การออกแบบคอนกรีตผสมเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

บุรฉัตร ฉัตรวีระ*

พิชัย นิมิตยงสกุล**

บทคัดย่อ

บทความนี้ เป็นบทความที่เสนอผลการวิจัยเกี่ยวกับส่วนประกอบทางด้านเคมี และคุณสมบัติทางด้านกายภาพของเถ้าลอยจากแหล่งพลังงานลิกไนต์แม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยใช้ตัวอย่างเถ้าลอย 3 ชนิดในการผลิตซิเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอย ปริมาณน้ำใช้เพื่อคงสภาพการทรุดตัวระหว่าง 5-8 เซนติเมตร คุณสมบัติทางด้านกลศาสตร์ของคอนกรีตผสมเถ้าลอยศึกษารวมไปถึงกำลังอัด, กำลังดึงแบบผ่าซีก และความทนทานต่อสภาพกรด

ผลการทดสอบ พบว่า เถ้าลอยจากแหล่งพลังงานลิกไนต์แม่เมาะมีปริมาณซิลิกาออกไซด์กับอลูมิเนียมออกไซด์ต่ำ และมีจุดด้อย คือ เป็นสาเหตุให้การเพิ่มขึ้นของกำลังในมอร์ต้าผสมเถ้าลอยช้าลง เถ้าลอยแม่เมาะสามารถใช้แทนที่ในปอร์ตแลนด์ซิเมนต์สูงถึง 35 % ในส่วนผสมมอร์ต้า 1: 2.75 และ 1 : 3.5 ปริมาณสัดส่วนวัสดุผสมเถ้าลอยที่เหมาะสม คือ 340 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีเถ้าลอยแทนที่ 35 % นอกจากนี้ จากผลการทดสอบ สามารถสรุปได้ว่า คอนกรีตผสมเถ้าลอยมีกำลังดึงที่ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา

1. บทนำ

เหมืองแม่เมาะ เป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าที่สำคัญของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อยู่ที่จังหวัดลำปาง การสร้างโรงไฟฟ้าแม่เมาะนี้สามารถกระตุ้นการใช้ทรัพยากรแร่ธาตุที่เหลือทิ้งนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ และยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายให้ชาวต่างประเทศได้มากมาย เถ้าลอย เป็นผลผลิตจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อม และปัญหาในการหาที่ทิ้งวัสดุดังกล่าว วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยที่ได้มาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ แล้วเปรียบเทียบกับผลจากประเทศต่าง ๆ นอกจากนี้ ยังทดสอบหาปริมาณเถ้าลอยที่เหมาะสมในการแทนที่ในซิเมนต์มอร์ต้า โปรแกรมการทดสอบจะควบคุมความข้นเหลวตามมาตรฐาน ASTM สำหรับมอร์ต้า และควบคุมความสามารถในการเทได้ สำหรับคอนกรีต

---

* ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเซีย ปทุมธานี 12120

การศึกษาทดสอบทั้งหมดนี้ เพื่อหาหนทางเลือกที่เหมาะสมของเถ้าลอยแม่เมาะในการนำมาใช้ผสมคอนกรีต โปรแกรมการทดสอบใช้เถ้าลอย 3 แหล่งในการผลิตซิเมนต์มอร์ต้า โดยเถ้าลอยใช้แทนที่ในซิเมนต์สูงถึง 50 % คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของมอร์ต้า และคอนกรีต จะทดสอบเกี่ยวกับกำลังอัดที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน กำลังดึงแบบผ่าซีกที่อายุ 14 และ 28 วัน และความทนทานต่อสภาพกรด

2. โปรแกรมการทดสอบ

โปรแกรมการทดสอบแบ่งออกได้ 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนแรก : คุณสมบัติของเถ้าลอย

เถ้าลอยมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ FA ซึ่งได้มาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะที่ช่องเปิดแรกของหน่วยที่ 3 เมื่อวันที่ 13 กันยายน 2536, FB ได้มาจากช่องเปิดเดียวกัน แต่เก็บมาวันที่ 12 พฤศจิกายน 2526 และ FC เป็นตัวอย่างเถ้าลอยของ Chiruppapa (1982) ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกทดสอบหาคุณสมบัติที่ห้องปฏิบัติการของบริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด, บริษัทปูนซิเมนต์ไทย จำกัด และบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618-80 นอกจากนี้ ความถ่วงจำเพาะ และพื้นที่ผิวของเถ้าลอยทดสอบโดยวิธีการซึมผ่านได้ของอากาศ

ส่วนที่สอง : คุณสมบัติของมอร์ต้าผสมเถ้าลอย

โปรแกรมการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C109-80 เถ้าลอยแต่ละชนิดถูกหล่อโดยใช้อัตราส่วนวัสดุผสมซิเมนต์ต่อทรายโดยน้ำหนัก เท่ากับ 1 : 2.0, 1 : 2.75 และ 1 : 3.5 เถ้าลอยจะถูกแทนที่ในวัสดุผสมซิเมนต์โดยน้ำหนัก เท่ากับ 0 %, 15 %, 25 %, 35 % และ 50 % ความข้นเหลวของมอร์ต้าควบคุมให้การไหล เท่ากับ 105 - 115 % ตลอดการทดสอบ ตัวอย่าง 3 ตัวอย่างถูกหล่อเพื่อทดสอบหากำลังอัดที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ตัวอย่างธรรมดา 6 ตัวอย่างถูกหล่อและทดสอบเปรียบเทียบ ดังนั้น สำหรับมอร์ต้าผสมเถ้าลอยจะหล่อลูกปูนทรงลูกบาศก์ขนาด 2"x2"x2" จำนวน 324 ตัวอย่าง ในขณะที่มอร์ต้าธรรมดาจะหล่อจำนวน 54 ตัวอย่าง ตลอดการทดสอบใช้เครื่องผสม HOBART และวิธีการผสมตามมาตรฐาน ASTM C305-82 การทดสอบการไหลใช้มาตรฐาน ASTM C230-80

ส่วนที่สาม : คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

คอนกรีตผสมเถ้าลอย และคอนกรีตธรรมดาถูกหล่อตามการออกแบบของ Smith (1967) และข้อกำหนดเกี่ยวกับถนนเล่มที่ 4 ตลอดการทดสอบใช้ตัวอย่างเถ้าลอย FB ตัวแปรหลัก คือ อัตราส่วนมวลคละต่อวัสดุผสมซิเมนต์ (N) โดยแปรค่าระหว่าง 4.5 ถึง 6.6

ใช้เครื่องผสม CUMFLOW ขนาดความจุ 113 ลิตร การทรุดตัวควบคุมไว้ประมาณ 5-8 เซนติเมตร และทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C143-78 ในการอัดแน่นคอนกรีตจะใช้โต๊ะสั่นช่วยโดยสั่นประมาณ 1 นาที ตัวอย่างจะถอดจากแบบ หลังจากหล่อไปแล้ว 1 วัน แล้วนำไปบ่มในห้องบ่มชื้น ที่มีอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงเวลาการทดสอบ

ในแต่ละส่วนผสม จะหล่อตัวอย่างลูกทรงกระบอก 17 ตัวอย่าง โดย 9 ตัวอย่างจะเก็บไว้ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน, 6 ตัวอย่างเก็บไว้ทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีกที่อายุ 14 และ 28 วัน และ 2 ตัวอย่างเก็บไว้ทดสอบการสูญเสียน้ำหนักเมื่อถูกกระทบด้วยกรด การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C39-80, ASTM C496-71 และ ASTM C617-76 ดังนั้น ตัวอย่างทดสอบทั้งหมดจะถูกหล่อ 204 ตัวอย่าง

