

การวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมของ

เถ้าลอยคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

ESTIMATION OF MIX PROPORTION OF HARDENED FLY ASH CONCRETE

ดร. วราภรณ์ แสงสร้อย

ศ. ดร. สมนึก ตั้งเต็มสิริกกุล

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษา (CONTEC)

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

1. ความสำคัญและที่มา

เป็นที่ทราบกันดีว่า สัดส่วนผสมคอนกรีตมีผลกระทบต่อทั้งคุณสมบัติทางกลและความคงทนของคอนกรีต อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ก็เป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีผลต่อกำลังรับแรง และความคงทนของคอนกรีต นอกจากนี้ ปัจจุบันได้มีการใช้สารผสมเพิ่มอย่างเช่นเถ้าลอยในงานคอนกรีตกันอย่างแพร่หลาย โดยใช้ในการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติหลายๆประการของ คอนกรีต เถ้าลอยถือได้ว่าเป็นของเสียที่ได้จากการเผาถ่านหินในโรงไฟฟ้า

ดังนั้น การใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีตนั้นมีประโยชน์ทั้งในแง่ของการลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตาม การใช้เถ้าลอย จะลดอัตราการพัฒนากำลังรับแรงในช่วงอายุต้นและชะลอการแข็งตัวของคอนกรีต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณการแทนที่ของเถ้าลอย ซึ่งจะเห็นได้ว่านอกจากอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติ ของคอนกรีตแล้ว คุณสมบัติ (ชนิด) และร้อยละการแทนที่เถ้าลอยยังมีผลกระทบด้วยเช่นกัน

เนื่อง จากทั้งอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์และร้อยละการแทนที่เถ้าลอยเป็นตัวชี้วัด คุณภาพของคอนกรีต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบปัจจัยทั้งสองนี้ในการที่จะประเมินความ คงทนและทำนายอายุการใช้งานของ โครงสร้างคอนกรีต ด้วยเหตุนี้การตรวจสอบหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจึงมีความสำคัญ อย่างยิ่ง นอกจากนี้แล้วการวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีตยังมีความจำเป็นในกรณีที่ คุณภาพคอนกรีตมีปัญหา โดยคาดว่าสาเหตุน่าจะมาจากสัดส่วนผสมคอนกรีตนั้นไม่เป็นไปตามที่กำหนด ซึ่งมักจะเกิดกรณีขัดแย้งกันระหว่างเจ้าของโครงการกับผู้ผลิตคอนกรีต และผู้รับเหมา

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการหาสัดส่วนผสมคอนกรีตใดที่แม่นยำและเป็นมาตรฐานการ ตรวจสอบที่เป็นที่ยอมรับกัน โดยทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการทำคอนกรีตนั้นมีหลากหลาย (BS 1881: Part 124, 1988) อีกทั้งการวิเคราะห์ก็จะมี ความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้นเมื่อมีการใช้ เถ้าลอยหรือสารผสมเพิ่มอื่นในคอนกรีตด้วย ดังนั้นจึงมีวิธีการวิเคราะห์ที่หลากหลายและแตกต่างกันไปตามความเหมาะสม

ถึงแม้จะมีมาตรฐานการตรวจสอบเช่น ASTM C1084, BS 1881: Part 124 และ Concrete committee of CAJ (F-18) ได้อธิบายถึงวิธีการเพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์และส่วนผสมอื่นในคอนกรีตที่แข็ง ตัวแล้ว แต่วิธีการเหล่านี้สามารถนำมาใช้ได้กับคอนกรีตที่ใช่ปูนซีเมนต์ล้วนเท่านั้น ไม่สามารถนำมาใช้ได้กับคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม ในบางงานวิจัยได้มีการพัฒนาวิธีการเพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีต ทั้งด้วยวิธีการทางเคมีและวิธีการทางนิวเคลียร์ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ ก็ยังไม่เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง ในกรณีของเถ้าลอย ได้มีการรายงานว่าสามารถใช้เทคนิคในการตรวจสอบหาปริมาณเถ้าลอยที่ ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ (Hooton, R. D., and Rogers, C. A.

