

การวิบัติของซีเมนต์เฟสท์ มอร์ต้า และคอนกรีต

ปริญา จินดาประเสริฐ *

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงลักษณะการวิบัติของซีเมนต์เฟสท์ มอร์ต้า และคอนกรีต กำลังอัดประลัยของซีเมนต์เฟสท์จะเท่ากับของคอนกรีตโดยประมาณ และกำลังอัดประลัยของมอร์ต้าจะสูงกว่า 36 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการวิบัติของซีเมนต์เฟสท์นั้นแตกต่างกับของมอร์ต้าและของคอนกรีต และได้บ่งถึงความสำคัญของวัสดุผสมที่มีต่อการวิบัติของคอนกรีต

1) บทนำ

การใส่วัสดุผสมลงไปในซีเมนต์เฟสท์ทำให้ได้คอนกรีตราคาถูกขึ้น เพราะวัสดุผสมจะถูกกว่าปูนซีเมนต์มาก นอกจากนี้วัสดุผสมซึ่งมีความแข็งแรง (stiff) มากกว่าซีเมนต์เฟสท์จะทำให้เป็นผลลดการคืบ (creep) และการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำ (drying shrinkage) ดังนั้นจึงพยายามใส่วัสดุผสมให้มาก แต่ถ้าใส่วัสดุผสมมากเกินไปจะทำให้คอนกรีตกระด้าง (harsh) ยากต่อการทำงาน ในทางปฏิบัติจะใส่วัสดุผสมประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งวัสดุผสมจะรวมทั้งวัสดุผสมหยาบและวัสดุผสมละเอียด

ขนาดผลของวัสดุผสมหยาบและวัสดุผสมละเอียดจะมีผลต่อพฤติกรรมของคอนกรีต ส่วนผสมที่มีวัสดุผสมละเอียดมากเกินไปจะทำให้การทำงานง่ายขึ้นแต่จะทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายขึ้นด้วย ส่วนผสมที่มีวัสดุผสมหยาบมากและวัสดุผสมละเอียดน้อยจะทำให้ทำงานยากขึ้น และจะเกิดปัญหาในการเทเพราะอาจจะเกิดการแยกตัว (segregation) ทำให้เกิดเป็นโพรง อัตราส่วนระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมทั้งหมดจะอยู่ระหว่าง 30-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

พฤติกรรมของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของส่วนผสม คือ ซีเมนต์เฟสท์ และวัสดุผสม ตลอดจนการยึดเหนี่ยว (bond) ระหว่างวัสดุทั้งสอง การยึดเหนี่ยวจะขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของวัสดุผสม คือถ้าผิวหยาบการยึดกันก็จะดีขึ้น นอกจากนี้แล้วขนาดและปริมาณของส่วนผสมยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิดและการขยายตัวของรอยแตกและการวิบัติของคอนกรีต

2) การทดลอง

เพื่อที่จะศึกษาลักษณะการวิบัติและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เฟสท์ มอร์ต้าและคอนกรีต ได้ใช้ส่วนผสมดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มีสองค่า คือ 0.4 และ 0.5 ที่แต่ละค่าของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะมีส่วนผสมทั้งสามชนิด คือ ซีเมนต์เฟสท์ มอร์ต้า และคอนกรีต ซีเมนต์เฟสท์จะเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่แยกเอาวัสดุผสมทั้งหมดออก และมอร์ต้าจะเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่แยกเอาแต่วัสดุผสมหยาบออก ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงใช้ส่วนผสมทั้งหมดหกลส่วนผสม

* ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปูนซีเมนต์เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ทราบเป็นทรายจากแม่น้ำมีความถ่วงจำเพาะ 2.62 และโมดูลัสของความละเอียด 2.52 วัสดุผสมหยาบเป็นกรวดจากแม่น้ำมีขนาดใหญ่สุด 20 มม. ความถ่วงจำเพาะ 2.63 และโมดูลัสของความละเอียด 7.17

แท่งทดสอบที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม. แต่ละส่วนผสมจะหล่อแท่งทดสอบ 12 ตัวอย่าง แท่งทดสอบทั้งหมดจะถูกบ่มในน้ำจนถึงวันทดสอบ คือ 7, 28, 58 และ 88 วันหลังจากวันที่หล่อแท่งทดสอบ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าเปรียบเทียบระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้า และคอนกรีตที่อายุต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก

ส่วนผสม	น้ำ	ปูนซีเมนต์	ทราย	วัสดุผสมหยาบ
P1	0.4	1	-	-
M1	0.4	1	1.03	-
C1	0.4	1	1.03	2.78
P2	0.5	1	-	-
M2	0.5	1	1.70	-
C2	0.5	1	1.70	3.30

ตารางที่ 2 กำลังอัดประลัย* (กก/ซม²)