การทดสอบความต้านทานแบบให้ลำดับ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C672-76 หลังจากตัวอย่างถูกออกแบบแล้ว จะนำไปบ่มในห้องพ่นไอน้ำที่มีอุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % เป็นเวลา 13 วัน จากนั้นไปเก็บไว้ในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 12 วัน ก่อนที่จะชั่งน้ำหนัก 1 ตัวอย่างจะแช่น้ำ 2 วัน และนำมาทำให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ตัวอย่างอื่น ๆ หลังจากเก็บไว้ในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 12 วัน และนำมาอบในเตาอบ 2 วัน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปแช่กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 5 % การตรวจสอบลำดับ และน้ำหนักจะทดสอบที่อายุ 10, 20 และ 30 วันหลังจากแช่ ก่อนที่จะชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างดังกล่าวจะต้องอบในเตาอบ 2 วัน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

3. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

เถ้าลอย : เถ้าลอย FA และ FB ได้มาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ที่ช่องเปิดแรกในหน่วยที่ 3 เมื่อวันที่ 13 กันยายน 2526 และ 2 พฤศจิกายน 2526 ตามลำดับ FC ได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะในปี พ.ศ. 2524 โดย Chiruppapa (1982) ตัวอย่างเถ้าลอยทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในถุงพลาสติก

ปอร์ตแลนด์ซิเมนต์ : ใช้ปอร์ตแลนด์ซิเมนต์ประเภท 1 ถูกใช้ตลอดโปรแกรมทดสอบ

มวลคละละเอียด : สำหรับมอร์ต้า ใช้ทรายแม่น้ำธรรมชาติผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ในขณะที่คอนกรีต ใช้ทรายแม่น้ำธรรมชาติผ่านตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร ความถ่วงจำเพาะของทรายมีค่าเท่ากับ 2.56

มวลคละหยาบ : ใช้มวลคละหินปูนที่มีขนาด 10 มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตร ความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 2.67 อัตราส่วนมวลคละละเอียดต่อมวลคละทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0.36

น้ำ : ใช้น้ำในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา

4. ผลการทดสอบ และการวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติของเถ้าลอย

ตารางที่ 1 แสดงถึงผลการทดสอบเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยเปรียบเทียบกับเถ้าลอยจากประเทศอื่น ๆ องค์ประกอบทางเคมีของปอร์ตแลนด์ซิเมนต์ถูกนำมาเปรียบเทียบด้วย จากตาราง พบว่า เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีปริมาณซิลิกาออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์ต่ำกว่าเถ้าลอยจากประเทศญี่ปุ่น, ฝรั่งเศส, อเมริกา, อังกฤษ, รัสเซีย และเยอรมันตะวันตก แต่ทว่าปริมาณแคลเซียมออกไซด์ของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจะมีค่าสูงกว่าเถ้าลอยจากประเทศอื่น ๆ

ปริมาณออกไซด์ต่าง ๆ ที่มีในเถ้าลอยมีผลกระทบต่อซิเมนต์ในรูปของไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S), ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S), ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และเตตะแคลเซียมอลูมิโนเฟอไรต์ (C_4AF) ซึ่งคำนวณได้จาก Bogue ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจะให้ค่าดังกล่าวน้อยกว่าประเทศอื่น ๆ จาก Neville (1993) ค่าดังกล่าวจะมีผลต่อการพัฒนากำลังที่อายุต่าง ๆ ของคอนกรีต ดังนั้น จากผลการทดสอบสามารถทำนายเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้ว่า

(ก) การพัฒนากำลังที่อายุเริ่มแรก อย่างเช่น ภายใน 3 วันหลังจากหล่อเสร็จจะช้ามาก เนื่องจากค่า C_3A มีค่าเป็นลบ นอกจากนี้ พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากประเทศอื่น ๆ จะมีค่าสูงกว่าปอร์ตแลนด์ซิเมนต์

(ข) การพัฒนากำลังจนถึงอายุ 28 วันจะต่ำกว่าปอร์ตแลนด์ซิเมนต์ อย่างไรก็ตาม การพัฒนากำลังที่มีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเถ้าลอยจากประเทศอื่น ๆ เนื่องจาก C_3S มีผลต่อการพัฒนากำลังจนถึงอายุ 28 วัน

(ค) การพัฒนากำลังหลังจาก 28 วัน จะสูงกว่าปอร์ตแลนด์ซิเมนต์ แต่ทว่าจะน้อยกว่าตัวอย่างเถ้าลอยจากประเทศอื่น ๆ เนื่องจาก C_2S มีผลต่อการพัฒนากำลังหลังจาก 28 วัน

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยตามมาตรฐานพอซโซลานาประเภท C ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM สำหรับพอซโซลานาประเภท C นอกจากนี้ จากรูปที่ 1 และตารางที่ 3 พบว่า เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าตัวอย่างเถ้าลอยจาก Kokubu (1968) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่สูงของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

4.2 คุณสมบัติของมอร์ต้าผสมเถ้าลอย

(ก) ความต้องการน้ำ

อัตราส่วนความต้องการน้ำของมอร์ต้าซิเมนต์ผสมเถ้าลอยที่มีสัดส่วนต่าง ๆ และปริมาณเถ้าลอยแทนที่ในซิเมนต์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4 พบว่า อัตราส่วนความต้องการน้ำจะลดลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยแทนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเถ้าลอย FA และ FB ในขณะที่เถ้าลอย FC จะให้ผล คือ อัตราส่วนความต้องการน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยแทนที่เพิ่มขึ้น

Kokubu (1968) พบว่า รูปร่างอนุภาคของเถ้าลอยมีลักษณะทรงกลม ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติของซิเมนต์เพสต์ โดยเป็นสาเหตุลดปริมาณน้ำที่ต้องการ เพื่อให้ได้ความสามารถในการเทได้ที่ดี อย่างไรก็ตาม ในกรณี เถ้าลอย FC อนุภาคของคาร์บอนจะไม่เป็นทรงกลม

ดังนั้น จากการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ของตัวอย่างเถ้าลอย FC ซึ่งมีผลโดยตรงต่อปริมาณคาร์บอน ดังแสดงในตารางที่ 2 และพื้นที่ผิวในตารางที่ 3 ผลของความต้องการน้ำของแต่ละชนิดของซิเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอยมีค่าใกล้เคียงกันกับเถ้าลอยจากประเทศอื่น ๆ

(ข) กำลังอัด

ผลทดสอบของกำลังอัดที่อายุ 3, 7 และ 28 วันของมอร์ต้าที่มีเถ้าลอยแทนที่ในซิเมนต์ต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 2-4 จากรูปที่ 1 ที่พบว่า กำลังอัดของซิเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอย FB สูงกว่าซิเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอย FA และ FC ที่อายุ 3 วัน เนื่องจากปริมาณ C_3A มีค่ามาก ที่อายุ 28 วัน ซิเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอย FA จะมีค่าสูง ซิเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอย FB และ FC เนื่องจากปริมาณ C_3S ที่มีมาก อย่างไรก็ตามผลจากตารางที่ 5 และรูปที่ 2-4 พบว่า การทำนายดังกล่าวไม่ถูกต้อง ดังนั้น กำลังอัดของซิเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอย จะมีผลกระทบจากปัจจัยอื่น ๆ นอกจากองค์ประกอบทางเคมีหลักของเถ้าลอย

ตารางที่ 6 แสดงกำลังอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยแม่เมาะเทียบกับมอร์ต้าต่าง ๆ พบว่า มอร์ต้าผสมเถ้าลอยแม่เมาะ และผลของ Chiruppapa (1982) จะต่ำกว่ากรณีของ Brink (1956) จากการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย พบว่า สิ่งที่แตกต่างกันมาก คือ ปริมาณซิลิกาออกไซด์กับอลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งมีผลต่อการพัฒนากำลัง และปริมาณแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งมีผลหน่วงการพัฒนากำลัง จากทฤษฎีของ Lea (1956) ปริมาณของซิลิกาออกไซด์กับอลูมิเนียมออกไซด์ของเถ้าลอยจากประเทศอื่น ๆ จะมากกว่าเถ้าลอยแม่เมาะ

