บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และวิจารณ์ผล
การวิเคราะห์ธาตุโดยเทคนิคนิวตรอน

การวิเคราะห์อะลูมิเนียม ซิลิกอน แคลเซียมและเหล็ก ซึ่งเป็นธาตุหลักในซีเมนต์ผงโดยเทคนิคนิวตรอน ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้เทคนิคที่เหมาะสมกับธาตุแต่ละชนิดโดยคำนึงถึงความไวในการวัดรังสีแกมมาที่เกิดขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการวัดต้นกำเนิดรังสี หัววัดรังสี และตัวอย่างซีเมนต์ผง เนื่องจากการวิจัยนี้ต้องการใช้ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนแบบไอโซโทปรังสี เพื่อความสะดวกในการใช้งานในภาคสนามหรือในโรงงาน จึงมีข้อจำกัดในด้านความเข้มของนิวตรอน ทำให้ต้องใช้ตัวอย่างซีเมนต์ผงปริมาณมาก (ประมาณ 20 กิโลกรัม) ในการวิเคราะห์และต้องจัดต้นกำเนิดรังสี หัววัดรังสี และตัวอย่าง ตลอดจนกำบังรังสีให้เหมาะสม นอกจากนี้ยังได้เลือกใช้หัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว ซึ่งมีความไวสูงในการวัดรังสีแกมมาพลังงานสูงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของนิวตรอนกับธาตุทั้งสี่ชนิด เทคนิคนิวตรอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุในการวิจัยนี้ ได้แก่ เทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน เทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน และเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ธาตุทั้งสี่ได้ดังนี้

1. แคลเซียม เป็นธาตุองค์ประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในปูนซีเมนต์อยู่ในช่วงราว 60% CaO การวิเคราะห์แคลเซียมโดยเทคนิคนิวตรอน ได้เลือกใช้วิธีวิเคราะห์แกมมาจากปกิกิริยาจับนิวตรอน วิธีนี้มีขีดจำกัดในการวัดแคลเซียมได้ที่ปริมาณต่ำสุดประมาณ 20% โดยน้ำหนัก แต่สามารถวัดแคลเซียมในปูนซีเมนต์ ตัวอย่าง A, B, C, D และ E ได้ เนื่องจากในปูนซีเมนต์มีปริมาณแคลเซียมสูงกว่า 20% โดยน้ำหนัก

2. อะลูมิเนียม การวิเคราะห์อะลูมิเนียมในปูนซีเมนต์ อาจเลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์ได้ 2 เทคนิค คือ เทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของ

นิวตรอน และเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน แต่วิธีที่สะดวกและแม่นยำที่สุดได้แก่ เทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ได้ต่ำถึงประมาณ 1-2% ในทางปฏิบัติจึงสามารถทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้จำนวนนับรังสีสะสมสูง

3. ซิลิกอน ในขั้นแรกของงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการวัดพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน แต่จากการทดลองพบว่าสามารถใช้เทคนิคนี้ได้ผลดีกับธาตุเหล็กและซิลิกอนเท่านั้น ดังนั้นในการวิเคราะห์ซิลิกอนจึงเลือกใช้เทคนิคนี้ ซึ่งได้ผลดี สามารถทำการวิเคราะห์ได้ต่ำสุดถึงประมาณ 10% ซึ่งเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ซิลิกอนในซีเมนต์ผง อย่างไรก็ตามในการวิจัยนี้ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่มีความแรงต่ำคือเพียง 90 มิลลิคูรีเท่านั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดเกี่ยวกับกำบังรังสีและสถานที่ หากใช้ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่มีความแรงสูงขึ้นการวิเคราะห์จะมีความไวสูง ถ้ามีกำบังรังสีที่เหมาะสม