อายุ (วัน)	P1	M1	C1	P2	M2	C2
7	415	515	370	245	385	285
28	460	630	470	395	490	365
58	485	720	490	400	515	400
88	535	755	520	435	540	430

* เฉลี่ยจาก 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3 อัตราส่วนของกำลังอัดประลัยต่อกำลังอัดประลัยของซีเมนต์เพสต์ ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เดียวกัน

อายุ (วัน)	P1/P1	M1/P1	C1/P1	P2/P2	M2/P2	C2/P2
7	1.00	1.24	0.89	1.00	1.57	1.16
28	1.00	1.37	1.02	1.00	1.24	0.92
58	1.00	1.48	1.01	1.00	1.29	1.00
88	1.00	1.41	0.97	1.00	1.24	0.99

3) ผลการทดสอบ และการอภิปรายผล

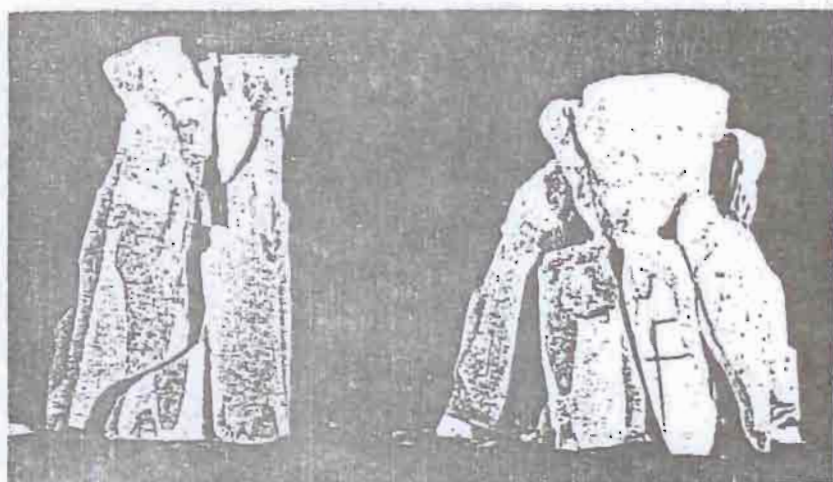
ผลการทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 อัตราส่วนของกำลังอัดประลัยต่อกำลังอัดประลัยของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์เดียวกัน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 จากการทดสอบพบว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่มีอายุระหว่าง 7 ถึง 88 วัน จะมีค่าเฉลี่ยประมาณเท่ากับกำลังอัดประลัยของซีเมนต์เพสต์ และกำลังอัดประลัยของมอร์ต้าจะสูงกว่าของคอนกรีตและซีเมนต์เพสต์อยู่ประมาณ 36 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 1, 2 และ 3 แสดงให้เห็นถึงสภาพของแท่งทดสอบภายหลังการทดสอบ จะสังเกตเห็น shear cone ที่บริเวณปลายทั้งสองข้างของแท่งทดสอบซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้า และคอนกรีต ซึ่ง shear cone นี้จะเกิดจากการที่ปลายทั้งสองข้างของแท่งทดสอบไม่สามารถขยายตัวทางด้านข้างอย่างอิสระ เพราะถูกแผ่นประกบของเครื่องทดสอบยึดไว้ ⁽¹⁾ ดังนั้นรอยแตกจะเกิดขึ้นบริเวณส่วนกลางของแท่งทดสอบในทิศทางของแรงอัด

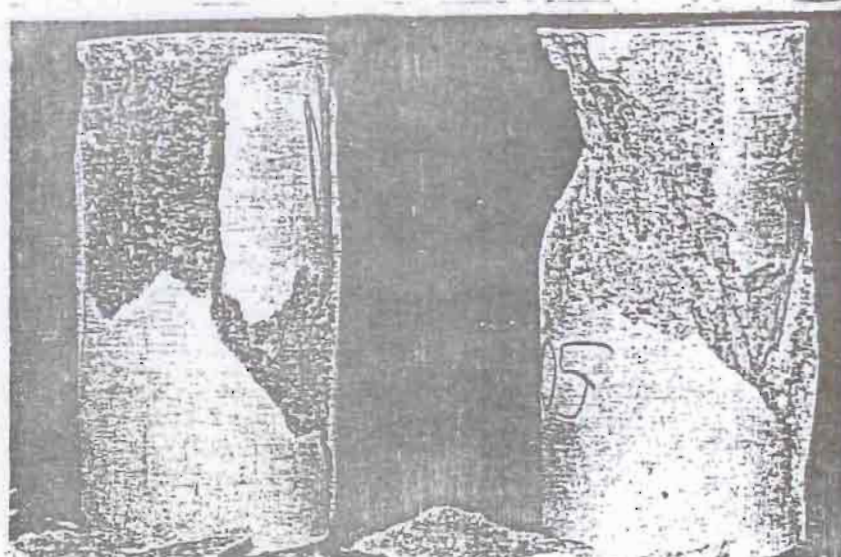
การวิบัติของซีเมนต์เพสต์จะเป็นไปอย่างรุนแรง ที่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังอัดประลัยจะสังเกตเห็นรอยแตกซึ่งรอยแตกนี้จะทำให้เกิดเสียงดัง รอยแตกจะอยู่ในทิศทางของแรงอัดและในบางครั้งชิ้นส่วนของซีเมนต์เพสต์บริเวณผิวอาจกระเพาะออกจากแท่งทดสอบ แต่แท่งทดสอบยังคงสามารถรับแรงอัดได้เพิ่มขึ้น รอยแตกก็จะเพิ่มขึ้นและจะมีรอยแตกวิกฤต (critical crack) ซึ่งจะขยาย (propagate) อย่างรวดเร็วทำให้แท่งทดสอบไม่สามารถรับแรงอัดได้ต่อไปจึงเกิดการวิบัติอย่างรุนแรง ซีเมนต์เพสต์มีลักษณะการวิบัติคล้ายวัสดุเปราะ (brittle material)