ดังนั้น กำลังอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอยแม่เมาะจะถูกกำหนดไม่เฉพาะแต่องค์ประกอบออกไซด์ที่ได้มาจากสมการ Bogue แต่ทว่ายังมีผลของปริมาณซิลิกาออกไซด์กับอลูมิเนียมออกไซด์เกี่ยวข้องด้วย นอกจากนี้ ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ของเถ้าลอยแม่เมาะจะมีค่าสูง ดังนั้น จึงเป็นผลทำให้การพัฒนากำลังล่าช้าลง

4.3 คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

(ก) ความสามารถในการเทได้

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซิเมนต์, อัตราส่วนน้ำต่อซิเมนต์ และการทรุดตัวของส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตผสมเถ้าลอย แสดงในตารางที่ 7

ในโปรแกรมการทดสอบนี้ การทรุดตัวควบคุมไว้ 5-8 เซนติเมตร จากตารางดังกล่าว พบว่า อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซิเมนต์ที่แท้จริงของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะต่ำกว่าอัตราส่วนน้ำต่อซิเมนต์ของคอนกรีตธรรมดา และเมื่อปริมาณเถ้าลอยแทนที่ในซิเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซิเมนต์ที่แท้จริงลดลง แนวโน้มของซิเมนต์มอร์ต้าผสมเถ้าลอย แสดงในตารางที่ 4

อีกนัยหนึ่ง อัตราส่วนน้ำต่อซิเมนต์ที่แท้จริงของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา ดังนั้น ถ้าเถ้าลอยถูกสมมติว่า ไม่มีคุณสมบัติที่คล้ายซิเมนต์ จะสามารถคาดคะเนได้ว่า กำลังของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะต้องต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา ตามกฎอัตราส่วนน้ำต่อซิเมนต์

(ข) กำลังอัด

ตารางที่ 8 แสดงกำลังอัดที่อายุต่าง ๆ ของคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตผสมเถ้าลอย อีกทั้งยังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 พบว่า กำลังของคอนกรีตธรรมดาลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซิเมนต์เพิ่มขึ้น

สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอย เมื่อปริมาณเถ้าลอยแทนที่ในซิเมนต์มากขึ้น จะทำให้กำลังอัดเมื่อเทียบกับคอนกรีตธรรมดาจะมีค่าลดลง นอกจากนี้ พบว่า เถ้าลอยแทนที่ในซิเมนต์สูงสุดประมาณ 39 % และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมซิเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.42 ถ้าเถ้าลอยแทนที่ในซิเมนต์เกินกว่า 39 % กำลังอัดจะลดลงทันที

จากตารางที่ 8 และรูปที่ 6 พบว่า เมื่อเถ้าลอยแทนที่ในซิเมนต์ลดลง อัตราส่วนเถ้าลอยต่อกำลังอัดคอนกรีตธรรมดาจะเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราการพัฒนากำลังของคอนกรีตผสมเถ้าลอยพบว่า กำลังเริ่มต้นที่อายุ 3 วันจะต่ำ สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่แทนที่ในซิเมนต์ปริมาณสูง แนวโน้มนี้ได้ทำนายก่อนหน้าแล้ว กำลังอัดที่อายุหลังจาก 28 วันของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะพัฒนามากขึ้น

เมื่อเถ้าลอยแทนที่ในซิเมนต์ 15 % กำลังอัดที่อายุต่าง ๆ ของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดา การใช้เถ้าลอยแทนที่ในซิเมนต์สูงถึง 35 % ทำให้อัตราส่วนเถ้าลอยต่อกำลังที่อายุ 28 วันของคอนกรีตธรรมดามีค่า 83 % ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่ในซิเมนต์สูงถึง 35 % ในการนำไปผลิตคอนกรีตในงานชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ

(ค) กำลังดึงแบบผ่าซีก

ผลของกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตผสมเถ้าลอย แสดงในตารางที่ 9 พบว่า อัตราส่วนกำลังดึงต่อกำลังอัดของคอนกรีตธรรมดาต่ำกว่าคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วนกำลังดึงต่อกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเถ้าลอยมีค่า 0.125 ในขณะที่คอนกรีตธรรมดามีค่า 0.103

(ง) การให้ลำดับ และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากสภาพกรด

ตารางที่ 10 และ 11 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตรูปทรงกระบอกสำหรับสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตผสมเถ้าลอยแช่ในสารละลายไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 5 % ในสภาพน้ำหนักที่อิ่มตัวผิวแห้ง และสภาพน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันมากนักระหว่างคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตผสมเถ้าลอย ดังนั้น จะเห็นว่า คอนกรีตผสมเถ้าลอยไม่แสดงความคงทนในสภาพกรด

(5) สรุป

จากผลการทดสอบ สามารถสรุปได้ว่า

ก) เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีปริมาณซิลิกาออกไซด์กับอลูมิเนียมออกไซด์ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเถ้าลอยจากประเทศอื่น ๆ ซึ่งผลดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้การพัฒนากำลังต่ำในมอร์ต้า และคอนกรีตผสมเถ้าลอย

ข) เถ้าลอยแม่เมาะ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.86 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเถ้าลอยอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะเถ้าลอยดังกล่าวมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูง แต่ว่าปริมาณซิลิกาออกไซด์ต่ำ

ค) เถ้าลอยแม่เมาะ สามารถใช้แทนที่ในซิเมนต์ได้สูงถึง 35 % ในสัดส่วนผสมมอร์ต้า 1 : 2.75 หรือ 1: 3.5

ง) เมื่อเถ้าลอยแม่เมาะแทนที่ในซิเมนต์ 35 % จะสามารถผลิตคอนกรีตที่มีกำลังอัดที่อายุ 28 วันมีค่าสูงสุด สำหรับวัสดุผสมซิเมนต์ที่เหมาะสม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 340 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

จ) คอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะ สามารถพัฒนาอัตราส่วนกำลังดึงต่อกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา

Mix Design of Fly Ash Cement Concrete Using Mae Moh Fly Ash

B. Chatveera* P. Nimityongskul**

* Lecturer, Department of Civil Engineering, Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani 12121, Thailand.

** Associate Professor, School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, Pathum Thani, 12120, Thailand.

Abstract

An experimental program was conducted to investigate the chemical composition and physical properties of fly ash collected from the Mae Moh lignite power plant, Lampang Province, Thailand. Three types of fly ashes were used in making fly ash cement mortar. For fly ash concrete, water was added to maintain slump values between 5 - 8 cm. The mechanical properties of fly ash concrete investigated include compressive strength, splitting tensile strength and resistance against acidic attack.

The test results showed that fly ashes collected from the Mae Moh power plant contained very low amounts of silicon dioxide plus aluminum oxide contents, and these deficiencies caused a slow development of strength in fly ash mortar and concrete. Mae Moh fly ash can be used to replace Portland cement up to 35 % in 1 : 2.75 or 1 : 3.5 mortar mixes. The optimum amount of cementitious material for making fly ash concrete was 340 kg/m^3 having fly ash replacement of 35 %. Finally test results revealed that fly ash concrete possessed better tensile strength than normal concrete.

6. เอกสารอ้างอิง

Chiruppapa, P. 1982. Concrete with Mae Moh Fly Ash, September. (In Thai)

Smith, I.A. 1967. The Design of Fly Ash Concretes, Proceedings International of Civil Engineering, Vol. 36, London, pp. 769-790.

Design of Concrete Mixes. 1955. Road Note No. 4, 2nd Edition, Transport and Road Research Laboratory, Crownthrone, Berkshine, 16 pp.

