คอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิค

LIGHTWEIGHT CONCRETE FROM SEDIMENT SLUDGE OF CERAMIC ROOF TILE

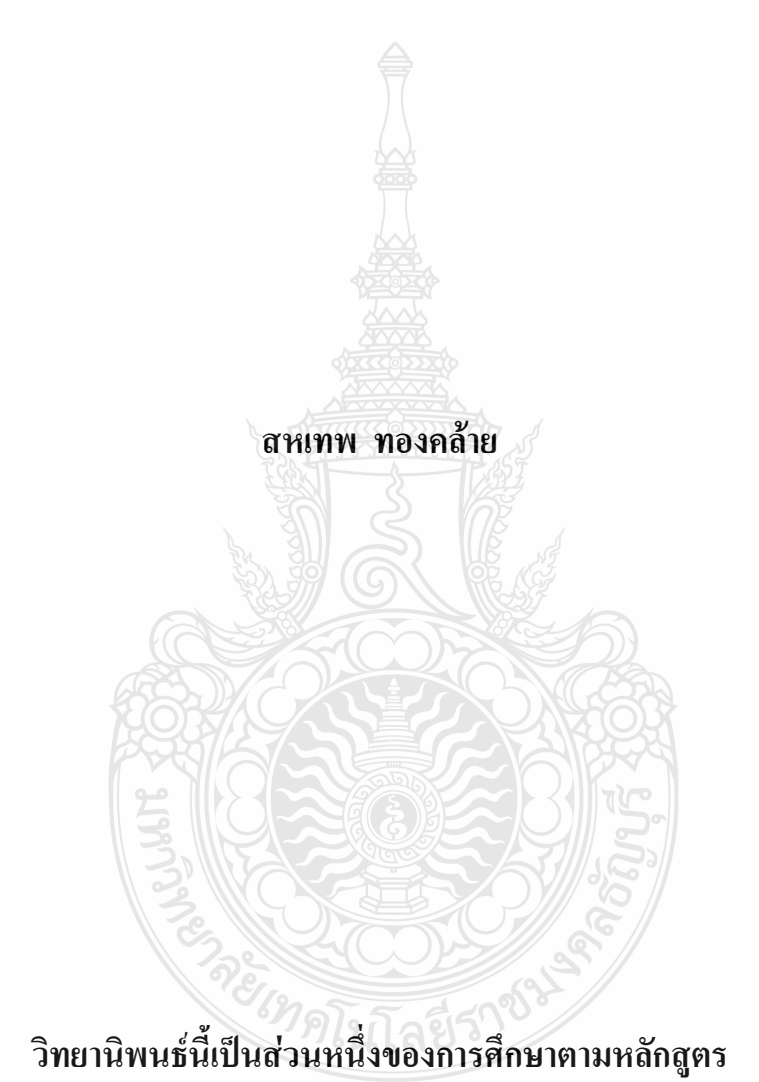
สหเทพ ทองคล้าย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิค

สหเทพ ทองคล้าย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิค
ชื่อ-นามสกุล	นายสหเทพ ทองคล้าย
สาขาวิชา	วิศวกรรมการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตเซรามิคมีการพัฒนาและคิดค้นเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่องเพื่อลดค่าใช้จ่าย ลดของเสียกากตะกอนดิน และเพิ่มสมบัติของเซรามิค ที่ผ่านมาการนำกากตะกอนดินมาใช้งานใหม่เป็นหนึ่งในวิธีการสำคัญที่มีการกล่าวถึงในอุตสาหกรรมการผลิตเซรามิค โดยการนำกากตะกอนดิน มาทดแทนส่วนผสมของอะลูมินาในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการทดแทนอะลูมินาในคอนกรีตมวลเบาด้วยกากดินตะกอนและศึกษาอิทธิพลตัวแปรการผลิตที่มีผลต่อสมบัติของคอนกรีตมวลเบา

ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาประกอบด้วยซีเมนต์ หินปูน ยิปซัม ทราย น้ำ อะลูมินาและกากดินตะกอนถูกทำการผสมเข้ากันอย่างสมบูรณ์และเทพักไว้ในแบบหล่อตามเวลาที่กำหนด ตัวแปรการผลิตที่ประกอบไปด้วยปริมาณกากดินตะกอนและเวลาบ่มตัว ถูกทำการศึกษาและหาค่าที่เหมาะสม ชิ้นงานที่ผ่านการบ่มถูกเตรียมและทำการทดสอบหาค่าสมบัติต่างๆ เช่น ความกำลังอัด การขยายตัวเชิงเส้น ความหนาแน่นเชิงปริมาตร การดูดซึมน้ำและกำลังดัด

ผลการทดลองพบว่า การทดแทนอะลูมินาในคอนกรีตมวลเบาด้วยกากดินตะกอนจากการผลิตกระเบื้องเซรามิคมีความเป็นไปได้ ตัวแปรการผลิตที่เหมาะสมที่แสดงค่ากำลังอัด 176 kg/cm^2 คือ ปริมาณกากดินตะกอน 16 กรัม และเวลาบ่มตัว 28 วัน การเพิ่มปริมาณกากดินตะกอนและเวลาบ่มตัวส่งผลต่อการเพิ่มกำลังอัด กำลังดัด และความหนาแน่นเชิงปริมาณ แต่ขณะเดียวกันการการเพิ่มปริมาณกากดินตะกอนและเวลาบ่มตัวส่งผลต่อการลดลงของค่าการดูดซึมน้ำ และการขยายตัวเชิงเส้น

คำสำคัญ คอนกรีตมวลเบา กากดินตะกอน ผงอะลูมินา

Thesis Title	Lightweight Concrete from Sediment Sludge of Ceramic Roof Tile
Name - Student	Mr. Sahatthep Thongklay
Program	Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.
Academic Year	2012

ABSTRACT

A ceramics production industry was continuously developed and discovered a proper composition for the aims to reduce a budget, decrease sediment sludge and increase the ceramics product properties. Recently, a recycle of the sediment sludge is one of the interested issues in Thai ceramic industry that might decrease sediment sludge and increase product properties by replacing the sediment sludge to alumina in a ceramic product such as a roof tile product or light weight concrete. So, in this study aimed to feasibility study on a replacing of alumina in light weight concrete by sediment sludge from a ceramics roof tile production industry and effect study of process parameters on light weight concrete properties.

The light weight concrete that had main composition of cement, lime, gypsum, sand, water, alumina and sediment sludge were completely mixed together and held in the block without steam for given times. The process parameters in this study that were the amount of sediment sludge and the incubation time were studied and optimized. The incubated light weight concrete were prepared and tested for the light weight concrete properties such as compressive strength, linear expansion, volumetric density, water absorption and bending strength.

The experimental results were as follows. The replacing of alumina by sediment sludge could be possible and showed the light weight concrete properties that were higher than that of TIS.58-2530: the light weight concrete. The optimized process parameter that produced the compressive strength of 176 kg/cm^2 was the sediment sludge amount of 16 g and the incubation time of 28 days. Increasing of the sediment sludge and incubation time affected to increase the compressive strength, the bending strength and volumetric density of the light weight concrete. However, Increasing of the sediment sludge and incubation time affected to decrease the water absorption and linear expansion of the light weight concrete.

Keywords : lightweight, concrete, sediment sludge, alumina

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้จากการช่วยเหลือของผู้มีอุปการคุณ ที่ให้ข้อเสนอแนะ ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์และให้ความช่วยเหลือ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ ดร.ชัยยะ ปราณีตพลกรัง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทร์มณี ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดจนตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คุณ สุรชัย กรุดทอง บริษัท ทีทีเซรามิก จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิค ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี และ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยราชมงคลสุวรรณภูมิ วิทยาเขตสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรีที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอน้อมระลึกถึงคุณแม่ วาสนา ทองคล้าย คุณพ่อ เกษม ทองคล้าย นางสาว พรอนงค์ ภาพชนะ นางสาว ภัชรากร พรหมศรี และผู้มีพระคุณทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและที่ให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สหเทพ ทองคล้าย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 2

1.3 ขอบเขตของโครงการ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 คอนกรีตมวลเบา 4

2.2 กากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิค 33

2.3 อะลูมินา 35

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาทุกประเภท 36

3 วิธีดำเนินงานวิจัย 45

3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ 46

3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม 46

3.3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา 47

3.4 การทดสอบวัสดุตัวอย่าง 51

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ 58

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลหรือผลการวิจัย 59

4.1 ผลการศึกษาสมบัติของกากดินตะกอนกระเบื้องเซรามิค 59

4.2 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ 60

4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่น 61

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

4.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ 63

4.5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว 66

4.6 ผลการทดสอบกำลังดัด 67

4.7 ผลการทดสอบกำลังดัด 69

5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 71

5.1 สรุปผล 71

5.2 ข้อเสนอแนะ 72

รายการอ้างอิง 73

ภาคผนวก 77

ภาคผนวก ก โครงสร้างจุลภาคคอนกรีตมวลเบาจากการส่องกล้องแบบส่องกราด (SEM).... 78

ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ 82

ประวัติผู้เขียน 114

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ข้อมูลเปรียบเทียบวัสดุก่อผนังแต่ละชนิด	11
2.2	รายชื่อและกำลังการผลิตของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา	12
2.3	ชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบา	15
2.4	ขนาดคอนกรีตมวลเบา	15
2.5	ค่าการเป็นตัวนำความร้อนของคอนกรีตน้ำหนักเบาชนิดต่างๆ	26
2.6	ความหนาแน่นและกำลังอัดลูกบาศก์ของคอนกรีตน้ำหนักเบาชนิดต่างๆ	27
2.7	ค่าการหดตัวเมื่อแห้งของคอนกรีตน้ำหนักเบาชนิดต่างๆ	28
2.8	การเปรียบเทียบสมบัติทั่วไปของอิฐมอญกับบล็อกมวลเบา	31
2.9	อัตราการกันเสียง (Acoustic Performance)	32
2.10	อัตราการทนไฟ (Fire Rating)	32
2.11	การเปรียบเทียบสมบัติวัสดุก่อสร้างประเภทต่างๆ	32
3.1	อัตราส่วนผสมของคอนกรีตขั้นต้นและแปรผันเฉพาะปริมาณของผงอะลูมิเนียมกับดินตะกอนต่อบล็อกคอนกรีต 1 บล็อก	46
3.2	สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอัตราส่วนต่างๆ	47
4.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยวิธี X-Ray Fluorescence (XRF) ของกากดินตะกอนกระเบื้องเซรามิค	59
4.2	ผลการทดสอบการหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา จากกากดินตะกอนเซรามิค	60
4.3	ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคในอัตราส่วนต่างๆ	61
4.4	การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ	63
4.5	การหดตัวของคอนกรีตจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ	66
4.6	กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ	67
4.7	กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ	69

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิค	35
3.1	กระบวนการวิธีดำเนินการวิจัย	45
3.2	วัตถุดิบที่ใช้ผสมคอนกรีต	48
3.3	การผสมวัสดุเข้าเครื่องผสม	49
3.4	เติมผงอะลูมิเนียม	49
3.5	บล็อกหล่อผสมคอนกรีต	50
3.6	เข้าตู้อบบ่มคอนกรีต	51
3.7	การวัดและชั่งมวลคอนกรีต	51
3.8	การวัดขนาดคอนกรีตด้านต่างๆ	52
3.9	นำคอนกรีตเข้าเตาอบ	53
3.10	นำคอนกรีตแช่น้ำ 3 วัน	53
3.11	วัดขนาดแต่ละด้านของคอนกรีตหลังแช่น้ำครบ 3 วัน	54
3.12	นำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทดสอบ	55
3.13	วัดขนาดและชั่งมวลน้ำหนักคอนกรีต	55
3.14	นำคอนกรีตแช่น้ำ	56
3.15	วัดขนาดของคอนกรีตแต่ละด้าน	56
3.16	วัดมวลน้ำหนักคอนกรีต	57
3.17	นำคอนกรีตเข้าเครื่องทดสอบหาค่า	57
3.18	คอนกรีตเริ่มมีการแตกหัก จดบันทึกค่ากระทำสูงสุด	58
4.1	ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิค	61
4.2	ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคในอัตราส่วนต่าง	62
4.3	โครงสร้างจุลภาคคอนกรีตมวลเบา จากการส่องกล้องแบบส่องกราด (SEM) ที่อัตรากำลังขยาย 500 เท่า ในอัตราส่วนผงอะลูมิเนียม : กากดินตะกอน	62
4.4	การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ แปรผันตามระยะเวลา	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4.5 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ แปรผันตามระยะเวลา 24 ชั่วโมง 64

4.6 ทิศทางการดูดซึมน้ำที่เข้าสู่เนื้องานคอนกรีต 65

4.7 ร้อยละการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ 67

4.8 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ 68

4.9 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ 70

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การผลิตคอนกรีตมวลเบามีการพัฒนาและขยายตัวในอุตสาหกรรมกันมากขึ้น ในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบามีวัตถุดิบ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาว ทราย ยิปซั่ม ผงอะลูมิเนียม น้ำ โดยต้นทุนของการผลิตคอนกรีตมวลเบา ผงอะลูมิเนียม มีราคาสูงในวัตถุดิบหลักทั้งหมด ทำให้ผู้ผลิตพยายามหาทางเพื่อจะลดต้นทุนในการนำเข้า และทดแทนวัตถุเดิมที่มีอยู่

การพัฒนาและการขยายตัวภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา ได้ส่งผลให้มีปริมาณกากของเสียจากกระบวนการผลิต ทั้งที่เป็นอันตรายและไม่เป็นอันตรายจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหาในการจัดการที่มีความรุนแรงและซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จนกลายมาเป็นปัญหาสำคัญของประเทศ ดังนั้นภาครัฐจึงได้กำหนดนโยบายที่จะให้มีการบริหารจัดการแบบครบวงจร โดยเริ่มตั้งแต่การควบคุมอัตราเกิดของเสียให้ลดน้อยลง พร้อมทั้งสนับสนุนให้มีการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้นแทนการจัดการที่ปลายเหตุในลักษณะที่ต่างคนต่างทำ [1] ส่งผลให้มีการศึกษางานวิจัยในการผลิตคอนกรีตมวลเบาโดยการนำวัสดุเหลือใช้ หรือวัตถุดิบจากธรรมชาติ วนกลับมาทำให้มีประโยชน์เพื่อลดภาวะสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การนำโคลนปูนจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษมาใช้แทนทรายในการผลิตคอนกรีตมวลเบา [1] การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ [2] การผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากกากอุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็ก [3] เป็นต้น ซึ่งงานศึกษาวิจัยเหล่านี้สามารถนำมาเป็นแนวทางในการที่จะผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีคุณภาพดีและราคาลดลงได้ ทั้งนี้ภาคอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิคถือเป็นอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การขยายตัวด้านกำลังการผลิตที่สูงทำมีความต้องการวัตถุดิบเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดกากของเสียจากอุตสาหกรรมเซรามิคเพิ่มมากขึ้น จากรายงานฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาส่งเสริมการใช้ทรัพยากรแร่และโลหะหมุนเวียนเพื่อการพัฒนาอย่างมีดุลยภาพ ของสถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยได้ทำการคัดเลือกของเสียและวัสดุเหลือใช้มาดำเนินการศึกษาและจัดทำแนวทางปฏิบัติที่เป็นเลิศ โดยกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากเซรามิค อิฐ กระเบื้อง และผลิตภัณฑ์สำหรับงานก่อสร้างเป็นหนึ่งในของเสียและวัสดุเหลือใช้ที่ได้ดำเนินการศึกษา เนื่องจากฐานข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรม ปี 2550 ระบุไว้ว่า ปริมาณกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเซรามิค อิฐ กระเบื้อง และผลิตภัณฑ์

สำหรับก่อสร้างที่ขออนุญาตนำออกนอกโรงงานมีประมาณ 7,070 ตัน ซึ่งปริมาณกากตะกอนจากการสำรวจโรงงานจำนวน 6 แห่ง ในจังหวัดสระบุรีพบว่ามีประมาณ 21,526 ตัน [4]

ดังนั้นทางผู้วิจัยได้พิจารณาแล้วเล็งเห็นความสำคัญเพื่อศึกษาหาความเหมาะสมในการนำกากดินตะกอนของกระเบื้องหลังคาเซรามิคจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ทดแทนตัววัตถุดิบเดิมที่มีราคาสูงอย่างผงอะลูมิเนียม โดยทำการทดสอบหาความหนาแน่น ความแข็งแรงอัด อัตราการดูดซึมน้ำ อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว ความแข็งแรงดัด ในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผ่านการอบไอน้ำ เพื่อลดขั้นตอนที่ยุ่งยาก และสามารถที่จะส่งเสริมบุคคลทั่วไป ให้มีความรู้ความเข้าใจ และมีทักษะเพียงพอในการลงทุนที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพที่ดีในอนาคต [5]

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากดินตะกอนเซรามิค ซึ่งเป็นกากของเสียอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิคมาทดแทนผงอะลูมิเนียมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติความแข็งแรงอัด การดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงความยาว ความหนาแน่น และความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาที่มีกากดินตะกอนเซรามิคทดแทนผงอะลูมิเนียม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาสมบัติของกากดินตะกอนเซรามิค โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (XRF)

1.3.2 ศึกษาและทดสอบหาอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาเริ่มต้น อัตราส่วนคอนกรีตที่เหมาะสมระหว่างกากดินตะกอนเซรามิคกับผงอะลูมิเนียม เพื่อใช้ทำการทดสอบตามวิธีการทดสอบที่ได้กำหนดไว้

1.3.3 ศึกษาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ค่าเปลี่ยนแปลงความยาว ค่าความแข็งแรงอัด ค่าอัตราการดูดซึมน้ำ ค่าความต้านทานแรงดัด ตามวิธีการทดสอบที่ได้ออกแบบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ได้คอนกรีตมวลเบาที่มีสมบัติด้านความหนาแน่น ความแข็งแรงอัด ความต้านทานแรงดัด การเปลี่ยนแปลงความยาว การดูดซึมน้ำที่มีคุณภาพดี เป็นไปตาม มอก. 1505 – 2541 [6]

1.4.2 เป็นแนวทางในการศึกษาคอนกรีตมวลเบาเพื่อใช้ก่อสร้างที่มีราคาถูกและมีกระบวนการที่ไม่ยุ่งยาก ก่อให้เกิดแนวทางการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาต่อไปในอนาคต

1.4.3 กลุ่มชุมชนหรือกลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรมขนาดย่อม มีทางเลือกใหม่ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาได้เอง โดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง และเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่คนในท้องถิ่น

1.4.4 กากดินตะกอนเซรามิคที่ถือเป็นขยะมลพิษ สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง และเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete; AAC) คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมและเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดแทนอิฐมอญ อิฐบล็อก และแผ่นพื้นสำเร็จที่เป็นวัสดุก่อสร้างแบบดั้งเดิม เนื่องจากมีสมบัติในการป้องกันความร้อนได้มากกว่าวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นๆ คอนกรีตมวลเบามีส่วนผสมของทราย ปูนซีเมนต์ ปูนขาว น้ำ ยิปซัม และผงอะลูมิเนียมผสมรวมกัน แต่ส่วนที่ดีที่สุดคือฟองอากาศเล็กๆ เป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่อง (Disconnecting Voids) ที่อยู่ในเนื้อวัสดุมากประมาณร้อยละ 75 ทำให้น้ำหนักเบา ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จะช่วยให้ประหยัดโครงสร้างอีกทั้งฟองอากาศเหล่านี้เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี [7]

คอนกรีตมวลเบา เป็นนวัตกรรมวัสดุก่อสร้างรูปแบบใหม่สำหรับวงการก่อสร้างของไทย ซึ่งได้รับความนิยมอย่างสูง และเป็นทางเลือกใหม่แก่วงการก่อสร้าง เนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากคอนกรีตชนิดอื่นๆ คือ สามารถนำไปใช้สร้างบ้านได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ประหยัดแรงงานและลดต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้าง รวมทั้งสามารถช่วยประหยัดพลังงาน ป้องกันความร้อนได้ดี มีความคงทน และมีอายุการใช้งานนานกว่า 50 ปี คอนกรีตมวลเบาซึ่งจัดว่าเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีอัตราการเติบโตในช่วง 3-4 ปี ที่ผ่านมา เป็นที่รู้จักในตลาดเพิ่มมากขึ้น ขณะที่คอนกรีตมวลเบามีการใช้มานานในต่างประเทศ แต่ยังเป็นวัสดุก่อสร้างแบบใหม่ในประเทศไทย ปัจจุบันคอนกรีตมวลเบาเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในวงการก่อสร้างและเป็นที่รู้จักและยอมรับในด้านคุณสมบัติที่โดดเด่น จึงมีการเปลี่ยนมาใช้คอนกรีตมวลเบาทดแทนอิฐมอญหรือคอนกรีตบล็อกมากขึ้น [8]

คอนกรีตมวลเบา คอนกรีตและผลิตภัณฑ์จากคอนกรีต เป็นวัสดุก่อสร้างหลักที่สำคัญและใช้มากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูกที่สุด และรับกำลังได้มากกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ อาคารหนึ่งหลังจะประกอบไปด้วยโครงสร้าง ได้แก่ เสา คาน ซึ่งต้องใช้คอนกรีต พื้นและผนัง ซึ่งอาจจะใช้วัสดุอื่นนอกจากคอนกรีตได้ แต่ส่วนใหญ่ก็ยังนิยมใช้ผลิตภัณฑ์จากคอนกรีต และเมื่ออาคารขนาดใหญ่มีมากขึ้น ค่าก่อสร้างก็มากขึ้นตาม เนื่องด้วยน้ำหนักของอาคารที่มากขึ้นตามปริมาณของคอนกรีต ปัจจุบันจึงมีการหันมาใช้วัสดุมวลเบาทดแทน ซึ่งมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีต 30-60% ในส่วนที่ไม่ต้องรับน้ำหนักหลักของอาคาร ทำให้สามารถลดน้ำหนักของอาคารและค่าก่อสร้างลดลงอย่างมาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาเพื่อมาทดแทนคอนกรีตมาตรฐาน

คอนกรีตมวลเบา ที่นิยมใช้สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทดังนี้ 1) คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุที่มีน้ำหนักเบา (Lightweight Aggregate Concrete) ได้แก่ การใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาทดแทนหินเพื่อลดน้ำหนักของคอนกรีตลง หินเบาจะมีลักษณะที่เป็นรูพรุน มีฟองอากาศอยู่ในตัวเป็นจำนวนมากจึงมีน้ำหนักเบา คอนกรีตเบาที่ได้จากวิธีนี้จะมีน้ำหนักประมาณ 1,000-1,600 กก./ ลบ.ม. แต่ก็มีผลเสียคือมีราคาแพงกว่าคอนกรีตธรรมดามาก ทำให้ไม่เป็นที่นิยม 2) คอนกรีตที่มีฟองอากาศ (Foam and Aerated Concrete) โดยทำให้เนื้อคอนกรีตพรุนด้วยการเพิ่มฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตจากปฏิกิริยาเคมี เป็นวิธีที่ต้องอาศัยเครื่องมืออุปกรณ์และกรรมวิธีทางเคมี ซึ่งอาจแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่ 1 ระบบอบไอน้ำแรงดันสูง (Autoclaved Aerated Concrete) ฟองอากาศถูกสร้างขึ้นในเนื้อคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์โดยใช้ผงอะลูมิเนียมทำปฏิกิริยากับแคลเซียมและอัลคาไรด์ในคอนกรีต ฟองอากาศจะเกิดขึ้นเมื่อทำการบ่มโดยไอน้ำที่ 180 องศาเซลเซียสภายใต้ความดัน ดังนั้นระบบนี้จะใช้ผลิตในโรงงานเท่านั้นและเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตต้องใช้เงินลงทุน ประเภทที่ 2 ใช้โฟมเป็นส่วนผสม (Cellular Lightweight Concrete or Foam Concrete) คือ คอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ที่มีอากาศอยู่ในเนื้อมากกว่า 25% ซึ่งการเพิ่มปริมาณอากาศสามารถทำได้ด้วยการผสมฟองโฟมที่คล้ายจากเครื่องมือดับเพลิง แล้วนำโฟมนี้ไปผสมคอนกรีตทันที หรือใส่สารเกิดฟองลงไปในส่วนผสมคอนกรีตแล้วตีเนื้อคอนกรีตด้วยเครื่องผสมแรงเฉือนสูงเพื่อให้เกิดฟอง ฟองอากาศที่ได้จะเป็นเม็ดกลมขนาดเล็กมาก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.3-1 มม. ซึ่งจะมีความมั่นคง แข็งแรงจนคอนกรีตก่อตัว (Time of Setting)จึงได้โพรงอากาศขนาดเล็กภายใน ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากเทคโนโลยี จึงมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคอนกรีตปกติแต่กำลังน้อยกว่าตามปริมาณฟองอากาศที่ใส่ลงไป โพรงอากาศแบบปิดไม่ต่อเนื่องในมวลคอนกรีต ก่อให้เกิดผลดี คือ น้ำหนักเบา ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง และทนไฟได้ดีกว่าคอนกรีตปกติ ดังนั้น คอนกรีตมวลเบา CLC จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น ผนังหรือกำแพงอาคาร เทพื้นทับหน้า รั้วสำเร็จรูป ผนังสำเร็จรูป (Precast Wall & Panel) เป็นต้น [9]

วิธีการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า (Cellular Lightweight Concrete; CLC) คือ คอนกรีตที่มีโพรงอากาศผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ต-แลนด์ ทราย น้ำ มอร์ต้าร์ (Mortar) และฟองโฟมส่วนผสมฟองอากาศที่เกิดขึ้นนี้ได้จากเครื่องผลิตฟองโฟม (Foam Generator) คอนกรีตธรรมดามีค่าความหนาแน่นประมาณ 2,400-2,600 กก./ลบ.ม. เมื่อลดการใช้หินซึ่งเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) และแทนที่ด้วยฟองโฟม ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลดลงเหลือ 1,800 ถึง 300 กก./ลบ.ม. นอกจากนี้ค่าความหนาแน่น (Density) และค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ยังสามารถกำหนดได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบส่วนผสม (Designing and Proportioning Concrete

Mixtures) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ทำให้ประหยัดต้นทุนในการก่อสร้าง เนื่องจากปริมาตรของคอนกรีตเพิ่มขึ้น (Volume) สาเหตุมาจากฟองอากาศเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ

คอนกรีตมวลเบา มีหลายประเภท หากมองเพียงภายนอกอาจแทบไม่แตกต่างกัน แต่ในความเป็นจริงแล้ว คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่ต่างกัน จะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแตกต่างกันด้วย คอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปอาจแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้ [7]

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

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบาเป็นการผลิตคอนกรีตหรืออิฐที่มีน้ำหนักเบา เช่นขี้เลื่อย ขี้เถ้าชานอ้อย หรือเม็ดโฟม ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่อายุการใช้งานสั้น เสื่อมสภาพเร็วและหากเกิดไฟไหม้ สารเหล่านี้อาจจะติดไฟและเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัยได้

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (Circular Lightweight Concrete) เป็นการผลิตที่ใช้สารเคมีเป็นตัวทำให้เกิดฟอง เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู และทิ้งให้แข็งตัว คอนกรีตประเภทนี้มีการหดตัวมากกว่า ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรง

ระบบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) ซึ่งแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 Lime Base เป็นการผลิตคอนกรีตที่ใช้ปูนขาวมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ซึ่งประเภทนี้จะควบคุมคุณภาพได้ยาก ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ และมีการดูดซึมน้ำได้มากกว่า

ประเภทที่ 2 Cement Base เป็นการผลิตคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ผสมกับวัสดุจำพวก ทราย ยิปซัม ปูนขาว น้ำ และผงอะลูมิเนียม ในสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตและจึงนำไปบ่มให้ได้ที่ เพื่อเข้าสู่กระบวนการตัด และเข้าสู่กระบวนการอบไอน้ำที่เรียกว่า “Autoclaved” ภายใต้อุณหภูมิความดันสูง และภายในเวลาที่เหมาะสมด้วยเครื่องจักรอบไอน้ำที่ได้มาตรฐานสูง ทำให้เกิดการตกผนึก (Calcium Silicate) เป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอ และยังช่วยให้เกิดการตกผลึก (Calcium Silicate) ในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความแข็งแกร่ง ทนทานกว่าการผลิตในระบบอื่นมาก คอนกรีตมวลเบาที่ผลิตได้มาตรฐานในบ้านเราจะ

ผลิตโดยใช้ระบบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง Cement Base ซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางแล้วจากทั่วโลกว่าเป็นสินค้าคุณภาพดี

วิธีการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบฟองอากาศ [10] แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

1) วิธีทางเคมี (Chemical Method) สามารถทำได้ 2 วิธี ด้วยกัน คือ

1. Hydrogen Peroxide and Bleaching Powder Method วิธีนี้เป็นวิธีการทำให้เกิดก๊าซออกซิเจนในเนื้องอกดังสมการเคมีดังกล่าวนี้

$$CaCl(OCl) + H_2O_2 \longrightarrow CaCl_2 + O_2 + H_2O$$

Bleaching Powder	Hydrogen Peroxide	Calcium Chloride	Oxygen	Water
(ผงฟอกจาง)	(ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์)	(แคลเซียมคลอไรด์)	(ออกซิเจน)	(น้ำ)

จากรูปแบบสมการเคมีข้างต้นนี้ จะเห็นว่าวิธีการเป็นการใช้สารผงฟอกสี (Bleaching Powder) ทำปฏิกิริยากับ Hydrogen Peroxide มีผลทำให้เกิดน้ำและก๊าซออกซิเจนในเนื้อคอนกรีต กรรมวิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน จึงไม่ขอกล่าวไว้ในงานวิจัยนี้

2. Aluminium Powder Method เป็นวิธีที่ใส่สารเคมีให้เกิดการปฏิกิริยาทางเคมีในเนื้อคอนกรีต ทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อคอนกรีต ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นไปดังสมการเคมีข้างล่าง

$$2Al + 3Ca(OH)_2 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO\,Al_2O_3.6H_2O + 3H_2$$

Aluminium Powder	Hydrate Lime	Water	Tricalcium Aluminate Hydrate	Hydrogen
(ผงอะลูมิเนียม)	(ปูนขาว)	(น้ำ)	(ไตรแคลเซียมอลูมิเนต)	(ไฮโดรเจน)

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า ผงอะลูมิเนียม ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH_2)$ (ปูนขาว) มีผลก่อให้เกิดฟองก๊าซของไฮโดรเจน วิธีนี้เปรียบเสมือนการใส่ผงฟูลงในขนมเค้ก ทำให้ขนมเค้กฟูขึ้นมามีเนื้อโปร่ง วิธีนี้จะควบคุมปริมาณของคอนกรีตลำบากมาก แต่ความพรุนที่ได้ในเนื้อคอนกรีตจะมีคุณภาพสม่ำเสมอ

2) วิธีทางกล (Mechanical Method) เป็นวิธีที่ทำง่ายๆ และควบคุมได้ดีกว่าวิธีทางเคมีและประหยัดกว่าด้วย แต่ความพรุนที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอขึ้นอยู่กับการผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างทั่วไป หรือใช้ทางด้านการค้าก็ได้ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

1. Excess Water Method เป็นการผสมโดยใช้ปริมาณน้ำมากเกินพอที่ซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาสมบูรณ์ ทำโดยผสมอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ให้ใช้น้ำมากๆ และทำการผสมหลายครั้งซึ่งจะทำให้มีจำนวนน้ำปริมาณมาก เมื่อนำไปบ่มด้วยไอน้ำความดันสูงให้แห้ง ดังนั้นจะเกิดช่องว่างอากาศแทนที่น้ำส่วนเกินที่ระเหยออกไป คอนกรีตที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำ และเรียกว่า “Light Lime Concrete” เพราะว่าใช้ปูนขาวเป็นตัวเชื่อม

2. Air Entraining Agent เป็นวิธีโม่ส่วนเหลวๆ กับสารกักกระจายฟองอากาศ จะทำให้เกิดฟองในลักษณะเดียวกับการตีไข่ขาว โดยที่การโม่บางครั้งการผสมจะใช้เครื่องโม่ผสมที่มีใบพัดหมุนในแนวราบ และภายในเครื่องยังประกอบไปด้วยลวดตะแกรงยาว 3/4 นิ้ว หมุนด้วยความเร็ว 55-60 รอบ/นาที

3. Preformed Foam Method ฟองอากาศที่ได้จากวิธีนี้โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับสารกระตุ้นพวกโปรตีน ซึ่งไม่มีพวกแป้งและน้ำตาลผสมอยู่หรือสารเคมีอื่นๆ

การบ่มด้วยไอน้ำที่มีความกดดันสูง (High Pressure Steam Curing) [11] หากต้องการบ่มคอนกรีตด้วยอุณหภูมิสูงเกิน 100˚C เราต้องให้ความดันสูงขึ้นและต้องบ่มคอนกรีตในภาชนะที่ปิดสนิท ซึ่งมีชื่อว่า “Autoclave” อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วง 160-210˚C ที่ความดัน 6-20 atm สารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีภายใต้สภาวะดังกล่าวมีคุณสมบัติต่างจากสารประกอบ ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100˚C และมีผลดีที่สำคัญคือ สามารถใช้คอนกรีตได้ภายใน 24 ชั่วโมง เพราะคอนกรีตมีกำลังสูงทัดเทียมการบ่มปกติเป็นเวลา 28 วัน มีการหดตัวและการล้าลดลงมาก ทนเกลือซัลเฟตได้ดีขึ้น กำจัด Efflorescence และมีความชื้นต่ำภายหลังการบ่ม ในทางปฏิบัติ การบ่มแบบนี้เสียค่าใช้จ่ายสูงและใช้ได้กับคอนกรีตสำเร็จรูปเท่านั้น มีการใช้การบ่มนี้สำหรับผลิตภัณฑ์จำเพาะบางอย่าง เช่น แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน เป็นต้น

นระ คมนามูล ได้ให้รายละเอียดของคอนกรีตมวลเบาไว้ในหนังสือวัสดุการทดสอบแบบไม่ทำลายในงานวิศวกรรมโยธา [12] ดังนี้

ในบรรดาวัสดุก่อสร้างทั้งหลาย คอนกรีตเป็นวัสดุที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอย่างกว้างขวาง นับตั้งแต่อาคารที่อยู่อาศัย ที่ทำงาน เขื่อนกั้นน้ำ จนกระทั่งท่าเรือ แต่ข้อเสียของคอนกรีต คือ เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักมาก สำหรับงานโครงสร้างอาคาร สิ่งนี้นับว่าเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการทำฐานรากอย่างมาก หลายประเทศได้ทำการค้นคว้าเพื่อหาทางทำให้

คอนกรีตมีน้ำหนักเบาขึ้น ขณะเดียวกันก็ยังคงให้มีกำลังรับน้ำหนักและมีประสิทธิภาพสูง รวมถึงการมีราคาถูกลงด้วย ผลการค้นคิดนี้ ทำให้เทคโนโลยีการทำคอนกรีตมวลเบา มีลักษณะแตกต่างกันออกไป กล่าวคือ

1) ทำให้เบาโดยการทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต
2) ทำให้คอนกรีตเกิดช่องว่างโดยไม่ใช้มวลรวมละเอียด
3) ใช้มวลรวมหยาบที่มีน้ำหนักเบาเป็นส่วนผสม

คอนกรีตมวลเบาเหล่านี้ ในประเทศไทยเพิ่งจะรู้จักกันไม่นานมานี้ สำหรับการนำไปผลิตและการนำไปประยุกต์ใช้ ดูเหมือนว่ายังไม่แพร่หลาย แต่ในหลายประเทศทางตะวันตก ได้ค้นพบและรู้จักกันมานานกว่า 100 ปี โดยเฉพาะประเทศกลุ่มยุโรปตะวันออกได้นำคอนกรีตเบามาใช้ประโยชน์กันมากในทางโครงสร้างอาคาร ความจริงคอนกรีตมวลเบาไม่ใช่ของใหม่เลย ชาวโรมันสมัยก่อนคริสตกาลเคยคิดค้นและนำเอาวัสดุน้ำหนักเบามาใช้ทำเป็นคอนกรีตเบาในการก่อสร้างมาก่อน เช่น การนำพัมมิซ ซึ่งเป็นหินพรุนจากภูเขาไฟ มาใช้ทำเป็นส่วนประกอบของหลังคาโบสถ์ เป็นต้น

คอนกรีตเบาทำได้ทั้งแบบก่อสร้างสำเร็จและแบบหล่อในที่ มีนักออกแบบหลายท่านได้ทำการค้นคว้าสำเร็จ ในการทำให้น้ำหนักของโครงสร้างอาคารลดลงโดยการใช้คอนกรีตเบา นับว่าเป็นการประหยัดวัสดุสำหรับทำฐานรากอย่างมาก โครงสร้างคอนกรีตเบาบางอย่างมีน้ำหนักน้อยเกือบเป็นสองเท่าของโครงสร้างคอนกรีตธรรมดาที่มีความแข็งแรงเท่ากัน โดยปกติคอนกรีตเบามีความหนาแน่นอยู่ในช่วงระหว่าง 300-1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือมากกว่าแล้วแต่ชนิดของมวลรวม ขณะที่ความหนาแน่นของคอนกรีตธรรมดาอยู่ในช่วงประมาณ 2,300-2,500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