สำหรับมอร์ต้านั้นจะเริ่มสังเกตเห็นรอยแตกของแท่งทดสอบประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังอัดประลัยเช่นกัน รอยแตกในมอร์ต้าจะคงตัว (stable) มากกว่าในซีเมนต์เพสต์ Welch และ Hainsman ⁽²⁾ ให้เหตุผลว่าเม็ดทรายจะทำหน้าที่เป็นตัวหยุดรอยแตก (crack arrester) แต่เนื่องจากเม็ดทรายมีขนาดเล็กรอยแตกจะสามารถอ้อมผ่านเม็ดทรายได้ เพราะฉะนั้นการวิบัติของมอร์ต้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณของทราย ถ้าปริมาณทรายน้อยลักษณะการวิบัติจะใกล้เคียงกับของซีเมนต์เพสต์คือรุนแรง แต่ถ้าปริมาณทรายเพิ่มมากขึ้นรอยแตกก็จะคงตัวมากขึ้นและการวิบัติก็จะลดความรุนแรงลง การเพิ่มปริมาณทรายจะทำให้รอยแตกคงตัวมากขึ้นและจะเป็นผลให้กำลังอัดประลัยสูงขึ้น ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้อัตราส่วนของทรายต่อน้ำซีเมนต์โดยน้ำหนักมีค่า 1.03 และ 1.70 จะให้กำลังอัดประลัยของมอร์ต้าสูงกว่าของปูนซีเมนต์โดยเฉลี่ย 36 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าปริมาณทรายมากเกินไปกำลังอัดประลัยของมอร์ต้าจะลดลง เพราะปริมาณของซีเมนต์เพสต์จะไม่พอเพียงต่อการยึดเม็ดทราย

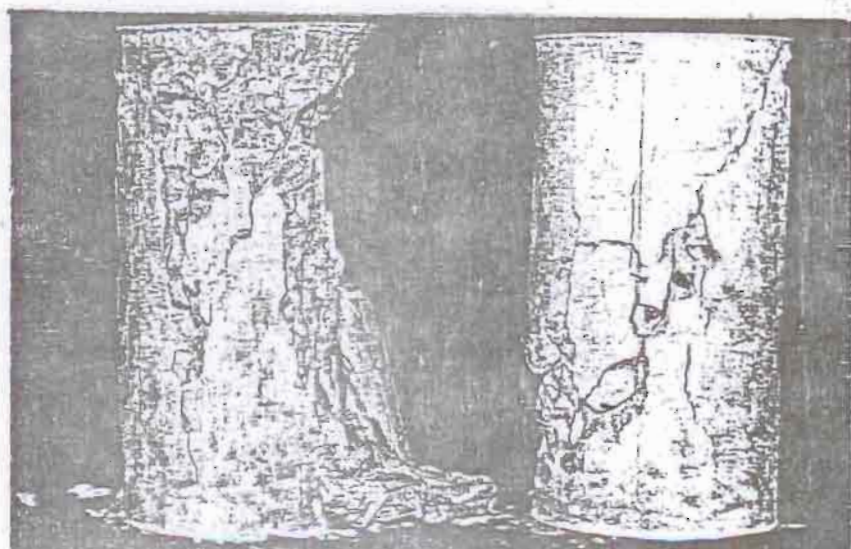
กำลังอัดประลัยของคอนกรีตจะเท่ากับของซีเมนต์เพสต์โดยประมาณ ทั้งนี้หมายความว่า การเพิ่มวัสดุผสมหยาบลงในมอร์ต้าจะทำให้กำลังอัดประลัยลดลง แต่การวิบัติของคอนกรีตจะเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป (ไม่รุนแรง) การเติมวัสดุผสมหยาบเป็นการเพิ่มความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneity) ของคอนกรีต ซึ่งความไม่เป็นเนื้อเดียวกันนี้จะทำให้เกิดรอยแตกและช่องว่างในคอนกรีตในระยะก่อตัว (set) ของปูนซีเมนต์ ⁽³⁾ เมื่อเกิดแรงอัด ช่องว่าง รอยแตก และวัสดุผสมหยาบจะเป็นตัวทำให้เกิดความเข้มข้นของความเค้น (concentration of stress) ⁽⁴⁾ การเพิ่มแรงอัดจะทำให้รอยแตกเพิ่มมากขึ้นและจะขยายตัว รอยแตกที่ขยายมาพบวัสดุผสมหยาบก็จะหยุดขยายตัว รอยแตกอื่นก็จะขยายตัวจนกว่าจะมาพบกับวัสดุหยาบเช่นกัน การเพิ่มแรงอัดจะทำให้