Kokubu, M. 1968. Principal Paper Fly Ash and Fly Ash Cement, The Fifth International Symposium on the Chemistry of Cement, pp. 75-113.

Brink, R.H. and Halstead, W.J. 1956. Studies Relating to the Testing of Fly Ash for Use on Concrete, ASTM Proceedings, Vol. 56, pp. 1161-1207.

Neville, A.M. 1983. Properties of Concrete, 3rd Edition, Pitman, 779 pp.

Lea, F.M. 1956. The Chemistry of Cement and Concrete, 3rd Edition, Edward Arnold Ltd., 637 pp.

Ryan, W.G.J. and Ashby, J.B. 1966. The Development and Use of Wangi Fly Ash in Ready Mixed Concrete, Journal Institution of Engineerings, Vol. 38, Australia, pp. 229-238.

Nelson, P., Ashby, J.B. and Tyndall, C.J. 1982. Concrete Mix Proportioning and Prediction of Field Performance Using Munmorah Fly Ash, Concrete International, July, pp. 16-23.

Ashino, M. 1984. Mix Design of Fly Ash Cement Concrete Using Mae Moh Fly Ash, M.Eng. Thesis No. ST-84-1, Asian Institute of Technology, April.

ตารางที่ 1 : องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอย

คุณสมบัติ / แหล่ง	JAPAN	FRANCE +	U.S.A ++	U.K *	U.S.S.R *	WEST GEERMANY *	THAILAND	FA	FB	FC
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้%	0.73	3.72	7.83	3.86	-	9.65	2.64	6.13	2.54	22.71
SiO_2 %	57.96	48.45	44.11	46.16	55.08	41.13	26.16	10.37	26.52	11.50
Fe_2O^3 %	4.31	8.07	17.49	10.44	7.83	13.93	10.54	16.10	11.50	11.70
Al_2O^3 %	25.86	25.89	20.81	26.99	25.97	24.39	11.28	4.61	6.89	6.12
CaO %	3.98	5.95	4.75	3.06	5.08	5.06	43.69	46.58	37.81	38.19
MgO %	1.58	2.26	1.12	1.96	1.81	1.85	3.28	5.28	5.99	4.03
SO_3 %	0.34	1.01	1.19	1.59	1.63	0.77	2.77	9.87	6.76	6.16
Na_2O %	1.49	0.64	0.73	0.90	-	-	0.67	0.85	1.79	0.51
K_2O %	2.15	3.94	1.97	3.26	-	-	1.17	0.59	0.79	0.71
รวม %	98.40	100.03	100.00	98.22	97.40	96.78	102.20	100.38	100.59	100.63
ความถ่วงจำเพาะ	2.14	-	2.40	2.10	-	-	-	3.08	2.59	2.55
พื้นที่ผิว (ตร.ซม.ต่อกรัม)	3090	-	3673	5180	-	-	-	2926	2513	3479

หมายเหตุ : + ผลจาก Kokubu (1968) * ผลจาก Chiruppapa 1982)

++ ผลจาก Brink (1956) ** ผลจาก Neville (1983)

ตารางที่ 2 : องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM สำหรับพอซโซลานาประเภท C

องค์ประกอบทางเคมี	ASTM C-618 Class C	FA	FB	FC	THAILAND* Mae Moh	THAILAND* Bang Kruay
ซิลิกอนไดออกไซด์กับอลูมิเนียมออกไซด์กับเหล็กออกไซด์ น้อยที่สุด %	50.0	31.1	44.9	29.4	54.0	46.0
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ มากที่สุด %	5.0	10.0	6.8	6.2	-	2.8
ปริมาณความชื้น มากที่สุด %	3.0	0.3	0.0	4.6	-	1.0
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ มากที่สุด %	6.0	6.1	2.5	22.7	0.9	1.6
แมกนีเซียมออกไซด์ มากที่สุด %	5.0	5.3	6.0	4.0	6.9	3.2
โซเดียมออกไซด์ มากที่สุด %	1.5	0.9	1.8	0.5	-	0.7

หมายเหตุ : ผลจาก Chiruppapa (1982)

ตารางที่ 3 : คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยแม่เมาะเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM สำหรับพอซโซลานา ประเภท C

คุณสมบัติทางกายภาพ	ASTM C-618, Class-C	FA	FB	FC
ความละเอียด : ปริมาณค้างเมื่อร่อนเปียก ผ่านตะแกรงเบอร์ 325 มากที่สุด %	34	18	12	46
ดัชนีพอซโซลานิคเทียบกับปอร์ตแลนด์ ซิเมนต์ที่อายุ 28 วัน น้อยที่สุด %	75	52	82	36
ความต้องการน้ำ ค่าการไหล มากที่สุด %	105	91	87	105
ความถ่วงจำเพาะ	2.10-2.40	3.08	2.95	2.55
พื้นที่ผิวจากวิธี Blaine (ตร.ซม.ต่อกรัม)	2460-3220	2526	2513	3479

ตารางที่ 4 : ความต้องการน้ำของมอร์ต้าผสมเถ้าลอย

อัตราส่วนซิเมนต์ต่อทราย	รายละเอียดของเถ้าลอย	ความต้องการน้ำเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา (%)			
		15 % แทนที่	25 % แทนที่	35 % แทนที่	50 % แทนที่
1 : 2.00	FA	92	86	82	79
	FB	93	86	82	80
	FC	99	100	107	109
1 : 2.75	FA	97	93	91	82
	FB	97	90	87	85
	FC	99	100	105	105
1 : 3.50	FA	97	95	92	91
	FB	97	95	92	88
	FC	99	100	103	104

ตารางที่ 5 : กำลังอัดที่อายุต่าง ๆ ของมอร์ต้าผสมเถ้าลอย

อัตราส่วนซิเมนต์ต่อทราย	รายละเอียดของเถ้าลอย	0 % แทนที่ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)			15 % แทนที่			25 % แทนที่			35 % แทนที่			50 % แทนที่		
					อายุที่ทดสอบ (วัน)											
		3	7	28	3	7	28	3	7	28	3	7	28	3	7	28
1:2.0	FA	4003	5021	6421	92	86	83	32	60	62	19	24	41	16	15	21
	FB	4003	5021	6241	62	68	76	43	46	61	18	24	32	17	22	30
	FC	4003	5021	6241	68	89	91	46	65	65	35	53	46	23	35	42
1:2.75	FA	2378	3042	4241	88	82	91	75	85	84	60	64	52	31	32	32
	FB	2378	3042	4241	93	89	88	65	76	96	65	69	82	36	33	47
	FC	2378	3042	4241	62	80	73	40	63	61	33	37	36	29	31	30
1:3.5	FA	1358	2457	3295	59	49	43	58	39	33	36	31	29	12	12	10
	FB	1358	2457	3295	53	37	42	45	36	39	38	27	30	21	15	21
	FC	1358	2457	3295	96	81	70	55	46	48	40	32	31	21	20	21

หมายเหตุ : ทุก ๆ ค่ายกเว้นแทนที่ 0 % จะเป็นค่าเปอร์เซนต์ของกำลังเมื่อเทียบกับมอร์ต้าธรรมดา

ตารางที่ 6 : การเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าลอย

อัตราส่วนซิเมนต์ต่อทราย	แหล่ง	กำลังอัดของมอร์ต้า (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)														
		ธรรมดา			15 % แทนที่			25 % แทนที่			35 % แทนที่			50 % แทนที่		
		อายุที่ทดสอบ (วัน)														
		3	7	28	3	7	28	3	7	28	3	7	28	3	7	28
1:2.0	MAE MOH	4003	5021	6421	2961	4075	5181	1604	2861	3905	973	1701	2476	743	1196	1945
	CHIRUPPAPA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	BRINK	-	-	8740	-	-	7200	-	-	6296	-	-	5506	-	-	4402
1:2.75	MAE MOH	2378	3042	4241	1925	2546	3571	1584	85	2274	3422	1252	1719	2402	765	973
	CHIRUPPAPA	-	-	-	1650	2408	2489	1067	1266	1451	-	-	-	-	-	-
	BRINK	-	-	4900	-	-	4067	-	-	3397	-	-	2744	-	-	1911
1:3.5	MAE MOH	1358	2457	3295	944	1366	1695	715	988	1321	515	744	994	252	376	568
	CHIRUPPAPA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	BRINK	-	-	3250	-	-	2487	-	-	2102	-	-	1755	-	-	1235

