หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้นำผงโลหะซึ่งเป็นของเหลือจากโรงงานผลิตลวดเหล็กอัดแรงมาทำการศึกษาวิจัย เพื่อนำไปใช้ในเชิงวิศวกรรมโยธา โดยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ และการเลือกใช้ซีเมนต์เป็นสาร stabilizer ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งจากผลการศึกษาปฏิกริยาและพฤติกรรมทางด้านการพัฒนากำลังของผงโลหะผสมซีเมนต์แล้ว สามารถรายงานได้ดังนี้

6.1 ข้อสรุปโดยทั่วไป

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ

1. ผงโลหะตัวอย่างนี้ประกอบด้วย iron oxide (Fe_2O_3) มากที่สุดถึง 84.5 เปอร์เซนต์ รองลงมาได้แก่ zinc oxide (ZnO) จำนวน 3.97 เปอร์เซนต์ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าผงโลหะตัวอย่างนี้มีคุณสมบัติคล้ายสนิมเหล็กมาก

2. ขนาดของผงโลหะตัวอย่างนี้เล็กมาก กล่าวคือมีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ได้หมด) เมื่อนำไปทดลองหาขนาดโดยใช้ hydrometer แล้วนำไป plot ในกราฟของ grain size distribution พบว่ามีคุณสมบัติคล้าย silt (silty size)

3. ผงโลหะตัวอย่างนี้มีความถ่วงจำเพาะสูงถึงประมาณ 4.3 ซึ่งทั้งนี้เป็นเพราะมีปริมาณ iron oxide (Fe_2O_3) ประกอบอยู่ในปริมาณสูงนั่นเอง และเมื่อทำการวิเคราะห์ทาง Atterberg limit พบว่ามีคุณสมบัติคล้าย MV (very high plasticity silt)

4. เมื่อนำไปจัดตามระบบ AASHTO soil classification พบว่าผงโลหะตัวอย่างมีคุณสมบัติคล้าย group A-5 เป็นส่วนมาก โดยมีส่วนที่คล้ายกับ A-7-5 ประกอบ

อยู่ด้วย และเมื่อนำไปจัดตามระบบ Unified soil classification พบว่ามีคุณสมบัติคล้าย fined-grained soil ชนิด MH (elastic silt)

5. ในการคัดเลือกสาร stabilizer โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ พบว่าสามารถใช้ซีเมนต์เป็นสาร stabilizer ได้ ทั้งนี้เพราะ iron oxide (Fe_2O_3) มีผลต่อปฏิกริยา cement hydration มาก

6. จากการทดสอบ compaction test พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์มากขึ้น ค่าของ OMC จะลดลงไปเรื่อย ๆ และทำให้ค่าของ maximum dry density เพิ่มขึ้น ค่าของ maximum dry density นี้ ไม่จำเป็นต้องให้ค่ากำลังสูงสุด (maximum strength) ทั้งนี้เพราะมีคุณสมบัติด้านอื่น ๆ มาเกี่ยวข้องด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าผงโลหะผสมซีเมนต์นี้ ในระหว่างการบดอัดจะมีความไวตัว (sensitivity) ต่อความชื้นสูง ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการนำไปใช้งานด้วย

สำหรับค่าของ OMC ที่สำคัญมีดังนี้คือ

ที่ปริมาณซีเมนต์ 20 เปอร์เซนต์ ค่า OMC เท่ากับ 68.0 เปอร์เซนต์
ที่ปริมาณซีเมนต์ 22 เปอร์เซนต์ ค่า OMC เท่ากับ 67.8 เปอร์เซนต์
ที่ปริมาณซีเมนต์ 24 เปอร์เซนต์ ค่า OMC เท่ากับ 60.0 เปอร์เซนต์
ที่ปริมาณซีเมนต์ 26 เปอร์เซนต์ ค่า OMC เท่ากับ 58.9 เปอร์เซนต์

7. ในการพิจารณาดูกำลังของผงโลหะเอง พบว่ามีค่าของ UCS เท่ากับ 4.70 กก./ซม.^{2} เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าของ UCS ที่เริ่มมีผลของปฏิกริยา cement hydration ระหว่างน้ำและซีเมนต์ เข้าไปเกี่ยวข้อง คือที่ 20 เปอร์เซนต์ พบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีค่า UCS เท่ากับ 15.89 กก./ซม.^{2} ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 11.19 กก./ซม.^{2}

8. จากการศึกษาวิจัยพบว่าปริมาณซีเมนต์ที่มีผลต่อการพัฒนากำลังให้สูงขึ้นคือที่ 20 เปอร์เซนต์ ถึง 26 เปอร์เซนต์ โดยที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ผงโลหะผสมซีเมนต์ในช่วงปริมาณดังกล่าวจะให้กำลังสูงมาก แต่หลังจากนั้นแล้วกำลังจะลดลงไปบ้าง จนกระทั่งถึงที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน กำลังจะพัฒนาขึ้นอีกครั้งหนึ่งและค่อนข้างอยู่ตัว ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้ว

ค่าของ UCS เท่ากับ 92.8 เปอร์เซนต์ ของที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงควรพิจารณาค่าของกำลังที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน เป็นสำคัญ ซึ่งมีดังนี้คือ

ที่ปริมาณซีเมนต์ 20 เปอร์เซนต์ ค่า UCS เท่ากับ 15.89 กก./ซม.^{2}
ที่ปริมาณซีเมนต์ 22 เปอร์เซนต์ ค่า UCS เท่ากับ 22.16 กก./ซม.^{2}
ที่ปริมาณซีเมนต์ 24 เปอร์เซนต์ ค่า UCS เท่ากับ 23.57 กก./ซม.^{2}
ที่ปริมาณซีเมนต์ 26 เปอร์เซนต์ ค่า UCS เท่ากับ 27.01 กก./ซม.^{2}

9. เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผงโลหะผสมซีเมนต์ 18 เปอร์เซนต์ กับผงโลหะผสมซีเมนต์ 24 เปอร์เซนต์ พบว่าค่าความแตกต่างระหว่าง unsoaked CBR กับ soaked CBR ที่ปริมาณซีเมนต์ 18 เปอร์เซนต์ จะมากกว่าที่ปริมาณซีเมนต์ 24 เปอร์เซนต์

10. ผงโลหะผสมซีเมนต์ที่ปริมาณ 18 เปอร์เซนต์ ถึง 28 เปอร์เซนต์ และมีระยะเวลาการบ่ม 28 วัน เมื่อทำการแช่น้ำแล้ว พบว่าไม่มีการบวมตัว (swell) เกิดขึ้นเลย

11. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความแข็งแรง 2 ชนิด คือ ค่า UCS และค่า unsoaked CBR เมื่อนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) พบว่ามีลักษณะเป็นสมการถดถอยเส้นตรง (linear regression) คือ
CBR = 70.6 + 2.70 UCS ซึ่งสามารถนำไปใช้ประมาณค่าของ unsoaked CBR ในช่วงที่ค่าของ UCS อยู่ระหว่าง 5 กก./ซม.^{2} ถึง 32 กก./ซม.^{2} โดยมีความคลาดเคลื่อนของค่า unsoaked CBR เฉลี่ยประมาณ 6.4 เปอร์เซนต์

6.2 การนำไปใช้ในเชิงวิศวกรรมโยธา

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางด้านกำลังเพื่อที่จะนำไปใช้ในเชิงวิศวกรรมโยธา พบว่าผงโลหะที่ปริมาณซีเมนต์ 26 เปอร์เซนต์ สามารถนำไปใช้ในงานชั้นพื้นทาง (base course) ได้ ทั้งนี้โดยได้ทำการทดสอบตามมาตราฐานกรมทางหลวง โดยนำแท่งผงโลหะผสมซีเมนต์ซึ่งเตรียมจากการทดสอบ UCS ที่ 26 เปอร์เซนต์ซีเมนต์ ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (ทั้งนี้เพราะค่าของ UCS ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ต่ำกว่าค่าของ UCS ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน) ไปทำการแช่น้ำ (soaking) เป็นเวลา 2 ชั่งโมง แล้วนำมาหาค่าของ UCS ซึ่งได้เท่ากับ 21.8 กก./ซม.^{2} เมื่อนำไปเปรียบเทียบตามมาตราฐานกรมทางหลวง

ซึ่งระบุว่าค่าของ UCS จากการทดสอบดังกล่าวจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 21.0 กก./ซม.^{2} ดังนั้นค่า UCS ที่ได้จึงสูงกว่าที่มาตราฐานกำหนด

นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมโยธาอื่น ๆ ได้อีกด้วย โดยต้องคำนึงถึงมาตราฐาน และรายละเอียดต่าง ๆ ประกอบด้วย

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

ผู้ที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรที่จะทำการทดสอบด้านความคงทน (Durability Test) ของผงโลหะผสมซีเมนต์ด้วย เช่นทำการทดสอบ Wetting and Drying เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาถึงความทนทานเกี่ยวกับ Erosion Resistance ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

และเนื่องจากการศึกษาวิจัยในการนำกากวัสดุจากโรงงานผลิตลวดเหล็กอัดแรงมาใช้ในเชิงวิศวกรรมโยธาครั้งนี้ ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ดังนั้นที่ผู้ทำการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปจึงควรศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของผงโลหะสมซีเมนต์ในสนามด้วยวิธีการที่เหมาะสมด้วย เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานที่แท้จริง