเป็นฉนวนกันความร้อน คอนกรีตต้องการมวลรวมที่มีความหนาแน่นและความแข็งแรงต่ำ กล่าวคือ เปอร์ไลต์เผาหรือเวอร์มิคูไลต์เผา หรือมวลรวมเนื้อแน่นกับส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำ แต่ในกรณีที่ความแข็งแรงเป็นจุดประสงค์ที่สำคัญที่สุดส่วนผสมของคอนกรีตต้องการปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้นและมวลรวมควรจะเป็นพวกซีเมนต์เช็ลลิงผงหรือดินเหนียวเผา

ชนิด (2) เป็นคอนกรีตสำหรับโครงสร้างที่ได้รับการอัดแน่นอย่างดีเช่นกับคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ คอนกรีตเบาชนิดนี้สามารถใช้กับเหล็กเสริมได้อย่างดี มวลรวมที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตชนิดนี้คือตะกั่วเม็ด ซีเมนต์เช็ลลิงผง ดินเหนียวผงตัว หินเชลและหินสเลทผงตัว นอกจากนี้ก็พืชมิมซึ่งอาจจะใช้กับคอนกรีตชนิดนี้ได้ ไม่มีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่และได้ผ่านการเผาเพิ่มความแข็งแรงแล้ว อย่างไรก็ตามการใช้พืชมิมเป็นมวลรวมสำหรับคอนกรีตหล่อในที่อาจจะมีปัญหาที่มันเบาและอาจจะเป็นเหตุให้เกิดการแยกตัวของส่วนผสม

1.4 คุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตน้ำหนักเบา

ความแข็งแรง ค่าของกำลังอัดอายุ 28 วันสำหรับคอนกรีตเบาชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตาราง 2 กำลังของคอนกรีตเหล่านี้อาจจะทำให้สูงขึ้นอีกได้โดยการใช้ทรายธรรมชาติแทนมวลรวมละเอียดน้ำหนักเบา แต่การทำเช่นนี้จะทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น เป็นธรรมชาติของคอนกรีต คอนกรีตที่มีความหนาแน่นต่ำ เช่น คอนกรีตฟองอากาศ มักจะมีความแข็งแรงน้อยกว่า คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นกว่า เช่น คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาบางชนิด มาตรฐานอังกฤษ BS 2028 ได้วางหลักปฏิบัติไว้ว่าคอนกรีตเบาสำหรับทำบล็อกลูกจะต้องมีกำลังไม่ต่ำกว่า 2.8 MN/m^2 หรือ ราว ๆ 28.16 กก. ต่อซม.² คอนกรีตฟองอากาศเสริมเหล็กที่มีกำลังอัด $2.8 - 3.5 \text{ MN/m}^2$ (28.12-35.15 กก. ต่อซม.²) เคยได้พิสูจน์ให้เห็นแล้วว่าสามารถใช้เป็นองค์โครงสร้างรับน้ำหนักได้อย่างเป็นผลสำเร็จ

ค่าสัมประสิทธิ์ของการแตกหัก (modulus of rupture) ของคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาทั่ว ๆ ไป มักจะสูงกว่าของคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักมากที่มีกำลังอัดเท่ากัน

ในบรรดาคอนกรีตที่มีกำลังอัดเท่ากัน ค่าพิกัดแห่งความยืดหยุ่นหรือค่า E (modulus of elasticity) ของคอนกรีตเบาโดยปกติจะต่ำกว่าของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมน้ำหนักมาก ความแตกต่างในค่า E สำหรับคอนกรีตกำลังสูง ๆ จะมีมากกว่าสำหรับคอนกรีตกำลังต่ำ โดยทั่ว ๆ ไป ค่า E ของคอนกรีตมวลรวมน้ำหนัก

เบาอยู่ในระหว่าง เศษหนึ่งส่วนสาม ถึง เศษสองส่วนสาม ของค่าคอนกรีตธรรมดาที่ใช้กรวดหรือหินม่เป็นมวลรวม สำหรับคอนกรีตฟองอากาศค่าE นี้ยังต่ำลงไปอีก

ควรระลึกไว้เสมอว่า ค่าE นี้มีความสำคัญมาก เพราะมีผลต่อการแอ่นตัวของคานรับการค้ำและการโก่งตัวของเสาหรือผนังรับแรงอัด สิ่งเหล่านี้จะต้องนำมาพิจารณาเสมอในการออกแบบก่อสร้าง

ความคงทน ความคงทนในที่นี้ หมายถึง ความสามารถของวัสดุหรือส่วนประกอบในการที่คงทนต่อสภาพแวดล้อมโดยที่ไม่ทำให้เกิดการ เสียรูหรือสึกกร่อนลงเรื่อยๆ ในงานโครงสร้างอาคาร สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ การกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมี ความเค้นทางกายภาพ และการกระทบกระแทก

ความเค้นทางกายภาพที่มีผลต่อคอนกรีตเบาได้แก่ ความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดเป็นน้ำแข็งภายในรูพรุนจากการหดตัวเมื่อแห้ง และจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวทางความร้อนของคอนกรีตเบามีค่าระหว่าง $8-9 \times 10^{-6}$ ซึ่งไม่มากไปกว่าของคอนกรีตธรรมดาเท่าไรนัก ดังนั้นผลของการเกิดเป็นน้ำแข็งที่กระทำกับคอนกรีตเบาจึงคล้ายๆ กับที่เกิดในคอนกรีตธรรมดาภายใต้สภาวะเดียวกัน การหดตัวเมื่อแห้งและการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในคอนกรีตเบามีมากกว่าในคอนกรีตธรรมดา ในบางกรณี ค่าเหล่านี้สูงมากและจำเป็น อย่างยิ่งที่ต้องนำมาคิดให้ละเอียดในการออกแบบ

การแตกหักของคอนกรีตเนื่องจากแรงภายนอกอาจจะมีผลมากจากการขัดสี การกระทบกระแทก และการรับน้ำหนักมากเกินไป คอนกรีตเบาบางชนิด เช่น คอนกรีตฟองอากาศ อาจจะมีการแตกหักได้ง่ายเมื่อได้รับการขัดสี ความอ่อนแอของวัสดุชนิดนี้อาจนำไปสู่ความเสียหายของอาคารทั้งหลังก็เป็นได้ ดังนั้น ในการใช้คอนกรีตเบาแต่ละชนิดควรให้ความระมัดระวังอย่างถูกต้อง โดยเฉพาะในระหว่างการก่อสร้าง

การเป็นสนิมของเหล็ก อุปกรณ์สำคัญอันหนึ่งที่ทำให้คอนกรีตเบาไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายในงานคอนกรีตเสริมเหล็กเท่าที่ควรคือ ความเป็นรูพรุนของเนื้อคอนกรีต ซึ่งอาจจะเป็นช่องทางให้อากาศเสียและความชื้นเข้าไปกัดเหล็กเสริมได้ง่าย อย่างไรก็ตาม เรื่องนี้สามารถป้องกันได้โดยการใช้คอนกรีตเบาประเภทอัดแน่นอย่างดีที่สุดสำหรับโครงสร้าง คอนกรีตชนิดนี้โดยเฉพาะที่ผสมด้วยมวลรวมน้ำหนักเบาที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาทางเคมีสามารถเป็นตัวต้านทานต่อการเกิดสนิมของเหล็กและการเสื่อมโทรมของตัวมันเองได้อย่างดีพอๆ กับคอนกรีตธรรมดา คุณสมบัติของคอนกรีตเองมีอิทธิพลอย่างมากต่อสมรรถนะและความทนทานของคอนกรีตเสริมเหล็กมากกว่าชนิดของมวลรวมน้ำหนักที่ใช้ ประสบการณ์ในการใช้งานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำจากมวลรวมน้ำหนักเบาชนิดต่างๆ ทั้งในทวีปยุโรปและอเมริกา ได้สนับสนุนประโยชน์ของวัสดุนี้อย่างมาก เช่น การทำเรือคอนกรีตเบาเสริมเหล็กในสงครามโลกทั้งสองครั้ง การสร้างท่าเรือลอยน้ำสำหรับยกพลขึ้นบก ในระหว่างการบุกยุโรปของสงครามโลกครั้งที่สอง การทำอาคารที่อยู่อาศัยและโรงงานบนฝั่งทะเลทางใต้ของประเทศอังกฤษมากกว่านานกว่า 40 ปีแล้ว และการทำแผ่นวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับเหมืองถ่านหิน เป็นต้น

การเกิดสนิมนั้นเนื่องมาจากความชื้นและแก๊สออกซิเจนอิสระทำปฏิกิริยากับเหล็กและในบรรยากาศที่มีสารประกอบซัลเฟอร์และคลอไรด์ การผุกร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังนั้น เพื่อการป้องกันให้เพียงพอ คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมต้องหนาน้อย 50 มม. แต่ในกรณีที่สภาพแวดล้อมเลวร้ายจริงๆ เช่น ในบรรยากาศที่ชื้นมากๆ หรือในดินที่มีสารเคมีเป็นปฏิปักษ์คอนกรีตหุ้มควรจะมีขนาด 75 มม. ขึ้นไป ไม่ว่ามวลรวมที่ใช้จะเป็นชนิดใดก็ตาม

สำหรับคอนกรีตฟองอากาศเสริมเหล็ก เหล็กเสริมต้องได้รับการป้องกันอย่างดีโดยการเคลือบผิวก่อนเทคอนกรีต การเคลือบผิวนี้โดยปกติใช้ของผสมปูนซีเมนต์กับยางลาเท็กซ์ธรรมชาติ หรือไบทูเมนแข็งของทั้งสองอย่างนี้เมื่อจับแน่นกับเหล็กแล้วสามารถกันน้ำซึมผ่านได้อย่างดี

การซึมของน้ำฝน หน้าที่สำคัญอันหนึ่งของผนังอาคารด้านนอก คือ การป้องกันน้ำฝน ในกรณีที่ทำผนังสองชั้นแบบที่มีช่องว่างข้างใน ปัญหาเรื่องน้ำฝนซึมผ่านมาก ในการซึมผ่านผนังของน้ำฝนนั้น บางครั้งน้ำฝนจะซึมผ่านทางเนื้อคอนกรีตโดยตรง แต่ส่วนใหญ่แล้วน้ำฝนจะซึมผ่านเข้าทางช่องรอยแตกบริเวณรอยต่อมากกว่า คอนกรีตยิ่งกันน้ำได้ดีเท่าไร ความชื้นจะซึมผ่านตามรอยแตกของรอยต่อมากขึ้นเท่านั้น คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาไม่มีช่องว่างรูพรุนที่ผิว ดังนั้นการใช้วัสดุชนิดนี้ทำผนังโดยให้มีความหนาเพียงพอและทำอย่างถูกต้องแล้ว สามารถให้การต้านทานอย่างดีต่อการซึมของน้ำฝน สำหรับการฉาบผิวผนัง ถ้าฉาบด้วยปูนหยาบให้เป็นฟองอากาศด้วย จะช่วยป้องกันเพิ่มขึ้น

ด้วยเหตุผลข้างต้น คอนกรีตฟองอากาศที่ไม่มีการฉาบผิวจึงมีการซึมผ่านของน้ำฝนเพียงเล็กน้อย ถ้าผนังไม่บางมากจนเกินไปแล้วไม่จำเป็นต้องห่วงเรื่องการซึมผ่านของน้ำฝน สำหรับกรณีนี้ แต่ในทางปฏิบัติผนังชนิดนี้ควรจะมีการป้องกันผิวของคอนกรีต เพราะถ้ามีความชื้นสะสมอยู่ภายในกำแพงมาก ๆ แล้ว ความสามารถในการป้องกันความร้อนของผนังจะลดน้อยลง

การหดตัวเมื่อแห้งและการคืบตัว เมื่อคอนกรีตแห้งใหม่ ๆ มักจะเกิดการหดตัว ซึ่งเรียกกันว่า “การหดตัวเมื่อแห้งครั้งแรก” หลังจากนั้น การเปียกและแห้งจะมีผลให้คอนกรีตเกิด การขยายตัวและหดตัวสลับกันไป ซึ่งอาจจะเรียกว่าเป็น “การยืดหดตัวตามความชื้นซึ่งกลับไปกลับมาได้” ผลของการหดตัวของคอนกรีตจะทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในเนื้อคอนกรีต ถ้าคอนกรีตนี้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่มีขอบเขตของการเคลื่อนที่จำกัด มันก็จะเกิดการแตกร้าวขึ้น

คอนกรีตที่ทำด้วยมวลรวมน้ำหนักเบาโดยทั่ว ๆ ไปมีการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าคอนกรีตธรรมดา สำหรับคอนกรีตที่ทำด้วยมวลรวมหยาบชนิดเดียวกัน อันที่ไม่มียาวมวลรวมละเอียดจะหดตัวน้อยกว่าอันที่มีมวลรวมละเอียด คอนกรีตฟองอากาศหล่อสำเร็จมีการหดตัวเมื่อแห้งใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา แต่คอนกรีตฟองอากาศหล่อในที่อาจจะมีความมากกว่า 5 เท่า หรือ 10 เท่าในบางครั้ง ค่าของการหดตัวเมื่อแห้งสำหรับคอนกรีตชนิดต่าง ๆ ให้ไว้ในตาราง 3 ค่าเหล่านี้จำเป็นมากที่จะต้องนำมาคิดในการออกแบบเพื่อป้องกันการแตกร้าว เช่น การเสริมเหล็กตามจุดต่าง ๆ ที่คิดว่าการแตกร้าวอาจจะเกิดขึ้นได้ หรือการทำข้อต่อไว้ที่จุดที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงดึง ขึ้นในเนื้อคอนกรีต

คอนกรีตมิได้มีการเปลี่ยนรูปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นเท่านั้น แต่ยังมีการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร คอนกรีตที่ได้รับความเค้นติดต่อกันนาน ๆ พฤติกรรมนี้เรียกว่าการคืบตัว (creep) วัสดุอื่น ๆ ก็มีพฤติกรรมอย่างเดียวกันนี้เช่นกัน การคืบตัวของคอนกรีตจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพการรับน้ำหนัก ส่วนผสมของคอนกรีต และขนาดของชิ้นส่วน สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัดเท่ากัน คอนกรีตเบาส่วนใหญ่จะมีการคืบตัวและการยืดหดตัวตามความชื้นมากกว่าคอนกรีตธรรมดา ข้อดีของการคืบตัวมาก ๆ คือ จะช่วยลดความเค้นแรงดึงเนื่องจากการหดตัวเมื่อแห้งและลดภัยจากการแตกร้าวได้ ในงานคอนกรีตอัดแรง การคืบตัวเป็นสิ่งที่ไม่น่าพึงปรารถนาเพราะจะนำไปสู่การสูญเสียแรงอัด

การป้องกันไฟ เมื่อเกิดไฟไหม้ โครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กกล้าหรือโลหะผสมอะลูมิเนียม จะยืนหยัดอยู่ได้ไม่นาน เพราะเมื่ออุณหภูมิของเหล็กกล้าถึง 555 องศาเซลเซียส และอะลูมิเนียมราว ๆ 200 – 500 องศาเซลเซียส กำลังของโลหะเหล่านี้จะตกลงทันทีภายในสองสามวินาทีที่เกิดเพลิงไหม้ ดังนั้น เพื่อที่จะหน่วงเหนี่ยวกำลังของโครงสร้างเหล็กกล้าไว้ การห่อหุ้มเหล็กกล้าด้วยคอนกรีตจึงเป็นสิ่งที่มีความเหมาะสมมากตามหลักปฏิบัติ โดยทั่ว ๆ ไปกำหนดให้คอนกรีตหุ้มมีความหนาไม่น้อยกว่า 50 มม. ถึงจะต้านทานความร้อนจากไฟได้เพียงพอ อย่างไรก็ตาม การพองตัวของเนื้อคอนกรีต อาจจะเกิดขึ้นได้ ถึงกระนั้นก็ตาม การทำเช่นนี้ก็ยิ่งช่วยหน่วงไฟไว้ได้มาก เนื่องจากความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี คอนกรีตเบาจึงเป็นวัสดุอย่าง

ดีเลิศสำหรับป้องกันโครงสร้างเหล็กกล้าใน เวลาเกิดเพลิงไหม้ คอนกรีตสำหรับท่อหุ้มสมัยใหม่นี้ทำเป็นรูปบล็อกหรือเป็นแผ่น ตัวอย่าง เช่น แผ่นคอนกรีตฟองอากาศ คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา คอนกรีตบล็อก วัสดุน้ำหนักเบาที่ใช้กันมากมีตะกรันเตาเผา ดินเหนียวพองตัว ขี้เถ้าเชื้อเพลิงผงและพัมมิช วัสดุเหล่านี้ถือว่าเป็นมวลรวมน้ำหนักเบาชั้นหนึ่งในแง่ของการต้านทานไฟ และตัวมันเองก็ทนไฟได้ด้วย

การเป็นฉนวนความร้อน ลักษณะที่เด่นที่สุดของคอนกรีตเบา คือ การเป็นตัวนำความร้อนที่เลว คุณสมบัติอันนี้มีผลเนื่องมาจากโพรงอากาศของวัสดุ ความต้านทานการไหลผ่านของความร้อนนี้มีประโยชน์มากสำหรับประเทศหนาวพอ ๆ กับสำหรับประเทศร้อนในการทำให้อากาศภายในอาคารมีอุณหภูมิที่พอเหมาะและช่วยลดค่าใช้จ่ายของเครื่องทำความร้อนหรือเครื่องปรับอากาศ ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตเบาชนิดต่าง ๆ ได้แสดงไว้เพื่อเป็นการเปรียบเทียบใน ตาราง 4

1.5 ประโยชน์ของคอนกรีตน้ำหนักเบา

คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาและคอนกรีตฟองอากาศหล่อสำเร็จนิยมใช้กันมากสำหรับทำคอนกรีตบล็อก บล็อกเหล่านี้อาจจะทำเป็นแบบกลวงหรือแบบเนื้อเต็มก็ได้ และสามารถผลิตได้ง่ายมากในขนาดต่าง ๆ หลายขนาด คุณสมบัติต่าง ๆ กล่าวคือ ความหนาแน่น ความแข็งแรง และการเป็นฉนวนความร้อนของคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบานี้ขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมส่วนผสมของคอนกรีต และวิธีการผลิตในการใช้คอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบาเหล่านี้ทำผนังอาคารด้านนอก ถ้าไม่ใช่ผนังสองชั้นแบบเป็นโพรงข้างใน โดยปกติการฉาบผิวเป็นสิ่งจำเป็นเช่นเดียวกับในกรณีของคอนกรีตธรรมดา

ผนังอาคารหล่อในที่ คอนกรีตไร้มวลละเอียด ทั้งที่ทำด้วยมวลรวมหยาบน้ำหนักเบาและมวลรวมหยาบธรรมดา มีประโยชน์มากสำหรับทำผนังรับน้ำหนักแบบหล่อในที่ทั้งภายนอกและภายในและผนังไม่รับน้ำหนักที่เป็นส่วนประกอบอุดช่องว่างระหว่างโครงสร้าง ผนังด้านนอกที่ทำด้วยคอนกรีตไร้มวลละเอียดนี้จำเป็นต้องมีการฉาบผิวเช่นกัน

คอนกรีตน้ำหนักเบาเสริมเหล็ก คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสามารถนำไปใช้กับองค์โครงสร้างสำคัญ ๆ เช่น เสาและคานได้ถ้าได้รับการอัดแน่นอย่างดี สำหรับกรณีที่ความแข็งแรงมีความสำคัญน้อยกว่าการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาที่ใช้อาจจะไม่ต้องอัดแน่นมากก็ได้ คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบากำลังอัดสูง ๆ สามารถทำขึ้นได้โดยการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสม การให้ส่วนผสมที่ถูกต้องและการอัดแน่นที่ดี การเพิ่มในกำลังอัดของคอนกรีตนี้ มักจะตามมาด้วยการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เช่น ความหนาแน่น กำลังดึง และค่าพิกัดแห่งความยืดหยุ่น เพราะฉะนั้น คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาส่วนใหญ่สามารถใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กและกระทั้งงานคอนกรีตอัดแรงได้ แต่ต้องนำเอาคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ ของวัสดุมาพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างด้วย นอกจากนี้ คอนกรีตฟองอากาศหล่อสำเร็จก็สามารถใช้คอนกรีตเสริมเหล็กได้ด้วยถ้ามีการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กอย่างดี

คอนกรีตรองพื้น น้ำหนักของหลังคาแบบเรียบและพื้นคอนกรีตของอาคารสามารถทำให้ลดลงได้มาก ถ้าใช้คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาประเภทอัดแน่นบางส่วนหรือคอนกรีตฟองอากาศแบบหล่อในที่ที่เป็นวัสดุรองพื้น นอกจากการช่วยลดน้ำหนักของอาคารลงแล้ว คอนกรีตรองพื้นน้ำหนักเบานี้ยังเป็นฉนวนกันความร้อนอย่างดีอีกด้วย การรองพื้นนี้มักจะต้องทับด้วยปูนซีเมนต์ผสมทรายสะอาด หรือมวลรวมละเอียดอื่น ๆ ในอัตราส่วน 1 : 4 ก่อนการปูด้วยกระเบื้องหลังคาหรือการตกแต่งพื้น

ความหนาของคอนกรีตรองพื้นนี้ไม่ควรต่ำกว่า 40 มม. แต่เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อน ของหลังคาความหนาอาจจะต้องมากกว่านี้ ชนิดของคอนกรีตน้ำหนักเบาที่นำมาใช้ในงานนี้มีดังต่อไปนี้ พวกเปอร์ไลต์ พองตัวหรือเวอร์มิคูไลท์พองตัว และคอนกรีตฟองอากาศซึ่งทำให้น้ำหนักเบา และเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี

แต่ถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังสูงด้วย ควรใช้พวกตะกั่วกันแดดลูงซีถ้าเชื้อเพลิงผง หรือดินเหนียวพองตัว หินเซลหรือหินกระดานชนวนพองตัวในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม 1 : 4 ถึง 1 : 10

ตาราง 2 ค่าทั่วไปของกำลังอัดสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบาชนิดต่าง ๆ

ชนิดของคอนกรีต	มวลรวม	ความหนาแน่นของมวลรวม กก./ม. ³	ความหนาแน่นของคอนกรีต กก./ม. ³	กำลังอัดที่เมื่ออายุ 28 วัน MN/m. ²	กก./ซม. ²
คอนกรีตฟองอากาศ (Aerated concrete)			400 - 800	1.4 - 4.9	14 - 49
คอนกรีตมวลร่วนน้ำหนักเบา อัดแน่นบางส่วน (Partially compacted) lightweight aggregate concrete)	Expanded vermiculite and perlite	64 - 240	400 - 1120	0.5 - 3.5	59 - 85
	Pumice	320 - 880	720 - 1120	1.4 - 4.9	14 - 49
	Foamed slag	480 - 960	960 - 1520	1.4 - 5.6	14 - 56
	Sintered pulverised - fuel ash	640 - 960	1120 - 1280	2.8 - 7.0	28 - 70
	Expanded clay or shale	560 - 1040	960 - 1200	5.6 - 8.4	56 - 84
คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด (No - fines concrete)	Clinker	720 - 1040	1040 - 1520	2.1 - 7.0	21 - 70
	Natural aggregate	1360 - 1600	1600 - 1920	4.2 - 14.0	42 - 140
	Lightweight aggregate	480 - 1040	880 - 1200	2.8 - 7.0	28 - 70
คอนกรีตมวลร่วนน้ำหนักเบา สำหรับโครงสร้าง (Structural lightweight aggregate concrete)	Pumice	480 - 880	1040 - 1600	10.5 - 21.0	105 - 210
	Foamed slag	480 - 960	1680 - 2080*	10.5 - 42.0	105 - 420
	Sintered pulverised - fuel ash	640 - 960	1360 - 1760*	14.0 - 42.0	140 - 420
	Expanded clay or shale	560 - 1040	1360 - 1840*	14.0 - 42.0	140 - 420
คอนกรีตธรรมดา (Dense concrete)	Gravel	1600	2240	28.0	280

*คอนกรีตเหล่านี้มีเนื้อแน่นโดยการใส่ทรายละเอียดแทนมวลรวมละเอียดน้ำหนักเบา

ตาราง 3 ค่าทั่ว ๆ ไปของการหดตัวเมื่อแห้งสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา

วัสดุ (Material)	การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying shrinkage) percent
คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด (No-fines concrete)	
Natural aggregate	0.018
Lightweight aggregate	0.025
คอนกรีตมวลรวมน้ำหนัก (Lightweight aggregate concrete)	
Expanded vermiculite	0.25 – 0.35
Pumice	0.04 – 0.10
Foamed slag	0.08 – 0.07
Sintered pulverised – fuel ash	0.04 – 0.07
Expanded clay	0.04 – 0.07
Clinker	0.04 – 0.08
คอนกรีตฟองอากาศ (Aerated concrete)	
Precast	0.05
In-situ	0.5
คอนกรีตธรรมดา	
Dense gravel concrete	0.035

ตาราง 4 ค่าทั่ว ๆ ไปของการเป็นตัวนำความร้อนสำหรับคอนกรีตน้ำหนักเบา

วัสดุ (Material)	ความหนาแน่นของคอนกรีต (Dry density of concrete) กก./ม. ³ (kg./m ³)	การเป็นตัวนำความร้อน (Thermal Conductivity 'K' value)	
		W/m decC	Btu in/ft ² deg F
Aerated concrete	400 - 300	0.08 – 0.20	0.60 – 1.4
Lightweight aggregate Concrete :			
Expanded vermiculite			
And perlite	400 – 1120	0.11 – 0.29	0.75 – 2.0
Pumice	720 – 1280	0.14 – 0.36	1.0 – 2.5
Foamed slag	960 – 1520	0.22 – 0.43	1.5 – 3.0
Expanded clay or shale	960 – 1200	0.33 – 0.46	2.3 – 3.2
Clinker	1040 – 1520	0.35 – 0.58	3.4 – 4.0
Dense concrete	2320	1.2 – 1.7	8 - 12

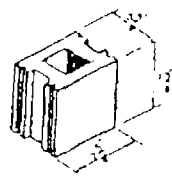
1.6 ลักษณะของคอนกรีตบล็อก

ลักษณะของคอนกรีตบล็อก คอนกรีตบล็อกจำแนกออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ (ประณต กุลประสูตร. 2536 : 193–195)

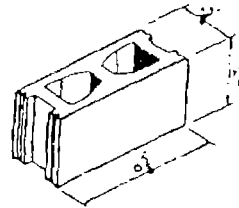
1. คอนกรีตบล็อกแบบกลวง (hollow concrete block)

คอนกรีตบล็อกแบบนี้ ยังจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดรับน้ำหนัก (load bearing block) และชนิดไม่รับน้ำหนัก (non – load bearing)

คอนกรีตบล็อกแบบกลวงชนิดรับน้ำหนัก คอนกรีตบล็อกชนิดนี้ หมายถึงคอนกรีต บล็อกที่ใช้สำหรับผนังที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักตัวเอง มีลักษณะดังภาพประกอบ 3



(ก.)

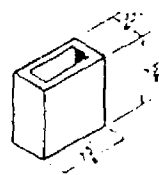


(ข.)

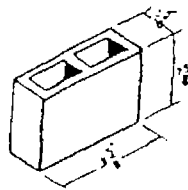
ภาพประกอบ 3 คอนกรีตบล็อกแบบกลวงชนิดรับน้ำหนัก

ที่มา : ประณต กุลประสูตร. 2536 : 193

คอนกรีตบล็อกแบบกลวงชนิดไม่รับน้ำหนัก คอนกรีตบล็อกชนิดนี้ หมายถึงคอนกรีตบล็อกที่ใช้สำหรับผนังที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง มีลักษณะ ดังภาพประกอบ 4



(ก.)



(ข.)

ภาพประกอบ 4 คอนกรีตบล็อกแบบกลวงชนิดไม่รับน้ำหนัก

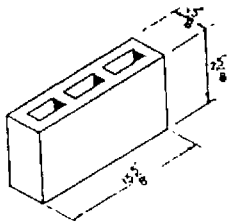
ที่มา: ประณต กุลประสูตร. 2536 : 193

2. คอนกรีตบล็อกแบบตัน (solid Concrete block)

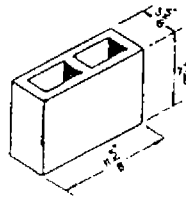
คอนกรีตบล็อกแบบนี้ จะมีเฉพาะชนิดรับน้ำหนักเท่านั้น ซึ่งหมายถึง คอนกรีตบล็อกเชิงตันที่ใช้สำหรับก่อผนังหรือก่อกำแพง ที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักของตัวเอง

คอนกรีตบล็อกขนาดและชนิดต่าง ๆ ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทยได้ถูกแสดงไว้ในภาพประกอบ 5

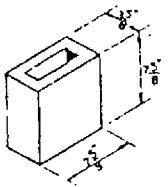
คอนกรีตบล็อกขนาด 100 มิลลิเมตร



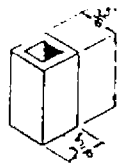
ซี 4 - 1
ผนังกว้าง 100 มม.
เปลือกหนา 25 มม.
น้ำหนัก 11.5 กก.



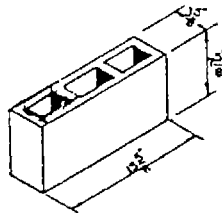
ซี 4 - 6
ผนังกว้าง 100 มม. 3/4 ก้อน
เปลือกหนา 19 มม.
น้ำหนัก 7.0 กก.



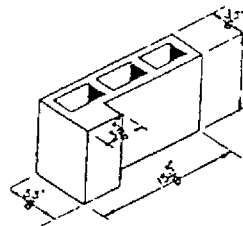
ซี 4 - 2
ผนังกว้าง 100 มม. ครึ่งก้อน
เปลือกหนา 25 มม.
น้ำหนัก 5.5 กก.



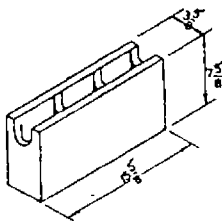
ซี 4 - 7
ผนังกว้าง 100 มม. 1/4 ก้อน
เปลือกหนา 19 มม.
น้ำหนัก 3.0 กก.



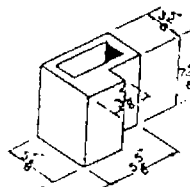
ซี 4 - 3
ผนังกว้าง 100 มม.
เปลือกหนา 19 มม.
น้ำหนัก 9.0 กก.



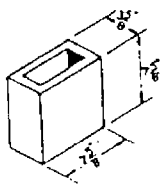
ซี 4 - 8
ผนังกว้าง 100 มม. ก่อมุม
เปลือกหนา 19 มม.
น้ำหนัก 12.0 กก.



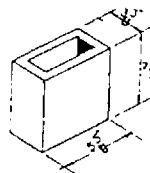
ซี 4 - 4
ผนังกว้าง 100 มม.
เปลือกหนา 19 มม.
เปลือกหนา 19 มม.
น้ำหนัก 10.0 กก.



ซี 4 - 9
ผนังกว้าง 100 มม.
1/3 ของก้อนก่อมุม
เปลือกหนา 19 มม.
น้ำหนัก 6 กก.

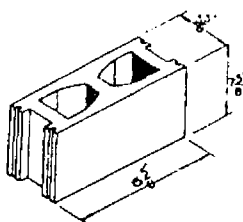


ซี 4 - 5
ผนังกว้าง 100 มม. ครึ่งก้อน
เปลือกหนา 19 มม.
น้ำหนัก 4.5 กก.

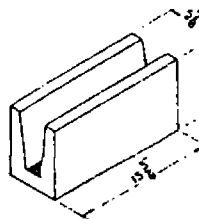


ซี 4 - 10
ผนังกว้าง 100 มม. 1/3 ก้อน
เปลือกหนา 19 มม.
น้ำหนัก 4 กก.

คอนกรีตบล็อกขนาด 150 มิลลิเมตร



ซี 6 - 1
ขนาด 150 มม.
ใช้เรียงตามยาว
น้ำหนัก 13.5 กก.



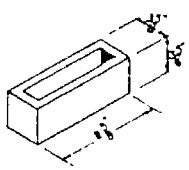
ซี 6 - 9
ผนังกว้าง 150 มม.
ก่อมุมครึ่งก้อน
น้ำหนัก 7.5 กก.

ภาพประกอบ 5 ชนิดและขนาดต่าง ๆ ของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย
ที่มา : ประณต กุลประสูตร, 2536 : 196 - 199

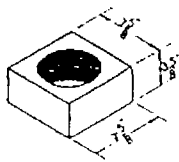
	ซี 6 – 2 ขนาด 150 มม. ก่อมุม น้ำหนัก 14.0 กก.		ซี 6 – 10 ผนังกว้าง 150 มม. ก่อรอบเสาครึ่งก้อน น้ำหนัก 7.0 กก.
	ซี 6 – 3 ขนาด 150 มม. ก่อมุมคู่ น้ำหนัก 14.5 กก.		ซี 6 – 11 ผนังกว้าง 150 มม. ไฮ - ลิท น้ำหนัก 14.0 กก.
	ซี 6 – 4 ขนาด 150 มม. เข้ามุม น้ำหนัก 17.5 กก.		ซี 6 – 12 ผนังกว้าง 150 มม. ดับเบิล ไฮ - ลิท น้ำหนัก 14.0 กก.
	ซี 6 – 5 ขนาด 150 มม. ก่อรอบเสา น้ำหนัก 13.5 กก.		ซี 6 – 13 ผนังกว้าง 150 มม. เอล. เอล. ไฮ - ลิท น้ำหนัก 13.5 กก.
	ซี 6 – 6 ขนาด 150 มม. ก่อขอบ น้ำหนัก 14.5 กก.		ซี 6 – 14 ผนังกว้าง 150 มม. เอล. เอล. ไฮ - ลิท น้ำหนัก 13.5 กก.
	ซี 6 – 7 ขนาด 150 มม. เชื่อมรอยต่อ น้ำหนัก 15.0 กก.		ซี 6 – 15 ผนังกว้าง 150 มม. ก่อสูง น้ำหนัก 7.5 กก.
	ซี 6 – 8 ขนาด 150 มม. เรียงตามยาวครึ่งก้อน น้ำหนัก 7.0 กก.		ซี 6 – 16 ผนังกว้าง 150 มม. ก่อขอบครึ่งก้อน น้ำหนัก 7.5 กก.

บล็อกก่อกำแพง

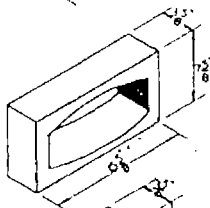
บล็อกแบบตัน



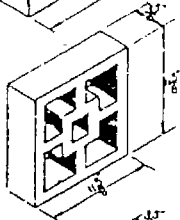
เอสซี - 1
 ก่อกำแพงหมายเลข 1
 น้ำหนัก 4.5 กก.



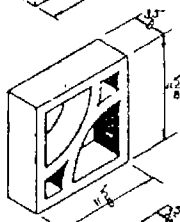
เอสซี - 2
 ก่อกำแพงหมายเลข 2
 น้ำหนัก 6.0 กก.



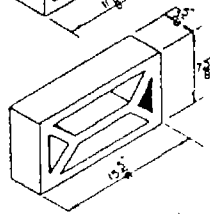
เอสซี - 3
 ก่อกำแพงหมายเลข 3
 น้ำหนัก 6.0 กก.



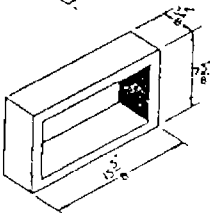
เอสซี - 4
 ก่อกำแพงหมายเลข 4
 น้ำหนัก 8.5 กก.