1995) แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการอยู่ นอกจากนี้วิธีการตรวจสอบที่พัฒนาและใช้กันในต่างประเทศ อาจจะยังไม่มี ความเหมาะสมที่จะใช้ในเมืองไทย ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างระหว่างคุณลักษณะของวัสดุผสมคอนกรีต อย่างเช่น ใ้ลลย

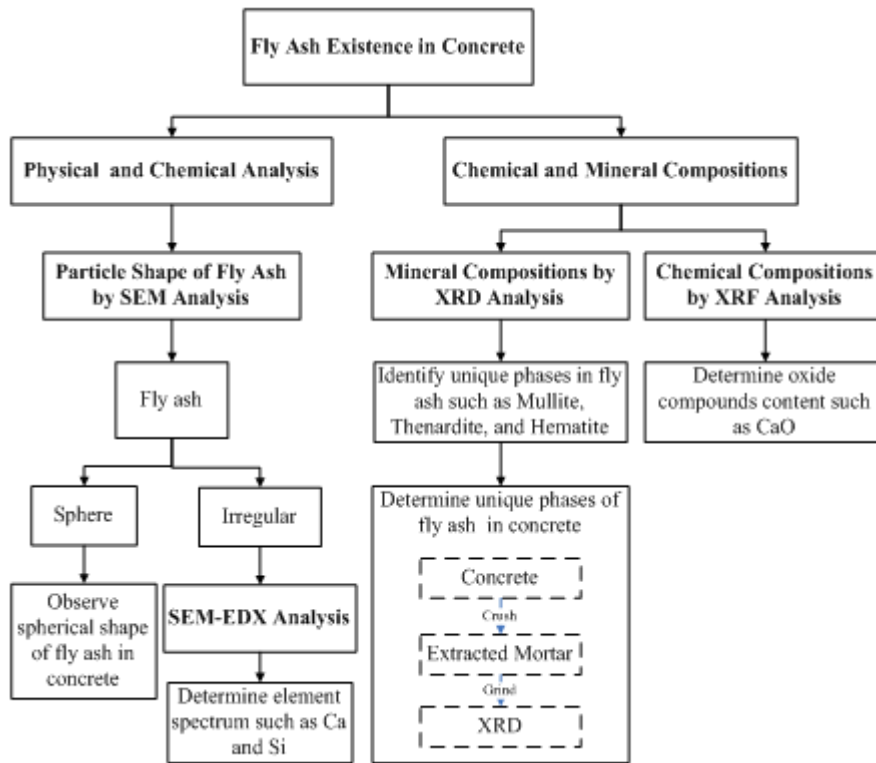
เมื่อ เร็วๆนี้ ได้มีการศึกษาและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีตผสม ใ้ลลยที่ แข็งตัวแล้ว โดยได้คำนึงถึงคุณสมบัติที่หลากหลายของใ้ลลยที่ใช้กันอย่าง แพร่หลายใน เมืองไทย ซึ่งได้นำทั้งวิธีวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีมาใช้ในการวิเคราะห์ ทั้งนี้ ในบทความนี้จะได้นำเสนอกรณีศึกษาในการวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีตของ ตัวอย่างคอนกรีตจาก โครงสร้างจริง ซึ่งได้มีการอธิบายถึงกระบวนการตรวจสอบใ้ลลย ในคอนกรีต และการวิเคราะห์หาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ร้อยละการแทนที่ใ้ลลย และ ปริมาณสัดส่วนผสมในคอนกรีต ซึ่งการวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีตในกรณีนี้ก็เพื่อ ต้องการหาสาเหตุที่ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดต่ำ

2.วิธีการวิเคราะห์หาใ้ลลยในคอนกรีต

ในการตรวจสอบหาใ้ลลยในคอนกรีต ได้มีการใช้หลายๆเทคนิคประกอบกัน ได้แก่

- Physical properties by Scanning Electron Microscope (SEM) analysis
- Physical and chemical analysis by Scanning Electron Microscope (SEM) equipped with Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (EDX)
- Mineral compositions by X-Ray Diffraction (XRD) analysis
- Chemical compositions by X-Ray Fluorescent (XRF) analysis

โดยขั้นตอนการตรวจสอบหาใ้ลลยในคอนกรีตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังแสดงวิธีการตรวจสอบหาเถ้าลอยในคอนกรีต

ในการตรวจสอบทางด้านกายภาพสามารถทำได้โดยการใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อตรวจสอบอนุภาคเถ้าลอยในคอนกรีต โดยทั่วไปแล้วเถ้าลอยจะมีอนุภาคกลม เช่นเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ แต่ก็จะมีเถ้าลอยจากบางแหล่งที่รูปร่างไม่กลม มีลักษณะเป็นเหลี่ยมขรุขระคล้ายอนุภาคของปูนซีเมนต์ หรือบางแหล่งอาจจะมีทั้งรูปร่างกลมและไม่กลมคละกัน ซึ่งถ้าคอนกรีตที่มีเถ้าลอยรูปร่างกลมผสมอยู่ในคอนกรีต การนำเศษคอนกรีตไปวิเคราะห์ด้วย SEM จะสามารถมองเห็นอนุภาคเถ้าลอยที่ยังไม่ทำปฏิกิริยาได้อย่างชัดเจน แต่ถ้าเถ้าลอยที่ใช้มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม วิธีนี้ก็ไม่สามารถใช้ตรวจสอบหาเถ้าลอยได้ เนื่องจากไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างอนุภาคเถ้าลอย และอนุภาคปูนซีเมนต์ได้ ทั้งนี้จึงต้องใช้การวิเคราะห์ทางเคมีร่วมด้วย

การวิเคราะห์โดยใช้ SEM ร่วมกับ Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (EDX) จะสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคได้ โดยการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ Ca และ Si ของอนุภาคที่คาดว่าจะจะเป็นอนุภาคของเถ้าลอยในเนื้อคอนกรีต ซึ่งอัตราส่วน Ca/Si โดยมวลของเถ้าลอยจะมีค่าต่ำกว่าปูนซีเมนต์มาก (ค่า Ca/Si ของปูนซีเมนต์จะมีค่าสูงกว่า 1)

สำหรับการทดสอบโดยใช้ X-Ray Diffraction (XRD) นั้น จะใช้เพื่อหาผลึกแร่ในเถ้าลอย โดยจะตรวจสอบหาผลึกแร่ที่มีอยู่แต่เฉพาะในเถ้าลอยแต่ไม่มีในส่วนประกอบอื่นของคอนกรีต เช่น Mullite, Thenardite, Hematite, และ Magnetite ในการตรวจสอบนั้นจะนำคอนกรีตมาทุบเพื่อแยกมวลรวมหยาบออกมา จากนั้นก็นำมอร์ตาร์ที่เหลือมาบดละเอียดก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วย XRD ซึ่งถ้าพบผลึกแร่ชนิดเดียวกันกับที่มีอยู่แต่เฉพาะในเถ้าลอย ก็สามารถสรุปได้ว่าคอนกรีตนั้นมีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม

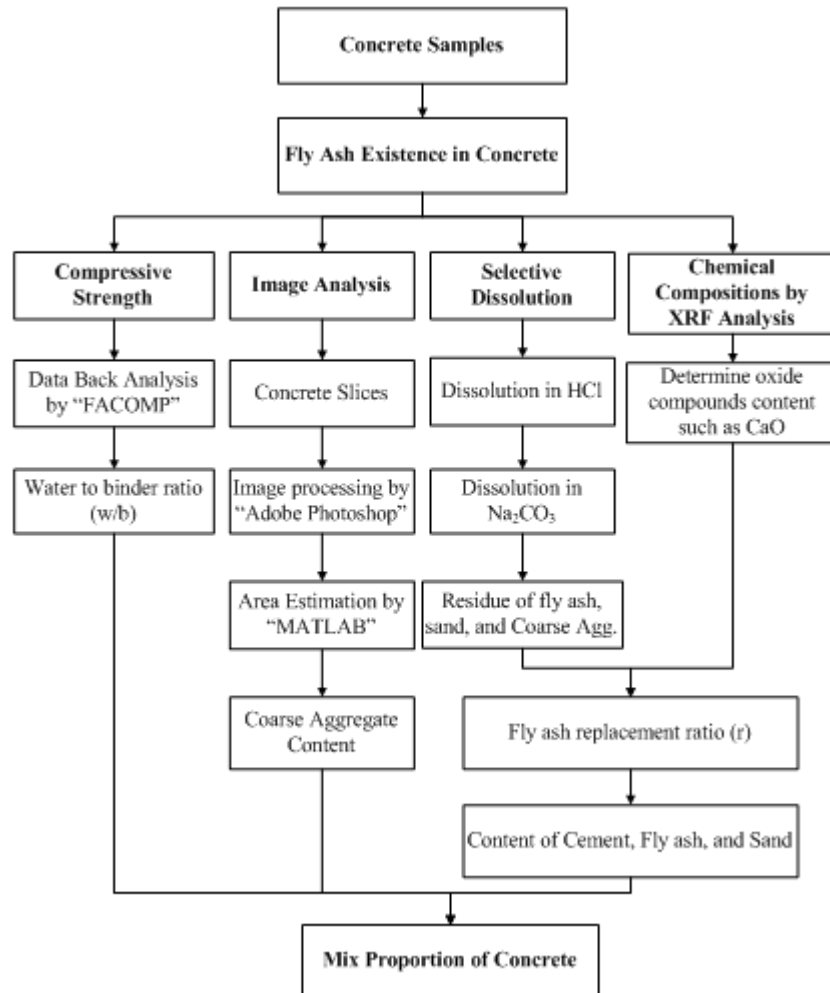
อีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ X-Ray Fluorescent (XRF) องค์ประกอบทางเคมีที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ก็คือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ CaO ในเถ้าลอย ปูนซีเมนต์และคอนกรีต

3. วิธีการวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีต

การวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีต ได้แก่ อัตรา ส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ร้อยละ การแทนที่เถ้าลอย ปริมาณปูนซีเมนต์ เถ้าลอย น้ำ มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ จะทำการตรวจสอบโดยใช้หลายๆเทคนิคประกอบกัน ได้แก่

- Image analysis
- Selective dissolution
- Chemical compositions by X-Ray Fluorescent (XRF) analysis
- Computer Software

โดยขั้นตอนการวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมของคอนกรีตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



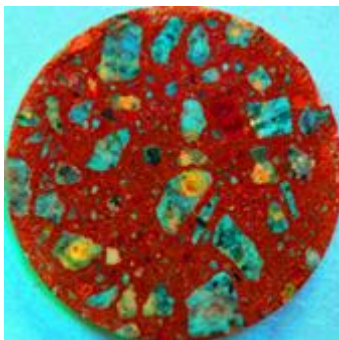
รูปที่ 2 แผนผังแสดงวิธีการวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมของคอนกรีต

ในการหาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน สามารถทำได้จากการคำนวณย้อนกลับ จากค่ากำลังรับแรงอัดโดยใช้คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ “FACOMP”

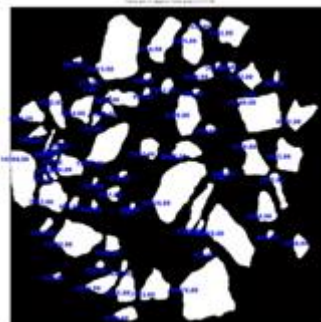
ส่วนในการหาปริมาณมวลรวมหยาบจะใช้วิธี Image Analysis โดยนำคอนกรีตมา ตัดและถ่ายภาพหน้าตัดดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์หา

พื้นที่ของมวลรวมหยาบต่อพื้นที่หน้าตัดรูปที่ 4 และคำนวณกลับเป็นปริมาณมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยคอนกรีต

สำหรับการหาร้อยละการแทนที่เถ้าลอย ปริมาณปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และมวลรวมละเอียด จะใช้วิธี Selective dissolution และการวิเคราะห์ด้วย XRF ร่วมด้วย โดยนำคอนกรีตมาทุบและบดเป็นผงเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่นหาปริมาณ CaO โดยใช้ XRF และทำการทดสอบ Selective dissolution ซึ่ง จะใช้กรดเพื่อทำละลายเพสต์และส่วนที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ และจะได้มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบและเถ้าลอยเป็นส่วนที่เหลือจากการทำละลาย จากนั้นปริมาณส่วนผสมต่างๆในคอนกรีตจะสามารถคำนวณได้จากผลจากการวัดองค์ประกอบทางเคมีของคอนกรีตและการทำ Selective dissolution



รูปที่ 3 รูปหน้าตัดคอนกรีต



รูปที่ 4 พื้นที่มวลรวมหยาบ

4. ตัวอย่างการวิเคราะห์หาเถ้าลอยในคอนกรีตและวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีต

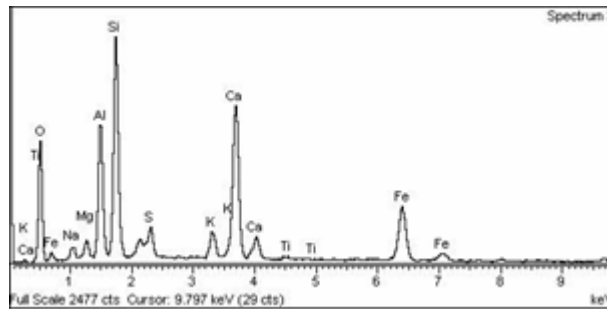
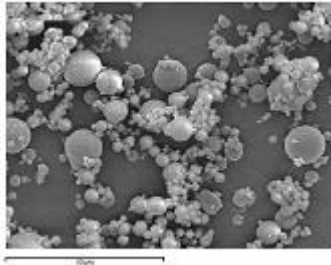
ใน ที่นี้ ได้มีการนำเสนอกรณีศึกษาการวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีตของตัวอย่างคอนกรีต ที่เจาะจากโครงสร้างจริง ซึ่งเป็นคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดค่อนข้างต่ำ ประมาณ 180 ksc ที่อายุหนึ่งปี จากที่ได้ออกแบบไว้ในข้อกำหนดสำหรับกำลังรับแรงอัด 280 ksc ที่อายุ 28 วัน ทั้งนี้การวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีตก็เพื่อต้องการหาสาเหตุที่ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดต่ำโดย ทัวไป การวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีตจะมีความ

แม่นยำมากขึ้นหากมีข้อมูลองค์ ประกอบหรือตัวอย่างวัตถุบิที่ใ้ใช้ในคอนกรีตนั้น แต่เนื่องจากในกรณีศึกษาี้ไม่มีข้อมูลเหล่านั้น ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์จากตัวอย่างคอนกรีตและสัดส่วนผสมคอนกรีตที่ใ้ได้ จากผู้ผลิตคอนกรีต ทั้งนี้ใ้ได้มีการนำตัวอย่างใ้ล่อยสามชนิดจากสามแหล่งที่มีคุณสมบัติต่างกัน และเป็นใ้ล่อยที่คาดว่ามีการใ้ในโรงงานผลิตคอนกรีตบริเวณนั้นมาใ้ในการ วิเคราะห์เพิ่มเติมด้วย

4.1 การตรวจสอบหาใ้ล่อยในตัวอย่างคอนกรีต

จากการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพของใ้ล่อยโดยการใ้ Scanning Electron Microscope (SEM) จะเห็นใ้ได้ว่าใ้ล่อยชนิดที่ 1 มีอนุภาคกลม ส่วนใ้ล่อยชนิดที่ 2 ส่วนมากมีอนุภาคกลมและเป็นเหลี่ยมบางส่วน ส่วนใ้ล่อยชนิดที่ 3 มีอนุภาคขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 5 ถึง 7 ตามลำดับ จากนั้นใ้้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาอนุภาคใ้ล่อยในคอนกรีต ดังรูปที่ 8 จะเห็นใ้ได้ว่าไม่ปรากฏอนุภาคกลมของใ้ล่อยในเนื้อคอนกรีต แต่พบว่าบางอนุภาค ทั้งขนาดและรูปร่างมีลักษณะคล้ายกับใ้ล่อยชนิดที่ 3 ซึ่งอาจเป็นไปใ้ได้ว่าคอนกรีตนี้ใ้มีใ้ล่อยผสมอยู่ ทั้งนี้จึงต้องมีการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคเหล่านั้น โดยใ้ EDX ร่วมด้วย

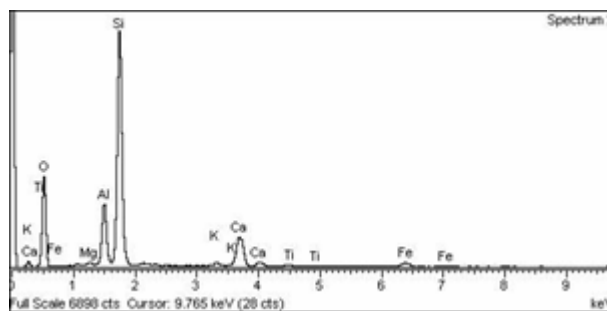
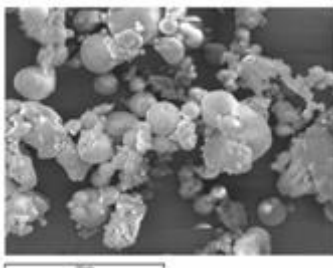
ผลการวิเคราะห์ด้วย EDX ของใ้ล่อยทั้งสามชนิดใ้้แสดงในรูปที่ 5 ถึง 7 ใ้ล่อยชนิดที่ 1 ใ้ล่อยชนิดที่ 2 และใ้ล่อยชนิดที่ 3 มีค่า Ca/Si เท่ากับ 0.98, 0.21, และ 0.39 ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ด้วย EDX ของอนุภาคในคอนกรีตใ้้แสดงในรูปที่ 8 ซึ่ง Ca/Si ของอนุภาคในคอนกรีตเท่ากับ 0.36 และจะเห็นใ้ได้ว่ามีลักษณะคล้ายกับผลการวิเคราะห์ของใ้ล่อยชนิดที่ 3 ดังนั้นจึงสามารถสรุปใ้ได้ว่าคอนกรีตน่าจะมีใ้ล่อยผสมอยู่ และหากเป็นเช่นนั้นใ้ล่อยที่ผสมอยู่ก็น่าจะเป็นใ้ล่อยชนิดที่ 3



SEM

EDX

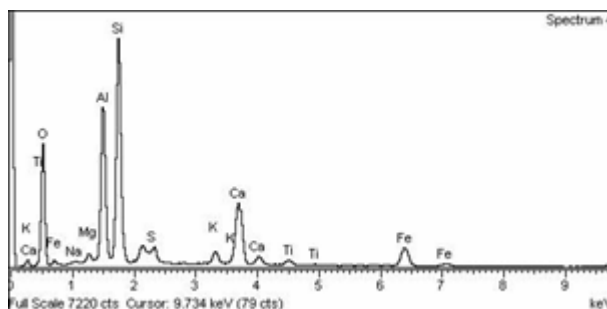
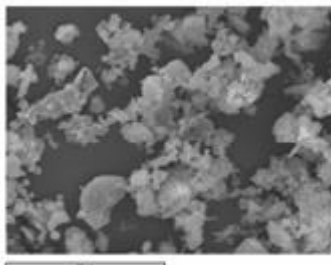
รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM และ EDX ของถ้ำลอยชนิดที่ 1



SEM

EDX

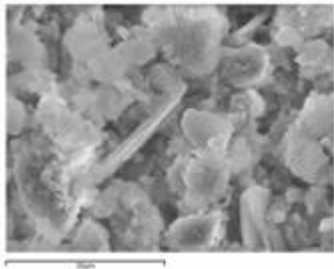
รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM และ EDX ของถ้ำลอยชนิดที่ 2



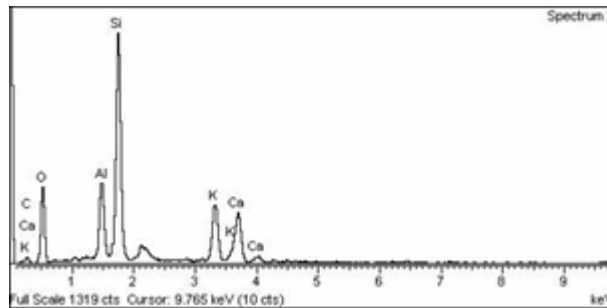
SEM

EDX

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM และ EDX ของถ้ำลอยชนิดที่ 3



SEM



EDX

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ด้วย SEM และ EDX ของตัวอย่างคอนกรีต

ทั้งนี้ผลจากการวิเคราะห์ด้วย XRD พบว่าคอนกรีตไม่มีผลึกแร่ Mullite, Hematite, และ Magnetite ในคอนกรีต ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณผลึกแร่เหล่านี้มีน้อยมากเมื่อเทียบกับผลึกแร่หลักอย่างเช่น Quartz อย่างไรก็ตามยังพบ Thenardite 0.19% ในคอนกรีต ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าคอนกรีตมีเกลือผสมอยู่จริง

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ amorphous ในเกลือซึ่งบ่งบอกถึงส่วนที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ของเกลือชนิดที่ 3 มีน้อยกว่าของเกลือชนิดที่ 1 ประมาณ 30% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้ามีการใช้เกลือทั้งสองชนิดนี้ในคอนกรีตในปริมาณที่เท่ากัน คุณสมบัติของคอนกรีตเช่น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเกลือชนิดที่ 3 จะต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมเกลือชนิดที่ 1

4.2 การวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมในตัวอย่างคอนกรีต

จาก ผลการวิเคราะห์ข้างต้น สรุปได้ว่าคอนกรีตมีเกลือผสมอยู่ และเป็นเกลือที่มีอนุภาครูขรุขระและมีคุณสมบัติคล้ายกับของเกลือชนิดที่ 3 ดังนั้นจึงใช้องค์ประกอบทางเคมีของเกลือชนิดที่ 3 ในการวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมคอนกรีต

คอนกรีตมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 180 ksc ซึ่งสามารถคำนวณอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานจากการคำนวณย้อนกลับจากค่ากำลังรับแรงอัดโดยใช้คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ “FACOMP” ได้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.83 และจากการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Image Analysis สามารถคำนวณหาปริมาณมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยคอนกรีตได้ 0.39 และคิดเป็นปริมาณมวลรวมหยาบได้เท่ากับ 1087.40 kg/m³

สำหรับปริมาณองค์ประกอบอื่นในคอนกรีตสามารถคำนวณได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี selective dissolution และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณ CaO ซึ่งในการวิเคราะห์จะคำนวณส่วนผสมคอนกรีตเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้งก่อน (oven-dried weight ratio) จากนั้นจึงคำนวณเป็นปริมาณส่วนประกอบคอนกรีตในหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีตโดยใช้หน่วยน้ำหนักแห้งของคอนกรีตตาม ASTM C642 โดยสัดส่วนผสมของตัวอย่างคอนกรีตที่คำนวณได้สามารถแสดงได้ในตารางที่ 1

จะ เห็นได้ว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานของคอนกรีตค่อนข้างสูง ซึ่งอาจเป็นเพราะปริมาณวัสดุประสานน้อยกว่าที่ต้องการ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าปริมาณวัสดุประสานที่น้อย อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมาก และร้อยละการแทนที่เถ้าลอยที่มากส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำ

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์หาร้อยละการแทนที่เถ้าลอยและปริมาณวัสดุประสาน อาจจะมี ความคลาดเคลื่อนได้บ้าง เนื่องจากไม่ทราบคุณสมบัติของเถ้าลอยที่ใช้จริงในตัวอย่างคอนกรีต

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมคอนกรีตที่คำนวณได้

องค์ประกอบคอนกรีต	ปริมาณ
ปูนซีเมนต์ (kg/m^3)	176.89
เถ้าลอย (kg/m^3)	87.57
ทราย (kg/m^3)	649.65
มวลรวมหยาบ (kg/m^3)	1,087.40
น้ำ (kg/m^3)	220.64
อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ	0.83
ประสาน (w/b)	
ร้อยละการแทนที่เถ้าลอย	0.33

5. สรุป

วิธี วิเคราะห์ทั้งทางกายภาพและทางเคมีที่ได้นำเสนอสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ หาสัดส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่แข็งตัวแล้วได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการหาสาเหตุกำลังรับแรงอัดต่ำของตัวอย่างคอนกรีตได้

จาก การตรวจสอบเถ้าลอยในคอนกรีตดังที่ได้กล่าวถึงไปแล้วนั้น สามารถสรุปได้ว่าคอนกรีตมีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม ซึ่งเถ้าลอยนั้นมีคุณภาพค่อนข้างต่ำ ดังนั้นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่ำนั้นมาจากการใช้เถ้า ลอยที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ปริมาณวัสดุประสานที่น้อย อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมาก และร้อยละการแทนที่เถ้าลอยที่มากยังส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำ ด้วยเช่นกัน

6. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM C1084 - 02 Standard Test Method for Portland-Cement Content of Hardened Hydraulic-Cement Concrete.
2. ASTM C642 - 06 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.
3. BS 1881: Part 24: 1998, Methods for Analysis of Hardened Concrete, British Standards Institution.
4. Concrete committee of CAJ: A joint report on estimating the mix proportions of hardened concrete (F-18), Sep., 1967.
5. Hooton, R.D., and Rogers, C.A. (1995) Determination of Slag and Fly Ash Content in Hardened Concrete, Cement, Concrete & Aggregates, Vol. 17, Issue 1.