รูปที่ 1 ซีเมนต์เพสต์



รูปที่ 2 มอร์ต้า



รูปที่ 3 คอนกรีต

รอยแตกที่พบกับวัสดุผสมหยาบจะสามารถขยายตัวทะลุหรืออ้อมผ่านวัสดุหยาบได้ (2) เมื่อแรงอัดเพิ่มมากขึ้นรอยแตกก็จะเชื่อมถึงกันและจะทำให้แท่งทดสอบอ่อนแอลงจนไม่สามารถรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นได้อีก

4) บทสรุป

การเติมวัสดุผสมในซีเมนต์เพสต์ทำให้เกิดความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneity) เพิ่มขึ้น ถ้าเป็นวัสดุผสมละเอียดหรือทรายความไม่เป็นเนื้อเดียวกันจะอยู่ในขั้นต่ำ แต่ถ้าเป็นวัสดุผสมหยาบความไม่เป็นเนื้อเดียวกันจะเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้เกิดรอยแตกและช่องว่างมากขึ้นในระหว่างการก่อตัว (set) นอกจากนี้วัสดุผสมยังทำหน้าที่เป็นตัวหยุดรอยแตก (crack arrester)

ภายใต้แรงอัดซีเมนต์เพสต์จะวิบัติอย่างรุนแรง และจะมีลักษณะการวิบัติคล้ายวัสดุเปราะ (brittle material) การวิบัติของมอร์ต้าจะลดความรุนแรงลงขึ้นอยู่กับปริมาณทรายที่เติมไปในซีเมนต์เพสต์ ที่ปริมาณทรายพอเหมาะรอยแตกและช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อตัวจะอยู่ในขั้นต่ำ ดังนั้นทรายจะทำหน้าที่หลักเป็นตัวหยุดรอยแตกเป็นผลให้การวิบัติลดความรุนแรงลงและกำลังอัดประลัยจะสูงขึ้น ในกรณีนี้เพิ่มขึ้น 36 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย การเพิ่มวัสดุผสมหยาบลงในมอร์ต้าจะทำให้เกิดรอยแตกและช่องว่างมากขึ้นในระยะก่อตัว และวัสดุผสมหยาบจะช่วยเป็นตัวหยุดรอยแตก ภายใต้แรงอัดรอยแตกจะขยาย (propagate) จนพบกับวัสดุผสมและจะหยุดขยายตัว รอยแตกอื่นจะขยายตัวแทนเมื่อเพิ่มแรงอัดรอยแตกที่พบกับวัสดุผสมอาจจะขยายทะลุหรืออ้อมผ่านวัสดุผสม ทำให้เกิดรอยแตกมากขึ้นและเชื่อมถึงกัน การวิบัติจะเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไปและกำลังอัดประลัยจะประมาณเท่ากับของซีเมนต์เพสต์

เอกสารอ้างอิง

- 1) Jones, R. (1960)
"Development of microcracks in concrete" RILEM Bulletin, No.9, December 1960.
 - 2) Welch, G.B. and Haisman, B (1969)
"The application of fracture mechanics to concrete and the measurement of fracture toughness" Materials and Structures: Research and Testing, Vol.2, No.9, May-June 1969.
 - 3) Swamy, R.N. (1971)
"Fracture phenomena of hardened cement paste mortar and concrete" Mechanical Behaviour of Materials, Proceedings of the 1971 International Conference on Mechanical Behaviours, Japan, The Society of Materials Science, 1972, Vol. IV.
 - 4) Goodier, I.N. (1933)
"Concentration of Stress around spherical and cylindrical inclusions and flaws" Journal of Applied Mechanics, Vol.55, 1933.
-