หมายเหตุ : 1) Mae Moh เป็นค่าเฉลี่ยจาก FA, FB และ FC

2) ค่าจาก Brink (1956) สำหรับเถ้าลอยแทนที่ 15 % และ 25 % หามาเพื่อเปรียบเทียบ

ตารางที่ 7 : สัดส่วนผสมที่แท้จริง และความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมเถ้าลอย

คอนกรีตธรรมดา								คอนกรีตผสมเถ้าลอย										
ส่วนผสมที่	N	สัดส่วนผสม				$\frac{W}{C}$	การทรุดตัว (ซม)	สัดส่วนที่	N	สัดส่วนผสม					$\frac{F}{C+F}$	$\frac{W}{C}$	$\frac{W}{C+F}$	การทรุดตัว (ซม)
		C	S	A_1	A_2					C	F	S	A_1	A_2				
N1	4.5	1	1.62	1.44	1.44	0.50	5.08	F1	4.6	1	0.97	3.29	2.93	2.93	0.49	0.65	0.33	5.44
N2	4.9	1	1.76	1.57	1.57	0.52	5.21	F2	5.0	1	0.72	3.12	2.78	2.78	0.42	0.67	0.39	5.26
N3	5.4	1	1.94	1.73	1.73	0.55	5.21	F3	5.5	1	0.53	3.05	2.71	2.71	0.35	0.73	0.48	5.26
N4	5.8	1	2.08	1.86	1.86	0.58	6.30	F4	5.9	1	0.38	2.94	2.61	2.61	0.28	0.74	0.54	6.02
N5	6.2	1	2.24	1.98	1.98	0.64	5.51	F5	6.3	1	0.26	2.85	2.54	2.54	0.21	0.76	0.60	5.74
N6	6.6	1	2.38	2.11	2.11	0.67	5.08	F6	6.6	1	0.17	2.79	2.48	2.48	0.81	0.81	0.69	5.26

หมายเหตุ : C = ปอร์แลนด์ซิเมนต์, S = ทราย , A_1 = มวลคละหยาบขนาด 10 มิลลิเมตร

A_2 = มวลคละหยาบขนาด 20 มิลลิเมตร, W = น้ำ , F = เถ้าลอย

$$N = \frac{S + A_1 + A_2}{F + C}$$

ตารางที่ 8 : กำลังอัดที่อายุต่าง ๆ ของคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตผสมเถ้าลอย

ส่วนผสมที่	กำลังอัดของคอนกรีต (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)						% ของเถ้าลอยแทนที่	กำลังคอนกรีตเถ้าลอย / กำลังคอนกรีตธรรมดา		
	คอนกรีตธรรดา			คอนกรีตผสมเถ้าลอย						
	3 วัน	7 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน		3 วัน	7 วัน	28 วัน
1	3191	4245	4736	1355	1818	2676	49	42.5	42.8	56.5
2	2984	3608	4307	1712	2521	3192	42	57.4	69.9	74.1
3	2390	3239	3933	1765	2549	3268	35	73.8	78.7	83.1
4	1953	2936	3840	1749	2448	3131	28	89.6	83.4	81.5
5	1880	2623	3643	1710	2459	3067	21	91.0	93.7	84.2
6	1626	2235	3407	1589	2226	3206	15	99.7	99.6	94.1

หมายเหตุ : ค่าทั้งหมดเฉลี่ยจาก 3 ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ตารางที่ 9 : กำลังดึงที่อายุต่าง ๆ และอัตราส่วนกำลังดึงต่อกำลังอัดของคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตผสมเถ้าลอย

ส่วนผสมที่	กำลังดึงของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)					
	คอนกรีตธรรมดา			คอนกรีตผสมเถ้าลอย		
	14 วัน	28 วัน	กำลังดึงที่ 28 วัน / กำลังอัด %	14 วัน	28 วัน	กำลังดึงที่ 28วัน / กำลังอัด %
1	425	436	9.21	330	347	12.97
2	411	432	10.03	354	387	12.12
3	405	427	10.86	367	394	12.06
4	363	412	10.73	386	398	12.71
5	347	395	10.96	364	384	12.52
6	312	339	9.95	342	398	12.40

หมายเหตุ : ค่าทั้งหมดเฉลี่ยจาก 3 ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ตารางที่ 10 : การสูญเสียน้ำหนักในคอนกรีตรูปทรงกระบอกเมื่อแช่ในสารละลายไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 5% (ใช้น้ำหนักแบบอิ่มตัวผิวแห้ง)

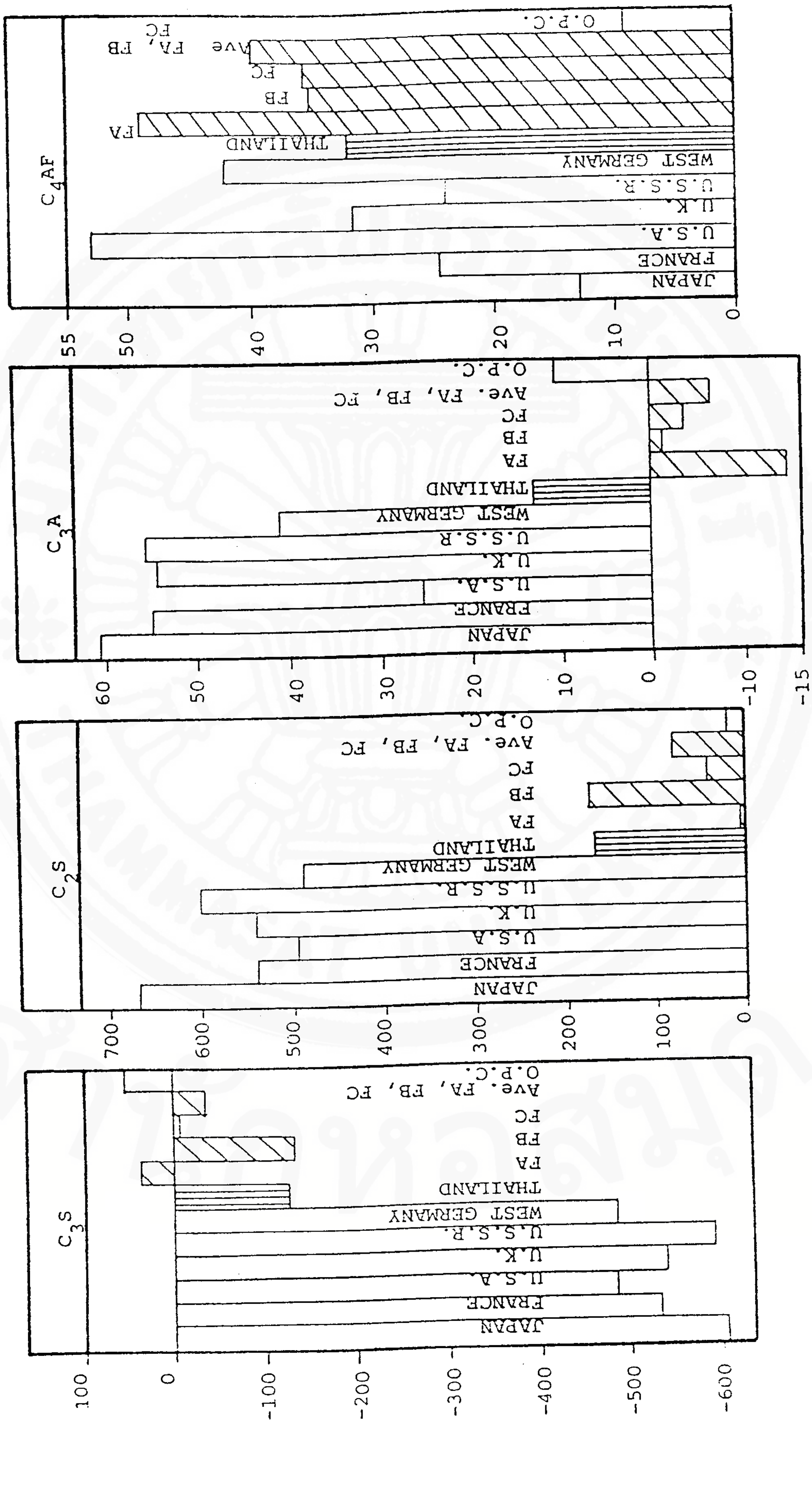
ส่วนผสมที่	คอนกรีตธรรมดา						คอนกรีตผสมเถ้าลอย					
	10 วัน		20 วัน		30 วัน		10 วัน		20 วัน		30 วัน	
	W_1^*	ลำดับ	W_1^*	ลำดับ	W_1^*	ลำดับ	W_1^*	ลำดับ	W_1^*	ลำดับ	W_1^*	ลำดับ
1	4.45	2	4.79	3	5.55	3	5.41	2	5.84	3	6.24	3
2	2.87	2	3.21	2	3.87	3	3.20	3	3.75	3	4.54	3
3	3.14	2	3.94	3	4.56	3	3.41	2	4.03	2	4.46	3
4	3.83	2	4.69	3	5.32	3	3.52	2	4.12	3	4.36	3
5	3.03	2	3.47	2	4.17	3	3.72	2	4.25	3	4.68	3
6	4.91	2	5.38	2	5.94	3	3.39	2	4.05	2	4.36	3