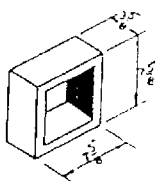
เอสซี - 5
 ก่อกำแพงหมายเลข 5
 น้ำหนัก 7.5 กก.



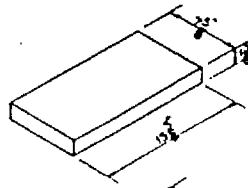
เอสซี - 6
 ก่อกำแพงหมายเลข 6
 น้ำหนัก 8.0 กก.



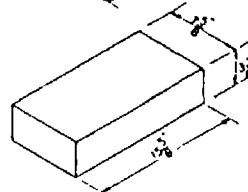
เอสซี - 7
 ก่อกำแพงหมายเลข 7
 น้ำหนัก 6.0 กก.



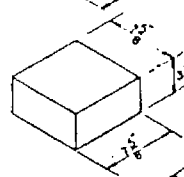
เอสซี - 8
 ก่อกำแพงหมายเลข 8
 น้ำหนัก 4.5 กก.



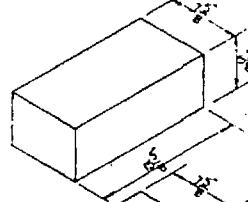
เอสแอล - 1
 ขนาด 35 มม.
 น้ำหนัก 7.0 กก.



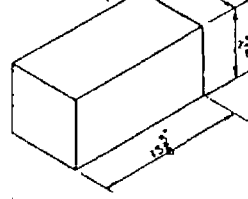
เอสแอล - 2
 ขนาด 90 มม.
 น้ำหนัก 15.5 กก.



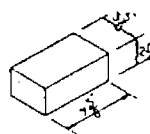
เอสแอล - 3
 ขนาด 90 มม. ครึ่งก้อน
 น้ำหนัก 7.5 กก.



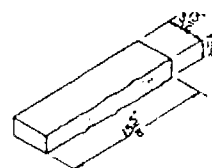
เอสแอล - 4
 ขนาด 140 มม.
 น้ำหนัก 23.5 กก.



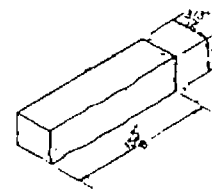
เอสแอล - 5
 ขนาด 190 มม.
 น้ำหนัก 32.0 กก.



คอนกรีตก้อน
 บี - 1
 ขนาด 35 มม.
 น้ำหนัก 3.5 กก.



บล็อกผ่า
 เอสพี - 1
 ขนาด 35 มม.
 น้ำหนัก 3.5 กก.



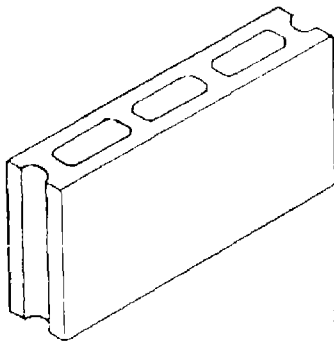
เอสพี - 2
 ขนาด 90 มม.
 น้ำหนัก 8.0 กก.

คอนกรีตบล็อกขนาด 200 มิลลิเมตร

	ซี 8-1 ขนาด 200 มม. เรียงตามยาว น้ำหนัก 17.5 กก.		ซี 8-7 ขนาด 200 มม. เรียงตามยาวครึ่งก้อน น้ำหนัก 9.0 กก.
	ซี 8-2 ขนาด 200 มม. ก่อมุม น้ำหนัก 18.5 กก.		ซี 8-8 ขนาด 200 มม. ก่อกึ่งครึ่งก้อน น้ำหนัก 10.5 กก.
	ซี 8-3 ขนาด 200 มม. ก่อกึ่งครึ่งก้อน น้ำหนัก 19.5 กก.		ซี 8-9 ขนาด 200 มม. ก่อกึ่งครึ่งก้อน น้ำหนัก 10.5 กก.
	ซี 8-4 ขนาด 200 มม. ก่อรอบเสา น้ำหนัก 18.0 กก.		ซี 8-10 ขนาด 200 มม. ก่อรอบเสาครึ่งก้อน น้ำหนัก 10.5 กก.
	ซี 8-5 ขนาด 200 มม. ก่อขอบ น้ำหนัก 20.0 กก.		ซี 8-11 ขนาด 200 มม. ก่อกึ่งครึ่งก้อน น้ำหนัก 14.0 กก.
	ซี 8-6 ขนาด 200 มม. เชื่อมรอยต่อ น้ำหนัก 19.0 กก.		

ภาพประกอบ 5 (ต่อ)

Size 7 cm. (3 ins.)

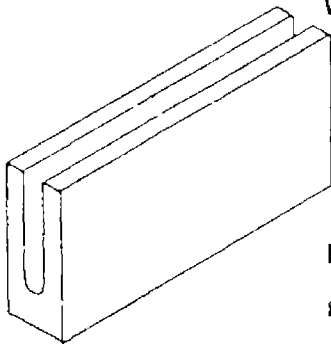


D - 701

เมน - บล็อก

39 x 19 x 7

Wt. 7.0 kg.

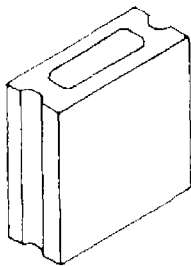


D - 705

ยู - บล็อก

39 x 19 x 7

Wt. 7.5 kg.



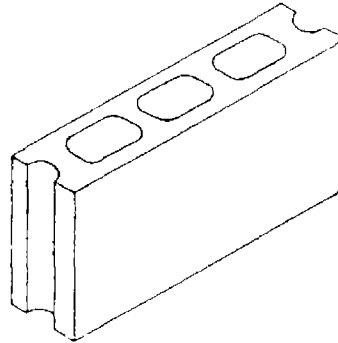
D - 702

เมน - บล็อก

39 x 19 x 7

Wt. 7.0 kg.

Size 9 cm. (4 ins.)

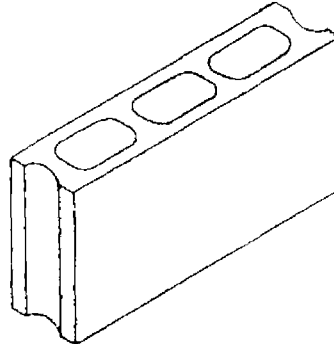


D - 910

เมน - บล็อก

39 x 19 x 9

Wt. 8.5 kg.

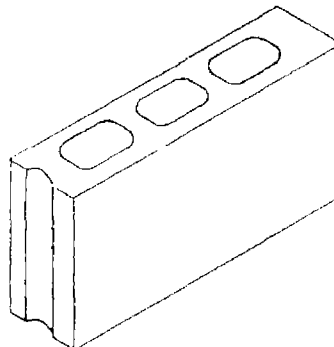


D - 901

เมน - บล็อก

39 x 19 x 9

Wt. 8.0 kg.

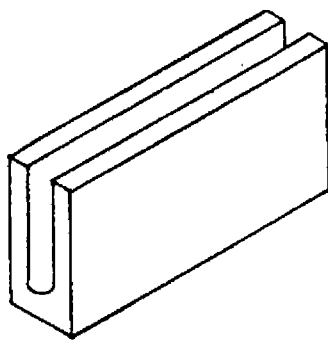


D - 910

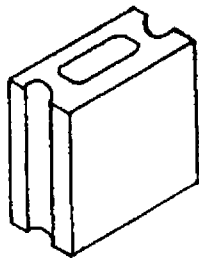
1/2 - บล็อก

39 x 19 x 9

Wt. 8.5 kg.

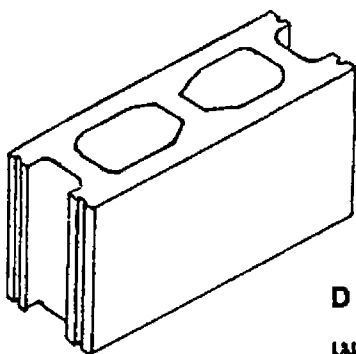


D - 915
 ยู - บล็อก
 39 x 19 x 7
 Wt. 9.5 kg.

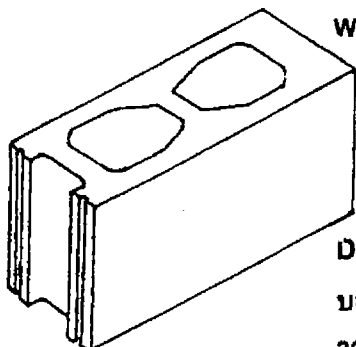


D - 912
 ½ - บล็อก
 19 x 19 x 7
 Wt. 4.5 kg.

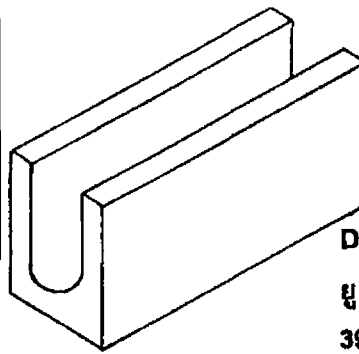
Size 14 cm. (6 ins.)



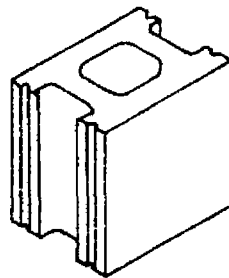
D - 141
 เมท - บล็อก
 39 x 19 x 14
 Wt. 13.0 kg.



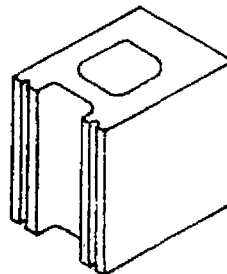
D - 143
 บล็อก - มม
 39 x 19 x 7
 Wt. 13.5 kg.



D - 145
 ยู - บล็อก
 39 x 19 x 14
 Wt. 13.0 kg.

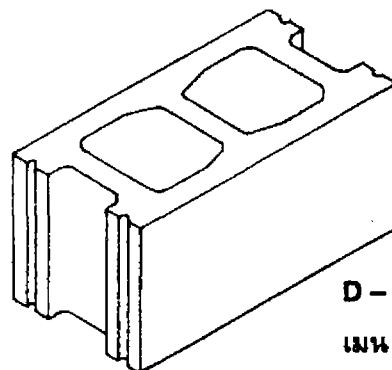


D - 142
 ½ - บล็อก
 19 x 19 x 14
 Wt. 6.0 kg.

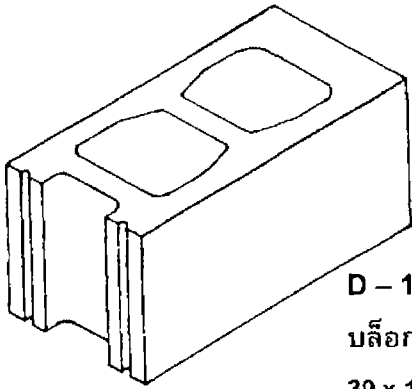


D - 144
 ½ - บล็อก มม
 19 x 19 x 14
 Wt. 6.5 kg.

Size 19 cm. (8 ins.)



D - 191
 เมท - บล็อก
 19 x 19 x 7
 Wt. 16.0 kg.

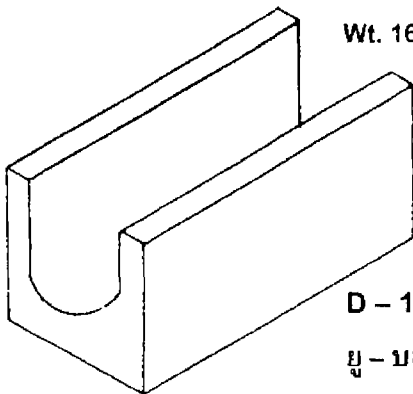


D – 193

บล็อกรอก – มม

39 x 19 x 19

Wt. 16.5 kg.

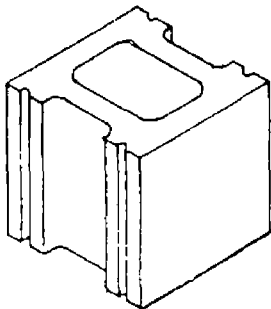


D – 195

ยู – บล็อกรอก

39 x 19 x 19

Wt. 17.0 kg.

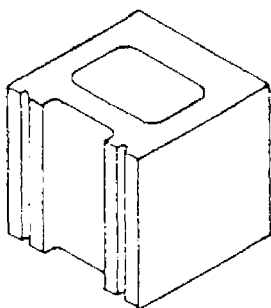


D – 192

1/2 – บล็อกรอก

19 x 19 x 19

Wt. 8.0 kg.

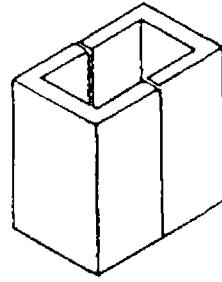


D – 194

1/2 – บล็อกรอก มม

19 x 19 x 19

Wt. 8.5 kg.

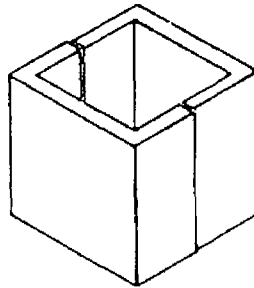


D – 126

บล็อกรอก – บล็อกรอก

19 x 19 x 12

Wt. 4.0 kg.

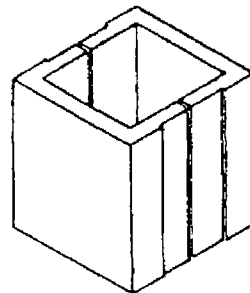


D – 196

บล็อกรอก – เส้า

18 x 18 x 19

Wt. 5.0 kg.

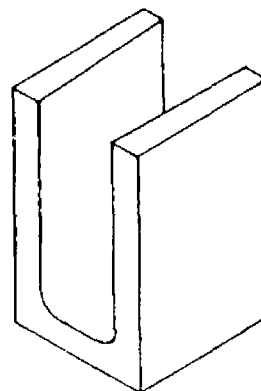


D – 196 A

บล็อกรอก – เส้า

18 x 18 x 19

Wt. 5.0 kg.



D – 195 A

บล็อกรอก – คาน

19 x 18 x 26.5

Wt. 9.0 kg.

2. วัสดุผสม

2.1 กากตะกอนจากบ่อน้ำบาดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ

2.1.1 กำลังการผลิตและปริมาณกากตะกอน

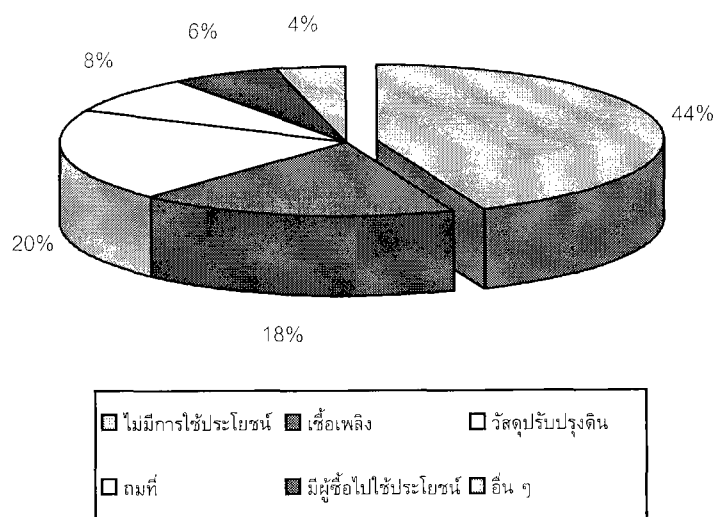
จากการส่งแบบสอบถามของกรมโรงงานไปยังโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทยรวมทั้งสิ้น 102 โรงมีการตอบกลับมารวม 43 โรง ดังมีรายละเอียด ชนิดโรงงาน กำลังการผลิต และปริมาณกากตะกอนแสดงไว้ในตาราง 5

ตาราง 5 ชนิดโรงงาน กำลังการผลิตและปริมาณกากตะกอน

ชนิดโรงงาน	กำลังการผลิต(ตัน)	ปริมาณกากตะกอน(ตัน)
โรงงานผลิตเยื่อ 5 โรง	5,000-29,730	29,850
โรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ 3 โรง	3,000 – 170,000 19,500 – 240,000	46,150
โรงงานกระดาษ 30 โรง	20 – 500,000	128,176
โรงงานกระดาษสา/ไหว้เจ้า 5 โรง	60-1,000	1.5-3.6
รวม 43 โรง	รวม 3,800,960 ตัน	รวม 204,182 ตัน

การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนของโรงงาน

จากผลการตอบแบบสอบถามโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและผลิตกระดาษจำนวน 43 โรงงาน กากตะกอนจากโรงงานยังไม่มีนำมาใช้ประโยชน์ 44 % รองลงมาคือการใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในโรงงาน และวัสดุปรับปรุงดินอย่างละ 20 % ส่วนที่เหลือนำไปถมที่และมีผู้ซื้อไปใช้ประโยชน์



ภาพประกอบ 6 การใช้ประโยชน์กากตะกอนโดยโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

2.1.1 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

2.1.1.2 ขั้นตอนที่ 1 เตรียมวัตถุดิบ – วัตถุดิบเส้นใยจากพืชต่าง ๆ ที่ใช้ทำเยื่อกระดาษ จะถูกนำมาตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ และคัดแยกฝุ่นผงและสิ่งเจือปนออกจากวัตถุดิบ ขั้นตอนนี้ มีความสำคัญมาก เนื่องจากเปลือกไม้เป็นส่วนที่ไม่มีประโยชน์ต่อการผลิตเยื่อกระดาษ และยังมีผลเสียอีกด้วยเนื่องจากเปลือกไม้เป็นส่วนที่มีเส้นใยน้อย และมีสิ่งสกปรกปนเปื้อนมาก หากเข้าไปสู่กระบวนการผลิตอื่น ๆ เช่น การต้มเยื่อ จึงเป็นการเปลืองสารเคมีและไอน้ำมากขณะที่ได้ผลตอบแทนไม่คุ้มค่า รวมทั้งเยื่อกระดาษที่ได้ยังมีคุณภาพต่ำอีกด้วย

2.1.1.2 ขั้นตอนที่ 2 ในกระบวนการผลิตเยื่อภายหลังที่จัดเตรียมวัตถุดิบเรียบร้อยแล้ว จะนำวัตถุดิบมาผ่านขั้นตอนการย่อยแยกเส้นใย ซึ่งกระบวนการย่อยแยกเส้นใย แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กระบวนการกล (Mechanical Process) และกระบวนการเคมี (Chemical Pulping Process)

1) กระบวนการกล (Mechanical Process) หลักการที่สำคัญของกระบวนการนี้ คือ การบด (Grinding) เพื่อกระจายเส้นใยออกจากกัน วัตถุดิบจะผ่านไ้บดในลูกไม้หิน ซึ่งจะทำให้เยื่อที่มีคุณภาพ และสม่ำเสมอ กระบวนการกลนี้ ให้ปริมาณผลผลิตเยื่อสูง

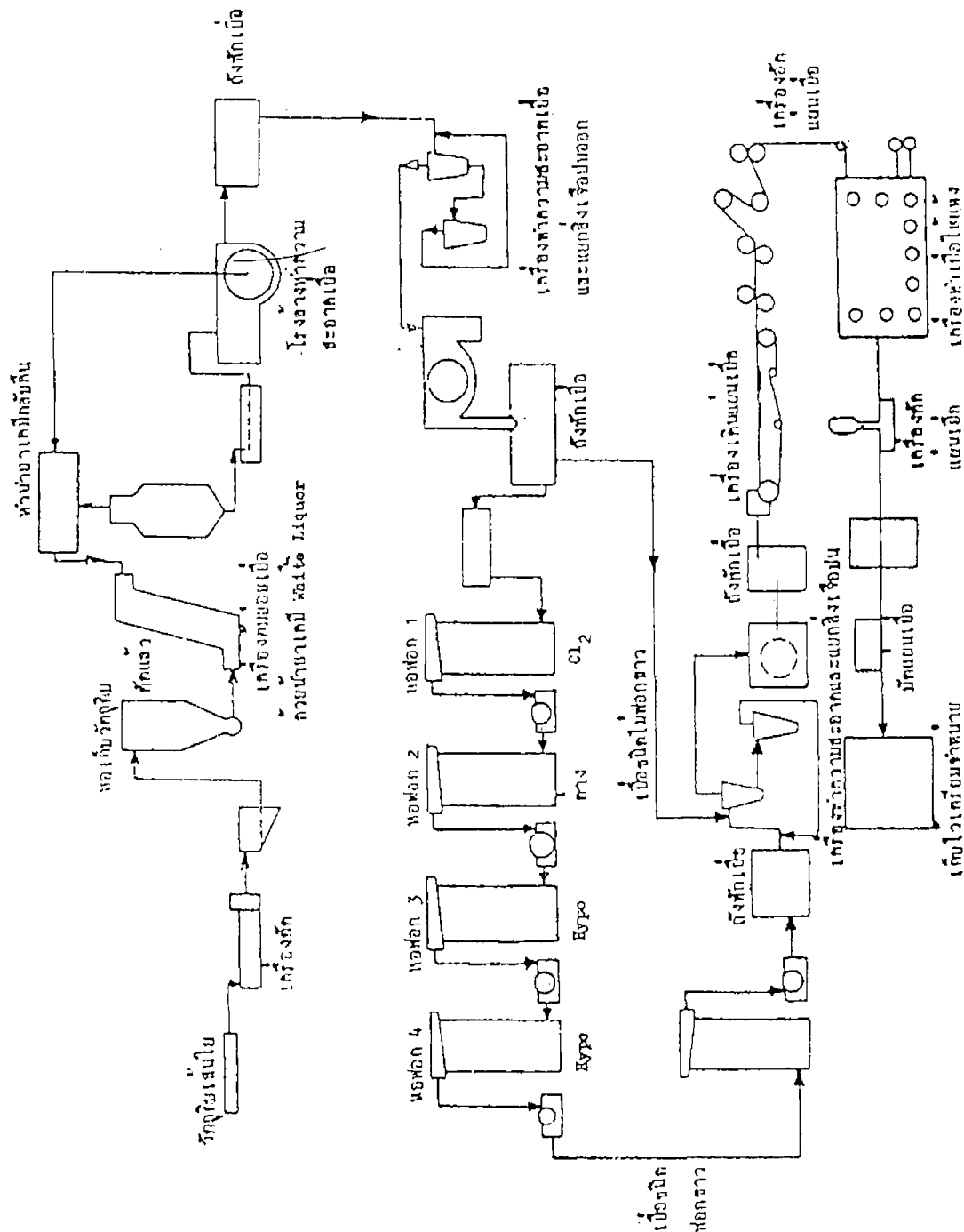
2) กระบวนการกึ่งเคมี (Chemical Pulping Process) เป็นการแยกโดยใช้กระบวนการเคมีและกระบวนการกลรวมกันเยื่อที่ได้จากการเตรียมวิธีนี้มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างเยื่อไม้บดและเยื่อเคมี วิธีการแยกเส้นใยโดยวิธีกระบวนการกึ่งเคมีเป็นการนำชิ้นไม้สับมาต้มกับน้ำยาต้มเยื่อในหม้อต้มเยื่อภายใต้เวลา อุณหภูมิ และปริมาณน้ำยาเคมีต่อปริมาณไม้ที่กำหนด เมื่อต้มได้สภาวะหนึ่ง ก็นำไปผ่านกระบวนการกลเพื่อแยกเส้นใย

3) กระบวนการทางเคมี (Chemical Pulping Process) กระบวนการทางเคมีเป็นกรรมวิธีการผลิตเยื่อที่ใช้สารเคมีละลายสารในเนื้อไม้ที่เป็นตัวยึดให้เส้นใยกับเส้นใยที่จับตัวกันไว้ออกมา วิธีการนี้เป็นวิธีการนำวัตถุดิบมาต้มกับสารเคมี ความเข้มข้นสูงในหม้อต้มเยื่อ เยื่อจากกระบวนการนี้จะมีปริมาณ เซลลูโลสสูง มีลิกนินและสารอินทรีย์อื่น ๆ ปนอยู่น้อยมาก มีความเหนียวสูงใช้ผลิตกระดาษที่มีคุณภาพ

2.1.1.3 ขั้นตอนที่ 3 ล้างเยื่อและแยกสิ่งเจือปน – เยื่อกระดาษที่ได้จากการต้มย่อยจะปนกับสารเคมีที่มีสีดำ (Black Liquor) ซึ่งจะถูกนำไปผ่านกระบวนการ Chemical Recovery และกรอง จะได้สารเคมีกลับมาใช้ใหม่ และได้เยื่อกระดาษที่สะอาดเก็บไว้ในถังพัก การล้างเยื่อที่มีประสิทธิภาพ จะทำประมาณ 3-4 ขั้นตอน การล้างเยื่อจะทำในถังล้าง และใช้หลักการล้างเยื่อแบบ Counter Current จะใช้น้ำดีเฉพาะขั้นตอนการล้างขั้นสุดท้าย แล้วนำน้ำนั้นวนกลับมาล้างเยื่อในขั้นตอนแรกๆ การล้างเยื่อแบบ Counter Current ข้อดีคือทำให้มีอัตราการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ได้มากขึ้น ใช้สารเคมีในการฟอกน้อยลง และส่งผลให้ลดส่วนประกอบที่เป็นมลพิษลดลง แต่ขณะเดียวกันก็มีข้อเสียคือ ต้องใช้พลังงานสูงสำหรับการปั้มน้ำเพื่อนำน้ำกลับมาล้าง

2.1.1.4 ขั้นตอนที่ 4 ฟอกเยื่อ – เยื่อกระดาษที่สะอาดจากถังพักจะถูกนำมาฟอกเยื่อด้วยสารเคมีเพื่อ ลดหรือขจัดสารบางชนิดในเยื่อกระดาษ ทำให้เยื่อกระดาษมีคุณภาพ ซึ่งเมื่อนำไปผลิตกระดาษจะได้กระดาษ ที่สามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เปลี่ยนสี สารเคมีที่ใช้ฟอกเยื่อกระดาษได้แก่ ซิงค์ ไฮโดรซัลไฟด์ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ คลอรีน โซดาไฟ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ฯลฯ

2.1.1.5 ขั้นตอนที่ 5 ตบแต่งเยื่อ – เยื่อกระดาษที่ผ่านการฟอกเยื่อแล้ว จะถูกทำให้แห้ง อยู่ในรูปแผ่นมีความชื้นไม่เกิน 10 % แล้วจะถูกตัดให้ได้ขนาดเพื่อจำหน่ายสำหรับนำไปผลิตกระดาษต่อไป โดยเยื่อกระดาษที่ผลิตได้ในประเทศไทยจะเป็นเยื่อกระดาษใยสั้นทั้งหมด



ภาพประกอบ 7 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

2.1.2 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

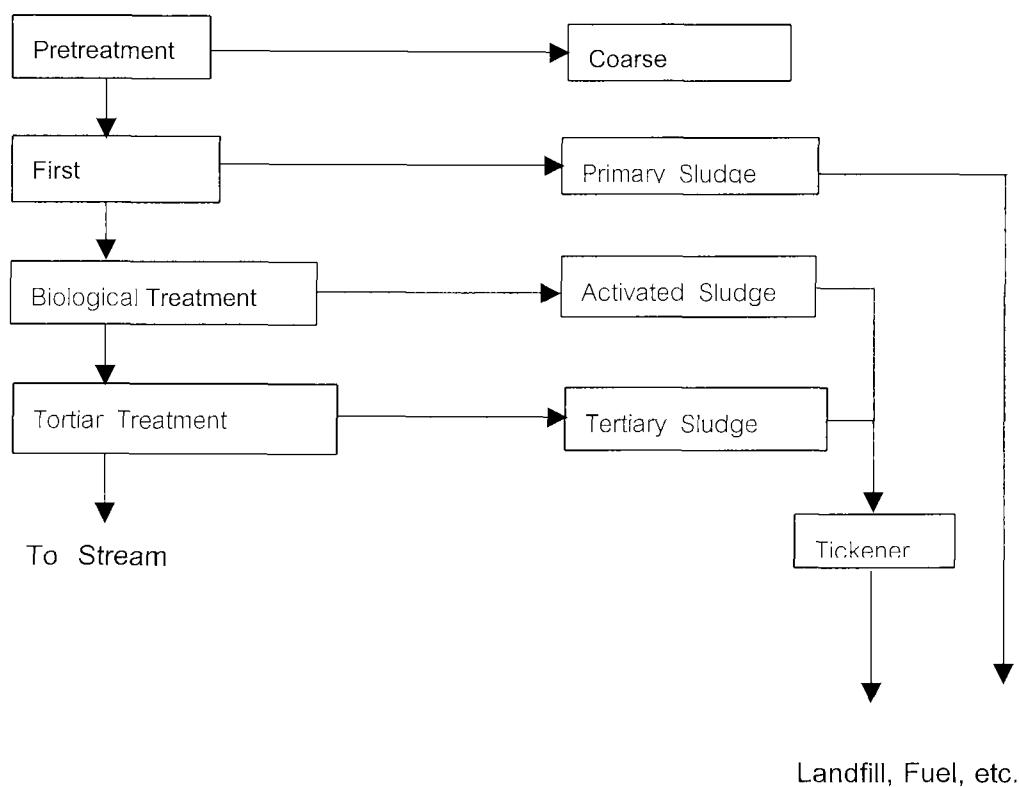
รายละเอียดขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่มีเกี่ยวข้องกับวัสดุเหลือใช้มีดังต่อไปนี้

- Pretreatment เป็นขั้นตอนการกรองขยะ เช่น พลาสติก และไม้ ที่ไม่ใช่เยื่อกระดาษออกไป ทำการปรับความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำทิ้ง อย่างไรก็ตามความเป็นกรดเป็นด่างจะถูกปรับโดยกระบวนการฟอกขาวและกระบวนการต้มเยื่อ

- Primary treatment เยื่อที่ติดมากับน้ำทิ้งจะตกตะกอนโดยแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ เวลา 6-8 ชั่วโมง หลังจากนั้นเยื่อกระดาษที่ตกตะกอนจะถูกแยกออกไป ข้อมูลที่ได้จากการสอบถามบริษัทสยามเซลลูโลสพบว่ากากตะกอนในส่วนนี้มีถึง 66%

- Biological treatment หรือ secondary treatment เป็นกระบวนการเพิ่มออกซิเจนและจุลินทรีย์เพื่อลดปริมาณของวัสดุที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย นอกจากการเติมออกซิเจนและจุลินทรีย์แล้วยัง มีการปรับความเป็นกรดเป็นด่างและเพิ่มธาตุอาหารลงไปเพื่อเร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในขั้นตอนนี้ค่า (BOD) ลดลงประมาณ 80-90% ธาตุอาหารที่เติมลงไปได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสใน อัตรา 5 : 1 (Biermann, 1993) เพื่อให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการลดค่าของ BOD ไม่เกิน 20 มก./ลิตร

- Tertiary treatment จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อลดความเข้มข้นของน้ำทิ้งหรือเพื่อ กำจัดสี ถึงแม้ในขั้นตอนของ biological treatment สามารถกำจัดสีได้ประมาณ 50 % สารกำจัดสีที่นิยมใช้กันเป็นสารจำพวกที่ทำให้ตกตะกอน เช่น สารส้ม



ภาพประกอบ 8 ขั้นตอนของการบำบัดโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษและเศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้น

2.1.3 คุณสมบัติของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ (sludge) จะมีลักษณะเป็นเยื่อข้นซึ่งไม่สามารถนำไปผลิตเป็นกระดาษอีกต่อไปได้ กากตะกอนส่วนใหญ่ที่ได้จะมาจาก 2 แหล่งรวมกันคือ บางส่วนได้จากบ่อ activated sludge เป็นส่วนที่ถูกย่อยสลายค่อนข้างดีแล้วกับบางส่วนที่ได้จาก Primary sludge จะยังคงลักษณะเยื่ออยู่จุลธาตุของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

2.1.3.1 จุลธาตุของตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ตาราง 6 จุลธาตุของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ธาตุอาหาร	กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย
เหล็ก (ppm)	30
แมงกานีส (ppm)	124
ทองแดง(ppm)	6
สังกะสี (ppm)	48
โบรอน(ppm)	48
โมลิบดีนัม(ppm)	ไม่มีข้อมูล
คลอรีน(ppm)	12

ที่มา : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2535)

กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย มีปริมาณธาตุเหล็ก 30 ppm มีแมงกานีสประมาณ 124 ppm และโอกาสที่จะพบการเป็นพิษของแมงกานีสมีน้อยมาก ทองแดงในกากตะกอนมี 6 ppm การเกิดพิษของทองแดง จะเกิดเมื่อความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 5 และมีทองแดงมากกว่า 250 ppm สังกะสีในกากตะกอนมี 48 ppm ส่วนการเกิดพิษจากสังกะสีเกิดขึ้นน้อยมาก และในกากตะกอนมีโบรอน 48 ppm มีคลอรีน 12 ppm

2.1.3.2 โลหะหนักในกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ตาราง 7 แสดงปริมาณโลหะหนักของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ธาตุ	กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย
แคดเมียม (ppm)	2
ปรอท (ppb)	13
ตะกั่ว (ppm)	125

ที่มา : พนิชศักดิ์ พัฒนา (2540)

โลหะหนักที่ได้ทำการวิเคราะห์คือ แคดเมียม, โปรท และตะกั่ว โดยมีค่าเท่ากับ 2, 0.0013, 125 ppm ตามลำดับ

2.1.3.3 คุณสมบัติทางเคมีอื่น ๆ ของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ตาราง 8 แสดงคุณสมบัติ ทางเคมีอื่น ๆ ของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

คุณสมบัติ	กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย
คาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)	11-12:1
ความเป็นกรดเป็นด่าง (PH)	6.8-7.0
ความนำไฟฟ้า (EC)	1.37
ความจุแลกเปลี่ยนประจุ (CEC)	40-70

ที่มา : พนิชศักดิ์ พัฒนา (2540)

ความเป็นกรดเป็นด่างของกากตะกอนอยู่ในช่วง 6.8 - 7.0 นอกจากนี้ความเป็นกรดเป็นด่างในระดับนี้ ทำให้ธาตุอาหารบางชนิดและธาตุพิษบางชนิดละลายออกมาน้อย ค่าการนำไฟฟ้าของกากตะกอนต่ำกว่า 2 มิลลิโหมห์/ซม. ซึ่งถือว่า “ไม่เค็ม” ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุเมื่อเทียบกับดินทั่วไปแล้วมีมากกว่าแต่มีค่าใกล้เคียงกับดินเหนียว ดินเหนียวบางชนิด (30-200) ส่วนค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกากตะกอนๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 11-12:1

2.1.3.4 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ตาราง 9 คุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

คุณสมบัติ	กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.46
ความหนาแน่นอนุภาค (g/cm^3)	1.41
ความพรุน (%)	67.69
สัดส่วนช่องว่าง	2.10

ที่มา : พานิชศักดิ์ พัฒนา (2540)

ความหนาแน่นรวมของกากตะกอนๆ เท่ากับ 0.46 g/cm^3 ความหนาแน่น อนุภาค 1.41 g/cm^3 มีความพรุน 67.69% และมีสัดส่วนช่องว่าง 2.10

2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมของออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอนและอลูมิเนียม จนรวมตัวผสมกันสุกพอดี ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้าง ต้องมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานสำหรับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของกรมวิทยาศาสตร์กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งแบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท คือ (สนน เจริญเฝ้า และคนอื่น.2530:4)

ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (type 1-normal Portland cement) จัดเป็นปูนซีเมนต์มาตรฐาน เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษนอกเหนือไปกว่าธรรมดา ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น งานก่อสร้างคานคอนกรีต ทางเท้า ถนน อาคาร สะพาน ถังน้ำ บ่อน้ำ ท่อระบายน้ำ และอื่นๆ ไม่เหมาะกับการที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟตจากดินหรือน้ำ ที่ซึ่งความร้อนอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ จะไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น จนถึงขีดอันตราย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราเพชรเม็ดเดียว และตราพญานาคเศียรเดียวสีเขียว ส่วนปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่สั่งเข้ามาจากต่างประเทศ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราดอกจิก

ประเภทที่สอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (type 2-modified Portland cement) จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทดัดแปลง เพื่อให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตปานกลาง ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะต่ำกว่า และเพิ่มได้ช้ากว่าประเภทแรก ช่วยลดอุณหภูมิของคอนกรีตในอากาศร้อนได้ดี เหมาะกับการก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น ตอม่อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อน หรือกำแพงกันดินในบริเวณที่โดนน้ำเค็มเป็นครั้งคราว ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร

ประเภทที่สาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดแรงสูงเร็ว (type 3-high-early strength Portland cement) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้เนื้อปูนจะบดละเอียดกว่า ปูนซีเมนต์แบบธรรมดา เป็นผลทำให้แข็งตัวและรับแรงได้เร็วกว่าแบบธรรมดา แต่จะต้องบ่มให้ได้ โดยปกติจะสามารถรับแรงได้ เมื่อคอนกรีตมีอายุเพียงประมาณ 1 ถึง 3 วัน จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วนที่ต้องทำแข่งกับเวลา หรือในกรณีที่ต้องการถอดหรือรูปแบบเร็วกว่าปกติ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง และตราสามเพชร

ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (type 4-low heat Portland cement) จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะสมกับงานซึ่งต้องการควบคุมทั้งปริมาณ และอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด การเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ นิยมไปใช้กับงานขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ถ้ามากเกินไปจะเป็นอันตรายอย่างมากกับตัวเขื่อน เนื่องจากจะทำให้เกิดการแตกหรือร้าวได้

ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟตสูง (type 5-Sulfate-resistance Portland cement) จัดเป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อซัลเฟตได้สูง จึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่มีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง เช่น ในบริเวณดินหรือน้ำที่มีความเป็นด่างสูง ระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้ จะช้ากว่าประเภทอื่นๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม และตราช้างพื้นสีฟ้า

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พิเศษ นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้ง 5 ชนิดที่กล่าวมา ยังมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางประเภทที่นิยมใช้กัน คือ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กักอากาศ (air-entraining Portland cement) รหัส ซี-157 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการกักอากาศปริมาณเล็กน้อย จะถูกเติมเข้าไป และบดรวมกับปูน

เม็ดในระหว่างการผลิต เหมาะกับงานคอนกรีตในบริเวณที่มีอากาศหนาวจัดหรือมีหิมะ และมีผลต่อการใช้ประโยชน์จากเกลือในการขจัดหิมะและน้ำแข็ง คอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะมีฟองอากาศขนาดเล็กที่แยกตัวออกจากกันอย่างสมบูรณ์ กระจายกันอยู่อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งคอนกรีต

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุง (Portland blast-furnance slag cement) รหัส ซี-205 จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุง (Portland blast-furnance slag cement) และประเภท ไอเอสเอ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุงกักอากาศ (air-entraining Portland blast-furnance slag cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ตะกรันเตาถลุงที่ได้รับการคัดเลือกคุณภาพจะถูกบด รวมกับปูนเม็ดในระหว่างการผลิต ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะกับการงานคอนกรีตที่ต้องการน้ำหนักและปริมาตรมากกว่าความแข็งแรง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland pozzolan cement) รหัส ซี-340 จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทไอพี ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน และประเภทปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานกักอากาศ (air-entraining Portland pozzolan cement) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ได้จากการนำเอาปอซโซลาน ซึ่งเป็นแก้วภูเขาไฟที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือที่ทำเทียมขึ้นบดผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดา ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงานโครงสร้างใต้น้ำทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม เช่น งานสะพาน เขื่อน หรือท่าเทียบเรือ เนื่องจากสามารถทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตได้ดีพอสมควร

ปูนซีเมนต์ผสม (mixed cement) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ปูนซีเมนต์ซิลิกา (silica cement) ได้จากการนำเอาทรายหรือหินปูนบดละเอียด ผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดา ในอัตราประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 เพื่อให้มีปริมาณมากขึ้นและราคาถูกลง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีคุณภาพค่อนข้างต่ำจึงเหมาะกับการที่ไม่สำคัญ และงานที่ไม่ต้องรับแรงมากนัก เช่น งานคอนกรีตเทพื้นบนดินถมอัด ซึ่งไม่ได้มีการถ่ายเทน้ำหนักจากพื้นไปสู่โครงสร้างส่วนอื่นๆ กระเบื้องมุงหลังคา โถง ท่อระบายน้ำ หรือถังส้วม เป็นต้น เนื่องจากมีคุณสมบัติแข็งตัวช้าและไม่ยึดหดตัวมากนัก ใช้กับงานปูนก่อ ปูนฉาบ และปูนตกแต่งทั่วไป เพราะสามารถช่วยลดการแตกร้าวของผิวลงได้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเสือ ตราภูเขา และตรานกอินทรี

ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมัน (oil well cement) เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกชนิดหนึ่ง ซึ่งแตกต่างไปจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดาตรงที่ก่อตัวช้ามากในอุณหภูมิที่สูง ๆ เช่น ที่เกิดขึ้นตามบ่อน้ำมัน (ประณต กุลประสูตร.2537:22-24)

สารประกอบในปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ประกอบด้วยสารสำคัญ 4 อย่าง คือ

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate) มีสูตรทางเคมีว่า $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ชื่อย่อคือ C_3S ซึ่งทำให้ปูนซีเมนต์สร้างกำลังได้เร็ว
2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate) มีสูตรทางเคมีว่า $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ชื่อย่อคือ C_2S ซึ่งทำให้ปูนซีเมนต์สร้างกำลังได้ช้า
3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium aluminate) มีสูตรทางเคมีว่า $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ชื่อย่อคือ C_3A ซึ่งทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาเริ่มแข็งตัว และยับยั้งเป็นตัวถ่วงให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวตามความต้องการ

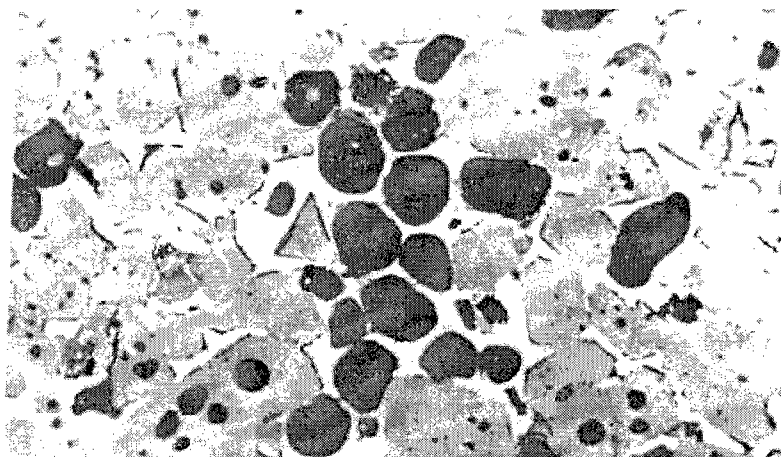
4. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (tetra-calcium aluminoferrite) มีสูตรทางเคมีว่า $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ชื่อย่อคือ C_4AF

ในทางวิชาการได้มีการปรับปรุงค้นคว้าเกี่ยวกับ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์เสมอมา ได้มีการจำกัดขีดขั้นลักษณะคุณภาพ เช่น จำกัดส่วนผสมทางเคมี คุณสมบัติเกี่ยวกับเวลา แข็งตัวความไม่เปลี่ยนแปลงไปในทางเสื่อมคุณภาพ ตลอดจนการจำกัดขีดต่ำของกำลังปูนซีเมนต์ทั้งแรงดึงและแรงกด (พงศ์พันธ์วรสุนทรโรสถ.2535:82)

ตาราง 10 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

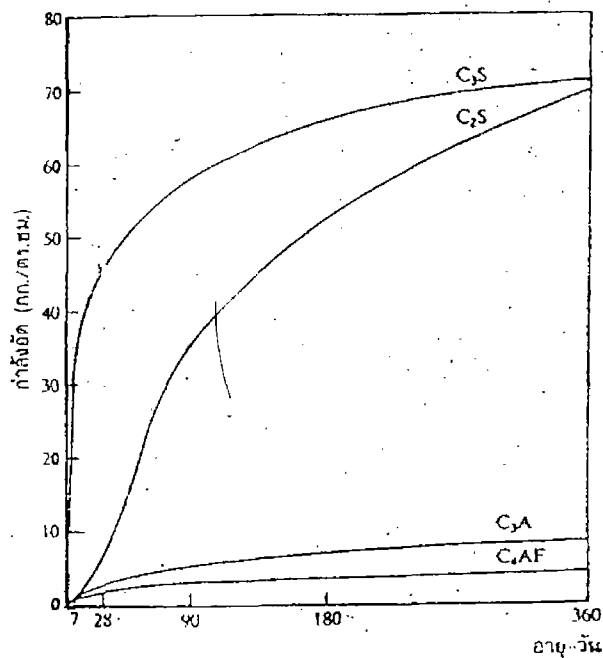
ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$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

ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2539:11



ภาพประกอบ 9 รูปร่างลักษณะของ C_3S ซึ่งเป็นรูปผลึก รูปหกเหลี่ยม และ C_2S เป็นเม็ดกลมสีดำ

ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2539:12



ภาพประกอบ 10 การพัฒนากำลังของสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์
ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2539:203

ตาราง 11 เปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีต

วัสดุ	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	กำลังรับแรงดึง (กก./ตร.ซม.)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ตร.ซม.)	ส.ป.ส.การขยายตัว (10-(6) / c)
คอนกรีต	2300-2400	30	2.5×10^5	10

ที่มา : อุดมวิทย์ กาญจนวงศ์. 2537:203

สารปอซโซลาน คือ สารที่มีซิลิกาเป็นสารประกอบหลัก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เมื่อมีความชื้น แล้วเกิดตัวเชื่อมประสาน คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C_3S_2H_3$) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตมีความหนาแน่นและทนทานต่อสารเคมีมากขึ้น เราอาจใช้ปอซโซลานในรูปของสารผสมเพิ่ม ในรูปของปูนซีเมนต์ผสม นอกจากการเพิ่มความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตแล้ว ยังช่วยลดปริมาณและความร้อนจากปฏิกิริยา ไฮเดรชัน วัสดุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยซิลิกา ได้แก่ ขี้เถ้า ภูเขาไฟ และหินทัฟท์ (tuft) พูมิไซต์ (pumicite) โอพาลีน (opaline) ชาร์ท (chert) ดินเหนียว และหินชอลล์ (shale) โดยนำมาบดให้ละเอียดนำมาเผา แต่ขี้เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นขี้เถ้าอนินทรีย์ที่เหลือจากการเผาถ่านหิน วัสดุนี้เป็นที่นิยมมากเพราะมีลักษณะเป็นผงละเอียดอยู่แล้ว

การใช้สารปอซโซลาน มักจะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำในระยะแรก แต่กำลังจะสูงเมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้น และจะสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่อายุมากกว่า 28 วัน (ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2539:61)

2.3 ทราย

ทรายเป็นวัสดุที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนผสมของคอนกรีต ประเภทมวลรวมละเอียดเพื่อความแข็งแรงและเป็นตัวแทรกของคอนกรีต นอกจากนี้ยังเป็นส่วนผสมที่สำคัญของมอร์ตาร์ (Mortar) ที่นำมาใช้ก่อฉาบ ทรายมีขนาดในลักษณะงานต่างๆ เช่น ทรายละเอียด ขนาด 0.5-1.5 มม. เป็นทรายที่มีขนาดละเอียดมากใช้สำหรับผสมปูนฉาบ ทำบัว ฯลฯ ทรายปานกลาง ขนาด 1-3 มม. ทรายที่มีขนาดปานกลางใช้สำหรับปูนก่อ ทรายหยาบ ขนาด 2-4.5 มม. เป็นทรายเม็ดใหญ่ มีเหลี่ยม แฉก มุมแข็งแรง ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่ต้านกำลังมาก เช่น ฐานราก งานโครงสร้างต่าง ๆ (อรรถนิษฐ์ ประภาพิตยากร. 2531:250)

คุณสมบัติของทราย การที่นำทรายมาใช้ในงานก่อสร้าง หรือใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีต หรือผสมทำปูนฉาบมีเหตุผลหลายประการดังนี้

1. ทรายสามารถแทรกเข้าไปอุดช่องว่างของหินในคอนกรีตทำให้คอนกรีตแน่น
2. ช่วยบรรเทาการยืดหดและแตกร้าวในปูนฉาบ ถ้าปูนฉาบใส่ปูนซีเมนต์มากเกินไปจะแตกร้าวต้องเพิ่มทรายเข้าไปเพื่อให้มีทางขยายตัว
3. ช่วยเพิ่มปริมาณของส่วนผสม ทำให้ราคาของคอนกรีตหรือปูนฉาบหรือปูนก่อถูกลง เพราะทรายเป็นวัสดุหาง่ายและราคาถูก (พงศ์พันธ์ วรสุทธโรสถ. 2535:78)

โดยทั่วไปแบ่งทรายออกเป็น 4 ชนิดคือ

1. ทรายบก พบบนบกห่างจากทะเลและไม่มีความเค็มติดอยู่
2. ทรายแม่น้ำ ลำธาร พบตามแม่น้ำ ลำธาร
3. ทรายทะเล พบตามชายทะเล หรือบนบกห่างทะเล แต่มีความเค็มอยู่
4. ทรายที่เกิดจากการย่อยเป็นก้อนเล็กๆ

ทรายทั้ง 4 ชนิดจะใช้ทำคอนกรีตในลักษณะและคุณสมบัติต่างกัน สำหรับทรายที่ใช้ในการผสมคอนกรีตไม่ควรนำทรายจากทะเลมาใช้เพราะเกลือแร่ที่ติดอยู่กับทรายจะดูดความชื้น ทำให้คอนกรีตหรือผนังปูนฉาบมีความชื้นอยู่เสมอ นอกจากนั้น ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กถ้านำทรายประเภทนี้ไปใช้จะทำให้เหล็กเป็นสนิมได้ง่าย

แหล่งทรายในประเทศไทย ทรายที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไปมีทั้งทรายบกที่ขุดบนพื้นดินและทรายแม่น้ำ เม็ดทรายบกละเอียดกว่าทรายแม่น้ำแต่สกปรกกว่าทรายหยาบส่วนมากใช้ผสมคอนกรีตและปูนก่อ มาจากจังหวัดอ่างทอง ราชบุรี และตำบลบ้านแปง จังหวัดสิงห์บุรี แต่ทรายที่อ่างทองคุณภาพไม่ค่อยดีนักในการใช้ผสมคอนกรีต ส่วนทรายจาก จังหวัดราชบุรีนั้นใช้ได้ดี ซึ่งขุดได้จากแม่น้ำราชบุรี ทรายบ้านแปงเป็นทรายที่ดีแต่ขาดอนุภาคที่ละเอียดไปบ้าง ส่วนทรายละเอียดที่ใช้ในการฉาบปูนนั้นมาจากตำบลบางพุท จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

น้ำหนักของทราย น้ำหนักของทรายในขณะที่แห้งและในขณะที่เปียกจะต่างกัน เนื่องจากขณะที่เปียกจะมีน้ำผสมอยู่ด้วย น้ำหนักที่ต่างกันจะเป็นดังนี้

ทรายเมื่อแห้ง หนักประมาณ 1,400-1,650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทรายเมื่อเปียก หนักประมาณ 1,800-2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (พงศ์พันธ์ วรสุทธโรสถ.2535:79)

2.4 คุณสมบัติของเถ้ากลบ

ในปีหนึ่ง ๆ ประเทศไทยได้เถ้ากลบจากการสีข้าวประมาณ 3 ล้านตัน การนำเถ้ากลบไปเผาจะได้ซีเมนต์เถ้ากลบเหลืออยู่ประมาณ 20 % ของน้ำหนักเดิม ผลการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าซีเมนต์เถ้ากลบมีซิลิกาเป็น

องค์ประกอบสูงถึง 90 % เมทาและจินดาประเสริฐ (Mehta. 1979 ; Chindaprasirt. 1983) การเผาเคลือบที่อุณหภูมิพอเหมาะในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส จะทำให้ซิลิกาอยู่ในรูปอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา ถ้าเผาที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้มีสารอินทรีย์เหลืออยู่ แต่ถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงไปซิลิกาที่ได้จะอยู่ในรูปผลึก (Crystal) ซึ่งเฉื่อยต่อปฏิกิริยา จินดาประเสริฐ (Chindaprasirt. 1983) พบว่าซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ถูกบดละเอียดสามารถใช้เป็นสารปอซโซลานผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานที่มีคุณสมบัติ

ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จากการนำเคลือบไปเผาที่อุณหภูมิพอเหมาะแล้วบดให้ละเอียด สารประกอบหลักของซีเมนต์คือซิลิกา การเผาเคลือบที่อุณหภูมิพอเหมาะจะได้ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous) ที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา การเผาที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และเหลือสารอินทรีย์อยู่จำนวนมาก และการเผาที่อุณหภูมิสูงเกินไปซิลิกาจะกลายเป็นผลึก (Crystal) เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา

คุณสมบัติของซีเมนต์เคลือบ

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เคลือบ ได้แก่ ลักษณะและคุณสมบัติของเคลือบผิว การเผาเคลือบ สารประกอบทางเคมี และความละเอียด

อิทธิพลของอุณหภูมิเผาเคลือบที่มีต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เคลือบ

การเผาเคลือบที่อุณหภูมิสูงและมีอากาศถ่ายเทได้เพียงพอจะได้ซีเมนต์เคลือบสีเทาขาว ถ้าเผาที่อุณหภูมิต่ำและไม่มีอากาศถ่ายเทจะได้ซีเมนต์เคลือบสีดำ การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 600 – 650 องศาเซลเซียส จะได้ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous) ที่มีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา แต่ถ้าเผาที่อุณหภูมิสูงกว่านี้และใช้เวลาเผานาน ซิลิกาจะกลายเป็นผลึก (Crystal) เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา จินดาประเสริฐ, คุก, สุวรรณวิทยา และเมทา (Chindaprasirt. 1983; Cook. 1979 a; Cook and Suwanvitaya. 1981; Mehta. 1979) พบว่าการเผาเคลือบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส และใช้เวลาเผานานหรือเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 680 องศาเซลเซียส และใช้เวลาเผาน้อยคือเพียง 1 นาที จะได้ซีเมนต์เคลือบอสัณฐาน จากการศึกษาของแดเมอร์ (Damer. 1979) พบว่า เมื่ออุณหภูมิของการเผาเคลือบถึง 105 องศาเซลเซียส ความชื้นภายในเคลือบจะระเหยออกมาเมื่ออุณหภูมิถึง 200 องศาเซลเซียส เคลือบมีการเผาไหม้เป็นบางส่วนและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 300 องศาเซลเซียส เคลือบจะถูกเผาไหม้เปลี่ยนเป็นสีดำ และมีน้ำหนักลดลงร้อยละ 60 จากเคลือบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส และเมื่อมีอุณหภูมิมากกว่า 400 องศาเซลเซียส เคลือบเปลี่ยนเป็นสีขาวน้ำตาลอ่อนและสีขาวนวลที่สุด และมีน้ำหนักคงที่

การเผาเคลือบที่อุณหภูมิต่ำจะมีคาร์บอนในซีเมนต์เคลือบปริมาณสูง ปริมาณคาร์บอนมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่วนผสมที่มีคาร์บอนต่ำกว่าร้อยละ 15-20 ไม่มีผลต่อกำลังของปูนซีเมนต์ผสม แต่ถ้ามากกว่าร้อยละ 20 จะทำให้กำลังของปูนซีเมนต์ลดลง จากการค้นพบของ สุริยา कुमारัน และอิสเมล กับ คุก และสุวรรณวิทยา (Sooriyakumaran and Ismail. 1979 ; Cook and Suwanvitaya. 1981)

การสูญเสียเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition) ของซีเมนต์เคลือบเป็นการสูญเสียน้ำหนักเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส การเผาที่อุณหภูมินี้สารอินทรีย์จากเซลลูโลสและลิกนิน (Cellulose and Lignin) จะถูกเผาไหม้หมด อริยวานสา เดอ ซิลวา (Ariyawansa de silva. 1980) พบว่าการสูญเสีย เนื่องจากการเผาของซีเมนต์เคลือบที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 200-800 องศาเซลเซียส ซึ่งขาดอากาศถ่ายเทมีค่าสูงถึงร้อยละ 39-54 คุก (Cook. 1979 a) พบว่าการสูญเสียเนื่องจากการเผาของซีเมนต์เคลือบที่ได้จากการเผาโดยชาวบ้านสูงถึงร้อยละ 34 ซีเมนต์เคลือบที่มีการสูญเสียเนื่องจากการเผาส่งจะมีกำลังต่ำเนื่องจากมีสารอินทรีย์เหลืออยู่ในปริมาณค่อนข้างมาก

ความละเอียดของซีเมนต์แกลบ

ความละเอียดของซีเมนต์แกลบเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่กำหนดคุณสมบัติของซีเมนต์แกลบ ซีเมนต์แกลบที่มีความละเอียดสูงกว่าจะมีความสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกว่า โดยทั่วไปความละเอียดสามารถกำหนดได้จาก

1. พื้นที่ผิวจำเพาะที่หาค่าได้จากการทดสอบด้วย แอร์เพอร์มิเอบิลิตี (Air Permeability Test) หรือ เทอร์บิไดมิเตอร์ (Turbidimeter Test) วัดค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นตารางเซนติเมตร ต่อซีเมนต์แกลบ 1 กรัม

2. ร้อยละที่ผ่านร่อน (Sieve)

3. เวลาที่ใช้ในการบด

ฟารูก-อี-อแซม, แลคโฮ และพิชัย (Farooq-e-Azam. 1982 ; Lakho. 1980 ; พิชัย นิमित ยงสกุล. 2526) และ จินดาประเสริฐ (Chindaprasirt. 1983) พบว่าซีเมนต์แกลบที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้นจะทำให้มอร์ต้ามีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อความละเอียดเพิ่มขึ้นความต้องการน้ำของส่วนผสมก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ผลการทดลองของ ฟารูก-อี-อแซม (Farooq-e-Azam. 1982) ได้แสดงไว้ในตาราง 12 การบดรวมระหว่างซีเมนต์แกลบและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะทำให้ปูนซีเมนต์ผสมมีกำลังรับแรงเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และซีเมนต์แกลบเข้ากันได้ดี และมีความละเอียดมากขึ้น (ปริญา จินดาประเสริฐ และคณะ. 2529)

ตาราง 12 อิทธิพลของการบดรวมปูนซีเมนต์-ซีเมนต์แกลบ ที่มีต่อความละเอียด ความต้องการน้ำ และกำลังรับแรงอัด

เวลาของการบดรวมซีเมนต์แกลบ ก่อนที่จะบดรวม 30 นาที (นาที)	ความละเอียด (ช.ม. ² /กรัม)	น้ำ	กำลังรับแรงอัด (ก.ก./ช.ม. ²)			
		สารซีเมนต์	3 วัน	7 วัน	28 วัน	90 วัน
0	9200	0.76	74	136	186	196
30	9800	0.81	118	144	199	191
60	11000	0.80	149	174	214	204
90	11700	0.73	200	205	258	236
120	11800	0.71	184	243	274	268

หมายเหตุ 1. ปริมาณน้ำที่ได้จากการไหลผ่านร้อยละ 110±5

2. อัตราส่วนสารซีเมนต์ต่อทราย 1:2.75

ที่มา: Prapantatorn. 1983

จากการศึกษาของ เมทา (Metha. 1974), เดเมอร์ (Damer. 1976) และจินดาประเสริฐ (Chindaprasirt.1983) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์แกลบในคอนกรีตจะทำให้ความต้องการน้ำของส่วนผสมเพิ่มขึ้นเพื่อให้สามารถทำงานได้เท่าเดิม ทั้งนี้เนื่องจากซีเมนต์แกลบมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ นอกจากนี้ ฟารูก-อี-อแซม (Farooq-e-Azam. 1982) พบว่าในการผสมคอนกรีต ถ้าซีเมนต์แกลบมีความละเอียดเพิ่มขึ้นจะทำให้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์คงที่มีค่าความสามารถทำงานได้ลดลง

การคายน้ำ

การคายน้ำของคอนกรีตเป็นการแยกตัวของน้ำออกจากคอนกรีต เนื่องจากน้ำเป็นส่วนผสมที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำสุด และบางส่วนจะลอยขึ้นสู่ผิวของคอนกรีตสืบเนื่องจากส่วนผสมอื่นที่เป็นของแข็งไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้หมด ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2529) และแดเมอร์ (Damer. 1976) พบว่าการผสมซีเมนต์ในปูนซีเมนต์จะทำให้อัตราการคายน้ำลดลง

ระยะเวลาการก่อตัว

ประพันธ์นาทอน (Praparntanatom. 1983) พบว่าการผสมซีเมนต์กับน้ำตั้งแต่ร้อยละ 0-60 ในปูนซีเมนต์จะทำให้เวลาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายเพิ่มขึ้น การศึกษาของ พอล (Paul. 1976) ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน คุกและสุวรรณีวิทยา (Cook and Suwanvitaya. 1981) พบว่าปริมาณคาร์บอนจะทำให้เวลาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายสั้นลง นอกจากนี้ ประพันธ์นาทอน (Praparntanatom. 1983) ยังพบว่าระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บดรวมซีเมนต์กับน้ำมีลักษณะคล้ายกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กับน้ำ คือเพิ่มมากขึ้น

กำลังรับแรง

กำลังรับแรงอัดของเพสต์และมอร์ต้า

แดเมอร์ (Damer. 1976) พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่มีซีเมนต์กับน้ำร้อยละ 0 – 50 จะมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา มีทา (Metha. 1979) พบว่าสำหรับมอร์ต้ามีอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์คงที่ สามารถใช้ซีเมนต์กับน้ำแทนที่ปูนซีเมนต์ได้มากถึงร้อยละ 70 โดยมีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันเท่าเดิม คุกและสุวรรณีวิทยา (Cook and Suwanvitaya. 1981), แดเมอร์ (Damer. 1976) และจินดาประเสริฐ (Chindaprasirt. 1983) พบว่าสำหรับมอร์ต้าที่มีค่าการไหลคงที่สามารถใช้ซีเมนต์กับน้ำแทนที่ปูนซีเมนต์ได้ร้อยละ 40 โดยมีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28-90 วันประมาณเท่าเดิม

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ฟารูก-อี-อซาม (Farooq-e-Azam. 1982) พบว่าเมื่อความละเอียดของซีเมนต์กับน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กับน้ำเพิ่มขึ้น การศึกษาได้ใช้ซีเมนต์กับน้ำผ่านแรงเบอร์ 325 จำนวนร้อยละ 75, 85, 90 และ 95 และใช้อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์คงที่เท่ากับ 0.72 และ 0.81 แดเมอร์ (Damer. 1976) พบว่าซีเมนต์กับน้ำสามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มากถึงร้อยละ 20 โดยไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมากนัก ผลการศึกษาของทั้ง ฟารูก-อี-อซาม (Farooq-e-Azam. 1982) และ แดเมอร์ (Damer. 1976) ดังตาราง 13

ตาราง 13 ความต้องการน้ำ กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมซีเมนต์จากก้อน
ทดสอบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. สูง 300 มม. อัตราส่วน สารซีเมนต์ต่อทราย
ต่อหิน เท่ากับ 1 : 2.44 : 4.28

ก. ผลการทดสอบของฟารูก-อี-อาม (Farooq-e-Azam. 1982)

OPC:RHAโดยน้ำหนัก	100 : 0			65 : 35					50 : 50				
น้ำ/สารซีเมนต์	0.55	0.72	0.81	0.72					0.81				
ความละเอียด, %ผ่านแรงเบอร์ 325				75	80	85	90	95	75	80	85	90	95
ค่ายุบตัว, มม.	44.5	*	*	68	67	60	58	57	72	69	65	64	64
กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน, % ก.ก./ซ.ม. ²	264	176	143	117	157	180	204	211	103	124	153	182	187
กำลังรับแรงดึงที่อายุ 28 วัน % ก.ก./ซ.ม. ²	29	22	17	15	18	21	22	23	9	13	16	17	18

ที่มา : Farooq-e-Azam. 1982 : 1 ; Damer. 1976

ข. ผลการทดลองของแดเมอร์ (Damer. 1976)

OPC:RHAโดยน้ำหนัก	100 : 0			90 : 10			80 : 20			70 : 30		60 : 40	
น้ำ/สารซีเมนต์	0.45	0.55	0.65	0.49	0.55	0.65	0.53	0.62	0.69	0.75	0.93	0.85	1.09
ค่ายุบตัว	0	38.1	203.2	0	38.1	76.2	0	31.75	50.8	38.1	177.8	25.4	117.8
กำลังรับแรงอัด, กก./ซ.ม. ²													
28 วัน	366	359	274	414	337	281	281	341	267	190	148	105	88
90 วัน	432	429	302	471	376	309	415	387	281	225	172	123	102
กำลังรับแรงดึง, กก./ซ.ม. ²													
28 วัน	30	28	22	35	32	27	27	29	23	18	15	12	10

หมายเหตุ * วัดค่ายุบตัวไม่ได้

ที่มา : Farooq-Azam. 1982 : 1 ; Damer. 1976

ความคงทน

เมทา (Mehta. 1977) พบว่า มอร์ต้าที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมด้วยซีเมนต์กลบร้อยละ 35 และมีอัตราส่วนต่ำต่อสารซีเมนต์ร้อยละ 0.4 แช่ในกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และกรดเกลือ (HCL) เข้มข้นร้อยละ 5 ติดต่อกันเป็นเวลานาน 1500 ชั่วโมงจะมีน้ำหนักสูญหายไปเนื่องจากการถูกกัดกร่อนร้อยละ 13 และร้อยละ 8 ตามลำดับ ในขณะที่มอร์ต้าธรรมดาจะมีน้ำหนักสูญหายไปมากถึงร้อยละ 27 และร้อยละ 35 ตามลำดับ กราสุทธี และนิมิต ยงสกุล (Karasudhi, Nimit Yongskul.1979) ก็เชื่อว่าซีเมนต์กลบเป็นสารปอซโซลานที่ใช้ผสมคอนกรีตและสามารถต้านทานสิ่งแวดล้อมจากสารกัดกร่อนได้ดี นอกจากนี้ เมทา (Mehta) และ โปลิวกา (Polivka) (อ้างถึง Mehta.1977) ยังได้รายงานไว้ว่า ซีเมนต์กลบสามารถใช้เป็นสารผสมเพิ่มเพื่อลดการขยายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาของอัลคาไลในปูนซีเมนต์และซิลิกาที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาที่มีอยู่ในมวลรวม

การขยายตัว

ในการศึกษาการขยายตัวเนื่องจากการผสมซีเมนต์กับน้ำในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แดเมอร์ (Damer. 1976) พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กับน้ำร้อยละ 10-15 จะมีความเครียดจากการขยายตัว (Swelling Strain) สูงกว่าซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนถึงร้อยละ 40-120 และความเครียดนี้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของซีเมนต์กับน้ำ และในคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กับน้ำร้อยละ 10-40 มีความเครียดจากการขยายตัวสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาถึงร้อยละ 6-35

การหดตัว

แดเมอร์ (Damer. 1976) พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กับน้ำร้อยละ 10-50 จะมีความเครียดจากการหดตัว (Shrinkage Strain) เมื่อแห้งทดสอบอายุ 90 วัน เก็บไว้ในอุณหภูมิ 20 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 สูงกว่าเพสต์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนถึงร้อยละ 15-49 และความเครียดนี้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของซีเมนต์กับน้ำ และในคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กับน้ำร้อยละ 10-40 ก็พบว่ามีค่าความเครียดจากการหดตัวสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาถึงร้อยละ 4-32

การคืบ

ในการศึกษาการคืบของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กับน้ำ แดเมอร์ (Damer. 1976) พบว่า เมื่อก่อนทดสอบอายุ 28 วัน และใส่แรงกระทำคง (Sustained Load) เป็นเวลา 90 วัน การคืบของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กับน้ำร้อยละ 10-40 มีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาร้อยละ 6-27 Columna แดเมอร์ (Damer. 1976) พบว่าเมื่อก่อนทดสอบอายุ 7 วัน และใส่แรงกระทำคงเป็นเวลา 10 วัน การคืบของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กับน้ำจะสูงกว่าของคอนกรีตธรรมดา และมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของซีเมนต์กับน้ำ

3. กระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อก

การก่อสร้างคอกสัตว์ โรงเรือนในฟาร์ม ยังขาดตลอดจนอาหารพักอาศัยในชนบท นิยมใช้คอนกรีตบล็อกเป็นส่วนประกอบของโครงสร้าง โดยใช้กันเป็นฝาผนัง เนื่องจากมีราคาถูก ก่อสร้างได้ง่ายและรวดเร็ว

กระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกมี 3 ขั้นตอน คือ

1. การผลิตคอนกรีต
2. การอัดคอนกรีตลงแม่พิมพ์
3. การผึ่งคอนกรีตบล็อกให้แห้ง (เสกสรร สีหวงษ์ และบัณฑิต จริโมภาส. 2535 : 4 - 6)

3.1 เครื่องผลิตก้อนบล็อก

เครื่องทำบล็อกมีตั้งแต่เครื่องมือง่าย ๆ จนกระทั่งถึงเครื่องติดตั้งกับที่แบบพิสดาร และเครื่องชนิดเคลื่อนที่ เครื่องแบบง่าย ๆ สามารถจะโยกใช้กับเครื่องไฟฟ้า หรือเครื่องน้ำมันได้ แต่เครื่องแบบพิสดารมักจะใช้ไฟฟ้า เครื่องแบบพิสดารทุกชนิดจะถูกอัดด้วยวิธีการสั่นสะเทือน ยกเว้นเครื่องผลิตแบบง่าย ๆ

เครื่องผลิตแบบง่าย ๆ

ใช้มือทำเป็นส่วนใหญ่ ค่อนข้างหยาบ และราคาถูก ส่วนผสมจะถูกอัดโดยใช้ไม้เคาะแบบ และตบอัดจากแผ่นเหล็กตอนบนของแบบ เครื่องแบบนี้ถ้ามีการบ่อนวัสดุอย่างพอเพียง สามารถจะผลิตบล็อก

ขนาด 18" x 9" x 9" ได้ถึง 90 ก้อนต่อนาที สามารถจะเปลี่ยนการเคาะด้วยมือเป็นการเขย่าด้วยสายพานจากเครื่องไฟฟ้า หรือ เครื่องน้ำมันก็ได้

เครื่องผลิตติดตั้งกับที่

อย่างชนิดธรรมดาสามารถผลิตบล็อกขนาด 18" x 9" พร้อมกันครั้งละสองก้อน ได้ชั่วโมงละ 250 ก้อน จำนวนที่ผลิตจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาดของก้อนบล็อก เครื่องที่ใหญ่ขึ้นไปอีกสามารถผลิตได้มากกว่า 1,000 ก้อนต่อชั่วโมง และส่วนผสมของทุกชนิดใช้การสั่นสะเทือนทั้งสั่นเครื่องเหล่านี้ใช้กำลังไฟฟ้า ส่วนเครื่องที่เล็กลงมาก็ใช้เครื่องที่ใช้ น้ำมัน เครื่องผลิตติดตั้งกับที่สามารถถอดเครื่องไปติดตั้งที่อื่นได้

เครื่องแบบชนิด "วางไข่"

เครื่องชนิดนี้ผลิตก้อนบล็อกออกมาและปล่อยวางบนพื้น และเคลื่อนที่ถอยหลังไปเรื่อย ๆ และก็ยังต้องใช้แผ่นรองบล็อกอยู่ทุกก้อน และต้องเคลื่อนไปเก็บบ่มต่อไป ในที่อากาศร้อนแห้ง ก็จำเป็นจะต้องปิดก้อนบล็อกขนาดใหญ่ได้ 100 -200 ก้อนต่อชั่วโมง จนกระทั่งถึงแบบอัตโนมัติซึ่งสามารถผลิตได้ถึง 250 – 1,000 ก้อนต่อชั่วโมง และยังมีเครื่องแบบกึ่งอัตโนมัติซึ่งสามารถผลิตได้ 150 – 350 ก้อนต่อชั่วโมงด้วย

โต๊ะสั่นสะเทือน

แม้จะไม่ใช้เครื่องผลิตบล็อกโดยตรง แต่การสั่นสะเทือนนี้ คือการ Compact ก้อนบล็อกในเครื่องทำบล็อกด้วยมือ ขนาดของโต๊ะสั่นสะเทือนในตลาดมีต่าง ๆ ขนาดกัน มีทั้งแบบใช้ไฟฟ้า ดีเซล ราคาใกล้เคียงกับเครื่องทำบล็อกด้วยมือ

3.2 ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบล็อก

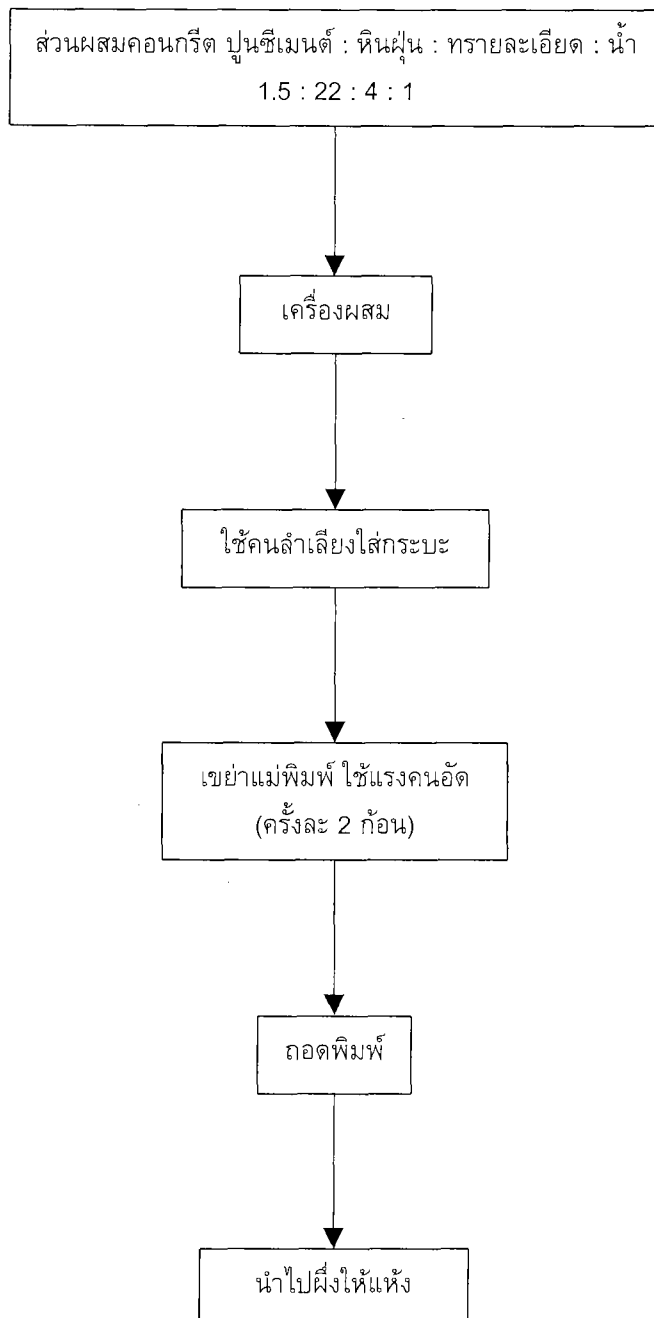
การทำงานขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบล็อกมีดังนี้

1. ผสมคอนกรีตอัตราส่วนปูนซีเมนต์ : หินฝุ่น : ทรายละเอียด : น้ำ – 1.5 : 22 : 4 : 1 โดยใช้เครื่องผสม

2. ล้างเลียงคอนกรีตเข้าสู่กระบะใส่คอนกรีต นำแผ่นเหล็กรองใส่ด้านล่างแม่พิมพ์ แล้วเลื่อนกระบะคอนกรีตเข้าไปเพื่อบรรจุคอนกรีตลงบนแม่พิมพ์ ชูดยเขย่าจะทำการเขย่าเพื่อให้คอนกรีตอัดตัวในแม่พิมพ์ หมุนแป้นปิดด้านบนแม่พิมพ์พร้อมเหยียบแป้นเหยียบแม่พิมพ์แล้วเบรคกลไกเขย่าทันที

3. หมุนแป้นเปิดออกพร้อมกับดันคอนกรีตบล็อกขึ้น หมุนแป้นรองไปรับคอนกรีตบล็อกแล้วพลิกคอนกรีตบล็อกเพื่อนำแผ่นรองออก นำคอนกรีตบล็อกไปผึ่งให้แห้ง

คอนกรีตจากถังผสม สามารถใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกขนาด 70 x 190 x 390 มิลลิเมตร ได้ 32 ก้อน เมื่อใช้คนทำงาน 3 คน จะผลิตคอนกรีตบล็อกได้ 55 ก้อน/คน/ชั่วโมง ค่าแรงงานในการผลิตคอนกรีตบล็อก 30 บาท ต่อคอนกรีตบล็อก 100 ก้อน



ภาพประกอบ 11 ขั้นตอนในการผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกโดยใช้เครื่องผลิตคอนกรีตบล็อกแบบใช้แรงคน

เครื่องผลิตคอนกรีตบล็อกแบบใช้ไฮดรอลิก ประกอบด้วย เครื่องผสมคอนกรีตสายพาน ลำเลียงคอนกรีต และเครื่องอัดคอนกรีตบล็อก

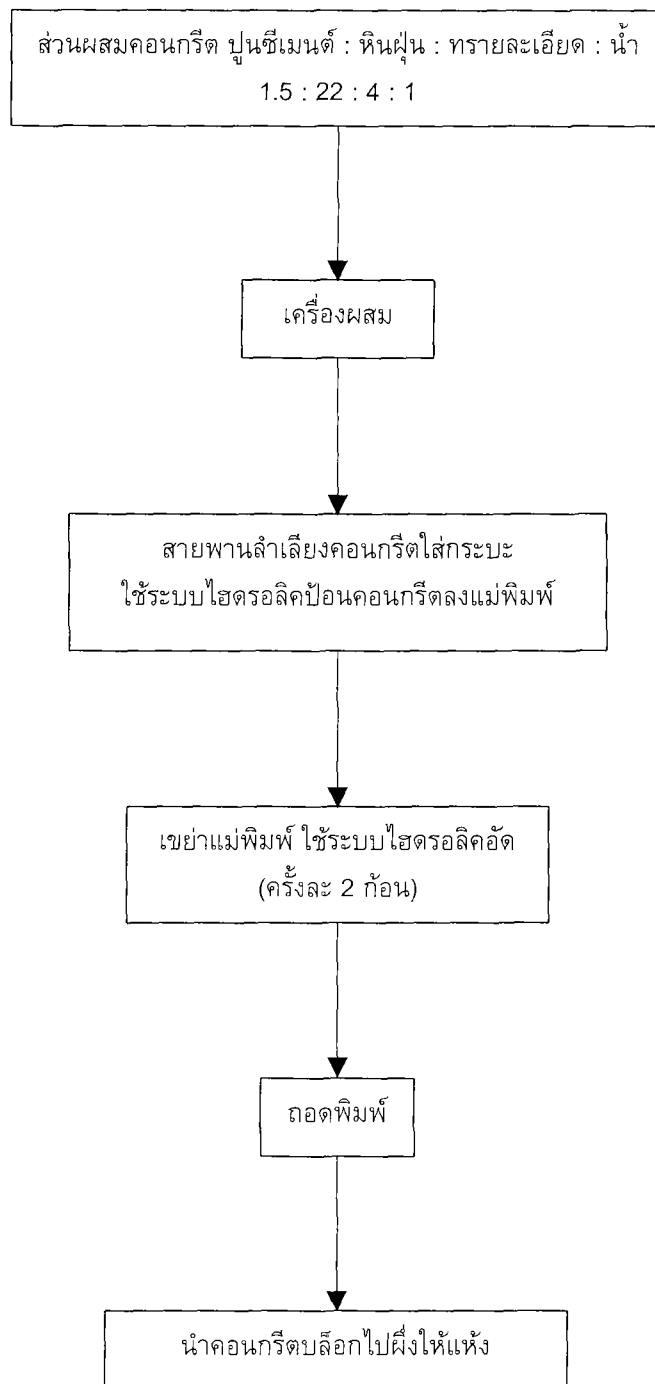
1. เครื่องผสมคอนกรีต เป็นถังหมุนผสมคอนกรีต ความจุ 0.36 ลูกบาศก์เมตรใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า เป็นต้นกำลัง

เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบใช้ไฮดรอลิกมีส่วนประกอบ ดังนี้

1. ชุดปั๊มคอนกรีตลงสู่แม่พิมพ์ เป็นรางเลื่อนเข้าออกอยู่ใต้กะบะคอนกรีตทำหน้าที่ปั๊มคอนกรีตลงแม่พิมพ์ภายในรางเลื่อน มีเกลียวหมุนคลุกเคล้าคอนกรีต ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด $\frac{1}{4}$ แรงม้า เป็นต้นกำลังทำงานร่วมกับระบบไฮดรอลิก
2. ชุดแม่พิมพ์ อัดคอนกรีต บล็อกได้ครั้งละ 4 ก้อน ทำงานโดยใช้ระบบไฮดรอลิก
3. ชุดอัด ประกอบด้วยชุดเขย่า ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า 2 เครื่อง (ซ้าย – ขวา) ทำงานร่วมกับระบบไฮดรอลิก
4. ชุดถอดพิมพ์ ทำงานโดยระบบไฮดรอลิก
5. ชุดควบคุมระบบไฮดรอลิก ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า

การทำงาน ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตบล็อก มีดังนี้

1. ผสมคอนกรีต อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : หินละเอียด : น้ำ : = 1.5 : 22 : 4 : 1 โดยใช้เครื่องผสม
2. ใช้สายพานลำเลียงคอนกรีตลงสู่กะบะ เพื่อปั๊มคอนกรีตลงแม่พิมพ์โดยผ่านทางรางเลื่อน รางเลื่อนจะเลื่อนเข้า – ออกโดยแกนไฮดรอลิก โดยจะต้องใส่แผ่นรองด้านล่าง แม่พิมพ์ก่อนการปั๊ม
3. ชุดเขย่าจะทำหน้าที่เขย่าให้คอนกรีตอัดตัวในแม่พิมพ์
4. ใช้แผ่นปิดแม่พิมพ์และอัดโดยระบบไฮดรอลิก พร้อมกับเบรคชุดเขย่า
5. ยกแผ่นปิดแม่พิมพ์ออกพร้อมกับดันคอนกรีตบล็อกขึ้นโดยระบบไฮดรอลิก หมุนแผ่นรองรับคอนกรีตบล็อก ใช้เครื่องพลิกคอนกรีตบล็อกเพื่อนำแผ่นรองออกมา แล้วนำคอนกรีตไปผึ่งให้แห้ง



ภาพประกอบ 12 ขั้นตอนในการผลิตก้อนคอนกรีตบล็อกแบบใช้ไฮดรอลิก

เมื่อทำการผลิตโดยใช้คนทำงาน 3 คน จะผลิตคอนกรีตบล็อกได้ 75 ก้อน/คน/ชั่วโมง ค่าแรงงานในการผลิตคอนกรีตบล็อก 20 บาท ต่อคอนกรีตบล็อก 100 ก้อน

ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกก้อนละประมาณ 2.60 บาท ราคาขายที่โรงงานก้อนละ 2.80

บาท

3.3 การใช้คอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกเหมาะสำหรับที่จะนำไปใช้กับงานการก่อสร้างทั่วไป มีความประหยัด นำไปสร้างเป็นเสา กำแพงดิน ผัง ซิล ซ้อแนะนำในการใช้คอนกรีตบล็อกผนัง มีดังนี้

3.3.1 ห้ามซุกน้ำ หรือสาดน้ำในระหว่าง ก่อ หรือ ฉาบ เพื่อป้องกันการยัดหดของก้อน การก่อควรจับระดับน้ำทุก ๆ แถว ทั้งทางตั้งและทางนอนโดยเฉพาะก้อนที่ก่อตอนมุมหรือริมผนังที่กอนั้น

3.3.2 ปูนก่อใช้ปูนซีเมนต์มอร์ต้า โดยผสมปูนซีเมนต์กับทรายหยาบ หรือทรายกลางในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 สำหรับปูนแต่งรอยต่อใช้ทรายละเอียด

3.3.3 ปูนก่อและปูนฉาบควรหนา 3/8 นิ้ว หรือ 1 ซม. เป็นอย่างน้อย เฉพาะรอยปูนก่อต้องเท่ากัน เพื่อก่อผนังลงตัวกับระยะที่กำหนดไว้พอดี

3.3.4 แถวบนสุดที่ก่อถึงใต้ท้องคานแล้ว ต้องทิ้งผนังไว้ให้หลุดตัว 1-2 วัน แล้วจึงถอดตัวปูน ก่อหรือก่ออิฐแทรกให้เต็ม

3.3.5 ผิวคอนกรีตที่เป็นเสา พื้นและคาน ก่อนก่อควรราดน้ำให้ทั่ว หรือจะสีกัดให้ผิวหยาบ เพื่อให้ปูนก่อยึดจับหรือจะโผล่เหล็กออกมา เพื่อยึดจับกับผนังคอนกรีตบล็อกได้แน่นหนา

3.3.6 ผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อก หรือจะฉาบแล้วถ้าจะนำอุปกรณ์สุขภัณฑ์ หรือสิ่งโดยติด ควรใช้สว่านไฟฟ้าเจาะ ให้เป็นรูฝังติดด้วยผูกตะกั่วหรือไนลอน แล้วขันด้วยตะปูควง การเคาะก้อนคอนกรีต บล็อกให้หลุดเสมอระดับใช้ด้ามเกรียงเคาะ

3.3.7 เนื่องจากคอนกรีตบล็อกมีน้ำหนัก ก้อนละ 10.17.5 กก. การยกและวางซ้อนบนปูน ก่อด้วยลักษณะที่มั่นคง และประณีต

3.3.8 การให้ที่หมายส่วนสุดของระยะผนังอาคารเป็นไปตามตารางในช่องของขนาดคอนกรีต บล็อกทั้งทางนอนและทางตั้ง แต่ละก้อนจะก่อหรือซ้อนกันพอดี ไม่ต้องสีกัดเลย

3.3.9 ตำแหน่งของการเว้นประตู หรือหน้าต่าง หรือช่องลมควรจัดตรวจอย่างเคร่งครัดโดย เฉพาะส่วนคานทับหลังประตูและหน้าต่าง

3.3.10 ตำแหน่งของการเว้นประตู หรือหน้าต่าง หรือช่องลมควรจัดตรวจอย่างเคร่งครัด โดย เฉพาะส่วนคานทับหลังประตูและหน้าต่าง

3.3.11 เมื่อก่อเป็นผนังแล้ว ก่อนเลิกควรชุบน้ำปูนก่อเพื่อการเสริมรอยอีกครั้งหนึ่ง แล้วใช้ แปรงชุบน้ำล้างผิวบล็อกให้สะอาด

3.4 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน

3.4.1 สร้างบ้านคอนกรีตบล็อก การสร้างผนังภายในหรือภายนอกอาคาร หรือทำผนังกันส่ว เพื่อตบแต่งนิยมใช้คอนกรีตบล็อก เนื่องจากสร้างได้สะดวก สวยงาม รวดเร็ว คอนกรีตบล็อกสามารถป้องกัน อัคคีภัย สามารถต้านทานความร้อนจากอากาศในฤดูร้อน และให้ความอบอุ่นในฤดูหนาวอีกด้วย

3.4.2 อาคารสกริกรรมคอนกรีตบล็อก การสร้างอาคารตามโครงการปศุสัตว์ โรงงาน โกดังเก็บ ของมีความเหมาะสมที่จะพิจารณาใช้ เพราะมีความคงทนต้านทานต่อสภาพธรรมชาติ นอกจากนี้ จะทำให้ ต้นทุนการสร้างต่ำมีความสวยงามเพียงพอ

3.4.3 กำแพงกันดินเหมาะอย่างยิ่งสำหรับใช้สร้างกำแพงกันดิน มีความแข็งแรงโดยเฉพาะใน การสร้างห้องใต้ดินด้วยแล้ว คอนกรีตบล็อกสามารถต้านทานความชื้นจากใต้ดินทำกรรมวิธีอื่นเพิ่มอีก ถ้ามี การเสริมเหล็กด้วย ก็จะสามารถต้านทานการหนีตัวทางด้านข้างได้ดีมาก

3.4.4 กำแพงอื่น ๆ หรือกำแพงที่สร้างด้วยลวดหนาม หรือสร้างด้วยไม้ สร้างด้วยความยุ่งยากและไม่มีความสะดวก ควรพิจารณาใช้คอนกรีตบล็อก จะสามารถให้สวยงาม หรือเรียงซ้อนด้วยวิธี หรือแบบต่าง ๆ ก็จะทำให้เกิดความงาม ซึ่งประกอบหรือสัมพันธ์กับอาคารได้

4.มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

4.1 คอนกรีตบล็อก ไม้รับน้ำหนัก มอก. 58-2533 UDC 691.327 – 478 : 69.022.324/324
ด้านคุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

4.1.1 ลักษณะทั่วไป (มอก.58-2533 : 11)

4.1.1.1 คอนกรีตบล็อกชนิดไม้รับน้ำหนักทุกก้อนต้องแข็งแรงปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนที่เสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อก หรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสถียรกำลังหรือความคงทนถาวร ยกเว้นรอยร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติ หรือรอยปริเล็กน้อย เนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่ง อย่างธรรมดา

4.1.1.2 คอนกรีตบล็อกชนิดไม้รับน้ำหนักซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอสมควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้อย่างดี การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

4.1.2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกชนิดไม้รับน้ำหนัก (มอก.58-2533 :12) ทั้งค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยและค่ากำลังต้านทานแรงอัดแต่ละก้อน ต้องเป็นไปตามตาราง 14

ตาราง 14 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก ชนิดไม้รับน้ำหนักตามมาตรฐาน มอก. 58-2533

ความต้านทานแรงอัดต่ำสุด	
เมกะพาสตัล	
(เฉลี่ยพื้นที่รวม)	
เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
2.5	2.0

ที่มา: กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 58-2533 : 12

การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีตมาตรฐานเลขที่ มอก. 109 (2517 : 3-10)

เครื่องมือ เครื่องกวดต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีรับรองเครื่องกวดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

4.1.3 ภาวะทดสอบ

4.1.3.1 หลังจากได้ส่งตัวอย่างถึงห้องทดสอบแล้ว ให้เก็บตัวอย่างอยู่ในสภาพอากาศปกติของห้องทดสอบ และทำให้การทดสอบตัวอย่างเต็มก้อน จำนวน 5 ก้อน ภายในเวลา 72 ชั่วโมง

4.1.3.2 ก้อนที่ทำให้มีขนาด รูปร่างหรือกำลังผิดปกติ อาจเลื้อยออกเป็นชิ้น ๆ แล้วนำบางชิ้นหรือทุกชิ้นมาทดสอบโดยวิธีเดียวกับที่กล่าวในการทดสอบเต็มก้อน กำลังของก้อนเต็มให้คำนวณจากผลเฉลี่ยกำลังของชิ้นต่าง ๆ

4.1.4 วิธีทดสอบ

4.1.4.1 ตำแหน่งทดสอบ จะต้องทำการทดสอบก่อนตัวอย่างโดยให้ศูนย์เนื้อที่ของผิวสารทั้งสองหน้าอยู่ในแนวตั้งกับศูนย์แรงกดจากแท่นสารในป่าทรงกลมของเครื่องกด นอกจากการทดสอบก่อน ซึ่งมีลักษณะพิเศษที่ประสงค์จะใช้ในลักษณะที่รูดอยู่ตามแนวระดับแล้ว การทดสอบคอนกรีตบล็อกจะต้องทดสอบโดยให้ตั้งอยู่ในแนวตั้งสำหรับก้อนวัสดุที่ก่อซึ่งตันร้อยละ 100 และก้อนกลวงซึ่งมีลักษณะพิเศษที่ประสงค์จะใช้ในลักษณะที่รูดอยู่ตามแนวระดับ อาจทำการทดสอบตามลักษณะการใช้งาน

4.1.4.2 ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ บรรทุกน้ำหนักครึ่งหนึ่งของน้ำหนักสูงสุดที่คาดว่าจะทดสอบด้วยอัตราเร็วตามสะดวก หลังจากนั้นจะต้องคุมเครื่องทดสอบโดยปรับให้หัวกดเคลื่อนที่ในอัตราสม่ำเสมอ จนทำให้น้ำหนักบรรทุกส่วนที่เหลือ บรรทุกได้ในเวลาไม่เร็วกว่า 1 นาที แต่ไม่เกิน 2 นาที

4.1.5 วิธีคำนวณและการรายงานผล

4.1.5.1 กำลังต้านทานแรงอัดของก้อนวัสดุที่คอนกรีต คำนวณได้จากแรงสูงสุดกิโลกรัมหารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางรวมของก้อน วัดเป็นตารางเซนติเมตร พื้นที่ภาคตัดขวางรวมของก้อนหมายถึง พื้นที่รวมของภาคตัดในแนวตั้งฉากกับทิศทางของน้ำหนักบรรทุก โดยรวมพื้นที่ภายในช่องว่างทั้งหมด รวมทั้งส่วนที่เว้าออกนอกจากเนื้อที่ส่วนนี้ เมื่อก่อตัวแล้ว ส่วนของก้อนที่ก่อกันจะสอดเข้ามาจนเต็ม

4.1.5.2 การรายงานผล ให้รายงานผลการทดสอบละเอียดถึง 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับการทดสอบแต่ละก้อน และผลเฉลี่ยจาก 5 ก้อน

4.1.6 การวัดขนาด (มอก. 109-2527 : 12-14)

เครื่องมือ ขนาดภายนอกให้วัดด้วยบรรทัดเหล็กซึ่งแบ่งละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร ความหนาของเปลือกและผนังกันโพรงให้วัดด้วยคาลิเปอร์ ซึ่งแบ่งรายละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร และมีปากขนานกันยาวไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร และไม่เกิน 25 มิลลิเมตร

4.1.7 จำนวนและลักษณะก้อนตัวอย่าง ใช้ก้อนตัวอย่างจำนวน 5 ก้อน

4.1.8 วิธีวัด

4.1.8.1 ความยาว ความกว้าง และความสูงของแต่ละก้อนให้วัดอ่านละเอียดเท่าที่บรรทัดคาลิเปอร์จะอ่านได้ สำหรับก้อนที่มีรูให้วัดความหนาของเปลือกและผนังกันโพรงส่วนที่บางที่สุดบันทึกผลเฉลี่ยไว้ ซึ่งก้อนตัวอย่างนี้สามารถนำไปใช้ในการทดสอบอย่างอื่นได้

4.1.8.2 ความยาว ต้องวัดที่เส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละหน้า ความกว้างวัดผ่านผิวสารด้านบนและล่างที่กึ่งกลางความยาว และวัดความสูงบนผิวหน้าทั้งสองที่กึ่งกลางความยาว ความหนาของเปลือกและผนังกันโพรงให้วัดส่วนที่บางที่สุด สูง 12 มิลลิเมตร จากระนาบที่ก้นวางบนปูนก่อ ในกรณีที่เปลือกด้านตรงกันข้ามมีความหนาแตกต่างกันน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าเฉลี่ยได้ รวงร่อนหน้าต่าง รอยต่อหลอกและรายละเอียดอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกันนี้ ไม่ต้องคำนึงถึงวัดขนาด

4.1.8.3 การรายงานผล ในรายงานควรแสดงค่าความยาว กว้าง และสูงเฉลี่ยของตัวอย่างแต่ละก้อน และความหนาของเปลือกและผนังกันโพรงที่บางที่สุด และความหนาของผนังกันโพรงเทียบเท่าที่ได้จากการเฉลี่ยจากตัวอย่าง 5 ก้อน ความหนาของผนังกันโพรงเทียบเท่า (วัดเป็นมิลลิเมตร ต่อความยาว 1 เมตร ของก้อนตัวอย่าง) คือผลบวกของความหนาผนังกันโพรงที่วัดได้ทั้งหมดรวมกันทุกผนัง คูณด้วย 1,000 และหารด้วยความยาวของก้อน วัดเป็นมิลลิเมตร

ผลสรุปที่ได้จากการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการของหน่วยงานที่มีมาตรฐานในการทดสอบและได้รับการรับรองมาตรฐานทางวิชาการ

4.3 วิธีการทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (มอก. 110-2517)

4.3.1 แช่ก้อนตัวอย่างที่จะหาการหดแห้งในน้ำที่อุณหภูมิ 23.0 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดความยาวเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบให้อ่านความยาวเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างในลักษณะที่อิมมิดี โดยให้ก้อนตัวอย่างวางอยู่ในถังน้ำ ให้แนวเส้นสำหรับวัดอยู่ในระดับเดียวกับผิวหน้าโดยประมาณ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาด เนื่องจากการที่ก้อนตัวอย่างเย็นลงเพราะการระเหย การอ่านความยาวของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบจะต้องทำพร้อมกับการอ่านความยาวของแท่งมาตรฐาน หาน้ำหนักอิมมิดีแห้งได้โดยการระบายน้ำจากก้อนตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที บนตะแกรงตา 9 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า และซับน้ำที่ติดตามผิวหน้าด้วยผ้าหมาด

4.3.2 เก็บก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบในตู้อบแห้ง เพื่ออบให้แห้ง ในบางกรณีมีข้อยกเว้น โดยยอมให้ทำก้อนตัวอย่างให้ผิวแห้งด้วยอากาศภายในห้องทดลองก่อนนำเข้าตู้อบ เพื่อให้แน่ใจว่าการอบแห้งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอควรหมุนเวียนก้อนตัวอย่างแต่ละก้อนไปอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ ในตู้อบแห้งทุกครั้งที่ทำการอ่าน

4.3.3 เมื่อทำการอบแห้งครบห้าวัน รวมช่วงเวลาก่อทำให้แห้งในอากาศระยะแรกถึง 48 ชั่วโมง จึงนำตัวอย่างทดสอบการหดแห้งออกจากตู้อบ และทำให้เย็นลงถึง 23.0 ± 1 องศาเซลเซียส หลังจากเย็นลงแล้ววัดความยาว ซึ่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่าง และอ่านความยาวแท่งมาตรฐานด้วย

4.3.4 นำก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบกลับเข้าตู้อบแห้ง เพื่อทำการอบแห้งในรอบที่สอง ช่วงเวลาก่อทำให้แห้งสำหรับรอบที่สองและรอบต่อ ๆ ไป เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ต่อจากการอบแห้งในรอบที่สอง ทำให้เย็นซ้ำอีก อ่านความยาวและวัดน้ำหนักดังกล่าวนในข้อ 4.3.3

4.3.5 อบแห้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมงในตู้อบต่อไป แล้วอ่านความยาวและวัดน้ำหนักหลังจากทำให้เย็นภายใต้ภาวะที่กำหนด จนกระทั่งถึงภาวะสมดุลของการหดของก้อนตัวอย่าง ภาวะสมดุลเกิดเมื่อผลเฉลี่ยความยาวของก้อนตัวอย่างเปลี่ยนเท่ากับร้อยละ 0.002 หรือต่ำกว่าในช่วงเวลาก่อทำให้แห้ง 6 วัน และเมื่อการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยใน 48 ชั่วโมง ของการอบแห้งเป็น ร้อยละ 0.2 หรือต่ำกว่าเมื่อเทียบกับน้ำหนักที่หาได้ในครั้งสุดท้าย

4.4 วิธีคำนวณ

4.4.1 คำนวณค่าการหดแห้งเป็นร้อยละของความยาวแบบวัดดังต่อไปนี้

$$S = \frac{\Delta L}{G} \times 100$$

เมื่อ S คือ การหดแห้งทางยาว เป็นร้อยละ

ΔL คือ การเปลี่ยนแปลงมิติทางยาวของตัวอย่าง เนื่องจากการทำให้แห้งจากสภาพอิมมิดีจนถึงสภาพสมดุลของน้ำหนัก และความยาวตามที่กล่าวในข้อ 6.3.5

G คือ ความยาวแบบวัดของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบ

4.4.2 การปรับค่าเปลี่ยนแปลงการอ่านแท่งมาตรฐาน ปรับค่าเปลี่ยนแปลงทางยาวของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบในรายงานสำหรับการเปลี่ยนแปลงการอ่านแท่งมาตรฐาน เนื่องจากสาเหตุอื่น นอกเหนือจากอุณหภูมิดังต่อไปนี้

$$\Delta L' = (L_1 - R_1) - (L_2 - R_2)$$

เมื่อ $\Delta L'$ คือ ค่าเปลี่ยนแปลงที่ต้องปรับซึ่งได้จากการอ่านแท่งมาตรฐาน

L_1 คือ ความยาวเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างที่ทดสอบที่อ่านได้ เป็นมิลลิเมตร

L_2 คือ ความยาวสุดท้ายของก้อนตัวอย่างที่ทดสอบที่อ่านได้ เป็นมิลลิเมตร

R_1 คือ ความยาวเบื้องต้นของแท่งมาตรฐานที่อ่านได้ เป็นมิลลิเมตร

R_2 คือ ความยาวสุดท้ายของแท่งมาตรฐานที่อ่านได้ เป็นมิลลิเมตร

4.4.3 วิธีแก้การอ่านความยาวให้เป็นความยาวที่อุณหภูมิมาตรฐานแก้การอ่านความยาวที่อุณหภูมิมาตรฐาน แก้การอ่านความยาวที่อุณหภูมิอื่นที่ไม่ใช่ 23.0 องศาเซลเซียส ดังต่อไปนี้

$$L_{23.0} = L_x - (T_x - 23.0) \times G \quad \text{Ø}$$

L_x คือ ความยาวของก้อนตัวอย่าง หรือความยาวแท่งมาตรฐานที่อุณหภูมิที่อ่านได้ T_x

G คือ ความยาวแบบวัด

Ø คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัตถุ

4.5 การรายงาน

การรายงานต้องประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

4.5.1 บอกชนิดของผลิตภัณฑ์ จำนวนก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบแต่ละสภาพการทดสอบ

4.5.2 ที่มาของก้อนตัวอย่าง

4.5.3 ชนิดของวัสดุผสม ชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และวิธีการผลิตของผลิตภัณฑ์นั้น

4.5.4 สภาพการบ่ม และการทำให้แห้งก่อนการทดสอบ

4.5.5 อายุของก้อนตัวอย่างขณะเริ่มทำการทดสอบการหดแห้ง

4.5.6 ระยะเวลาทำให้แห้งทั้งสิ้นก่อนวัดความยาวแต่ละครั้ง

4.5.7 น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบเมื่อได้รับเมื่ออิมมูนน้ำ และทุกครั้งที่ทำการวัด

ความยาวรวมทั้งเมื่อสมมูลย์

4.5.8 การหดแห้งความยาวทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ จากสภาพอิมมูนน้ำทุกคราวที่วัดความยาว รวมทั้งความยาวที่วัดเมื่อสมมูลย์

4.5.9 ข้อความอื่น ๆ ที่เห็นว่าสำคัญ

ตาราง 15 รายงานผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก : มอก. 58-2533

หมายเลขตัวอย่าง สมอ. / 58.....ประเภท.....

ขนาด.....มิลลิเมตร

ที่	รายการตรวจสอบ		ข้อ, ตาราง	หน่วย	เกณฑ์กำหนด	ผลการตรวจสอบ				
						1	2	3	4	5
1	ความหนาของเปลือก	แต่ละก้อน	4.1	มม.	≥ 12					
2	ความหนา	ค่าเฉลี่ย								
		ด้านที่ 1	4.2							
		ด้านที่ 2	ด.1							
		ค่าเฉลี่ย	รูปที่ 2							
3	ความสูง	ด้านที่ 1								
		ด้านที่ 2								
		ค่าเฉลี่ย								
4	ความยาว	ด้านที่ 1								
		ด้านที่ 2								
		ค่าเฉลี่ย								
5.1	ลักษณะทั่วไป	สำหรับคอนกรีต	6.1.1	-	ผ่าน					
		บล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักทุกก้อน								
5.2	ลักษณะทั่วไป	สำหรับคอนกรีต	6.1.2	-	ผ่าน					
		บล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูน								
6	ความต้านทานแรงอัด (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม)	แต่ละก้อนค่าเฉลี่ย	6.2,ด. 2 มอก.109-	Mpa	≥ 2.0 ≥ 2.5					

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2537

ตาราง 16 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักจากส่วนผสมกากตะกอนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย แก้วเกลบ เทียบกับมาตรฐาน มอก. 58-2533

สูตรที่	ค่าเฉลี่ย				ลักษณะทั่วไป		ความต้านทาน
	ความหนาของเปลือก (≥ 12 มิลลิเมตร)	ความหนา (70 มิลลิเมตร ± 2 มม.)	ความสูง (190 มิลลิเมตร ± 2 มม.)	ความยาว (390 มิลลิเมตร ± 2 มม.)	แข็งแรงไม่ร้าว(ผ่าน)	เพื่อฉาบปูนหรือแต่งปูน (ผ่าน)	
1							แรงอัด(เฉลี่ยจากพื้นที่รวม) แต่ละค่าก่อนเฉลี่ย
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้ประโยชน์กากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ มีลักษณะทางกายภาพเป็นเซลลูโลสเส้นใยสั้นที่ปะปนมากับเยื่อน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ มีการศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆมากมาย

การใช้กากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษเป็นเชื้อเพลิงในหม้อต้มน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการและการใช้ประโยชน์ ทั้งนี้อาจนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงหรือใช้ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการหมักในหลุมกลบฝัง เคอร์ (Kerr, 1997) ทำการศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษเป็นเชื้อเพลิงหม้อต้มไอน้ำพบว่า ในกรณีที่โรงงานมีการติดตั้งเครื่องมืออบแห้งสามารถใช้กากตะกอนเป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันได้ 100%

ลอว์ (Lowe et al. 1998) ศึกษาการนำกากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษมาทำเป็นวัสดุดูดซับน้ำมันและไข พบว่า เมื่อนำมาอัดเป็นเม็ดและอบแห้งสามารถดูดซับความชื้นได้ 1.46 เท่า และดูดซับ

น้ำมันได้ 1.03 เท่าของน้ำหนัก ซาโต้ และ ทามาโนอิ (Sato & Tamanoi. 1994) รายงานกากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษมาใช้ประโยชน์ในการผลิตแผ่นยิปซัม ออสเท็ก (Ozturk et al. 1993-4) รายงานกากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษมาใช้ในการผลิตไม้อัด

ฟูจิมาสึ (Fujimasu. 1996) รายงานการนำกากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษมาใช้ในการผลิตแผ่นโฟมโพลียูรีเทนกันไฟ อะซาตะ และ อะคามุซึ (Asada & Akamutsu. 1992) ทดลองนำเถ้าที่ได้จากกากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานกระดาษอัดเป็นก้อนโดยใช้แรงอัด 0.3-0.2 ตัน/ตร.ซม.นำไปเผาแห้งที่ได้มีความหนาแน่น 1.4 - 3.5 โกงงอและทนต่อแรงอัดได้ดีเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง

งานวิจัยที่มีส่วนต่อการลดต้นทุนในการผลิต โดยการนำเถ้ากลับมาผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิตแผ่นใยไม้ - ซีเมนต์ เช่น งานวิจัยปูนซีเมนต์เถ้ากลบ เถ้ากลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบมากถึงร้อยละ 90 เมื่อนำมาผสมปูนซีเมนต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สามารถใช้เถ้ากลบแทนพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 50 - 60 โดยที่กำลังแรงอัดเท่ากับส่วนผสมซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (ปริญา จินดาประเสริฐ. 2529:81)

ในการนำเถ้ากลบมาผสมกับปูนซีเมนต์ หรือใช้ในการทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตวัสดุใหม่ๆ โดยการนำเถ้ากลบทำปฏิกิริยากับปูนขาว เรียกว่า แคลเซียมซิลิเกต มีความแข็งแรงทนทานต่อการผุพังทางเคมี และการชะของน้ำได้ดี โดยใช้เถ้ากลบที่บดละเอียด 3 ส่วน ผสมกับปูนขาว 2 ส่วน โดยน้ำหนัก จะได้ปูนซีเมนต์ปอซโซลานา ที่มีคุณภาพดีเมื่อใช้กับเถ้ากลบสีขาวปนเทา แต่ถ้าใช้เถ้ากลบดำจะมีคุณภาพรองลงมา และยังสามารถรับแรงกดได้ดีเมื่อทิ้งไว้นาน จะรับแรงกดได้เพิ่มมากขึ้น โดยการนำปูนซีเมนต์ปอซโซลานา 1 ส่วน ผสมทราย 3 ส่วน และน้ำ 0.7 ส่วน โดยน้ำหนัก จะสามารถผลิตวัสดุก่อสร้าง เช่น อิฐบล็อก อิฐมอญ ที่มีคุณภาพดีและราคาถูก (อนุชิต กิจสวัสดิ์. 2522: สรุป)

งานวิจัยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตกำลังสูงที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ซีเถ้ากลบ เถ้าลอยลิกไนต์ และสารลดน้ำพิเศษ พบว่า การผสมของเถ้ากลบและเถ้าลอยลิกไนต์ ทราย หิน ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ น้ำ และสารผสมเพิ่ม สามารถผลิตคอนกรีตที่มีกำลังสูงได้ การรับกำลังแรงอัด แรงดึง ค่าการยุบตัว การทนทานต่อปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น อยู่ในเกณฑ์ของคอนกรีตควบคุม (สุพรรณี มีกุล. 2540 : 77-82)

งานวิจัยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อก น้ำหนักเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจากวัตถุดิบ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ทราย และหินไม่ยูคลิปตัส ผลการทดลองพบว่า ก้อนคอนกรีตบล็อกเบากว่าคอนกรีตบล็อกในท้องตลาด ความแข็งแรง ความเหมาะสมในการฉาบปูน และความต้านทานแรงอัดเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

งานวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543:25-34) ได้ทำการทดลองการปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุคอมโพสิตซีเมนต์ โดยใช้เส้นใยในการเสริมแรง สามารถผลิตวัสดุคอมโพสิตซีเมนต์ ที่มีกำลังต้านทานแรงอัดและต้านทานแรงดันได้ดีและยังศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้ากลบเข้าแทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์ ในปริมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักปูน พบว่า ให้ค่าความต้านทานแรงอัดและแรงดันมอร์ต้าควบคุมลดลง แต่คุณสมบัติดังกล่าวสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการปรับปรุงเส้นใยเข้าไปในส่วนผสม

งานวิจัยคอนกรีตน้ำหนักเบา โดยวิธีลดสัดส่วนมวลละเอียด เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ ที่จะนำมวลรวมตามธรรมชาติ มาทำเป็นคอนกรีตน้ำหนักเบา และจากการทดลอง พบว่า คอนกรีตที่มีขนาดโตสุดของมวลรวมและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมตลอดทั้งเนื้อคอนกรีตที่สม่ำเสมอจะให้ความสามารถในการ

การรับกำลังอัดที่ดีกว่า คอนกรีตที่มีขนาดของมวลรวมที่โตหรือเล็กเกินไปหรือมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ไม่เหมาะสมและมีเนื้อคอนกรีตที่ไม่สม่ำเสมอ (ฉัตรชัย จิตรสายธาร วราวัต บินอุมาร์ สุรชน ลุนพุม. 2539:17-31)

งานวิจัยคุณสมบัติของคอนกรีตเบา ผลการทดลองพบว่า การใช้ทรายละเอียดได้ส่วนผสมที่มีน้ำหนักเบากว่าส่วนผสมที่ใช้ทรายหยาบแต่กำลังรับแรงอัดจะน้อยกว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตชนิดนี้ขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของปริมาตรอากาศต่อซีเมนต์ และจากผลการทดลองเติมแกลบสามารถใช้ทดแทนซีเมนต์ในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้ได้ส่วนผสมที่มีกำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และทดลองเติมโพสิโพรฟีนไฟเบอร์ 0.05% โดยปริมาตร ทำให้ส่วนผสมมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากการยึดประสานของไฟเบอร์ ในระหว่างช่องว่างภายในคอนกรีต (ปารเมศ กำแหงฤทธิ์รงค์. 2536 : 48-50)

งานวิจัยคุณสมบัติของซีเมนต์บล็อก แบบกักกระจายฟองอากาศอบไอน้ำ เป็นคอนกรีตเบาประเภทหนึ่ง คอนกรีตจะประกอบด้วยฟองอากาศจำนวนมาก เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างฟองลูมิเนียมกับส่วนผสมของคอนกรีต ผลการทดลองพบว่า ซีเมนต์บล็อกมีคุณสมบัติ แบบวิศวกรรมตามเกณฑ์ที่กำหนด และจากการเปรียบเทียบ พบว่า ซีเมนต์บล็อกเบากว่าอิฐมวลเบาและคอนกรีตบล็อกประมาณ 2-3 เท่า กำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกัน สัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยกว่าราคาดเมื่อเป็นวัสดุก่อผนังสูงกว่า แต่ราคาโครงสร้างหลักของอาคารจะลดลง เนื่องจาก น้ำหนักเบา (กรองทอง เลิศพงศ์อารยะ. 2541 : 20-29)

การวิจัยการนำกากแอสซเกส และวัสดุพูนเบา เพอร์ไลต์เป็นคอนกรีตเบา การผลิตคอนกรีตเบาโดยใช้กากแอสซเกส เป็นวัสดุผสมแทนทรายและผสมวัสดุพูนเบาเพอร์ไลต์ เพื่อลดน้ำหนักคอนกรีต มีโลหะหนักในกากแอสซเกส ได้แก่ สังกะสี ตะกั่ว แมงกานีส และแคดเมียม 9900,5000,1900 และ 80 ไมโครกรัม/กรัม กากแอสซเกสผ่านการบำบัดขึ้น โดยใช้ปูนขาว เพื่อลดระดับความเป็นพิษของโลหะหนัก คอนกรีตเบาที่มีอัตราส่วนผสมของซีเมนต์ กากแอสซเกส และวัสดุพูนเบา เพอร์ไลต์ ผลิตเป็นบล็อกเบาขนาด 2x2x2 นิ้ว ศึกษาความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ และทดสอบความเป็นพิษและสมบัติทางวิศวกรรม พบว่ามีค่าสังกะสี ตะกั่ว แมงกานีส และแคดเมียม เป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม ส่วนคุณสมบัติด้านวิศวกรรมบล็อกเบา มีความหนาแน่นเฉลี่ย 1,161 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร อัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 20.44 ความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 32 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

กล่าวโดยสรุป ผู้วิจัยศึกษางานวิจัยดังกล่าว เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก โดยคำนึงถึงองค์ประกอบที่ได้จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าว และพิจารณาถึงวัตถุดิบที่จะนำมาเป็นส่วนผสม สำหรับทำเป็นวัสดุก่อสร้าง ด้านคุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี ชนิดและปริมาณของสารแข็งตัวที่เหมาะสมการออกแบบส่วนผสม และสารผสมช่วยเพิ่มคุณภาพ ตลอดจนข้อกำหนดในการบ่ม สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยได้ศึกษาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสม ดังนี้ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ มีลักษณะทางกายภาพเป็นเซลลูโลสเส้นใยสั้น มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (PH) อยู่ในช่วง 6.8-7.0 ความเป็นกรดเป็นด่างในระดับนี้ ทำให้ธาตุพิษบางชนิดละลายออกมาน้อยมาก และยังมีความพรุนร้อยละ 67.69 ประกอบกับการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งเป็นสารผสมช่วยเพิ่มคุณภาพสารปอซโซลาน ซึ่งมีซิลิกาเป็นสารประกอบหลัก และสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อมีความชื้น จะเกิดตัวเชื่อมประสานคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต $C_3S_2H_3$ เพิ่มขึ้นส่งผลให้คอนกรีตมีความหนาแน่น และทนต่อสารเคมีมากขึ้น (ชัชวาล เศรษฐบุตร.2539 : 61) ส่วนทรายเป็นวัสดุผสมสำคัญชนิดหนึ่งของคอนกรีตประเภทมวลรวมเพื่อความ

แข็งแรงและเป็นตัวแทรกของคอนกรีต อีกทั้งยังสามารถเข้าไปอุดช่องว่างของวัสดุผสมทำให้คอนกรีตแน่น และยังช่วยลดการยืดหดตัว และการแตกร้าวของก้อนคอนกรีตได้เป็นอย่างดี สำหรับถ้าแลกเปลี่ยนวัสดุผสมเหลือทิ้งที่มีปริมาณมาก จากผลการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่ามีซิลิกาปริมาณมากถึงร้อยละ 90 และซิลิกานี้เองที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ สามารถใช้ถ้าแลกเปลี่ยนแทนการใช้ปูนซีเมนต์หรือลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ได้เป็นอย่างดี และยังช่วยไปอุดช่องว่างระหว่างปูนซีเมนต์และวัสดุผสม ทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นสูงเป็นผลดีทางด้านกำลังและความทนทาน ทั้งนี้ยังช่วยลดปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ วัสดุผสมทั้ง 4 ชนิดนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสม และได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้ทำการทดลองเบื้องต้น โดยใช้กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษผสมปูนซีเมนต์ พบว่าวัสดุผสมมีการยึดเกาะตัวอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ประกอบกับการศึกษา ข้อมูลของวัสดุผสมอื่น ๆ จึงเลือกวัสดุทั้ง 4 ชนิดนี้ในงานวิจัยเพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก เพื่อผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบาขนาด 70X190X390 มม. และจะเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของก้อนคอนกรีตบล็อกมวลเบาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการทดลองศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบดลือคมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมจากกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเถ้ากลบมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

1. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง
2. ตัวแปรที่จะศึกษา
3. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ
4. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
5. ลำดับขั้นตอนในการทดลอง
6. แผนการดำเนินการวิจัย

1. วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลอง

1.1 กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ สำหรับการวิจัยครั้งนี้จะใช้กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานสยามกราฟท์อุตสาหกรรมจำกัด

1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราช้างของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)

1.3 ทรายหยาบ ในสถานะแห้งจากจังหวัดราชบุรีขนาด 2 – 4 มิลลิเมตร

1.4 เถ้ากลบ ได้จากการเผาเถ้าเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเกษตรรุ่งเรือง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่อุณหภูมิในช่วงระหว่าง 450-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 20 นาที ลักษณะเป็นเกล็ดสีเทาดำ

2. ตัวแปรที่จะศึกษา

2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

2.1.1 อัตราส่วนผสมของวัสดุซึ่งประกอบด้วย กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษอยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 ทรายหยาบอยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 เถ้ากลบอยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 ทั้งนี้จะทำการทดลองโดยการสุ่มแบบเจาะจงจากแผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่าดังภาพประกอบ 13 จำนวน 16 อัตราส่วนผสมแต่ละอัตราส่วนผสมจะผลิตคอนกรีตบดลือคขนาด 70X190X390 จำนวน 20 ก้อน รวมทั้งหมด 320 ก้อน ดังตาราง

17

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

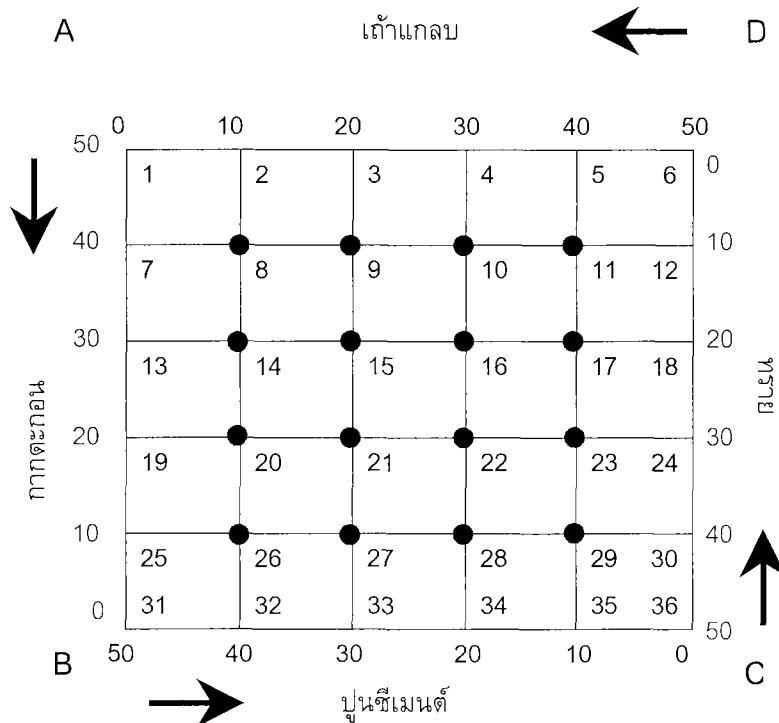
คุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ (มอก.58-2533) มีดังนี้

2.2.1 ลักษณะทั่วไป

2.2.2 ความต้านทานแรงอัด การทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ (มอก.109-2517)

2.2.3 การทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (มอก. 110-2517)

การคำนวณส่วนผสมจากแผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่า Quadraxial Blend ขนาด 36 จุด



ภาพประกอบ 13 แผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่าขนาด 36 จุด

จากแผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่า สามารถคำนวณหาอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักในการผลิตวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก

วิธีอ่านค่าตารางในสี่เหลี่ยมด้านเท่าให้ A, B, C และ D เป็นวัตถุดิบ 4 ชนิด

1. กำหนดให้ค่าที่อ่านได้ของวัตถุดิบ A แทนกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ
2. กำหนดให้ค่าที่อ่านได้ของวัตถุดิบ B แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1
3. กำหนดให้ค่าที่อ่านได้ของวัตถุดิบ C แทนทรายหยาบ
4. กำหนดให้ค่าที่อ่านได้ของวัตถุดิบ D แทนถ้าเกลบ

ตาราง 17 สัดส่วนของวัตถุดิบ A, B, C และ D ใน Quadraxial Blend ขนาด 36 จุด

1	2	3	4	5	6
A 50	A 50	A 50	A 50	A 50	A 50
B 50	B 40	B 30	B 20	B 10	D 50
-	D 10	D 20	D 30	D 40	-
100	100	100	100	100	100
7	8	9	10	11	12
A 40	A 40	A 40	A 30	A 40	A 40
B 50	B 40	B 30	B 20	B 10	B 10
C 10	C 10	C 10	C 10	C 10	D 50
-	D 10	D 20	D 30	D 40	-
100	100	100	100	100	100
13	14	15	16	17	18
A 30	A 30	A 30	A 30	A 30	A 30
B 50	B 40	B 30	B 20	B 10	C 20
C 20	C 20	C 20	C 20	C 20	D 20
-	D 10	D 20	D 30	D 40	-
100	100	100	100	100	100
19	20	21	22	23	24
A 20	A 20	A 20	A 20	A 20	A 20
B 50	B 40	B 30	B 20	B 10	C 30
C 30	C 30	C 30	C 30	C 30	D 50
-	D 10	D 20	D 30	D 40	-
100	100	100	100	100	100
25	26	27	28	29	30
A 10	A 10	A 10	A 10	A 10	A 10
B 50	B 40	B 30	B 20	B 10	C 40
C 40	C 40	C 40	C 40	C 40	D 50
-	D 10	D 20	D 30	D 40	-
100	100	100	100	100	100
31	32	33	34	35	36
B 50	B 40	B 30	B 20	B 10	C 50
C 50	C 50	C 50	C 50	C 50	D 50
-	D 10	D 20	D 30	D 40	-
100	100	100	100	100	100

จากแผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่าสามารถคำนวณหาอัตราส่วนผสม ค่าที่ออกมาเป็นส่วนผสมของ
วัตถุดิบแต่ละตัว ส่วนมากเป็นวิธีการทดสอบแบบสุ่มเอาหลาย ๆ จุด และเลือกเอาเฉพาะจุดที่ดีมาใช้
(Hopper. 1984 : 67-72) ค่าที่อ่านได้จากตารางเมื่อรวมกันแล้วต้องได้ 100 พอดี

ตัวอย่างเช่น

จุดที่ 8 ประกอบด้วย กากตะกอน ฯ = 40

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ = 40

ทรายหยาบ = 10

เถ้าแกลบ = 10

(เสริมศักดิ์ นาคบัว. 2536:59)

ในงานวิจัยนี้เป็นการสุ่มแบบเจาะจงโดยใช้จุดที่ 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28 และ 29 รวมทั้งหมด 16 สูตรอัตราส่วนผสม ดังตาราง 18

ตาราง 18 อัตราส่วนผสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบาชนิดไม่รับน้ำหนักที่คำนวณได้จาก
แผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่า

สูตรที่	ส่วนผสมทั้งหมด (กรัม)			
	กากตะกอน ฯ (A)	ปูนซีเมนต์ (B)	ทราย (C)	เถ้าแกลบ (D)
1	40	40	10	10
2	40	30	10	20
3	40	20	10	30
4	40	10	10	40
5	30	40	20	10
6	30	30	20	20
7	30	20	20	30
8	30	10	20	40
9	20	40	30	10
10	20	30	30	20
11	20	20	30	30
12	20	10	30	40
13	10	40	40	10
14	10	30	40	20
15	10	20	40	30
16	10	10	40	40

3. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ด้านคุณภาพทางกายภาพดังนี้

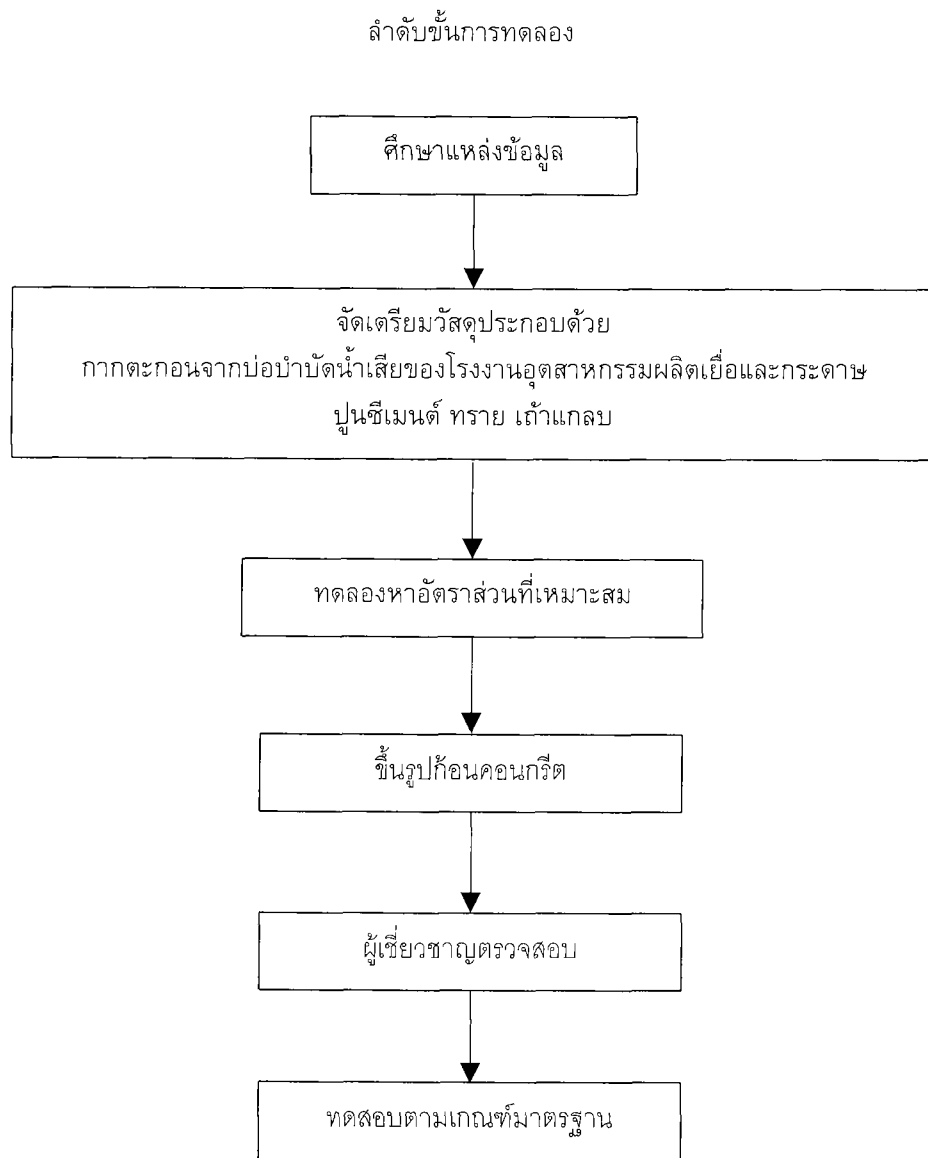
- 3.1 ลักษณะทั่วไป (มอก. 58-2533 : 11)
- 3.2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533 : 11)
วิธีทดสอบ (มอก. 109-2517)
- 3.3 การทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (มอก. 110-2517)

4. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดถึง 0.01 กรัม
2. ตู้อบ
3. โถควบคุมอุณหภูมิและความชื้น
4. นาฬิกาจับเวลา
5. เวอร์เนียแคลิเปอร์
6. ถุงพลาสติก
7. เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบไฮดรอลิก
8. เครื่องผสมคอนกรีตขนาดเล็ก
9. กระบอกตวง
10. ถังน้ำพลาสติก
11. ตะแกรงร่อนขนาด 100-200 เมตร
12. ถังมือยาง
13. เครื่องทดสอบแรงอัด
14. ไม้มารวัดเหล็กความละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร
15. ตู้อบระบายอากาศ อุณหภูมิ 110 ถึง 115 องศาเซลเซียส
16. คาลิเปอร์
17. เครื่องบดละเอียด
18. พลับ
19. จอบ
20. อ่างสำหรับแช่คอนกรีตบล็อก

5. ลำดับขั้นตอนการทดลอง

- ขั้นที่ 1. ศึกษาแหล่งข้อมูล
- ขั้นที่ 2. จัดเตรียมวัสดุ
- ขั้นที่ 3. เป็นการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก
- ขั้นที่ 4. เป็นการขึ้นรูปของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก
- ขั้นที่ 5. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ
- ขั้นที่ 6. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2533, มอก. 109-2517, มอก. 110-2517



ภาพประกอบ 14 ลำดับขั้นตอนการทดลองผลิตวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก

ขั้นที่ 1. ศึกษาแหล่งข้อมูล

1. ศึกษาแหล่งข้อมูลจากตำรา วารสาร บทความ รายงานการวิจัย วิทยานิพนธ์ และ เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาเป็นส่วนผสมในการทำวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา
 - 2.1 กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ
 - 2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1
 - 2.3 ทราย
 - 2.4 แก้วกลบ
3. ศึกษาเกณฑ์มาตรฐาน ข้อกำหนด สำหรับการตรวจสอบ คุณสมบัติทางกายภาพ
4. วางแผนดำเนินการทดลอง

ขั้นที่ 2. จัดเตรียมวัสดุ มีลำดับการทดลองดังนี้

1. กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ของ บริษัท สยามคราฟท์ อุตสาหกรรม จำกัด จะมีลักษณะเป็นเซลลูโลส เส้นใยสั้น ซึ่งไม่สามารถนำกลับไปผลิตเป็นกระดาษอีกต่อไปได้
 - 1.1 นำกากตะกอนฯ ไปตากแดดให้แห้งประมาณ 7 วัน และทำการคัดแยกหากมีสิ่งสกปรกอื่นเจือปนมา
 - 1.2 นำกากตะกอนฯ ไปหาปริมาณความชื้น เนื่องจากกากตะกอนฯ มีปริมาณความชื้นสูงประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์
 - 1.3 นำกากตะกอนฯ ไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100-200 เมช เพื่อแยก และคัดขนาดให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มวลผสมคอนกรีต
2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ทราย ขัง ของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)
3. ทราย
4. แก้วกลบได้จากการเผาแก้วเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าเกษตรรุ่งเรือง จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่อุณหภูมิระหว่าง 450-600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที มีลักษณะเป็นเกล็ดสีเทาดำ

ขั้นที่ 3. เป็นการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก จากแผนภาพ สี่เหลี่ยมด้านเท่า โดยสุ่มอย่างเจาะจง ซึ่งสุ่มมาเพียง 16 สูตร อัตราส่วนผสม ดังภาพประกอบ 13 ซึ่งอัตราส่วนผสมดังกล่าว จะประกอบไปด้วย กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษอยู่ในช่วง ร้อยละ 10-40 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 ทรายอยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 และแก้วกลบอยู่ในช่วงร้อยละ 10-40 แต่ละอัตราส่วนผสม จะผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาขนาด 70X190X390 มิลลิเมตร จำนวน 20 ก้อนรวมทั้งหมด 320 ก้อน

ขั้นที่ 4. เป็นการขึ้นรูปวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา โดยใช้เครื่องผลิตแบบไฮดรอลิก

- 4.1 ขั้นตอนการผลิตวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา โดยใช้เครื่องผลิตแบบไฮดรอลิก
 - เครื่องผลิตคอนกรีตบล็อกแบบใช้ไฮดรอลิกประกอบด้วย
 - 4.1.1 เครื่องผสมคอนกรีต เป็นถังหมุนผสมคอนกรีต ความจุ 0.36 ลูกบาศก์เมตร ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้าเป็นต้นกำลัง

4.1.2 ชุดป้องกันคอนกรีตลงสู่แม่พิมพ์ เป็นรางเลื่อนเข้าออกอยู่ใต้กระบะคอนกรีต ทำหน้าที่ป้องกันคอนกรีตลงสู่แม่พิมพ์ภายในรางเลื่อนมีเกลียวหมุนคลุกเคล้าคอนกรีตใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/4 แรงม้า เป็นต้นกำลังทำงานร่วมกับระบบไฮดรอลิก

4.1.3 ชุดแม่พิมพ์อัดคอนกรีตบล็อกได้ครั้งละ 4 ก้อน ทำงานโดยใช้ระบบไฮดรอลิก

4.1.4 ชุดอัดประกอบด้วย ชุดเขย่าใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า 2 เครื่อง (ซ้าย-ขวา) ทำงานร่วมกับไฮดรอลิก

4.1.5 ชุดถอดพิมพ์ทำงานโดยระบบไฮดรอลิก

4.1.6 ชุดควบคุมระบบไฮดรอลิกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 5 แรงม้า

4.2 ขั้นตอนการผลิตวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา โดยใช้เครื่องผลิตไฮดรอลิกแบบสั้น

4.2.1 ชั่งน้ำหนักและนำส่วนผสมทั้งหมดตามสูตรอัตราส่วนผสม ประกอบด้วย กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทราย และเถ้าแกลบ ผสมโดยใช้เครื่องผสมคอนกรีต โดยแต่ละสูตรต้องมีปริมาณพอเหมาะสามารถอัดก้อนคอนกรีตบล็อกได้ 20 ก้อน

4.2.2 ใช้สายพานลำเลียงส่วนผสมทั้งหมดลงสู่กระบะ เพื่อป้องกันส่วนผสมทั้งหมดลงแม่พิมพ์ โดยผ่านทางรางเลื่อน รางเลื่อนจะเลื่อน เข้า-ออก โดยแกนไฮดรอลิก และจะต้องใส่แผ่นรองด้านล่างแม่พิมพ์ก่อนการป้องกันส่วนผสม

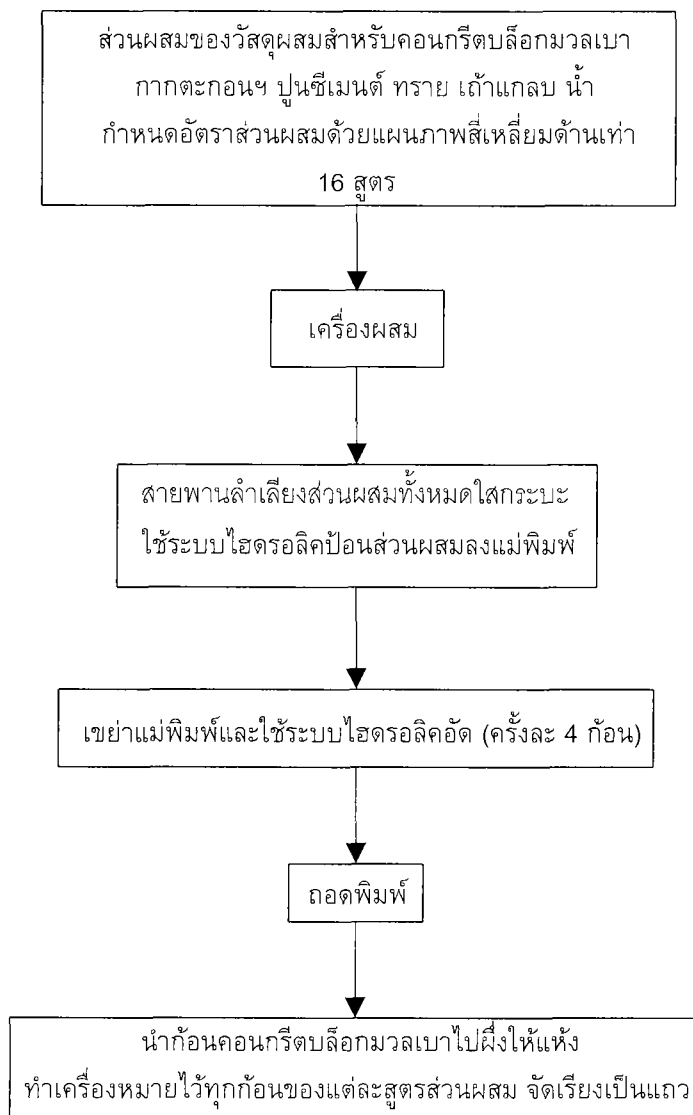
4.2.3 ชุดเขย่าจะทำหน้าที่เขย่าให้ส่วนผสมทั้งหมดอัดตัวลงในแม่พิมพ์

4.2.4 ใช้แผ่นปิดแม่พิมพ์และอัดโดยระบบไฮดรอลิก พร้อมกับเบรกชุดเขย่า

4.2.5 ยกแผ่นปิดแม่พิมพ์ออกพร้อมกับดันคอนกรีตบล็อกขึ้นโดยใช้ระบบไฮดรอลิกหมุนแผ่นรองรับคอนกรีตบล็อก ใช้เครื่องพลิกคอนกรีตบล็อก เพื่อนำแผ่นรองออกแล้วนำคอนกรีตไปผึ่งให้แห้ง

4.2.6 ทำเครื่องหมายไว้ทุกก้อนของแต่ละสูตรอัตราส่วนผสมโดยระบุให้สูตรที่ 1-16 เป็น A-P สูตรที่ 1 จะผลิตคอนกรีตบล็อกจำนวน 20 ก้อน ทำเครื่องหมายได้เป็น A1-A20 ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึง P1-P20 จนครบทุกสูตร เรียงก้อนคอนกรีตบล็อกเป็นแถว เพื่อสะดวกในการนำไปบ่ม และนำไปทดสอบต่อไป

ขั้นตอนในการผลิตวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา โดยใช้เครื่องผลิตแบบไฮดรอลิก



ภาพประกอบ 15 ขั้นตอนในการผลิตวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาโดยใช้เครื่องผลิตแบบไฮดรอลิก

ขั้นที่ 5. ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ

ขั้นตอนการตรวจสอบวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา โดยผู้เชี่ยวชาญมีรายละเอียดดังนี้

1. คุณลักษณะที่ต้องการ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533:11)

1.1 ลักษณะทั่วไป คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อก่อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอย่างถูกต้อง หรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลังหรือความคงทนถาวร รอยร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีการผลิตตามปกติ หรือรอยปริเล็กน้อย เนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา จะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

1.2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบ หรือปูนแต่งเป็นอย่างดี

1.3 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักซึ่งต้องการก่อแบบผิวเผย ด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยบิ่น รอยร้าว หรือตำหนิอื่น ๆ ถ้าในการสังเคราะห์หนึ่งมีก้อน ซึ่งมีรอยบิ่นเล็กน้อยที่ยาวกว่า 25 มิลลิเมตรเป็น จำนวนไม่มากกว่าร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับ

ขั้นที่ 6 เป็นการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533)

การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ทั้งค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยและ ค่ากำลังต้านทานแรงอัด

6.1 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด

6.1.1 การเคลื่อนผิวธารของก้อนทดสอบ โดยใช้การเคลือบด้วยปูนปลาสเตอร์ผสมน้ำ เกลีย ให้เรียบเสมอกันบนผิวพื้นที่ไม่ดูดน้ำ และทาด้วยน้ำมันบาง ๆ ปูนปลาสเตอร์ที่ผสมกับน้ำจนเหลวพอเหมาะ ในการใช้เคลือบ เมื่อครบ 2 ชั่วโมงจะมีกำลังต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า 245 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร โดยการทดสอบก่อนลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตร ผิวพื้นของแผ่นที่ใช้ในการหล่อจะต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด นำผิวหน้าก้อนซึ่งจะทำการเคลือบลงไปสัมผัสกับปูนปลาสเตอร์ จับก้อนตัวอย่างให้แน่น

6.1.2 วิธีทดสอบ

ตำแหน่งทดสอบ

จะต้องทำการทดสอบก่อนตัวอย่างโดยให้ศูนย์เนื้อที่ของผิวธารทั้งสองหน้าอยู่ในแนวตั้งกับ ศูนย์แรงกดจากแท่นธารในป่าทรงกลมของเครื่องกด นอกจากการทดสอบก่อนซึ่งมีลักษณะพิเศษที่ประสงค์จะ ใช้ในลักษณะที่รื้ออยู่ตามแนวระดับแล้ว การทดสอบคอนกรีตบล็อกจะต้องทดสอบโดยให้รู้ตั้งอยู่ในแนวตั้ง สำหรับก้อนวัสดุก่อซึ่งตันร้อยละ 100 และก้อนกลวงซึ่งมีลักษณะพิเศษประสงค์ใช้ลักษณะที่รู้ตั้งอยู่ตาม แนวระดับ อาจทำการทดสอบตามลักษณะการใช้งาน

6.1.3 ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ

บรรจุทุกน้ำหนักครึ่งหนึ่งของน้ำหนักสูงสุดที่คาดว่าจะทดสอบด้วยอัตราเร็วตามสะดวก หลังจากนั้นจะต้องคุมเครื่องทดสอบ โดยปรับให้หัวกดเคลื่อนในอัตราสม่ำเสมอ จนทำให้น้ำหนักบรรทุกส่วนที่ เหลือบรรทุกส่วนที่เหลือบรรทุกได้ในเวลาไม่เร็วกว่า 1 นาที แต่ไม่เกิน 2 นาที

6.1.4 วิธีคำนวณและการรายงานผล

กำลังต้านแรงอัดของก้อนวัสดุก่อคอนกรีตคำนวณได้จากแรงสูงสุดเป็นกิโลกรัมหารด้วยพื้นที่ ภาคตัดขวางรวมของก้อน วัดเป็นตารางเซนติเมตร พื้นที่ภาคตัดขวางรวมของก้อน หมายถึงพื้นที่รวมของ ภาคตัดในแนวตั้งฉากกับทิศทางของน้ำหนักบรรทุก โดยรวมพื้นที่ภายในช่องว่างทั้งหมด รวมทั้งส่วนที่เว้า ออกนอกจากเนื้อที่ส่วนนี้เมื่อก่อตัวแล้ว ส่วนของก้อนที่ก่อชิดกันจะสอดเข้ามาจนเต็มในกรณีซึ่งต้องการทราบ ค่ากำลังต้านทานอัดต่ำสุดจากพื้นที่สุทธิเฉลี่ยเช่นเดียวกับจากพื้นที่รวมเฉลี่ย ให้คำนวณโดยเอาน้ำหนัก บรรทุกสูงสุดเป็นกิโลกรัมหารด้วยพื้นที่สุทธิเฉลี่ยรวมเข้าไปในรายงาน

พื้นที่สุทธิ – คำนวณค่าเฉลี่ยร้อยละของพื้นที่สุทธิของก้อนดังนี้

$$\text{พื้นที่สุทธิเฉลี่ย ร้อยละ} = \frac{A}{B} \times 100$$

$$\text{ปริมาตรสุทธิ A เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร} = \frac{C}{D}$$

$$\text{ปริมาตรรวม B เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร} = W \times H \times L$$

หน่วยน้ำหนัก D เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

$$= \frac{C}{E - F} \times 10^{-3}$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรสุทธิของก้อน เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

B คือ ปริมาตรรวมของก้อน เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

C คือ น้ำหนักของก้อนเมื่อแห้ง เป็นกิโลกรัม

D คือ หน่วยน้ำหนัก เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W คือ ความกว้างของก้อน เป็นเซนติเมตร

H คือ ความสูงของก้อน เป็นเซนติเมตร

L คือ ความยาวของก้อน เป็นเซนติเมตร

E คือ น้ำหนักของก้อนเมื่อเปียก เป็นกิโลกรัม

F คือ น้ำหนักของก้อนเมื่อแขวนแช่น้ำ เป็นกิโลกรัม

6.1.5 การรายงานผล

ให้รายงานผลการทดสอบละเอียดถึง 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับการทดสอบแต่ละก้อน และผลเฉลี่ยจากห้ำก้อน

6.2 วิธีวัด

ความยาว ความกว้าง และความสูง ของแต่ละก้อนให้วัดอ่านละเอียดเท่าที่บรรทัดหรือคาลิเปอร์ที่อ่านได้ สำหรับก้อนที่มีรูให้วัดความหนาของเปลือก และผนังกันโพรงส่วนที่บางที่สุด บันทึกผลเฉลี่ยไว้

ความยาว L ต้องวัดที่เส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละหน้าความกว้าง W วัดผ่านผิวธรรดำนบนและล่างที่กึ่งกลางความยาว และวัดความสูง H บนผิวหน้าทั้งสองที่กึ่งกลางความยาว ความหนาของเปลือกและผนังกันโพรงให้วัดส่วนที่บางที่สุดสูง 12 มิลลิเมตรจากระนาบที่ก้นวางบนปูนก่อก่อนในกรณีที่เปลือกด้านตรงกันข้ามมีความหนาแตกต่างกันน้อยกว่า 3 มิลลิเมตรให้ใช้ค่าเฉลี่ยได้ รากกรอบหน้าต่าง รอยต่อหลอก และรายละเอียดอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกันนี้ ไม่ต้องคำนึงถึงวัดขนาด

6.2.1 การรายงานผล

ในรายงานควรแสดงค่าความยาว กว้าง และสูงเฉลี่ยของตัวอย่างแต่ละก้อนและความหนาของเปลือกและผนังกันโพรงที่บางที่สุด และความหนาของผนังกันโพรงเทียบเท่าที่ได้จากการเฉลี่ยจากตัวอย่างห้ำก้อน

6.3 การทดสอบการหดแห้งของก้อนคอนกรีตบล็อก มอก 110/2517

วิธีทดสอบ

6.3.1 แช่ก้อนตัวอย่างที่จะหาการหดแห้งในน้ำที่อุณหภูมิ 23.0 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดความยาวเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบให้อ่านความยาวเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างในลักษณะที่อมน้ำ โดยให้ก้อนตัวอย่างวางอยู่ในถังน้ำ ให้แนวเส้นสำหรับวัดอยู่ในระดับเดียวกับผิวหน้าโดยประมาณ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาด เนื่องจากการที่ก้อนตัวอย่างเย็นลงเพราะการระเหย การอ่านความยาวของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบจะต้องทำพร้อมกับการอ่านความยาวของแท่งมาตรฐาน หาน้ำหนักอมน้ำผิวแห้งได้โดยการระบายน้ำจากก้อนตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที บนตะแกรงตา 9 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า และซับน้ำที่ติดตามผิวหน้าด้วยผ้าหมาด

6.3.2 เก็บก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบในตู้อบแห้ง เพื่ออบให้แห้ง ในบางกรณีมีข้อยกเว้น โดยยอมให้ทำก้อนตัวอย่างให้ผิวแห้งด้วยอากาศภายในห้องทดลองก่อนนำเข้าตู้อบ เพื่อให้แน่ใจว่าการอบแห้งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอควรหมุนเวียนก้อนตัวอย่างแต่ละก้อนไปอยู่ตามตำแหน่งต่าง ๆ ในตู้อบแห้งทุกครั้งที่ทำการอ่าน

6.3.3 เมื่อทำการอบแห้งครบห้าวัน รวมช่วงเวลาก่อทำให้แห้งในอากาศระยะแรกถึง 48 ชั่วโมง จึงนำตัวอย่างทดสอบการหดแห้งออกจากตู้อบ และทำให้เย็นลงถึง 23.0 ± 1 องศาเซลเซียส หลังจากเย็นลงแล้ววัดความยาว ซึ่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่าง และอ่านความยาวแท่งมาตรฐานด้วย

6.3.4 นำก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบกลับเข้าตู้อบแห้ง เพื่อทำการอบแห้งในรอบที่สอง ช่วงเวลาก่อทำให้แห้งสำหรับรอบที่สองและรอบต่อ ๆ ไป เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ต่อจากการอบแห้งในรอบที่สอง ทำให้เย็นซ้ำอีก อ่านความยาวและวัดน้ำหนักดังกล่าวนในข้อ 6.3.3

6.3.5 อบแห้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมงในตู้อบต่อไป แล้วอ่านความยาวและวัดน้ำหนักหลังจากทำให้เย็นภายใต้ภาวะที่กำหนด จนกระทั่งถึงภาวะสมดุลของการหดของก้อนตัวอย่าง ภาวะสมดุลเกิดเมื่อผลเฉลี่ยความยาวของก้อนตัวอย่างเปลี่ยนเท่ากับร้อยละ 0.002 หรือต่ำกว่าในช่วงเวลาก่อทำให้แห้ง 6 วัน และเมื่อการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยใน 48 ชั่วโมง ของการอบแห้งเป็น ร้อยละ 0.2 หรือต่ำกว่าเมื่อเทียบกับน้ำหนักที่หาได้ในครั้งสุดท้าย

6.4 วิธีคำนวณ

6.4.1 คำนวณค่าการหดแห้งเป็นร้อยละของความยาวแบบวัดดังต่อไปนี้

$$S = \frac{\Delta L}{G} \times 100$$

เมื่อ S คือ การหดแห้งทางยาว เป็นร้อยละ

ΔL คือ การเปลี่ยนแปลงมิติทางยาวของตัวอย่าง เนื่องจากการทำให้แห้งจากสภาพอมน้ำจนถึงสภาพสมดุลของน้ำหนัก และความยาวตามที่กล่าวในข้อ 6.3.5

G คือ ความยาวแบบวัดของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบ

6.4.2 การปรับค่าเปลี่ยนแปลงการอ่านแท่งมาตรฐาน ปรับค่าเปลี่ยนแปลงทางยาวของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบในรายงานสำหรับการเปลี่ยนแปลงการอ่านแท่งมาตรฐาน เนื่องจากสาเหตุอื่น นอกเหนือจากอุณหภูมิดังต่อไปนี้

$$\Delta L' = (L_1 - R_1) - (L_2 - R_2)$$

เมื่อ $\Delta L'$ คือ ค่าเปลี่ยนแปลงที่ต้องปรับซึ่งได้จากการอ่านแท่งมาตรฐาน

L_1 คือ ความยาวเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างที่ทดสอบที่อ่านได้ เป็นมิลลิเมตร

L_2 คือ ความยาวสุดท้ายของก้อนตัวอย่างที่ทดสอบที่อ่านได้ เป็นมิลลิเมตร

R_1 คือ ความยาวเบื้องต้นของแท่งมาตรฐานที่อ่านได้ เป็นมิลลิเมตร

R_2 คือ ความยาวสุดท้ายของแท่งมาตรฐานที่อ่านได้ เป็นมิลลิเมตร

6.4.3 วิธีแก้การอ่านความยาวให้เป็นความยาวที่อุณหภูมิมาตรฐานแก้การอ่านความยาวที่อุณหภูมิมาตรฐาน แก้การอ่านความยาวที่อุณหภูมิอื่นที่ไม่ใช่ 23.0 องศาเซลเซียส ดังต่อไปนี้

$$L_{23.0} = L_x - (T_x - 23.0) \times G \quad \varnothing$$

L_x คือ ความยาวของก้อนตัวอย่าง หรือความยาวแท่งมาตรฐานที่อุณหภูมิที่อ่านได้ T_x

G คือ ความยาวแบบวัด

$\varnothing$ คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัตถุ

6.5 การรายงาน

การรายงานต้องประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

6.5.1 บอกชนิดของผลิตภัณฑ์ จำนวนก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบแต่ละสภาพการทดสอบ

6.5.2 ที่มาของก้อนตัวอย่าง

6.5.3 ชนิดของวัสดุผสม ชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และวิธีการผลิตของผลิตภัณฑ์นั้น

6.5.4 สภาพการบ่ม และการทำให้แห้งก่อนการทดสอบ

6.5.5 อายุของก้อนตัวอย่างขณะเริ่มทำการทดสอบการหดแห้ง

6.5.6 ระยะเวลาทำให้แห้งทั้งสิ้นก่อนวัดความยาวแต่ละครั้ง

6.5.7 น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบเมื่อได้รับเมื่ออิ่มน้ำ และทุกครั้งที่ทำ การวัดความยาวรวมทั้งเมื่อสมดุลย์

6.5.8 การหดแห้งความยาวทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ จากสภาพอิ่มน้ำทุกราวที่วัดความยาวรวมทั้งความยาวที่วัดเมื่อสมดุลย์

6.5.9 ข้อความอื่น ๆ ที่เห็นว่าสำคัญ

ตาราง 19 แผนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด	ระยะเวลาที่ใช้
1. ขั้นเตรียมการ	ค้นคว้าข้อมูลโดยทำการค้นคว้าหาข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เช่น กระทรวงอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย มหาวิทยาลัยต่าง ๆ ฯลฯ เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาให้ได้มากที่สุด	พ.ค.- ส.ค. 2545
2. ขั้นสอบเค้าโครงการฯ	แก้ไขงานตามอาจารย์ที่ปรึกษาแนะนำ เตรียมตัวสอบเค้าโครง	พ.ย. 2545
3. ขั้นทดลอง	สถานที่ที่ใช้สำหรับการทดลองมีดังนี้ 1. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยการจัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์และอุปกรณ์ในการทดลองที่กองการวิจัย 2. การทดลองและทดสอบคุณลักษณะของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบาที่ห้องปฏิบัติการฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนพื้นฐาน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	พ.ย.- มี.ค. 2546
4. ขั้นวิเคราะห์ข้อมูล	การวิเคราะห์ข้อมูลมีลำดับขั้นตอนดังนี้ 1. การวิเคราะห์และตรวจสอบวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาโดยผู้เชี่ยวชาญด้านคุณลักษณะทั่วไป ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533:11 2. การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบา การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 การปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีการชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีตมาตรฐาน มอก.109-2517 : 3-10 และการทดสอบการหดแห้ง มอก. 110-2517 : 1-18	มี.ค. 2546
5. ขั้นเรียบเรียงรายงาน	ตรวจสอบบทที่ 1-5 โดยละเอียดของคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญประกอบกันแล้วเรียบเรียงเป็นรูปเล่ม	มี.ค. 2546
6. ตรวจสอบความเรียบร้อย	นำบทที่ 1-5 ให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความเรียบร้อยและแก้ไขให้เสร็จสมบูรณ์	เม.ย. 2546

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนักตามกระบวนการที่กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบไฮโดรลิคระบบสัน สะเทือน ขนาดของคอนกรีตบล็อก คือ 70X190X390 มิลลิเมตร จากวัตถุประสงค์จากบ่อบำบัดน้ำเสีย ของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราय และเถ้าแกลบตามสูตร ทดลองที่มีส่วนผสมจากแผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่าจำนวน 16 สูตร โดยการทดสอบและตรวจสอบวิธีการเป็น ไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (มอก.58-2533, มอก.109-2517, มอก.110-2517)

การวิเคราะห์ลักษณะทั่วไปของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับ น้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิต เยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเถ้าแกลบ ตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533, มอก.109-2517, มอก.110-2517

จากผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและทำการทดสอบ เมื่อคอนกรีตบล็อกมวลเบามีอายุ 28 วัน ตามวิธีการของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปรากฏผลวิเคราะห์ ตามตาราง 20

ราง 20 การวิเคราะห์ขนาดความคลาดเคลื่อน ลักษณะทั่วไป ความต้านทานแรงอัด และการหดแห้งของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบดกลบมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษป่นซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราบ และ แก้วเกลบ

[illegible]

จากตาราง 20 สามารถวิเคราะห์ขนาด เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน และลักษณะทั่วไป ความต้านทานแรงอัด และการหดแห้ง ของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทราย และเถ้าแกลบ เมื่อคอนกรีตบล็อกมีอายุครบ 28 วัน โดยมีสูตรอัตราส่วนผสมที่สามารถขึ้นรูปก้อนคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบไฮดรอลิกระบบสัน 6 สูตรอัตราส่วนผสม ดังนี้

สูตรที่ 1 มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ คือ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ร้อยละ 40 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ร้อยละ 40 ทรายร้อยละ 10 เถ้าแกลบ ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 20

สูตรที่ 2 มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ คือ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ร้อยละ 40 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 30 ทรายร้อยละ 10 เถ้าแกลบ ร้อยละ 20 และน้ำร้อยละ 20

สูตรที่ 5 มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ คือ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ร้อยละ 30 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 40 ทรายร้อยละ 20 เถ้าแกลบ ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 20

สูตรที่ 6 มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ คือ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ร้อยละ 30 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 30 ทรายร้อยละ 20 เถ้าแกลบ ร้อยละ 20 และน้ำร้อยละ 20

สูตรที่ 9 มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ คือ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ร้อยละ 20 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 40 ทรายร้อยละ 30 เถ้าแกลบ ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 20

สูตรที่ 13 มีอัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ คือ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 40 ทรายร้อยละ 40 เถ้าแกลบ ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 20

โดยทั้ง 6 สูตรอัตราส่วนผสมสามารถวิเคราะห์ขนาดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนลักษณะทั่วไป ความต้านทานแรงอัด และการหดแห้ง รายละเอียดดังนี้

ความหนาของแกน เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 12 มิลลิเมตร ในสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 สูตรที่ 9 และสูตรที่ 13 มีความหนาของแกนเฉลี่ย 14 มิลลิเมตร ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ขนาดของคอนกรีตบล็อกด้านความหนา เกณฑ์มาตรฐานกำหนด คือ 70 มิลลิเมตร โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร ในสูตรที่ 1 สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 มีความหนาเฉลี่ย 64 มิลลิเมตร ส่วนสูตรที่ 2 สูตรที่ 9 สูตรที่ 13 มีความหนาเฉลี่ย 65 มิลลิเมตร ซึ่งทั้ง 6 สูตร ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ขนาดของคอนกรีตบล็อกด้านความสูง เกณฑ์มาตรฐานกำหนด คือ 190 มิลลิเมตร โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร ในสูตรที่ 2 มีความสูงเฉลี่ย 193 มิลลิเมตร ส่วนสูตรที่ 1 สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 สูตรที่ 9 และสูตรที่ 13 มีความสูงเฉลี่ย 194 มิลลิเมตร ซึ่งทั้ง 6 สูตร ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ขนาดของคอนกรีตบล็อกด้านความยาว เกณฑ์มาตรฐานกำหนดคือ 390 มิลลิเมตร โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร ในสูตรที่ 1 มีความยาวเฉลี่ย 391 มิลลิเมตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

กำหนด สูตรที่ 2 มีความสูงเฉลี่ย 395 มิลลิเมตร สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 สูตรที่ 9 และสูตรที่ 13 มีความสูงเฉลี่ย 396 มิลลิเมตร ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ความแข็งแรง เกณฑ์มาตรฐานกำหนดคือ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อนต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าวหรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อ ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญตรวจพินิจ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เพราะมีส่วนของรอยแตก รอยร้าว และรอยบิ่น ลักษณะของก้อนบล็อกไม่แข็งแรง ส่วนสูตรที่ 9 สูตรที่ 13 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เพราะมีก้อนคอนกรีตบล็อกไม่เกิดรอยแตก รอยร้าว และรอยบิ่นใด ๆ ลักษณะก้อนคอนกรีตบล็อกมีความแข็งแรง

ความเหมาะสมในการฉาบปูนหรือแต่งปูน เกณฑ์มาตรฐานกำหนดคือ คอนกรีตบล็อกต้องมีผิวหน้าหยาบพอ ควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้เป็นอย่างดี ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญตรวจพินิจ ในสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 5 สูตรที่ 6 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เพราะผิวหน้าของก้อนบล็อกไม่หยาบพอที่จะให้ปูนที่จะให้ปูนฉาบหรือปูนแต่งจับยึด ส่วนสูตรที่ 9 สูตรที่ 13 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด เพราะมีผิวหน้าของก้อนบล็อกหยาบพอแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่ง

ความต้านทานแรงอัด เมื่อก่อนคอนกรีตบล็อกมีอายุ 28 วัน ความต้านทานแรงอัดเกณฑ์มาตรฐานกำหนดต่ำสุดแต่ละก้อน 2.0 เมกะพาสคัล และเฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน 2.5 เมกะพาสคัล สูตรที่ 1 ค่าความต้านทานแรงอัดก้อนที่ 1-5 มีค่า 0.60, 0.08, 0.60, 0.80, 0.70 เมกะพาสคัล ตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อนมีค่า 0.70 เมกะพาสคัล สูตรที่ 2 ค่าความต้านทานแรงอัด ก้อนที่ 1-5 มีค่า 0.60, 0.40, 0.50, 0.40, 0.50 เมกะพาสคัล ตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน มีค่า 0.50 เมกะพาสคัล สูตรที่ 5 ค่าความต้านทานแรงอัดก้อนที่ 1-5 มีค่า 0.90, 0.90, 0.90, 0.80, 0.80 เมกะพาสคัล ตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน มีค่า 0.90 เมกะพาสคัล สูตรที่ 6 ค่าความต้านทานแรงอัดก้อนที่ 1-5 มีค่า 0.50, 0.50, 0.60, 0.30, 0.50 เมกะพาสคัลตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน มีค่า 0.50 เมกะพาสคัล สูตรที่ 9 ค่าความต้านทานแรงอัดก้อนที่ 1-5 มีค่า 1.30, 0.20, 0.80, 1.30, 0.90 เมกะพาสคัล ตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน มีค่า 1.10 เมกะพาสคัล สูตรที่ 13 ค่าความต้านทานแรงอัดก้อนที่ 1-5 มีค่า 1.70, 1.80, 1.40, 1.40, 1.80 เมกะพาสคัลตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน มีค่า 1.60 เมกะพาสคัล ซึ่งทั้ง 6 สูตรไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

การหดแห้งของก้อนคอนกรีตบล็อก พบว่าการตรวจสอบเฉลี่ย 5 ก้อน ณ วันที่ 2, 4, 6, 8, 10, 12 และวันที่ 14 ในสูตรที่ 1 การหดแห้งทางความยาวร้อยละ 0.00 เริ่มทดสอบมีค่า 0.29, 0.29, 0.50, 0.51, 0.52, 0.52, 0.52 ตามลำดับ สมดุลย์ร้อยละ 0.52 ส่วนน้ำหนักของก้อนคอนกรีตบล็อกเมื่ออิมน้ำ 0.84 กิโลกรัม เริ่มทดสอบมีค่า 0.52, 0.56, 0.54, 0.54, 0.54, 0.54, 0.54 กิโลกรัม ตามลำดับ สมดุล 0.52 กิโลกรัม

สูตรที่ 2 การหดแห้งทางความยาวร้อยละ 0.00 เริ่มทดสอบมีค่า 0.27, 0.27, 0.40, 0.41, 0.42, 0.42, 0.42 ตามลำดับ สมดุลย์ร้อยละ 0.42 ส่วนน้ำหนักของก้อนคอนกรีตบล็อกเมื่ออิมน้ำ 0.76 กิโลกรัม เริ่มทดสอบมีค่า 0.46, 0.46, 0.45, 0.45, 0.45, 0.45, 0.45 กิโลกรัม ตามลำดับ สมดุล 0.46 กิโลกรัม

สูตรที่ 6 การหดแห้งทางความยาวร้อยละ 0.00 เริ่มทดสอบมีค่า 0.19, 0.19, 0.27, 0.29, 0.29, 0.30, 0.30 สมดุลย์ร้อยละ 0.29 ส่วนน้ำหนักของก้อนคอนกรีตบล็อกเมื่ออิมน้ำ 0.76 กิโลกรัม เริ่มทดสอบมีค่า 0.48, 0.48, 0.48, 0.47, 0.47, 0.47, 0.47 กิโลกรัม ตามลำดับ สมดุล 0.48

จากผลการตรวจสอบ ขนาดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ลักษณะทั่วไป ความต้านทานแรงอัด และการหดแห้งของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และแก้ว

เกลบ เมื่อคอนกรีตบล็อกมีอายุครบ 28 วัน โดยมีสูตรอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปก้อนคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบไฮดรอลิค ระบบสันสะท้อน 6 สูตร อัตราส่วนผสม คือ สูตรที่ 1, 2, 5, 6, 9, 13 ส่วนสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่สามารถขึ้นรูปก้อนคอนกรีตบล็อกได้เนื่องจากปริมาณของปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการประสานกับวัตถุดิบอื่นมีปริมาณที่ไม่พอเหมาะแก่การยึดเกาะของวัสดุมวลรวม โดยมีปริมาณของปูนซีเมนต์อยู่ในช่วงร้อยละ 10-20 ทำให้การขึ้นรูปก้อนคอนกรีตบล็อกไม่สมบูรณ์แตกหักเสียรูปทรง โดยในสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเถ้าเกลบ ในการนำไปใช้งาน

จากการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก จำนวน 16 สูตร และทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ไม่ผ่านเกณฑ์กำหนด แต่เมื่อนำค่าความต้านทานแรงอัดสูตรที่ 13 ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของอังกฤษ BS 2028 พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของอังกฤษ ชนิดของคอนกรีต คือคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาอัดแน่นบางส่วน โดยอยู่ในช่วง 14-56 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้ในสูตรที่ 13 ด้านคุณลักษณะทั่วไปของก้อนบล็อก ด้านความแข็งแรง และความเหมาะสมในการฉาบปูนหรือแต่งปูน ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 58-2533 กำหนด โดยผู้เชี่ยวชาญตรวจพินิจ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนักที่มี ส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษปูนชี เมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเถ้าแกลบ ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนักที่มี ส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนชี เมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเถ้าแกลบ
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2533) ด้านคุณลักษณะทั่วไปและความต้านทานแรงอัด การทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.109-2517) และ (มอก.110-2517) การหดแห้ง

ประชากร

ในการศึกษาครั้งนี้ตัวแปรต้นคือสูตรส่วนผสมของวัตถุดิบซึ่งประกอบด้วยกากตะกอนจากบ่อ บำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษอยู่ในช่วงร้อยละ 10 – 40 ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์อยู่ในช่วงร้อยละ 10 – 40 ทรายอยู่ในช่วงร้อยละ 10 – 40 เถ้าแกลบอยู่ในช่วงร้อยละ 10 – 40 ปริมาณน้ำร้อยละ 20 ของน้ำหนักมวลรวม ทั้งนี้จะทำการทดลองโดยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากแผน ภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่า จำนวน 16 สูตร อัตราส่วนผสมดังตาราง 17 แต่ละอัตราส่วนผสมจะผลิตก้อน คอนกรีตบล็อกมวลเบาขนาด 70 X 190 X 390 มิลลิเมตร จำนวน 20 ก้อน รวมทั้งหมด 320 ก้อน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจึงได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนัก ตู้อบ ไม้บรรทัดเหล็กความละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร เวอร์เนียแคลิเปอร์ เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบ ไฮดรอลิก เครื่องผสมคอนกรีตขนาดเล็ก เครื่องมือทดสอบกำลังอัด นาฬิกาจับเวลา แบบบันทึกผล และ แบบประเมินผลของผู้เชี่ยวชาญ

การดำเนินการวิจัย

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการทดลองคือ กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย นำมาตากแดดให้ แห้งและร่อนผ่านตะแกรง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายและเถ้าแกลบ
2. ชั่งน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดตามสูตร อัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้แต่ละสูตรจะผลิตก้อน คอนกรีตบล็อกได้ 20 ก้อน

3. นำส่วนผสมทั้งหมดตามสูตรส่วนผสมใส่ลงในเครื่องผสมคอนกรีตแบบเป็นถังหมุนผสมคอนกรีต คลุกเคล้าให้ส่วนผสมเข้ากัน ใส่ส่วนผสมส่วนที่กำหนดไว้ผสมให้เข้ากันทั่ว

4. ตักส่วนผสมไปอัดก้อนด้วยเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกไฮดรอลิก แบบสั้น

5. นำก้อนคอนกรีตบล็อกที่อัดขึ้นรูปเสร็จแล้วทำเครื่องหมายตามจำนวนนำไปบ่มประมาณ 28 วัน

6. ส่งก้อนคอนกรีตบล็อกเข้าห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 มอก.109-2517 และ มอก.110-2517

7. สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านคุณลักษณะทั่วไป การรับแรงอัด และการหดแห้ง โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 มอก.109-2517 และ มอก.110-2517

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลการทดสอบคุณลักษณะที่ทดสอบตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมด้วยเครื่องมือทดสอบของฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย มาเปรียบเทียบกับความแตกต่างระหว่างแต่ละอัตราส่วน ในด้านขนาด เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ลักษณะทั่วไป กำลังต้านทานแรงอัดและการหดแห้ง

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการทดสอบขนาด เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ลักษณะทั่วไป ความต้านทานแรงอัดและการหดแห้งจากวัตถุดิบกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ และกระดาษปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และถั่วแกลบ โดยการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 มอก.109-2517 และ มอก.110-2517

ความหนาของแกนตามสูตรที่ 1, 2, 5, 6, 9, 13 มีค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

ขนาดของคอนกรีตบล็อกด้านความหนา ตามสูตรที่ 1, 2, 5, 6, 9, 13 มีค่าไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากไม่สามารถอัดก้อนคอนกรีตบล็อกได้

ขนาดของคอนกรีตบล็อกด้านความยาว ตามสูตรที่ 1, 2, 5, 6, 9, 13 มีค่าไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

ความแข็งแรง สูตรที่ 9, 13 มีค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่ได้เกณฑ์มาตรฐาน

ความเหมาะสมในการฉาบปูนหรือแต่งปูน ตามสูตรที่ 1, 2, 5, 6, 9, 13 มีค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

ความต้านทานแรงอัด แต่ละก้อนและเฉลี่ยจาก 5 ก้อน ตามสูตรที่ 1 – 16 มีค่าไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรที่ 1 – 16 แต่ละก้อนและเฉลี่ยจาก 5 ก้อน ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

ส่วนสูตรที่ 13 นำค่าความต้านทานแรงอัดไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของอังกฤษ BS 2028 โดยเปรียบเทียบค่าทั่วไปของกำลังอัดสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลรวมน้ำหนักเบาอัดแน่นบางส่วน เมื่ออายุ 28 วัน

พบว่าค่ากำลังอัดของสูตรที่ 13 มีค่าเฉลี่ย 1.60 เมกะพาสคัล หรือ 16.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรผ่านตามเกณฑ์ของมาตรฐานอังกฤษ BS 2028 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 14-56 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ความหนาแน่น ตามสูตรที่ 1 มีการหดตัวมาก เนื่องจากมีส่วนผสมของกากตะกอนในปริมาณมาก ทำให้มีความชื้นสูง แต่น้ำหนักเมื่ออบแห้งวันที่ 6-14 อยู่ในระดับคงที่ สูตรที่ 2 ยังมีการหดตัวมากกว่ามาตรฐาน แต่น้อยกว่าสูตรที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของกากตะกอนยังอยู่ในเกณฑ์ที่มาก ทำให้มีการหดตัวสูง แต่เมื่ออบแห้งวันที่ 6-14 น้ำหนักอยู่ในระดับคงที่ ส่วนสูตรที่ 6 มีการหดตัวน้อยกว่ามาตรฐาน การหดตัวน้อยเนื่องจากส่วนผสมระหว่างมวลรวมมีการเกาะยึดตัวกันดี สัดส่วนของช่องว่างน้อย

อภิปรายผล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หิน และเถ้าแกลบ โดยจะทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) แต่เนื่องจากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ไม่มีมาตรฐานสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ผู้วิจัยจึงใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533, มอก. 109-2517 และ มอก. 110-2517 เป็นเกณฑ์ในการทดสอบคุณสมบัติของก้อนคอนกรีตบล็อกมวลเบา ในส่วนของการขึ้นรูปก้อนคอนกรีตบล็อก ได้ใช้เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบไฮดรอลิคระบบสันสะเทือนของบริษัทเอกชนในการขึ้นรูป เนื่องจากเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกของกรมวิทยาศาสตร์บริการ และของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยซึ่งมีขนาดความกว้าง ยาว สูง ที่ได้มาตรฐานไม่สามารถใช้งานได้ ทั้งนี้เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกของเอกชนมีการปรับแต่งขนาดใหม่ ไม่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนดมีการส่งผลให้ลดขนาดของความกว้าง ความสูง และความยาวให้มีขนาดลดลง ทำให้การวิจัยครั้งนี้ก้อนคอนกรีตบล็อกที่ขึ้นรูปทุกก้อน ไม่ได้มาตรฐานในเรื่องของขนาดดังนี้

ความหนาของแกน ตามสูตรที่ 1, 2, 5, 6, 9, 13 ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน เพราะลักษณะของมวลรวมมีขนาดใกล้เคียงกัน ประกอบกับการแทรกตัวเข้าไปในระหว่างช่องว่างของทรายเป็นอัตราส่วนที่พอดี และปูนซีเมนต์มีปริมาณเพียงพอในการยึดประสานมวลรวม ส่วนสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่สามารถขึ้นรูปก้อนคอนกรีตบล็อกได้ เนื่องจากปริมาณของปูนซีเมนต์มีปริมาณไม่พอเหมาะแก่การยึดเกาะของวัสดุมวลรวม โดยมีปูนซีเมนต์อยู่ในช่วงร้อยละ 10-20 ทำให้การขึ้นรูปก้อนคอนกรีตบล็อกไม่สมบูรณ์แตกหัก เสียรูปทรง จึงทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ขนาดของคอนกรีตบล็อกด้านความหนา ความสูง และความยาว ตามสูตรที่ 1, 2, 5, 6, 9, 12 ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน

ความแข็งแรง ตามสูตรที่ 9, 13 ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานเพราะ มีปริมาณของปูนซีเมนต์เพียงพอในการยึดประสาน และมีปริมาณของทรายที่พอเหมาะช่วยเข้าไปอุดช่องว่างของมวลรวม ช่วยบรรเทาการยืดหดและรอยแตกร้าวในก้อนบล็อก ส่วนสูตรที่ 1, 2, 5, 6 ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน มีสัดส่วนของปูนซีเมนต์น้อยไม่เพียงพอในการยึดประสานมวลรวมและอุดช่องว่างทำให้มีรอยร้าวและรอยแตก ส่วนสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นก้อนได้ เพราะปริมาณปูนซีเมนต์น้อยไม่เพียงพอในการยึดประสานมวลรวมและอุดช่องว่าง

ความเหมาะสมในการฉาบปูนหรือแต่งปูน ตามสูตรที่ 9, 13 ได้ตามมาตรฐานเพราะมีลักษณะเป็นเหลี่ยม มุม แหลม หยิบ แข็งพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบได้ ส่วนสูตรที่ 1, 2, 5, 6 ไม่ผ่าน

เกณฑ์มาตรฐานกำหนด เพราะผิวหน้าของก้อนบล็อกไม่หยาบพอที่จะให้ปูนฉาบหรือปูนแต่งจับยึด ส่วนสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่ได้ตามมาตรฐานเพราะไม่สามารถอัดก้อนได้ จึงไม่สามารถวิเคราะห์ความเหมาะสมในการฉาบปูนหรือแต่งปูนได้

ความต้านทานแรงอัด 1, 2, 5, 6, 9, 13 ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานเพราะเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอัตราส่วนต่างดังกล่าว พบว่า ความต้านทานแรงอัดจะแตกต่างกันตามอัตราส่วนผสมของมวลรวม คือ เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และทรายมาก ขณะที่ ส่วนผสมของกากตะกอนและเถ้ากลบน้อย จะมีความต้านทานแรงอัดสูงขึ้น เช่นสูตรที่ 9 มีค่าความต้านทานแรงอัด 1.1 เมกะพาสคัล สูตรที่ 13 มีความต้านทานแรงอัด 1.6 เมกะพาสคัล แต่ทั้ง 2 สูตรไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ในขณะที่ปริมาณปูนซีเมนต์และทรายน้อยลง กากตะกอนและเถ้ากลบมีปริมาณเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงอัดจะลดลงมากเช่นกัน ดังสูตรที่ 2, 3 ส่วนสูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 มีปริมาณปูนซีเมนต์มาก แต่มีปริมาณของกากตะกอนและทรายเท่ากัน ความต้านทานแรงอัดน้อย เนื่องจากกากตะกอนมีความพรุนสูงถึง 67 เปอร์เซ็นต์ ทำให้การเกาะยึดของปูนซีเมนต์และมวลรวมไม่ดีพอและมีปริมาณช่องว่างมากทำให้การรับแรงได้ไม่ดีพอ ส่วนสูตรที่ 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 ไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน เพราะไม่สามารถอัดก้อนคอนกรีตบล็อกได้

การหดแห้ง กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ มีความชื้นสูง และมีความพรุนมาก จากค่าการหดแห้งของสูตรที่ 1 และ 2 มีการหดตัวมาก เนื่องจากมีส่วนผสมของกากตะกอนมากกว่าส่วนผสมอื่น ส่วนสูตรที่ 6 มีการหดตัวน้อยเนื่องจากสัดส่วนผสมของมวลรวมมีการเกาะยึดตัวกันดี ส่วนน้ำหนักคงที่ ข้อเสียของมวลรวมชนิดนี้คือ เมื่อหดแห้งจะมีการหดตัวมากขอบเขตการใช้งานจึงมีข้อจำกัด ทั้งนี้การหดตัวมากเมื่อแห้ง แก้ไขโดยเติมทรายเข้าไปในส่วนผสม ควรพิจารณาการนำกากตะกอนไปเป็นส่วนผสมให้อยู่ในอัตราส่วนที่พอเหมาะ

ในสูตรที่ 13 ได้นำค่าความต้านทานแรงอัดไปเปรียบเทียบกับค่าทั่วไปของกำลังอัดสำหรับคอนกรีตบล็อกมวลรวมน้ำหนักเบาอัดแน่นบางส่วน เมื่ออายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัด ของสูตรที่ 13 ค่าเฉลี่ย 1.60 เมกะพาสคัล หรือ 16.0 กิโลกรัมต่อกิโลกรัมต่อตารางเมตร ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอังกฤษ BS 2028 โดยมีค่าอยู่ในช่วง 14-56 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังตาราง 2 หน้า 19

ข้อเสนอแนะ

1. การออกแบบอัตราส่วนผสมควรออกแบบที่กำลังอัดเป็นเกณฑ์ เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมและรับกำลังอัดได้ดี
2. ควรศึกษาการนำสารเคมีมาผสมเพิ่มเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราบนก้อนคอนกรีตบล็อก
3. การนำวัตถุดิบมาขึ้นรูปเป็นก้อนคอนกรีตบล็อก ควรทำการอัดก้อนด้วยเครื่องอัดที่ได้ขนาดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด
4. การขึ้นรูปเป็นก้อนคอนกรีตบล็อกจากวัตถุดิบที่มีความร่วนซุย และมีความพรุนมาก ควรใช้เครื่องอัดก้อนคอนกรีตบล็อกแบบใช้แรงคนหรือแบบไฮดรอลิกที่มีกำลังอัดสูง ไม่ควรใช้แบบเขย่าหรือสั่น จะทำให้ก้อนคอนกรีตบล็อกไม่แน่นพอทำให้รับกำลังอัดได้ไม่ดีพอ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

1. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยทั้งใยธรรมชาติ และใยสังเคราะห์มาเสริมแรง ให้รับกำลังได้มากขึ้น หรือเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด
2. ควรศึกษาการนำกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษผสมกับสารเคมีเพื่อนำไปทำวัสดุกันความร้อน กันเสียง ชนิดฟองได้หลังคา หรือผนัง
3. ควรศึกษาการนำกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษไปใช้เป็นวัตถุดิบ หรือส่วนผสม ต้องพิจารณาถึงการหดตัวเมื่อแห้ง ปริมาณความชื้น และความเหมาะสมของปริมาณน้ำด้วย
4. ควรศึกษาข้อจำกัดในการใช้งานของก้อนคอนกรีตบล็อกมวลเบา

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม และ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2542). **การนำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรมาทำให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจ**. กรุงเทพฯ : กรมฯ และสถาบัน.
- กรองทอง เลิศพงษ์อารยะ. (2541). **การศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์บล็อกแบบตัดกระจายฟองอากาศอบไอน้ำ**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- กิตติชัย บัลลังก์ทรัพย์, วีรพงษ์ ทองพูล และ สุทธิ สร้อยคำ. (2541). **คอนกรีตผสมกาบมะพร้าว**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- กิตติภูมิ มีประดิษฐ์. (2544, มกราคม – มิถุนายน). "การใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดการสูญเสียจากอุตสาหกรรม," **ศรีปทุมปริทัศน์**. 1(1) : 12 – 23.
- ไกรวุฒิ แก้วมา, บัญชา คำวอน และ ประชุม คำพุ่ม. (2539). **คอนกรีตพูนด้วยวิธีผสมผงอลูมิเนียม**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ณิน เอกลักษณ์รัตน์, ปกรณ์ ชิตตระกูล และ ณรงค์ เยาวรัตน์. (2541 เมษายน – มิถุนายน). "อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษและกระดาษกับการใช้พลังงาน," **วารสารพลังงาน**. 8(41) : 51.
- คมกฤษณ์ จิระสวัสดิ์, จิรพงษ์ คู่ศรีสมทรัพย์ และ นิพนธ์ ลักษณะอดิสร. (2542). **คอนกรีตเผา**. วิทยานิพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ฉลองวุฒิ สุทธิปัญญา, ประทวน มั่นคง และ กิตติพงษ์ เคนหล้า. (2544). **การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตพูน**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ฉัตรชาย จิตรสายธาร, วลาวัต บินอุมาร์ และ สุรชน ลุนพุ่ม. (2539). **คอนกรีตน้ำหนักเบาโดยวิธีลดสัดส่วนมวลรวมละเอียด**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ชวลิต นิตยะ. (2524). **การออกแบบสถาปัตยกรรมตามสภาพแวดล้อมในประเทศ**. กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัชวาล เศรษฐบุตร. (2539). **คอนกรีตเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ : ซีแพค.
- ฐิติพงศ์ วิโรจน์แสงทอง และ ชีรพงศ์ วัชรนิธิธรรม. (2541). **คอนกรีตเบาผสมผักตบชวา**. โครงการวิศวกรรมชลประทาน วศ.ม. (วิศวกรรมชลประทาน) กำแพงแสน นครปฐม : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิमितยงสกุล. (2537, พฤศจิกายน – เมษายน). "การผลิตซีเมนต์ที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาและการประยุกต์ใช้ในบล็อกซีเมนต์ผสมดินแบบอัดแน่น," **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 3(2) : 6 – 14.

- (2538, พฤษภาคม – สิงหาคม). "เครื่องบดซีเมนต์แบบ," วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 10(2) : 71 –85.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ, พิชัย นิมิตยสกุล และ พนม สีหาบุตร. (2538, เมษายน). "คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของมอร์ต้าผสมซีเมนต์แบบเสริมเส้นใยปานครนารายณ์," วารสารวิศวกรรมสาร. 48(4) : 35 – 42.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ วัชรกร วงศ์คำจันทร์. (2544, กันยายน – ธันวาคม). "พฤติกรรมทางกลของคอนกรีตผสมเส้นใยแบบละเอียด," วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 24(3) : 327 – 341.
- บุรินทร์ โมลิวงษ์, พงศ์ศักดิ์ บุญแสงชัย และ อนุชา สุเพ็ญพร. (2541). **คอนกรีตผสมใยแก้ว**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- เบญจมาศ บุญดำ. (2542). **การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์โดยใช้ดินลูกรังเก่าและปูนซีเมนต์**. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ประณต กุลประสูตร. (2536). **เทคนิคงานปูน – คอนกรีต**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : บริษัทอัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).
- ประวิติ ตั้งศิริวัฒนากุล. (2526). **ระบบกำแพงคอนกรีตบล็อกจากแรงในแนวแกน**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- ปรีชา มุททาหัตถการ และ ปริญเนตร สุวรรณศรี. (2542). **การศึกษาการทำคอนกรีตเบาโดยใช้ฟางข้าวเป็นส่วนผสม**. โครงการวิศวกรรมชลประทาน. วศ.ม. (วิศวกรรมชลประทาน) กำแพงแสน. นครปฐม : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์ และ อนันต์ แสงสุริยาโชติ. (2538). **การหาคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์**. โครงการวิศวกรรมเกษตร. กำแพงแสน : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.
- ปารเมศ กำแพงฤทธิ์รงค์. (2536). **คุณสมบัติของคอนกรีตน้ำหนักเบา**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- ปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน และ สิทธิโชค หอมกระจ่าย. (2539). **คอนกรีตเบา**. ภาคนิพนธ์ คศ.ม. (ครุศาสตร์โยธา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- พงศ์พันธ์ จรสุนทรธรรก. (2535). **วัสดุก่อสร้าง**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- พิทยา แจ่มสว่าง, ศุภกร เมลิ่งกุล และ พิเชษฐ์ สว่างเต็ม. (2542). **คอนกรีตผสมซีเมนต์**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- พิภพ สุนทรสมัย. (2530). **วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง**. กรุงเทพฯ : การพิมพ์. 100 – 108.
- (2539). **ช่างปูนก่อสร้าง**. กรุงเทพฯ : ส.ชัยเพรส.

- ยุคธร พันธ์จบบสิงห์. (2539). การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบา ชนิดไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจากวัตถุดิบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทราย และหินไม่ยู่คาลิปตัส. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา).
- กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- รุท กล่อมชุม. (2530). การทำอิฐลูกรังจากการใช้วัสดุภายในจังหวัดหนองคาย. หนองคาย : วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย.
- ศุภกิจ นนทนานันท์. (2538, เมษายน). "กรณีวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมสำหรับการใช้ประโยชน์ใหม่ของกากก้างจากโรงงานอุตสาหกรรม," วิศวกรรมสาร. 48(4) : 59 – 62.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2543). การปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุคอมโพสิตซีเมนต์โดยใช้เส้นใยในการเสริมแรง. กรุงเทพฯ : สถาบันฯ.
- สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร. (2530). คอนกรีตเสริมเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : (ม.ป.พ.).
- สมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษแห่งประเทศไทย. (2540). อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : (ม.ป.พ.).
- สรเสรี วิราพร. (2539, พฤษภาคม). "การใช้ประโยชน์การหมักพิมพ์เส้นนูนทำเป็นวัสดุก่อสร้าง," วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 44(141) : 3 – 5.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2517). มอก. 109. วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อสร้างซึ่งทำด้วยคอนกรีต. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- .(2533). มอก. 58. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- สุนทร ดุริยะประพันธ์, ทักษิณ อาชวาคม และ สายันต์ ดันพานิช. (2542, กันยายน – ธันวาคม). "การผลิตแท่งเพาะชำ วท.,” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 14(3) : 17 – 20.
- สุพรรณ มีกุล. (2540). การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตกำลังสูงที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์แกลบ (เถ้าลอยลิกไนต์ และ สารลดน้ำพิเศษ. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ .
- ถ่ายเอกสาร.
- เสกสรร สี่หวงษ์ และ บัณฑิต จริโมภาส. (2535, มกราคม). "การผลิตคอนกรีตบล็อก,” ข่าวสารศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ. 5(4) : 4 – 6.
- เสถียร ทวีชีพ และ วิเชียร นิยมศรี. (2541). คอนกรีตเบาสมทรายหยาบ. ภาคนิพนธ์ คอ.ม. (ครุศาสตร์โยธา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ถ่ายเอกสาร.
- เสริมศักดิ์ นาคบัว. (2536). เคลือบซีเมนต์ฟิช. กรุงเทพฯ : เจฟิล์มโปรเซส.
- อนนท์ ป้อมประสิทธิ์. (2541, พฤษภาคม). "วัสดุผสมคอนกรีต,” วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 46(147) : 29 – 31.
- อนุชิต กิจสวัสดิ์. (2539). การทำซีเมนต์จากเถ้าแกลบ. กรุงเทพฯ : กองการวิจัยกรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- อรุณ ชัยเสรี. (2535). คู่มือการตรวจสอบคอนกรีตของสมาคมคอนกรีตอเมริกัน. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

- Fujimatsu, J. (1996). "Manufacture of flame – retardant cellular polyurethane using paper sludge ashes". **Chemical Abstract Vol.124, no 262841Z**. abstract only.
- Lowe, H.E., Yoder, R.L. & Clayton, C. (1988). "Non – clay oil and grease absorbent" **Chemical Abstract Vol. 108, no 223837C**. abstract only.
- Ozturk, I., Eroglu, V. & Basturk, A. (1993 – 1994). "utilization and reduction experiences in the Sludge pulp and paper industry". **CAB Abstract, acc. No 941301773**. abstract only.
- Sato, T. & Tamanoi, H. (1994). "Manufacturing of high strength gypsum boards from pulp sludge". **Chemical Abstract Vol. 120, no. 142398f**. abstract only.

ภาคผนวก



วท.

คำขอบริการที่ ท 148 / 46

ที่ ผทท. 6 / 46

รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์

ให้แก่

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การทดสอบ / วิเคราะห์

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

วิธีทดสอบ / วิเคราะห์

มอก. 109-2517, มอก.110-2517

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์

ตารางที่ 1 ขนาดก้อนทดสอบคอนกรีตบล็อกสูตรที่ 1

รายการตรวจสอบ	หน่วย	ผลการตรวจสอบ					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย 5 ก้อน
1. ความยาวเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	380	394	394	394	394	391
2. ความกว้างเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	63	64	64	65	63	64
3. ความสูงเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	194	194	196	194	193	194
4. ความหนาเปลือกที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	14	14	14	15	14	14
5. ความหนาของผนังกันโพรงที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	25	25	26	26	24	25
6. ความต้านแรงอัด	เมกะพาสคัล	0.65	0.76	0.63	0.75	0.72	0.70

ตารางที่ 2 ขนาดก้อนทดสอบคอนกรีตบล็อกสูตรที่ 2

รายการตรวจสอบ	หน่วย	ผลการตรวจสอบ					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย 5 ก้อน
1. ความยาวเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	395	395	395	396	395	395
2. ความกว้างเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	64	64	65	66	66	65
3. ความสูงเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	192	193	194	194	193	193
4. ความหนาเปลือกที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	13	13	14	14	14	14
5. ความหนาของผนังกันโพรงที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	24	25	25	26	26	25
6. ความต้านแรงอัด	เมกะพาสคัล	0.56	0.40	0.47	0.44	0.52	0.48

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
 ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วท.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๑๗๖ พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐ โทร. (๐๒๒) ๕๗๙๑๑๒๑-๓๐, ๕๗๙๑๕๑๕, ๕๗๙๑๕๑๓
 โทรสาร (๐๒๒) ๕๖๑๔๗๗๑, ๕๗๙๑๕๑๓ แฟกซ์ ๒๐๑๗๒ TISTR TH



หน้า 2

คำขอบริการที่ ท 148 / 46

ที่ ผกท. 6 / 46

ตารางที่ 3 ขนาดก่อนทดสอบคอนกรีตบล็อกสูตรที่ 5

รายการตรวจสอบ	หน่วย	ผลการตรวจสอบ					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย 5 ก้อน
1. ความยาวเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	396	394	396	395	392	394
2. ความกว้างเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	64	64	66	65	65	65
3. ความสูงเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	192	192	190	191	194	191
4. ความหนาเปลือกที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	14	13	14	14	13	14
5. ความหนาของผนังกันโพรงที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	25	24	26	25	24	25
6. ความต้านแรงอัด	เมกะพาสคัล	0.89	0.90	0.86	0.85	0.81	0.86

ตารางที่ 4 ขนาดก่อนทดสอบคอนกรีตบล็อกสูตรที่ 6

รายการตรวจสอบ	หน่วย	ผลการตรวจสอบ					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย 5 ก้อน
1. ความยาวเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	395	397	396	396	397	396
2. ความกว้างเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	65	65	64	64	63	64
3. ความสูงเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	195	195	195	194	194	194
4. ความหนาเปลือกที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	14	14	13	14	13	14
5. ความหนาของผนังกันโพรงที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	26	26	24	26	24	25
6. ความต้านแรงอัด	เมกะพาสคัล	0.48	0.51	0.61	0.31	0.50	0.48

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
 ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วท.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๑๑๖ พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๑๖๐ โทร. (๐๒๒) ๕๗๙๑๑๒๑-๓๐, ๕๗๙๕๕๑๕, ๕๗๙๔๕๓๓
 โทรสาร (๐๒๒) ๕๖๑๙๙๙๑, ๕๗๙๔๕๓๓ เทลิกซ์ ๒๑๑๙๒ TISTR TH



หน้า 3

คำขอบริการที่ ท 148 / 46

ที่ ผกท. 6 / 46

ตารางที่ 5 ขนาดก่อนทดสอบคอนกรีตบล็อกสูตรที่ 9

รายการตรวจสอบ	หน่วย	ผลการตรวจสอบ					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย 5 ก้อน
1. ความยาวเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	396	397	398	396	397	396
2. ความกว้างเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	65	64	66	67	66	65
3. ความสูงเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	195	193	196	193	195	194
4. ความหนาเปลือกที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	14	14	15	14	15	14
5. ความหนาของผนังกันโพรงที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	25	25	26	26	27	26
6. ความต้านแรงอัด	เมกะพาสคัล	1.35	1.21	0.80	1.34	0.95	1.13

ตารางที่ 6 ขนาดก่อนทดสอบคอนกรีตบล็อกสูตรที่ 13

รายการตรวจสอบ	หน่วย	ผลการตรวจสอบ					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย 5 ก้อน
1. ความยาวเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	394	395	395	394	394	394
2. ความกว้างเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	65	66	66	65	65	65
3. ความสูงเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	194	195	195	195	195	195
4. ความหนาเปลือกที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	13	14	15	15	13	14
5. ความหนาของผนังกันโพรงที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	24	26	26	26	25	25
6. ความต้านแรงอัด	เมกะพาสคัล	1.66	1.83	1.44	1.39	1.82	1.63

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
 ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วท

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
 ๑๐๖ พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๐๖๐ โทร. (๐๒)๒๕๖๑๑๑๑-๑๐, ๕๖๑๕๕๑๕, ๕๖๑๕๕๑๓
 โทรสาร (๐๒) ๕๖๑๕๖๑๑, ๕๖๑๕๕๑๓ เทลิกซ์ ๒๑๓๓๑๒ TISTR TH



วท.

หน้า 4

คำขอบริการที่ ท 148 / 46

ที่ ผกท. 6 / 46

ตารางที่ 7 ขนาดก้อนทดสอบคอนกรีตบล็อกสูตร A

รายการตรวจสอบ	หน่วย	ผลการตรวจสอบ					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย 5 ก้อน
1. ความยาวเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	393	395	394	393	393	393
2. ความกว้างเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	63	65	64	64	63	64
3. ความสูงเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	195	195	194	194	193	194
4. ความหนาเปลือกที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	13	14	14	12	13	13
5. ความหนาของผนังกันโพรงที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	24	26	27	25	26	26
6. ความต้านแรงอัด	เมกะพาสคัล	1.23	1.19	1.05	0.98	0.85	1.06

ตารางที่ 8 ขนาดก้อนทดสอบคอนกรีตบล็อกสูตร B

รายการตรวจสอบ	หน่วย	ผลการตรวจสอบ					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย 5 ก้อน
1. ความยาวเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	393	394	394	394	394	394
2. ความกว้างเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	67	65	65	64	65	65
3. ความสูงเฉลี่ยแต่ละก้อน	มิลลิเมตร	193	193	194	194	194	193
4. ความหนาเปลือกที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	14	13	13	13	14	13
5. ความหนาของผนังกันโพรงที่บางที่สุด	มิลลิเมตร	25	24	25	24	26	25
6. ความต้านแรงอัด	เมกะพาสคัล	1.58	1.80	1.70	1.19	1.57	1.57

ผลการทดสอบ / วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
 ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วท

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

๑๙๖ พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๓๐๐ โทร. (๐๒๒) ๕๗๙๑๑๒๑-๓๐, ๕๗๙๕๕๑๕, ๕๗๙๔๕๓๓
 โทรสาร (๐๒๒) ๕๖๑๔๗๑๑, ๕๗๙๔๕๓๓ เทลิกซ์ ๒๑๓๓๒ TISTR TH



หน้า 5

คำขอบริการที่ ท 148 / 46

ที่ ผกท. 6 / 46

ตารางที่ 9 น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง และการหดแห้งทางความยาว

สูตรที่	รายการตรวจสอบ	หน่วย	ผลการตรวจสอบเฉลี่ย 5 ก้อน ณ วันที่								
			อิมน้ำ	2	4	6	8	10	12	14	สมดุล
1	1. น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง	กิโลกรัม	0.84	0.56	0.56	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.56
	2. การหดแห้งทางความยาว	ร้อยละ	0.00	0.29	0.29	0.50	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52
2	1. น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง	กิโลกรัม	0.76	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.46
	2. การหดแห้งทางความยาว	ร้อยละ	0.00	0.27	0.27	0.40	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42
6	1. น้ำหนักของก้อนตัวอย่าง	กิโลกรัม	0.76	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.48
	2. การหดแห้งทางความยาว	ร้อยละ	0.00	0.19	0.19	0.27	0.29	0.29	0.30	0.30	0.29

ผู้ทดสอบ / วิเคราะห์

1.

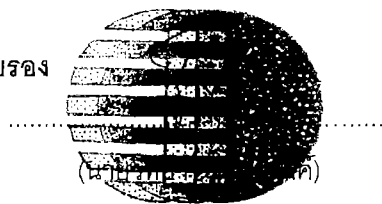
2.

ผู้ตรวจสอบ

(นายพิชิต เจนบรรจง)

นักวิชาการ 5

ผู้รับรอง



รองผู้อำนวยการ

ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท

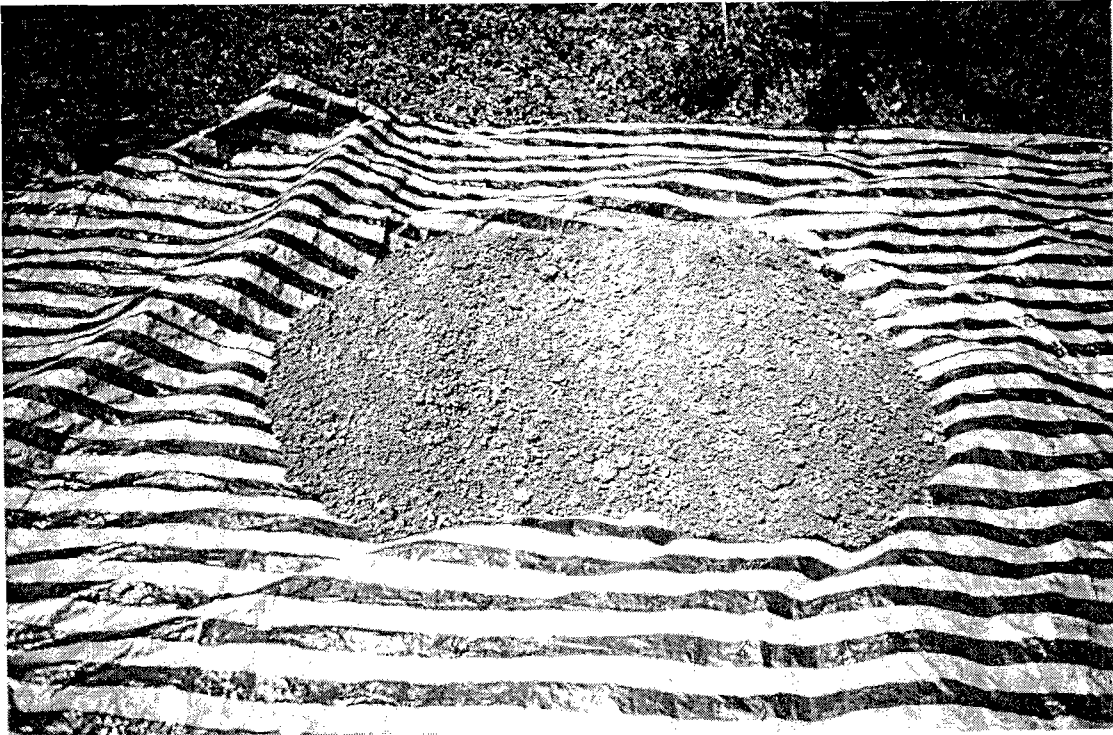
วันที่

3 เมษายน 2546

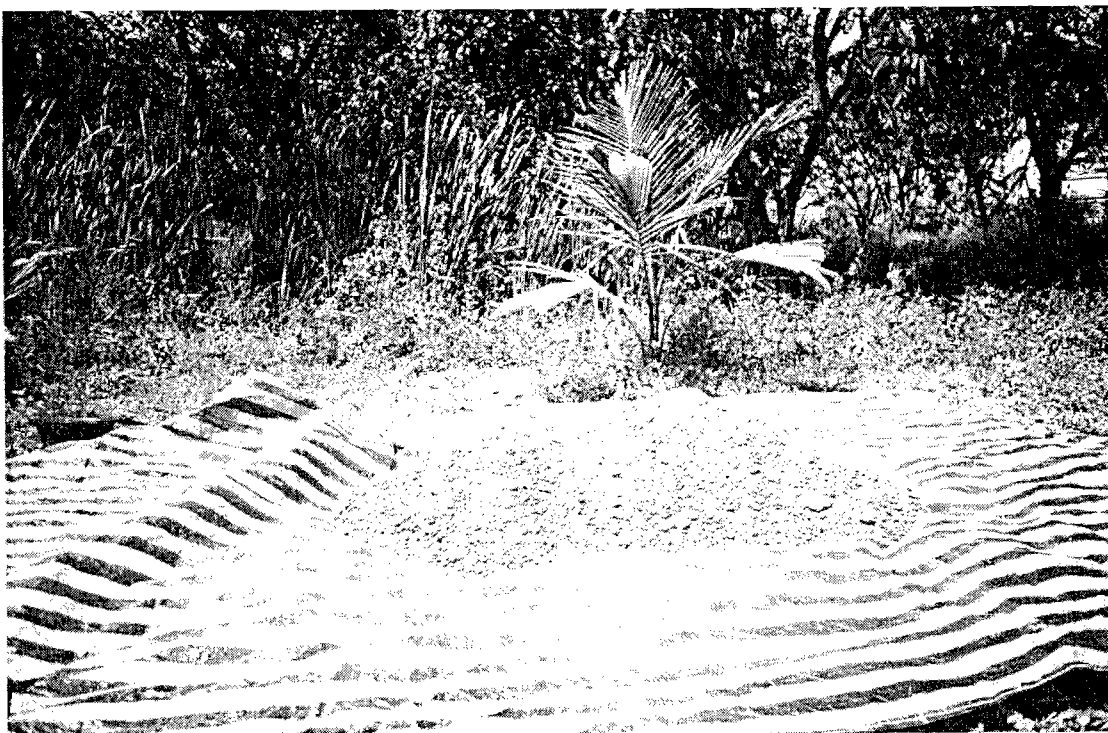
ผลการทดสอบ / วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ / วิเคราะห์เท่านั้น
 ห้ามนำผลการทดสอบ / วิเคราะห์ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วท.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

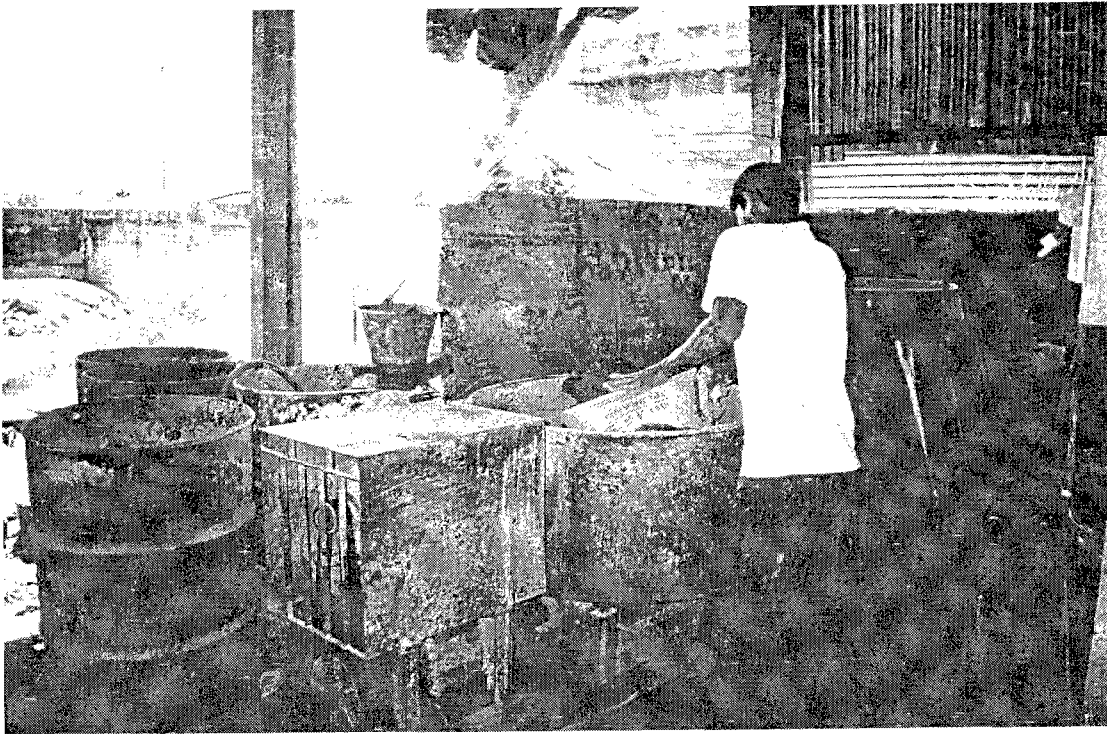
๑๙๖ ถนนอิน จตุจักร กรุงเทพฯ ๑๐๓๑๐ โทร. (๐๒๒) ๕๗๙๑๑๒๑-๓๐, ๕๗๙๕๕๑๕, ๕๗๙๕๕๓๓
 โทรสาร (๐๒๒) ๕๖๑๔๗๗๑, ๕๗๙๕๕๓๓ เทลิกซ์ ๒๑๓๙๒ TISTR TH



กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ



ตากกากตะกอนให้แห้งประมาณ 7 วัน



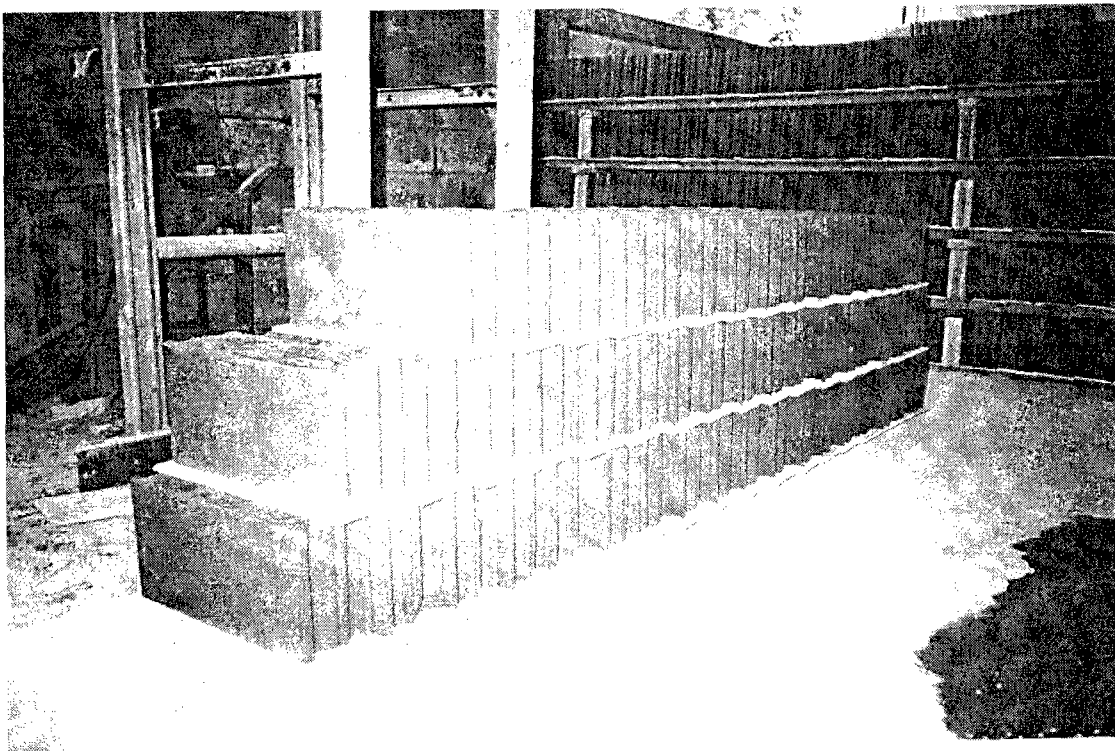
นำส่วนผสมจากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และถ่านกลบใส่ในเครื่องผสม



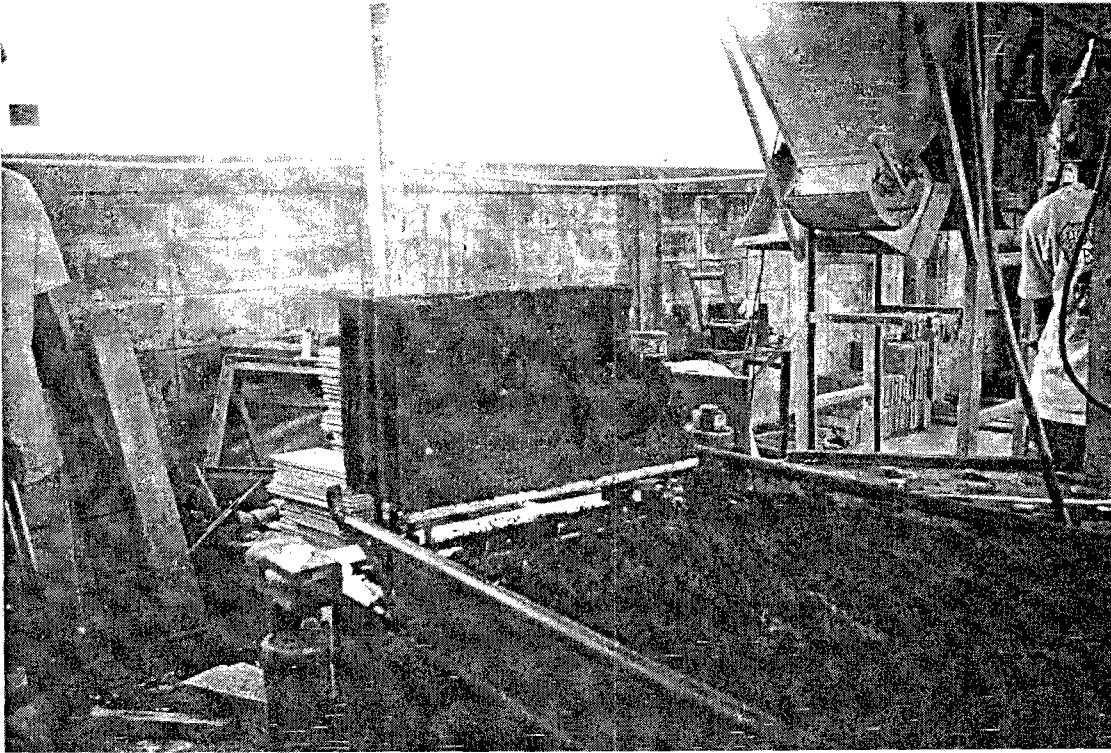
ส่วนผสมทั้งหมด คลุกเคล้า ในถังผสม



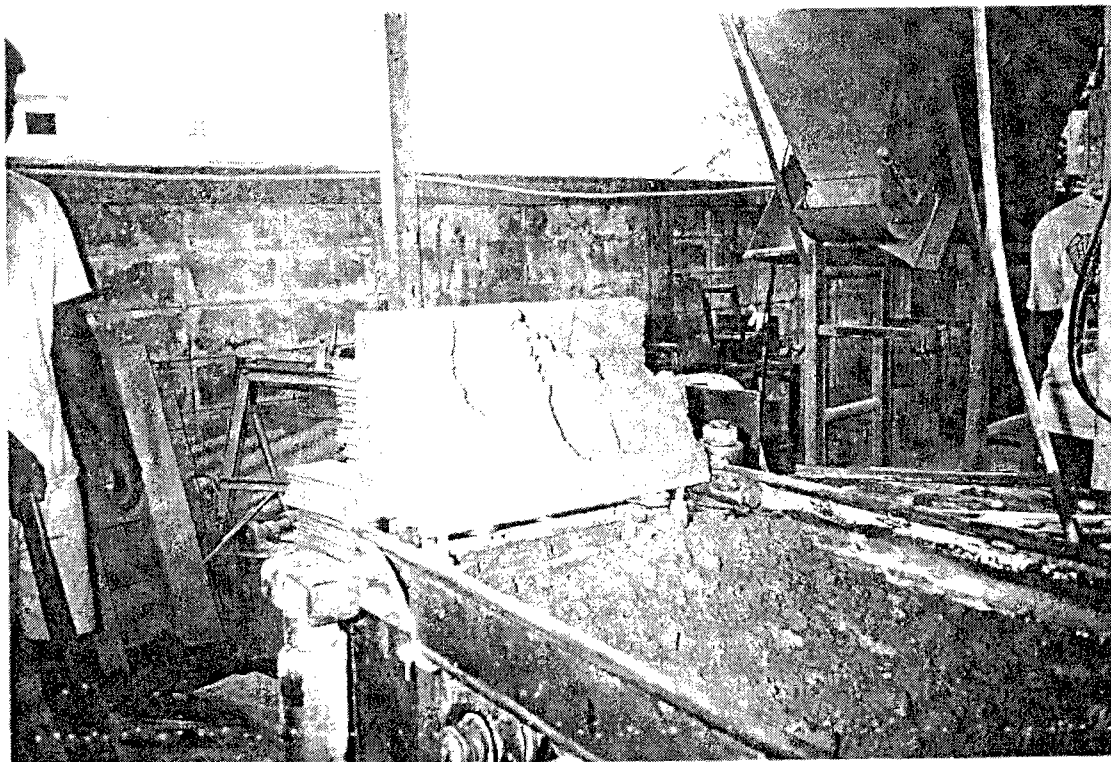
การขึ้นรูปก้อนคอนกรีตบล็อก โดยใช้เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกแบบไฮดรอลิค ระบบสั่น



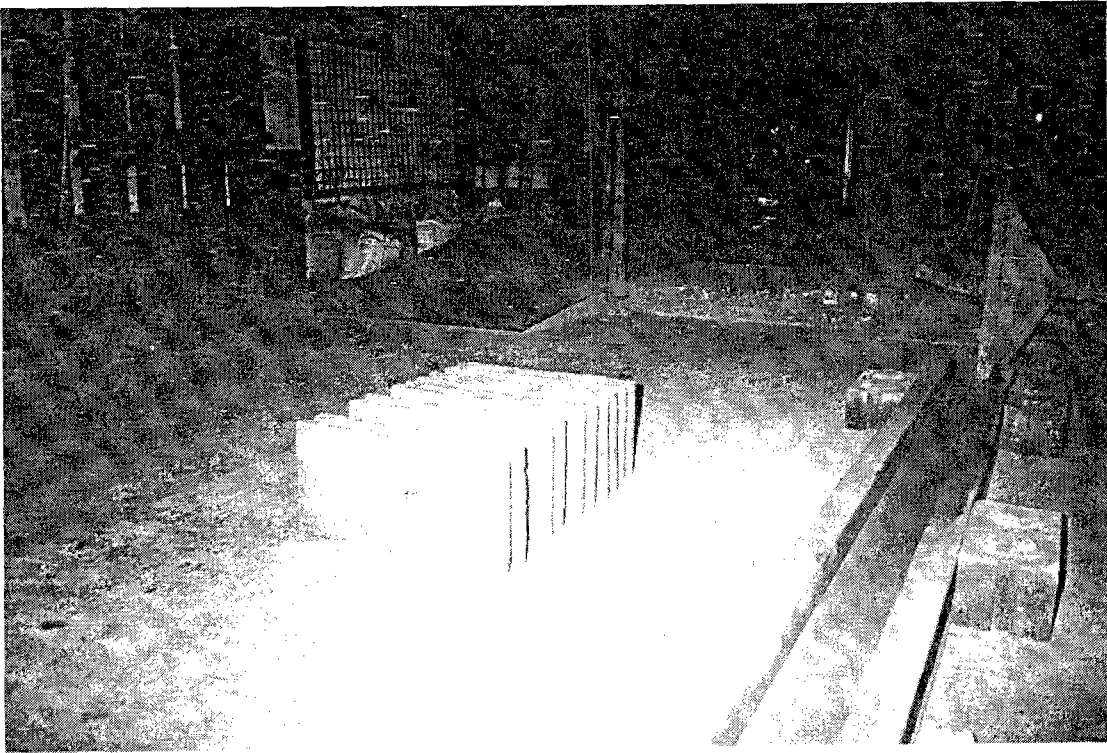
ก้อนคอนกรีตบล็อกที่ขึ้นรูปแล้ว



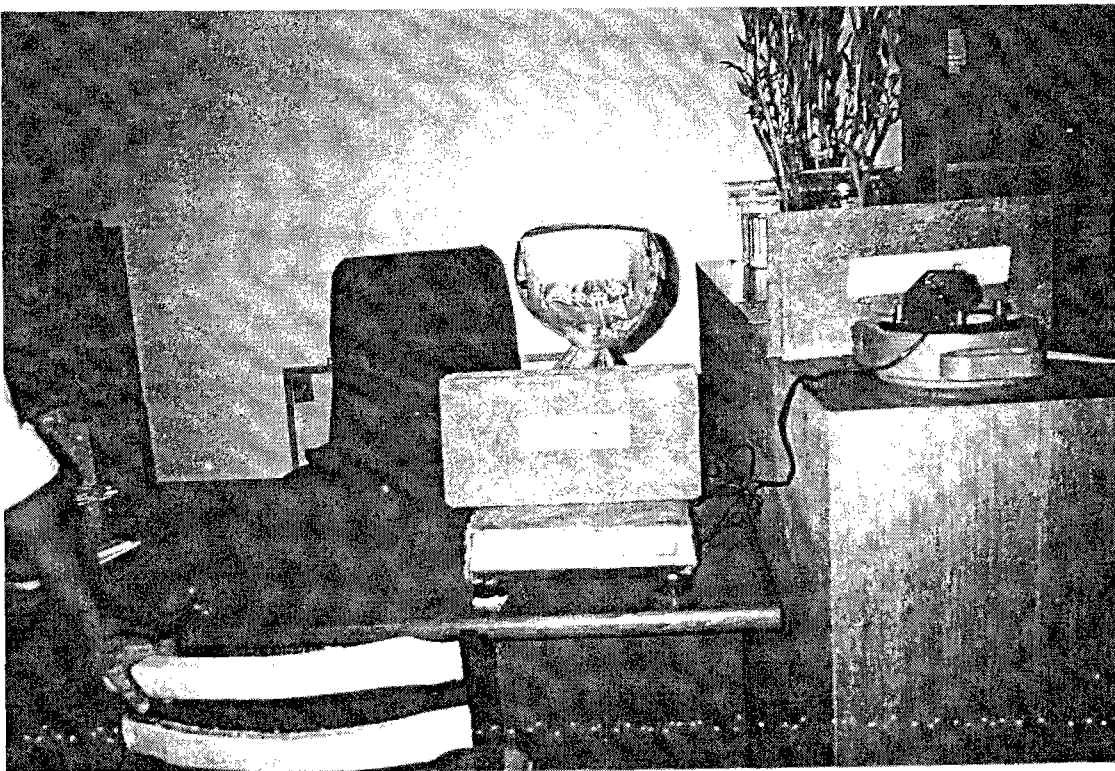
ลักษณะของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้



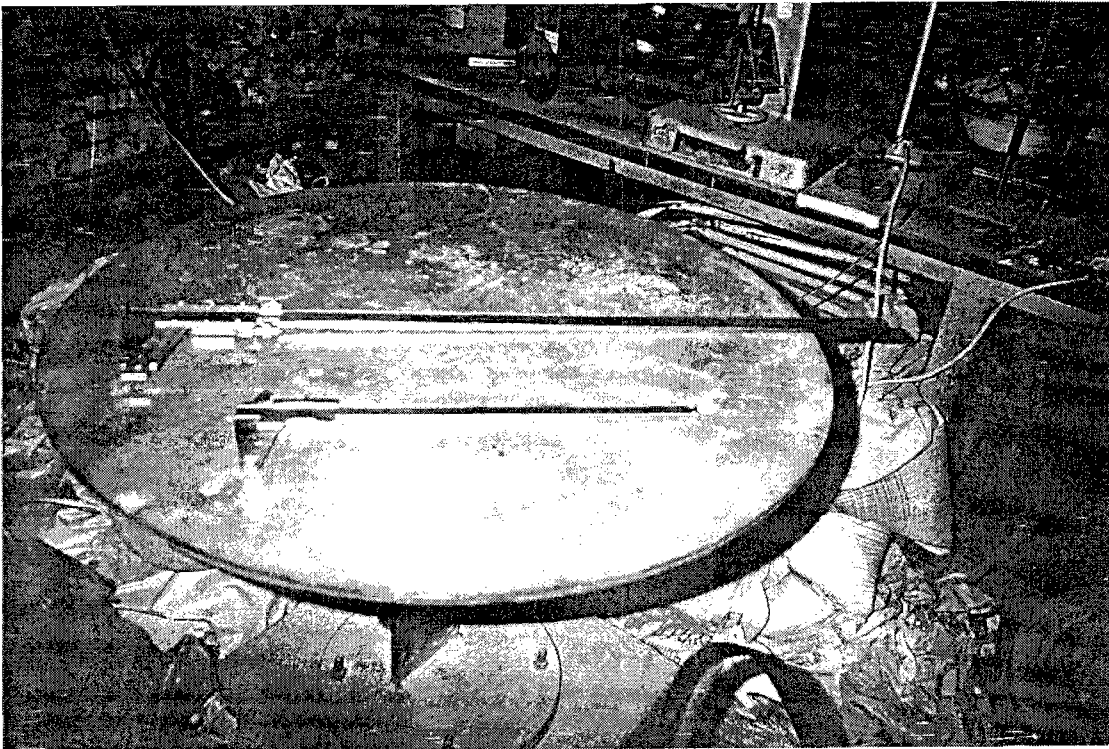
ลักษณะของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้



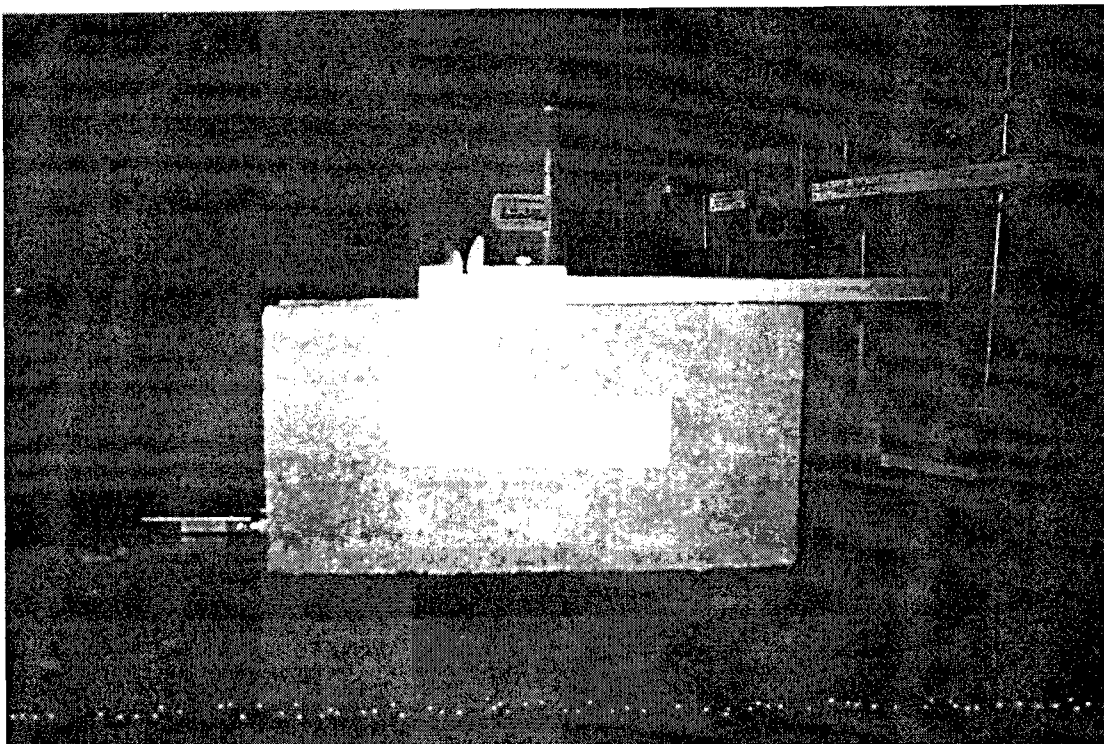
ก้อนคอนกรีตบล็อกที่จะนำมาทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม



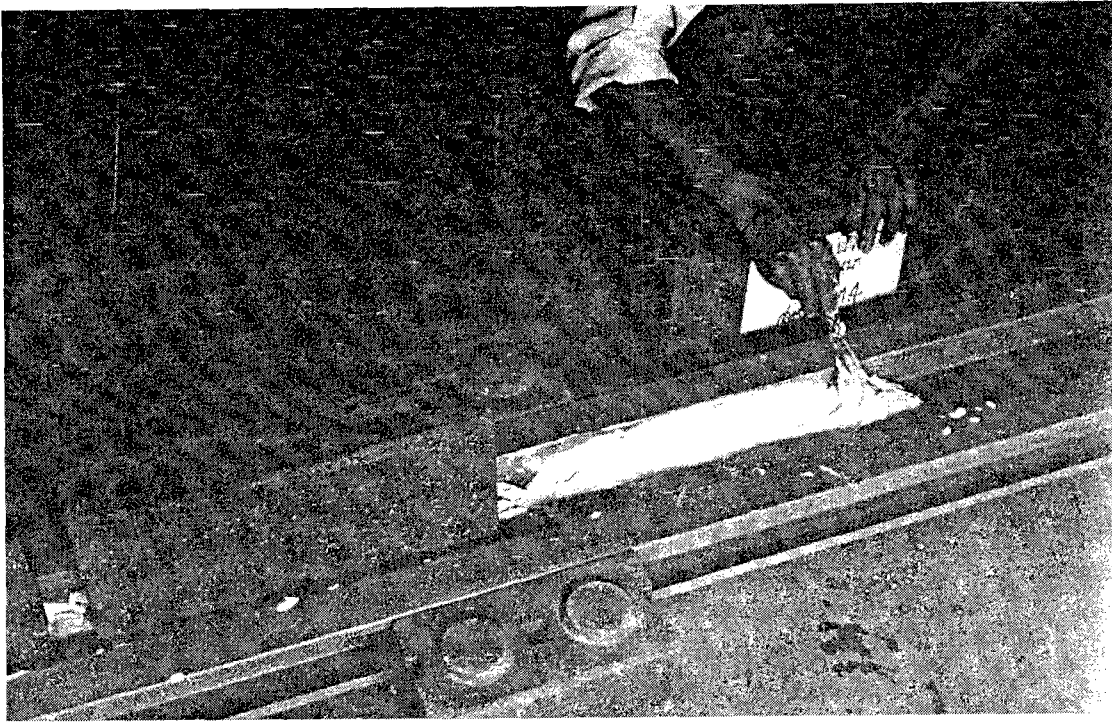
การชั่งก้อนคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.01 กรัม



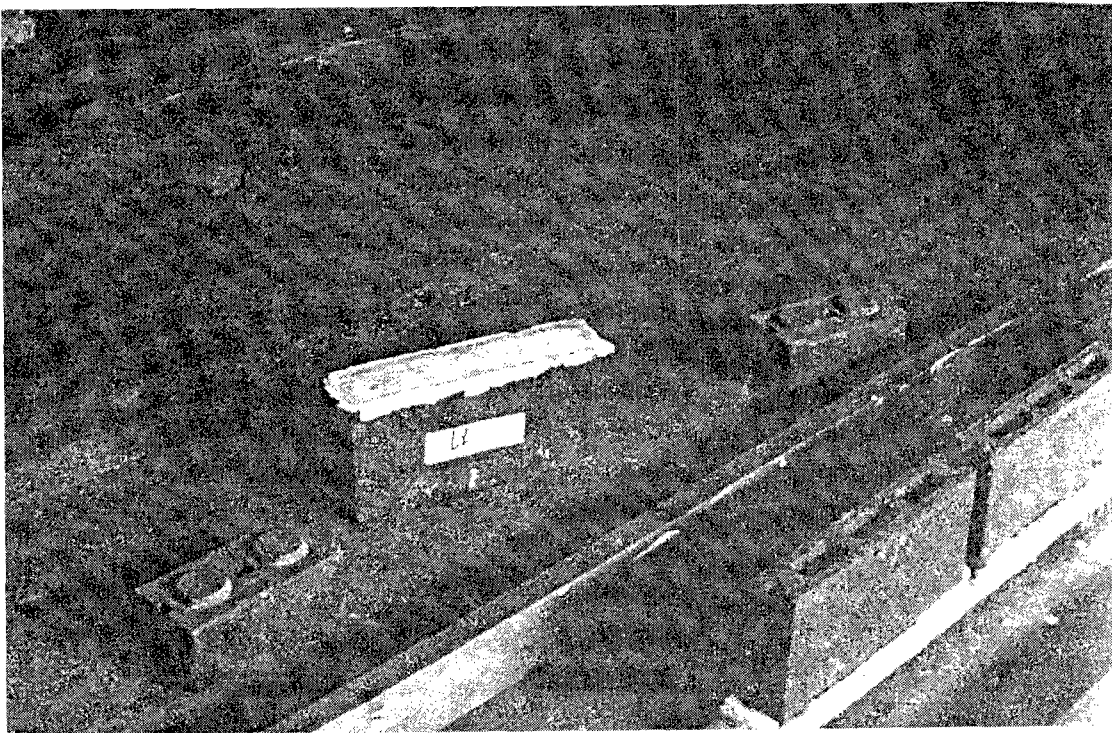
เครื่องมือวัด (แคลิเปอร์)



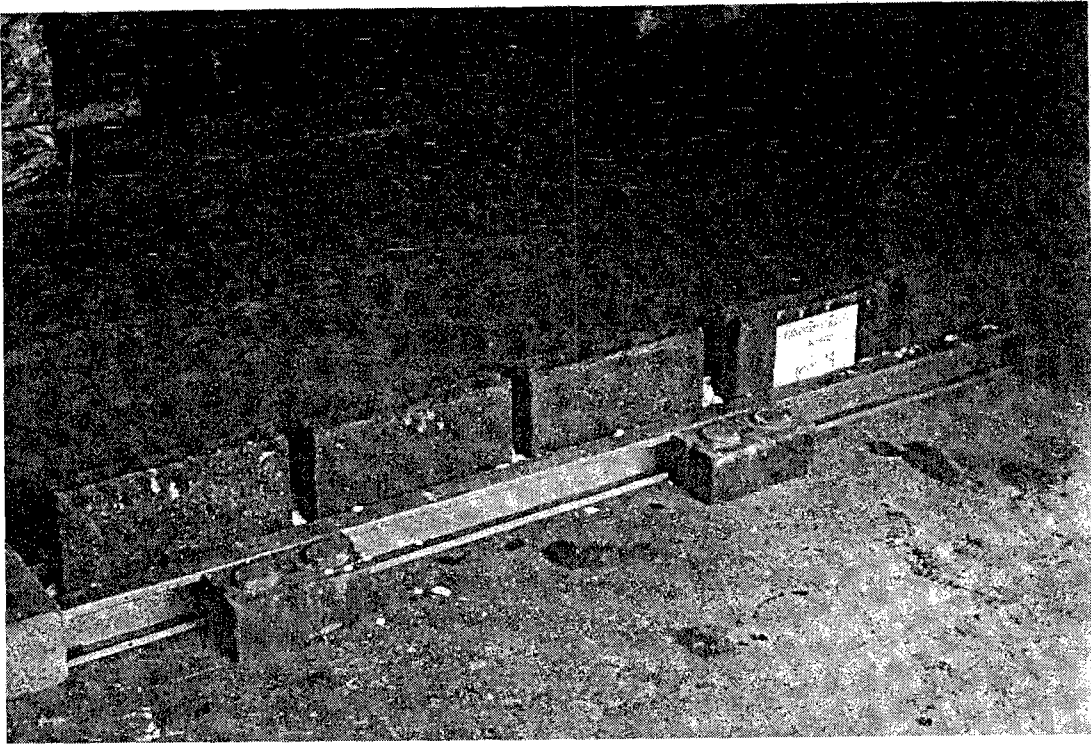
การวัดขนาดของก้อนคอนกรีตบล็อกด้วยแคลิเปอร์



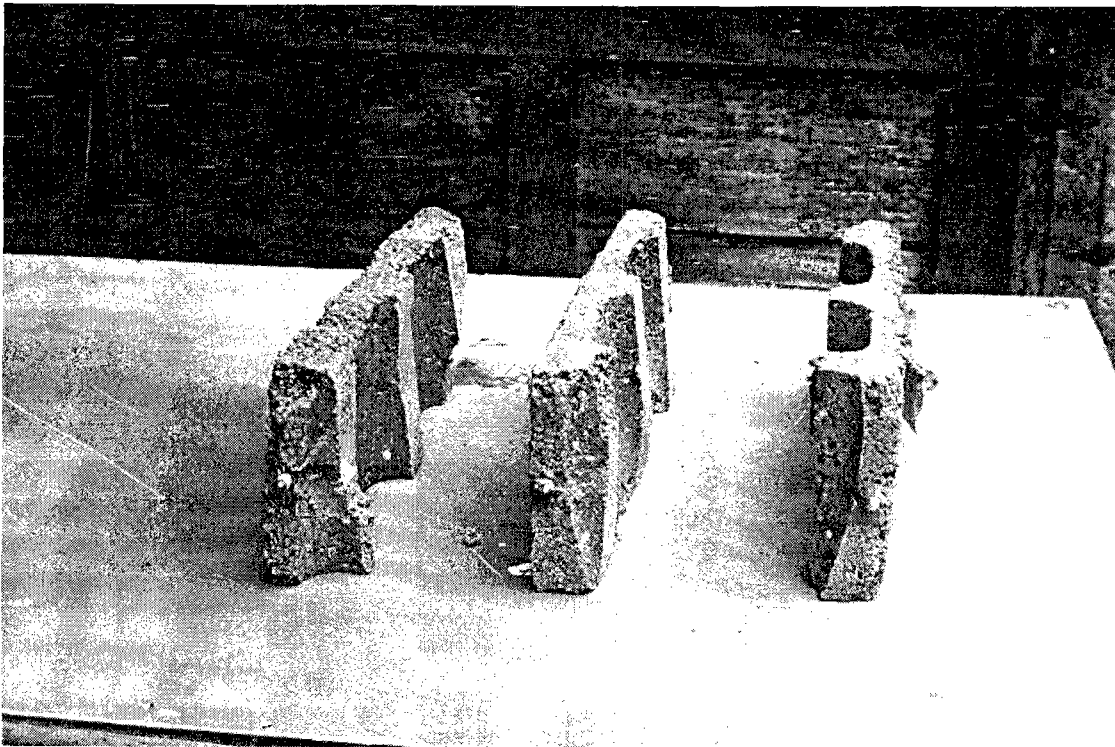
การเคลือบผิวของก้อนคอนกรีตทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยเคลือบด้วยยิปซัมผสมน้ำ



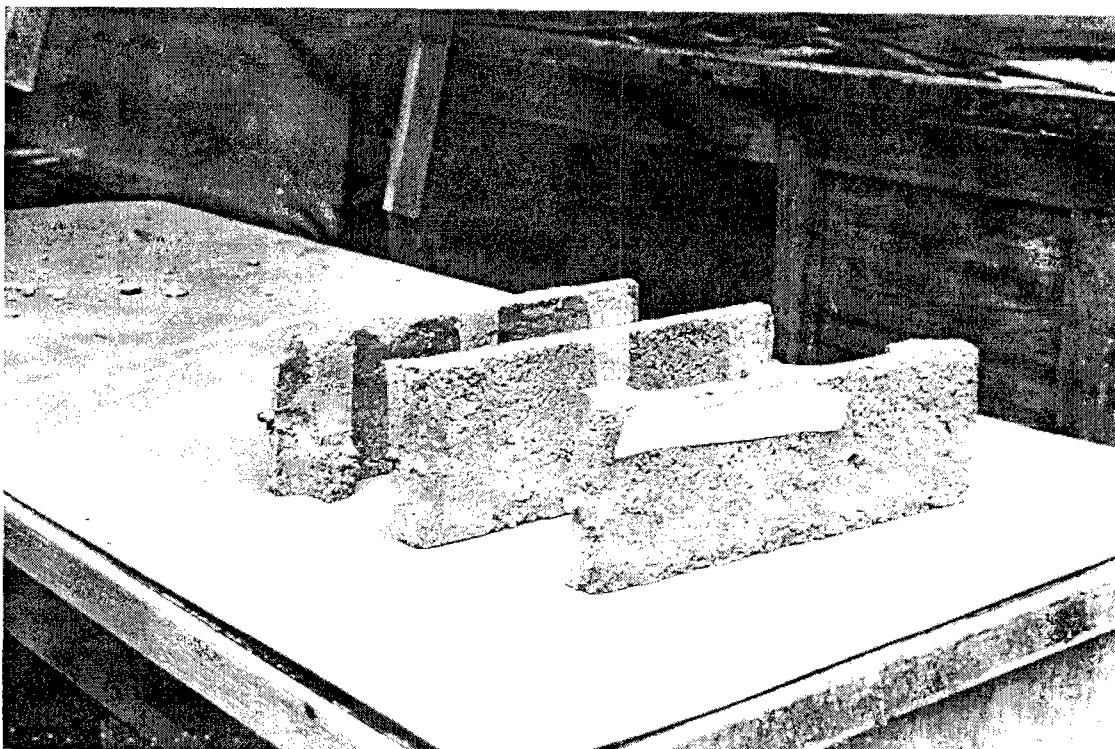
การเคลือบผิวก้อนทดสอบ ทั้ง 2 ด้าน



ก่อนทดสอบที่เคลือบผิวด้วยยิปซัมผสมน้ำแล้ว 1 ด้าน



ชิ้นส่วนก่อนคอนกรีตบล็อกเพื่อทดสอบการหดแห้ง มอก. 110-2517



ชิ้นส่วนก่อนคอนกรีตบล็อกเมื่อทำการอบแห้ง

ภาคผนวก ก.
หนังสือขอความอนุเคราะห์
หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญ
และ
ประวัติผู้เชี่ยวชาญ
ประวัติย่อผู้วิจัย

ที่ ทม ๐๙๘๒



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๓๐ มกราคม 2546

เรื่อง ขออนุญาตขออนุญาต

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนบ้านโป่ง บริษัทสยามคราฟท์ อุตสาหกรรม จำกัด

เนื่องด้วย นายศิวกกร สุขลังการ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษา อัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก มีส่วนผสมของกากตะกอนของบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราาย และแก้วเกลบ" โดยมี อาจารย์ ดร. อุบัติย์ สุวคันทกุล และอาจารย์สุดใจ เหล่าสีไพโร เป็นกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้มีความประสงค์ จะขออนุญาตขออนุญาต กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย จำนวน 100 กิโลกรัม เพื่อทำการทดลองผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบา จำนวน 320 ก้อน ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อขออนุญาตขออนุญาตจากท่านเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพ การศึกษา และขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นาภรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731, 5618

โทรสาร. 02-258-4119

ที่ ทม ๐๙๘๓



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

3๐ มกราคม 2546

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้จัดการ บริษัทไทยพาวเวอร์ ซัพพลาย จำกัด

เนื่องด้วย นายศิวกร สุขลังการ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษา อัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก มีส่วนผสมของกากตะกอนของป้อนำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หวาย และเถ้าแกลบ" โดยมี อาจารย์ ดร. อุปวิทย์ สุวคันธกุล และอาจารย์สุดใจ เหง้าสีไพร เป็นกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความประสงค์ จะขอความอนุเคราะห์ ซีเถ้าแกลบ จำนวน 100 กิโลกรัม เพื่อทำการทดลองผลิต คอนกรีตบล็อกมวลเบา จำนวน 320 ก้อน ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่านเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพ การศึกษา และขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพร หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02 - 664 - 1000 ต่อ 5731, 5618

โทรสาร. 02 - 258 - 4119

ที่ ทม 1012/2016



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๔ กุมภาพันธ์ 2546

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์

เรียน ผู้อำนวยการฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งประเทศไทย

เนื่องด้วย นายศิวกกร สุขลังการ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษา อัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก มีส่วนผสมของกากตะกอนของบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หวาย และเส้นใยแก้ว" โดยมี อาจารย์ ดร. อุบัติย์ สุวคันธ์กุล และอาจารย์สุดใจ เหล่าสรีไพบูลย์ เป็นกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้นิสิตมีความประสงค์ จะขอความอนุเคราะห์ ทดสอบคอนกรีตบล็อกมวลเบา จำนวน 8 ตัวอย่าง ซึ่งให้เป็นข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่านเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพ การศึกษา และขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภกรณ์ นะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731, 5618

โทรสาร. 02-258-4119

ที่ ทม 1018/2015



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

14 กุมภาพันธ์ 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งประเทศไทย

เนื่องด้วย นายศิวกร สุขลังการ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษา อัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนของบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หวาย และแก้วเกลบ" โดยมี อาจารย์ ดร. อุปวิทย์ สุวคันธกุล และอาจารย์สุดใจ เหง้าสีโพธิ์ เป็นกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนเชิญ คุณนรา รัตนวงศ์ นักวิชาการ 8 ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท เป็นผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำข้อมูล และทำการทดสอบก่อนคอนกรีตบล็อกมวลเบา

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้นายศิวกร สุขลังการ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาภรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02 - 664 - 1000 ต่อ 5731, 5618

โทรสาร. 02 - 258 - 4119

ที่ ทม 1012/2015



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๔๔ กุมภาพันธ์ 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งประเทศไทย

เนื่องด้วย นายศิวกร สุขลังการ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษา อัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนของบ่อน้ำบาดาลเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หวาย และแก้วเกลบ" โดยมี อาจารย์ ดร. อุปวิทย์ สุวคันธุล และอาจารย์สุดใจ เหล่าสีโพธิ์ เป็นกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนเชิญ คุณพิชิต เจนบรรจง นักวิชาการ 5 ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท เป็นผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำข้อมูล และทำการทดสอบก่อนคอนกรีตบล็อกมวลเบา

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้นายศิวกร สุขลังการ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพรณ์ หะวานนท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02-664-1000 ต่อ 5731, 5618

โทรสาร. 02-258-4119

ที่ ทม 1012/2015



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุโขทัย 23 กรุงเทพฯ 10110

๔ กุมภาพันธ์ 2546

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งประเทศไทย

เนื่องด้วย นายศิวกร สุขลังการ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษา อัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนของบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หวาย และแฉะกลบ" โดยมี อาจารย์ ดร. อุวิทย์ สุวคันธกุล และอาจารย์สุดใจ เห่งสีโพธิ์ เป็นกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนเชิญ คุณสุวัฒน์ชัย ทองน้อย นักวิชาการ 5 ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท เป็นผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำข้อมูล และทำการทดสอบก่อนคอนกรีตบล็อกมวลเบา

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ได้โปรดพิจารณาให้ข้าราชการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้นายศิวกร สุขลังการ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์นภาพรณี นวนานท์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 02 - 664 - 1000 ต่อ 5731, 5618

โทรสาร. 02 - 258 - 4119

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ – สกุล	นายนรา รัตน์วงศ์
เกิดวันที่	19 มิถุนายน 2491
ภูมิลำเนา	จังหวัดอยุธยา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	196 ถนนพหลโยธิน จตุจักร กทม. 10900
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักวิชาการ 8 ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท
สถานที่ทำงาน	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) ก่อสร้าง สถาบันราชภัฏจันทรเกษม
ประวัติการทำงาน	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ประสบการณ์	วิทยากรฝึกอบรมดินซีเมนต์

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ-สกุล	นายสุวัฒน์ชัย ทองน้อย
เกิดวันที่	5 ธันวาคม 2509
ภูมิลำเนา	7/1 ม.1 ต.ทุ่งเตา อ.บ้านนาสาร จ. สุราษฎร์ธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	44/34 ม.7 แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักวิชาการ 5 ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท
สถานที่ทำงาน	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2529	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี
พ.ศ. 2532	อวท. สาขาก่อสร้าง วิทยาลัยครูเพชรบุรีวิทยาลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2534-2538	หัวหน้า Q.C. บริษัท Jointventure. HCBB
พ.ศ. 2538-2540	ผู้ช่วยนักวิชาการ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
พ.ศ. 2540-2546	นักวิชาการ 5 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ – สกุล	นายพิชิต เจนบรรจง
เกิดวันที่	19 สิงหาคม 2518
ภูมิลำเนา	23 ซ.อินทามระ 38 ถ.สุทธิสาร แขวงดินแดง เขตดินแดง กทม. 10400
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	23 ซ.อินทามระ 38 ถ.สุทธิสาร แขวงดินแดง เขตดินแดง กทม. 10400
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักวิชาการ 5 ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท
สถานที่ทำงาน	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2529	ประถมศึกษา (ป.6) โรงเรียนประไพพัฒนา
พ.ศ.2532	มัธยมศึกษาตอนต้น (ม.3) โรงเรียนเซนต์ดอมินิก
พ.ศ.2534	มัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.6) โรงเรียนเซนต์ดอมินิก และการศึกษานอกโรงเรียน (กศน.)
พ.ศ.2539	ปริญญาตรี วศ.บ.โยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ.2539	วิศวกรโยธา บริษัท P & V วัสดุภัณฑ์
พ.ศ.2540 – 46	นักวิชาการ 5 ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ประสบการณ์	คุมงานก่อสร้าง ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง วิทยาการถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้งานบล็อกประสาน วว.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายศิวักร สุขลังการ
เกิดวันที่	9 พฤษภาคม 2511
ภูมิลำเนา	อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	21/18 หมู่ 6 ซอยประชาราษฎร์ 10 ถนนประชาราษฎร์ ต.ตลาดขวัญ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
สถานที่ทำงาน	-
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2526	มัธยมศึกษาตอนต้น (ม.3) โรงเรียนจรัสพิชากร อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช
พ.ศ.2529	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่างก่อสร้าง โรงเรียนจรัสพิชากรอาชีวศึกษา อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช
พ.ศ.2531	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) โยธา วิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
พ.ศ.2533	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (อศ.บ.) วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
พ.ศ.2546	ปริญญาโท การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) วิชาเอกอุตสาหกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2534 - 2540	วิศวกร ฝ่ายสถาปัตยกรรม และวิศวกรรม บริษัท สตาร์บลิคกรุ๊ป จำกัด (มหาชน)