นอกจากนี้ ความหนาแน่นต่ำของคอนกรีตเบา ยังมีส่วนช่วยให้การก่อสร้างทำได้รวดเร็วขึ้นและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งถ่ายเทคอนกรีต คุณลักษณะพิเศษอีกอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับความหนาแน่นต่ำ คือเป็นตัวนำความร้อนที่เลว ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีทั้งสำหรับประเทศที่อากาศร้อนและประเทศอากาศหนาว หรือทำอาคารห้องเย็น

ชนิดของคอนกรีตเบา คอนกรีตเบาทั้งหมด มีความหนาแน่นต่ำได้ เพราะการกักขังอากาศไว้ในช่องว่างภายในโครงสร้างของเนื้อคอนกรีต อากาศที่อยู่ในคอนกรีตนี้ สามารถทำให้เกิดขึ้นได้ 3 ทาง คือ

1) โดยการทำให้เกิดฟองก๊าซในซีเมนต์เพสต์ ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้ว จะทำให้วัสดุที่ได้มีลักษณะพรุนคล้ายฟองน้ำ คอนกรีตนี้เรียกกันว่า “Aerated Concrete” หรือ “คอนกรีตฟองอากาศ”

2) โดยการละทิ้งมวลรวมขนาดเล็กจากการคัดขนาดของมวลรวม และเหลือไว้แต่มวลรวมหยาบ ที่ได้จะเป็นคอนกรีตที่เรียกกันว่า “No-Fines Concrete” หรือ “คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด”

3) โดยการใช้มวลรวมที่มีลักษณะเป็นรูพรุน หรือมีช่องว่างในเนื้อวัสดุมาผสมกับปูนซีเมนต์แทนมวลรวมธรรมดา คอนกรีตที่ได้เรียกกันว่า “Light Weight Aggregate Concrete” หรือ “คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา”

นอกจากนี้ คอนกรีตเบายังสามารถผลิตขึ้นได้ โดยการผสมกันระหว่างคอนกรีตเบา 3 ชนิดที่กล่าวมา ตัวอย่างเช่น คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด หรือคอนกรีตฟองอากาศผสม กับมวลรวมน้ำหนักเบา เป็นต้น

สุภาพร ศรีสมบูรณ์ [13] ได้ทำการวิเคราะห์แนวโน้มการเติบโตทางธุรกิจของอิฐมวลเบา เนื่องจากคอนกรีตมวลเบา คือ หนึ่งในวัสดุก่อสร้างที่มีคุณสมบัติใช้เป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้เป็นอย่างดี โดยได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ภาวะธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่องได้ส่งอานิสงส์ให้ผลิตภัณฑ์ก่อสร้างทุกประเภทเติบโต โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบาซึ่งจัดว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ด้านวัสดุก่อสร้างที่มีอัตราการเติบโตสูง ภายหลังจากผู้ประกอบการไทยได้นำเข้ามาผลิตและจัดทำกิจกรรมด้านการตลาดจนเป็นที่รู้จักของตลาดในช่วง 3-4 ปีที่ผ่านมา ทางด้านการผลิตและยอดจำหน่ายยังมีจำนวนน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับอิฐมอญซึ่งเป็นวัสดุดั้งเดิมที่เป็นภูมิปัญญาชาวบ้าน มีการใช้และเป็นที่ยอมรับกันมาอย่างยาวนาน ขณะที่อิฐมวลเบามีการใช้มานานในต่างประเทศ แต่ยังเป็นวัสดุก่อสร้างแบบใหม่ในประเทศไทย มีการผลิตและจำหน่ายโดย บมจ. ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดักส์ ผู้ผลิตอิฐมวลเบายี่ห้อ Q-CON ปัจจุบันอิฐมวลเบาเริ่มเป็นที่รู้จักในวงการก่อสร้างและเป็นที่ยอมรับของกลุ่มผู้บริโภค ในด้านคุณสมบัติที่โดดเด่น จึงมีการเปลี่ยนมาใช้อิฐมวลเบาทดแทนอิฐมอญหรืออิฐบล็อกมากขึ้น

สมบัติเด่นของผลิตภัณฑ์ คือ อิฐมวลเบาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย ปูนขาว ยิปซัม น้ำ และสารกระจายฟองอากาศส่วนผสมพิเศษในอัตราส่วนที่เป็นสูตรเฉพาะตัว ซึ่งผู้ผลิตหลายรายใช้ระบบ AAC (Autoclaved Aerated Concrete) การผลิตส่วนใหญ่เป็นการนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรที่นำเข้าจากต่างประเทศ เช่น เยอรมนี ออสเตรเลีย ฯลฯ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างยุคใหม่ที่มุ่งเน้นให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการนำไปใช้งานทุกด้าน ด้วยคุณสมบัติพิเศษ คือ ตัววัสดุมีน้ำหนักเบา ขนาดก้อนได้มาตรฐานเท่ากันทุกก้อน ทนไฟ ป้องกันความร้อน ป้องกันเสียง ตัดแต่งเข้ารูปง่าย ใช้งานได้เกือบ

100% ไม่มีเศษเป็นอิฐหัก และที่สำคัญคือ รวดเร็ว สะอาด ลดระยะเวลาในการก่อสร้างและลดต้นทุนโครงสร้าง

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลเปรียบเทียบวัสดุก่อผนังแต่ละชนิด [13]

รายการ	อิฐมอญ	อิฐบล็อก	อิฐมวลเบา
โครงสร้างบล็อก	ตัน	กลวง	กลวง
ก่อผนังเป็นผนังรับแรง	ไม่ได้	ได้	ได้
จำนวนก้อนที่ใช้ต่อตารางเมตร	120-135 ก้อน	12.5 ก้อน	8.33 ก้อน
น้ำหนักเฉลี่ยเฉพาะวัสดุ	130 กก./ ตร.ม.	115 กก./ ตร.ม.	50 กก./ ตร.ม.
ค่าการรับแรงอัด	20-30 กก./ ตร.ซม.	10-15 กก./ ตร.ซม.	35-50 กก./ ตร.ซม.
อัตราการทนไฟ (หนา 10 ซม.)	2 ชม.	1 ชม.	2-4 ชม.
การดูดซึมน้ำ	สูง	สูง	ปานกลาง
การสูญเสีย/ แตกร้าว	15-20%	10-15%	5%
ราคาวัสดุ (บาท/ตร.ม.)	80	50	285

ตลาดอิฐในประเทศสามารถแบ่งออกเป็น ตลาดอิฐมอญและอิฐบล็อกประมาณร้อยละ 90 ของอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างทั้งหมด และอีกร้อยละ 10 เป็นอิฐมวลเบา จากการเติบโตของภาวะธุรกิจอสังหาริมทรัพย์และคุณสมบัติที่โดดเด่นของตัวผลิตภัณฑ์รวมทั้งการได้รับการยอมรับจากผู้ประกอบการในวงการก่อสร้างเป็นปัจจัยสำคัญที่สนับสนุนให้ตลาดอิฐมวลเบามีโอกาสเติบโตและเพิ่มสัดส่วนการใช้แทนอิฐมอญมากขึ้น

จากความต้องการที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต ขณะที่ตลาดมีผู้ผลิตรายใหญ่เพียง 2 ราย คือ บมจ.ควอลิตี้คอนสตรัคชั่น โปรดักส์ ผู้ผลิตอิฐมวลเบายี่ห้อ Q-CON และ บมจ.ซุปเปอร์บล็อก ผลิตภัณฑ์ Q-CON เป็นผู้นำทั้งด้านกำลังการผลิตและมีส่วนแบ่งการตลาดประมาณร้อยละ 60 อย่างไรก็ตาม อิฐมวลเบายังมีผู้ผลิตน้อยราย มีกำไรขั้นต้นในอัตราสูงและยังเป็นธุรกิจที่มีแนวโน้มดี เป็นปัจจัยสำคัญที่ดึงดูดและจูงใจผู้ประกอบการรายใหม่ให้เข้าสู่ธุรกิจมากขึ้น โดยล่าสุดมีผู้ผลิตรายใหม่ คือ บ.ออโตเครปแอเรทเต็ดคอนกรีตโปรดักส์ (AACP) และบมจ.ดีคอนโปรดักส์ (DCON) ขณะเดียวกันผู้ผลิตรายเดิมได้ขยายการลงทุนและเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการอย่างเต็มที่ โดย บมจ. ควอลิตี้คอนสตรัคชั่น โปรดักส์ เดิมมีกำลังการผลิต 6 ล้านตารางเมตร/ปี ขยายกำลังการผลิตเป็น 12 ล้านตารางเมตร ภายในปี 2548 เช่นเดียวกับ บมจ.ซุปเปอร์บล็อกจากเดิมมีกำลังการ

ผลิต 2.3 ล้านตารางเมตร เพิ่มเป็น 5.75 ล้านตารางเมตร ทำให้มีผู้ผลิตจำนวน 9 ราย กำลังการผลิตรวม 28.85 ล้านตารางเมตร เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ 3 ราย ได้แก่ บมจ.ควอลิตี้คอนสตรัคชั่น โปรดักส์ รองลงมา คือ บมจ.ซุปเปอร์บล็อก และบ.ออโตเครป แอเรทเต็ดคอนกรีตโปรดักส์ (AACP) ซึ่งเป็นผู้ผลิตรายใหม่ที่น่าจับตามอง แต่ละรายมีจุดแข็งและจุดเด่น/ศักยภาพของตนเอง การเข้ามาของ AACP และการขยายการผลิตของผู้ผลิตรายเดิมเป็นเรื่องที่น่าสนใจว่าจะมีการใช้กลยุทธ์ราคาในด้านการตลาดหรือไม่ โดยล่าสุด Q-CON ผู้นำตลาดรายใหญ่ได้ปรับลดราคาจำหน่ายลงร้อยละ 5-10 ตั้งแต่เดือนเมษายน 2548 ทั้งนี้เพื่อขยายฐานลูกค้าในตลาดให้มากขึ้น พร้อมกับหันมาเน้นการโฆษณาเพิ่มขึ้น ซึ่งก่อนหน้าที่ Q-CON ไม่ได้ให้ความสำคัญกับกิจกรรมการตลาดผ่านสื่อโฆษณามากนัก เห็นว่าผู้ผลิตรายเดิมได้มีการเคลื่อนไหวในการตลาดเพื่อรองรับการแข่งขันและกำลังการผลิตที่จะมีสูงขึ้นในอนาคต

ตารางที่ 2.2 รายชื่อและกำลังการผลิตของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา [13]

บริษัท	กำลังการผลิต/ ปี (ล้านตารางเมตร)	หมายเหตุ
1. บมจ. ควอลิตี้ คอนสตรัคชั่น โปรดักส์ (Q-CON)	12	ใช้เทคโนโลยีการผลิตของ HEBEL เยอรมนี มี 4 โรงงาน ตั้งอยู่ที่ จ. พระนครศรีอยุธยา จ. ระยอง
2. บมจ.ซุปเปอร์บล็อก (SOPERBOCK)	5.75	มี 3 โรงงาน โดยกำลังการผลิตคิดเป็นร้อยละ 84 ของกำลังการผลิตทั้งหมดของเครื่องจักร โรงงานตั้งอยู่ที่ จ.พระนครศรีอยุธยา จ.สิงห์บุรี จ.พังงา
3. บจ.ออโตเครป แอเรทเต็ด คอนกรีตโปรดักส์ (AACP)**	3	เทคโนโลยีและเครื่องจักร WEHRHAHN Industrieanlagen จากประเทศเยอรมนี โรงงานตั้งที่ จ.ชลบุรี
4. บจ.ล็อกบล็อก (ประเทศไทย)	0.594	N.A.
5. บจ.แอโรกรีต	1.92	เครื่องจักรจากจีน โรงงานตั้งอยู่ที่ จ.สิงห์บุรี
6. บจ. บีเคไออิฐมวลเบา	0.086	N.A.

ตารางที่ 2.2 รายชื่อและกำลังการผลิตของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา [13] (ต่อ)

บริษัท	กำลังการผลิต/ ปี (ล้านตารางเมตร)	หมายเหตุ
7. บมจ.ดีคอนโปรดักส์	3	กระบวนการผลิตในระบบ Cellular Light Weight Concrete (CLC) โรงงานตั้งอยู่ที่ จ.เชียงใหม่ จ.ลำพูน
8. บจ.เอฟเอ็มโอ	n.a.	โรงงานตั้งอยู่ที่ จ.พระนครศรีอยุธยา ได้รับการสนับสนุนจากธนาคารวิสาหกิจขนาดกลางและย่อมแห่งประเทศไทย (SMEs Bank)
9. บจ.ไทยคอน	2.5	โรงงานตั้งอยู่ที่ ปทุมธานี

หมายเหตุ: * เป็นกำลังการผลิตที่รวมส่วนขยายเพิ่มขึ้นในไตรมาส 3 และ 4 ของปี 2548 แล้ว ซึ่งรวมส่วนที่ยังไม่เดินเครื่อง โดยโรงงานแต่ละแห่งจะมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 3 ล้านตารางเมตร/ ปี

** เริ่มผลิตและจำหน่ายครึ่งหลังปี 2548 มีกำลังการผลิตในระยะแรก 3 ล้านตารางเมตร และมีกำลังการผลิตจนถึง 9 ล้านตารางเมตร

สรุปแนวโน้มการแข่งขันด้านราคาของอิฐมวลเบาได้ว่า อิฐมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมและเป็นผลิตภัณฑ์ที่เข้าไปทดแทนอิฐมอญ อิฐบล็อกและแผ่นพื้นสำเร็จภาพที่เป็นวัสดุก่อสร้างแบบดั้งเดิม ประกอบกับสภาพธุรกิจก่อสร้างยังเอื้อประโยชน์ต่อการเติบโตโดยเฉพาะธุรกิจก่อสร้างในปี 2548 คาดว่าจะขยายตัวร้อยละ 15.2 ทั้งนี้การก่อสร้างภาครัฐบาลยังคงเป็นตัวนำในการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจตามนโยบายของรัฐบาลในการผลักดันโครงการเมกกะโปรเจ็กต์ ประกอบกับยังมีความต้องการจากในงานก่อสร้างอาคารสูง เช่น คอนโดมิเนียม อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล และบ้านที่อยู่อาศัย ปัจจัยดังกล่าวส่งผลดีต่อภาพรวมของตลาดอิฐมวลเบาในปี 2548 จะยังคงมีแนวโน้มเติบโตที่ดี กรณีที่ผู้ผลิตรายใหม่เข้าสู่ตลาดและการที่ผู้ผลิตรายเดิมมีการขยายกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ในปี 2548 คาดว่าจะมีกำลังการผลิตรวมประมาณ 28.85 ล้านตารางเมตร เทียบกับ 9.9 ล้านตารางเมตรของปี 2547 เพิ่มขึ้น 1.9 เท่า ปริมาณเสนอขายสินค้าในตลาดมีมากขึ้น ทำให้ผู้ผลิตต่างนำกลยุทธ์ด้านราคาเป็นแรงจูงใจเพื่อสร้างยอดขายกันมากขึ้น ถึงแม้ว่าต้นทุนการผลิตจากต้นน้ำถึง

ปลายน้ำที่ปรับตัวสูงขึ้นตามสถานการณ์ราคาน้ำมันและค่าแรงงานที่สูงขึ้น จากการแข่งขันราคาดังกล่าวจะส่งผลกำไรขั้นต้นของกิจการลดลง ปัจจุบันราคาจำหน่ายอิฐมวลเบาในตลาดอยู่ในระดับตารางเมตรละ 130-140 บาท เทียบกับ 180-200 บาทต่อตารางเมตร ในช่วงก่อนหน้า ขณะที่ผู้ผลิตรายใหม่จะต้องเผชิญกับปัญหาการแข่งขันราคา เนื่องจากสินค้ายังไม่เป็นที่รู้จักของผู้บริโภคเท่าใดนัก ซึ่งคาดว่าการแข่งขันราคาจะมีมากขึ้นในช่วงปลายปี 2548 [13]

นิตย์รดี ดอเล๊าะ [14] ได้ทำการศึกษาเรื่อง วัสดุมวลเบาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง ได้กล่าวถึงราคาอิฐมวลเบา ตารางเมตรละ 200-430 บาท ค่าวัสดุบวกค่าแรงงานต่อตารางเมตร อิฐมวลเบา ขนาดความหนา 10 ซม. ราคาเฉลี่ยประมาณ 360-400 บาท

มาตรฐานคอนกรีตมวลเบา [6] สำนักงานมาตรฐานคอนกรีตมวลเบาอุตสาหกรรม (สมอ.) ได้ออกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) เรื่อง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดโดยย่อดังนี้

1) คอนกรีตมวลเบา หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตทั่วไปที่มีขนาดเดียวกัน โดยมีฟองอากาศเล็กๆ แทรกกระจายในเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แข็งด้วยการอบไอน้ำ และไม่เสริมเหล็กเหมาะสำหรับใช้ก่อผนังด้วยวิธีก่อบาง

2) ชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบาแบ่งตามความต้านทานแรงอัดออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ และแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรออกเป็น 7 ชนิด โดยชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบามีความสัมพันธ์กันตามตารางที่ 2.3

3) ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ขนาดของคอนกรีตมวลเบาที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานนี้ออกแบบเพื่อให้เป็นไปตามระบบการประสานทางพิกัดในงานก่อสร้างอาคาร ซึ่งได้กำหนดหน่วยพิกัดมูลฐาน (พ) ให้เท่ากับ 100 มิลลิเมตร ขนาดของคอนกรีตมวลเบาเป็นไปตามตารางที่ 2.4 โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร ในกรณีมีร่องและลิ้นให้เพิ่มได้อีกมิติละ 9 มิลลิเมตร

4) ความได้ฉาก คอนกรีตมวลเบาที่ระยะ 300 มิลลิเมตร วัดจากมุมฉากจะคลาดเคลื่อนจากแนวฉากได้ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร

5) ร่องและลิ้น คอนกรีตมวลเบาอาจทำเป็นร่องและลิ้นในตัวได้ โดยขนาดของร่องและลิ้นไม่ควรเล็กกว่าเศษหนึ่งส่วนเจ็ด และไม่ควรเกินสองส่วนห้าของความหนาของคอนกรีตมวลเบา โดยในแต่ละด้านอาจมีร่องและลิ้นได้หลายแนว ความกว้างและความลึกของลิ้นในทุกๆ ด้าน ควรเล็กกว่าความกว้างและความลึกของร่องระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิเมตร

6) ร่องปูนก่อ ร่องปูนก่อที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาและมีขนาดเริ่มจากผิวบนลงมามีระยะ 1/4 และ 1/2 ของความกว้างของคอนกรีตมวลเบา

7) ร่องมือจับ กรณีที่คอนกรีตมวลเบามีขนาดใหญ่ เพื่อความสะดวกในการทำงานอาจมีร่องสำหรับมือจับด้วย

ตารางที่ 2.3 ชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบา [6]

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

ตารางที่ 2.4 ขนาดคอนกรีตมวลเบา [6]

ความกว้าง (มม.)	ความยาว (มม.)	ความหนา (มม.)
200 300 400	600	75 90 100 125 150 175 200 250

หมายเหตุ ความกว้างและความยาว เป็นค่าที่รวมความหนาของปูนก่อ 3 มม. ไว้แล้ว

2.1.1 คอนกรีตฟองอากาศ [12]

คอนกรีตชนิดนี้ สามารถผลิตได้โดยการทำให้เกิดฟองอากาศหรือก๊าซในซีเมนต์เพสต์ในลักษณะที่เมื่อแข็งตัวแล้ว เนื้อคอนกรีตจะมีโพรงอากาศเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ความจริงในซีเมนต์-เพสต์มักมีมวลรวมหยาบ ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มอร์ต้าร์ฟองอากาศ

คอนกรีตฟองอากาศทำได้ทั้งแบบหล่อสำเร็จและหล่อในที่ ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จโดยปกติบ่มด้วยไอน้ำภายใต้ความดันสูง การบ่มด้วยไอน้ำความดันสูงนั้นที่สามารถผลิตคอนกรีตฟองอากาศน้ำหนักเบาแท้จริงได้ โดยที่กำลังความแข็งแรงของคอนกรีตที่ได้และการหดตัวเมื่อแห้งอยู่ภายในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้สำหรับการใช้งานทางโครงสร้าง สำหรับการหล่อในที่ การบ่มคอนกรีตอาจจะต้องใช้อากาศธรรมชาติซึ่งมักจะทำให้กำลังของคอนกรีตที่ได้มีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของกำลังของคอนกรีตที่บ่มด้วยไอน้ำที่มีความหนาแน่นเท่ากัน และการหดตัวที่มากกว่า 4 หรือ 5 เท่า ยิ่งกว่านั้นคอนกรีตฟองอากาศที่บ่มด้วยอากาศ ไม่สามารถใช้ปูนขาวแทนปูนซีเมนต์ได้ ความหนาแน่นของคอนกรีตชนิดนี้ อยู่ในช่วงประมาณ 300-800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น คอนกรีตฟองอากาศที่หล่อในที่ จึงเหมาะสมเฉพาะสำหรับส่วนโครงสร้างที่กำลังของวัสดุไม่ใช่ประเด็นสำคัญ เช่น วัสดุฉนวนหลังคา เป็นต้น

คอนกรีตฟองอากาศหล่อสำเร็จ เช่น บล็อกคอนกรีตเบา สามารถผลิตได้หลายวิธี วิธีหนึ่งผลิตโดยการทำให้เกิดก๊าซในซีเมนต์เพสต์ (โดยปกติใช้ก๊าซไฮโดรเจน) ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น เป็นผลของการใส่ผงอะลูมิเนียมอย่างละเอียด หรือบางครั้งก็ใช้ผงสังกะสี เข้าไปทำปฏิกิริยากับปูนขาวในปูนซีเมนต์ หลังจากปฏิกิริยา อากาศจะเข้าไปแทนที่ก๊าซไฮโดรเจนอย่างรวดเร็ว ดังนั้น จึงไม่มีการเสี่ยงต่ออันตรายจากการติดไฟง่ายของก๊าซไฮโดรเจนในคอนกรีตบล็อกที่ถูกนำไปใช้งาน อีกวิธีหนึ่งการทำให้เกิดก๊าซอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างผงฟอกสีกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผลที่ได้คือก๊าซออกซิเจนวิธีหลังนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก

คอนกรีตฟองอากาศหล่อในที่ ทำขึ้นได้โดยการพ่นอากาศเข้าไปในซีเมนต์เพสต์ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องดับเพลิงฉีดน้ำยาชนิดเป็นฟอง หรือโดยการเติมสารสร้างฟองอากาศในซีเมนต์เพสต์พร้อมกับตีซีเมนต์ ให้เกิดเป็นฟองเช่นเดียวกับการตีไข่

สมบัติเด่นของคอนกรีตฟองอากาศ คือ การเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จสำหรับใช้ในงานโครงสร้าง มีผลิตออกมาในรูปต่างๆ ทั้งที่เป็นคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตเสริมเหล็กในกรณีคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้องระลึกไว้ด้วยว่าคอนกรีตฟองอากาศเต็มไปด้วยรูพรุน และต้องแน่ใจว่าเหล็กเสริมได้รับการป้องกันการเกิดสนิมอย่างดี

2.1.2 คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด [12]

คอนกรีตชนิดนี้ประกอบด้วยปูนซีเมนต์และมวลรวมหยาบเท่านั้น ขนาดของมวลรวมหยาบอยู่ระหว่าง 10-20 มิลลิเมตร ส่วนผสมลักษณะนี้ทำให้เกิดโพรงอากาศกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอทั่วเนื้อคอนกรีต มวลรวมหยาบที่ใช้สำหรับคอนกรีตนี้อาจจะเป็นชนิดเนื้อแน่นที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป เช่น กรวดหรือหินโม่ หรือวัสดุน้ำหนักเบา เช่น เถ้าผงเชื้อเพลิงเผา ตะกรันโลหะเตาถลุงหรือดินเหนียวพองตัว

น้ำหนักของคอนกรีตเบาชนิดนี้ มีค่าประมาณ 3/4 หรือ 2/3 เท่าของน้ำหนักคอนกรีตธรรมดาที่ทำด้วยคอนกรีตชนิดเดียวกัน กำลังของคอนกรีตชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับมวลรวมที่ใช้และแปรผันโดยตรงกับปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ (ปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้นกำลังของคอนกรีตก็จะเพิ่มขึ้น) ส่วนผสมที่ใช้โดยทั่วไปคือ 1:8 โดยปริมาตร และอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ประมาณ 0.45 กำลังอัดอายุ 28 วันของคอนกรีตชนิดนี้อยู่ในราว 50-80 กก./ตร.ซม. (5-8 MN/m^2) เนื่องจากกำลังรับน้ำหนักต่ำ ประโยชน์ของคอนกรีตเบาชนิดนี้ ส่วนใหญ่จึงใช้เฉพาะสำหรับทำกำแพงหรือผนังที่ไม่ต้องรับน้ำหนัก เช่น ผนังกั้นห้อง ทำกำแพงรั้ว ทำไส้ในพื้น และทำแผ่นคอนกรีตปูหลังคา เป็นต้น

การใช้คอนกรีตเบาชนิดนี้ทำผนังหรือกำแพงด้านนอก จำเป็นต้องฉาบผิวหน้า เพราะเนื้อพรุนของคอนกรีตทำให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย แต่ไม่มีปัญหาในแง่การดูดน้ำอย่างแคปพิลลารี่ เพราะฉะนั้นคอนกรีตชนิดนี้จึงเป็นพื้นผิวอย่างดีสำหรับการฉาบปูนทรายหรือปูนปลาสเตอร์ ข้อแตกต่างจากคอนกรีตเบาชนิดอื่น คือ คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดนี้มีการหดตัวเมื่อแห้งน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดาที่ทำมาจากมวลรวมหยาบอย่างเดียวกัน การเป็นสื่อนำความร้อนของผนังที่ทำด้วยคอนกรีตชนิดนี้ มีค่าพอๆ กับของผนังอิฐที่หนาเท่ากัน สำหรับความต้านทานของการซึมผ่านของน้ำฝนนั้น มีการฉาบปูนผิวหน้าไว้ดี สามารถเปรียบเทียบได้กับความต้านทานของผนังอิฐกลวงหนา 280 มิลลิเมตร

คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด ไม่เหมือนกับคอนกรีตธรรมดาตรงที่ว่า มันแปรผันง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่ใช้ ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดสำหรับมวลรวมแต่ละชนิด หาได้โดยการทดลองหลายๆ ครั้ง ปริมาณน้ำที่ถูกต้องสำหรับคอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดแต่ละชนิดจะพิจารณาได้จากผลการทดลอง คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดต้องการแรงงานก่อสร้างน้อยมาก เพราะน้ำหนักเบา ถ้าใช้ทำกำแพง จะทำได้รวดเร็วกว่าที่ทำด้วยคอนกรีตชนิดอื่นและจะประหยัดได้มาก ถ้าหากรูปแบบของอาคารซ้ำๆ กัน

ในประเด็นของการหดตัวเมื่อแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตเบาชนิดอื่นแล้ว คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดมีการหดตัวน้อยกว่า แต่อัตราการหดตัวของคอนกรีตชนิดนี้เร็วกว่าคอนกรีต

ธรรมดา เช่น ภายใน 100 วัน การหดตัวของคอนกรีตไร้มวลรวมละเอียดจะเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 80 ขณะที่คอนกรีตธรรมดาจะเกิดการหดตัวเพียงร้อยละ 60 เท่านั้น

2.1.3 คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา [12]

มวลรวมน้ำหนักเบา ส่วนใหญ่ได้มาจากการผลิตขึ้นโดยตรงจากอุตสาหกรรมหรือจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมอื่นๆ วัสดุน้ำหนักเบาที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติมีบ้างเป็นส่วนน้อย เช่น พัมมิซ มวลรวมน้ำหนักเบาที่สำคัญที่สุดทำมาจากเถ้าถ่านที่เหลือจากการเผาไหม้ กล่าวคือ ตะกรันเม็ดเตาเผา ตะกรันเตาถลุง เถ้าเชื้อเพลิงผง ดินเหนียวพองตัว หินเชลพองตัว และพัมมิซ

1) ตะกรันเม็ดเตาเผา มวลรวมชนิดนี้ผลิตขึ้นโดยการนำเอากากที่เหลือจากการเผาไหม้อย่างดีในเตาไฟ มาเผาหรือหลวมให้เป็นก้อน จนกระทั่งได้สมบัติและคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เช่น ขีดจำกัดสำหรับปริมาณซัลเฟตและปริมาณวัสดุที่เผาไหม้ไม่หมด รวมทั้งการทดสอบความคงตัวปริมาณของกากที่เผาไหม้ไม่หมดสามารถทำให้ลดลงได้โดยการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 6 มิลลิเมตรและแยกส่วนที่ละเอียดออก ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด ส่วนที่เหลือเป็นวัสดุหยาบซึ่งสามารถนำมาบด และแยกขนาดตามความต้องการได้อีกทางหนึ่ง เชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่หมดสามารถแยกออกได้โดยการนำกากที่ได้กลับมาเผาใหม่บนแท่นเผาที่สามารถใช้ลมเป่าเพื่อการเผาไหม้ที่ดีขึ้น

วัสดุที่เผาแล้วเป็นก้อนเรียกว่า ตะกรันเม็ด หรือ คลิงเกอร์ บางส่วนมีผงปูนขาวแห้งปนอยู่ สิ่งนี้จะขยายตัวอย่างช้าๆ เมื่อมันถูกน้ำ ในกรณีที่มีการฉาบปูน ปูนขาวนี้จะทำให้ปูนฉาบที่เกิดการบวมเนื่องจากน้ำในปูนฉาบ ทำให้ตะกรันเม็ดเกิดการขยายตัว การแก้ไขสามารถทำได้โดยการเก็บตะกรันเม็ดไว้ในที่ชื้นเป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ ก่อนที่จะนำมาใช้งาน สิ่งเจือปนอื่นๆ อีกอย่างหนึ่ง คือ เหล็กซึ่งสามารถทำให้เกิดรอยสนิมในคอนกรีต สิ่งเจือปนนี้ สามารถแยกออกได้โดยการใช้แม่เหล็กดูดออกขณะที่ทำการบด

ประโยชน์ของมวลรวมชนิดนี้ มีข้อจำกัดในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก เพราะสิ่งเจือปนในตะกรันเม็ดมีผลทำให้เหล็กเสริมเกิดเป็นสนิมได้ง่าย บางประเทศถึงกับห้ามใช้วัสดุนี้สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก

วัตถุดิบสำหรับทำมวลรวมชนิดนี้ เป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และโรงงานปูนซีเมนต์ ราคาโดยทั่วไปไม่แพง แต่สำหรับประเทศไทย วัสดุชนิดนี้อาจจะมีปริมาณไม่มากพอที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างได้อย่างเป็นล่ำเป็นสัน

2) ตะกรันเตาถลุง วัสดุชนิดนี้ผลิตได้โดยการนำเอาตะกรันโลหะที่เกิดขึ้นในเตาถลุงโลหะมาและให้สัมผัสกับน้ำจำนวนจำกัดจำนวนหนึ่ง ขณะที่ตะกรันโลหะยังร้อนเหลวอยู่ หรือโดยการพ่นลำไอน้ำและอากาศ ฉีดตรงไปยังมูลโลหะร้อนเหลวที่ไหลออกมา การทำเช่นนี้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ทำให้ตะกรันโลหะเกิดการขยายตัว และกลายเป็นวัสดุที่มีรูพรุนคล้ายกับพัมมิซ วัสดุที่ได้จะถูกนำมาบดแล้วร่อนแยกขนาดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการสำหรับเป็นมวลรวม ความหนาแน่นของวัสดุนี้อยู่ระหว่าง 320-880 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดที่แยกไว้

มวลรวมชนิดนี้ทำคอนกรีตหล่อในที่สำหรับเป็นฉนวนหลังคากันความร้อน แต่ส่วนใหญ่ใช้ทำคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบา นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กได้อีกด้วย แหล่งวัตถุดิบสำหรับมวลรวมชนิดนี้คือ โรงงานถลุงเหล็ก โรงงานหลอมเหล็ก และโรงงานทำเหล็กกล้า ซึ่งกำลังจะมีมากขึ้นในประเทศไทย

3) เถ้าเชื้อเพลิงผง เถ้าเชื้อเพลิงผงนี้ เป็นกากที่เหลือจากการเผาไหม้ของผงถ่านหิน กากนี้เป็นผงสีเทา และมีความละเอียดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผงเถ้าเชื้อเพลิงนี้สามารถนำมาทำเป็นมวลรวมน้ำหนักเบาได้ โดยการนำเอาผงละเอียดนี้มาทำให้ชื้น แล้วทำให้เป็นลูกกลม หลังจากการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส วัสดุที่ใช้จะมีลักษณะแข็ง เป็นปุ๋ม และมีรูพรุน วัสดุเหล่านี้สามารถนำไปบด และแยกขนาด เพื่อใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบา สำหรับทำคอนกรีตบล็อก ทำแผ่นคอนกรีตเบา ทำคอนกรีตเสริมเหล็ก กระทั่งทำคอนกรีตอัดแรงถ้าการหล่อคอนกรีตได้รับการอัดแน่นอย่างดี

ทุกวันนี้ในประเทศไทย เถ้าผงถ่านหินนี้สามารถหาได้จากโรงไฟฟ้าลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง แต่ผลพลอยได้นี้ อาจจะมีไม่มากพอสำหรับทำอุตสาหกรรมคอนกรีตเบา

4) หินสเลตพองตัว หินเชลพองตัว และดินเหนียวพองตัว เมื่อดินเหนียวบางชนิด หรือหินเชลบางชนิด ถูกนำมาเผาจนเกือบถึงจุดหลอม มันจะขยายตัวหรือพองขึ้นภายในเนื้อวัตถุ และเมื่อเย็นลงโครงสร้างวัสดุที่ประกอบด้วยโพรงเล็กๆ ยังคงอยู่ วัสดุน้ำหนักเบาที่ได้นี้ จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นมวลรวมสำหรับคอนกรีตเบา ดินเหนียวบางชนิดไม่มีสาระประกอบที่จะทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นได้เมื่อได้รับความร้อน แต่สามารถทำให้พองตัวได้ โดยการเติมวัสดุบางอย่าง ประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เพื่อช่วยให้เกิดฟองก๊าซขึ้นได้เมื่อได้รับความร้อน วัสดุตัวเดิมเหล่านี้ ได้แก่ ถ่านหิน ขี้เลื่อย แกลบ ฟาง มูลวัว และน้ำอ้อย ฯลฯ

มวลรวมแบบพองตัวนี้อาจจะผลิตให้มีลักษณะเป็นลูกกลมโดยการเผาในเตาหมุน หรืออาจจะผลิตให้เป็นเศษชิ้นเล็กชิ้นน้อยจากการบดวัสดุพรุนที่ทำขึ้นโดยการบดเผาเตาซินเตอร์ก็ได้

ประโยชน์ของมวลรวมชนิดนี้ ใช้ทำคอนกรีตบล็อก ทำชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็ก และทำชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรง

นอกจากนี้ หินสเลตบาง เมื่อนำมาเผาให้ร้อนอย่างรวดเร็ว จะเกิดการขยายตัวหรือพองตัวขึ้นคล้ายกับดินเหนียวและหินเชล วัสดุที่ได้เป็นรูพรุน และมีน้ำหนักเบา ซึ่งสามารถใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบาสำหรับคอนกรีตได้เป็นอย่างดี

ในประเทศไทย ดินเหนียวที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นวัสดุน้ำหนักเบา มีอยู่ในจังหวัดอยุธยา และจังหวัดปทุมธานี แต่เนื่องจากการเผาต้องการอุณหภูมิสูงมาก (ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส) ต้นทุนการผลิตมวลรวมน้ำหนักเบาจากดินเหนียวอาจจะสูงมากจนไม่คุ้มประโยชน์

ความหนาแน่นธรรมชาติของมวลรวมน้ำหนักเบาชนิดนี้ อยู่ในระหว่าง 300-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับดินเหนียวพองตัวและ 400-1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับหินเชลและหินสเลตพองตัว

5) พัมมิซ เป็นวัสดุน้ำหนักเบาที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการระเบิดของภูเขาไฟ การขยายตัวหนีของก๊าซที่ระเบิดขึ้น มีผลทำให้วัสดุเต็มไปด้วยรูพรุน โดยปกติวัสดุนี้มีสีอ่อน และมีเนื้อเป็นโพรงเล็กๆ เชื่อมโยงติดต่อกันอย่างสม่ำเสมอ หินภูเขาไฟอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับพัมมิซ คือ สกอเรีย ซึ่งโดยปกติมีสีเข้มกว่าเซลล์ในเนื้อวัสดุ มีรูปร่างขรุขระและขนาดใหญ่กว่า และเซลล์เหล่านี้ไม่ติดต่อกัน

