

แบบเสนอขอรับค่าตอบแทนในการตีพิมพ์วารสารวิชาการ

1. เอกสารประกอบการเสนอขอรับค่าตอบแทนในการตีพิมพ์วารสารวิชาการ
 1. 1 แบบขอรับค่าตอบแทน
 1. 2 หนังสือขออนุมัติค่าตอบแทน เรียน รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการผ่านหัวหน้าภาควิชา
 1. 3 สำเนาบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ
 1. 4 รายละเอียดวารสาร
 1. 5 เอกสารแสดงค่า Impact factor ของวารสารที่ตีพิมพ์

2. รายละเอียดข้อมูลประกอบเสนอขอรับค่าตอบแทนในการตีพิมพ์วารสารวิชาการ
 2. 1 ผู้เสนอขอรับค่าตอบแทน ชื่อ-สกุล นางสาว ทวารวดี ใจกลาง ทวารวดี
 2. 2 ชื่อบทความวิจัย (ภาษาไทย) นิรภัยในโครงสร้างคอนกรีตมวลเบาแบบหล่อ

(ภาษาอังกฤษ) Air Content of Cellular Light Weight Concrete.

2.3 รายละเอียดของวารสาร

ชื่อวารสาร วิทยานิพนธ์ สถาบันฯ

อยู่ในฐานข้อมูล ICI กรณี ISI ชั้ยระดับ impact factor: SCOPUS, OSIR,
ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2558 หน้า 67-72

2.4 สถานะในบทความวิจัยเป็น

- ชื่อแรก (first author) ผู้รับผิดชอบบทความ (corresponding author)
 ผู้มีส่วนร่วมในบทความ

2.5 การมีส่วนร่วมในบทความของนักศึกษา

- ใช้ขอจบการศึกษา ไม่ใช้ขอจบการศึกษา

การรับรองสัดส่วนผลงานทางวิชาการ กรุณารอกรับข้อมูลตามแบบฟอร์มนี้ตามความเป็นจริง และรักษาไว้ซึ่ง จรรยาบรรณ และขอรับรองว่า บทความนี้ไม่เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ของผู้เสนอขอรับค่าตอบแทน

ลำดับ ที่	ชื่อ-สกุล	สัดส่วนผลงานทางวิชาการ (%)	ลงนามรับรองข้อมูล
1	นางสาว ทวารวดี	50	
2	นาง นิตยาทิพา	30	
3	อาจารย์ น้ำทึบนา闷ท์	20	
4			
5			

หมายเหตุ: กรุณาผู้เสนอขอรับค่าตอบแทนเป็นชื่อแรก หรือ ผู้รับผิดชอบบทความสามารถรับรองแทนผู้เขียนร่วมได้

นางสาว ทวารวดี

ผู้เสนอขอรับค่าตอบแทน

หมายเหตุ ขอขอบคุณมาษท์ให้ เผ.ดร.ชนกร ทวารวดี เป็นผู้เบิกต้นแบบแทนในการตีพิมพ์แทนข้าพเจ้า

(เผ.ดร.ชนกร ทวารวดี)

(เผ.ดร.วิวัฒน์ พัวทัณฑ์)



วิศวกรรมศาสตร์ลาดกระบัง

Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

คณวิเคราะห์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณภาพลาดกระบัง

วันที่ 22 เมษายน 2558

เลขที่อ้างอิง 1601

เรื่อง การตอบรับบทความ

เรียน คุณธนกร ทวีวนิ นา แสงเทียน วิวัฒน์ พัวทศานันท์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Air Content of Cellular Lightweight Concrete) มาให้พิจารณาเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ลาดกระบัง บัณฑิตวิทยาลัยฯ ผู้ทรงคุณวุฒิได้ทำการพิจารณาแล้วเห็นว่า ยอมรับตีพิมพ์ได้ โดยจะตีพิมพ์ในปีที่ 32 ฉบับที่ 2 เดือนมิถุนายน 2558

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

J. N.
(รศ.ดร.อิสรัชัย งามทรู)
หัวหน้ากองบรรณาธิการ

หมายเหตุ :

วิศวกรรมศาสตร์ลาดกระบังเป็นวารสารวิชาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ผ่านการรับรองคุณภาพของศูนย์ต้นของการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index (TCI) Centre) และอยู่ในฐานข้อมูลของ TCI กลุ่มที่ 1 ซึ่งได้รับพิจารณาคัดเลือกเข้าสู่ฐานข้อมูล ASEAN Citation Index (ACI) ต่อไป

เพื่อเป็นการเผยแพร่ทบทวนความวิศวกรรมศาสตร์ลาดกระบังให้เป็นที่รู้จักและยอมรับในวงการวิชาการมากขึ้นทางวารสารจึงขอความอนุเคราะห์ท่านเจ้าของบทความโปรดพิจารณาการอ้างอิงบทความมายังวิศวกรรมศาสตร์ลาดกระบังในโอกาสต่อไป โดยท่านสามารถดาวน์โหลดบทความวิศวกรรมศาสตร์ลาดกระบังย้อนหลังได้ที่ www.kmitl.ac.th/ej

LADKrabang ENGINEER

ວິຄວສາຮາດກ

ຄະນະວິຄວກໂຮມຄາສຕຣ ສຕາປັນເກໂຄໂລຢພຣຈອບເກລ້າເຈົ້າຄຸດ

ບັດ 32 ດັບທີ 2

ນທຄວາມວິຊາການ

1. ຜັງຈິນສໍາຄັງຂອງປົງກີວິຊາຫວານສື່ເລືດເກອວິໄລແຫຼ້ນເກີດການລຶບໃບໂຍດທີ່ອຳນວຍ
ຮາດກ ກວິກົມທີ່ພົນວາ ຫົມກາ ຕຣິມິມິຕຣ ຂນວຽນ ພິບຮັດນ

ນທຄວາມວິຊັ້ນ

2. ກາຮັດທ່ານການສື່ອຳນວຍຂອງຈະກວາມສື່ຈຳນວນທີ່ໄວ້ຫຍຸງຈະກອອສົງລະເຫຼືອແບບ
ກາງອິນເຖິງທີ່ເສື້ອກ
ອານົມໄງ ກິລິພິງຍົກເມາ ຖູລັດກົດ໌ ໄກສີຍາກນ ຊີຈຸດາ ໄກເມີຍາກນ ບຣາ
3. ກາຮັດພັນການອຸ່ນເຄດວານກ່ຽວຂ້ອງທີ່ລົດນູການບົດໃນພາຫະສໍາຫວັບອິນເວັນທີ່ຕ່ອງຄວາມຮະ
ໄຟບູກຍໍ ເມື່ອຕື່ຖາກມາຮາດ ຂໍມະບຽນ ແລະ ອົງກວາມປິ່ງປົງ
4. ກາຮັດປະນິຍົມກົມດ່ວນນະ ແລະ ຄວາມຕຸ້ນຄ່າຂອງເຮັດວຽກເລີດໃຫ້ຈາກເຫຼັດແຜງອາຫຼືຍັນ
ທີ່ຕື່ກົດຝັບນັດ້າໃນປະເທດໄທ
ພິຮ້ອງວິໄລ ຂົມວິຈິດ ກ່ຽວໄຕຣ ເຟັງການທີ່ ອຸນເຄດຫາມີຕີ ກຽນທີ່ຍິຮັງ
ອັກວິນ ນະບິ່ງທອງ ກວິກົມທີ່ ກະຊ່າງສັງຍິ່ງ ຈັກ ສົງລົງວາເຊີງຄຸນ ຖົນກົດ໌
5. ຕັ້ງປະກອນມີຫຼັກຖຸນຂອງກາຮັດທ່ານທີ່ອຳນວຍແນບນີ້ໄໝສົນແຮງທີ່ອຳນຸ້າການໃຫ້ໄມ້ເນັດທີ່ດີໃນຮະບາ
ນອກຮະນານສໍາຫວັບສໍາຫວັບພູຖຸປະຕຸຍເບີແນ່ນ-ຮ່ວມມາ
ສົດໄສ ສໍາຮາຮ ມັນດັກກົດ ທີ່ນີ້ຮ່າງ
6. ພັດທິອງຄວາມຫຍາຍທີ່ມີເກີດກາຮັດທ່ານແບບໃຫ້ໃນເວັດໄສໄດ້ໄວ້ໄລນາມີໃນເສື້ອງໃຈ
ເຊີງກູາ ພານີ່ຊ່າຍນີ້ ທີ່ມີຍົງຈາກ ຂົງເສົາແກ້ກົງ
7. ກາຮັດເກີດເກີດກົງທີ່ເກີດເກີດກົງແບບກາຮັດທ່ານທີ່ມີຫຼັກຖຸນ
ມີຫຼັກ ສົມເບີງ ນະຮະເກົຍທີ່ ປຸ່ມຸກກົດ
8. ປິຈັນກາຮັດທ່ານທີ່ມີແລກກະບານທ່ອດີວ່າຈີງຂອງຕົກຄຸມໄມ້ກາລາເທິກ
ອົນເກ ສັນວິໄລ ພິຈິກ ພິກຸງວຽກ ພິກຸງຢູ່ງ ຊີຈຸມປັກ ຈາກຕີ ນອນເຫັນ
9. ພັດທິກະບານຂອງອຸນຫຍມີແລກປະເກມນ້ຳທ່ອສັນເກີດກາຮັດທີ່ນັ້ນຂອງຈັກສຸດເຊິ່ງປະກອບພ
ແລະ ພິ້ຫຼັງທາງກາຮ
ຈາກຕີ ນອນເຫັນ ອັນເກ ວິດນິກ ຖົກສິ່ງ ຈະວັງວິສ ວິວພົກ ບຸ່ງຫຼັງພາ
10. ກາຮັດທີ່ກົມງານແບບປ້າຍທະເບົນຮອຍທີ່ ຮັບວຽກຫຼຸກ ແລະ ຈົກຍານຍັນທີ່ເຫັນກະແກ່ກາຮ
ຮອງວັນກາຮຈັກສຸດປະກາມແຮງຊຽງທີ່ຈາກທີ່ເຫັນ
ຖຸກທີ່ ຕຣິນິກ ແກ່ມ່ອງ ແກ້າຄວາມ
11. ກາຮັດທີ່ກົມງານແບບປ້າຍທະເບົນຮອຍທີ່ໃຊ້ໃນກາຮັດທີ່ໃຊ້ໃນກາຮັດທີ່
ເຫັນກະແກ່ກາຮ
12. ບໍລິສາດອງກາກທີ່ໃນກອນເກີດມາກັບແນບເຂົ້າສູ່ລັບ
ອົນກາ ກວິກົມທີ່ ນາກ ພິບຮັດນ ສົງລົງນ ພິກຸງວິໄລ

ปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

Air Content of Cellular Lightweight Concrete

ธนกร ทวีฤทธิ์ นท แสงเทียน วิวัฒน์ พวทศานันท์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

การศึกษานี้นำเสนอการประยุกต์หานปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า 3 วิธี ได้แก่ (1) ใช้โปรแกรม Air Void Analyser (2) วิธีการคำนวณจากปริมาณส่วนผสม และ (3) การหาค่าความพรุนโดยคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตจาก ASTM C128 โดยผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีหนักตั้งแต่ 800 ถึง 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้อัตราส่วนน้ำปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 และ 0.55 และอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25:1, 0.5:1, 1:1, 2:1 และ 3:1 รวมทั้งหมด 26 สูตร ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฟองอากาศที่ได้จากการวิธีที่ (1) อยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 13.3 ถึง 53.8 วิธีที่ (2) ในช่วงร้อยละ 39.4 ถึง 78.7 และ วิธีที่ (3) ในช่วงร้อยละ 36.7 ถึง 73.1 และ ปริมาตรของปูนซีเมนต์รวมกับทรายพนในช่วงร้อยละ 19.8-59 ของปริมาตรคอนกรีต จากการศึกษาอาจกล่าวได้ว่า ในทางปฏิบัติอาจเลือกใช้วิธีการหาปริมาณฟองอากาศและความถ่วงจำเพาะของคอนกรีต โดยอาศัยวิธีตาม ASTMC128 และค่าปริมาตรรวมของปูนซีเมนต์กับทรายอาจสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาคุณสมบัติอื่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า คอนกรีตโฟม ปริมาณฟองอากาศ ความพรุน ความถ่วงจำเพาะ

Abstract

This paper presents the determination of air content in cellular lightweight concrete using 3 methods: (1) Air Void Analyser, (2) calculation based on mix proportions and (3) porosity estimation using ASTM C128 for the determination of concrete specific gravity. Cellular lightweight concretes with unit weight between 800 kg/m³ to 1800 kg/m³ using water to cement ratios of 0.45 and 0.55 and sand to cement ratios of 0.25:1, 0.5:1, 1:1, 2:1 and 3:1 in total of 26 designed mixes are produced. The air contents obtained using methods (1), (2) and (3) found in between 13.3 and 53.8 %, from 39.4 to 78.7 % and from 36.7 to 73.1%, respectively. The volume of cement and sand (solid content) found in between 19.8 and 59 percent of concrete volume. From the study, this may be concluded that in practice determination of porosity and concrete specific gravity based on ASTM C128 may be used, and solid content may be used to study the correlation of cellular lightweight concrete properties.

Keywords : cellular lightweight concrete, foam concrete, air content, porosity, specific gravity

1. บทนำ

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Cellular lightweight concrete) หรือ เรียกว่า คอนกรีตโฟม (Foam Concrete) เป็นคอนกรีตที่มีส่วนผสมของมอร์ต้า กับ โฟมเหลว ที่ เตรียมจาก foaming agent ผสมกันน้ำในถังอัดอากาศ แล้วฉีดเข้าไปผสมกับมอร์ต้า โดยไม่มีส่วนผสมของมวล รวมทั้ง โฟมเหลวที่ฉีดเข้าไปก็คือพองอากาศในเนื้อ คอนกรีตนั่นเอง ความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักของ คอนกรีตขึ้นกับปริมาณฟอง โฟมที่ใส่เข้าไป แต่ โดยทั่วไปแล้ว เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะพบว่าปริมาณ ฟองอากาศที่ได้นั้นมีความแตกต่างจากที่ออกแบบไว้ [1-2] ซึ่งหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า อาจมีค่าได้ตั้งแต่ 300 ไปจนถึง 1920 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (20-120 lb/ft³) ใช้สำหรับเป็นวัสดุ绝缘 บล็อก และในงานโครงสร้าง [3-5]

คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าหรือ คอนกรีตโฟมนี้ ขึ้นกับคุณสมบัติของโครงสร้างภายใน และส่วนผสมของคอนกรีต [6] ความพรุน หรือ ปริมาณ ฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ส่งผลอย่างมากต่อกำลังรับ แรงและความคงทนของคอนกรีต คุณสมบัติการซึมผ่าน การดูดซึมน้ำ การนำความร้อนและการดูดซับเสียง [7-9] และความพรุนยังใช้เป็นตัวบ่งชี้กำลังรับแรงของ คอนกรีต [7-8] ความพรุนของคอนกรีต โฟมที่ผสมวัสดุ พอช โซลานหรือ fly ash ที่หน่วยน้ำหนัก 800-1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อาจพบว่ามีความพรุนอยู่ ในช่วง 63-30 % [8] การหาความพรุนของคอนกรีตอาจ ใช้วิธี คำนวณส่วนผสม (Mix Design), Mercury intrusion porosimetry, Vacuum Saturate Apparatus, SEM และ Powder XRD เป็นต้น ซึ่งการทดสอบเพื่อให้ ได้ผลที่ถูกต้องแม่นยำนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะทางและวิธีการที่ยุ่งยากซับซ้อน [8-10]

การศึกษานี้นำเสนอการประยุกต์ห้าปีริมาณ ฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า 3 วิธี ได้แก่ (1) วิธีการสแกนภาพแล้วนำเข้าโปรแกรมคำนวณ AirVoid Analyser (2) วิธีการคำนวณจากปริมาณ ส่วนผสม และ (3) การหาค่าความพรุนโดยคำนวณหาค่า ความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตจาก ASTMC128 โดยผลิต

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่มีหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 800 ถึง 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้อัตราส่วนน้ำ ปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 และ 0.55 และอัตราส่วนทรายต่อ ปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25:1, 0.5:1, 1:1, 2:1 และ 3:1 รวมทั้งหมด 26 สูตร

2. กระบวนการผลิต

2.1 การเตรียมวัสดุผสม

(1) ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละอิจัด (ทราย) และทดสอบหาค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ ของทราย ตามมาตรฐาน ASTM C 128 - Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate เพื่อใช้ในการออกแบบบล็อก มวล ส่วนผสม ในที่นี้ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย อยู่ที่ ประมาณ 2.7 และความสามารถในการดูดซึมน้ำมีค่า 1.6 เมอร์เซ่นต์

(2) การเตรียมน้ำยาสร้างฟองโฟม

การเตรียมน้ำยาสร้างฟอง โฟม ใช้อัตราส่วนสารสร้าง ฟอง โฟมต่อหน้า คือ 1 ต่อ 30 แล้วทดสอบหาอัตราการ ขยายตัวของปริมาตรหน้ายา โฟม พบว่ามีค่าประมาณ 26 เท่า และ อัตราการ ไฟล์ของฟอง โฟมเหลว อยู่ที่ประมาณ 6.45 ลิตรต่อลิตรน้ำ

2.2 การผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

ขั้นตอนการผลิตและการทดสอบ มีดังนี้

- (1) เตรียมเครื่องผลิต โฟมเหลว โดยต่อเครื่องอัดอากาศ เข้ากับถังรับแรงดันสำหรับผสมน้ำยาสร้างฟอง โฟม ใช้ น้ำยา กับน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 30 ใส่ลงในถังรับแรงดัน และปรับแรงดันให้อยู่ในช่วงประมาณ 0.60-0.65 MPa
- (2) ใส่ทรายและปูนซีเมนต์ลงในไม่ผสมคอนกรีต ผสม ให้เข้ากัน แล้วใส่น้ำ ใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที เพื่อให้ ส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ฉีด โฟมเหลวใส่ไปในไม่ ปล่อยให้ไม่ทำงานประมาณ 1-2 นาที จนเห็นว่า ส่วนผสมทั้งหมดเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงเทคอนกรีตที่ ผลิตเข้าแบบหล่อที่เตรียมไว้ รายละเอียดอัตราส่วนผสม สำหรับการศึกษานี้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรส่วนผสม

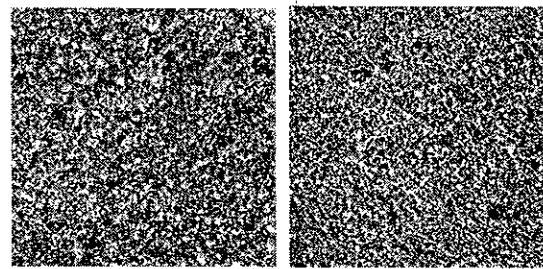
สูตร	หน่วย น้ำหนัก (kg/m ³)	s/c	w/c	ปริมาณฟอง ไนโตร (ร้อยละ)
1	800	0.25	0.45	60.71
2	800	0.25	0.55	58.73
3	800	0.5	0.45	62.52
4	800	0.5	0.55	60.86
5	1000	0.5	0.45	50.89
6	1000	0.5	0.55	48.41
7	1000	1	0.45	53.16
8	1000	1	0.55	51.07
9	1200	1	0.45	43.79
10	1200	1	0.55	41.29
11	1200	2	0.45	46.86
12	1200	2	0.55	44.97
13	1400	1	0.45	34.42
14	1400	1	0.55	31.5
15	1400	2	0.45	38
16	1400	2	0.55	35.8
17	1400	3	0.45	39.97
18	1400	3	0.55	38.22
19	1600	2	0.45	29.14
20	1600	2	0.55	26.63
21	1600	3	0.45	31.4
22	1600	3	0.55	29.39
23	1800	2	0.45	20.28
24	1800	2	0.55	17.46
25	1800	3	0.45	22.82
26	1800	3	0.55	20.56

3. วิธีการศึกษา

3.1 การหาปริมาณฟองอากาศโดยใช้โปรแกรม Air Void Analyzer

ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม Air Void Analyzer เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตปูกระเบื้องด้วย Jeremy Carlson (2005), Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan Tech University [11] สำหรับหาปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า การ

เตรียมตัวอย่างดำเนินการโดยตัดตัวอย่างเป็นชิ้นขนาด กว้างประมาณ 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตรและหนา 2 เซนติเมตร สูตรจะ 3 ตัวอย่าง และ เตรียมผิวน้ำคอนกรีต ด้วยการ โรยผงแป้งในช่องว่างอากาศที่ผิวน้ำอย่าง แล้ว ทาสีดำบริเวณระหว่างส่วนที่เป็นเนื้อคอนกรีต กับ ฟองอากาศ จากนั้นสแกนผิวน้ำคอนกรีตควรใช้ความละเอียด สูง ใน การศึกษานี้ใช้ที่ 2400 DPI และนำเข้าภาพสแกน เพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาปริมาณฟองอากาศในเนื้อ คอนกรีต รูปที่ 1 ตัวอย่างคอนกรีตสำหรับนำเข้าโปรแกรม



รูปที่ 1 ภาพตัวอย่างคอนกรีตสำหรับนำเข้าโปรแกรม

3.2 การหาปริมาณฟองอากาศโดยใช้หลักการคำนวณหาค่าความพรุน

อัตราส่วนช่องว่าง หรือ Void Ratio (e) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างทั้งหมดกับปริมาตรของเนื้อ คอนกรีต[12]

$$e = \left[\frac{\gamma_w G_{con}}{\gamma_d} \right] - 1 \quad (1)$$

เมื่อ

G_{con} คือ ความถ่วงจำเพาะของคอนกรีต

γ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1 g/cm^3)

γ_d คือ ความหนาแน่นแห้งของคอนกรีต (g/cm^3)

และ ค่าความพรุน (n) คือ เปอร์เซ็นต์ของช่องว่างอากาศ ที่มีอยู่ในคอนกรีต สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (2)$$

โดยในการศึกษานี้จะทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของ คอนกรีต (G_{con}) จาก 2 วิธีเพื่อเปรียบเทียบกัน ซึ่งวิธีแรก จะหาค่าจากการคำนวณปริมาณส่วนผสมที่ออกแบบไว้ สำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าตามอัตราส่วนที่ แสดงในตารางที่ 1 ส่วนวิธีที่สอง จะใช้วิธีการทดสอบหา ค่าความถ่วงจำเพาะอาศัยมาตรฐาน ASTM C128

3.2.1 การหาความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตจากปริมาณส่วนผสมที่ออกแบบ

ความถ่วงจำเพาะของคอนกรีต (G_{con}) หาได้จากการนำปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตที่ออกแบบไว้มาคำนวณ[7] ตามสมการ(3)ข้างล่าง

$$G_{con} = \frac{(W_c \times G_c) + (W_s \times G_s)}{W_c + W_s} \quad (3)$$

เมื่อ

W_c คือ น้ำหนักปูนซีเมนต์ (กิโลกรัม)

G_c คือ ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

W_s คือ น้ำหนักทราย (กิโลกรัม)

G_s คือ ความถ่วงจำเพาะของทราย

3.2.2 การหาความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตโดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128

มาตรฐาน ASTM C128 [13] เป็นวิธีการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด ในการศึกษานี้เห็นว่าด้วยหลักการเดียวกัน น้ำจะสามารถนำคอนกรีตมวลเบาที่เป็นผงมาหาความถ่วงจำเพาะได้ การทดลองดำเนินการโดยนำตัวอย่างคอนกรีตที่แห้งแล้วมาดัดให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 เพื่อให้ได้ผงคอนกรีตแล้วนำมาทดลองตามขั้นตอนในมาตรฐาน ASTMC128 เพื่อคำนวณความถ่วงจำเพาะปรากฏของคอนกรีต (Apparent Specific Gravity) โดยใช้สมการที่ (4)

$$G_{con} = \frac{W_d}{W_b + W_d - W_a} \quad (4)$$

เมื่อ

G_{con} คือ ความถ่วงจำเพาะปรากฏของคอนกรีตมวลเบาแบบชั้นเฉลี่ยตามมาตรฐาน ASTM C128

W_d คือ น้ำหนักคอนกรีตอบแห้ง (กรัม)

W_b คือ น้ำหนักขาด+น้ำจืดที่ขึ้นด้วยน้ำ (กรัม)

W_a คือ น้ำหนักขาด+น้ำ+คอนกรีต งานถึงที่ดีที่สุด (กรัม)

4. ผลการศึกษา

4.1 การหาปริมาณฟองอากาศ

ปริมาณฟองอากาศ ที่ได้จาก วิธีที่ (1) โปรแกรม Air Void Analyzer พบว่ามีปริมาณฟองอากาศอยู่ในช่วง ร้อยละ

13.35 ถึง 53.78 วิธีที่ (2) เป็นการหาปริมาณฟองอากาศโดยหลักการหาค่าความพรุน (หัวขอ 3.2) โดยค่า G_s คำนวณจากปริมาณส่วนผสมที่ออกแบบ หรือ Mix Design วิธีนี้ ให้ค่าปริมาณฟองอากาศในช่วง ร้อยละ 39.38 ถึง 78.73 และ วิธีที่ (3) เป็นการหาปริมาณฟองอากาศโดยหลักการหาค่าความพรุนเช่นกับวิธีที่ (2) แต่ทำการหาค่า G_s โดยใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM C128 ซึ่งผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบชั้นเฉลี่ยล่ามีปริมาณฟองอากาศในช่วง ร้อยละ 36.77 ถึง 73.13 รูปที่ 2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างกับร้อยละปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตที่หาโดยวิธี (1) ใช้โปรแกรม Air Void Analyzer คือ

$$y = -0.0278x + 63.046$$

สมการร้อยละปริมาณฟองอากาศที่หาโดยใช้วิธีการคำนวณ G_s จากปริมาณส่วนผสม (วิธีที่ 2)

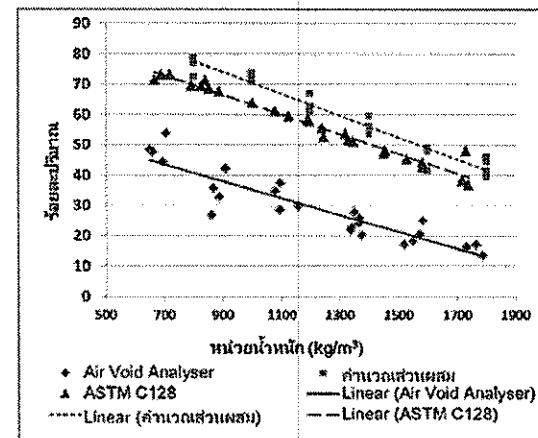
$$y = -0.036x + 106.56$$

การหาปริมาณฟองอากาศโดยหา G_s ตามมาตรฐาน ASTM C128 (วิธีที่ 3)

$$y = -0.0324x + 95.719$$

โดยค่า R^2 ของวิธีที่ (1), (2) และ (3) เท่ากับ 0.84, 0.95 และ 0.96 ตามลำดับ

เมื่อ y คือ ค่าร้อยละปริมาณฟองอากาศ x คือ หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3) และมีค่าระหว่าง 800-1800



รูปที่ 2 หน่วยน้ำหนักของตัวอย่างกับร้อยละปริมาณฟองอากาศ

สูตรส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบชั้นเฉลี่ยล่ามีร้อยละปริมาณฟองอากาศต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละวิธีศึกษาแสดงในตารางที่ 2 ข้างล่าง

ตารางที่ 2 สูตรส่วนผสมที่พบว่ามีร้อยละปริมาณฟองอากาศต่ำสุดและสูงสุด

ร้อยละปริมาณฟองอากาศต่ำสุด				
วิธีการ	หน่วยน้ำหนัก	S/C	W/C	Air Content
(1) Analyzer	1800	2	0.45	13.35
(2) Mix Design	1800	3	0.45	39.38
(3) ASTM C128	1800	3	0.45	36.77

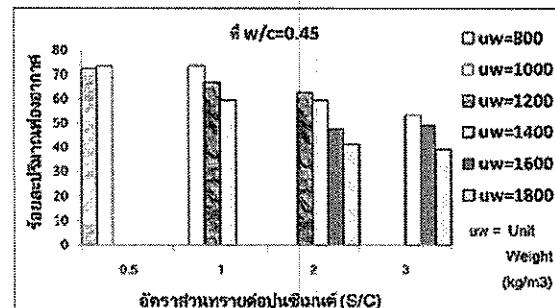
ร้อยละปริมาณฟองอากาศสูงสุด				
(1) Analyzer	800	0.25	0.55	53.78
(2) Mix Design	800	0.25	0.45	78.73
(3) ASTM C128	800	0.5	0.55	73.13

การหาปริมาณฟองอากาศโดยใช้โปรแกรม Air Void Analyzer ให้ค่าที่แตกต่างกันมากกับ การหาปริมาณฟองอากาศโดยใช้วิธีคำนวณส่วนผสม (Mix Design) และ วิธีตามมาตรฐาน ASTM C128 โดย 2 วิธีหลังนี้ให้ค่า ค่อนข้างใกล้เคียงกันในช่วง ประมาณ 1-5 เบอร์เซ็นต์ อาจ เป็นไปได้ว่าโปรแกรม Air Void Analyser เมนูจะกับ คุณกรีตปักติดมากกว่าคุณกรีตมวลเนาแบบเซลลูล่า เนื่องจากโปรแกรมสามารถแยกแยะส่วนผสมได้อย่าง ชัดเจนระหว่างมวลรวมกับช่องว่างอากาศ ในคุณกรีต มวลเนาแบบเซลลูล่า�ั้นที่ไม่มีส่วนผสมของมวลรวม หมายและผิวคุณกรีตมีความประaboutsของโครงสร้าง ฟองอากาศอย่างมาก โดยเฉพาะตัวอย่างคุณกรีตที่มีค่า หน่วยน้ำหนักต่ำ พนังฟองอากาศจะถึมง่าย การเตรียม ผิวน้ำหน้าตัวอย่างให้เรียบเป็นระนาบเดียวกันเหมือนกับ คุณกรีตปักติดนั้นค่อนข้างยากและในการลงสีเพื่อให้เห็น ความชัดเจนระหว่างฟองอากาศกับเนื้อคุณกรีตบางส่วน พบว่าสีก็ลืนกันเป็นสีเทาซึ่งอาจกระทบต่อการประมาณ ของโปรแกรม ส่วนผลการทดสอบที่ได้ (รูปที่ 1)

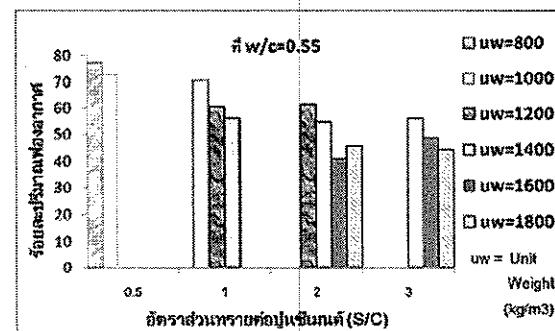
เมื่อพิจารณาปัจจัยอัตราส่วนทรากต่อปูนซีเมนต์ (S/C) ดังในรูปที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบกรณี S/C = 0.5, 1, 2 และ 3 ใช้ W/C = 0.45 ไม่พบว่าการใช้ S/C ต่างกันส่งผล ชัดเจนต่อปริมาณฟองอากาศในเนื้อคุณกรีต และ ในรูปที่ 4 เป็นกรณีใช้ W/C = 0.55 ก็เช่นเดียวกัน

ผลของปัจจัยของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีใช้ W/C= 0.45 (รูปที่ 3) และ

0.55 (รูปที่ 4) คุณเมื่อนว่ากรณีที่ใช้น้ำมากกว่าให้ค่า ปริมาณฟองอากาศต่ำกว่าเล็กน้อย แต่ไม่พบว่ามีแนวโน้ม ที่ชัดเจน

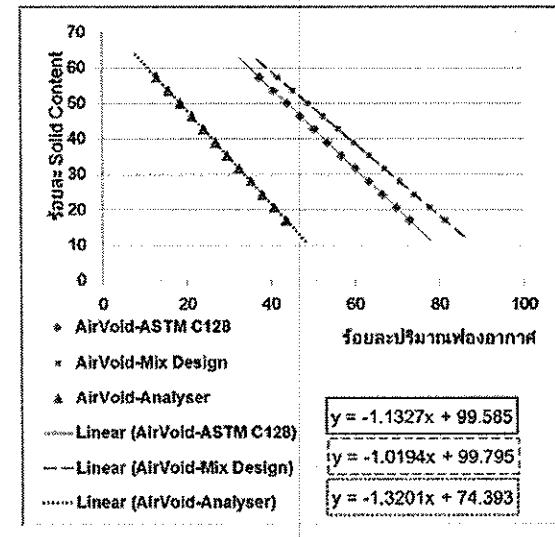


รูปที่ 3 ร้อยละของปริมาณฟองอากาศโดยใช้วิธีคำนวณ ส่วนผสมที่ S/C = 0.5, 1, 2 และ 3 กรณี W/C = 0.45



รูปที่ 4 ร้อยละของปริมาณฟองอากาศโดยใช้วิธีคำนวณ ส่วนผสมที่ S/C = 0.5, 1, 2 และ 3 กรณี W/C = 0.55

เมื่อพิจารณาส่วนผสมที่เป็นของแข็ง ซึ่งก็คือ ปูนซีเมนต์และทราย หรือ เรียกว่า Solid Content พบร่วมกับ ความสัมพันธ์กับปริมาณฟองอากาศ (Air content) อย่าง ชัดเจน เนื่องจากปริมาณฟองอากาศในเนื้อคุณกรีต แปรผกผันกับ Solid Content ดังสมการในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง solid content กับ air content ที่ได้จากห้อง 3 วิธีการศึกษา

5. วิเคราะห์และสรุป

การศึกษานี้นำเสนอการประยุกต์หานิรนามฟองอากาศ ในเนื้อคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า โดยใช้ (1) โปรแกรม Air Void Analyser (2) วิธีการคำนวณจาก บริมาณส่วนผสม และ (3) การหาค่าความพรุนโดยคำนวณ ค่าความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตจาก ASTMC128 และ หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟองอากาศ (Air content) กับปริมาตรของปูนซีเมนต์รวมกับทราย (Solid Content) พบว่า ปริมาณฟองอากาศที่ได้จากการที่ 2 และ 3 ให้ค่าที่ ค่อนข้างสอดคล้องหลักการที่ว่าคอนกรีตนี้หน่วย ปริมาตรประกอบด้วยปริมาตรของ Solid Content รวมกับ Air content

ในทางปฏิบัติอาจเลือกใช้วิธีการหา Air Content และ ความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าโดย อาศัยวิธีตาม ASTMC128 และ นอกจากราคาหน่วยน้ำหนัก ของคอนกรีตแล้ว Solid Content ก็อาจใช้เป็นตัวบ่งชี้ คุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าได้ด้วย เช่นกัน ดังตารางที่ 3 นำเสนอสรุปผลการศึกษา

ตารางที่ 3 สรุปผลการศึกษา

หน่วย น้ำหนัก ออกเบน (kg/m ³)	บริมาณฟองอากาศในคอนกรีต			Solid Content (%)
	Airvoid Analyser (%)	Mix Design (%)	ASTM C128 (%)	
800	48.3-53.8	72.5-78.7	69.5-73.1	19.8-22.8
1000	26.7-42	70.8-73.7	67.5-71.1	24.8-28.5
1200	28.6-37.3	60.5-66.8	57.8-63.8	32.8-37.5
1400	20.2-27.8	53.5-59.7	51.2-58.2	38.3-45.9
1600	16.8-24.9	41.2-49	45.2-48	48.6-52.4
1800	13.3-17	39.4-46	36.7-44	54.7-59

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Fouad H. Fouad, "Cellular concrete," J.F.Lamond and J.H.Pielert (eds), In Significance of Tests and Properties of concrete and concrete-making material, ASTM International, West Conshohocken, PA, pp. 561-569, 2006.
- [2] N. Narayanan and K. Ramamurthy, "Structure and properties of aerated concrete: a review," Cement & Concrete Composites, Vol.22, pp.321-329, 2000.
- [3] M.S. Shetty, "Concrete Technology: Theory and Practice," S.CHAND&COMPANY, Ram Nagar, New Delhi, 2000.
- [4] M L. Gambhir, "Concrete Technology: Theory and Practice," 5ed., McGraw Hill Education (India) Private Limited, New Delhi, 2013.
- [5] TIS 2601-2556, Cellular Lightweight Concrete Blocks using Preformed Foam," Thai Industrial Standard Institute, Ministry of Industry, 2556.
- [6] E.K.K. Nambiar and K. Ramamurthy, "Models relating mixture composition to the density and strength of foam concrete using response surface methodology," Cement & Concrete Composites, Vol.28, pp.752-760, 2006.
- [7] A. Bouguerra et al., "Effect of Microstructure on the Mechanical and thermal Properties of Lightweight Concrete Prepared from Clay, Cement, and Wood Aggregates," Cement and Concrete Research, Vol.28, No.8, pp.1179-1190, 1998.
- [8] E.P.Kearsley and P.J. Wainwright, "Porosity and Permeability of foamed concrete," Cement and Concrete Research, Vol. 31, pp.805-812, 2001.
- [9] E.K.K. Nambiar and K. Ramamurthy, "Air void characterisation of foam concrete," Cement and Concrete Composites, Vol. 37, pp.221-230, 2007.
- [10] N. Narayanan and K. Ramamurthy, "Microstructural investigations on aerated concrete," Cement and Concrete Research, Vol.30 pp.457-464, 2000.
- [11] J. Carlson, "Advancement on the Application of a Flat-Bed Scanner for Hardened Portland Cement Concrete Air Void Analysis," Thesis, Michigan Tech University, 2005.
- [12] R.F.Craig, "Soil Mechanics," Chapman&Hall, 1996.
- [13] ASTM C128-97 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate.