

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของโลหะหนักในปูนเม็ดที่เกิดจากกระบวนการเผาพร้อมกับตะกรันทองแดง สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของตะกรันทองแดง พบว่าสารประกอบที่มีในปริมาณสูงในตะกรันทองแดง ได้แก่ เหล็ก(Fe) และซิลิกา (Si) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์เช่นเดียวกัน แต่ทั้งนี้ในตะกรันทองแดงยังมีองค์ประกอบของโลหะหนักหลายชนิดรวมอยู่ด้วย โดยโลหะหนักที่มีอยู่ในปริมาณสูงคือ สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบเบื้องต้น เช่นการชะละลายโลหะหนัก ผลการศึกษาการชะละลายของตะกรันทองแดง พบว่าค่าการชะละลายโลหะหนักของตะกรันทองแดงมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของทั้งมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้ พศ.2548 และมาตรฐาน TCLP ดังนั้นจึงถือว่าตะกรันทองแดงเป็นของเสียไม่อันตราย

2. ผลการศึกษานิตและปริมาณของโลหะหนักในปูนเม็ดด้วยเครื่องย่อยสลายสารด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave Digester) พบว่าปริมาณโลหะหนักที่สูงขึ้นในปูนเม็ดมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนตะกรันทองแดงที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนตะกรันทองแดงที่มากกว่าร้อยละ 2.4 โดยน้ำหนักของวัตถุดิบทั้งหมด ทำให้ปริมาณทองแดงในปูนเม็ดสูงเกินเกณฑ์การผลิต S-QA-012

3. ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของปูนเม็ด พบว่าลักษณะทางกายภาพ ในตัวอย่างที่มีการควบคุมและตัวอย่างที่มีการใช้ตะกรันเผาพร้อม มีค่าไม่แตกต่างกัน และอยู่ในเกณฑ์ทั่วไปของปูนเม็ด ส่วนลักษณะทางเคมีด้วยเครื่อง XRF สอดคล้องกับผลการศึกษานิตและปริมาณของโลหะหนักในปูนเม็ด คือมีปริมาณโลหะหนักในปูนเม็ดสูงขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนตะกรันทองแดงที่เผาพร้อมมากขึ้น

4. ผลการศึกษาสถานภาพของโลหะหนักในปูนเม็ด โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่อง SEM/EDS พบว่าของตัวอย่างปูนเม็ดที่อัตราส่วนต่างๆ โดยมากพบเพียงองค์ประกอบหลักหรือองค์ประกอบพื้นฐานที่มีอยู่ในปูนเม็ด ได้แก่ แคลเซียม และซิลิกา แต่ไม่สามารถวิเคราะห์หาลักษณะของโลหะชนิดต่างๆ บนผิวของปูนเม็ดได้ ยกเว้น Cu และ Zn ที่รวมตัวอยู่ในโครงสร้างของไตรแคลเซียมซัลไฟด์ (C_3S)

5. ผลการศึกษาสถานะภาพของโลหะหนักในปูนเม็ดโดยศึกษาลักษณะทางเคมี

5.1 ผลการศึกษานิตสารประกอบโลหะหนักที่มีลักษณะเป็นผลึก ด้วยเครื่อง XRD พบว่า เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่ควบคุม กับตัวอย่างที่มีการใช้ตะกรันทองแดงเผาร่วม จุดสูงสุดของ C_3S และ C_2S ลดต่ำลงเล็กน้อย เป็นผลจากการรบกวนโดยโลหะหนัก

5.2 ผลการศึกษาพันธะของสารประกอบโลหะหนัก (Functional Group) ด้วยเครื่อง FTIR พบว่าลักษณะรูปแบบที่เกิดขึ้นในตัวอย่างปูนเม็ดที่อัตราส่วนต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลกระทบจากการแทนที่ไอออนโลหะหนักในพันธะของสารประกอบ ทำให้ลักษณะเลขคลื่นเลื่อนไปได้

5.3 ผลการศึกษานิตสารประกอบโลหะหนัก โดยวิธีการสกัดแยก (Sequential Extraction) พบว่าการแปรผันอัตราส่วนตะกรันทองแดงที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่าง C0 ถึง C32 มีความแตกต่างไม่มากนัก โดยมีแนวโน้มการชะละลายออกมาเพิ่มขึ้น เมื่อมีอัตราส่วนตะกรันที่เพิ่มขึ้น และสรุปได้ว่าโลหะหนักส่วนใหญ่มีพันธะกับเหล็กและแมงกานีสออกไซด์ จึงมีการชะละลายออกมาในขั้นที่ 3 มากกว่าขั้นอื่น (ร้อยละ 20) ทั้งนี้สารประกอบโลหะหนักจะเหลืออยู่ในขั้นตอนที่ 5 (Residual Fraction) ประมาณร้อยละ 70 แสดงถึงความเสถียรสูง จึงมีโอกาสชะละลายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อย

จากการศึกษาทั้งหมดสรุปได้ว่า ถึงแม้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนักที่สูงขึ้นในปูนเม็ดมีความสัมพันธ์กับการแปรผันอัตราส่วนตะกรันทองแดงที่มากขึ้น โดยเฉพาะปริมาณทองแดงในปูนเม็ดที่สูงเกินเกณฑ์การผลิต เมื่อใช้อัตราส่วนตะกรันทองแดงที่มากกว่าร้อยละ 2.4 โดยน้ำหนักของวัตถุดิบทั้งหมด ทั้งนี้จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการนำตะกรันทองแดงมาใช้ในการเผาร่วมที่ร้อยละ 3.2 กับตัวอย่างที่ควบคุม ดังนั้นตะกรันทองแดงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนเผาร่วมกับปูนซีเมนต์ได้ โดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ปริมาณร้อยละ 2.4 จะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพปูนเม็ด

การนำวัตถุดิบทดแทนมาใช้ในกระบวนการผลิตซีเมนต์เป็นสิ่งที่ดีในการช่วยลดของเสียและการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เป็นการลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต แต่จะต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์จากโลหะหนักที่มากับของเสีย ดังนั้นการนำวัตถุดิบต่างๆมาใช้จะต้องมีปริมาณที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์

5.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาอุปสรรคในงานวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างปูนเม็ดจากกระบวนการผลิตจริง การแปรผันอัตราส่วนตะกรันทองแดงที่เผาร่วมในอัตราส่วนที่สูง จะส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้ จึงไม่สามารถเพิ่ม

อัตราส่วนตะกอนทองแดงได้สูงตามที่ต้องการ ทำให้ผลการวิจัยในบางเรื่องทำได้ไม่ชัดเจน เนื่องจากโลหะหนักมีปริมาณน้อยและมีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปในปูนเม็ด การตรวจวัดบางครั้งไม่สามารถตรวจวัดเจอ ทำให้ผลการทดลองไม่สามารถสรุปผลออกมาได้อย่างชัดเจนเท่าที่ควร เช่น การศึกษาสถานะภาพของโลหะหนักในปูนเม็ดด้วยเครื่อง XRD, FTIR และ SEM/EDS

2. ควรมีการจำลองเตาเผาปูนซีเมนต์ขนาดเล็กขึ้นมาใช้งาน เพื่อที่จะสามารถควบคุมการเติมวัตถุดิบและเชื้อเพลิงทดแทนในปริมาณที่ต้องการได้ อีกทั้งการควบคุมปัจจัยต่างๆในการผลิตจะทำได้ง่าย