พัมมิซที่ขุดได้มา โดยทั่วไป มักถูกเจือปนด้วยฝุ่นผงภูเขาไฟ ดินเหนียว และหินเชล สิ่งเจือปนเหล่านี้ ควรจะต้องล้างออกให้หมดหลังจากการบด พัมมิซที่บดจนได้ขนาดตามที่ต้องการแล้ว สามารถทำให้แข็งแกร่งยิ่งขึ้นไปอีกได้ โดยการเผาไหม้ร้อนจนเกือบถึงจุดหลอมละลาย

ประโยชน์ของหินชนิดนี้ใช้ทำคอนกรีตบล็อก ชิ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ มวลรวมน้ำหนักเบาชนิดนี้ ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับงานคอนกรีตหล่อในที่ เพราะมีแนวโน้มที่จะลอยขึ้นสู่ผิวบน ซึ่งนำไปสู่การแยกตัวของคอนกรีต ในการใช้กับเหล็กเสริม มวลรวมชนิดนี้จะต้องผ่านการล้างอย่างดีเพื่อขจัดสิ่งสกปรกเจือปน วัสดุน้ำหนักเบาชนิดนี้ ดูเหมือนจะหาได้ยากมากในประเทศไทย ความหนาแน่นธรรมชาติของพัมมิซอยู่ในระหว่าง 350-650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

6) เพอร์ไลต์และเวอร์มิคูไลต์พองตัส เพอร์ไลต์เป็นหินภูเขาไฟที่มีลักษณะคล้ายแก้ว ส่วนเวอร์มิคูไลต์เป็นแร่ที่มีลักษณะเป็นเกล็ดคล้ายไมก้า วัสดุทั้งสองชนิดนี้ เมื่อได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสม จะขยายตัวจนกลายเป็นวัสดุพรุน เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบาในคอนกรีตสำหรับป้องกันความร้อนแต่ไม่เหมาะสำหรับใช้ในงานคอนกรีตโครงสร้าง เพราะคอนกรีตที่ทำด้วยมวลรวมน้ำหนักเบาทั้งสองชนิดนี้ มีกำลังความแข็งแรงต่ำ หินทั้งสองชนิดนี้หาได้ยากมากใน

ประเทศไทย ความหนาแน่นธรรมชาติอยู่ในระหว่าง 40-200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับเพอร์ไลต์

7) ไดอะตอมไมต์ วัสดุน้ำหนักเบาชนิดนี้ เกิดขึ้นเองธรรมชาติ และมีชื่อที่รู้จักกันโดยทั่วไปหลายชื่อ เช่น Kieselguhr, Tripolite, Fossil Flour เป็นต้น ประโยชน์ที่สำคัญของวัสดุนี้ในงานก่อสร้าง คือ ใช้เป็นตัวช่วยให้คอนกรีตทำงานได้ดีขึ้น และการเผาในเตาหลุมจะทำให้วัสดุชนิดนี้กลายเป็นมวลรวมน้ำหนักเบาอย่างดีสำหรับคอนกรีต ความหนาแน่นธรรมชาติของมวลรวมชนิดนี้อยู่ในราว 430 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แหล่งวัตถุดิบในประเทศไทยอยู่ที่อำเภอเกาะคา จังหวัดลำปาง และเชื่อว่ามีเป็นจำนวนมาก ราคาวัตถุดิบชนิดนี้ค่อนข้างต่ำ

มวลรวมสารอินทรีย์ สารอินทรีย์ซึ่งเกิดตามธรรมชาติบางชนิดสามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมสำหรับคอนกรีตเบาได้ สารอินทรีย์ที่กล่าวมานี้ ได้แก่ กากของพืชผล เช่น เปลือกข้าวหรือแกลบ แต่ที่สำคัญที่สุดในบรรดามวลรวมชนิดนี้ คือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมไม้ ขี้เลื่อยสามารถใช้เป็นมวลรวมผสมกับคอนกรีตได้ และให้ผลเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า “ปูนซีเมนต์-ขี้เลื่อย” นอกจากนี้ ขี้กบก็สามารถใช้เป็นมวลรวมสำหรับคอนกรีตเบาได้ด้วย

ข้อเสียของมวลรวมชนิดนี้ คือ เมื่อคอนกรีตแห้งจะมีการหดตัวมาก ดังนั้น ประโยชน์ของมวลรวมชนิดนี้ จึงมีขอบเขตใช้งานจำกัด การหดตัวเมื่อแห้งอย่างมากนี้อาจจะแก้ไขได้ โดยการเติมทรายเข้าไปในส่วนผสมซีเมนต์ขี้เลื่อย แต่ก็ต้องแลกกับการมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และความเป็นฉนวนกันความร้อนลดลง

ในปัจจุบัน มีสารอินทรีย์สังเคราะห์เป็นจำนวนมาก ที่สามารถใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบาได้ เช่น โฟมพอลิสไตรีน และพอลิพรอพิลีนไฟเบอร์ ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับเป็นตัวฉนวนกันความร้อนสูง เนื่องจากสารสังเคราะห์เหล่านี้มีราคาแพงมากในประเทศไทย ดังนั้น จึงมีผู้ทำการทดลองนำเอาเศษพืชผลที่ทิ้งแล้วมาดัดแปลงเพื่อทำหน้าที่คล้ายกับสารสังเคราะห์ดังกล่าว และปรากฏว่าได้ผล เศษพืชผลนี้ ได้แก่ ซางข้าวโพดตากแห้ง ฯลฯ

การจำแนกประเภทของคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาตามความอัดแน่นในทางปฏิบัติ คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาอัดแน่นบางส่วน (Partially Compacted Lightweight Aggregate Concrete) ใช้กันมาก สำหรับทำชิ้นส่วนคอนกรีตบล็อก หรือแผ่นคอนกรีตเบาสำเร็จรูป ทำหลังคาและผนังกันความร้อนแบบหล่อในที่ คอนกรีตชนิดนี้ไม่เหมาะสมกับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก และไม่ควรใช้เป็นคอนกรีตโครงสร้างรับน้ำหนักมาก การที่คอนกรีตชนิดนี้จะมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับงานหนึ่งๆ ได้หรือไม่ มีความหนาแน่นต่ำพอที่จะเป็นฉนวนความร้อนที่ดีหรือไม่ และมีการ

หดตัวเมื่อแห้งน้อยพอที่จะไม่เป็นเหตุให้เกิดการแตกร้าวหรือไม่นั้น สิ่งเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวมที่ใช้ ส่วนผสมการอัดแน่นและวิธีการบ่ม อย่างไรก็ตาม การที่จะได้คอนกรีตน้ำหนักเบา ที่มีคุณสมบัติดีครบถ้วนทุกประการ อาจจะเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก สำหรับมวลรวมน้ำหนักเบาหนึ่งๆ โดยปกติการออกแบบคอนกรีตชนิดนี้ จะต้องประนีประนอมให้ได้วัตถุประสงค์ที่สำคัญที่สุดของงาน ซึ่งอาจจะเป็นความแข็งแรงหรือการเป็นฉนวนความร้อนหรือการไม่หดตัวเมื่อแห้ง เช่น สำหรับเป็นฉนวนกันความร้อน คอนกรีตต้องการมวลรวมที่มีความหนาแน่นและความแข็งแรงต่ำ อาทิเช่น เพอร์ไลต์เผาหรือเวอร์มิคูไลต์เผา หรือมวลรวมเนื้อแน่นกับส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำ แต่ในกรณีที่มีความแข็งแรงเป็นวัตถุประสงค์ที่สำคัญที่สุด ส่วนผสมคอนกรีตต้องการปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้นและมวลรวมควรเป็นพวกเถ้าเชื้อเพลิงผงหรือดินเหนียวเผา

2) คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสำหรับโครงสร้าง (Structural Lightweight Aggregate Concrete) เป็นคอนกรีตสำหรับโครงสร้างที่ได้รับการอัดแน่นอย่างดีเช่นเดียวกับคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ คอนกรีตเบาชนิดนี้ สามารถใช้กับเหล็กเสริมได้เป็นอย่างดี มวลรวมที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตชนิดนี้ คือ ตะกรันเม็ด เถ้าเชื้อเพลิงผง ดินเหนียวพองตัว หินเชลและหินสเลตพองตัว นอกจากนี้ก็มีพัมมิซ ถ้าไม่มีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่ และได้ผ่านการเผาเพิ่มความแข็งแรงแล้ว ก็อาจจะใช้กับคอนกรีตชนิดนี้ได้ อย่างไรก็ตามการใช้พัมมิซเป็นมวลรวมสำหรับคอนกรีตหล่อในที่ อาจจะมีปัญหาที่มันเบามาก และอาจจะเป็นเหตุให้เกิดการแยกตัวของส่วนผสม

2.1.4 สมบัติต่างๆ ของคอนกรีตน้ำหนักเบา [12]

1) ความแข็งแรง กำลังอัดอายุ 28 วัน สำหรับคอนกรีตเบาชนิดต่างๆ กำลังของคอนกรีตเหล่านี้อาจจะทำให้สูงขึ้นได้อีก โดยการใช้ทรายธรรมชาติแทนมวลรวมละเอียดน้ำหนักเบา แต่การทำเช่นนี้ จะทำให้คอนกรีตที่ได้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น นี่เป็นธรรมชาติของคอนกรีต คอนกรีตที่มีความหนาแน่นต่ำ เช่น คอนกรีตฟองอากาศ มักจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตที่มีเนื้อแน่นมากกว่า เช่น คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาบางชนิด มาตรฐานของอังกฤษกำหนดคอนกรีตเบาสำหรับทำคอนกรีตบล็อก จะต้องมีกำลังไม่ต่ำกว่า 28 กก./ตร.ซม (28 MN/m^2) คอนกรีตฟองอากาศเสริมเหล็กที่มีกำลังอัด 25-35 กก./ตร.ซม. (2.8-3.5 MN/m^2) เคยพิสูจน์ให้เห็นแล้วว่ามันสามารถใช้เป็นส่วนโครงสร้างรับน้ำหนักได้อย่างเป็นผลสำเร็จ

2) ค่าโมดูลัสของการแตกหักของคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาโดยทั่วไป มักจะสูงกว่าของคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักมากที่มีกำลังอัดเท่ากัน ในบรรดาคอนกรีตที่มีกำลังอัดเท่ากัน ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น หรือค่า E ของคอนกรีตเบาโดยปกติจะต่ำกว่าของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมน้ำหนักมาก ความแตกต่างในค่า E สำหรับคอนกรีตกำลังสูงจะมีมากกว่าสำหรับคอนกรีตกำลังต่ำ โดยทั่วไปค่า E ของ

คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาอยู่ในระหว่าง 1/3 ถึง 2/3 ของคอนกรีตธรรมดา ที่ใช้กรวดหรือหินไม่เป็นมวลรวม สำหรับคอนกรีตฟองอากาศ ค่า E นี้ยิ่งต่ำลงไปอีก

ควรระลึกไว้เสมอว่า ค่า E นี้มีความสำคัญมาก เพราะมันมีผลต่อการแอ่นตัวของคานรับการตัดและการโก่งตัวของเสาหรือผนังรับแรงอัด สิ่งเหล่านี้จะต้องนำมาพิจารณาเสมอในการออกแบบอาคาร

3) ความคงทน ในที่นี้หมายถึง ความสามารถของวัสดุหรือส่วนประกอบในการคงทนต่อสภาพแวดล้อม โดยที่ไม่ทำให้เกิดการเสียรูปหรือสึกกร่อนลงเรื่อยๆ ในงานโครงสร้างอาคารสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงก็คือ การกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมี ความเค้นทางกายภาพ และการกระทบกระแทกเนื่องจากแรงภายนอกทั้งหลาย

4) การกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมี มักเกิดจากน้ำใต้ดิน อากาศเสีย และสารละลายที่มีปฏิกิริยาบางชนิด คอนกรีตเบาโดยทั่วไป ไม่สามารถที่จะทนต่อสิ่งต่างๆ ที่กล่าวมานี้ได้ ทั้งนี้เพราะความมีรูพรุนมากในตัวมัน ดังนั้น คอนกรีตเบาจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้สำหรับก่อสร้างในดินชื้นที่มีสารพวกซัลเฟตปนอยู่ การกัดกร่อนเนื่องจากอากาศเสียนั้น จะมีผลมากในกรณีที่มีอากาศเสียรุนแรง แต่อย่างไรก็ตาม ในทุกกรณีคอนกรีตเบาควรจะได้มีการฉาบผิวเพื่อป้องกันการถูกกัดกร่อน

5) ความเค้นทางกายภาพ ที่มีผลต่อคอนกรีตเบา ได้แก่ ความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดน้ำแข็งภายในรูพรุนจากการหดตัวเมื่อแห้งและจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวทางความร้อนของคอนกรีตเบามีค่าระหว่าง $8\text{-}9\times10^{-6}/^{\circ}C$ ซึ่งไม่ต่างไปกว่าคอนกรีตธรรมดาเท่าไรนัก ดังนั้น ผลของการเกิดน้ำแข็งที่กระทำกับคอนกรีตเบา จึงคล้ายกับที่เกิดในคอนกรีตธรรมดาภายใต้สภาวะเดียวกัน การหดตัวเมื่อแห้งและการเปลี่ยนแปลงเมื่อชื้นในคอนกรีตเบามีมากกว่าในคอนกรีตธรรมดา ในบางกรณีค่าเหล่านี้สูงมากและจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องนำมาคิดให้ละเอียดในการออกแบบ

6) การแตกหักของคอนกรีตเนื่องจากแรงภายนอก อาจจะมีผลมาจากการขัดสี การกระทบกระแทก และการรับน้ำหนักมากเกินไป คอนกรีตเบาบางชนิด เช่น คอนกรีตฟองอากาศ อาจจะเกิดการแตกหักได้ง่ายเมื่อได้รับการขัดสี ความอ่อนแอของวัสดุชนิดนี้ อาจจะนำไปสู่ความเสียหายของอาคารทั้งหลังก็เป็นไปได้ ดังนั้น ในการใช้คอนกรีตเบาแต่ละชนิด ควรให้ความระมัดระวังอย่างถูกต้องโดยเฉพาะในระหว่างการก่อสร้าง

7) การเป็นสนิมของเหล็ก เป็นอุปสรรคสำคัญอย่างหนึ่ง ที่ทำให้คอนกรีตเบาไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายในงานคอนกรีตเสริมเหล็กเท่าที่ควร คือ ความเป็นรูพรุนของเนื้อคอนกรีต ซึ่งอาจจะเป็นช่องทางให้อากาศเสียและความชื้นเข้าไปกัดเหล็กเสริมได้ง่าย อย่างไรก็ตาม เรื่องนี้สามารถป้องกันได้

โดยการใช้คอนกรีตเบาประเภทอัดแน่นอย่างดีสำหรับงานโครงสร้าง คอนกรีตชนิดนี้โดยเฉพาะที่ผสมด้วยมวลรวมน้ำหนักเบาที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาทางเคมี สามารถเป็นตัวต้านทานต่อการเกิดสนิมของเหล็กและการเสื่อมโทรมของตัวมันเองได้อย่างดีพอๆ กับคอนกรีตธรรมดา ความจริงคุณภาพของคอนกรีตเองก็มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมรรถนะ และความทนทานของคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำจากมวลรวมน้ำหนักเบาชนิดต่างๆ ทั้งในทวีปยุโรปและอเมริกาได้สนับสนุนประโยชน์ของวัสดุนี้อย่างมาก เช่น การทำเรือคอนกรีตเบาเสริมเหล็กในระหว่างสงครามโลกทั้งสองครั้ง การทำอาคารที่อยู่อาศัยและโรงงานบนฝั่งทางทะเลทางตอนใต้ของประเทศมานานกว่า 50 ปีแล้ว และการทำแผ่นวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับเหมืองถ่านหิน เป็นต้น

การเกิดสนิมนั้น เนื่องมาจากความชื้นและก๊าซออกซิเจนอิสระทำปฏิกิริยากับเหล็ก และในบรรยากาศที่มีสารประกอบซัลเฟอร์และคลอไรด์ การผุกร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้น เพื่อการป้องกันให้เพียงพอ คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมต้องหนาอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร แต่ในกรณีที่สภาพแวดล้อมเลวร้ายจริงๆ เช่น ในบรรยากาศที่ชื้นมากๆ หรือในดินที่มีสารเคมีเป็นปฏิปักษ์ คอนกรีตหุ้มควรจะมีความหนา 75 มิลลิเมตร ขึ้นไป ไม่ว่ามวลรวมที่ใช้จะเป็นชนิดใดก็ตาม

สำหรับคอนกรีตฟองอากาศเสริมเหล็ก เหล็กเสริมต้องได้รับการป้องกันอย่างดีโดยการเคลือบผิวก่อนการเทคอนกรีต การเคลือบผิวนี้ โดยปกติใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับยางลาเท็กซ์ธรรมชาติหรือสารบิทูเมนแข็ง วัสดุทั้งสองอย่างนี้เมื่อจับแน่นกับเหล็กแล้วสามารถกันน้ำซึมผ่านได้อย่างดี

8) การซึมของน้ำฝน หน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งของผนังอาคารด้านนอก คือ การป้องกันน้ำฝน ในกรณีที่ทำผนังสองชั้นแบบที่มีช่องว่างข้างใน ปัญหาเรื่องการซึมของน้ำฝนอาจจะไม่เกิดขึ้นเลย แต่ในกรณีของผนังบางชั้นเดียวนั้น มักจะมีปัญหาเรื่องน้ำฝนซึมผ่านมาก ในการซึมผ่านของผนังน้ำฝนนั้นบางครั้งน้ำฝนจะซึมผ่านเข้าทางเนื้อคอนกรีตโดยตรง แต่ส่วนใหญ่แล้ว น้ำฝนมักจะซึมผ่านเข้าทางช่องรอยแตกบริเวณรอยต่อมากกว่า คอนกรีตยิ่งกันน้ำได้ดีเท่าไร ความชื้นก็จะซึมผ่านเข้าทางรอยแตกของรอยต่อมากขึ้นเท่านั้น คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบานั้น มีช่องว่างรูพรุนที่ผิว ดังนั้น การใช้วัสดุชนิดนี้ทำผนังที่มีความหนาเพียงพอและทำอย่างถูกต้องแล้วมักสามารถให้การต้านทานอย่างดีต่อการซึมผ่านของน้ำฝน สำหรับการฉาบผิวนั้นถ้าฉาบด้วยปูนหยาบให้เป็นฟองอากาศด้วย มันจะช่วยป้องกันการซึมของน้ำฝนเพิ่มขึ้น

ด้วยเหตุผลข้างต้น คอนกรีตฟองอากาศที่ไม่มีการฉาบผิว จึงมีการซึมผ่านของน้ำฝนเพียงเล็กน้อย ถ้าหากผนังไม่บางมากจนเกินไปแล้ว ไม่จำเป็นต้องห่วงเรื่องการซึมผ่านของน้ำฝนสำหรับกรณีนี้ แต่ในทางปฏิบัติ ผนังชนิดนี้ควรจะมีการป้องกันผิวของคอนกรีต เพราะถ้ามีความชื้นสะสมอยู่ในกำแพงมากๆ แล้ว ความสามารถในการป้องกันความร้อนของผนังก็จะลดน้อยลง

9) การหดตัวเมื่อแห้งและการคืบตัว ผลิตภัณฑ์จากปูนซีเมนต์ทุกชนิดมักจะแสดงการยืดหดตัวเมื่อมันได้รับการเปลี่ยนแปลงของความชื้น เมื่อคอนกรีตแห้งใหม่ๆ มักจะเกิดการหดตัว ซึ่งเรียกกันว่า “การหดตัวเมื่อแห้งครั้งแรก” หลังจากนั้นการเปียกและแห้งจะมีผลให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวและหดตัวสลับกันไป ซึ่งอาจจะเรียกว่าเป็น “การยืดหดตัวตามความชื้นซึ่งกลับไปกลับมาได้” ผลของการหดตัวของคอนกรีตจะทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในเนื้อคอนกรีต ถ้าคอนกรีตนี้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่มีขอบเขตการเคลื่อนที่จำกัด มันก็จะเกิดการแตกร้าวขึ้น

คอนกรีตที่ทำด้วยมวลรวมน้ำหนักเบาโดยทั่วไป มีการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าคอนกรีตธรรมดา สำหรับคอนกรีตที่ทำด้วยมวลรวมหยาบชนิดเดียวกัน คอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียด จะหดตัวน้อยกว่าคอนกรีตที่มีมวลรวมละเอียด จะหดตัวน้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียด คอนกรีตฟองอากาศหล่อสำเร็จ มีค่าการหดตัวเมื่อแห้งใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา แต่คอนกรีตฟองอากาศหล่อในที่อาจจะมีค่ามากกว่า 5 เท่าหรือ 10 เท่า ในบางครั้งค่าของการหดตัวเมื่อแห้งสำหรับคอนกรีตชนิดต่างๆ เหล่านี้มีความจำเป็นมากที่จะต้องนำมาคิดในการออกแบบเพื่อป้องกันการแตกร้าว เช่น การเสริมเหล็กตามจุดต่างๆ ที่คิดว่าการแตกร้าวอาจจะเกิดขึ้นได้ หรือการทำข้อต่อไว้ ณ จุดที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงดึงขึ้นในเนื้อคอนกรีต

คอนกรีตไม่ได้มีการเปลี่ยนรูปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นเท่านั้น แต่มันยังมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรเมื่อมันได้รับความเค้นติดต่อกันเป็นเวลานาน พฤติกรรมเช่นนี้เรียกว่า การคืบตัว (Creep) ของคอนกรีตจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดการรับน้ำหนัก ส่วนผสมของคอนกรีตและขนาดของชิ้นส่วน

สำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัดเท่ากัน คอนกรีตเบาส่วนใหญ่จะมีการคืบตัวการยืดหดตัวตามความชื้นมากกว่าคอนกรีตธรรมดา ข้อดีของการคืบตัวมากๆ คือมันอาจจะช่วยลดความเค้นแรงดึงเนื่องจากการหดตัวเมื่อแห้ง และลดภัยจากการแตกร้าวได้ ในงานคอนกรีตอัดแรง การคืบตัวเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา เพราะมันจะนำไปสู่การสูญเสียแรงอัดหลัง

10) การป้องกันไฟ เมื่อเกิดเพลิงไหม้โครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กกล้าหรืออะลูมิเนียมอัลลอยจะยืนหยัดอยู่ได้ไม่นาน เพราะเมื่ออุณหภูมิของเหล็กกล้าถึง 555°C และอะลูมิเนียมราวๆ 200-250°C กำลังของโลหะเหล่านี้จะตกลงทันทีภายในสองสามวินาทีที่เกิดเพลิงไหม้ ดังนั้น เพื่อที่จะหน่วงเหนี่ยวกำลังของโครงสร้างเหล็กกล้าไว้ การหุ้มห่อเหล็กกล้าด้วยคอนกรีต จึงเป็นสิ่งที่มีประโยชน์มาก ตามหลักปฏิบัติโดยทั่วไปกำหนดให้คอนกรีตหุ้มมีความหนาไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร จึงจะต้านทานความร้อนจากไฟได้เพียงพอ อย่างไรก็ตาม การพองตัวของเนื้อคอนกรีตอาจจะเกิดขึ้นได้ ถึงกระนั้นก็ตาม การทำเช่นนี้ก็ยังช่วยหน่วงไฟไว้ได้มาก ทั้งนี้เนื่องจากการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี คอนกรีต

เบาจึงเป็นวัสดุอย่างดีเลิศสำหรับป้องกันโครงสร้างเหล็กกล้าในเวลาเกิดเพลิงไหม้ คอนกรีตสำหรับห่อหุ้มสมัยใหม่นี้ทำเป็นรูปบล็อกหรือเป็นแผ่นตัวอย่าง เช่น คอนกรีตฟองอากาศ คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา คอนกรีตบล็อก วัสดุน้ำหนักเบาที่ใช้กันมาก มีตะกรันเตาเผา ดินเหนียวพองตัว เถ้าเชื้อเพลิงผง และพัมมิซ วัสดุเหล่านี้ ถือว่าเป็นมวลรวมน้ำหนักเบาชั้นหนึ่งในแง่ของการต้านทานไฟและตัวมันเองก็ทนไฟได้ดีด้วย

11) การเป็นฉนวนความร้อน ลักษณะที่เด่นที่สุดของคอนกรีตเบา คือ การเป็นตัวนำความร้อนที่เลว สมบัตินี้มีผลเนื่องมาจากโพรงอากาศในวัสดุ ความต้านทานการไหลผ่านของความร้อนนี้ซึ่งมีประโยชน์สำหรับประเทศอากาศหนาวมากพอๆ กับประเทศอากาศร้อน ในการทำให้อากาศภายในอาคารมีอุณหภูมิที่พอเหมาะ และช่วยลดค่าใช้จ่ายของเครื่องทำความร้อนหรือเครื่องปรับอากาศ ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตเบาชนิดต่างๆ ได้แสดงไว้เพื่อเปรียบเทียบในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าการเป็นตัวนำความร้อนของคอนกรีตน้ำหนักเบาชนิดต่างๆ [12]

วัสดุ (Material)	**ความหนาแน่นของคอนกรีต (Dry Density of Concrete) กก./ม.^{3} (kg./m.^{3})**	**การเป็นตัวนำความร้อน (Thermal Conductivity 'K' value) W/m deg C**	**Btu in/ft^2 deg F**
Aerated Concrete	400-800	0.08-0.20	0.60-1.4
Lightweight Aggregate Concrete :	400-1120	0.11-0.29	0.75-2.0
Expanded Vermiculite And Perlite	720-1280	0.14-0.36	1.0-2.5
Pumic	960-1520	0.22-0.43	1.5-3.0
Foamed Slag	960-1200	0.33-0.46	2.3-3.2
Expanded Clay Or Shale	1040-1520	0.35-0.58	2.4-4.0
Clinker Dense Concrete	2320	1.2-1.7	8-12

ในปี 1960 I.A. Benjamin [10] ได้ศึกษาและสามารถผลิต Foam Concrete โดยใช้สารเคมีทำให้เกิดฟองก่อน แล้วจึงผสมกับคอนกรีต ปรากฏว่าคอนกรีตมีความหนาแน่น 0.79-0.95 ตัน/

ลบ.ซม. มีกำลังรับแรงอัด 3.6-52.7 กก./ตร.ซม. โดยมีการหดตัวที่ 180 วัน เท่ากับ 0.2-0.6 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติเด่นคือ เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี

ในปี 1976 C. Bagon และ S. Frondistou-Yannas ได้ทำการศึกษาและผลิตคอนกรีตเบาชนิด Aerated Concrete โดยใช้ส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสาม น้ำ ทรายละเอียด และสารทำให้เกิดฟอง ได้คอนกรีตมีความหนาแน่น 0.845 ตัน/ลบ.ม. กำลังรับแรงอัด 48 กก./ตร.ซม. Modulus of Elasticity (E_c) เท่ากับ 5.9×10^4 กก./ตร.ซม.

ตารางที่ 2.6 ความหนาแน่นและกำลังอัดลูกบาศก์ของคอนกรีตน้ำหนักเบาชนิดต่างๆ [12]

ชนิดของคอนกรีต	มวลรวม	ความหนาแน่นของมวลรวม กก./ม.^{3} (kg./m.^{3})	ความหนาแน่นของคอนกรีต กก./ม.^{3} (kg./m.^{3})	กำลังอัดลูกบาศก์เมื่ออายุ 28 วัน MN/m.^{2}	กก./ซม.^{2}
คอนกรีตฟองอากาศ (Aerated Concrete)			400-800	1.4-4.9	14-49
คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาอัดแน่นบางส่วน (Partially Compacted Lightweight Aggregate Concrete)	Expanded	64-240	400-1120	0.5-3.5	50-35
	Eermiculite and Perlite	320-880	720-1120	1.4-4.9	14-49
	Pumice	480-960	960-1520	1.4-5.6	14-56
	Foamed Slag	640-960	1120-1280	2.8-7.0	28-70
	Sintered Pulverizedfuel Ash	560-1040	960-1200	5.6-8.4	56-84
	Expanded Clay Or Shale Clinker	720-1040	1040-1520	2.1-7.0	21-70
คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด (No-Fines Concrete)	Natural Aggregate	1360-1600	1600-1920	4.2-14.0	42-140
	Lightweight Aggregate	480-1040	880-1200	2.8-7.0	28-70
คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสำหรับโครงสร้าง (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 Pulverizedfuel 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
อิฐมอญ	-	-	1300	15.0-40.0	150-400
คอนกรีตในงานวิจัย	-	-	1265-1797	6.9-17.5	69-175

หมายตุ * คอนกรีตเหล่านี้มีเนื้อแน่นโดยการใช้ทรายละเอียดแทนมวลรวมละเอียดน้ำหนักเบา

ตารางที่ 2.7 ค่าการหดตัวเมื่อแห้งของคอนกรีตน้ำหนักเบาชนิดต่างๆ [12]

วัสดุ (Material)	การหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage) Percent
คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด (No-Fines Concrete)	
- Natural Aggregate	0.018
- Lightweight Aggregate	0.025
คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา (Lightweight Aggregate Concrete)	
- Expanded Vermiculite	0.25-0.35
- Pumice	0.04-0.10
- Foamed Slag	0.03-0.07
- Sintered Pulverized-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

2.1.5 ประโยชน์ของคอนกรีตน้ำหนักเบา [12]

คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา และคอนกรีตฟองอากาศหล่อสำเร็จ นิยมใช้กันมากสำหรับทำคอนกรีตบล็อก บล็อกเหล่านี้อาจทำเป็นแบบกลวงหรือแบบเนื้อเต็มก็ได้ และสามารถผลิตได้ง่ายมากในขนาดต่างๆ หลายขนาด คุณสมบัติต่างๆ เช่น ความหนาแน่น ความแข็งแรง และการเป็นฉนวนความร้อนของคอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบานี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวม ส่วนผสมของคอนกรีต และวิธีการผลิต ในการใช้คอนกรีตบล็อกน้ำหนักเบาเหล่านี้ทำผนังอาคารด้านนอก ถ้าไม่ใช่ผนังสองชั้นแบบเป็นโพรงข้างใน โดยปกติการฉาบผิวก็เป็นสิ่งจำเป็นเช่นเดียวกับในกรณีของคอนกรีตธรรมดา

ผนังอาคารหล่อในที่ คอนกรีตไร้มวลรวมละเอียด ทั้งที่ทำด้วยมวลรวมหยาบน้ำหนักเบาและมวลรวมหยาบธรรมดา มีประโยชน์มากสำหรับทำผนังรับน้ำหนักแบบหล่อในที่ทั้งภายนอกและ

ภายในและผนังไม่รับน้ำหนักที่เป็นส่วนประกอบอุดช่องว่างระหว่างโครงของโครงสร้างอาคาร ผนังด้านนอกที่ทำด้วยคอนกรีตไร้มวลละเอียดนี้ก็จำเป็นต้องมีการฉาบผิวเช่นกัน

คอนกรีตน้ำหนักเบาเสริมเหล็ก คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสามารถนำไปใช้กับส่วนโครงสร้างที่สำคัญเช่นเสาและคานได้ ถ้าได้รับการอัดแน่นอย่างดีสำหรับกรณีที่ความแข็งแรง มีความสำคัญน้อยกว่าการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาที่ใช้ อาจจะไม่ต้องอัดแน่นมากก็ได้ คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบากำลังอัดสูง สามารถทำได้โดยการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสม การให้ส่วนผสมที่ถูกต้อง และการอัดแน่นที่ดี การเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตนี้ มักจะตามมาด้วยการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น ความหนาแน่น กำลังดึง และโมดูลัสยืดหยุ่น เพราะฉะนั้น คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาที่ใช้ อาจจะไม่ต้องอัดแน่นมากก็ได้ คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบากำลังอัดสูง สามารถทำได้โดยการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสม การให้ส่วนผสมที่ถูกต้องและการอัดแน่นที่ดี การเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตนี้ มักจะตามมาด้วยการเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เช่น ความหนาแน่น กำลังดึง และโมดูลัสยืดหยุ่นเพราะฉะนั้น คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาส่วนใหญ่ สามารถใช้ได้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก แม้กระทั่งงานคอนกรีตอัดแรง แต่ต้องนำเอาคุณสมบัติพิเศษต่างๆ ของวัสดุมาพิจารณาในการออกแบบโครงสร้างอาคารด้วย

นอกจากนี้ คอนกรีตฟองอากาศหล่อสำเร็จ ก็สามารถใช้เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กได้ด้วย ถ้ามีการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กอย่างดี

คอนกรีตรองพื้น น้ำหนักของหลังคาแบบเรียบและพื้นคอนกรีตของอาคารสามารถทำให้ลดลงได้มาก ถ้าใช้คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาประเภทอัดแน่นบางส่วนหรือคอนกรีตฟองอากาศแบบหล่อในที่เป็นวัสดุรองพื้น นอกจากการช่วยลดน้ำหนักของอาคารลงแล้ว คอนกรีตรองพื้นน้ำหนักเบานี้ยังเป็นฉนวนกันความร้อนอย่างดีอีกด้วย การรองพื้นนี้มักจะต้องทับด้วยปูนซีเมนต์ผสมทรายสะอาดหรือมวลรวมละเอียดอื่นๆ ในอัตราส่วน 1 : 4 ก่อนการปูด้วยกระเบื้องหลังคาหรือการตกแต่งพื้น

ความหนาแน่นของคอนกรีตรองพื้นนี้ไม่ควรต่ำกว่า 40 มิลลิเมตร แต่เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนของหลังคา ความหนาอาจจะต้องมากกว่านี้ ชนิดของคอนกรีตน้ำหนักเบาที่จะนำมาใช้ในงานนี้ มีดังต่อไปนี้ พวกเพอร์ไลต์พองตัวหรือเวอร์มิคูลไลต์พองตัว และคอนกรีตฟองอากาศ ซึ่งทำให้น้ำหนักเบาและเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี แต่ถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังสูงด้วย ควรใช้พวกตะกรันเตาถลุง เถ้าเชื้อเพลิงผง หรือดินเหนียวพองตัว หินเชล หรือหินสเลตพองตัว ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม 1 : 8 ถึง 1 : 10

สรุป คอนกรีตน้ำหนักเบาทั้งหมดที่ได้กล่าวมา โดยทั่วไปมีความแข็งแรงน้อยกว่าคอนกรีตเนื้อแน่นสำหรับปริมาณปูนซีเมนต์และอัตราส่วนน้ำ-ปูนซีเมนต์เท่ากัน แต่ค่าความเป็นฉนวนทางความร้อนของคอนกรีตน้ำหนักเบาดีกว่าของคอนกรีตธรรมดาหลายเท่า โดยประมาณค่าความเป็นฉนวนความร้อนของคอนกรีตเป็นสัดส่วนอย่างผกผันกับความหนาแน่นและกับความแข็งแรงของคอนกรีต ข้อดีของคอนกรีตเบาก็คือ ความเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีต สามารถทำให้เพิ่มขึ้นได้โดยไม่ทำให้เสียกำลังความแข็งแรงมากนัก คอนกรีตน้ำหนักเบาทั้งสามชนิด มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ในการทำให้บ้านอบอุ่นสำหรับประเทศอากาศหนาว และทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำความเย็นลดลงสำหรับประเทศอากาศร้อน

ถึงแม้ว่าในบางครั้งมวลรวมอาจจะมีราคาแพงกว่ามวลรวมเนื้อแน่น แต่การใช้คอนกรีตน้ำหนักเบาทำพื้นและผนังสามารถลดน้ำหนักของอาคารได้มากกว่าถึงร้อยละ 20 นับว่าเป็นการประหยัดมากทีเดียว อาคารสูงหลายชั้นในประเทศสหรัฐอเมริกา ทำพื้น ผนังและหลังคาด้วยคอนกรีตเบามาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2488 และในประเทศอังกฤษตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 ประเทศสวีเดนรู้จักใช้ประโยชน์ของคอนกรีตฟองอากาศมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2468

2.1.6 การประยุกต์ใช้งานคอนกรีตมวลเบา [15]

บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด ได้กล่าวถึง คอนกรีตมวลเบาไว้ในหนังสือซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน ดังนี้

ประวัติการใช้งาน วัสดุก่ออีกชนิดหนึ่ง ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมสำหรับงานก่อสร้าง ได้แก่ Autoclaved Aerated Concrete หรือเรียกว่า คอนกรีตมวลเบา (บางที่นิยมใช้คำว่า อิฐมวลเบา) เริ่มมีการค้นคว้าพัฒนาในแถบยุโรปเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2466 และผลิตจำหน่ายประมาณปี พ.ศ. 2473 เนื่องจากคุณสมบัติเด่นของวัสดุซึ่งสามารถใช้งานได้ดีในสภาวะอากาศที่รุนแรง เช่น แถบอากาศหนาวจัดในแถบยุโรปและญี่ปุ่นตอนบน มีน้ำหนักเบาทำให้ประหยัดโครงสร้างและมีความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี เริ่มมีการผลิตใช้ในประเทศตั้งแต่ประมาณปี พ.ศ. 2538 มีลักษณะเป็นก้อนสีขาว มีรูพรุน ขนาดก้อน 20×60 เซนติเมตร หนา 7.5-10.0 เซนติเมตร เป็นต้น

วัตถุดิบ คอนกรีตมวลเบา ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย ยิปซัม ปูนขาว ผสมกับน้ำและผงอะลูมิเนียม (ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ)

การขึ้นรูป การผลิตคอนกรีตมวลเบา จะผลิตโดยใช้เครื่องจักรควบคุม ในขั้นตอนแรกจะผสมวัตถุดิบชนิดต่างๆ เข้าด้วยกัน เมื่อผงอะลูมิเนียมผสมกับน้ำ จะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่ไม่ต่อเนื่องกัน (Close Cell) กระจายอยู่ทั่วเนื้อวัสดุ (ปริมาณฟองอากาศจะมากถึง 75% ของเนื้อวัสดุโดยปริมาตร) ทำให้วัสดุมีน้ำหนัก และมีความเป็นฉนวนที่ดี หลังจากนั้น จะตัดเป็นก้อนด้วยเส้นลวดตาม

ขนาดต่างๆ ที่ต้องการ และนำไปอบในเตาอบไอน้ำความดันสูงขนาดใหญ่ (High Pressure Steam Autoclave) ด้วยอุณหภูมิประมาณ 180˚C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง การผลิตคอนกรีตมวลเบา มีมาตรฐานควบคุม มอก. 1505 คอนกรีตมวลเบาแบบกระจายกักฟองอากาศอบไอน้ำ

วิธีการใช้งาน คอนกรีตมวลเบา หรืออิฐมวลเบา สามารถใช้เป็นวัสดุก่อผนังได้ทั้งภายในและภายนอกอาคารปูนก่อนี้ จะมีความหนาเพียง 2-3 มิลลิเมตรเท่านั้น

ก่อนเริ่มการก่อในชั้นแรกจะใช้ปูนทรายทั่วไป ปรับระดับพื้นเสียก่อน จากนั้นทำการก่อโดยสลับก้อนและจะต้องยึดเพลท (Metal Strap) หรือหนวดกุ้งทุกๆ 2 ชั้น เนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาจะแตกต่างจากอิฐทั่วไปมาก จึงต้องการปูนฉาบที่อุ้มน้ำและยึดเกาะได้ดีเป็นพิเศษ ผิวปูนฉาบจะมีความหนาเพียง 5-10 มิลลิเมตร เท่านั้น

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบสมบัติทั่วไปของอิฐมอญกับบล็อกมวลเบา [12]

สมบัติ	อิฐมอญ	คอนกรีตมวลเบา	หน่วย
น้ำหนัก หนา 75 มม.	130	45	กก./ตร.ม.
น้ำหนักรวมปูนฉาบ 2 ด้าน	180	90	กก./ตร.ม.
จำนวนชิ้นต่อหนึ่ง ตร.ม.	130-145	8.33	ก้อน/ตร.ม.
ค่ากำลังอัด	15-14	30-80	กก./ตร.ซม.
ค่าการนำความร้อน	1.15	0.13	วัตต์/ม.เคลวิน
ค่าการถ่ายเทความร้อน OTTV	58.70	32-42	วัตต์/ตร.ม.
การกันเสียง	38	43	เดซิเบล
การทนไฟ	1-2	4	ชั่วโมง
ความเร็วในการก่อ	6-12	15-25	ตร.ม./วัน
เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย/ แตกร้าว	10-30	0-3	ร้อยละ
การติดตั้งวงกบประตู-หน้าต่าง	ต้องหล่อเสาเอ็นทับหลังต้องมีค้ำยัน	ไม่ต้องเททับหลังไม่ต้องมีค้ำยัน	

มาตรฐานอ้างอิง : มอก.1510-2541, DIN4165, 4166, 4223, JIS A5416-1995

ตารางที่ 2.9 อัตราการกันเสียง (Acoustic Performance) [16]

ความหนา Block	ตกแต่งผิว	อัตราการกันเสียง (เดซิเบล) SCT Ratings
10 ซม.	ไม่ฉาบ 38	43
	ฉาบหนา 1 ซม.	
15 ซม.	ไม่ฉาบ 43	46
	ฉาบหนา 1 ซม.	
20 ซม.	ไม่ฉาบ 48	50
	ฉาบหนา 1 ซม.	

ตารางที่ 2.10 อัตราการทนไฟ (Fire Rating) [16]

ความหนา (ซม.)	7.5	10.0	12.5	15.0	20.0
อัตราการทนไฟ (ชั่วโมง)					
- ผนังไม่รับน้ำหนัก	4 ซม.	4 ซม.	4 ซม.	6 ซม.	8 ซม.
- ผนังรับน้ำหนัก	-	2 ซม.	2 ซม.	4 ซม.	4 ซม.

ตารางที่ 2.11 การเปรียบเทียบสมบัติวัสดุก่อสร้างประเภทต่างๆ [16]

รายการ	อิฐมอญ	คอนกรีตบล็อก	คอนกรีตมวลเบา
ขนาด ก × ย ×ส (ซม.)	7×15×6	20×40×7	20×60×7.5 20×60×10.0
น้ำหนักวัสดุ (กก./ตร.ม.)	130	115	50
น้ำหนักผนัง (กก./ตร.ม.)[1]	200	180	125
จำนวนก้อน ต่อตารางเมตร	120	12.5	8.33
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)	20-40	10.15	35-80
อัตราการดูดซึมน้ำ (%โดยปริมาตร)	40%	-	30.23%
ค่าการหดตัวเมื่อแห้ง (Drying Shrinkage)(มม./ตร.ม.)	1.8	-	0.2
ค่าความต้านทานความร้อน (P) (ตร.ม.องศาเซลเซียส/วัตต์)	0.073	-	0.843

ตารางที่ 2.11 การเปรียบเทียบคุณสมบัติวัสดุก่อสร้างประเภทต่างๆ [16] (ต่อ)

รายการ	อิฐมอญ	คอนกรีตบล็อก	คอนกรีตมวลเบา
ค่าการนำความร้อน (K) (W/mK)	1-15	-	0.089-0.132
อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) (วัตต์/ตารางเมตร)	58-70	-	32-42
อัตราการทนไฟ (ชม.) (2)	1-2	-	4
ความหนาของปูนก่อ (ซม.)	1.5-2.0	1.0-1.5	0.23
ปูนก่อที่ใช้	ปูนซีเมนต์ผสม	ปูนซีเมนต์ผสม	ปูนก่ออิฐมวลเบา
ความหนาของปูนฉาบ (ซม.)	1.5-3.0	1.5-3.0	0.3-1.0
ปูนฉาบที่ใช้	ปูนซีเมนต์ผสมหรือปูนซีเมนต์ Masonry		ปูนฉาบอิฐมวลเบา
ความเร็วในการก่อ (ตร.ม./วัน)	6-8	12	15-25
การตอกตะปู	ตอกได้แข็งแรง	อาจแตกได้เล็กน้อย	ต้องใช้พุก

หมายเหตุ : (1) คิดรวมปูนก่อและปูนฉาบ 2 ด้าน ที่ความหนาผนัง 10 เซนติเมตร

(2) คิดอัตราการทนไฟ 1,100°C ที่ความหนาผนัง 10 เซนติเมตร

2.2 กากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิค

กระบวนการและขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตกระเบื้องหลังคาเซรามิคมีความแตกต่างกันไป แต่ทุกโรงงานมักจะมีกากตะกอนจากกระบวนการผลิตที่ต้องมีกำจัดทิ้งออกเป็นจำนวนมากในแต่ละปี และถือเป็นเรื่องที่ทุกโรงงานต้องให้ความสนใจปฏิบัติในการกำจัดกากตะกอนดินทั้งหลาย ซึ่งต้องมีค่าใช้จ่ายในการขนย้าย การขนส่ง การกำจัดที่ยุ่งยากและราคาสูง

ดร.คชินท์ สายอินทวงศ์ ได้กล่าถึงในบทความ การกำจัดของเสียในอุตสาหกรรมเซรามิค เรื่อง แนวทางการกำจัดของเสียในอุตสาหกรรมเซรามิค [17] อุตสาหกรรมเซรามิคก็เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดปัญหามลภาวะไม่ว่าจะเป็นเรื่องความร้อน ฝุ่น เสียง ของเสียที่ทิ้งออกนอกโรงงานทั้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เผาแล้ว (ซึ่งแน่นอนว่ายากแก่การย่อยสลาย ผ่านไปอีกพันปีมนุษย์อาจขุดพบกองโถส้วมโบราณที่พวกเราทิ้งเป็นขยะเอาไว้ในวันนี้ก็ได้) น้ำเสีย ตะกอนจากกระบวนการแบบปลาสเตอร์ที่หมดอายุ ซากแผ่นรองเผา Ceramic Roller และอื่นๆ อีกมากที่เป็นของเสียในอุตสาหกรรม บทความนี้จะขอเสนอแนวทางต่างๆ ในการกำจัดของเสียในอุตสาหกรรมเซรามิคที่

หลายๆ บริษัทได้มีการดำเนินการไปแล้วและได้ผลเป็นอย่างดี นอกจากจะช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมแล้วก็ยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้อีกมาก โดยจะแบ่งประเภทของของเสียออกเป็น 5 จำพวกด้วยกันได้แก่

1) ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาแล้ว ได้แก่ Scrap ที่เป็นตำหนิรุนแรงที่ไม่อาจขายได้ แบบปลาสเตอร์ Kiln Furniture, Ceramic Roller

2) ฝุ่นจากการบดย่อยแร่ จากการ Spray Dryer จากกระบวนการขึ้นรูปและตกแต่งผลิตภัณฑ์

3) ตะกอนจากกระบวนการผลิต เช่น ตะกอนของน้ำดินจากการล้างพื้นหรือหม้อบด, ตะกอนของสีเคลือบจากการล้างหม้อบดและอุปกรณ์ในการเคลือบและถังเก็บ รวมทั้งกากที่มาจากกระบวนการกรอง

4) น้ำเสียที่ออกมาจากกระบวนการไม่ว่าจะเป็นกระบวนการเตรียมน้ำดิน น้ำเคลือบ กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการเคลือบ

5) ความร้อนที่มาจากกระบวนการเผา

แนวทางการกำจัดของเสียประเภทต่างๆ มีวิธีการแตกต่างกันไป การกำจัดของเสียประเภทตะกอนส่วนใหญ่จะผ่านกระบวนการ Treatment น้ำที่ออกมาจากกระบวนทั้งการเตรียมเนื้อดินและสีเคลือบ รวมทั้งกากที่เหลือค้างบนตะแกรงสั่นในกระบวนการกรองน้ำดินและสีเคลือบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกากเหล่านี้ก็คือพวกวัตถุดิบที่เป็นวัสดุแข็งและเศษลูกบดที่สึกหรอออกมาจากหม้อบดนั่นเอง ซึ่งบางโรงงานมีการลงทุนนำเอาชุด Filter Press มาทำการเก็บเศษตะกอนและกากเหล่านี้เป็นก้อนเพื่อสะดวกในการเก็บและการนำไปใช้ในงานต่อไป ซึ่งมักจะนำกลับไปใช้กับเนื้อดินเช่นกัน หรืออาจส่งขายให้ทางโรงงานอื่นที่อาจไม่เข้มงวดเรื่องสีของเนื้อดินมากนัก เช่น โรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิคแบบเนื้อแดง เนื่องจากตะกอนเหล่านี้จะมีทั้งเนื้อดิน สีเคลือบ และสิ่งสกปรกที่ปนมากับการทำงาน แต่สิ่งสำคัญในการนำของเสียเหล่านี้ไปใช้ก็คือความสม่ำเสมอของของเสีย ซึ่งควรนำมาผสมรวมกันเป็นก้อนใหญ่ๆ ก่อนที่จะนำมาใช้

ภาพที่ 2.1 กากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิค

2.3 อะลูมินา [18]

อะลูมินา(Alumina) มีชื่อทางเคมีคือ Aluminium Oxide มีสูตรทางเคมี เป็น Al_2O_3 จัดเป็นออกไซด์ที่มนุษย์ใช้ประโยชน์มาตั้งแต่ดึกดำบรรพ์จนกระทั่งถึงปัจจุบันและยังคงถูกพัฒนานำมาใช้งานมากขึ้นในอนาคต อะลูมินาบริสุทธิ์ มีความถ่วงจำเพาะ 3.4-4.0 จุดหลอมเหลว 2,030 องศาเซลเซียส ความแข็ง (Mohs Scale) เท่ากับ 9

อะลูมินาในธรรมชาติเป็นแร่ธาตุที่พบในรูปของ Corundum (Al_2O_3) Diaspora ($Al_2O_3H_2O$) Gibbsite ($Al_2O3\ 3.H_2O$) และ Bauxite ($Al_2O_3.2H_2O$) โดยแร่ Corundum ที่พบจะเป็นรัตนชาติ เช่น ทับทิม (Ruby) ไพลิน (Sapphire) บุษราคัม (Yellow Sapphire) เป็นรูปแบบของ Corundum ที่มีมลทินในขณะที่ Corundum ที่ไม่มีมลทินจะไม่มีสีอะลูมินาบริสุทธิ์ และ Hydrate

อะลูมินา สามารถสกัดได้จาก แร่ Bauxite และดินลูกรังโดยวิธีของ Bayer (Bayer Process) คือนำแร่มาบดแล้วหลอมด้วยโซดาไฟ (Caustic Soda) จากนั้นแยกตะกอนที่ได้ออกมาแล้วเผา

อะลูมินาจะพบในรูปแอลฟา (α) แกมมา (γ) และ เบต้า (β) โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ แอลฟาอะลูมินาและแกมมาอะลูมินา ในอุณหภูมิที่ไม่เกิน 500 องศาเซลเซียส อะลูมินาจะอยู่ในรูปแกมมา หากนำไปเผาให้อุณหภูมิสูงถึง 1,150-1,200 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนอยู่ในรูปของแอลฟา แต่ เบต้าอะลูมินา จะอยู่ในรูปของสารประกอบโซเดียมคือ Sodium Aluminate ($Na_2O.11Al_2O_3$)

เนื่องจากสมบัติของอะลูมินาที่มีค่าความแข็งสูง มีความหนาแน่นสูง มีความต้านทานต่อการขัดสีและสึกกร่อนสูง ทนต่อสารเคมี เป็นฉนวนไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงได้ดีและมีความทนไฟสูง จึงสามารถนำ มาใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเครื่องขัดถู (Abrasive) อุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเซรามิค และอื่นๆ ซึ่งแนวโน้มในการนำอะลูมินาไปใช้งานก็ได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจอุตสาหกรรมหนึ่งที่นำเอา อะลูมินาไปพัฒนาใช้คืออุตสาหกรรมเซรามิค ทั้งเซรามิคดั้งเดิมที่ใช้วัตถุดิบในธรรมชาติซึ่งมีอะลูมินาเป็นองค์ประกอบและเซรามิคสมัยใหม่ โดยในอุตสาหกรรมเซรามิคสมัยใหม่ สามารถนำอะลูมินาที่ได้จากการสังเคราะห์มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท เช่น อุปกรณ์ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์กึ่งตัวนำ ไฟฟ้า อุปกรณ์ฉนวนไฟฟ้า อุปกรณ์ส่วนประกอบในจรวด เครื่องมือตัดแต่ง อุปกรณ์ทางการแพทย์ อวัยวะเทียม เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เป็นต้น อะลูมินาที่นำมาใช้ในเซรามิคสมัยใหม่นั้นจะใช้ทั้งที่เป็นผง เป็นผลึกเดี่ยวๆ เป็นฟิล์มบางๆ เป็นเส้นใยและที่เป็นรูพรุน โดยผงอะลูมินาจะเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดเพราะเป็นวัตถุเริ่มต้นในการขึ้นรูปแบบต่างๆ ได้ดี ทั้งนี้ผงอะลูมินาที่นำมาใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์สูงและมีความละเอียดมากเพราะสมบัติทางฟิสิกส์และเชิงกลของอะลูมินาสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการกำจัดมลทินต่างๆ ออกไป เช่น ซิลิกาที่ปนเปื้อนจะมีผลต่อการควบคุม Microstructure มีผลต่ออัตราการสึกกร่อนของอะลูมินารวมทั้งมีผลต่อการเชื่อมผนึก (Sintering) และแคลเซียมที่ปนเปื้อนก็มีผลทำให้สมบัติเชิงกลของอะลูมินาลดลง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาทุกประเภท

มีนักวิชาการและนักวิจัยจำนวนไม่น้อยที่ได้พยายามทำการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกมวลเบา เพื่อใช้ในงานก่อสร้างอาคารอยู่อย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะพัฒนาจากการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากวัสดุธรรมดา จากกากวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิเช่น

2.4.1 ชาญยุทธ สีแดง อัมรินทร์ นันทะเสน และเกศรินทร์ พิมรักษา ได้ศึกษาการผลิตอิฐเบาชนิดไม่เผาจากดินเบาแหล่งลำปาง [19] โดยการนำดินเบามาผสมกับวัสดุซีเมนต์ชนิดแคลเซียมออกไซด์หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยการศึกษาปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ปริมาณวัสดุซีเมนต์, ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสม ระยะเวลาในการบ่มและการเติมตัวเต็ม ซึ่งจะใช้สมบัติทางเชิงกลเป็นตัวศึกษา จากการทดลองได้ส่วนผสมที่เหมาะสม 3 สูตรคือ 1) ดินเบา 85 เปอร์เซ็นต์และแคลเซียมออกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้น้ำในการส่วนผสม 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 2) ดินเบา 85 เปอร์เซ็นต์และ

แคลเซียมไฮออกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้น้ำในการผสม 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก 3) ดินเบา 85 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ และยิปซัม 5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้น้ำในการผสม 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สูตรที่ 1 มีค่าความแข็งแรงต่อการกดอัด 18.5 เมกะปาสคาล ค่าการดูดซึมน้ำ 60.2 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความหนาแน่น 1.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สูตรที่ 2 มีค่าความแข็งแรงต่อการกดอัด 16.4 เมกะปาสคาล ค่าการดูดซึมน้ำ 64.6 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความหนาแน่น 1.01กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สูตรที่ 3 มีค่าความแข็งแรงต่อการอัด 20.5 เมกะปาสคาล ค่าการดูดซึมน้ำ 55.9 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความหนาแน่น 0.66 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อีกทั้งอิฐมวลเบาที่ได้สามารถทนต่อการยุ่ยตัวในน้ำได้ จากการพิจารณาสมบัติเชิงกลของอิฐมวลเบาชนิดไม่เผาทั้ง 3 ส่วนผสมมีความแข็งแรงมากกว่าและความหนาแน่นน้อยกว่าอิฐมอญทั่วไป นอกจากนี้ยังพบว่า ความหนาแน่นของอิฐมวลเบาที่ได้เทียบเท่ากับอิฐคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีขายตามท้องตลาด แต่ค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าซึ่งต้องทำการปรับปรุงต่อไป

2.4.2 ประชุม คำพุฒ ได้ศึกษาเรื่องคอนกรีตพรุนโดยวิธีผสมผงอะลูมิเนียม [20] เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำโดยตรง มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตพรุน โดยวิธีการบ่อด้วยเครื่องอบไอน้ำความดันสูง การผลิตคอนกรีตพรุนใช้วิธีผสมผงอะลูมิเนียมลงไปในมอร์ต้าร์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ฟองก๊าซไฮโดรเจนในเนื้อมอร์ต้าร์ ปริมาณผงอะลูมิเนียมที่ใช้ ร้อยละ 0.10, 0.20 และ 0.30 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ คอนกรีตที่ใช้เป็นส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 กับทรายละเอียดในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.55, 0.60 และ 0.65 ใช้ปริมาณปูนขาวเท่ากับร้อยละ 3, 5 และ 7 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และใช้ปริมาณยิปซัมคงที่เท่ากับร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์นำไปหล่อเป็นชิ้นตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด $5\times5\times5$ เซนติเมตร จำนวนทั้งสิ้น 468 ตัวอย่างถอดแบบออกหลังจากหล่อก้อนตัวอย่างครบ 24 ชั่วโมง บ่อด้วยหม้ออบไอน้ำความดันสูง 8 ชั่วโมง แล้วบ่มต่อโดยใช้ถุงพลาสติกคลุม และทำการทดสอบคุณสมบัติหากำลังรับแรงอัด, ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมของตัวอย่างคอนกรีตพรุนที่ได้ เมื่ออายุครบ 7 วัน และ 28 วัน พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตพรุนแปรผันตรงกับค่าความหนาแน่น และแปรผกผันกับปริมาณของอะลูมิเนียมและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ซึ่งความหนาแน่นที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำและปริมาณผงอะลูมิเนียมเป็นหลัก อีกทั้งยังพบว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.55 ปริมาณผงอะลูมิเนียมร้อยละ 3 ปริมาณปูนขาวร้อยละ 5 ปริมาณยิปซัมร้อยละ 3 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการศึกษา

2.4.3 ดวงฤดี ฉายสุวรรณ ได้ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตพรุนและคอนกรีตมวลเบาด้วยเถ้าชานอ้อยและสารตัวเติม [21] โดยคอนกรีตมวลเบานั้นจะมีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุ

เหลือทิ้งที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งช่วยให้น้ำหนักลดลง ส่วนคอนกรีตพรุนจะไม่มีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าชานอ้อย แต่จะมีการเติมสารกักกระจายฟองอากาศ เช่น ผงโลหะอะลูมิเนียมลงไปเพื่อให้เกิดฟองอากาศเล็กๆ จำนวนมากภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือสามารถผลิตคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาแต่ยังคงมีความแข็งแรงเพียงพอที่มาตรฐานยอมรับได้ จากการวิจัยพบว่า การผลิตคอนกรีตพรุนสามารถผลิตได้จริงและมีความแข็งแรงตามที่ต้องการ ส่วนการผลิตคอนกรีตมวลเบานั้น ปริมาณของเถ้าชานอ้อยที่ใช้ในการแทนที่ทรายเหมาะสมคือ 50% เนื่องจากพบว่ามีการพัฒนากำลังที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรควบ

2.4.4 ไชยยันต์ ชัยจักร สมิตร ส่งพิริยะกิจ และดร. กุลพัฒน์ วัฒนกูล ได้ศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากกากอุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็ก [3] งานวิจัยนี้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาโดยการใช้ตะกรันจากอุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็กเป็นมวลรวมหยาบเพื่อทดแทนการใช้หินโดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน ในการทดลองวัสดุประสานจะประกอบด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหินในอัตราส่วน 60:40 และ 40:60 และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 นอกจากนี้ยังกำหนดให้วัสดุประสานมีปริมาตรร้อยละ 40, 55 และ 70 ของช่องว่างมวลรวม การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาเป็นไปตาม มอก. 58-2530 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การใช้วัสดุประสานที่มีอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าถ่านหิน 40:60 แทนที่ช่องว่างระหว่างมวลรวมในอัตราร้อยละ 70 สามารถให้ค่ากำลังอัดได้เท่ากับ 44.80 และ 68.73 กก./ ซม.^{2} ที่อายุ 3 และ 28 วัน ตามลำดับ และมีค่าโมดูลัสการแตกหักเท่ากับ 10.71 กก./ซม.^{2} ที่อายุ 28 วัน นอกจากนี้ยังมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำเพียง 0.089 วัตต์/เมตร/องศาเซลเซียส โดยมีความหนาแน่นเท่ากับ 1,380 กก./ลบ.ม.

2.4.5 เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี สมหมาย ผิวสะอาด ประชุม คำพุฒ : การใช้ดินขาวผสมในคอนรีตมวลเบาแบบปานกลาง [5] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการผสมดินขาวลงในคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลางที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อดินขาวเท่ากับ 1:1:0, 1:0.8:0.2, 1:0.6:0.4, 1:0.4:0.6, 1:0.2:0.8 และ 1:0:1 ในด้านของการพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกล สามารถสรุปได้ว่า การผสมดินขาวลงในคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลาง สามารถพัฒนาสมบัติในด้านต่างๆ ได้แก่ สมบัติด้านการดูดซึมน้ำ กำลังอัด และกำลังดัด อย่างไรก็ตามการผสมดินขาวลงในคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลางก็ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลบางประการที่แย่ลงเล็กน้อย ได้แก่ สมบัติด้านความหนาแน่นและการเปลี่ยนแปลงความยาวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากอนุภาคของดินขาวที่มีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของทรายละเอียด ซึ่งอนุภาคดังกล่าวจะสามารถแทรกตัวในระหว่างช่องว่างหรือฟองอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลางได้ง่าย

เนื้อของคอนกรีตมวลเบาจึงหนาแน่นขึ้น อันจะส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลที่เปลี่ยนแปลงไป

2.4.6 กัมปนาท บุญกัน อภิสิทธิ์ พงษ์สวัสดิ์ สมจิต พฤฒิชัยวิบูลย์ และดนุพล ตันนโยภาส : การพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบาที่ใช้หินเพอร์ไลต์เป็นมวลรวมผสม [22] ซึ่งหินดังกล่าวมีสมบัติพิเศษคือมีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ ดูดซับและทนความร้อนได้สูง จากการศึกษาพบว่า ในเนื้อหินมีซิลิกอนไดออกไซด์กว่า 60 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการใช้หินเพอร์ไลต์มาผลิตอิฐมวลเบาได้เลือกนำมาผสมอัตราส่วน 1:1:4 ซึ่งเป็นค่าจากผลการทดสอบของมอร์ต้าร์ 4 อัตราส่วน จำนวน 140 ตัวอย่างที่อายุการบ่ม 7 วัน พบว่าอัตราส่วนผสมดังกล่าวมีสมบัติดีกว่าอัตราส่วนผสมอื่น อาทิ มีกำลังอัดสูง การเปลี่ยนรูปและใช้ปริมาณเพอร์ไลต์น้อยกว่า สำหรับสมบัติอิฐมวลเบาที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยจะมีน้ำหนัก 180 กรัมรับกำลังอัด 61.54 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าโมดูลัสแตกร้าว 16.14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าการหดตัว 5.0 เปอร์เซ็นต์ ทนการกัดกร่อน 77.50 เปอร์เซ็นต์ และดูดซับน้ำ 29.52 เปอร์เซ็นต์ จากจำนวนตัวอย่างที่ใช้ศึกษา 300 ตัวอย่าง ซึ่งสมบัติบางอย่างจะเกินกว่าอิฐก่อสร้างสามัญอาทิ มีน้ำหนักเบากว่า 30-50 เปอร์เซ็นต์ ค่ากำลังอัดสูงกว่า 26.57 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถ้าคิดต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยก้อนละ 0.95 บาท ด้านการนำไปใช้งานสามารถนำไปใช้งานโครงสร้างน้ำหนักเบา งานฉนวนความร้อน และงานที่ต้องการสมบัติพิเศษโดยทั่วไปได้

2.4.7 ชลิต วงศ์ประเสริฐสุข ธิษัณย์ พฤทธิพงษ์ วีรพล เพชรานนท์ และบัญไชย สถิตมั่นในธรรม ได้ทำการศึกษาสัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ที่แทนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอย [23] โดยการนำเถ้าลอยมาแทนที่บางส่วนของซีเมนต์ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงและวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต ซึ่งการทดลองนั้นจะทำการจำลองกระบวนการผลิตในโรงงานมากระทำในห้องปฏิบัติการ โดยในขั้นแรกจะทำการผสมวัตถุดิบและหล่อชิ้นตัวอย่างที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยในสัดส่วนต่างๆ หลังจากนั้นจึงนำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมในสองหัวข้อหลักคือ หน่วยน้ำหนักแห้งและกำลังรับแรงอัดที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28 และ 56 วัน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่อพิจารณาผลของหน่วยน้ำหนักแห้งสัดส่วนผสมของเถ้าลอยที่ทำให้หน่วยน้ำหนักลดต่ำลงเป็น 35%-45% ซึ่งอยู่ในชนิดที่ 0.9 ตามมาตรฐาน มอก. ส่วนเมื่อพิจารณาผลของกำลังรับแรงอัดพบว่า สัดส่วนผสมของเถ้าลอยที่เหมาะสมนั้นเป็น 0%-50% ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 1 วัน อยู่ในชั้นคุณภาพที่ 2 ตามมาตรฐาน มอก. และสภาพของชิ้นตัวอย่างหลังจากการอบไอน้ำความดันสูงจะมีความสมบูรณ์ในสัดส่วนผสมของเถ้าลอยที่ 0%-35% เท่านั้น ซึ่งหากทำการแทนที่ในสัดส่วนที่มากกว่านี้จะทำให้ชิ้นตัวอย่างเกิดการแตกร้าวที่

ผิวบนและด้านข้าง ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลของหน่วยน้ำหนักแห้ง กำลังรับแรงอัด และสภาพของชิ้นตัวอย่างรวมกันนั้นจะได้ว่า สัดส่วนผสมที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตคือสัดส่วนการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่ 35% ซึ่งหน่วยน้ำหนักแห้งเฉลี่ยมีค่า 94% ของหน่วยน้ำหนักแห้งเฉลี่ยในสัดส่วนที่ไม่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอย ส่วนกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยนั้นมีค่า 93% ของกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยในสัดส่วนที่ไม่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอย และชิ้นตัวอย่างนั้นมีสภาพที่สมบูรณ์

2.4.8 กฤษฎา โรจน์ประสิทธิพร อราวินท์ บริรักษ์อราวินท์ สุภัทรชัย สุดกล้า และปิติ สุคนธสุขกุล ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์ [24] ซึ่งคอนกรีตมวลเบาที่ใช้เป็นคอนกรีตเบาที่เกิดจากการกักฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต โดยการผสมเส้นใยไฟเบอร์นั้นวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเพิ่มกำลังรับแรงในคอนกรีต ทำให้การแตกหักระหว่างการขนส่งและทำงานลดลง ผลการทดลองพบว่าปริมาณไฟเบอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 0.05% (โดยปริมาตร) ซึ่งแสดงให้เห็นจากการเพิ่มขึ้นของทั้งกำลังอัดและกำลังดัดสูงสุดที่ค่านี้ อย่างไรก็ตามคอนกรีตมวลเบามีแนวโน้มที่จะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

2.4.9 เลิศลักษณ์ รองปาน อุทัย เพชรรอด จรูญศักดิ์ ทิยา จเร รัตนพันธุ์ กวีวุฒิ ขจรเกียรติ-พัฒนา และไพจิตร ผาวัน ได้ทำการศึกษาส่วนผสมของวัสดุเหลือใช้สำหรับงานผนังอาคาร [25] โดยนำโฟม (PVC) ที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลให้มีขนาดคละกันเท่ากับขนาดของเม็ดทรายหยาบ และผงอิฐที่ผ่านการรีไซเคิลจนเป็นผงละเอียด มาเป็นวัสดุแทนทรายหยาบในการผสม ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในงานผนังอาคาร โดยศึกษาเฉพาะขนาด 7.5 × 20 × 60 เซนติเมตร เพื่อต้องการให้ได้ก้อนคอนกรีตมวลเบา ที่มีคุณสมบัติเบาและเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ คือ 1 : 3 : 1 (ซีเมนต์ : โฟมย่อย : ผงอิฐแดง) โดยปริมาตรมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 34.46 กก./ตร.ซม. และค่ากำลังรับแรงดึงเท่ากับ 10.02 กก./ตร.ซม. ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวมีคุณสมบัติที่เพียงพอสำหรับการสร้างผนังอาคาร

2.4.10 โยธิน อึ่งกูล จงจิตร์ หิรัญลาภ ปัญญา ยอดโอวาท และโจเซฟ เคดารี ได้มีการศึกษาถึงคุณสมบัติของความร้อนเฉื่อยของคอนกรีตมวลเบา [26] โดยทำการวิจัยเปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีตมวลเบาจากบริษัทซุปเปอร์บล็อกกับคอนกรีตมวลเบาในประเทศสหรัฐอเมริกาจำนวน 5 หน่วยงานทดสอบ ในด้าน (1) คุณสมบัติความร้อนเฉื่อยและ (2) โมเดลคาบการไหลของความร้อนโดยใช้การประมาณด้วยค่าความร้อนเฉื่อยเพื่อใช้ในการทำนายตัวแปรเสริมความร้อนเฉื่อยของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ ผลพบว่าโมเดลคาบการไหลของความร้อนทางทฤษฎีจากการวิจัยความร้อนเฉื่อยนั้นไม่สามารถทำนายค่าความร้อนเฉื่อยของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำที่ทดสอบในสภาวะจริงได้อย่างแม่นยำถูกต้องทั้งหมด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการวิเคราะห์

ทดลองเพิ่มขึ้นอีกผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าบล็อกคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำนั้นมีบุคลิกทางด้านความร้อนเฉื่อยที่ดีซึ่งเหมาะกับการใช้งานด้านการก่อสร้าง และยังได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมและคุณสมบัติทางความร้อนผนังคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ [27] โดยการศึกษาแสดงถึงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของความร้อนและคุณสมบัติเชิงกลไกระหว่างคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำคอนกรีตมวลเบา บล็อก อิฐมอญและคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานก่อสร้างซึ่งมีอยู่อย่างแพร่หลายในท้องตลาด จากการสังเกตพบว่าวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำนั้นสามารถทนไฟเป็นฉนวนกันความร้อนและป้องกันเสียงได้อย่างดีเยี่ยม เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นในช่วงการออกแบบเพื่อการก่อสร้างอาคาร ผู้ใช้จึงควรพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ การศึกษาและทดสอบแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำสามารถป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่ตัวอาคารได้ และยังสามารถป้องกันความชื้นสะสมภายในผนังได้อีกด้วย ซึ่งดีกว่าคอนกรีตมวลเบาและอิฐมอญเป็นอย่างมาก

2.4.11 วรรณา ต.แสงจันทร์ ได้ศึกษาการพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว [28] การศึกษาวิจัยนี้เป็นการทำอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว เพื่อใช้เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารบ้านเรือน โดยนำเศษแก้วสีชามาบดให้ละเอียด ผสมสารก่อฟอง (Foaming Agent) ชนิดหินปูนหรือโดโลไมต์ ในปริมาณ 0.5-2.0 ส่วน ต่อเศษแก้ว 100 ส่วนขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐ เผาที่อุณหภูมิ 800 และ 850 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างไปทดสอบหาค่าความหนาแน่น ความต้านแรงอัด และค่าการนำความร้อน ศึกษาผลของปริมาณสารก่อฟอง และอุณหภูมิเผาต่อสมบัติ ความหนาแน่นและความต้านแรงอัด

2.4.12 ดนุพล ตันนโยภาส วันชัย แก้วไผ่ ได้ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตมวลรวมเศษขี้ยางธรรมชาติเติมด้วยเถ้าแกลบขาว [29] การศึกษาทดสอบคอนกรีตมวลรวมขี้ยางธรรมชาติผสมเถ้าแกลบขาวแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาก่ออิฐฉาบปูน ชุดก้อนคอนกรีตที่หล่อมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.4 คงที่ตลอดการศึกษาครั้งนี้และบ่มไว้ในน้ำเป็นเวลา 7 และ 28 วัน ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีตมวลรวมขี้ยางธรรมชาติ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ การหดตัวแบบแห้ง ความแข็งแบบกระดอน และกำลังอัด จากสังเกตการทดลองพบว่าคอนกรีตผสมขี้ยางธรรมชาติที่มีเถ้าแกลบขาวร้อยละ 10-20 ไม่แสดงการแตกเปราะอย่างทันใดถึงแม้ว่าเลยแรงกดพิบัติไปแล้ว บ่งชี้ว่ามีสมรรถนะการดูดกลืนพลังงานสูง ลดความหนาแน่นอย่างค่อยลงและผิวเรียบ ดังนั้นจึงดูดกลืนแรงได้ดีและยังเป็นไปได้ที่คอนกรีตมวลเบาก่ออิฐฉาบปูนประเภทโครงสร้างไม่รับน้ำหนัก

2.4.13 ดนุพล ตันนโยภาส และกัลยาณี คุปตานนท์ ได้ศึกษาคอนกรีตมวลเบาที่ทำจากมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต [30] ศึกษาคุณลักษณะของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้กะลาปาล์มน้ำมันเป็นมวลรวมหยาบผสมหินฝุ่นแกรนิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ผสมกับหินฝุ่นแกรนิต ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และบ่มในน้ำ ทดสอบที่เวลา 1 7 14 21 28 และ 56 วัน หาค่าสมบัติมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผ่านการทดสอบ การกระจายขนาด ดัชนียาวเรียวและแบน การสึกหรอแบบลอสแองเจลิส การดูดซึมน้ำ และการกระแทก คุณลักษณะของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันอย่างอื่นที่วัด ได้แก่ ความต้านทานไฟฟ้า การหดตัวแบบแห้ง ความแข็งกระดอนแบบชมิดต์ และกำลังผลของไฮเดรชันได้ตรวจด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังอัดของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 16-29 เมกะพาสคัล ซึ่งเป็นที่น่าพอใจอยู่ในเกณฑ์กำหนดกำลังสำหรับคอนกรีตมวลเบาด้านโครงสร้าง

2.4.14 ประชุม คำพุฒ ฉันท์ทิพ คำนวณทิพย์ เศกสรรค์ ชูทับทิม และคณะ ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยน้ำยางธรรมชาติ [31] เป็นการศึกษาผลของการผสมน้ำยางธรรมชาติลงในคอนกรีตมวลเบาแบบฟองอากาศ-อบไอน้ำ เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยมีอัตราส่วนผสม คือ ปูนซีเมนต์ : ทราย : ยิปซัม : สารลดแรงตึงผิว : ปูนขาว : ผงอะลูมิเนียม เท่ากับ 1 : 1 : 0.05 : 0.04 : 0.05 : 0.03 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5 และอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.00, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ผลการทดสอบพบว่า การผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตมวลเบาสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติทั้งทางกายภาพและทางกลให้ดีขึ้น ได้แก่ การช่วยลดค่าความหนาแน่น, ค่าอัตราการดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตลอดจนช่วยเพิ่มสมบัติด้านกำลังอัด และกำลังดัดได้ (เมื่อใส่ในปริมาณที่เหมาะสม) โดยอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุดในการผสมลงในคอนกรีตมวลเบา คือ 0.10 ซึ่งมีความหนาแน่น 1.52 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีอัตราการดูดกลืนน้ำ ร้อยละ 7.98 ค่ากำลังอัด 115.64 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ค่ากำลังดัดด้านแบน 31.23 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ากำลังดัดด้านตั้ง 72.35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ 0.180 และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.175 วัตต์/เมตร เคลวิน โดยคอนกรีตมวลเบาดังกล่าวสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับคอนกรีตมวลเบาทั่วไป แต่จะมีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีกว่า

2.4.15 อาบีเด็ง ฮาวา ได้ศึกษาสมบัติของคอนกรีตมวลเบาหินพัมมิซผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและเถ้าแกลบ [32] ศึกษาอิทธิพลของเถ้าแกลบและเถ้าลอยไม้ยางพาราที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตที่มีมวลรวมหินพัมมิซเป็นมวลรวมหยาบ โดยเถ้าแกลบและเถ้าลอยไม้ยางพาราตัดขนาดผ่านตะแกรง 325

เมช และนำมาตรวจสอบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพด้วยวิธีเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รวมทั้งวิเคราะห์ขนาด รูพรุน และพื้นที่ผิวจำเพาะคอนกรีตมวลเบาหินพัมมิซที่ผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยไม้ยางพาราซึ่งแทนที่บางส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน โดยการนำมวลรวมหินพัมมิซไปแช่น้ำก่อนผสมคอนกรีต ซึ่งแปรผันอันตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและเถ้าแกลบ 16 สูตร ได้แก่ 0:0, 0:10, 0:20, 0:30, 10:0, 10:10, 10:20, 10:30, 20:0, 20:10, 20:20, 20:30, 30:0, 30:10, 30:20, และ 30:30 กำหนดให้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 ตลอดการศึกษานี้ ทำการทดสอบระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์ และการยุบตัวของคอนกรีต พบว่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์มีค่าลดลง และค่าการยุบตัวลดลงอันเนื่องมากจากการเพิ่มปริมาณเถ้าทั้งสอง หล่อก้อนคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 100 มม. ทำการบ่มในน้ำที่ 7 และ 28 วัน ทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น การหดตัวแบบแห้ง ความต้านทานไฟฟ้าและกำลังอัดคอนกรีตที่ทดสอบ นำไปวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาพด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดสอบคอนกรีตมวลรวมหินพัมมิซแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 10 ที่อายุบ่ม 28 วันมีความหนาแน่น 1,715 กก./ม.^{3} การหดตัวแบบแห้งร้อยละ 0.054 และกำลังอัด 168 กก./ซม.^{2} ได้ให้ดัชนีกำลังคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 82 ในอีกแง่หนึ่งคอนกรีตมวลรวมหินพัมมิซแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 ที่อายุบ่ม 28 วันมีความหนาแน่นรวม 1,692 กก./ม.^{3} การหดตัวแบบแห้งร้อยละ 0.066 และกำลังอัด 230 กก./ซม.^{3} ดัชนีกำลังคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 111 นอกจากนี้คอนกรีตมวลรวมหินพัมมิซแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 10 และผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 10 ที่อายุบ่ม 28 วันมีความหนาแน่นรวม 1,674 กก./ม.^{3} การหดตัวแบบแห้งร้อยละ 0.078 และกำลังอัด 180 กก./ซม.^{3} ดัชนีกำลังคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 87

2.4.16 ปิติ พานิชายุนนท์ สุวิทย์ เพชรห้วยลึก ธวัฒน์ชัย เทพนวล นพนันท์ นานคงแนบ และอนุจิตร จันทศรี ได้ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาจากฟางข้าว [33] วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากฟางข้าวที่เหลือใช้ในชุมชนจังหวัดพัทลุง ในการศึกษานี้พิจารณาที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกันหลายส่วนผสม และทำการผลิตส่วนผสมละ 5 ก้อนการทดสอบตัวอย่างจะทำการทดสอบน้ำหนัก ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและค่าแรงอัด จากผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มฟางข้าวส่วนผสมสามารถลดน้ำหนนักและความหนาแน่นของตัวอย่างได้ ซึ่งอัตราส่วนโดยปริมาตรของดิน : ทราย : ซีเมนต์ : ฟาง ที่ให้สมบัติของบล็อกดีที่สุด คือ 10:5:8:8 มีความหนาแน่น 1,591 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าแรงกด 37.56 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมี

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ 19.84 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไม่มีฟางข้าว พบว่า น้ำหนักและความหนาแน่นลดลงอย่างเห็นได้ชัดคือ 29.38 เปอร์เซ็นต์ และ 47.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาที่ได้กล่าวอ้างตามดังกล่าวข้างต้นมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่ามีนักวิจัย นักวิชาการหลายท่านต่างได้พยายามศึกษาค้นคว้า นำวัสดุธรรมชาติ วัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ วัสดุเหลือทิ้งทางด้านอุตสาหกรรม ซึ่งโดยส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่หมดซึ่งประโยชน์ หรือเป็นวัสดุที่มีจำนวนมากในประเทศที่ยังไม่ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้เป็นงานอื่นๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์ เพื่อลดปัญหาการกำจัดทิ้ง ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้มุ่งศึกษาและหาวิธีนำกากตะกอนดินกระเบื้องหลังคาเซรามิคซึ่งเป็นอีกหนึ่งประเภทวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาศึกษาเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาแทนที่อะลูมิเนียม อีกทั้งคุณสมบัติทางเคมีของดินตะกอนจากกระเบื้องหลังคาเซรามิคมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำมาทดแทนได้ การออกแบบและทดสอบผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกมวลเบาจากกากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิคนี้ ถือเป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาให้มีราคาต้นทุนที่ต่ำลง แต่ยังสามารถคงคุณภาพที่ดีของคอนกรีตบล็อกมวลเบาไว้ได้ และถือเป็นการวิจัยขั้นต้นซึ่งสามารถนำมาพัฒนาต่อเนื่องได้อย่างเป็นระบบต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

ภาพที่ 3.1 กระบวนการวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตราช้าง ประเภทที่ 1

2) ทรายละเอียด โดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เอาส่วนหยาบออกให้เหลือทรายละเอียด

3) ดินตะกอนเซรามิค โดยนำเข้าอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ขนาดความละเอียด 75 ไมครอน ให้ได้ลักษณะเป็นผงละเอียด

4) น้ำประปา

5) ผงอะลูมิเนียม ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

6) ปูนขาว

7) ยิปซัม

3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

เมื่อเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่จะใช้แล้ว ต่อมาทำการออกแบบเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการทำคอนกรีตที่จะใช้ทำการทดสอบหาค่าต่างๆ โดยการศึกษาหาอัตราส่วนที่จะใช้ในงานวิจัยนี้เป็นอัตราส่วนผสมคอนกรีตขั้นต้น สำหรับอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการวิจัยคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิคนี้จะใช้อัตราส่วนดังตารางที่ 3.1 แต่จะแปรผันเฉพาะปริมาณของผงอะลูมิเนียมและดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิค

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตขั้นต้นและแปรผันเฉพาะปริมาณของผงอะลูมิเนียมกับดินตะกอนต่อบล็อกคอนกรีต 1 บล็อก

อัตราส่วนผสม	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ทราย (กรัม)	ปูนขาว (กรัม)	ยิปซั่ม (กรัม)	น้ำ (กรัม)	ผงอะลูมิเนียม (กรัม)	ดินตะกอน (กรัม)
R0	800	800	160	160	560	16	0
R20	800	800	160	160	560	12.8	3.2
R40	800	800	160	160	560	9.6	6.4
R60	800	800	160	160	560	6.4	9.6
R80	800	800	160	160	560	3.2	12.8
R100	800	800	160	160	560	0	16

นำอัตราส่วนผสมเพื่อใช้ทำการทดสอบขั้นต้นแล้ว มาเทียบอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ผงอะลูมิเนียม : ดินตะกอน และแทนค่าสัญลักษณ์ของแต่ละอัตราส่วนผสมเพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายขึ้น ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) ปูนซีเมนต์:ผงอะลูมิเนียม:ดินตะกอน	**สัญลักษณ์ที่ใช้** (R=Replacement)
1:0.02:0.0	R0
1:0.016:0.004	R20
1:0.012:0.008	R40
1:0.008:0.012	R60
1:0.004:0.016	R80
1:0.0:0.02	R100

3.3 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

1) ชั่งส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ ทราย ปูนขาว ยิปซั่ม ผงอะลูมิเนียม ดินตะกอน และน้ำตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ ดังภาพที่ 3.2 (ก) – (ช)

(ก) ปูนซีเมนต์

(ข) ทราย

(ค) ปูนขาว

(ง) ยิปซั่ม

(ฉ) ผงอะลูมิเนียม

(จ) ผงดินตะกอน

(ช) น้ำประปา

ภาพที่ 3.2 วัตถุดิบที่ใช้ผสมคอนกรีต

2) ทำการผสมปูนซีเมนต์ ทราย ยิปซั่ม ปูนขาวให้เข้ากันก่อนโดยใช้เครื่องผสมคอนกรีตคลุกเคล้าให้เข้ากัน ดังภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3 การผสมวัสดุเข้าเครื่องผสม

3) จากนั้นเติมน้ำลงไปประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ สังเกตว่าส่วนผสมเริ่มเข้ากันดีมากขึ้นจนสม่ำเสมอ

4) เมื่อส่วนผสมทั้งหมดผสมเข้ากันอย่างสม่ำเสมอแล้วจึงทำการเติมน้ำลงไปอีก 30 เปอร์เซ็นต์

5) เมื่อส่วนผสมเข้ากันทั้งหมดเติมผงอะลูมิเนียมลงหรือดินตะกอนลงไป พร้อมทั้งเติมน้ำลงไป อีก 10 เปอร์เซ็นต์จากนั้นผสมด้วยเครื่องให้ส่วนผสมเข้ากันมากที่สุด ดังภาพที่ 3.4

ภาพที่ 3.4 เติมผงอะลูมิเนียม

6) เทส่วนผสมลงไป 1 ใน 2 ของแบบหล่อ ขนาด 100 x 100 x 100 มิลลิเมตร ที่ทาน้ำมันไว้แล้ว จากนั้นทำการสั่นด้วยโต๊ะเขย่า เป็นระยะเวลา 10 วินาที

7) ทำการเทส่วนผสมที่เหลือให้เต็มแบบหล่อ แล้วทำการสั่นด้วยโต๊ะเขย่าอีก 10 วินาที ทำการปาดผิวหน้าให้เรียบพร้อมกับหุ้มด้วยพลาสติกถนอมอาหาร แล้วทิ้งไว้ในแบบหล่อเป็นระยะเวลา 1 วัน ดังภาพที่ 3.5

ภาพที่ 3.5 บล็อกหล่อผสมคอนกรีต

8) ถอดชิ้นงานออกจากแบบแล้วนำไปบ่มด้วยน้ำ เพื่อเป็นการรักษาความชื้น และป้องกันการเสียน้ำของคอนกรีต ซึ่งถือเป็นสิ่งสำคัญของการบ่มคอนกรีต การบ่มในแบบหล่อเหล็ก สามารถป้องกันการสูญเสียความชื้นได้ดี โดยการคอยดูแลให้ผิวด้านบนคอนกรีตให้มีน้ำอยู่ โดยน้ำนั้นสามารถไหลซึมลงมาระหว่างแบบหล่อกับคอนกรีตได้ เป็นระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

9) นำชิ้นงานที่ครบอายุการบ่มไปทดสอบ

โดยทำการหล่อแบบคอนกรีตบล็อกมวลเบาขนาด 100 มิลลิเมตร×100 มิลลิเมตร×100 มิลลิเมตร จำนวนทั้งสิ้น 6 ชุด แต่ละชุดใช้สัญลักษณ์แทนค่าตามตาราง 3.1 ชุดละ 20 ก้อน และนำแต่ละก้อนของแต่ละชุดทำการทดสอบวัสดุตามข้อ 3.4.1, 3.4.3, 3.4.4 เพื่อให้ได้ผลการทดสอบตามข้อ 3.4.1, 3.4.3, 3.4.4 และทำการหล่อแบบคอนกรีตบล็อกมวลเบาขนาด 40 มิลลิเมตร×40 มิลลิเมตร×160 มิลลิเมตร จำนวนทั้งสิ้น 6 ชุด แต่ละชุดใช้สัญลักษณ์แทนค่าตามตาราง 3.1 ชุดละ 15 ก้อน ทำการทดสอบวัสดุตามการทดสอบ 3.4.2 เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

3.4 การทดสอบวัสดุตัวอย่าง

3.4.1 การทดสอบหาความหนาแน่นเชิงปริมาตร ใช้วิธีการทดสอบอ้างอิงจาก มอก.1505-2541 [6] ดังนี้

1) นำคอนกรีตที่บ่มครบตามอายุในอัตราส่วนต่างๆ ขนาด 100 มิลลิเมตร×100 มิลลิเมตร ×100 มิลลิเมตร เข้าตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.6

ภาพที่ 3.6 เข้าตู้อบบ่มคอนกรีต

2) นำตัวอย่างคอนกรีตมวลเบามาวัดปริมาตรและมวลให้ละเอียด วัดด้านกว้าง ด้านยาว ด้านหนา เพื่อคำนวณหาปริมาตร ดังภาพที่ 3.7

ภาพที่ 3.7 การวัดและชั่งมวลคอนกรีต

3) รายงานค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ยจากสูตรสมการที่ 3.1

$$\text{ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง} = \frac{\text{มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ}}{\text{ปริมาตรของชิ้นทดสอบ}} \qquad (3.1)$$

3.4.2 การทดสอบหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว ใช้วิธีการทดสอบอ้างอิงจาก มอก.1505-2541 [6] ดังนี้

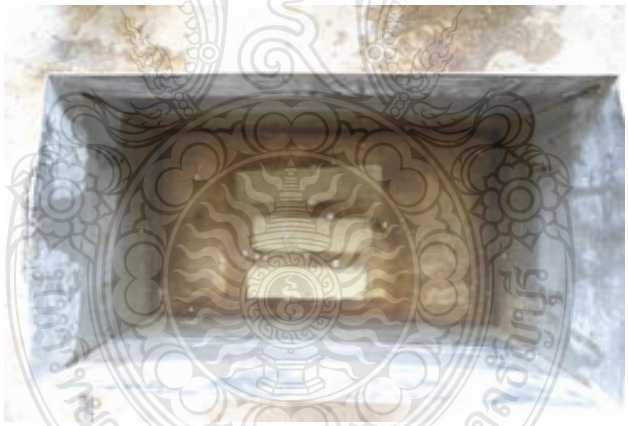
1) นำคอนกรีตที่บ่มครบตามอายุในอัตราส่วนต่างๆ ขนาด 40 มิลลิเมตร × 40 มิลลิเมตร × 160 มิลลิเมตร วัดขนาดความกว้าง ความยาวของแต่ละด้านไว้ พร้อมจดบันทึก ดังภาพที่ 3.8

ภาพที่ 3.8 การวัดขนาดคอนกรีตด้านต่างๆ

2) นำชิ้นทดสอบเข้าอบในตู้อบเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็น ชั่งมวลและวัดความยาวของชิ้นทดสอบถือเป็นมวลในสภาพแห้ง พร้อมจดบันทึก ดังภาพที่ 3.9

ภาพที่ 3.9 นำคอนกรีตเข้าเตาอบ

3) นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการอบแล้ว ไปแช่น้ำ โดยผิวบนของชิ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 3 เซนติเมตรเป็นเวลา 3 วัน เพื่อใช้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาการหดตัวและขยายตัว ค่าการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานทดสอบก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำแล้ว ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 นำคอนกรีตแช่น้ำ 3 วัน

4) เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 3 วัน แล้วนำขึ้นมา เก็บรักษาที่ห้องหรือภาชนะพร้อมชั่งมวลและวัดความยาวทุกวันจนมวลของชิ้นทดสอบและความยาวของชิ้นทดสอบมีค่าคงที่ เมื่อได้ค่าคงที่แล้ว ให้วัดต่อไปอีก 3 วัน ดังภาพที่ 3.11

ภาพที่ 3.11 วัดขนาดแต่ละด้านของคอนกรีตหลังแช่น้ำครบ 3 วัน

5) วัดความยาวและชั่งมวลของชิ้นทดสอบทุก 3 วัน จนความหนาแน่นหรือค่าน้ำหนักและความยาวของชิ้นคอนกรีตทดสอบเข้าสู่สภาพสมดุล ได้ค่าคงที่ โดยชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่า ร้อยละ 0.003 ต่อ 3 วัน

6) ให้รายงานผลอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวจากสูตร

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

เมื่อ l_1 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบที่เมื่อแช่น้ำครบ 3 วัน เป็นมิลลิเมตร

l_2 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบเมื่อเข้าสู่สภาพสมดุลเป็นมิลลิเมตร

3.4.3 การทดสอบกำลังอัด ใช้วิธีการทดสอบอ้างอิงจาก มอก.1505-2541 [6] ดังนี้

1) นำคอนกรีตชิ้นทดสอบขนาด 100 มิลลิเมตร × 100 มิลลิเมตร × 100 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายแสดงด้านยาวของตัวอย่าง วัดขนาดแต่ละด้าน พร้อมจดบันทึก

2) อบชิ้นทดสอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส

3) ให้กดชิ้นทดสอบด้วยวิธีตามที่ระบุใน มอก. 109 แนวตั้งฉากกับด้านยาวของชิ้นตัวอย่าง จนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตกเสียหาย พร้อมจดบันทึก ดังภาพที่ 3.12

ภาพที่ 3.12 นำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทดสอบ

4) การรายงานค่าความต้านแรงอัดของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ย

3.4.4 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ ใช้วิธีการทดสอบอ้างอิงจาก มอก.1505-2541 [6] ดังนี้

1) นำชิ้นทดสอบขนาด 100 มิลลิเมตร × 100 มิลลิเมตร × 100 มิลลิเมตร อบชิ้นทดสอบในตู้อบให้แห้งได้น้ำหนักคงที่ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จากนั้นวัดมวลและมิติของแต่ละก้อน ดังภาพที่ 3.13

ภาพที่ 3.13 วัดขนาดและชั่งมวลน้ำหนักคอนกรีต

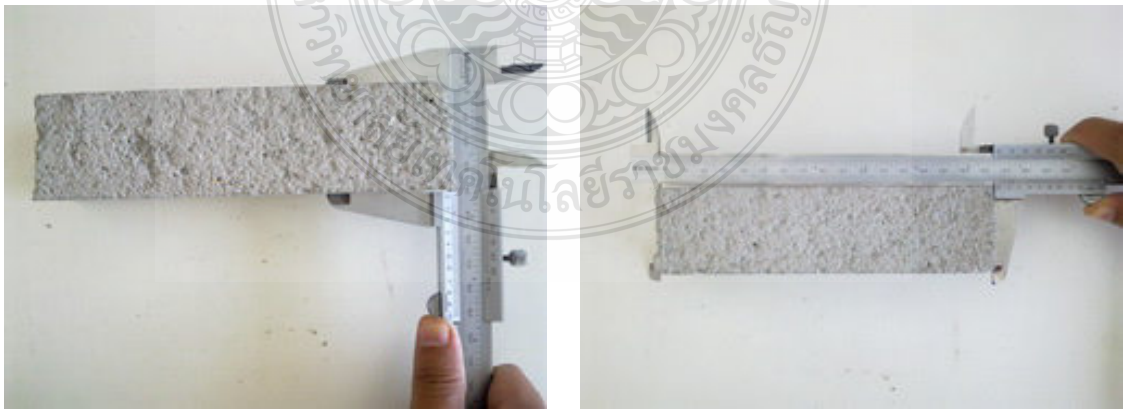
2) แช่ชิ้นทดสอบ ในน้ำสะอาดให้น้ำท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วยกออก ใช้ผ้าชุ่มน้ำเช็ดที่ผิวทีละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 นาที น้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาที่ดูดกลืนน้ำ ดังภาพที่ 3.14

ภาพที่ 3.14 นำคอนกรีตแช่น้ำ

3) การรายงานค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา โดยคำนวณจากสัดส่วนน้ำหนักของน้ำที่ดูดกลืนต่อปริมาตรชิ้นทดสอบ

3.4.5 การทดสอบกำลังดัด โดยอ้างอิงวิธีทำการทดสอบจากมาตรฐาน ASTM C 62-69 ดังนี้

1) แบ่งคอนกรีตมวลเบาตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบด้านแบน (Flat-Wise) และด้านขอบ (Edge-Wise) อย่างละ 2 ก้อน ดังภาพที่ 3.15

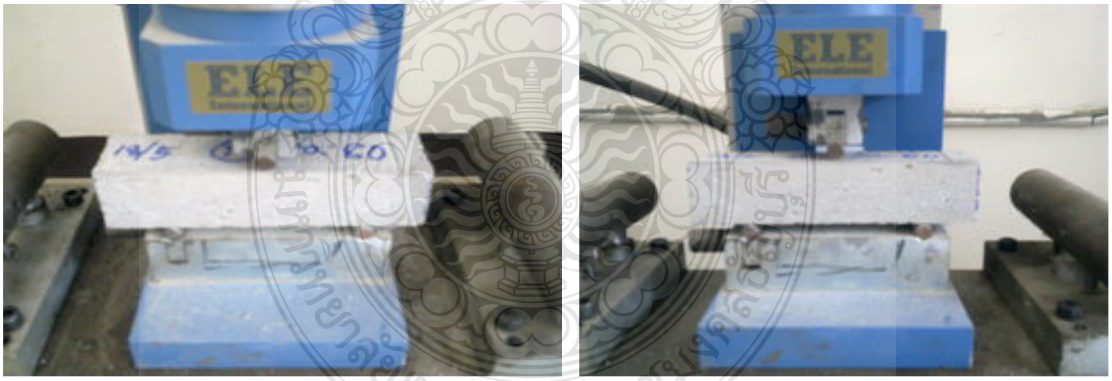


ภาพที่ 3.15 วัดขนาดของคอนกรีตแต่ละด้าน

2) ทำเครื่องหมายที่คอนกรีตมวลเบาตัวอย่าง วัดขนาดมิติต่างๆ ให้ละเอียด แล้วชั่งน้ำหนักโดยอ่านให้ละเอียดถึง 0.5 กรัม ดังภาพที่ 3.16

ภาพที่ 3.16 วัดมวลน้ำหนักคอนกรีต

3) ตั้งฐานรองรับใช้ Span Length 150 มิลลิเมตร แล้ววางตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาทดสอบด้านแบน ดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 นำคอนกรีตเข้าเครื่องทดสอบหาค่า

4) ให้น้ำหนักกระทำตรงกึ่งกลาง Span Length และปรับเข็มที่หน้าปัดให้ชี้ที่ศูนย์เริ่มให้น้ำหนักกระทำจนกระทั่งคอนกรีตมวลเบาหัก แล้วบันทึกค่าแรงกระทำสูงสุด ดังภาพที่ 3.18

ภาพที่ 3.18 คอนกรีตเริ่มมีการแตกหัก จดบันทึกค่ากระทำสูงสุด

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ

1) ทำการเขียนกราฟต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร กำลังอัดของคอนกรีต อัตราการดูดซึมน้ำ

2) เปรียบเทียบค่าของสมบัติต่างๆ ที่ได้และทำการวิเคราะห์จากการทดสอบคอนกรีตมวลเบาจากดินตะกอนกระเบื้องเซรามิค เช่น ค่ากำลังอัด ค่าดูดซึมน้ำ เมื่อนำคอนกรีตไปใช้ได้จริง

3) วิเคราะห์ปัญหา สาเหตุ และการแก้ไข ตลอดจนเสนอแนะเพิ่มเติม สำหรับการทดลองครั้งต่อไป

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลหรือผลการวิจัย

สำหรับผลการทดสอบและการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนหลังคากระเบื้องเซรามิคนั้น สามารถแบ่งตามประเภทของการทดสอบดังนี้

4.1 ผลการศึกษาสมบัติของกากดินตะกอนกระเบื้องเซรามิค

ในการนำกากดินตะกอนกระเบื้องเซรามิค เข้าวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (XRF) แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โดยวิธี X-Ray Fluorescence (XRF) ของกากดินตะกอนกระเบื้องเซรามิค

Chemical Composition (%) **(องค์ประกอบทางเคมี)**	**Cement** **(ซีเมนต์)**	**กากดินตะกอน** **ของกระเบื้องเซรามิค**
SiO_2	22.1	67.6
Al_2O_3	5.8	16.61
Fe_2O_3	3.3	0.56
CaO	63.9	1.65
MgO	1.4	2.87
K_2O	0.4	-
Na_2O	0.6	-
SO_3	2.6	-
LOI	1.1	-

จากตารางที่ 4.1 พบว่าผลการวิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบของกากตะกอนดินเซรามิค พบว่ากากดินตะกอนมีองค์ประกอบของ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ซึ่งมีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำที่อุณหภูมิปกติ ร่วมกับความชื้นก่อให้เกิดสารเชื่อมประสานใหม่ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึด

ประสาน นั่นคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydryte) เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกปฏิกิริยาดังกล่าวว่า “ปฏิกิริยาปอซโซลาน”

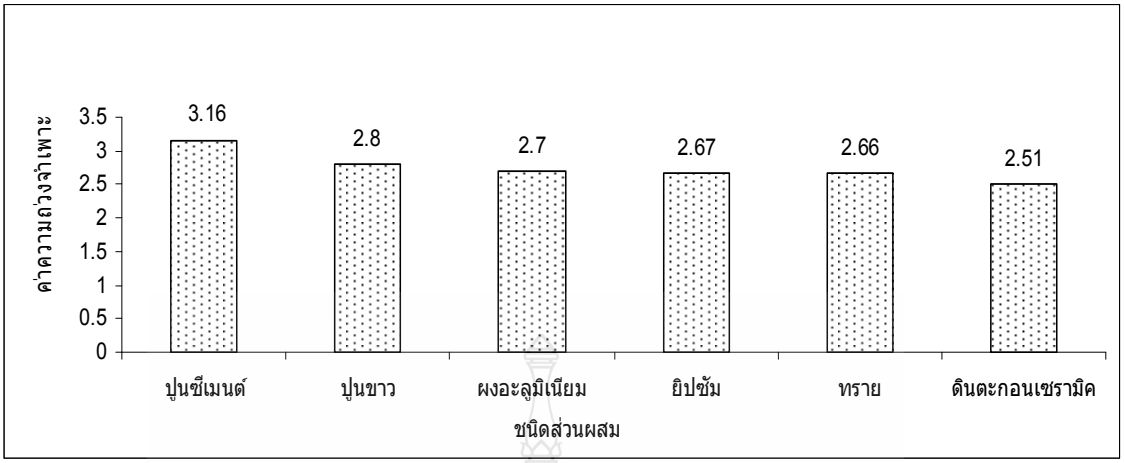
4.2 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ

ในการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุต่างๆ ที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิค แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิค

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	ค่าความถ่วงจำเพาะ
ปูนซีเมนต์	3.16
ปูนขาว	2.80
ผงอะลูมิเนียม	2.70
ยิปซัม	2.67
ทราย	2.66
ดินตะกอนเซรามิค	2.51

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปูนซีเมนต์มีค่าความถ่วงจำเพาะมากที่สุด รองลงมาคือ ปูนขาว ผงอะลูมิเนียม ยิปซัม ทรายละเอียด และดินตะกอนเซรามิค มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำที่สุด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของวัสดุแต่ละชนิด เรียงลำดับค่าความถ่วงจำเพาะจากมากที่สุดไปน้อยที่สุดดังแสดงในภาพที่ 4.1



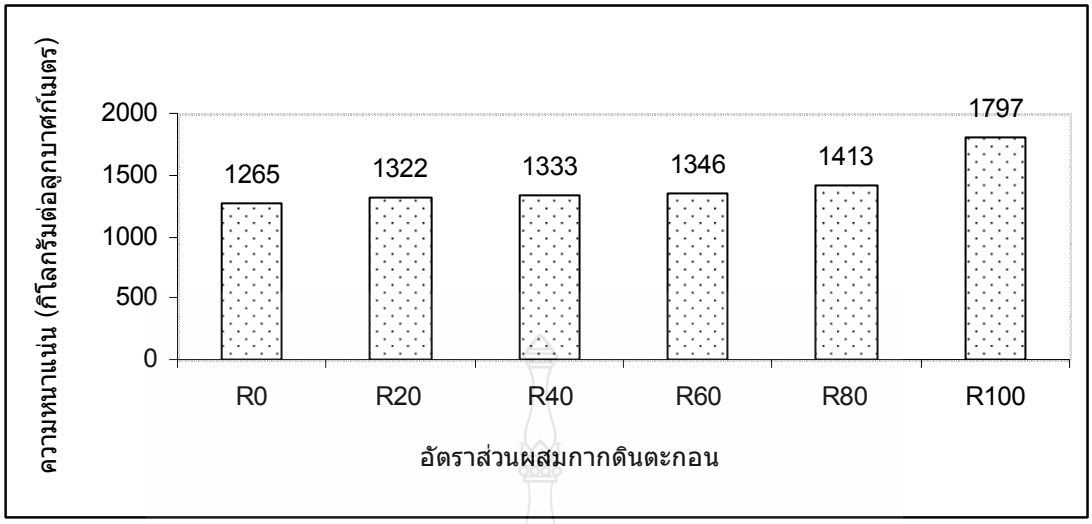
ภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิค

4.3 ผลการทดสอบความหนาแน่น

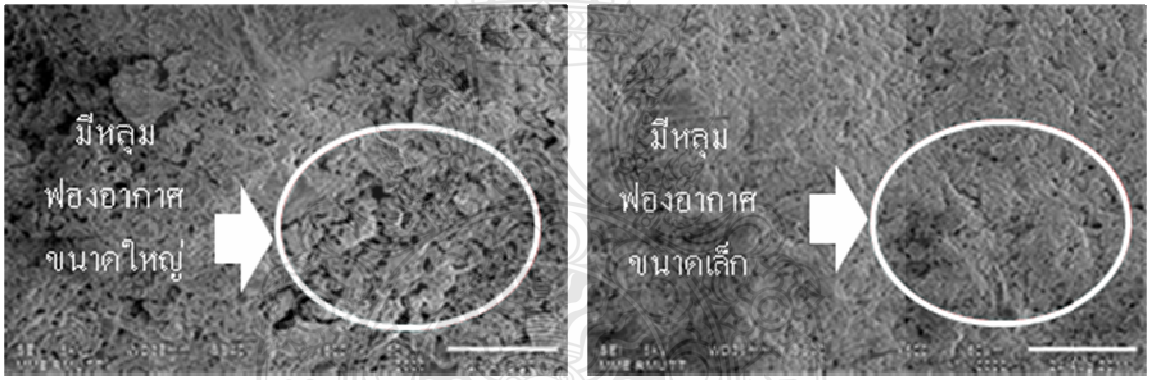
ผลจากการหาความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคในอัตราส่วนต่างๆ นั้น สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.3 ภาพที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
R0 (1:0.02:0.0)	1265
R20 (1:0.016:0.004)	1322
R40 (1:0.012:0.008)	1333
R60 (1:0.008:0.012)	1346
R80 (1:0.004:0.016)	1413
R100 (1:0.0:0.02)	1797



ภาพที่ 4.2 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคในอัตราส่วนต่าง



(ก) 100 : 0 (ข) 0 : 100

ภาพที่ 4.3 โครงสร้างจุลภาคคอนกรีตมวลเบา จากการส่องกล้องแบบส่องกราด (SEM) ที่อัตรากำลังขยาย 500 เท่า ในอัตราส่วนผงอะลูมิเนียม : กากดินตะกอน

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบพบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคมีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนปริมาณของกากดินตะกอนเซรามิคที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคของกากดินตะกอนมีขนาดเล็กสามารถเข้าไปอุดช่องว่างหรือฟองอากาศ ที่เกิดจากการระเหยของก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาของผงอะลูมิเนียมกับปูนขาวในเนื้อคอนกรีตมวลเบา ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างใหม่เรียกว่า Cellular Structure (โครงสร้างระดับเซลล์) ได้ดี ทำให้เนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่น

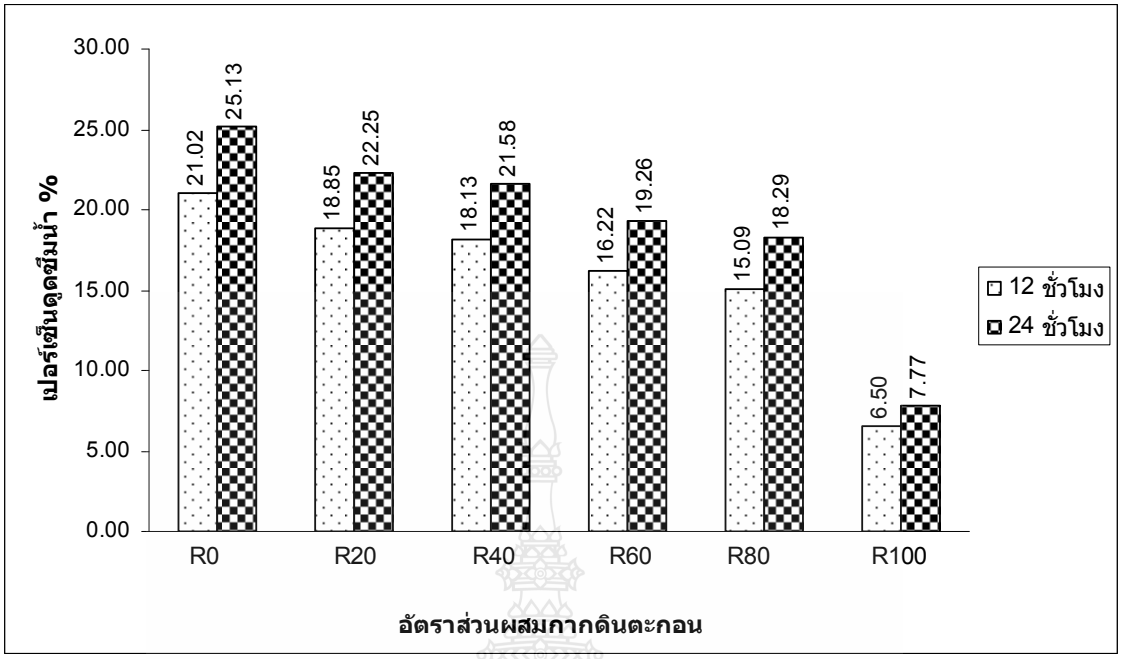
สูงขึ้น [5] ซึ่งความหนาแน่นของคอนกรีตแปรผันกับอัตราส่วนผสมระหว่างผงอะลูมิเนียมต่อกากดินตะกอน เมื่อทำการส่องกล้องแบบส่องกราดทางจุลภาคที่กำลังการขยาย 500 เท่า ดังภาพที่ 4.3 พบว่าอัตราส่วนผสม 100:0 ภาพที่ 4.3 (ก) มีช่องว่างในเนื้อคอนกรีตจำนวนมาก เนื่องจากผงอะลูมิเนียมทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เกิดฟองอากาศหรือช่องว่างในเนื้อคอนกรีตส่งผลให้คอนกรีตฟู [10] และเมื่อเพิ่มปริมาณดินตะกอนตามลำดับแล้ว การทำปฏิกิริยาแคลเซียมไฮดรอกไซค์ลดลง ส่งผลให้ช่องว่างหรือฟองอากาศในเนื้องานคอนกรีตมีจำนวนที่เล็กมาก ตามอัตราส่วน 0:100 ดังภาพที่ 4.3 (ข) เมื่อเปรียบเทียบเทียบกับภาพที่ 4.3 (ก) ซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบามีค่าสูงที่สุดกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ผลการทดสอบที่ได้นี้ สอดคล้องกับงานวิจัย “การใช้ดินขาวผสมในคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลาง” ค่าทดสอบที่ได้มีอัตราที่สูงขึ้นตามปริมาณของดินขาวที่เพิ่มเข้าไป ด้วยดินขาวมีอนุภาคขนาดเล็กทำให้เข้าไปอุดช่องว่างของฟองอากาศในเนื้องานคอนกรีต เช่นเดียวกัน [5]

4.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

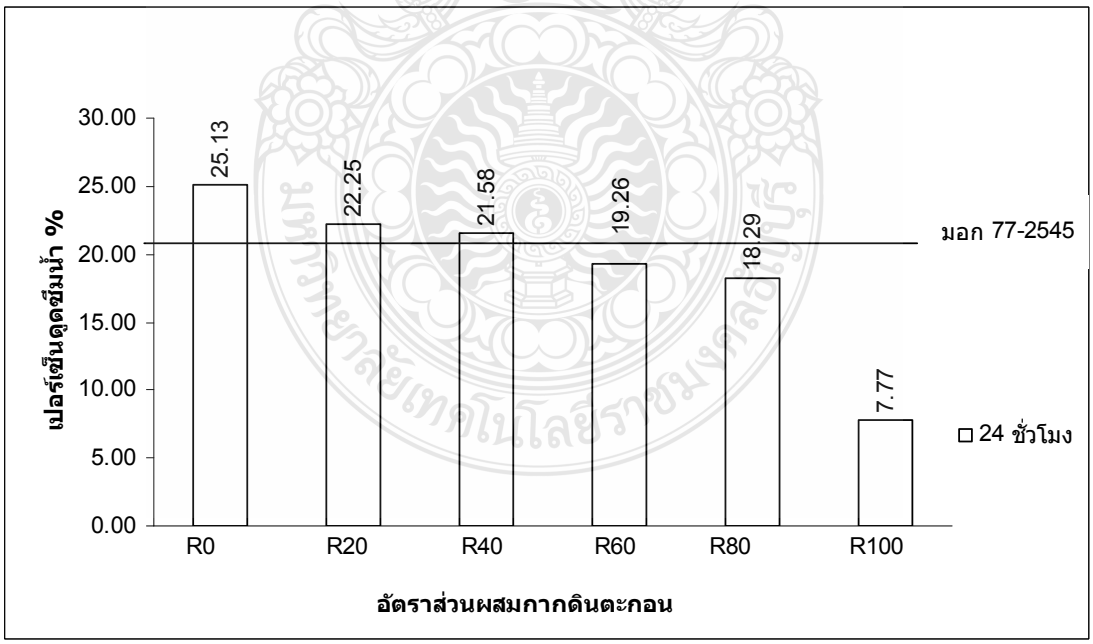
การทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิค ได้ผลการทดสอบดังแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนผสม	การดูดซึมร้อยละ	
	12 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
R0 (1:0.02:0.0)	21.02	25.13
R20 (1:0.016:0.004)	18.85	22.25
R40 (1:0.012:0.008)	18.13	21.58
R60 (1:0.008:0.012)	16.22	19.26
R80 (1:0.004:0.016)	15.09	18.29
R100 (1:0.0:0.02)	6.50	7.77

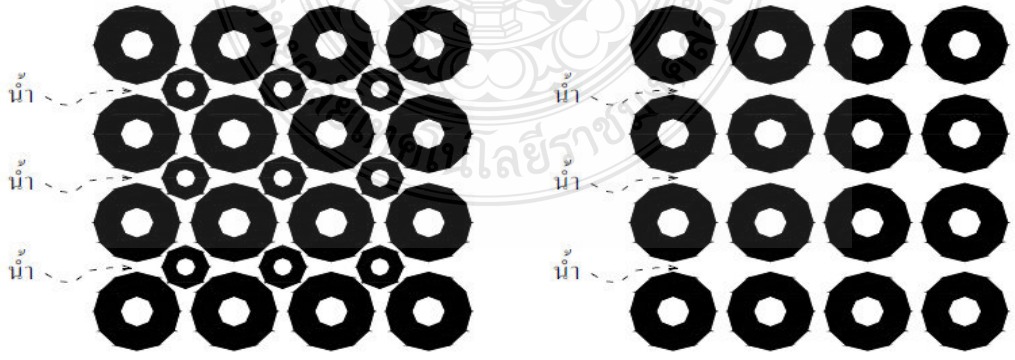


ภาพที่ 4.4 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ แปรผันตามระยะเวลา



ภาพที่ 4.5 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ แปรผันตามระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ผลการทดสอบพบว่า ปริมาตรช่องว่าง (รูพรุน) ของคอนกรีตมวลเบาที่มีการทดแทนผงอะลูมิเนียมด้วยกากดินตะกอนเซรามิคที่ 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าลดลงเมื่อปริมาณกากดินตะกอนเซรามิคที่ใช้มีค่าเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.4 เนื่องจากปริมาณหลุมฟองอากาศ (ฟองไฮโดรเจน) ที่เกิดจากปฏิกิริยาของผงอะลูมิเนียมลดลง เช่นเดียวกับผลการทดสอบความหนาแน่น โดยผลการทดสอบแสดงว่าคอนกรีตมวลเบาที่ผสมกากดินตะกอนเซรามิคมากที่สุดจะมีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด และอัตราการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกากดินตะกอนเซรามิคลดลง เปรียบเทียบอัตราการดูดซึมน้ำตามระยะเวลาจะพบว่า อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการแช่น้ำ ดังแสดงในภาพที่ 4.4 และเมื่อเปรียบเทียบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 77-2545 [34] พบว่าอัตราส่วนผสม 100:0 80:20 60:40 ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม 77-2545 และอัตราส่วนที่ 40 : 60, 20 : 80 และ 100 : 0 ไม่ถึงเกณฑ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 77-2545 ดังแสดงในภาพที่ 4.5 ผลการทดสอบที่ได้สนับสนุนการวิเคราะห์ได้ว่าขนาดหลุมของฟองอากาศมีลักษณะตื้นลึกไม่เท่ากันในเนื้อวัสดุและการจัดเรียงตัวของผิววัสดุมีลักษณะการทับถมอย่างไม่เป็นระเบียบทำให้เกิดช่องว่างของอากาศ ซึ่งขนาดของหลุมฟองอากาศและความหนาแน่นมีผลต่อการดูดซึมความชื้นสูง ส่งผลให้วัสดุมีการดูดซึมความชื้นในเนื้อวัสดุก่อสร้าง [35] จากภาพที่ 4.6 แสดงภาพการแสดงทิศทางการดูดซึมของน้ำในเนื้องานคอนกรีตที่มีความพรุนทำให้น้ำสามารถไหลซึมผ่านช่องว่างระหว่างเนื้องานคอนกรีตโดยเลือกระยะทางที่สั้นที่สุดเข้าไปสะสมในช่องว่างแทนที่อากาศจนเกิดความอิ่มตัว เนื้องานคอนกรีตที่มีฟองอากาศมากน้ำจะแทรกซึมเข้าไปได้มากนั่นเอง สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนกากดินตะกอนเซรามิคสูงขึ้น เมื่อไม่มีผงอะลูมิเนียมเป็นส่วนผสมทำให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลดลงอย่างเห็นได้



คอนกรีตที่มีช่องว่างอากาศน้อย คอนกรีตที่มีช่องว่างอากาศมาก

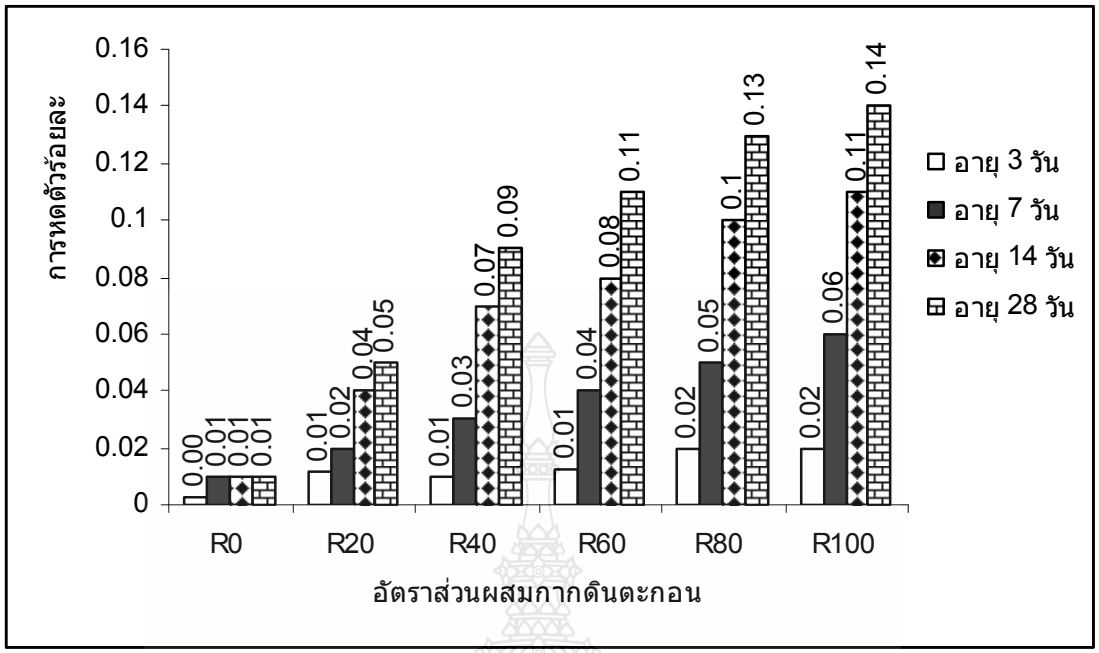
ภาพที่ 4.6 ทิศทางการดูดซึมน้ำที่เข้าสู่เนื้องานคอนกรีต

4.5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว

การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาวหรือการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิค ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงผลการหดตัวของคอนกรีต โดยผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนผสมของกากดินตะกอนมากที่สุดมีอัตราการหดตัวสูงสุด แปรผกผันกับอัตราส่วนคอนกรีตมวลเบาปกติที่มีอัตราการหดตัวต่ำสุด เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีตและปฏิกิริยาระหว่างผงอะลูมิเนียมกับปูนขาวซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการน้ำมาก ส่งผลให้ส่วนผสมแห้งและเกิดการหดตัวอย่างเห็นได้ชัด [5] โดยแนวโน้มดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคอนกรีต อีกทั้งยังพบว่าคอนกรีตมวลเบาที่อายุบ่ม 28 วัน มีการหดตัวสะสมมากกว่า 3 7 และ 14 วัน ทุกอัตราส่วนผสม จากภาพที่ 4.7 เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนกากตะกอนเซรามิคสูงขึ้น และเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาอายุการบ่มด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.5 การหดตัวของคอนกรีตจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนผสม	**การหดตัว ร้อยละ**			
	อายุ 3 วัน	**อายุ 7 วัน**	**อายุ 14 วัน**	**อายุ 28 วัน**
R0	0.00	0.01	0.01	0.01
R20	0.01	0.02	0.04	0.05
R40	0.01	0.03	0.07	0.09
R60	0.01	0.04	0.08	0.11
R80	0.02	0.05	0.1	0.13
R100	0.02	0.06	0.11	0.14



ภาพที่ 4.7 ร้อยละการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

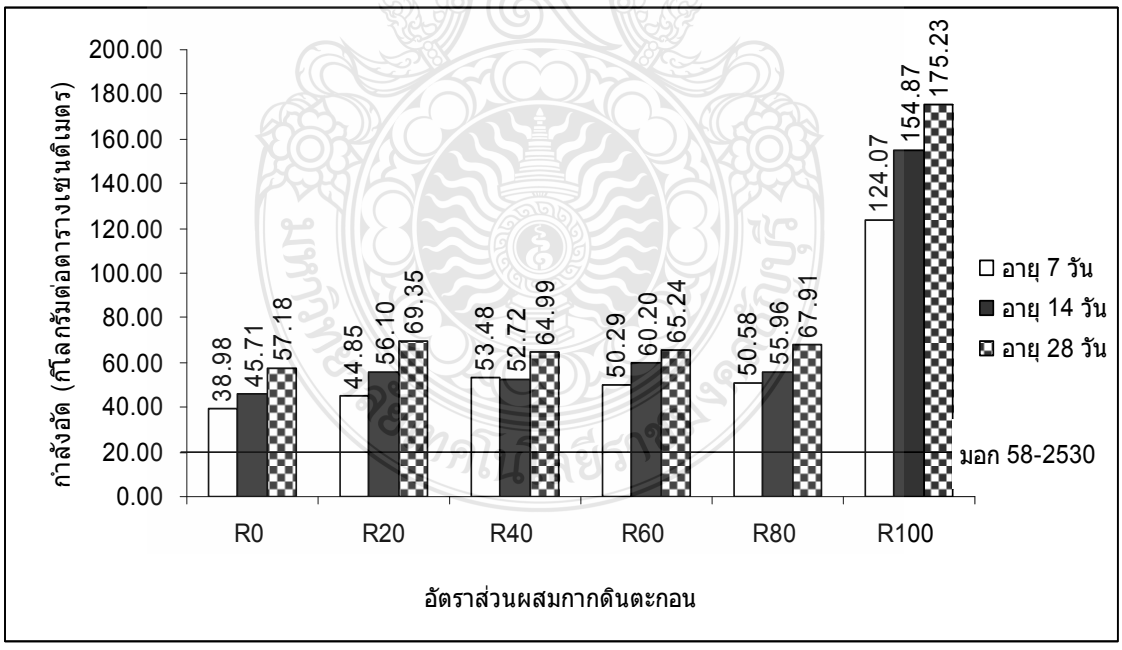
4.6 ผลการทดสอบกำลังอัด

สำหรับผลการทดสอบกำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิค ที่อายุ 7, 14, 28 วัน ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนผสม	กำลังอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)		
	อายุ 7 วัน	อายุ 14 วัน	อายุ 28 วัน
R0 (1:0.02:0.0)	38.98	45.71	57.18
R20 (1:0.016:0.004)	44.85	56.10	69.35
R40 (1:0.012:0.008)	53.48	52.72	64.99
R60 (1:0.008:0.012)	50.29	60.20	65.24
R80 (1:0.004:0.016)	50.58	55.96	67.91
R100 (1:0.0:0.02)	124.07	154.87	175.23

จากผลการทดสอบพบว่า ผลกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วนต่างๆ โดยแทนที่ผงอะลูมิเนียมด้วยกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วน 20 40 60 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังอัดกับอายุบ่มพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดจะแปรผันตรงกับอายุคอนกรีตมวลเบา เมื่อคอนกรีตมวลเบามีอายุมากขึ้นทำให้การรับกำลังอัดสูงขึ้น และค่ากำลังอัดยังแปรผันกับปริมาณของกากดินตะกอนเซรามิคที่เพิ่มขึ้นดังตารางที่ 4.6 เนื่องจากปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ได้มีปริมาณเพิ่มขึ้น และปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตลดลง เช่นเดียวกับผลหน่วยน้ำหนักจากผลกำลังอัด ผลปริมาตรช่องว่าง (รูพรุน) และผลหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลที่มีการทดแทนผงอะลูมิเนียมด้วยกากดินตะกอนเซรามิค จะพบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบานี้จะมีสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยน้ำหนัก คือ กำลังอัดของคอนกรีตจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบานี้มีค่าเพิ่มขึ้น และจะมีสัดส่วนผกผันกับปริมาตรช่องว่างที่เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตคือ กำลังอัดของคอนกรีตจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาตรช่องว่างของคอนกรีตมวลเบานี้มีค่าลดลง [5] เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย มอก. 58-2530 ที่มีค่ามาตรฐานที่ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่าผ่านตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย มอก. 58-2530 [36] ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

4.7 ผลการทดสอบกำลังดัด

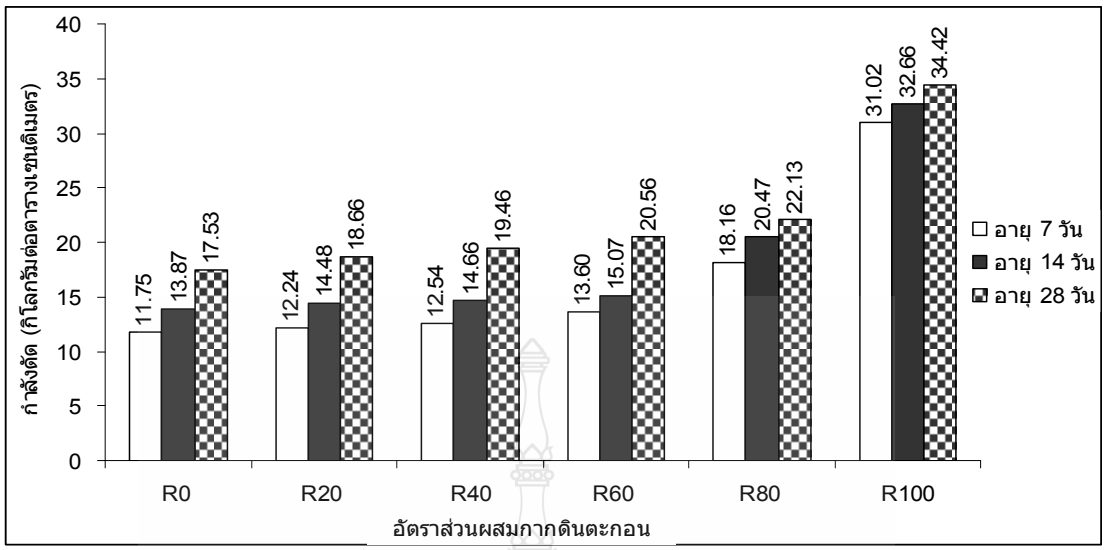
การทดสอบกำลังดัดหรือความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนผสม	กำลังดัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)		
	อายุ 7 วัน	อายุ 14 วัน	อายุ 28 วัน
R0 (1:0.02:0.0)	11.75	13.87	17.53
R20 (1:0.016:0.004)	12.24	14.48	18.66
R40 (1:0.012:0.008)	12.54	14.66	19.46
R60 (1:0.008:0.012)	13.60	15.07	20.56
R80 (1:0.004:0.016)	18.16	20.47	22.13
R100 (1:0.0:0.02)	31.02	32.66	34.42

จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่ากำลังดัดหรือความต้านทานแรงดัดของคอนกรีตมวลจากกากดินตะกอนเซรามิคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุบ่มและปริมาณของกากดินตะกอนเซรามิค สอดคล้องกับผลการทดสอบกำลังอัด เนื่องจากพื้นที่รับกำลังของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มขึ้นแปรผันกับปริมาณของกากดินตะกอน ทำให้เนื้อคอนกรีตมีช่องว่างหรือฟองอากาศจากปฏิกิริยาระหว่างผงอะลูมิเนียมกับปูนขาวลดลงจากการแทนที่ของกากดินตะกอน ส่งผลให้ค่ากำลังดัดเพิ่มขึ้น โดยผลการทดสอบแสดงว่าค่ากำลังดัดที่ 28 วัน มีค่ากำลังดัดสูงสุดทุกชุดการทดสอบ และอัตราส่วนผสมของกากดินตะกอนสูงสุด (R100) มีค่ากำลังดัดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.9

แต่เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังดัดที่ได้พบว่าคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคมีค่าไม่สูงนัก จึงไม่เหมาะในการนำไปใช้ในงานที่ต้องการรับกำลังดัด เนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีความหนาแน่นต่ำส่งผลให้พื้นที่การรับแรงน้อยทำให้กำลังดัดที่ได้ต่ำ



ภาพที่ 4.9 กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ด้านความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ การเปลี่ยนแปลงความยาว ค่ากำลังอัด ค่ากำลังดัด และข้อเสนอแนะของคอนกรีตมวลเบาจากกากตะกอนเซรามิคในอัตราส่วนต่างๆ สามารถสรุปและเสนอแนะผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

การนำกากตะกอนเซรามิคแทนที่ผงอะลูมิเนียมในการทำคอนกรีตมวลเบาส่งผลต่อสมบัติของคอนกรีตต่างๆ กันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณของกากตะกอนเซรามิคที่นำไปใช้ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 สมบัติเชิงกล

1) กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากตะกอนเซรามิคทุกอัตราส่วนมีค่าสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาเริ่มต้น เมื่อแทนที่ผงอะลูมิเนียมด้วยกากตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วน ปูนซีเมนต์: อะลูมิเนียม: ดินตะกอน ที่อายุบ่ม 28 วัน ส่วนผสม R0 (1:0.02:0.0) ให้กำลังอัดต่ำสุดเท่ากับ 57.18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร R100 ให้กำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 175.23 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2530) [36] ที่มีค่ามาตรฐานที่ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2) กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาเมื่อเปรียบเทียบที่อายุ 28 วัน โดยอัตราส่วนดินตะกอนที่ 20, 40, 60, 80และ 100 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าคอนกรีตมวลเบาเริ่มต้นคิดเป็นร้อยละ 21.28, 13.65, 14.09, 18.76 และ 206.45 ตามลำดับ

3) กำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาจากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วน 20, 40, 60, 80และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 18.66, 19.46, 20.56, 22.13และ 34.42 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาเริ่มต้นรับกำลังดัดได้เท่ากับ 17.53 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คิดเป็นอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.44, 11.01, 17.28, 26.24, 96.35 ตามลำดับ

4) ปริมาณกากตะกอนเซรามิคมีผลต่อกำลังอัดเนื่องจากกากตะกอนเซรามิคเข้าไปแทนที่ช่องว่างในรูพรุนของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีพื้นที่ในการรับกำลังได้มากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัด

สูงขึ้นตามปริมาณของกากตะกอนเซรามิค มีความเป็นไปได้สูงที่จะนำมาใช้กับลักษณะงานคอนกรีตที่ต้องรองรับน้ำหนักมากๆ เช่น คอนกรีตปูพื้น ซึ่งต้องรับน้ำหนักและแรงเสียดสีค่อนข้างสูง

5.1.2 สมบัติทางกายภาพ

1) ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตจากกากตะกอนเซรามิคเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนกากตะกอนเซรามิคที่เพิ่มขึ้น

2) ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำพบว่ามีค่าลดลงตามปริมาณกากตะกอนเซรามิคที่เพิ่มขึ้น

3) ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพด้านการเปลี่ยนแปลงความยาวพบว่ามีการหดตัวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มของคอนกรีต

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผลที่ได้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับทางเลือกในการนำกากตะกอนเซรามิคมาแทนที่ผงอะลูมิเนียมเพื่อใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา อีกทั้งเป็นการนำวัสดุที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ โดยได้ศึกษาถึงสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกายภาพเท่านั้น จึงควรทำการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในด้านอื่นๆ อีก เพื่อเป็นการพัฒนาต่อยอดสำหรับผู้ที่สนใจ

5.2.1 เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ที่เท่ากัน การเพิ่มปริมาณกากตะกอนเซรามิคมีผลต่อค่าการยุบตัวของคอนกรีตจากกากตะกอนเซรามิคหรือไม่ ควรใส่สารผสมเพิ่มเพื่อเพิ่มกำลังอัดหรือไม่

5.2.2 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ (W/C) ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มกำลังอัดและค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา

5.2.3 ควรมีการศึกษาวิจัยในแง่ของการนำไปใช้ในงานจริง เช่น พวกงานก่อสร้างผนังคอนกรีตเบาภายในอาคาร เพื่อเป็นทางเลือกในการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้งานได้จริง

5.2.4 ควรมีการศึกษาวิจัยในด้านความทนทานของคอนกรีตผสมกากตะกอนเซรามิคในด้านอื่นๆ อีก เช่น คุณสมบัติด้านฉนวนกันความร้อน ฉนวนกันเสียง ความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดและสภาพแวดล้อม เป็นต้น

รายการอ้างอิง

[1] นายวิริยะ ธารพันธุ์, **การนำโคลนปูนจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษมาใช้แทนทรายในการผลิตคอนกรีตมวลเบา**, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและพัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549.

[2] ประชุม คำพุฒ, "การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ," **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.**, ปีที่ 30, ฉบับที่ 2, 2550.

[3] ไชยยันต์ ชัยจักร, สมิตร ส่งพิริยะกิจ และดร.กุลพัฒน์ วัฒนกูล, "การผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากกากอุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็ก," **การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ**, ครั้งที่ 1, กาญจนบุรี, 2546.

[4] สถาบันสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม, **โครงการพัฒนาส่งเสริมการใช้ทรัพยากรแร่และโลหะหมุนเวียนเพื่อการพัฒนาอย่างมีดุลยภาพ**. 2552.

[5] เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี, สมหมาย ผิวสะอาด และประชุม คำพุฒ, "การใช้ดินขาวผสมในคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลาง," **Research&Repository**, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2551.

[6] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (มอก.1505-2541)**. กรุงเทพฯ, 2541.

[7] มยุรี ปาลวงศ์, **ประโยชน์ของยิปซัม : อุตสาหกรรมคอนกรีตมวลเบา**. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, พิมพ์ครั้งที่ 1 , กรุงเทพฯ, 2552.

[8] สรรเสริญ วิราพร, **คอนกรีตมวลเบา: สำนักเทคโนโลยีชุมชน**. กรุงเทพ, 2549.

[9] Advance Concrete technology, **คอนกรีตมวลเบา** (Online), Available: http://concretethai.com /technical_area.html. (23 มีนาคม 2555)

[10] ไกรวุฒิ แก้วมา, บัญชา คำวอน และประชุม คำพุฒ, **คอนกรีตพรุนโดยวิธีผสมผงอะลูมิเนียม**, วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2539.

[11] อุบลศรี ชัยสาม และเยาวลักษณ์ นิจสภา**, คุณลักษณะของแร่ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายในตลาดแร่**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ฝ่ายข้อมูลและสถิติ กองวิชาการและการวางแผนกรมทรัพยากรธรณี, 2537.

[12] นระ คมนามูล, **วัสดุและการทดสอบแบบไม่ทำลายในงานวิศวกรรมโยธา**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูชั่น จำกัด (มหาชน), 2547.

[13] สุภาพร ศรีสมบูรณ์, "อิฐมวลเบา : นวัตกรรมใหม่ของวงการวัสดุก่อสร้าง," **สารวิจัยธุรกิจ สำนักงานวิจัยธุรกิจ บมจ.ธนาคารกรุงไทย**, ฉบับที่ 20 ปีที่ 9, มิถุนายน 2548.

[14] นิตย์รดี ดอเล๊าะ, "วัสดุมวลเบาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง," **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**, ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม, 2552. pp. 48-62.

[15] Benjamin. I.A. "Lightweight Concrete: American Concrete Institute," **Detroit**, Michigan, 1960.

[16] เครือซีเมนต์ไทย, **ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน: บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ, 2548.

[17] คชินทร์ สายอินทวงศ์, **การกำจัดของเสียในอุตสาหกรรมเซรามิค: แนวทางการกำจัดของเสียในอุตสาหกรรมเซรามิค** (Online), 2008. Available: http://www.thaiceramicsociety.com/ta_position.php. (23 มีนาคม 2555)

[18] สุจินต์ พราวพันธุ์, **อะลูมินากับการนำไปใช้งานทางเซรามิค** (Online), 2010. Available: http://www.dss.go.th/dssweb/st_articles/files/ct_2_2545_alumina.pdf. (19 มกราคม 2555)

[19] ชาญยุทธ สีแดง, อัมรินทร์ นันทะเสน และเกศรินทร์ พิมรักษา, "การผลิตอิฐเบาชนิดไม่เผาจากดินเบาแหล่งลำปางม," ใน **รวมรวบผลงานโครงการที่ได้รับทุน IRPUS**, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ฝ่ายอุตสาหกรรม), พิมพ์ครั้งที่ 1, 2546.

[20] ประชุม คำพุฒ, "คอนกรีตพรุนโดยวิธีผสมผงอะลูมิเนียม," **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคล**, ฉบับที่ 2, ปีที่ 1, 2545.

[21] ดวงฤดี สายสุวรรณ, **การพัฒนาคอนกรีตพรุนและคอนกรีตมวลเบาด้วยเถ้าชานอ้อยและสารตัวเติม** (Online), 2009. Available: http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/06-technology/amornrat_innovation/techno_06.html (23 มีนาคม 2555)

[22] กัมปนาท บุญกัน, อภิสิทธิ์ พงษ์สวัสดิ์, สมจิต พฤฒิชัยวิบูลย์ และดนุพล ตันนโยภาส, “การพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบา,” **การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6**, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

[23] ชลิต วงศ์ประเสริฐสุข, ธิษัณย์ พฤทธิพงษ์, วีรพล เพชรานนท์ และบุญไชย สถิตมั่นในธรรม, “สัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ที่แทนที่ซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอย,” **โครงการทางวิศวกรรมโยธา 2544**, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2544.

[24] กฤษฎา โรจน์ประสิทธิพร, อราวินทร์ บริรักษ์อราวินทร์, สุภัทรชัย สุดกล้า และปิติ สุคนธสุขสกุล, “ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์,” ใน **รวบรวมผลงานโครงงานที่ได้รับทุน IRPUS**, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ฝ่ายอุตสาหกรรม), พิมพ์ครั้งที่ 1, 2547.

[25] เลิศลักษณ์ รองปาน, อุทัย เพชรรอด, จรูญศักดิ์ ทิยา, จเร รัตนพันธุ์, กวีวุฒิ ขจรเกียรติพัฒนา และไพจิตร ผาวัน, “การศึกษาส่วนผสมของวัสดุเหลือใช้สำหรับงานผนังอาคาร,” ใน **รวบรวมผลงานโครงการที่ได้รับทุน IRPUS**, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ฝ่ายอุตสาหกรรม), พิมพ์ครั้งที่ 1, 2547.

[26] โยธิน อึ่งกูล, จงจิตร์ หิรัญลาภ, ปัญญา ยอดโอวาท, และโจเซฟ เคดารี, “คุณสมบัติของความร้อนเฉื่อยของคอนกรีตมวลเบา,” **การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10**, ชลบุรี, 2548.

[27] โยธิน อึ่งกูล, จงจิตร์ หิรัญลาภ, ปัญญา ยอดโอวาท, และโจเซฟ เคดารี, “ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมและคุณสมบัติทางความร้อนผนังคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ,” **การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10**, ชลบุรี, 2548.

[28] วรรณา ต.แสงจันทร์, “การพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว,” **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ**, ฉบับที่ 57, มกราคม 2552.

[29] ดนุพล ตันนโยภาส และวันชัย แก้วไฝ, “การพัฒนาคอนกรีตมวลรวมเศษยี้ยางธรรมชาติด้วยเถ้าแกลบขาว,” **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์**, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ครั้งที่ 7, 2552.

[30] ดนุพล ตันนโยภาส และกัลญาณี คุปตานนท์, “คอนกรีตมวลเบาที่ทำจากมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต,” **การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย**, มหาวิทยาลัยทักษิณ, ครั้งที่ 9, 2552.

[31] ประชุม คำพุฒ, ฉันท์ทิพ คำนวณทิพย์, เศกสรรค์ ชูทับทิม, และคณะ, “การปรับปรุงคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยน้ำยางธรรมชาติ,” **Research&Repository,** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี, 2550.

[32] ฮาบีเด็ง ฮาวา, **สมบัติของคอนกรีตมวลเบาหินพัมมิซผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและเถ้าแกลบ**, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551.

[33] ปิติ พานิชายุนนท์ และคณะ, **การพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากฟางข้าว** (Online), Available: http://www.rdi.rmutsv.ac.th/ebook/Engi_content.php. (5 มีนาคม 2555)

[34] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ (มอก. 77-2545)**, กรุงเทพ, 2546.

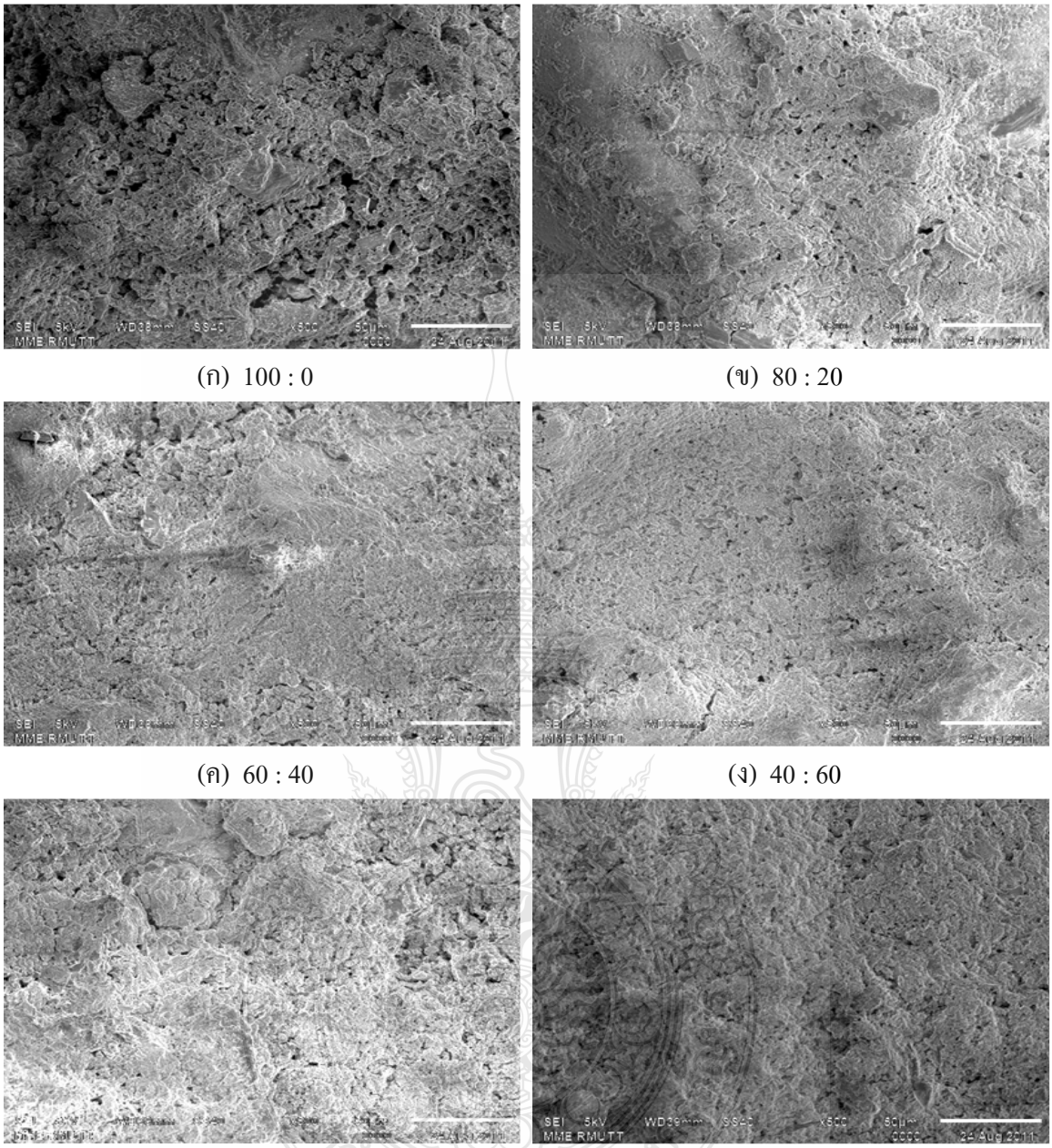
[35] สมชาย มณีวรรณ์, สุริยงค์ ประชาเขียว และพรสวรรค์ อมรศักดิ์ชัย, “อิทธิพลของฟองอากาศที่มีผลต่อการดูดซึมความชื้นในเนื้อวัสดุก่อสร้าง,” **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย**, ครั้งที่ 21, ชลบุรี, 2550.

[36] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2530)**, กรุงเทพฯ, 2530.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โครงสร้างจุลภาคคอนกรีตมวลเบาจากการส่องกล้องแบบส่องกราด (SEM)

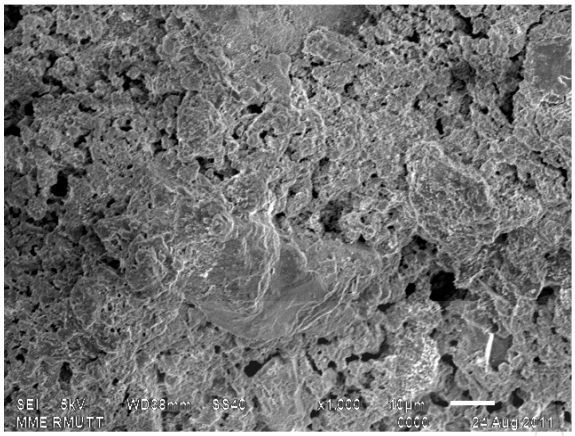


(ก) 100 : 0 (ข) 80 : 20

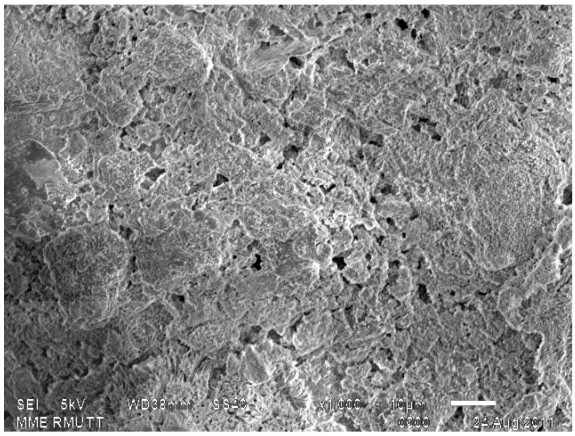
(ค) 60 : 40 (ง) 40 : 60

(จ) 20: 80 (ฉ) 0 : 100

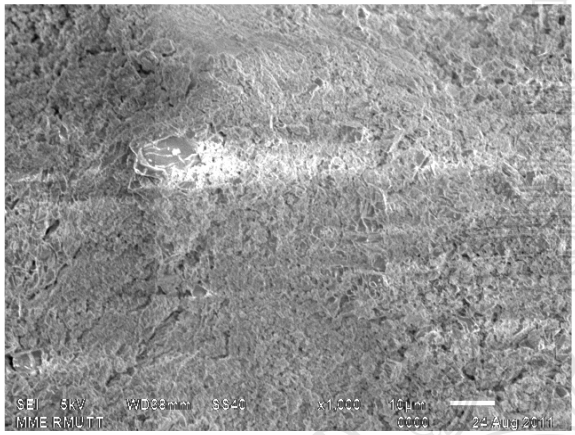
ภาพที่ ก.1 โครงสร้างจุลภาคคอนกรีตมวลเบาจากการส่องกล้องแบบส่องกราด (SEM) ที่อัตรากำลังขยาย 500 เท่า ในอัตราส่วนผงอะลูมิเนียม: กากดินตะกอน



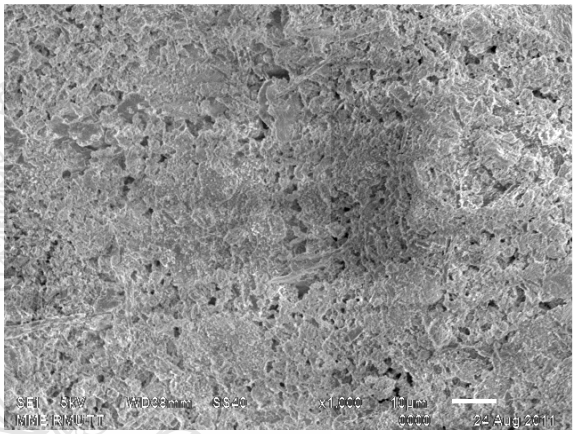
(ก) 100 : 0



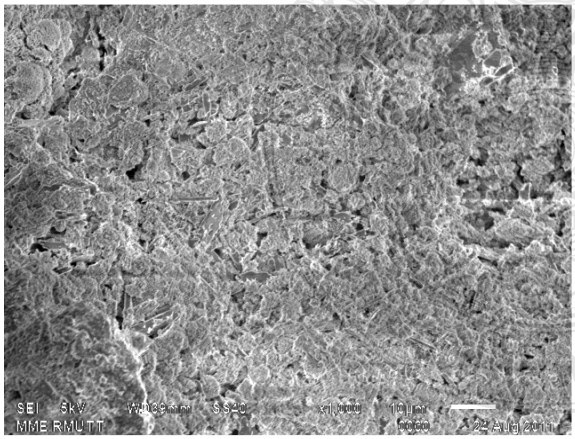
(ข) 80 : 20



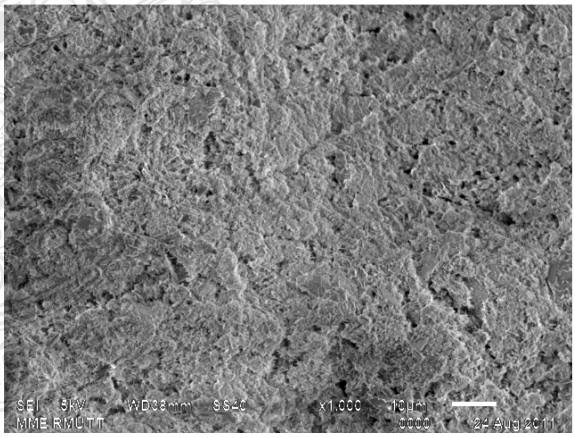
(ค) 60 : 40



(ง) 40 : 60

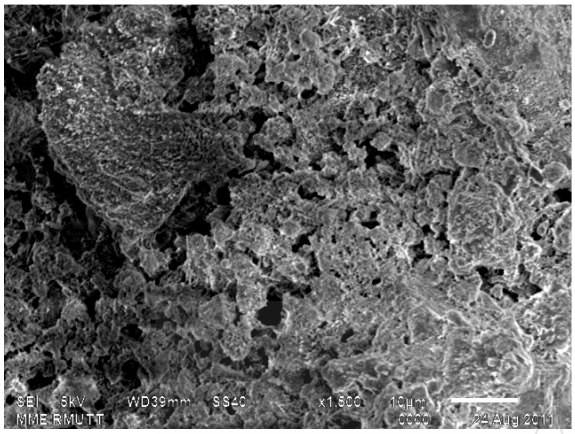


(จ) 20: 80

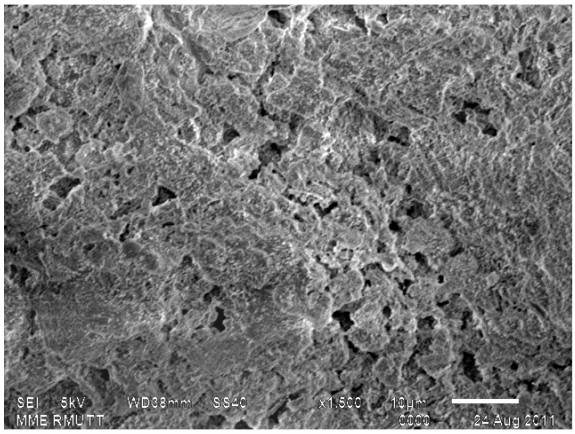


(ฉ) 0 : 100

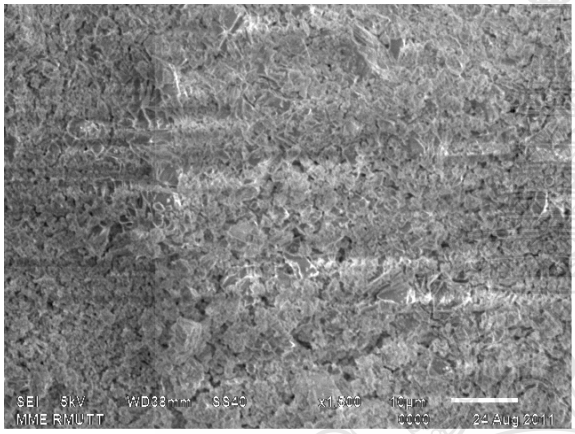
ภาพที่ ก.2 โครงสร้างจุลภาคคอนกรีตมวลเบา จากการส่องกล้องแบบส่องกราด (SEM) ที่อัตรากำลังขยาย 1000 เท่า ในอัตราส่วนผงอะลูมิเนียม: กากดินตะกอน



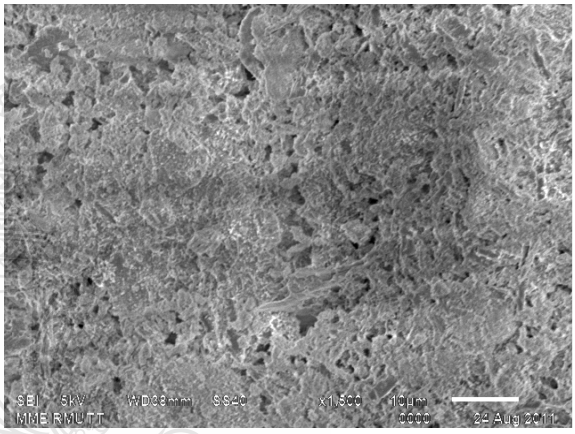
(ก) 100 : 0



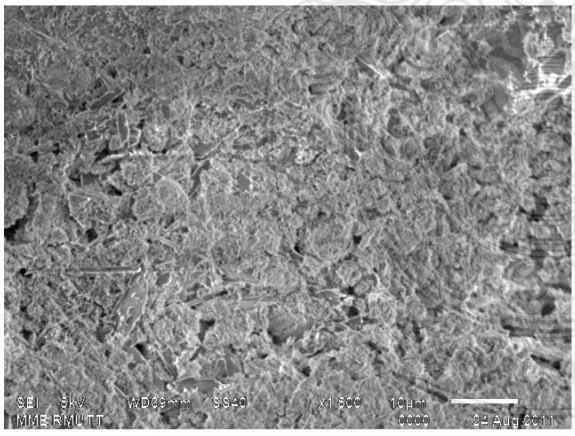
(ข) 80 : 20



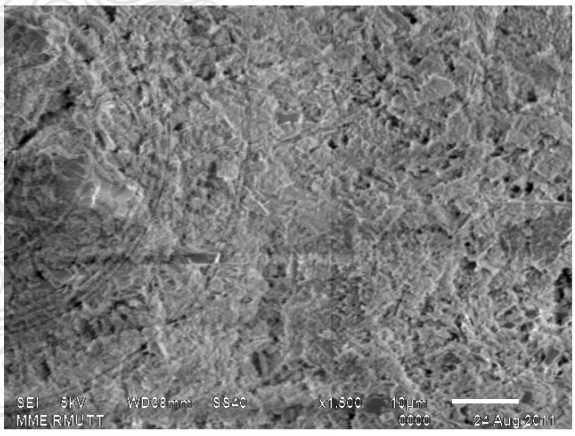
(ค) 60 : 40



(ง) 40 : 60



(จ) 20: 80

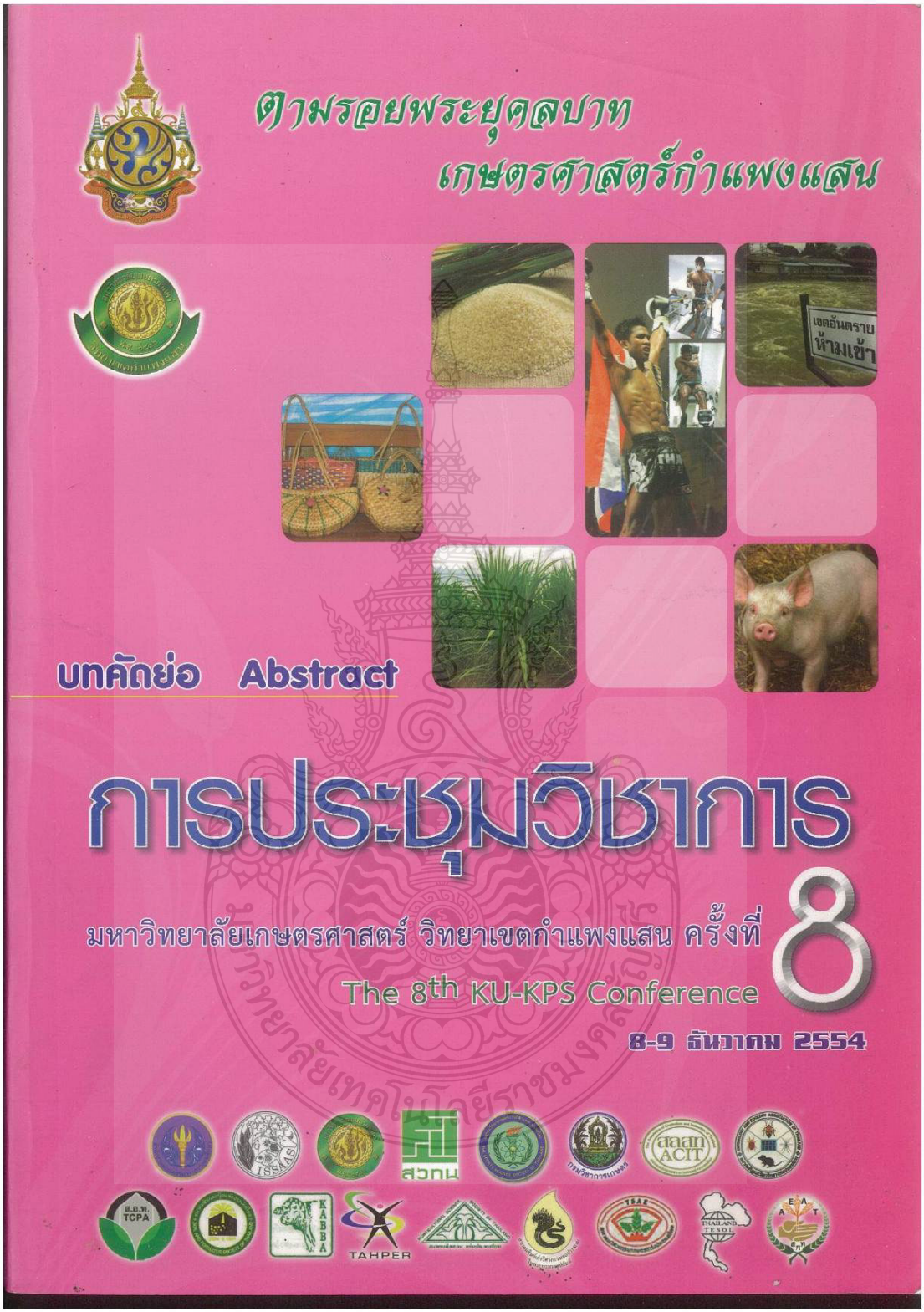


(ฉ) 0 : 100

ภาพที่ ก.3 โครงสร้างจุลภาคคอนกรีตมวลเบา จากการส่องกล้องแบบส่องกราด (SEM) ที่อัตรากำลังขยาย 1500 เท่า ในอัตราส่วนผงอะลูมิเนียม: กากดินตะกอน

ภาคผนวก ข

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่


ตามรอยพระยุคลบาท
เกษตรศาสตร์กำแพงแสน
เขตอันตราย
ห้ามเข้า
บทคัดย่อ Abstract
การประชุมวิชาการ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 8
The 8th KU-KPS Conference
8-9 ธันวาคม 2554

คณะกรรมการจัดสัมมนาวิชาการและจัดประชุมวิชาการ

คณะกรรมการอำนวยการจัดประชุมวิชาการ

ที่ปรึกษา	เลขาธิการคณะกรรมการการอุดมศึกษา
	เลขาธิการสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ
	คณบดีวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล
	นายกสมาคมสุขศึกษา พลศึกษาและสันทนาการแห่งประเทศไทย
	นายกสมาคมอารักขาพืชไทย
	นายกสมาคมดินและปุ๋ย แห่งประเทศไทย
	นายกสมาคมกีฏและสัตววิทยาแห่งประเทศไทย
	นายกสมาคมพืชสวนแห่งประเทศไทย
	นายกสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
	นายกสมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
	นายกสมาคมส่งเสริมการเกษตรแห่งประเทศไทย
	นายกสมาคมโคเนื้อแห่งประเทศไทย
	นายกสมาคมโคเนื้อพันธุ์กำแพงแสน
	นายกสมาคมหลักสูตรและการสอนแห่งประเทศไทย
	นายกสมาคมครูผู้สอนภาษาอังกฤษแห่งประเทศไทย
ประธานกรรมการ	รองอธิการบดีวิทยาเขตกำแพงแสน
รองประธานกรรมการ	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายการศึกษาและวิเทศสัมพันธ์
กรรมการและเลขานุการ	ผู้อำนวยการกองบริการการศึกษา (กำแพงแสน)
กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ	หัวหน้างานบริการการศึกษา กองบริการการศึกษา (กำแพงแสน)
กรรมการ	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายกิจการพิเศษ
	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการ
	ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายบริหารและประกันคุณภาพ
	ผู้ช่วยรองอธิการบดีฝ่ายกิจการนิสิต กีฬา และศิลปวัฒนธรรม
	คณบดีคณะเกษตร กำแพงแสน
	คณบดีคณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
	คณบดีคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
	รองคณบดีคณะสัตวแพทยศาสตร์ กำแพงแสน
	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา
	คณบดีคณะประมง
	รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัยวิทยาเขตกำแพงแสน
	ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมและฝึกอบรม กำแพงแสน

S

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน
ผู้อำนวยการสถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจเพื่อการค้นคว้า
และพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์
ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร
ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ มก. กพส.

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ

ประธานอนุกรรมการ	นายนรุณ วรามิตร
รองประธานอนุกรรมการ	นางสาวอัญมณี อาวุชานนท์
อนุกรรมการและเลขานุการ	นางสาวจุฑามาศ ร่มแก้ว
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ	นางชุติกาญจน์ ฤกษ์ประทานชัย
	นางสาวสารภี ตั้งเจริญ
	นางสาวจิดาภา จิตรักษา
	นางสาวเบญจมาศ ยศศักดิ์ศรี
	นางสาวศุภธิดา ศิริสวัสดิ์
	นางสาวสุจินต์ ภัทรภูวดล
	นางจินตนา อันอาตม์งาม
	นายนันทศักดิ์ ปิ่นแก้ว
	นางอุไรวรรณ นิลเพ็ชร์
	นางสาวเกวลิน ศรีจันทร์
	นางนภาพร พันธุ์กมลศิลป์
	นางพรศิริ เลี้ยงสกุล
	นายอนุรักษ์ อรัญญนาค
	นางสาวอัญธิชา พรหมเมืองคุก
	นางสาวชิรญา อิ่มสบาย

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาสัตว์และสัตวแพทย์

ที่ปรึกษา	คณบดีคณะเกษตร กำแพงแสน
	รองคณบดีคณะสัตวแพทยศาสตร์ กำแพงแสน
	ผู้อำนวยการสถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ
	หัวหน้าภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร กำแพงแสน
ประธานอนุกรรมการ	นายทวีศักดิ์ สงเสริม
รองประธานอนุกรรมการ	นายเลอชาติ บุญเอก
อนุกรรมการและเลขานุการ	นางสาววราพร พิมพ์ประไพ

อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ	นางรพีพรรณ มีสง่า
	นางขวัญตา พัฒนธารา
	นางภคอร อัครมธุรากุล
	นายจักรกฤษณ์ ชำนาญกิจ
อนุกรรมการ	นางวิไลลักษณ์ ชาวอุทัย
	นางสุกัญญา จัตตุพรพงษ์
	นายปริวรรต พูลเพิ่ม
	นายสุริยะ สะวานนท์
	นางจันทร์จิรา ภวภูตานนท์
	นางยุวเรศ เรืองพานิช
	นางสาวสิรินทร์พร สินธุวณิชย์

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

ที่ปรึกษา	นายบัญชา ขวัญยืน
	นายเชาว์ อินทร์ประสิทธิ์
	นายเสกสรร สีหวงษ์
	นายวราวุธ วุฒิวณิชย์
	นายประเทือง อุษาบริสุทธิ์
	นางสาวง่ายงาม ประจวบวัน
ประธานอนุกรรมการ	นายศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล
รองประธานอนุกรรมการ	นายหทัยเทพ วงศ์สุวรรณ
อนุกรรมการและเลขานุการ	นางสาวหิรัญญกานต์ กล่ำทอง
อนุกรรมกรรมการ	นายวัชรพล ขยประเสริฐ
	นายวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ
	นายวรศักดิ์ สมตน
	นายวิชัย กิจวัฒนเวทย์
	นายปรีดา ปราฏมาก
	นายรังสรรค์ ชัยศิริเจริญ
	นายสมบัติ ขาวประทีป
	นายสุทธิพร เนียมหอม
	นายอรรถวุฒิ รื่นเริงใจ

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์

ประธานอนุกรรมการ	คณบดีคณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์

อนุกรรมการและเลขานุการ ว่าที่ร้อยตรีศิริชัย ศรีพรหม
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ นางจันทิมา จำนงค์นารถ
นางสาวเมธาพร อ่องกือ
นางสาวจุฑาทิพย์ ยอดดี
อนุกรรมการ นายวินัย พูลศรี
นางาอากาศโทสุมิตร สุวรรณ
นายอธิเกียรติ ทองเพิ่ม
นายธารินทร์ ก้านเหลือง
นายคมกริช เชาว์พานิช
นายวีรฉัตร สุปัญโญ
นายชูวิทย์ รัตนพลแสนย์
นางสาวมลิวัลย์ กาญจนชาตรี
นายสมเกียรติ ศรีอนันตคม
นางสาวอัจฉรา ปุราคม
นางสาวสุภาภรณ์ สงค์ประชา
นางจิราภรณ์ กาแก้ว

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

ประธานอนุกรรมการ นายอนามัย ดำเนตร
รองประธานอนุกรรมการ นางวลี สงสุวงศ์
อนุกรรมการและเลขานุการ นายปิยะพงษ์ เลาศรีรัตนชัย
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ นายธนภฤต ตะวงษ์
นางสาวจุฬาลักษณ์ พิมพ์เจริญ
นายบัณฑิต คุ้มประวัติ
นางสาวอุทุมพร เจเถื่อน
อนุกรรมการ นางสาวนันทนา เลิศประสบสุข
นายจิรายุ ทัพพุ่ม
นายประสงค์ กัลยาณธรรม
นางสุรางค์ ณรงค์ศักดิ์สกุล
นางสาวโชติมา แก้วกอง
นางสาวพัชรา จตุรโกมล
นางประไพศรี วิเศษสุขพงศ์
นางสาวชูศรี บัณฑิตวิไล
นายอุดม ศรีนนท์

นายวิสุทธิ์ จรูญธรวัชชัย
นางสาวสุภณิดา พวงผกา
นางสาวปัทมา จันทร์เจริญสุข
นางสาวปราณี โชคชิตสัมพันธ์
นางสาวกาญจนา โรจนพานิช
นางสาวจุรีวรรณ จันพลา
นางสาวฉัตกฤษ รื่นจิตต์
นายสมนึก จงไพบูลย์กิจ
นายพงศ์พันธ์ ศรีเมือง
นางสาวบุศยรินทร์ กองแก้ว
นายตำรงค์ ถาวร
นางสาวอรประพิณ กิตติเวช
นายทิสวัส ธำรงสานต์
นายกฤช วีรกุล
นายศุภเดช สุจินพรัหม
นางสาวกมลวรรณ เอี่ยมทองอินทร์
นางสาวจารุพร พงษ์ศิริเวทย์
นายทรงศักดิ์ บุญสุวรรณ์
นายชจิต ฝอยทอง

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา

ที่ปรึกษา นายแพทย์อรรถ นานา
นางสุพิตร สมาหิโต
นายวิชิต คนึงสุขเกษม
นางวัลลีย์ ภัทโรภาส

ประธานอนุกรรมการ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

อนุกรรมการและเลขานุการ นางสาวอาภัสรา อัครพันธุ์

อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ นางมณฑนี อุบลสิงห์
นางสาวเรวดี ภูอุดม
นางสาวชนาภา อินจัน
นางสาวพรทิพย์ สังข์กลิ่นหอม

อนุกรรมการ นางสาวสิริพร ศศิมณฑลกุล
นายอภิลักษณ์ เทียนทอง
นางสาวอำพร ศรียาภัย

นายไพฑูรย์ วงศ์อนุการ
นายจักรพงษ์ ขาวถิ่น
นางสาวนันทวัน เทียนแก้ว
นางสาวสมภิยา สมถวิล
นางสาวสุพัชรินทร์ ปานอุทัย
นางสาววิมลมาศ ประชากุล
นายอิษฎี กุฏอินทร์
นายอภิวัฒน์ จำเดิม
นายอาริสร์ กาญจนศิลานนท์
นางสาวไพลิน เผือกประคอง
นางสาวเพ็ญนิภา นิลสวัสดิ์
นายสิทธิ์ ธีรสรณ์
นายสรายุทธ์ น้อยเกษม

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ประธานอนุกรรมการ นางสาวรางคณา จิตตชุ่ม
อนุกรรมการและเลขานุการ นางสาวสกุณา บำรุง
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ นายทรงศักดิ์ บุญสุวรรณ์
อนุกรรมการ นางสาวนวลจันทร์ มัจฉิริยกุล
นายอาทร ลอยสรวงสิน
นางสาววันเพ็ญ เหล่าศรีไพบูลย์
นายรัชพล พะวงศ์รัตน์
นางสุทธิชา ณ ระนอง ธรรมสิทธิรงค์
นางสาวกมลทิพย์ ขัตติยะวงศ์
นางสาววิ่นาวรรณ สมผล
นายสุนันท์ ทิพย์ทิพากร

คณะอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ สาขาส่งเสริมการเกษตร

ประธานอนุกรรมการ นางสาวศุภพร ไทยภักดี
รองประธานอนุกรรมการ นายชัชชัย แก้วสนธิ
นางเอมอร อังสุรัตน์
นางชัชรี นฤทุม
อนุกรรมการและเลขานุการ นางสาวนริศรา อินทะสิริ
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ นางสาวณัฐชนา พวงทอง

	นางสาวมณฑา ล้ำเลิศ
	นางสาวกมลวันท์ ห้วยหงษ์ทอง
อนุกรรมการ	นางพันธ์จิตต์ สีเหนี่ยง
	นายเกษมสันต์ สกุลรัตน์
	นายสุเมธ ชัยไธสง
	นางสาวสุชีรา มาตยภูธร
	นายไพบูลย์ ชั้นเจริญศรี

คณะอนุกรรมการฝ่ายประกวดผลงานทางวิชาการ ภาคโปสเตอร์

ประธานอนุกรรมการ	นายภาสกร วิริยารัมภะ
รองประธานอนุกรรมการ	นางอัมพร รัตนภักดิ์
อนุกรรมการและเลขานุการ	นางสาคร ชินวงค์
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ	นางสาวนิลุบล สุขภาพ
อนุกรรมการ	นางชัชรี นฤทุม
	นายอดุลย์ อภินันทร์
	นายปริทรรศน์ นฤทุม
	นายศิริชัย บัวฝรั่ง
	นางสาวกันยารัตน์ เขี่ยวเวช
	นายเกษมสันต์ สกุลรัตน์

คณะอนุกรรมการฝ่ายจัดทำวิทยาสาร

ประธานอนุกรรมการ	นางพิสสวรรณ เจี่ยมสมบัติ
รองประธานอนุกรรมการ	นางสาวมณี ตันติรุ่งกิจ
อนุกรรมการและเลขานุการ	นางสาวอดินุช แซ่จิว
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ	นางสาวพรลภัส สุขสมรูป
	นางสาวสุณี พูสุวรรณ
อนุกรรมการ	นางธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์
	นางสุดาวรรณ เชยชมศรี
	นางอัญชลี รวิโรจน์วิบูลย์
	นางรงรอง หอมหวล
	นางสาวลักขณา เบ็ญจวรรณ์
	นายวัชรพล ชยประเสริญ
	นางศศิธร นาคทอง
	นางสาวอาภัสรา อัครพันธุ์

นางสาวพรพิมล หรรษาภิรมย์โชค
นางสาวสุภาพร สารทลาลัย
นายพิษณุ บุญศิริ
นายวินัย จอมแก้ว
นายภานุวัฒน์ บัญจเมธี

คณะอนุกรรมการฝ่ายเลขานุการ

ประธานอนุกรรมการ ผู้อำนวยการกองบริการการศึกษา (กำแพงแสน)
อนุกรรมการและเลขานุการ นางลาวัลย์ เกียรติกำจาย
อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ นายสมเกียรติ ไทยปรีชา
นางพรรวินท์ จันทร์คลองใหม่
นางศรินทร คำคอนสาร
อนุกรรมการ เลขานุการอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ
สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ
เลขานุการอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ
สาขาสัตว์และสัตวแพทย์
เลขานุการอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ
สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
เลขานุการอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ
สาขาวิศวกรรมศาสตร์
เลขานุการอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ
สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา
เลขานุการอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ
สาขาส่งเสริมการเกษตร
เลขานุการอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ
สาขาศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
เลขานุการอนุกรรมการจัดประชุมวิชาการ
สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
เลขานุการอนุกรรมการฝ่ายประกวดผลงานภาคโปสเตอร์
เลขานุการอนุกรรมการฝ่ายจัดทำวิทยาสาร
นางวรรณา อุไรรงค์
นางสาววรรณนา ว่องไววุฒิ
นางจินตนา อ่อนศิริ

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิติ กันตังกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พยัตติพล ณรงคะขวนะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสาวนุช ถาวรพฤกษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยสิทธิ์ ทองจู
รองศาสตราจารย์รังสฤษฎ์ กาวีต๊ะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุดเขตต์ นาคะเสถียร
นายศุภชัย อำคา
นายธานี ศรีวงศ์ชัย
นายพีรพงษ์ แสงวนางค์กูล
นางสาวเกวลิน ศรีจันทร์
นางสาวอัญธิชา พรมเมืองคุก
นางสาวปฐมา จาตกานนท์
ศาสตราจารย์พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์
รองศาสตราจารย์สมบัติ ชิณะวงศ์
รองศาสตราจารย์อภิชาต วรรณวิจิตร
รองศาสตราจารย์นวรัตน์ อุดมประเสริฐ
รองศาสตราจารย์เรวัต เลิศฤทัยโยธิน
รองศาสตราจารย์สนธิชัย จันทร์เปรม
นายวิทิตร ใจอารีย์
รองศาสตราจารย์ทศพล พรพรหม
รองศาสตราจารย์ประเสริฐ ฉัตรวชิระวงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูศักดิ์ จอมพุก
นางสาวบุบผา คงสมัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์จุฑามาศ ร่มแก้ว
นายทิวา พาโคกทม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชเนษฎ์ ม้าลำพอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นุรณ วรามิตร
นางสาวนงลักษณ์ เทียนเสรี
นายวีระพันธุ์ สรีดอกจันทร์
นางพรศิริ เลี้ยงสกุล
นางสาวพัชรินทร์ ตัญญะ

นายประกิจ สมท่า
นายอนุรักษ์ อรัญญนาค
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชวลิต ฮงประยูร
นางสาวนภาพร วงษ์โพธิขอม
นางสาวฝอยฝ้า ชุติดำรง
รองศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ
รองศาสตราจารย์รวี เสรฐภักดี
รองศาสตราจารย์กวิศร์ วานิชกุล
รองศาสตราจารย์ประภาพร ตั้งกิจโชติ
ศาสตราจารย์จริงแท้ ศิริพานิช
รองศาสตราจารย์ศศิยา ศิริพานิช
รองศาสตราจารย์กฤษณา กฤษณพุกต์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธรรมศักดิ์ ทองเกตุ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราโมทย์ สฤษดินิรันดร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลพ ภาภูตานนท์
รองศาสตราจารย์จุลภาค คุ้นวงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสริมศิริ จันทร์เปรม
รองศาสตราจารย์อรรัตน์ มงคลพร
รองศาสตราจารย์อุณารุจ บุญประกอบ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรพงษ์ ดำรงกิตติกุล
นางสาวอัญมณี อาจุฉานนท์
นายภาสันต์ ศารทูลทัต
นางสาววชิรญา อิ่มสบาย
นายปิยะณัฏฐ์ ผกามาศ
นางสาวเกียรติสุดา เหลืองวิลัย
นายเกรียงศักดิ์ ไทยพงษ์
นางราตรี บุญเรืองรอด
นางสาวศุภธิดา ศิริสวัสดิ์
ศาสตราจารย์ทิพย์วดี อรรถธรรม
รองศาสตราจารย์วิวัฒน์ เสือสะอาด
รองศาสตราจารย์อินทวัฒน์ บุรีคำ
รองศาสตราจารย์ศิริพรรณ ตันตาคม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์โสภณ อุไรชื่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุไรวรรณ นิลเพ็ชร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทศักดิ์ ปิ่นแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์คนึงนิตย์ เหรียญวรากร
รองศาสตราจารย์จิระเดช แจ่มสว่าง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชลิดา เล็กสมบูรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิสสวรรณ เจียมสมบัติ
นายรณภพ บรรเจิดเชิดชู
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชนี ฮงประยูร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัตยา พงศ์พิสุทธา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัรรณวิไล อินทนู
รองศาสตราจารย์วิชัย โฆสิตรัตน
รองศาสตราจารย์ศศิธร วุฒิวณิชย์
รองศาสตราจารย์สมชาย สุขะกุล
นางสาวสุจินต์ ภัทรภูวดล
รองศาสตราจารย์สุพัฒน์ อรรถธรรม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาพร กลิ่นคง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุดม ฟ้ารุ่งสาง
นายชัยณรงค์ รัตนกิรฑากุล
นางจินตนา อันอาตม์งาม
นางสาวอมรศรี ขุนอินทร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

นางบาริชาติ เบรินส์
รองศาสตราจารย์วิชัย ก่อประดิษฐ์กุล
ศาสตราจารย์ (พิเศษ)สันทัด โรจนสุนทร
นางบุษรา จันทร์แก้วมณี
รองศาสตราจารย์วัชรินทร์ ชุ้นสุวรรณ
นางสาวมลิวรรณ นาคขุนทด
นางสาวสิริพร แจ้งสุทธิวรวัฒน์
นายสุทิน พรหมโชติ
นางศิริณี พูนไชยศรี
นายอภิชัย ดาวราย
นายพัชริน ส่งศรี
นางสาววรรณวิภา แก้วประดิษฐ์

นางนิตยา ผกามาศ
นายธีรยุทธ เกิดไทย
นายสุรศักดิ์ บุญแต่ง
นายประสาท เกควพิทักษ์
รองศาสตราจารย์ยงยุทธ โอสถสภา
รองศาสตราจารย์อานัฐ ตันโช
นายพิทยากร ลิ่มทอง
รองศาสตราจารย์สุรเดช จิตกานนท์
รองศาสตราจารย์อิทธิสุนทร นันทกิจ
ศาสตราจารย์เกียรติคุณปิยะ ดวงพัตรา
รองศาสตราจารย์อภิศักดิ์ โพธิ์ปั้น
นายวิสุทธิ์ วีรสาร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วสุ อมฤตสุทธิ์
รองศาสตราจารย์งามชื่น รัตนดิลก
นางสาวรุ่งทิวา วงศกรทรัพย์
รองศาสตราจารย์ ดร.จวงจันทร์ ดวงพัตรา
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันทา จันทกูล

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาสัตว์และสัตวแพทย์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์อุทัย คันโธ
รองศาสตราจารย์วรวิทย์ สิริพลวัฒน์
รองศาสตราจารย์นาลจันทร์ พารักษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลอชาติ บุญเอก
นางผกาพรรณ สกุลมั่น
รองศาสตราจารย์สมิต ยิ้มมงคล
รองศาสตราจารย์พนัส ธรรมกิรติวงศ์
รองศาสตราจารย์ยุวเรศ เรืองพานิช
รองศาสตราจารย์ อรพินท์ จินตสภาพร
นายกำจัด รื่นเริงดี
รองศาสตราจารย์ น.สพ.ทวีศักดิ์ ส่งเสริม
รองศาสตราจารย์ น.สพ.ธีระ รักความสุข
รองศาสตราจารย์ สพ.ญ.สุณี คุณากรสวัสดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.นรินทร์ อุประกรินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.พิพัฒน์ อรุณวิภาส
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.สมชัย สัจจาพิทักษ์
รองศาสตราจารย์สุภาพร อิสริโยดม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิรินทร์พร สินธุวณิชย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรประพันธ์ ส่งเสริม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุริยะ สะวานนท์
รองศาสตราจารย์ น.สพ.ประพฤกษ์ ตั้งมั่นคง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ไชยยันต์ เกสรดอกบัว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร
รองศาสตราจารย์ สพ.ญ.เฉลียว ศาลากิจ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ปริวรรต พูลเพิ่ม
รองศาสตราจารย์ศรีสุวรรณ ชมชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.รเนศร ทิพยรักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ณัฐวุฒิ รัตนวณิชย์โรจน์
นายปรีดา เลิศวัชระสารกุล
รองศาสตราจารย์ น.สพ.ธีระพล ศิรินฤมิตร
รองศาสตราจารย์ สพ.ญ.พรทิพภา เล็กเจริญสุข
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สพ.ญ.สุริยา เกษมสุวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.สุเจตน์ ชื่นชม
สพ.ญ.วราพร พิมพ์ประไพ
รองศาสตราจารย์ สพ.ญ.ปฐมาพร เอมะวิศิษฏ์
รองศาสตราจารย์ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรณวดี โสพรรณรัตน์
รองศาสตราจารย์สมเกียรติ ประสานพานิช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศศิธร นาคทอง

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

รองศาสตราจารย์จุฑารัตน์ เศรษฐกุล
รองศาสตราจารย์ญานิน โอภาสพัฒนกิจ
รองศาสตราจารย์สัญชัย จตุรสิทธา
นายวิทธวัช โมพี
นางอมรรัตน์ โมพี่
นางจินตนา อินทรมงคล
นายสกนธ์ แสงประดับ

รองศาสตราจารย์ เทวินทร์ วงษ์พระลับ
รองศาสตราจารย์ รณชัย สิทธิไกรพงษ์
สพ.ญ.มนยา เอกหัตย์
สพ.ญ.สุจีรา ปราจริยานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์คมแข พิลาสมบัติ
นางสาวจตุพร บัณฑิต
น.สพ.วงศ์อนันต์ ณรงค์วาณิชการ
สพ.ญ.ลัดดา ตรงวงศา

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์ธัญญา นิยมาภา
รองศาสตราจารย์วิชา หมั่นทำการ
รองศาสตราจารย์ประเทือง อุษาบริสุทธิ์
รองศาสตราจารย์รัตนา ตั้งวงศ์กิจ
รองศาสตราจารย์พงศ์ศักดิ์ ขจรธนสวัสดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พจนา สีมันตร
รองศาสตราจารย์สมยศ เชิญอักษร
รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล
รองศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน
รองศาสตราจารย์วราวุธ วุฒิวาณิชย์
รองศาสตราจารย์สันติ ทองพำนัก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย
นายสมชาย ดอนเจดีย์
นางจิระกานต์ ศิริวิชญ์ไมตรี
นายวิษุวัฒก์ แต้สมบัติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนต์ทิพย์ ชำชอง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์
นายอมรเดช พุทธิพิพัฒน์ขจร
นายณัฐดนัย ตันฑวิรุฬห์
นายหทัยเทพ วงศ์สุวรรณ
นายปรีดา ปรากฏมาก
นายสุทธิพร เนียมหอม
รองศาสตราจารย์วิชัย กิจวัทวรเวทย์

นางปนัดดา กสิกิจวิวัฒน์
นายสมชาย ประยงค์พันธ์
นายฐิติพงษ์ สถิรเมธีกุล
นายอมรฤทธิ์ พุทธิพิพัฒน์ขจร
นายกายรัฐ เจริญราษฎร์
นายรังสรรค์ ชัยศรีเจริญ

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

นางสาวเทวรัตน์ ทิพยวิมล
นายกระวี ตรีอำนรรค
นางรัตนา การุญบุญญานันท์
นายพยุงศักดิ์ จุลยุเสน
นายวรศิษฐ์ ตรูทัศนวินท์
นายวิชญ์ ศรีวงษา
นายคมสัน ไชโย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อารียา ฤทธิมา
นางพรรณพิมพ์ พุทธรักษา มะเปี่ยม
รองศาสตราจารย์อัมพวัน ตั้นสกุล
นางสาวสุนัน ปานสาคร
นางสาวพรทิพย์ ศิริสุนทราลักษณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทศนพ ทำเนิดทอง
รองศาสตราจารย์สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร
นายปาษาณ กุลวานิช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปัณรสี ฤทธิประวิติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนาดล คงสมบูรณ์
นายกิตติ ทรัพย์ประสม
นายทวิช พูลเงิน
นายนที สุริยานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรณฤมล เตีมดี
นายบุญเสริม แก้วกำเนิดพงษ์
นางสาวกลางใจ สิทธิถาวร
นายรวิศว์ บานชื่น

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์ประสงค์ ต้นพิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สันติ ศริสวนแตง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นาวาอากาศโทสุมิตร สุวรรณ
นางสาวสุภาภรณ์ สงค์ประชา
นางสาววิภาวรรณ ตินนังวัฒนะ
นางสาวสิริรัตน์ เชษฐสุมน
นางสุริน ชุมสาย ณ อยุธยา
นางสาวพรพิมล หรรษาภิรมย์โชค
นางนันทรัตน์ เครืออินทร์
นางสาวกุลธิดา นุกูลธรรม
นางสาวทัศตริน เครือทอง
นางสาวกนิษฐา เชาว์วัฒนกุล
รองศาสตราจารย์บรรจบ ภิรมย์คำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริชัย ศรีพรหม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วินัย พูลศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มยุรี ถนอมสุข
นางสาวอัจฉรา ปุราคม
นายสมบุญ ศิลป์รุ่งธรรม

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

รองศาสตราจารย์ผ่องพรรณ ตรัยมงคลกุล
รองศาสตราจารย์จรูญศรี มาดิลกโกวิท
รองศาสตราจารย์ภาณุวัฒน์ ภักดีวงศ์
นางสาวอุบลวรรณ หงษ์วิทยากร
นางสาวพัชรา เอี่ยมกิจการ
นายคนึงเดช เชื่อมวราศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรา เล่าเรียนดี
นายเกรียงศักดิ์ สังข์ชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อะพิณ ศิริสัมพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พูนสุข อุดม
รองศาสตราจารย์อรจรีย์ ณ ตะกั่วทุ่ง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกษม นครเขตต์

รองศาสตราจารย์คณิต เขียววิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพิ่มศักดิ์ สุริยะจันทร์
รองศาสตราจารย์ไพวัลย์ ตัณลาพุฒ
รองศาสตราจารย์อุดร รัตนภักดิ์
รองศาสตราจารย์เอมอัชฌา วัฒนบุรานนท์

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์ทองฟู ศิริวงษ์
รองศาสตราจารย์สันติยา เอกอัคร
รองศาสตราจารย์ชูชีพ พิพัฒน์ศิลี
รองศาสตราจารย์สมถวิล ธนะโสภณ
รองศาสตราจารย์พวงเพชร สุรัตนกวีกุล
รองศาสตราจารย์มนฤตย์พล อรุบุญนวลชาติ
รองศาสตราจารย์สุภัทรา น. วรรณพิณ
รองศาสตราจารย์จตุพร บานชื่น
รองศาสตราจารย์นันทนา เลิศประสบสุข
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชไมภัค เตชัสอนันต์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปราณี โชคขจิตสัมพันธ์
นายอุดม ศรีนนท์
นายวิโรจน์ เตชนำบัญชาชัย
นายธงรบ รื่นบรรเทิง
นางสาวนพวรรณ นิมรอยลาภ
นายอนามัย ดำแนตร
นางสาวจารุพร พงษ์ศิริเวทย์
นายจิรายุ ทัพพุม
นายประสงค์ กัลยาณธรรม
นางสุรางค์ ณรงค์ศักดิ์สกุล
นางสาวโชติมา แก้วกอง
นางสาวบุศยรินทร์ กองแก้ว
นายวิสุทธิ์ จรูญธวัชชัย
นายทิสวัส ธำรงสานต์
นายพงศ์พันธ์ ศรีเมือง

Mr. Zachary Quintan Eugene Bossart

Mr. Wilhelm Josef Holzehuh

Mr. Bruce Ricketts

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ สุไร พงษ์ทองเจริญ
รองศาสตราจารย์วิจิตรา พูลเพิ่มทรัพย์
รองศาสตราจารย์อรุณี วิริยะจิตรา
รองศาสตราจารย์ศรีภูมิ อัครมาส
รองศาสตราจารย์เฉลียวศรี พิบูลชล
รองศาสตราจารย์บุษบา กนกศิลปธรรม
รองศาสตราจารย์สมบูรณ์ ศิริสรรหิรัญ
รองศาสตราจารย์วิชัย ศรีดำ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุบล สรรพัชญพงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กาญจ์รวี อนันตอัครกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุษา น้อยทิม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กมลพรรณ บุญกิจ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มณีปิ่น พรหมสุทธิรักษ์
นายสุทิติ ขัตติยะ
นายพรสิน สุภาวาลย์
นายวรพงศ์ ภูมิบ่อพลับ
นายเทิดชาย ช่วยบำรุง
นางสาวภัทรณัชชา โชติคุณากิตติ
นายพงษ์พัฒน์ รักอารมณ์
นางสาวอรุณธดี ตรุงลำไพ
นายประพนธ์ จุนทวิเทศ
นางสาวอรพรรณ วีระวงศ์
นางแสงจันทร์ เหมเชื้อ
นางสาวสุภาภรณ์ ยิ้มวิลัย
นายดวงเดน บุญปก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์สุพิตร สมาหิโต
รองศาสตราจารย์วัลลีย์ ภัทโรภาส
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริพร ศศิมณฑลกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ราตรี เรืองไทย
นางสาวอาภัสรา อัครพันธุ์
นายจักรพงษ์ ขาวถิ่น
นางสาวสุพัชรินทร์ ปานอุทัย
นางสาววิมลมาศ ประชากุล
นายอิษฎี กฎอินทร์
นางสาวอำพร ศรียาภัย
นางสาวสมภิยา สมถวิล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อภิลักษณ์ เทียนทอง
นายไพฑูรย์ วงศ์อนุการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิ์ ธีรสรณ์
นายสรายุทธ์ น้อยเกษม

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

นายทศพร ยิ้มสมัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์จันทร์ อยู่แพทย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพ.ภาสกร วัธนธาดา
รองศาสตราจารย์รุ่งทิวา วัจฉละฐิติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นฤพนธ์ วงศ์จตุรภัทร
นายสมชาย ประเสริฐศิริพันธ์
นายคุณัตว์ พิธพรชัยกุล
นายพิชิต เมืองนาโพธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพิ่มศักดิ์ สุริยจันทร์
นางสาวอรอุมา บุญยารมย์
รองศาสตราจารย์ไก้ออน ชินธเนศ
นายพงษ์ศักดิ์ สวัสดิเกียรติ
นายวิชากร เฮงษฎีกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดรุณวรรณ สุขสม
นางสาวมาลี กิตติกัมปนาท

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรธนะ ชลายนเดชะ
นายวิชิต คนึงสุขเกษม

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

รองศาสตราจารย์ วีรชัย พุทธวงศ์
นางสาวประภา โซ๊ะสลาม
นายอาร์ม อันอาตม์งาม
นางสาววันเพ็ญ เหล่าศรีไพบูลย์
นายรัชพล พะวงศ์รัตน์
นายสุทธิเดช ปรีชารัมย์
นางสุทธิชา ณ ระนอง ธรรมสิทธิรงค์
นางสาวกมลทิพย์ ขัตติยะวงศ์
นายพิเชษฐ อนุรักษ์อุดม
นายวิเนตร แสนหาญ
นายจุฑา มุกดาสนิท
รองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์
รองศาสตราจารย์มังกร โรจน์ประภาร
รองศาสตราจารย์สมหวัง ขันตยานุวงศ์
รองศาสตราจารย์พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพร นุชดำรง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฐิติยา แซ่ปัง
นายคฑาวุฒิ โสภาลุน
นายสุนันท์ ทิพย์ทิพากร
นางอรวรรณ ชุณหชาติ
นางสาวปิยะมาศ ศรีรัตน์
นายกฤตชญา อิสกุล

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

รองศาสตราจารย์มนัส แซ่ด่าน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิยา พุทธวงศ์
นางสาวศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรนาถ สุนทรวัฒน์
นางสาวนันทนิตย์ วานิชาชีวะ

ศาสตราจารย์อำนวย ขนันไทย
ศาสตราจารย์สุเทพ สวนใต้
ศาสตราจารย์สมพงษ์ ธรรมพงษา
รองศาสตราจารย์สุคนธ์ พานิชพันธ์
นายนาวี กังวาลย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิยรัตน์ นิมมานพิภักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย ลาภอนันต์นพคุณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วินิตา บุณโยดม
รองศาสตราจารย์อภินภัส รุจิวัตร์
นายพลยุทธ ศุขสมิติ
นายสมบุญ สหสิทธิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ด้วง พุธศุกร์
ศาสตราจารย์สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์

ผู้ทรงคุณวุฒิ สาขาส่งเสริมการเกษตร

ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทิพวัลย์ สีจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พันธ์จิตต์ สีเหนี่ยง
รองศาสตราจารย์ณรงค์ สมพงษ์
รองศาสตราจารย์พิชัย ทองดีเลิศ
รองศาสตราจารย์ศุภพร ไทยภักดี
รองศาสตราจารย์สาวิตรี รังสิภัทร
รองศาสตราจารย์เอมอร อังศุรัตน์
นางสาวณัฐชนา พวงทอง

ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

รองศาสตราจารย์ชัชรี นฤทุม
รองศาสตราจารย์นาถ พันธุมนาวิน
รองศาสตราจารย์สมยศ พุ่งหว้า
รองศาสตราจารย์อาวรณ์ โอภาสพัฒนกิจ
รองศาสตราจารย์บำเพ็ญ เขียวหวาน
ศาสตราจารย์ดิเรก ฤกษ์หร่าย

การอบแห้งว่านหางจระเข้ด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงร่วมกับลมร้อน 45
การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในน้ำหมัก ด้วยเทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี
โดยใช้สารมาตรฐานภายใน 47
การวัดความเร็วการไหลในคลองชลประทานโดยเทคนิคการถ่ายภาพอนุภาคขนาดใหญ่ 49
การกำจัดโครเมียมโดยระบบบึงประดิษฐ์แบบไหลใต้ผิวในแนวดิ่ง 51
การศึกษาผลกระทบของความลาดชันของคลองชลประทานต่อค่าสัมประสิทธิ์
ความขรุขระแมนนิ่ง: การทดลองในห้องทดลอง 53
พฤติกรรมการส่งผ่านและการกระจายคลื่นเมื่อผ่านโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นใต้น้ำแบบหินทิ้ง 55
ประสิทธิภาพในการรักษาความชื้นในดินของใบหญ้าแฝก 57
ประสิทธิภาพการให้น้ำของสายยางน้ำซึม 59
การประเมินประสิทธิภาพการให้น้ำของหัวสปริงเกอร์ที่ผลิตไม่ได้มาตรฐาน 61
คอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเบื้องหลังคาเซรามิค 63
การใช้ตะกอนดินเซรามิคเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องบิสกิต 65
การจัดลำดับการทำงานประสานสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทาง
อย่างเหมาะสมในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบวงรอบ 67
อิทธิพลของตัวแปร EDM ที่มีต่อคุณสมบัติของวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าผสม (AISI 5115) 69
การพัฒนาระบบเฝ้าระวังตัวชี้วัดเพื่อการตัดสินใจสำหรับการรับสมัครคัดเลือกบุคลากร
เข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาในระบบออนไลน์ 71
ระบบแลกเปลี่ยนความรู้ : กรณีศึกษา สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยทักษิณ 73
การศึกษาสำหรับการออกแบบวงจรกรองผ่านแถบความถี่ที่มีย่านหยุดแถบความถี่กว้าง
กับการใช้ฮาโมนิกส์หลายโหมดลดความถี่ปลอมเทียมโดยใช้เรโซเนเตอร์แบบขั้น 75
การสืบค้นข้อมูลภายในโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับใช้ในการระบุตำแหน่งเพื่อนำไปใช้ในการที่จะค้นหา
หลักฐานทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ 77
ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิโดยแผ่นเพลเทียร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ 79
การลดจำนวนงานล่าช้าสำหรับโรงงานฉีดขึ้นรูปพลาสติก 81
การวิเคราะห์ไฟฟ้าพลังงานลมสำหรับใช้ในโครงการหลายพื้นที่จังหวัดน่าน (ภาคต้นกำลัง)..... 83
ระบบควบคุมตำแหน่งของแผ่นระนาบตามแนวระนาบ 85
การเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนชนิดคอยล์ลูป สำหรับระบบปรับอากาศ
โดยใช้ของไหลนาโนเป็นสารทำงาน 87
อิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของการเชื่อมโลหะต่างชนิด
ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) กับเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติค (AISI 304) 89
ผลกระทบต่อสมบัติทางกลของการตัดเฉือนเหล็กแม่พิมพ์ AISI M2
ที่ผ่านการอบชุบด้วยกรรมวิธี EDM 91
การศึกษาและการออกแบบกระบวนการสลัดแห้งพลาสติกเพื่อนำกลับมาผลิตใช้ใหม่ 93

การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

คอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิค

Lightweight Concrete from Waste Sludge of Ceramic Roof Tile

สหเทพ ทองคล้าย[1] และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์[1]

Sahathep Thongklay[1] and Kittipong Kimapong[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองการนำกากดินตะกอนจากการผลิตกระเบื้องหลังคาเซรามิคมาเป็นส่วนผสมทดแทนผงอลูมิเนียม ในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำ ทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อปูนขาวต่อยิปซัมต่อทราย เท่ากับ 1: 0.2 : 0.2 : 1 และอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5 โดยใช้กากดินตะกอนเซรามิคแทนผงอลูมิเนียมร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 (โดยน้ำหนัก) ผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังอัด, ความหนาแน่นเชิงปริมาตร และกำลังแรงดัด ที่มีการแทนที่ด้วยกากดินตะกอนเซรามิคมีค่าร้อยละสูงขึ้นตามปริมาณของกากดินตะกอนและอายุการบ่มที่มากขึ้น โดยค่ากำลังอัดเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาเริ่มต้นเท่ากับ 57.18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน ถือว่าผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย มอก.58-2530 สำหรับอัตราการดูดซึมน้ำ, อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว มีค่าลดลงตามอายุการบ่มและปริมาณของกากดินตะกอนที่สูงขึ้น การเทียบค่าใช้จ่ายต้นทุนของการนำกากดินตะกอนมาใช้ ในการหาปริมาณต่อตารางเมตรพบว่า การแทนที่ผงอลูมิเนียมด้วยกากดินตะกอนสามารถประหยัดต้นทุนการผลิตได้

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบา กากดินตะกอนเซรามิค ผงอลูมิเนียม

ABSTRACT

The research aims to clarify the properties of the sediment sludge from the production of ceramic roof tiles, which are substituted for a mixture of aluminum powder in the production of un-steaming concrete blocks. The test has used the ratio of cement, lime, gypsum and sand in order 1: 0.2: 0.2: 1 and the ratio of water per cement as (w/c) = 0.5, by using sludge sediment substituted for aluminum powder in percentage as 0, 20, 40, 60, 80 and 100 (by weight). Test results showed that the percentage of compressive strength, volumetric density, and the bending strength increased by using sediment sludge from the production of ceramic and increase of ripen time. The compressive strength values compared to the lightweight concrete was 57.18 kilograms per square centimeter at the age of 28 days of incubation, considered by the Thai Industrial Standard TIS 58-2530. For water absorption rate, the rate of change in length, have decreased by increasing of age length of incubation and the higher amount of the sediment sludge. The comparison of capital cost of the sediment sludge per square meter are cheaper and economized than aluminum powder production.

Key Words : lightweight concrete, sludge, sediment, ceramic, aluminum powder

E-mail : teponibaku@hotmail.com

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thanyaburi Rajamangala University of Technology, Pathum Thani

คำนำ

ในปัจจุบันงานการก่อสร้างอาคาร ตึก บ้านเรือน มีมากขึ้นเรื่อยๆ คอนกรีตมวลเบาเป็นทางเลือกหนึ่งที่บรรดาผู้ก่อสร้างส่วนใหญ่ เล็งเห็นความสำคัญของคอนกรีตมวลเบา แต่ด้วยคอนกรีตมวลเบายังมีต้นทุนในการผลิตสูง บริษัทรับก่อสร้างขนาดเล็กรวมถึงประชาชนทั่วไป มักเลือกใช้คอนกรีตบล็อกหรืออิฐมอญที่มีราคาถูกในการก่อสร้างมากกว่าจะเลือกใช้คอนกรีตมวลเบา

การศึกษาวิจัยนี้จึงเกิดความคิดที่จะศึกษาทดลองการนำวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมกระเบื้องหลังคาเซรามิค อย่างกากดินตะกอนเซรามิคมาทดแทนผงอลูมิเนียม ซึ่งถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีราคาค่อนข้างแพงในวัตถุดิบทั้งหมดของการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยทำการศึกษาคุณสมบัติและคุณภาพของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2541) เช่น ความแข็งแรงอัด ความแข็งแรงดัด การดูดซึมน้ำ การหดและการขยายตัวของคอนกรีตมวลเบา เป็นต้น รวมถึงราคาต้นทุนการผลิตที่ลดลง อันส่งผลให้เกิดแนวทางการผลิต ทางเลือกในการก่อสร้างมากขึ้น และถือเป็นการขจัดมลพิษให้ลดลงทางหนึ่ง

แต่ทั้งนี้การศึกษาวิจัยนี้มีเป้าประสงค์ที่จะผลิตคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ผ่านการอบไอน้ำ เพื่อลดขั้นตอนที่ยุ่งยากและสามารถที่จะส่งเสริมการพัฒนาชุมชน ให้มีความรู้ความเข้าใจ และมีทักษะเพียงพอในการลงทุนที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีคุณภาพที่ดีในอนาคตได้เอง (ประชุม, 2550)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยทดลอง

1. ทำการศึกษาคุณสมบัติของกากตะกอนดินเซรามิค

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (XRF) จากห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกในการทำคอนกรีตมวลเบา

2. ออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาตั้งต้นและการเตรียมกากดินตะกอนเซรามิค

ทำการทดสอบออกแบบหาอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาเบื้องต้นสำหรับศึกษาเฉพาะงานวิจัยนี้ คือ ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อปูนขาวต่ออิปซัมต่อทราย เท่ากับ 1 : 0.2 : 0.2 :1 ,อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5 อัตราส่วนกากดินตะกอนเซรามิคแทนที่ผงอลูมิเนียมร้อยละ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เตรียมกากดินตะกอนเซรามิค โดยเข้าตู้อบ ทำการอบที่อุณหภูมิ 105 C°ระยะเวลาอบ 24 ชั่วโมง เมื่อแห้งจะได้ลักษณะเป็นผงสีเทาอ่อนออกสีขาว นำร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 MESH อีกครั้ง และเตรียมวัตถุดิบอื่นๆ

3. ทำการออกแบบจำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบทั้งหมด

ทำการทดสอบกำลังอัด, ความหนาแน่นเชิงปริมาตร, อัตราการดูดซึมน้ำ ใช้บล็อกขนาด 100 x 100 x 100 มิลลิเมตร จำนวน 6 สูตร สูตรละ 12 ตัวอย่าง และทดสอบหากำลังดัด, การเปลี่ยนแปลงความยาว ใช้บล็อกขนาด 40 x 40 x 160 มิลลิเมตร จำนวน 6 สูตร สูตรละ 9 ตัวอย่าง แต่ละสูตรทำการบ่มที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน อ้างอิงวิธีการทดสอบตาม มอก. 1505-2541 (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2541)

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

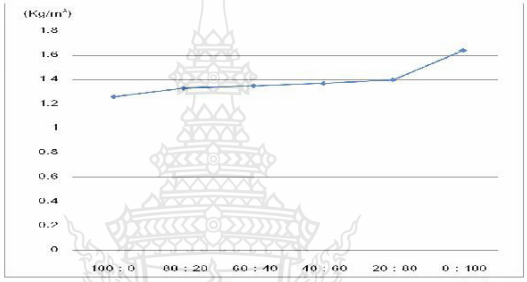
1. ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆ ที่มีผลต่อคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิค

จากการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบเคมี (XRF) พบว่ามีองค์ประกอบของ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติใน

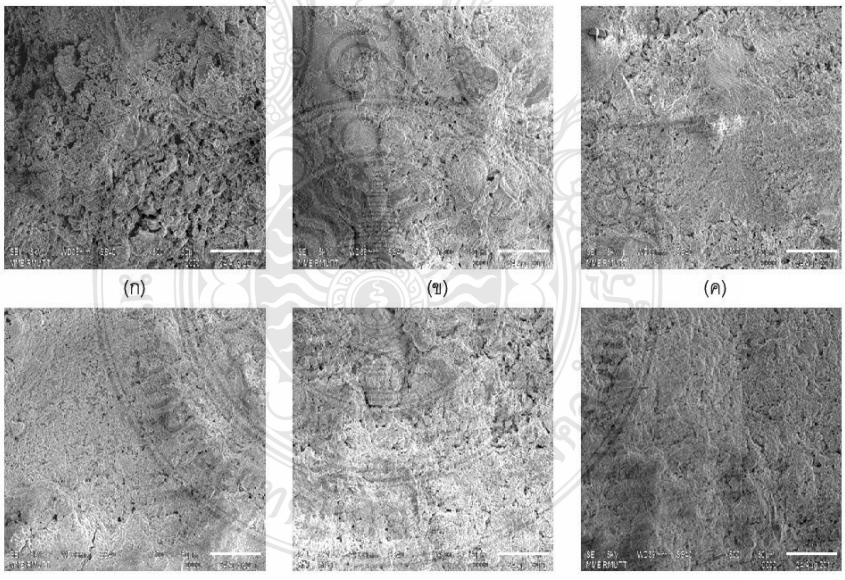
การยึดประสาน เมื่อใช้ผสมคอนกรีตจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แม้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลานจะคล้ายกับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้ากว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้วัสดุปอซโซลานเพื่อลดความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในงานวิจัยนี้

2. ผลการทดสอบความหนาแน่น

ความหนาแน่นของคอนกรีต มีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนของกากดินตะกอนเซรามิคที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 1) เนื่องจากอนุภาคของกากดินตะกอนมีขนาดเล็กสามารถเข้าไปอุดช่องว่างหรือฟองอากาศที่เกิดจากการระเหยของก๊าซไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาของผงอลูมิเนียมกับปูนขาวในเนื้อคอนกรีตมวลเบาทำให้เกิดเป็นโครงสร้างใหม่เรียกว่า Cellular Structure ส่งผลให้ทำให้เนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่นสูงขึ้น (เผ่าพงศ์ และคณะ, 2551) (รูปที่ 2 (ก)–(ฉ)) นำบล็อกการบ่มที่ 28 วัน หาโครงสร้างจุลภาคโดยส่องกล้องแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510 ที่กำลังขยาย 500 เท่า



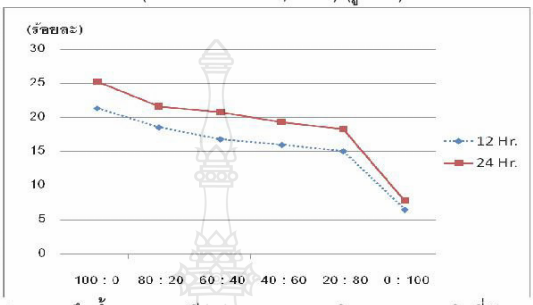
รูปที่ 1 ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาจากกากตะกอนเซรามิคในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 2 (ก) 100 : 0 (ข) 80 : 20 (ค) 60 : 40 (ง) 40 : 60 (จ) 20 : 80 (ฉ) 0 : 100

3. ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

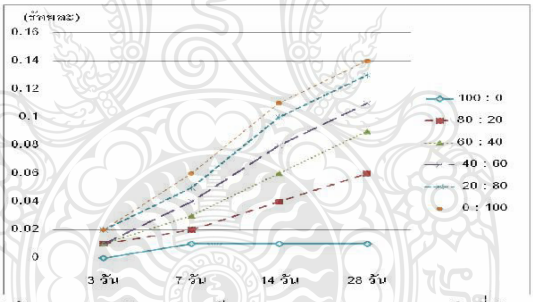
การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของกากดินตะกอนเซรามิคเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณช่องว่างหรือฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตลดลง สัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของคอนกรีตเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากการแทนที่ด้วยกากดินตะกอนเซรามิค การดูดซึมน้ำของคอนกรีตจะลดลงตามปริมาณกากดินตะกอนเซรามิคที่เพิ่มขึ้น (เผ่าพงศ์ และคณะ, 2551) (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

4. ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว

คอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนผสมของกากดินตะกอนมากที่สุดจะมีอัตราการหดตัวสูงสุด (รูปที่ 4) เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีตและปฏิกิริยาระหว่างผงอลูมิเนียมกับปูนขาวซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ต้องการน้ำมาก ส่งผลให้ส่วนผสมแห้งและเกิดการหดตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคอนกรีต (รูปที่ 5 (ก)-(ข))



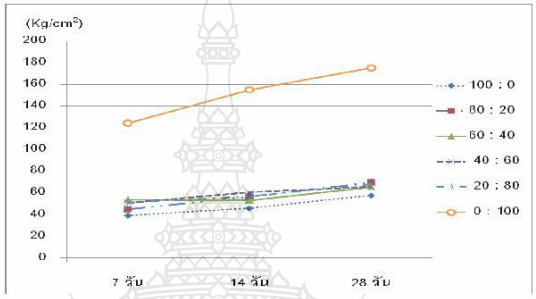
รูปที่ 4 ค่าร้อยละการหดตัวของคอนกรีตมวลเบาจากกากตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

(ก) (ข)

รูปที่ 5 (ก) การวัดความยาวก่อนทำการทดสอบ (ข) การวัดความยาวหลังทำการทดสอบ พบว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวเพียงเล็กน้อย

5. ผลการทดสอบกำลังอัด

จากการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด จากเครื่องทดสอบกำลังอัด ยี่ห้อ ELE International รุ่น ADR 2000 พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดจะแปรผันตรงกับอายุการบ่มคอนกรีตมวลเบา เมื่อคอนกรีตมวลเบามีอายุการบ่มมากขึ้นทำให้การรับกำลังอัดสูงขึ้น และค่ากำลังอัดยังแปรผันกับปริมาณของกากดินตะกอนเซรามิคที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากช่องว่างหรือฟองอากาศภายในเนื้อคอนกรีตลดลงจากการแทนที่ของกากดินตะกอน ส่งผลโดยตรงต่อพื้นที่รับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น (เผ่าพงศ์ และคณะ, 2551) ทำให้คอนกรีตมวลเบามีกำลังอัดสูงขึ้น อีกทั้งกากดินตะกอนยังมีองค์ประกอบของ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลาน เมื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะส่งผลให้ค่ากำลังอัดเพิ่มสูงขึ้นด้วย (รูปที่ 6 และรูปที่ 7 (ก)-(ข))



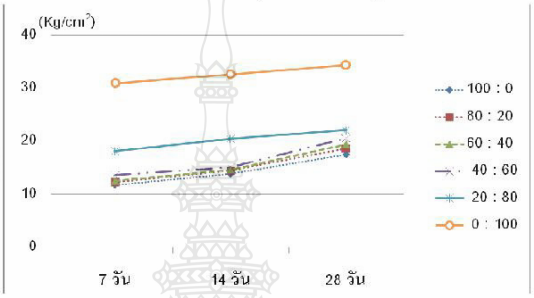
รูปที่ 6 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

(ก) (ข)

รูปที่ 7 (ก) บล็อกคอนกรีตขณะทดสอบกำลังอัด (ข) บล็อกคอนกรีตมีรอยแตกหักหลังทดสอบ

6. ผลการทดสอบกำลังอัด

ค่ากำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุบ่มและปริมาณของกากดินตะกอนเซรามิค (รูปที่ 8) โดยผลการทดสอบแสดงว่าค่ากำลังอัดที่ 28 วัน จะมีค่ากำลังอัดสูงสุดทุกชุดการทดสอบ และอัตราส่วนผสมของกากดินตะกอนสูงสุด (R100) จะมีค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่นๆ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการแทนที่ของกากดินตะกอนทำให้ช่องว่างในคอนกรีตลดลงมีพื้นที่ในการรับน้ำหนักแรงกด กำลังอัดที่ได้จึงมีค่าสูงขึ้นแปรผันตามปริมาณกากดินตะกอน ทดสอบค่ากำลังอัดจากเครื่องทดสอบกำลังอัด ยี่ห้อ ELE International รุ่น ADR 2000 (รูปที่ 9 (ก)-(ข))



รูปที่ 8 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วนต่างๆ

(ก) (ข)

รูปที่ 9 (ก) บล็อกคอนกรีตขณะทำการทดสอบกำลังอัด (ข) บล็อกคอนกรีตหลังการทดสอบมีรอยแตกหัก

7. การเปรียบเทียบราคาต้นทุนกับการทดแทนด้วยกากดินตะกอน

ในงานวิจัยเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของกากดินตะกอนเซรามิคเมื่อนำมาแทนที่ผงอลูมิเนียม โดยวัสดุผสมอื่นๆ เป็นปริมาณควบคุม โดยค่าวัสดุของการผลิตคอนกรีตมวลเบาเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 241.6 บาทต่อตารางเมตร เมื่อเพิ่มสัดส่วนของกากดินตะกอนเซรามิคแทนที่ผงอลูมิเนียมพบว่าที่อัตราส่วน R20, R40, R60, R80, R100 ราคาวัสดุลดลงอยู่ที่ 228.8, 216, 203.2, 190.4, 177.6 บาท ตามลำดับ ซึ่งราคาวัสดุจะลดลงตามปริมาณการแทนที่ของกากดินตะกอนเซรามิค หากเปรียบเทียบกับอิฐมวลเบาตามท้องตลาดที่ขนาดความหนา 10 ซม. ราคาเฉลี่ยประมาณ 360-400 บาทต่อตารางเมตร ส่วนอิฐมอญก่อ 2 ชั้น (เว้นช่องว่างตรงกลาง) ราคา ประมาณ 400 - 420 บาทต่อตารางเมตร (นิตย์รดี, 2552) จากการวิเคราะห์ราคาวัสดุทั้งหมดแสดงให้เห็นว่ากากดินตะกอนเซรามิค

สามารถนำมาใช้แทนที่ผงอลูมิเนียมได้ อีกทั้งยังช่วยลดราคาผงอลูมิเนียมซึ่งมีราคาแพง เป็นการนำวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ทั้งนี้ควรคำนึงถึงลักษณะการนำคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคมาใช้งาน เพื่อให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพและประหยัดด้วย (วิริยะ, 2549; ประชุม, 2550; วุฒินัย และคณะ, 2550)

สรุปผลการทดลอง

การนำกากดินตะกอนเซรามิคแทนที่ผงอลูมิเนียมในการทำคอนกรีตมวลเบาส่งผลต่อสมบัติของคอนกรีตต่างๆ กันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณของกากดินตะกอนเซรามิคที่นำไปใช้ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. สมบัติเชิงกล

1.1 ความแข็งแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาจากการนำกากดินตะกอนเซรามิคแทนที่ผงอลูมิเนียมที่อัตราส่วน 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาเริ่มต้น ซึ่งค่ากำลังอัดที่ได้มีค่าเท่ากับ 69.35, 64.99, 65.24, 67.91 และ 175.23 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 21.28, 13.65, 14.09, 18.76 และ 26.45 ตามลำดับ ที่อายุบ่ม 28 วัน โดยค่าคอนกรีตมวลเบาเริ่มต้นมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 57.18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังอัดเริ่มต้นที่ได้กับ มอก. 58-2530 ที่มีค่ามาตรฐานที่ 20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้ความแข็งแรงอัดที่ได้ถือว่าผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย มอก.58-2530 (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2530) ทั้งนี้ปริมาณกากดินตะกอนเซรามิคมีผลต่อกำลังอัดเนื่องจากกากดินตะกอนเซรามิคเข้าไปแทนที่ช่องว่างในรูพรุนของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีพื้นที่ในการรับกำลังได้มากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้นตามปริมาณของกากดินตะกอนเซรามิค

1.2 ความแข็งแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาจากกากดินตะกอนเซรามิคที่อัตราส่วน 20, 40, 60, 80, 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 18.66, 19.46, 20.56, 22.13, 34.42 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาเริ่มต้นรับกำลังดัดได้เท่ากับ 17.53 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คิดเป็นอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.44, 11.01, 17.28, 26.24, 96.35 ตามลำดับ (กฤษณ์ และคณะ, 2553)

2. สมบัติทางกายภาพ

2.1 ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตจากกากดินตะกอนเซรามิคเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนกากดินตะกอนเซรามิคที่เพิ่มขึ้น

2.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำพบว่ามีค่าลดลงตามปริมาณกากดินตะกอนเซรามิคที่เพิ่มขึ้น และระยะเวลาการบ่มที่สูงขึ้น

2.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพด้านการเปลี่ยนแปลงความยาวพบว่ามีการหดตัวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มของคอนกรีต และปริมาณกากดินตะกอนเซรามิคที่เพิ่มขึ้นด้วย

3. ผลการเปรียบเทียบคุณภาพและต้นทุน

ผลการเปรียบเทียบคุณภาพและต้นทุนระหว่างกากดินตะกอนกระเบื้องเซรามิคกับผงอลูมิเนียมในการผลิต พบว่าคุณภาพของคอนกรีตมวลเบาที่มีการแทนที่ผงอลูมิเนียมด้วยกากดินตะกอนเซรามิคสามารถนำไปใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาได้ ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น เป็นทางเลือกในการนำวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนราคาวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบาได้อีกทางหนึ่ง

4. ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผลที่ได้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับทางเลือกในการนำกากดินตะกอนเซรามิคมาแทนที่ผงอลูมิเนียมเพื่อใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา อีกทั้งเป็นการนำวัสดุที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ โดยได้ศึกษาถึงสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกายภาพบางส่วนเท่านั้น ควรทำการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในด้านอื่นๆ อีก โดยเฉพาะการศึกษาวิจัยในด้านความทนทานของคอนกรีตผสมกากดินตะกอนเซรามิค เช่น คุณสมบัติด้านฉนวนกันความร้อน ฉนวนกันเสียง ความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด และสภาพแวดล้อม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

กฤษณ์ กิ่งโก้ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. 2553. คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าผสมสารซุปเปอร์พลาสติไซเซอร์, *ใน* **การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่** 11 มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นิตย์รดี ดอเล๊าะ. 2552. วัสดุมวลเบาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง, **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราช-นครินทร์** ปีที่ 1 (ฉบับที่ 3): หน้า 48.

ประชุม คำพุฒ. 2550. **การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ.** คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี, สมหมาย ผิวสะอาด, ประชุม คำพุฒ. 2551. **การใช้ดินขาวผสมในคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลาง**. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

วิริยะ ธารพันธุ์. 2549. **การนำโคลนปูนจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษมาใช้แทนทรายในการผลิตคอนกรีตมวลเบา**. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วุฒินัย กกกำแหง และวิทยา วุฒิจำนง. 2550. การประยุกต์ใช้ยิปซั่มในการผลิตบล็อกประสาน. *ใน* **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่** 12. จังหวัดพิษณุโลก.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2530. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2530)**. กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2541. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (มอก.1505-2541)**. กรุงเทพฯ.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสหเทพ ทองคล้าย
วัน เดือน ปีเกิด	7 มีนาคม 2529
ที่อยู่	390/7 โครงการชลประทาน ตำบลปากเพรียว อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี 18000
การศึกษา	
พ.ศ. 2549	สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิคการผลิต สาขางานเครื่องมือกล วิทยาลัยเทคนิคท่าหลวงซิเมนต์ไทยอนุสรณ์
พ.ศ. 2552	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี โปรแกรมวิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรมแขนงเทคโนโลยีการผลิต มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์
ประสบการณ์ทำงาน	
พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน	บริษัท มากอตโต จำกัด ตำแหน่ง พนักงานจัดซื้อ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี