คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์

กฤษฎา โรจน์ประสิทธิพร, อราวินท์ บริรักษ์อราวินท์,
สุภัทรชัย สุดกล้า และ ปิติ สุคนธสุขกุล*
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Email: piti@kmitnb.ac.th, piti_sk@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์ คอนกรีตมวลเบาที่ใช้เป็นคอนกรีตมวลเบาที่เกิดจากการกักฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต โดยการผสมเส้นใยไฟเบอร์นั้นวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเพิ่มกำลังรับแรงให้คอนกรีต ทำให้การแตกหักระหว่างการขนส่งและทำงานลดลง ผลการทดลองพบว่าปริมาณไฟเบอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 0.05% (โดยปริมาตร) ซึ่งแสดงให้เห็นจากการเพิ่มขึ้นของทั้งกำลังอัดและกำลังดัดสูงสุดที่ค่านี้ อย่างไรก็ตามคอนกรีตมวลเบามีแนวโน้มที่จะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

1. บทนำ

คอนกรีตมวลเบาหมายถึงคอนกรีตที่มีมวลหรือความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตปกติ (2450 kg/m^3) โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

1.1 คอนกรีตมวลเบาที่ได้จากการใช้มวลรวมเบา (Lightweight Aggregate Concrete)

คอนกรีตมวลเบาชนิดนี้เกิดจากการผสมมวลรวมที่มีรูพรุนและความหนาแน่นต่ำกับคอนกรีต มวลรวมประเภทนี้อาจจะเป็นวัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเป็นวัสดุที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ข้อด้อยของการผลิตคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธีนี้มีหลายประการ เช่น

- การที่มวลรวมมีรูพรุน ทำให้เกิดการดูดซึมน้ำในปริมาณมาก ต้องทำการชดเชยปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ความสามารถในการเทที่ต้องการ (Workability)
- ความยากในการชดเชยปริมาณน้ำที่หายไปจากสัดส่วน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการดูดซึมน้ำของมวลรวม มีมักจะความผันแปรค่อนข้างสูง ขึ้นกับปริมาณความชื้นในเนื้อวัสดุ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก
- คุณภาพของมวลรวมเองที่ไม่สม่ำเสมอ และราคาของแพง

1.2 คอนกรีตมวลเบาที่ได้จากการกักฟองอากาศ (Cellular or Aerated Concrete)

คอนกรีตมวลเบาที่ผลิตโดยวิธีกักฟองอากาศแตกต่างจากคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตโดยใช้มวลรวมมวลเบา โดยในกระบวนการผลิตจะเป็นการใส่ฟองอากาศปริมาณสูงเข้าไปแทนที่เนื้อซีเมนต์ จากนั้นปล่อยให้คอนกรีตที่ได้แข็งตัว ก็จะได้คอนกรีตที่มีปริมาณฟองอากาศปริมาณสูงกระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งคอนกรีตที่ได้จะมีมวลเบาตามที่ต้องการ กระบวนการผลิตสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ

1.2.1 การผลิตโดยใช้อลูมินัมออกไซด์ กระบวนการผลิตนี้ถูกคิดค้นครั้งแรกใน คศ. 1914 โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีของผงอลูมินัมกับซีเมนต์ ซึ่งอลูมินัมจะทำปฏิกิริยากับคัลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นในเนื้อคอนกรีต ทำให้เกิดการขยายตัวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น เมื่อคอนกรีตแข็งตัวก็จะได้คอนกรีตที่มีรูพลุนสูงและน้ำหนักเบา

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

วิธีนี้ถึงแม้จะเป็นเทคโนโลยีเก่า แต่ปัจจุบันก็ยังมีการใช้อยู่ทั่วไป ข้อเสียของวิธีนี้คือกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากและใช้พลังงานสูง ทั้งนี้เพราะกระบวนการเกิดแก๊สไฮโดรเจนนั้นเป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่ใช่ปฏิกิริยาหลัก (Primary) แต่เป็นปฏิกิริยารองที่เรียกว่า Secondary โดยมีความจำเป็นต้องรอการเกิดของคัลเซียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันก่อน จากนั้นเมื่อคัลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณเพียงพอที่ที่จะทำปฏิกิริยากับผงอลูมินัม กระบวนการเกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนจึงเริ่มขึ้น ดังนั้นเราจึงพบว่าโดยทั่วไปถ้าไม่มีการเร่งปฏิกิริยากระบวนการเกิดแก๊สจะเริ่มประมาณ 30 นาทีให้หลังจากการผลิต

การที่ปฏิกิริยาการเกิดแก๊สเป็นปฏิกิริยารองนั่นเองเป็นที่มาของปัญหาใหญ่ในกระบวนการผลิต ในช่วงต้นที่คอนกรีตยังมีสภาพเป็นของเหลวมีความยืดหยุ่นตัวสูงนั้น การขยายตัวของเนื้อคอนกรีตเนื่องมาจากแก๊สไฮโดรเจนนั้นไม่ได้ก่อให้เกิดปัญหาใดๆ แต่เมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัว (Setting) ที่ประมาณ 2-3 ชมหลังจากการผสม การที่คอนกรีตเริ่มแข็งตัวความยืดหยุ่นย่อมต้องลดลง เมื่อกระบวนการเกิดแก๊สและการขยายตัวขอลเนื้อคอนกรีตยังคงดำเนินต่อไปอีกหลายชั่วโมงย่อมต้องก่อให้เกิดปัญหาตามมา ความไม่สัมพันธ์กันระหว่างระยะเวลาการเกิดแก๊สและการแข็งตัวคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตที่ได้มักจะมีรอยร้าวขนาดใหญ่ กำลังต่ำ แตกหักง่าย

ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องมีการใช้ความร้อนและความดันเข้ามาช่วย การใช้ความร้อนเพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยาการเกิดแก๊สให้สัมพันธ์กับการก่อตัวเพื่อไม่ให้คอนกรีตเกิดรอยแตกร้าวขนาดใหญ่ ส่วนการใช้ความดันนั้นเพื่อเป็นการควบคุมการขยายตัวของเนื้อคอนกรีตให้อยู่ในพื้นที่ที่ต้องการ และให้ได้คอนกรีตที่มีรูปร่างขนาดตามที่ต้องการ

1.2.2 การผลิตโดยการทำฟองหรือโฟมก่อน วิธีนี้ถูกคิดค้นในปี คศ 1950 แนวคิดของกระบวนการผลิตด้วยวิธีนี้คือการทำฟองอากาศปริมาณสูงขึ้นมาก่อนที่จะผสมลงไปพร้อมกับคอนกรีต ในอดีตช่วงเริ่มต้น สารสร้างฟองอากาศที่ใช้จะเป็นผงซักฟอกหรือน้ำยาซักผ้า ซึ่งมีข้อเสียคือฟองอากาศที่ได้มักจะไม่เสถียรและแตกหักง่าย

ในกระบวนการผลิตปัจจุบันใช้สารกักฟองอากาศที่มีส่วนผสมทางเคมี polyoxyethylenealkylether โดยฟองอากาศที่ได้โดยวิธีนี้จะมีความเสถียรและคงรูปมากกว่าฟองอากาศที่ได้โดยผงซักฟอก กระบวนการผลิตจะเริ่มต้นที่การใส่สารกักฟองอากาศปริมาณสูงลงปั่นในเครื่องผลิตฟองจากนั้นฉีดพ่นเข้าไปในโม่ผสมคอนกรีต เพื่อให้ฟองอากาศเข้าไปแทรกตัวตามเนื้อคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวเนื้อคอนกรีตที่ได้จะมีรูพรุนสูงและเบา

กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาด้วยวิธีนี้ค่อนข้างง่ายกว่าวิธีแรก เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนและความดันเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ต้นทุนด้านพลังงานต่ำ แต่คอนกรีตที่ได้โดยวิธีนี้มักจะมีน้ำหนักมากกว่าวิธีแรกเล็กน้อย

ปัจจุบัน คอนกรีตมวลเบาถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์หลายอย่างเช่น คอนกรีตบล๊อก ชิ้นส่วนสำเร็จรูป ฉนวนในผนังกันความร้อน ผนังรับน้ำหนัก หลังคา แผ่นพื้น ฯลฯ ข้อเสียของคอนกรีตมวลเบาคือเนื่องจากการที่มีรูพรุนมาก กำลังรับแรงดึงต่ำและมักจะเปราะแตกหักง่ายโดยเฉพาะที่เหลี่ยมมุมในช่วงของการขนส่งซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายทั้งทางด้านค่าขนส่ง ค่าวัสดุ และเวลา

ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำเอาเส้นใยไมโครไฟเบอร์เข้ามาเพื่อแก้ปัญหาการเปราะและแตกหักง่ายของคอนกรีตมวลเบา โดยที่เส้นใยไมโครไฟเบอร์จะทำหน้าที่เป็นเหมือนสะพานเชื่อมระหว่างรอยร้าวของคอนกรีต ซึ่งทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัด แรงดึงเพิ่มมากขึ้น

2. วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ คอนกรีตมวลเบาที่เลือกใช้เป็นคอนกรีตมวลเบาที่ได้โดยวิธีการกักฟองอากาศโดยใช้

น้ำยากักฟองอากาศปริมาณสูง Rheocell 505[Ψ] การผสมเริ่มโดยการผสมน้ำและทรายในเครื่องผสมที่มีความเร็วรอบสูงเพื่อให้เกิดฟองอากาศจากนั้นจึงผสมกับซีเมนต์และไฟเบอร์ลงไป สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c Ratio) คือ 0.85

ในส่วนของเส้นใยไฟเบอร์ ชนิดของไฟเบอร์ที่เลือกใช้เป็นเส้นใยแก้วละเอียด (Micro fibres) (รูปที่ 1) โดยจะแปรผันปริมาณน้ำยากักฟองอากาศและเส้นใยไฟเบอร์ คอนกรีตที่ผ่านการผสมจะถูกหล่อเป็นแท่งตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบกำลังอัดและกำลังดัด รวมทั้งหน่วยน้ำหนัก โปรแกรมการหล่อและการทดสอบเป็นดังแสดงในตารางที่ 1

รูปที่ 1 เส้นใยไฟเบอร์ใยแก้ว

ตารางที่ 1 โปรแกรมการหล่อและการทดสอบ

Rheocell (% by cement weight)	Fibre content (volume fraction)	N0. of specimen per test		
		Comp.	Bending	Density & Void
0.6	0.50%	3	3	3
	1.00%	3	3	3
	1.50%	3	3	3
0.8	0.50%	3	3	3
	1.00%	3	3	3
	1.50%	3	3	3
1	0.50%	3	3	3
	1.00%	3	3	3
	1.50%	3	3	3
Total		27	27	27

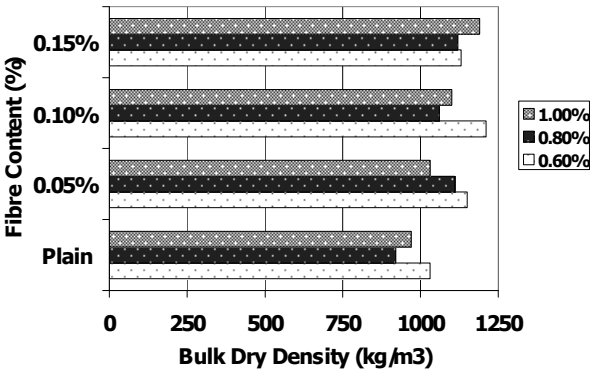
แท่งตัวอย่างจะถูกบ่มในน้ำเป็นระยะเวลา 28 วัน ก่อนที่จะทำการทดสอบ การทดสอบทั้งหมดกระทำขึ้นที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ขนาด 1500 kN

3 ผลการทดลอง

3.1 หน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาตรช่องว่าง

3.1.1 หน่วยน้ำหนักแห้ง (Bulk Dry Density) ผลการทดลอง (รูปที่ 2) พบว่าหน่วยน้ำหนักแห้งของทั้งคอนกรีตธรรมดาและผสมเส้นใยไฟเบอร์อยู่ในช่วงระหว่าง 900-1100 กก/ม^3 โดยพบว่าหน่วยน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณเส้นใยไฟเบอร์

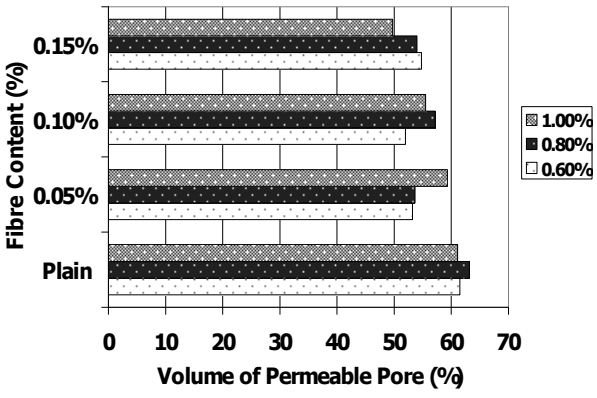
การที่หน่วยน้ำหนักแห้งของคอนกรีตสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์มีมากกว่าคอนกรีตธรรมดานั้น สาเหตุประการหนึ่งน่าจะมาจากการที่เส้นใยไมโครไฟเบอร์เข้าไปแทนที่ปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่วนอีกประการหนึ่งน่าจะมาจากการที่เส้นใยไฟเบอร์เข้าไปรบกวนกระบวนการเกิดฟองในช่วงระหว่างผสม



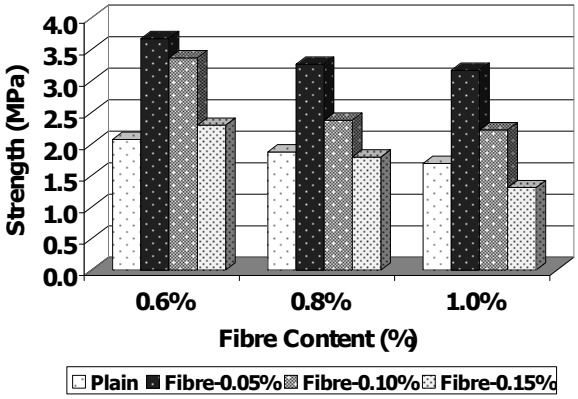
รูปที่ 2 หน่วยน้ำหนักแห้ง

3.1.2 ปริมาตรช่องว่างที่ซึมผ่านได้ (Volume of Permeable Voids) ในกรณีของช่องว่างที่ซึมผ่านได้นั้น (รูปที่ 3) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตโดยวิธีนี้มีปริมาตรช่องว่างหรือฟองอากาศที่ซึมผ่านอยู่ในช่วงระหว่าง 50-65% โดยปริมาตรช่องว่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณไฟเบอร์เพิ่มมากขึ้น โดยสาเหตุน่าจะเหมือนกับในกรณีของหน่วยน้ำหนักแห้ง

[Ψ] ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Master Builder Co., Ltd.,



รูปที่ 3 ปริมาตรช่องว่างที่ซึมผ่านได้



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัด vs ปริมาณไฟเบอร์

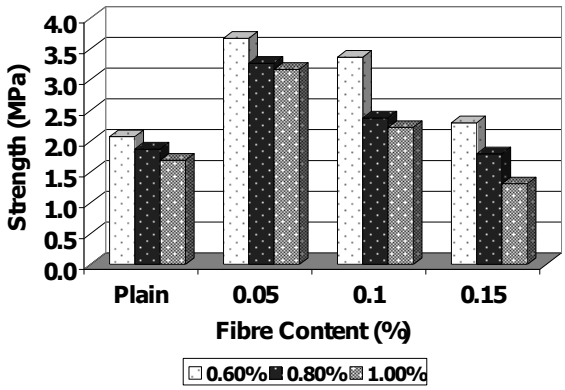
3.2 กำลังรับแรงอัด

3.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและปริมาณเส้นใยไมโครไฟเบอร์ ผลการทดสอบ (รูปที่ 4) พบว่าปริมาณเส้นใยไมโครไฟเบอร์มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแตกต่างกันไป ในช่วงปริมาณไฟเบอร์น้อยๆ (ต่ำกว่า 0.05 %) เราพบการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใย แต่เมื่อปริมาณไฟเบอร์เพิ่มขึ้นมากกว่า 0.05 % กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะเริ่มลดลงตามลำดับ

โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตที่ผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์ เราพบว่าที่ 0.05 % ของทุกสัดส่วนผสมมีกำลังรับแรงอัดสูงสุด เราจึงสรุปได้ว่าสัดส่วนผสมที่เหมาะสมของเส้นใยไมโครไฟเบอร์ที่เหมาะสมน่าจะอยู่ที่สัดส่วนต่ำกว่า 0.05 %

ส่วนสาเหตุของการลดลงของกำลังรับแรงอัดเมื่อสัดส่วนปริมาณไฟเบอร์มากกว่า 0.05 % น่าจะมาจากความยากในการผสม เนื่องจากเส้นใยไมโครไฟเบอร์มีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวมาก การผสมในปริมาณมากทำให้ความสามารถในการเทลดลง ส่งผลให้คอนกรีตที่ได้ขาดความเป็นเนื้อเดียว เกิดการกระจุกตัวของเส้นใยไมโครไฟเบอร์และรูพรุนขนาดใหญ่ที่ในบริเวณที่ไฟเบอร์ไม่มีการกระจายตัวที่ดี

3.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและปริมาณน้ำยากักฟองอากาศ โดยรวมพบว่ากำลังรับแรงอัดของทั้งคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเส้นใยไฟเบอร์ลดลงเมื่อปริมาณน้ำยากักฟองอากาศเพิ่มขึ้น (รูปที่ 5) ทั้งนี้สาเหตุน่าจะมาจากน้ำยากักฟองอากาศปริมาณสูงจะทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตที่ได้มีปริมาณช่องว่างมาก การที่มีรูพรุนจำนวนมากทำให้คอนกรีตมีกำลังลดต่ำลง ดังนั้นเมื่อปริมาณน้ำยากักฟองอากาศปริมาณสูงเพิ่มมากขึ้น รูพรุนในเนื้อคอนกรีตจะมีมากขึ้น ทำให้ค่ากำลังอัดที่ได้ลดลง

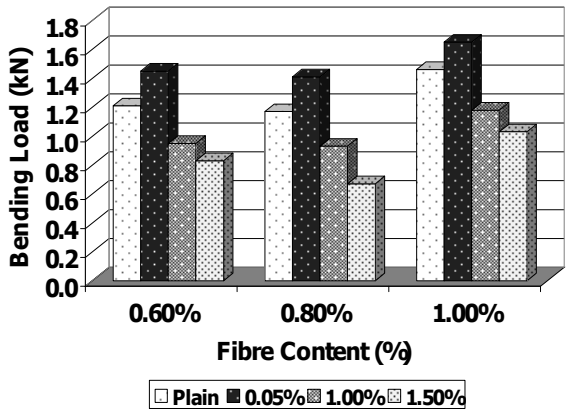


รูปที่ 5 กำลังรับอัด vs ปริมาณน้ำยา

3.3 กำลังรับแรงดัด

ผลการทดสอบในส่วนของกำลังดัดนั้นพบว่ามีลักษณะคล้ายกับในกรณีของกำลังอัด (รูปที่ 6) กล่าวคือกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเส้นใยไฟเบอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผสมเส้นปริมาณเส้นใยไม่

เกิน 0.05% แต่ที่ปริมาณเส้นใยไฟเบอร์มากกว่า 0.05% กำลังรับแรงดัดลดลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม เราพบสิ่งที่ต่างจากในกรณีของกำลังรับแรงอัดเล็กน้อย กล่าวคือที่ไฟบอร์ปริมาณสูงนั้น การลดลงของกำลังดัดมีมากและในทุกกรณีกำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเส้นใยไฟเบอร์มากกว่า 0.05% ลดลงต่ำกว่าของคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใยไฟเบอร์



รูปที่ 6 กำลังรับแรงดัด

สาเหตุน่าจะเหมือนกับในกรณีของกำลังอัด นั่นคือการที่เส้นใยไมโครไฟเบอร์มีขนาดเล็ก เมื่อปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้การผสมอย่างสม่ำเสมอเป็นไปได้ยาก เกิดการกระจุกตัวของเส้นใยไมโครไฟเบอร์ ทำให้มีรูพรุนขนาดใหญ่ส่งผลกำลังลดลง

4 สรุป

4.1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณไมโครไฟเบอร์ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทั้งเชิงกลและกายภาพของคอนกรีตมวล

4.2 ในกรณีของคุณสมบัติเชิงกล ปริมาณไฟเบอร์ที่ให้ประสิทธิผลสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 0.05 % (โดยปริมาตร) โดยพบการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังรับแรงอัดและดัดจนถึงจุดนี้ จากนั้น ค่ากำลังรับแรงทั้งสองจะเริ่มลดลงอย่างเห็นได้ชัด

4.3 ในส่วนของหน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาตรช่องว่างนั้น เราพบว่าคอนกรีตที่ผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์จะมีหน่วยน้ำหนักแห้งมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใย และมีปริมาตรฟองอากาศจะลดลง

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้โครงการ IRPUS ประจำปี 2546

เอกสารอ้างอิง

Short, A., and Kinniburgh, W., "Lightweight Concrete 3rd Edition", Applied Science Publishers Ltd, 1987.

Mehta, N., and Monteiro, P., J., "Concrete: Structure, Properties and Materials", 2nd Edition, Prentice-Hall, 1993.

Neville, A., M., "Properties of Concrete", Longman group ltd., 1995.

Mindess, S., Young, J., F., "Concrete", Prentice-Hall Inc., 1981

Neufeld, R., D., C., Vellejo, L., E., Hu, W., Latona, M, Christopher, C., and Kelly,, "Properties of High Fly Ash Content Cellular Concrete", ASCE Journal of Energy Engineering, vol. 120, no. 1, April 1994, pp. 35-49.

Legatski, L, A., "Structural Considerations of Cellular Concrete", Materials and Member Behavior, Proceedings of the Sessions at Structures Congress '87, 1987, pp.435-441.

Hassoun, M, and Sawalma, A, "Properties of Flyash Cellular Concrete", Construction Materials Serviceability/Durability, Proceedings of the First Materials Engineering Congress. Part 2, 1990, pp. 1051-1060.

Latona, M, C., Neufeld, R., D., Vellejo, L., E., Hu, W., and Kelly, C., "Environmental Impacts of Autoclaved Cellular Concrete", Proceedings of the 1996 ASCE National Convention, 1996, pp. 57-69.

Hwang, J., Y., and Song, X., M., "Replacing Al Powder with Al Slag or Recycled Foil in Cellular Concrete", Journal of Materials, vol. 49, n 8, 1997, pp. 29-30.

Manuel, S., M., "Autoclaved Cellular Concrete for Residential Construction", Concrete International, vol. 12, n 9, 1990, pp. 41-44.