4. เหล็ก เช่นเดียวกับซิลิกอนที่ต้องใช้เทคนิควัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน พบว่าสามารถใช้เทคนิคนี้วิเคราะห์เหล็กได้ต่ำสุดถึงประมาณ 0.5 % ซึ่งครอบคลุมช่วงปริมาณของเหล็กในปูนซีเมนต์ (0.5 - 6.0 % โดยน้ำหนัก) แต่เนื่องจากโฟโตพีคของ เหล็กอยู่ในระดับพลังงานต้น ๆ ของสเปกตรัมคือ 0.847 MeV ทำให้มีค่ารบกวนจากแบคกราวด์สูงมาก และเห็นโฟโตพีคไม่ชัดเจน เมื่อทดลองใช้หัววัดรังสีเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง ซึ่งมีความสามารถในการแยกพลังงานดี จะสามารถเห็นพีคได้ชัดเจน ถ้ามีกำบังรังสีที่เหมาะสมและต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนความแรงสูงขึ้น การวิเคราะห์เหล็กโดยวิธีนี้จะมีความไวสูงกว่านี้มาก อีกวิธีที่สามารถใช้ทำการ วิเคราะห์เหล็กได้คือ การวิเคราะห์โดยเทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน แต่มีปัญหาจากการรบกวนของพีคเหล็กเนื่องจากถังน้ำที่บรรจุต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนทำด้วยเหล็ก จึงไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ในการวิจัยนี้

การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคนิวตรอน สามารถใช้ในการวิเคราะห์ธาตุหลักในซีเมนต์ผงได้ อย่างไรก็ตามการนำไปใช้งานจริงในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ ยังจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม หากสามารถนำเทคนิคนิวตรอนไปใช้งานได้จะทำให้มีความสะดวกรวดเร็วกว่าวิธีวิเคราะห์โดยวิธีเรืองรังสีเอกซ์ ซึ่งใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน

การวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคนิวตรอนในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษา 3 เทคนิค มีข้อดีและข้อเสียต่างกัน และมีความเหมาะสมกับธาตุแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป (ดังที่ได้กล่าวตั้งแต่ต้น) หากพิจารณาถึงลักษณะการดำเนินงานดำเนินงานของแต่ละเทคนิค สามารถแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้คือ

1. แบ่งตามลักษณะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เมื่อถูกอาบนิวตรอน

    1.1 วัดรังสีพรอมต์แกมมาที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน
    1.2 วัดรังสีพรอมต์แกมมาที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน
    1.3 การอาบรังสีนิวตรอน

2. แบ่งตามลักษณะของรังสีแกมมาที่เกิดขึ้น ได้แก่

2.1 รังสีพรอมต์แกมมาหรือแกมมาที่เกิดขึ้นทันทีระหว่างการอาบรังสีนิวตรอน การวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคนี้ ต้องทำการวัดรังสีแกมมาในบริเวณที่อาบรังสีนิวตรอน ดังนั้นปัญหาของระบบวัดรังสีพรอมต์แกมมา คือ ปัญหาถูกการรบกวนจากค่าแบคกราวด์ ดังนั้น การกำบังรังสีนิวตรอนและแกมมาซึ่งเกิดจากต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน หรือเป็นผลมาจากการอาบรังสีนิวตรอน (ก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ) จึงเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าออกแบบให้มีกำบังรังสีดี การวัดปฏิกิริยาทีเกิดขึ้นจะได้ผลดีมาก เทคนิควัดรังสีพรอมต์แกมมา ได้แก่ เทคนิค 1.1 และ 1.2

2.2 ดีเลย์แกมมา หรือแกมมาที่เกิดขึ้นหลังจากการอาบรังสีนิวตรอน และควรทำการวัดหลังจากอาบรังสีไปได้ระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้นจุดที่ทำการวัดรังสีแกมมา จึงสามารถจัดไว้ให้ห่างจากจุดอาบรังสีได้ การกำบังรังสีที่เกิดขึ้นจากต้นกำเนิดนิวตรอน สามารถทำได้ง่ายกว่า 2.1 แต่ปัจจัยที่สำคัญของการวัดจะอยู่ที่ เวลาในการอาบรังสีนิวตรอน เวลาในการวัดรังสีแกมมา รวมทั้งเวลาทำการย้ายตัวอย่างจากจุดอาบรังสีมาวัด การกำหนดระยะเวลาในแต่ละช่วงให้ดี จะทำให้การวัดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ผลดี เทคนิคดีเลย์แกมมา ได้แก่ เทคนิค 1.3

3. แบ่งตามพลังงานของนิวตรอนที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยา ได้แก่

3.1 นิวตรอนพลังงานสูง (fast neutron) รังสีนิวตรอนที่พลังงานสูง จะยากต่อการถูกจับหรือทำปฏิกิริยาใด ๆ ต่อสาร แต่ยังมีบางปฏิกิริยาที่ไวต่อนิวตรอนพลังงานสูง เช่น ปฏิกิริยาการชน ปฏิกิริยาการจับนิวตรอน (สำหรับบางธาตุ) การปฏิบัติการสำหรับเทคนิคนี้ ต้องให้นิวตรอนจากต้นกำเนิดนิวตรอนเข้าไปสัมผัสตัวอย่าง โดยไม่ถูกหน่วงพลังงานจากวัตถุใด ๆ และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นส่วนมาก จะอยู่บริเวณผิวสัมผัสเท่านั้น เทคนิคที่ใช้นิวตรอนพลังงานสูง ได้แก่ เทคนิคที่ 1.1

3.2 เทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron) ที่พลังงานระดับนี้ นิวตรอนจะทำปฏิกิริยาได้ง่ายกว่านิวตรอนเร็ว สิ่งสำคัญก็คือ การหน่วงพลังงานนิวตรอนให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ และเหมาะสมกับตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้หน่วงพลังงาน ต้องไม่ก่อให้เกิดรังสีมารบกวนระบบวัด โดยมากจะเป็นพวกที่มีระบบเลขอะตอมต่ำ ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H) ฮีเลียม (He) คาร์บอน (C) ฯลฯ และต้องมีความหนาพอควร เพื่อที่จะได้เทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์สูงสุดเทคนิคที่ใช้เทอร์มัลนิวตรอน ได้แก่ เทคนิค 1.2 และ 1.3

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ในการออกแบบระบบวิเคราะห์ปูนซีเมนต์ เพื่อการใช้งานในโรงงานปูนซีเมนต์ จำเป็นต้องมีการออกแบบให้เกิดความสะดวก และความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน กล่าวคือ ออกแบบให้ระบบ วิเคราะห์ของแต่ละเทคนิคอยู่ในที่เดียวกัน เมื่อต้องการทำการวิเคราะห์โดยเทคนิคใดเทคนิคหนึ่ง ก็สามารถทำได้ในทันที โดยเปลี่ยนลักษณะการจัดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และมีระบบรักษาความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานอย่างดี

2. ในการวิเคราะห์โดยเทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมา ควรเลือกวัสดุกำบังรังสีจากต้นกำเนิดนิวตรอนให้เหมาะสม คือ สามารถกำบังรังสีนิวตรอนได้ดี และไม่ก่อให้เกิดรังสีแกมมารบกวนต่อระบบวัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงพลังงานที่สนใจด้วย เช่น หากต้องการวัดรังสีแกมมาที่อยู่ในช่วงพลังงาน 1-3 MeV ไม่ควรใช้น้ำหรือโพลีเอทีลีน เพราะจะเกิดรังสีแกมมาที่ 2.223 MeV รบกวนระบบวัดได้ เช่นเดียวกันกับวัสดุกำบังรังสีแกมมาของระบบวัด ควรเลือกชนิดที่ไม่ก่อให้เกิด

รังสีแกมมามารบกวนในระดับพลังงานที่สนใจ เช่น หากต้องการวัดรังสีแกมมาที่อยู่ในช่วงพลังงาน 6-8 MeV ไม่ควรเลือกใช้ตะกั่ว เพราะจะเกิดรังสีแกมมาที่ 6.847 MeV รบกวนระบบวัดได้ จากงานวิจัยในต่างประเทศการใช้ตะกั่วประกอบกับทังสะเตนและบิสมัธสามารถช่วยแก้ปัญหาการรบกวนจากพีคของตะกั่วได้ จึงน่าจะทำการศึกษาทดลองต่อไป

3. ควรศึกษาการวิเคราะห์ธาตุเหล็ก โดยเทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอนเพิ่มเติม เนื่องจากในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลเดียวกับการวิเคราะห์แคลเซียม นำมาวิเคราะห์เหล็ก จึงใช้ตัวอย่างในการปรับเทียบสำหรับแคลเซียม ควรเพิ่มตัวอย่างซึ่งมีปริมาณเหล็กเหมาะสมสำหรับการปรับเทียบเหล็ก แต่อย่างไรก็ดีข้อมูลที่มีอยู่ก็สามารถนำมาสร้างกราฟปรับเทียบสำหรับเหล็กได้