หมายเหตุ : ลำดับเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C672-76, * = การสูญเสียน้ำหนัก (%)

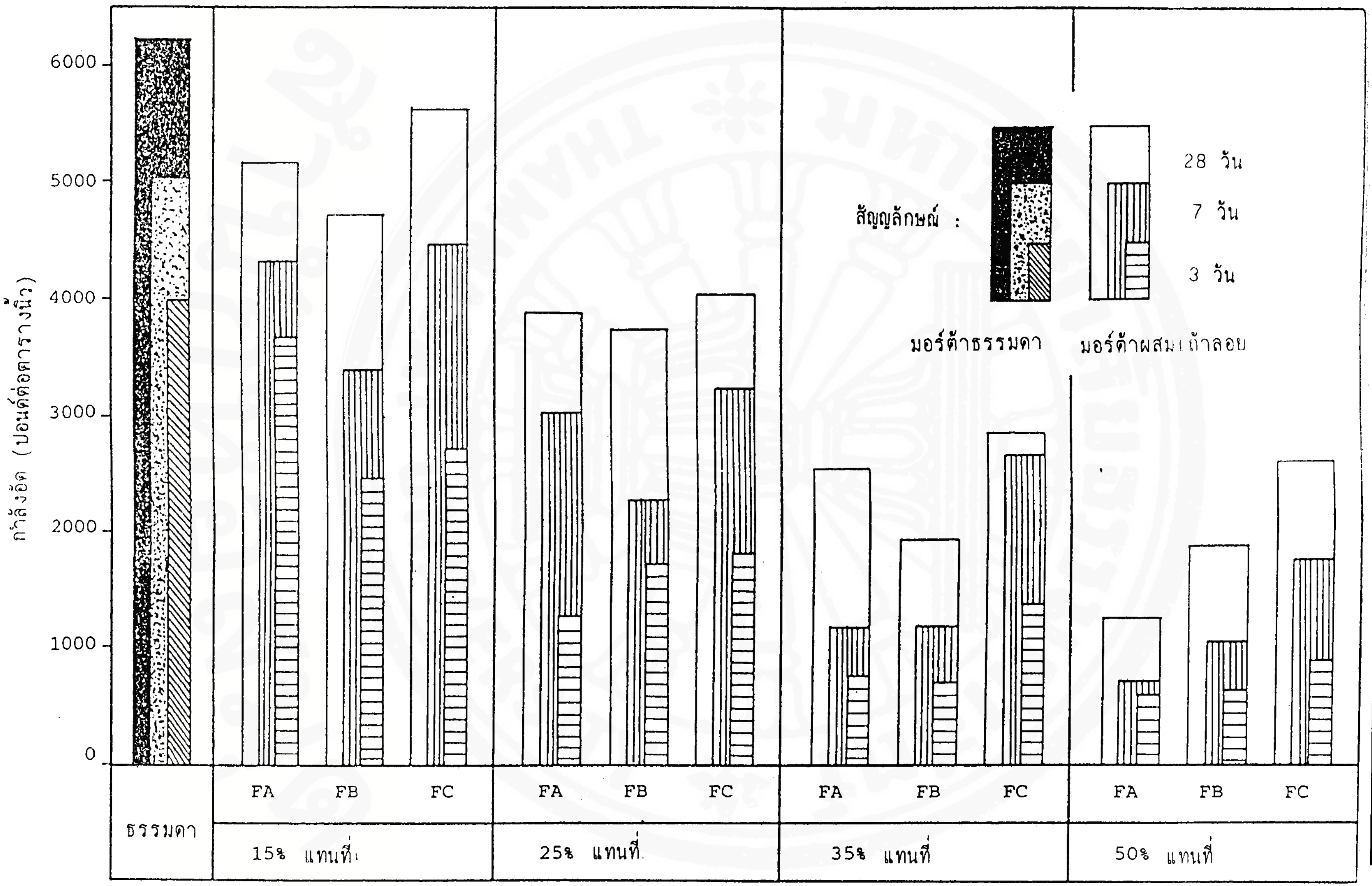
ตารางที่ 11 : การสูญเสียน้ำหนักในคอนกรีตรูปทรงกระบอกเมื่อแช่ในสารละลายไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 5 % (ใช้น้ำหนักแบบแห้ง)

ส่วนผสมที่	คอนกรีตธรรมดา						คอนกรีตผสมเถ้าลอย					
	10 วัน		20 วัน		30 วัน		10 วัน		20 วัน		30 วัน	
	W_1^*	ลำดับ	W_1^*	ลำดับ	W_1^*	ลำดับ	W_1^*	ลำดับ	W_1^*	ลำดับ	W_1^*	ลำดับ
1	3.80	2	4.44	2	5.32	3	2.46	2	3.49	3	4.22	3
2	4.38	2	5.42	2	5.99	3	3.48	2	4.24	2	5.46	3
3	3.69	2	4.50	3	5.98	3	3.81	2	4.56	3	6.17	3
4	3.57	2	3.88	3	5.59	3	3.65	2	4.17	3	5.61	3
5	4.49	2	5.67	3	6.30	3	3.45	2	4.24	3	5.48	3
6	4.37	2	5.34	3	5.99	3	3.72	2	4.65	3	6.18	3

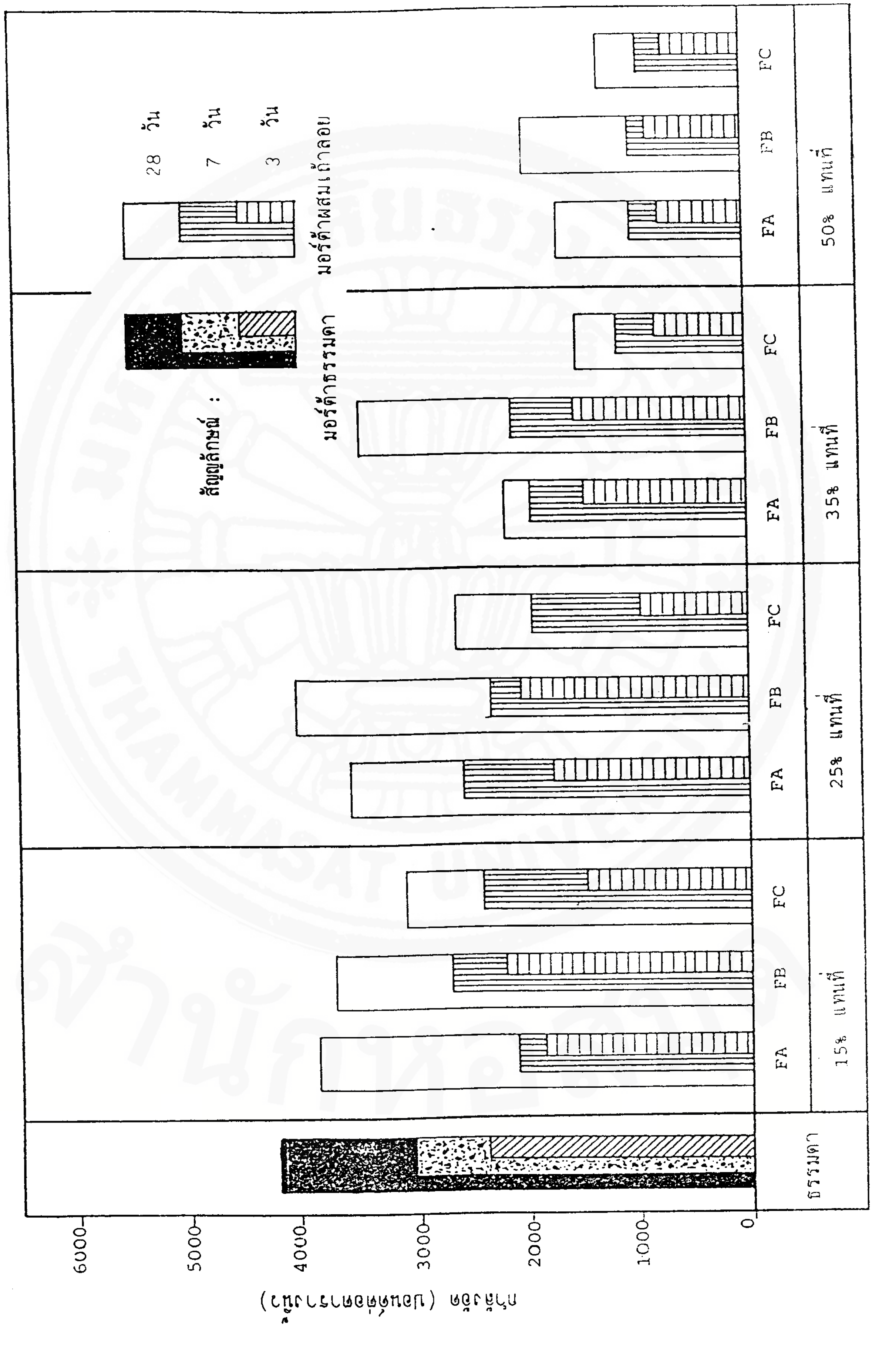
หมายเหตุ : ลำดับเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C672-76 , * = การสูญเสียน้ำหนัก (%)



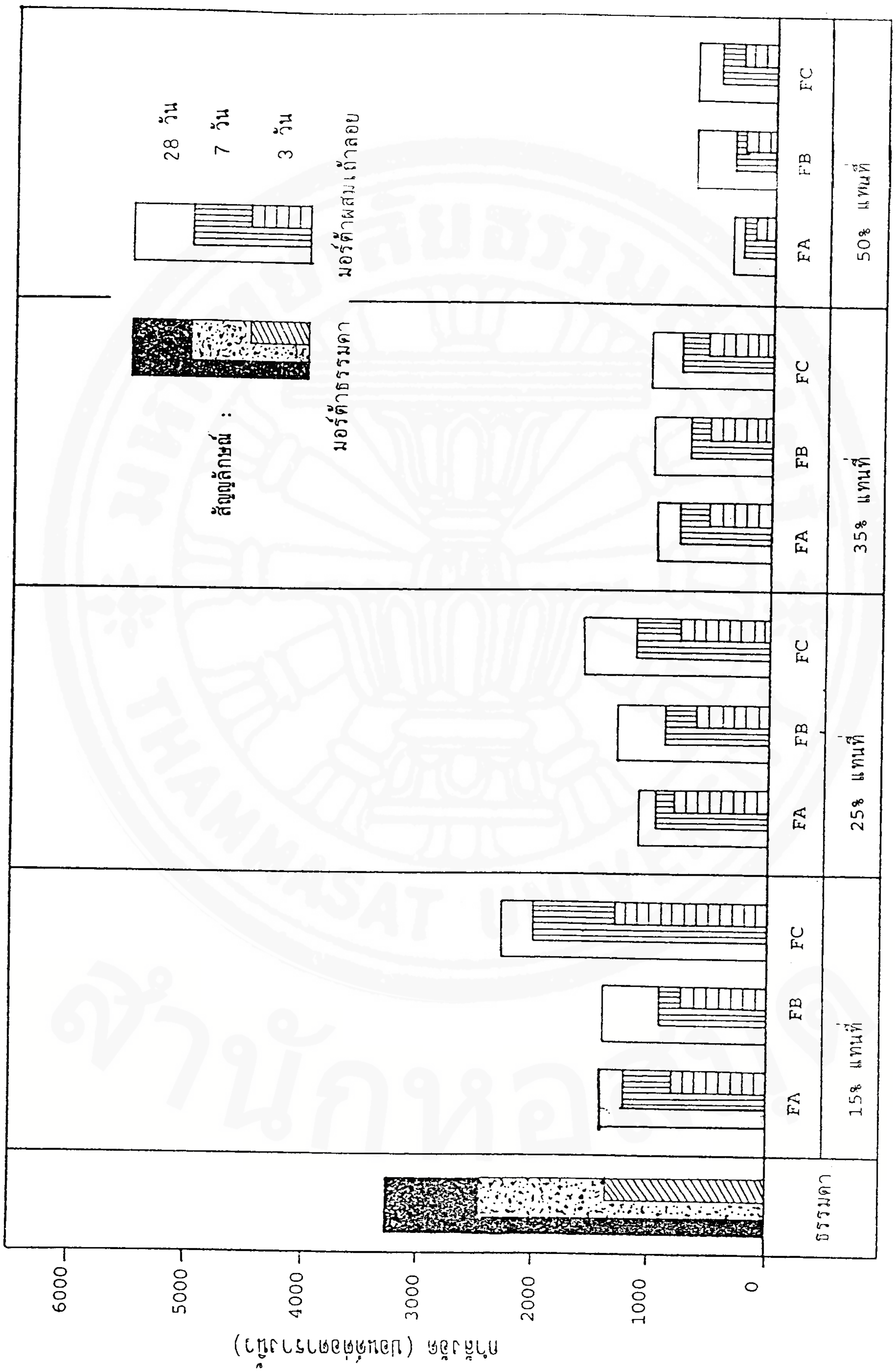
รูปที่ 1 การเปรียบเทียบองค์ประกอบหลักของเถ้าลอยโดยคำนวณจากสมการ Bogue



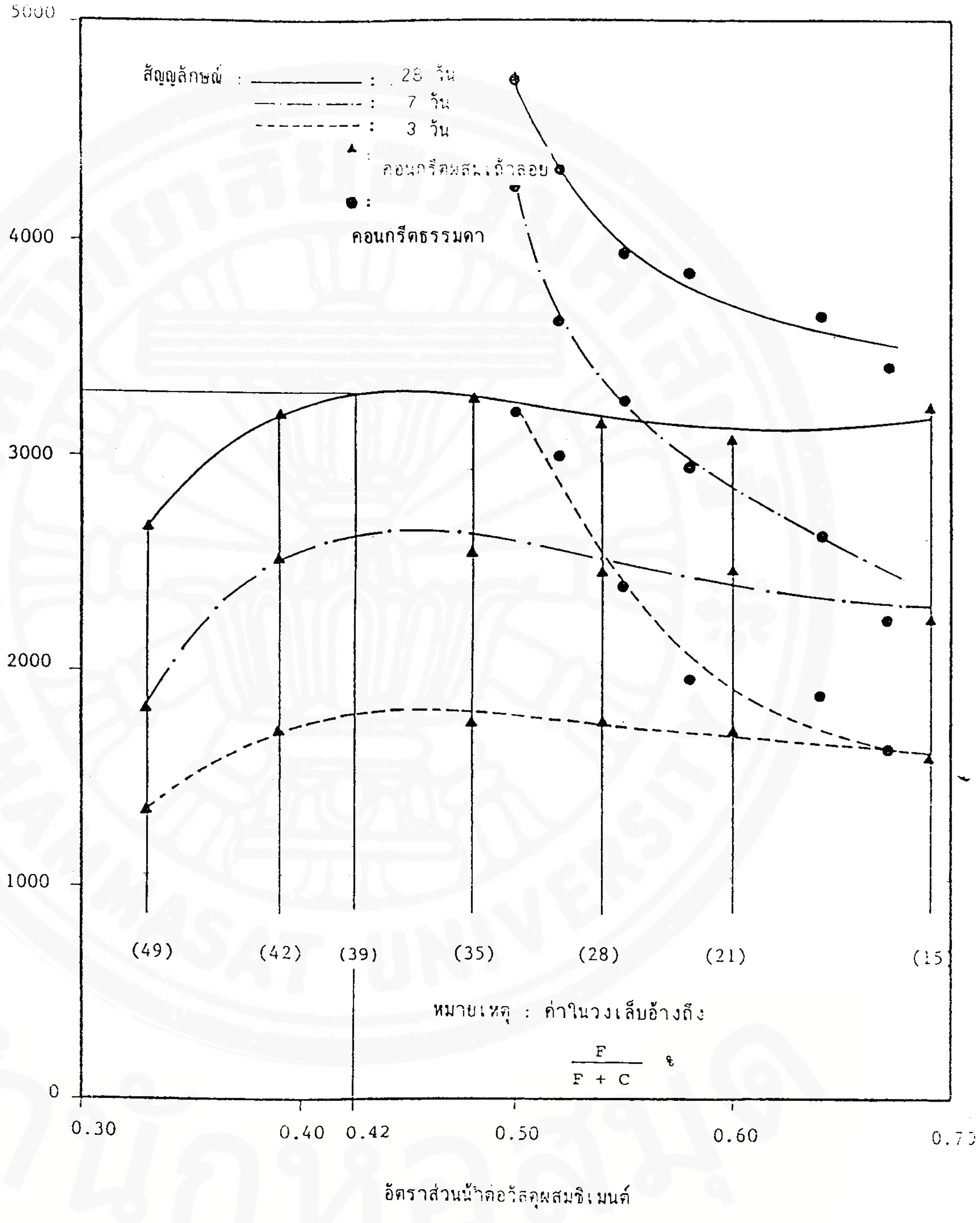
รูปที่ 2 กำลังอัดที่อายุต่าง ๆ ของมอร์ต้าผสมเถ้าลอย และใช้อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ เท่ากับ 2.0



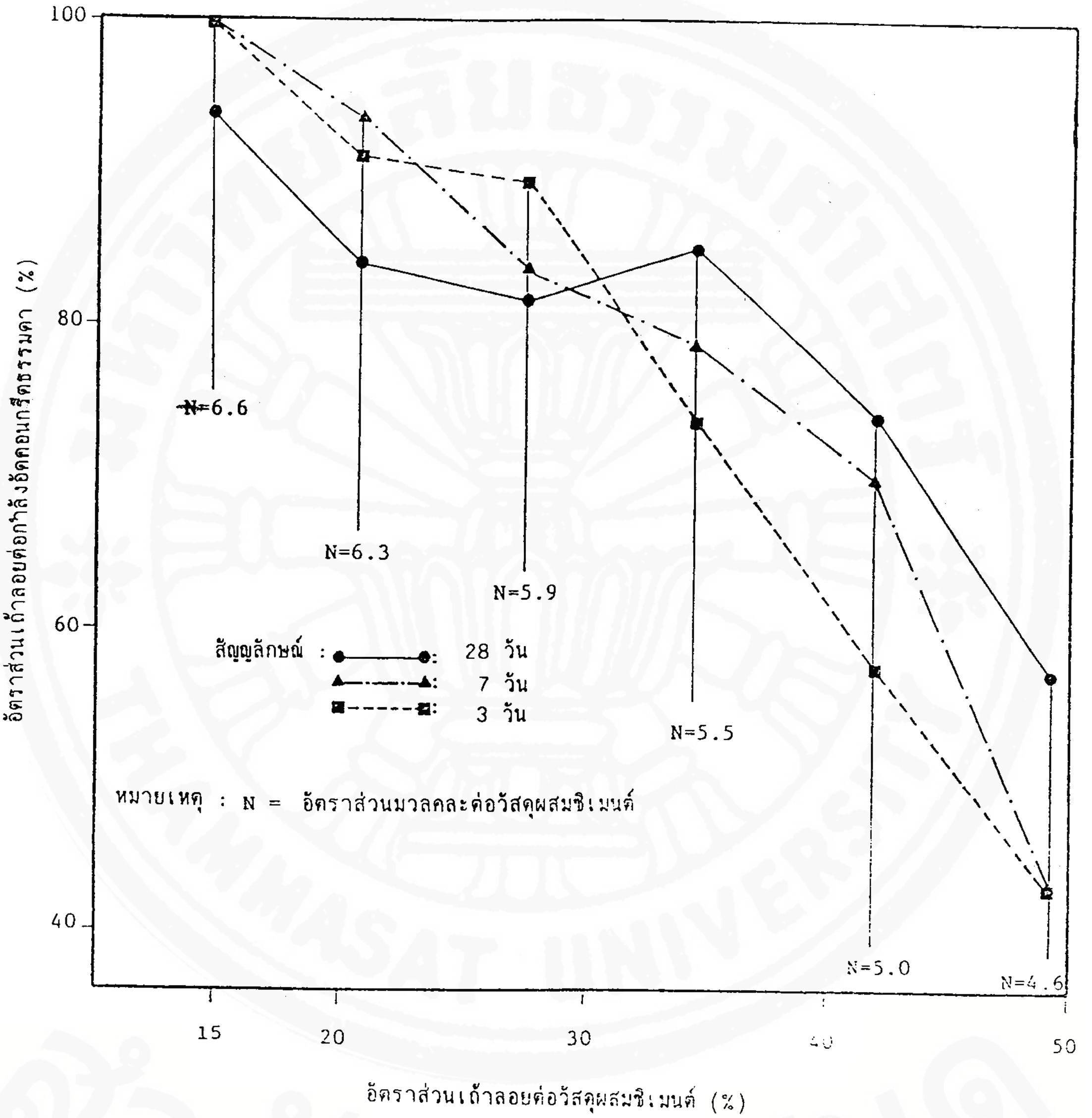
รูปที่ 3 กำลังอัดที่อายุต่าง ๆ ของมอร์ต้าผสมเถ้าลอย และใช้อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 2.75



รูปที่ 4 กำลังอัดที่อายุต่าง ๆ ของมอร์ต้าผสมเถ้าลอย และใช้อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่ากับ 3.5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซิเมนต์ และกำลังอัดของคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตผสมเถ้าลอย



รูปที่ 6 อิทธิพลของการแทนที่เถ้าลอยที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีต