บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ทำเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติและปัจจัยที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกและมีการคัดแยกมูลฝอยของโรงเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตด้วยการทำให้เป็นก้อน ซึ่งได้ศึกษาด้านลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอย ปัจจัยที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอยด้วยการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ ความเป็นไปได้ของการใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยโดยการทำเป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อก โดยที่ต้องมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57–2530) และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะละลายของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตา และก้อนคอนกรีตบล็อกของเถ้าลอยทั้งสองชนิดโดยวิธีการสกัดสาร (Leachate extraction procedure) ผลสรุปที่ได้จากการศึกษามีดังนี้

5.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ

ผลจากการคัดแยกมูลฝอยซึ่งคัดแยกวัสดุที่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ดังตารางที่ ผ-13 ทำให้มีการเปลี่ยนสัดส่วนองค์ประกอบของมูลฝอยที่เข้าเตาเผาดังแสดงในตารางที่ ผ-14 ซึ่งจะพบว่าสัดส่วนของสารที่เผาไหม้ได้เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณเถ้าลดลงเมื่อนำเถ้าลอยมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ จะพบว่าเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย เถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีความถ่วงจำเพาะ 2.42 และ2.30 ซึ่งน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีความถ่วงจำเพาะ 3.13 ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.3 เมื่อนำเถ้าลอยไปแทนที่ปูนซีเมนต์ในการทำก้อนมอร์ตาและก้อนคอนกรีตบล็อกจะส่งผลต่อความหนาแน่นลดลง ขนาดของอนุภาคเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยมีขนาดใหญ่กว่าเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยและปูนซีเมนต์ แต่การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยแคบกว่าเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ลักษณะอนุภาคของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยจะเป็นรูพรุนคล้ายเถ้าลอยที่มีการ คัดแยกมูลฝอยแต่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งต่างจากอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีลักษณะรูปทรงเป็นก้อนที่มีทรงเหลี่ยมค่อนข้างชัดเจนและมีขนาดเล็ก

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบทางเคมี ผลรวมของสารประกอบออกไซด์ อลูมิเนียม เหล็ก และซิลิกา ($Al_2O_3 + Fe_2O_3 + SiO_2$) เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยเท่ากับ 8.64 และ 5.46 โดยน้ำหนัก การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้(LOI) เท่ากับ 12.44 และ

10.80 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพของวัสดุผสมในซีเมนต์ (ASTM C618-96) พบว่า เถ้าลอยทั้งสองชนิดไม่สามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลานชั้นคุณภาพใดได้ สารประกอบหลักของเถ้าลอยได้แก่ คัลเซียม (CaO) และ คลอไรด์ (Cl) ซึ่งปริมาณคัลเซียม (CaO) ของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย มีมากกว่าเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และปริมาณคลอไรด์ (Cl) ของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย มีน้อยกว่าเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งเป็นผลมาจากการคัดแยกมูลฝอยจะส่งผลดีต่อกำลังต้านแรงอัดของคอนกรีต เมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในเถ้าลอยทั้งสองชนิดโดยวิธีสกัดสาร พบว่ามีค่าไม่เกินมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) แต่มีปริมาณตะกั่ว (Pb) ประมาณ 2.152 และ 2.001 mg/l ซึ่งเป็นปริมาณที่ควรให้ความสนใจในการหาวิธีป้องกันไม่ให้กระทบต่อสิ่งแวดล้อม

5.2 อัตราส่วนวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำลายฤทธิ์โลหะหนักในเถ้าลอยโดยการทำให้เป็นก้อน

ความหนาแน่นก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและมอร์ตาที่มีส่วนผสมเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีค่าลดลงตามอัตราการเพิ่มของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยมีค่าต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของสิ่งปฏิกูลที่ผ่านการทำให้เป็นก้อน ซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 1.15 ตันต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าทุกอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยและก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีค่าลดลงตามอัตราการเพิ่มของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย โดยค่ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างเถ้าลอยที่ผ่านการคัดแยกมูลฝอยจะมีค่ากำลังต้านแรงอัดสูงกว่าก้อนตัวอย่างที่ใช้เถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย ทั้งนี้ทุกอัตราส่วนผสมมีค่าปริมาณโลหะหนักไม่เกินมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ซึ่งส่วนผสมที่มีการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์มากที่สุดและผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57 – 2530) ที่กำหนดค่ากำลังต้านแรงอัดสุทธิที่ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คืออัตราการแทนที่ร้อยละ 30 ส่วนค่าพีเอชในน้ำสกัดมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยในวัสดุประสาน เนื่องจากค่าพีเอชของน้ำชะละลายจากเถ้าลอยมีค่าต่ำกว่าปูนซีเมนต์ โดยที่น้ำชะละลายจากมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยจะมีค่าสูงกว่าน้ำชะละลายจากมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยเล็กน้อย

5.3 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในการทำให้เป็นก้อน

จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ทำให้ความหนาแน่นของก้อนมอร์ตามีค่าสูงสุด ได้แก่ 0.50 0.60 0.70 และ 0.40 ตามลำดับ ทั้งก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย โดนที่ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย มีค่ามากกว่าก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนตัวอย่างที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ตามลำดับ ส่วนค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาทั้ง 3 ชนิดพบว่าที่อัตราส่วนที่ให้ค่ารับกำลังอัดสูงสุด ได้แก่ 0.50 0.60 0.70 และ 0.40 ตามลำดับ โดยที่ค่ารับกำลังอัดของมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีค่ามากกว่าก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย โดยค่ารับกำลังอัดเป็นร้อยละ 58 และ 65 ของกำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ส่วนค่าพีเอชและปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดผลของการเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่มีผลกระทบอย่างชัดเจน

5.4 ผลของระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง

การเปลี่ยนระยะเวลาการบ่มก้อนมอร์ตาที่ระยะเวลา มีผลต่อค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนมอร์ตาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีการพัฒนาของกำลังต้านแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 1 3 7 และ 14 วัน เทียบกับ 28 วัน ช้ากว่าก้อนมอร์ตาโดยที่ก้อนมอร์ตาที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอย โดยมีค่ากำลังต้านแรงอัดเฉลี่ยทุกระยะเวลาการบ่มคิดเป็นร้อยละ 77 และ 78 เมื่อเปรียบเทียบกับก้อนมอร์ตาที่ไม่มีการผสมเถ้าลอย ในขณะที่การเปลี่ยนระยะเวลาบ่มก้อนตัวอย่างไม่มีผลต่อความหนาแน่นของก้อนมอร์ตา พีเอชและปริมาณโลหะหนักในน้ำสกัดก้อนตัวอย่างอย่างชัดเจน

5.5 การใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมบางส่วนของคอนกรีตบล็อก

การศึกษาการใช้ประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมบางส่วนของวัสดุประสานในการทำคอนกรีตบล็อก โดยทำการเปรียบเทียบวัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย ซึ่งก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของเถ้าลอยมีน้ำหนักเฉลี่ยสูงกว่าก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอย เพียงเล็กน้อย และที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นน้ำหนักก้อนคอนกรีตบล็อก

จะมีน้ำหนักลดลงเรื่อยๆ เนื่องการเก็บก้อนคอนกรีตบล็อกในอุณหภูมิห้องปริมาณน้ำในก้อนคอนกรีตจะระเหยออกไป

ค่ากำลังต้านแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอย และก้อนคอนกรีตบล็อกที่มีการคัดแยกมูลฝอยมีค่ากำลังต้านแรงอัดไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57 – 2530) ที่กำหนดค่ากำลังต้านแรงอัดสุทธิไว้ที่ 14 เมกกะปาสคาล หรือประมาณ 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เนื่องจากการเปลี่ยนมวลละเอียดจากทรายเป็นหินฝุ่นซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ต้องการน้ำน้อยกว่าส่วนผสมที่ใช้ทราย ดังนั้นน้ำส่วนเกินจึงทำให้ก้อนคอนกรีตบล็อกมีกำลังต้านแรงอัดลดลง โดยมีค่ากำลังต้านแรงอัดที่ระยะเวลา 28 วัน คิดเป็นร้อยละ 51 และ 58 และมีค่าดูดกลืนน้ำร้อยละ 4.98 และ 2.11 ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยที่ค่าพีเอชและปริมาณโลหะหนักน้ำชะละลายก้อนคอนกรีตบล็อกไม่มีความแตกต่างกันมากนักและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เปรียบเทียบรายละเอียดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน โดยใช้ส่วนผสมที่ไม่มีเถ้าลอย และใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราการแทนที่ร้อยละ 10 20 และ 30 ค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อก 1 ก้อน เท่ากับ 5.98 5.53 5.07 และ 4.62 บาท โดยที่ค่าใช่จ่ายดังกล่าวยังไม่ได้รวมผลประโยชน์ในด้านที่สามารถลดการลงทุนในการจัดการเถ้าลอย

5.6 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

จากการทดลองจะพบว่าเถ้าลอยจากโรงเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตทั้งเถ้าลอยที่มีการคัดแยกมูลฝอยและเถ้าลอยที่ไม่มีการคัดแยกมูลฝอยมีปริมาณโลหะหนักไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด และมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้างในรูปแบบต่างๆ จึงเห็นควรศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังต่อไปนี้

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมในการที่จะนำเถ้าลอยจากโรงเผามูลฝอยชุมชนมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างโดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน หรือทำการบดเถ้าลอยให้มีขนาดอนุภาคเล็กลง เพื่อให้ได้ค่ากำลังต้านแรงอัดตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2. ควรศึกษาเพิ่มเติมในการใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้เปียกด้วยน้ำ เนื่องจากเถ้าลอยในส่วนนี้ยังมีขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กและยังไม่ได้ทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งอาจจะให้ผลที่ดีกว่าเถ้าลอยที่ผ่านกระบวนการทำให้เปียกด้วยน้ำแล้ว