บทที่ 1

บทนำ

ที่มา ปัญหา และเหตุผล

ท่ามกลางกระแสการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้น สิ่งปลูกสร้างต่าง ๆจึงผุดขึ้นอย่างมากมาย ทั้งในกรุงเทพมหานครและทุกจังหวัดของประเทศ อาคารบ้านเรือนเหล่านี้ ส่วนใหญ่สร้างมาจากวัสดุจำพวก อิฐ หิน ปูน ทราย แทบทั้งสิ้น ดังนั้นความต้องการในการใช้งานวัสดุจำพวกนี้จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเงาตามตัว เช่นเดียวกับ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ บริษัทยักษ์ใหญ่ของประเทศมักให้ความสนใจในอุตสาหกรรมประเภทนี้ มีทั้งบริษัทเก่าที่ดำเนินกิจการมาเป็นสิบ ๆ ปี และบริษัทใหญ่ที่ทุ่มเงินลงทุนภายในไม่กี่ปีมานี้ ทั้งนี้เป็นเพราะความต้องการของตลาดที่มีอย่างไม่จำกัด รวมทั้งความไม่ซับซ้อนทางการผลิตมากนัก (เมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมจำพวกปิโตรเคมี ฯลฯ) และเมื่อการแข่งขันมีสูงกระบวนการผลิตจึงถูกพัฒนาขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งกำลังการผลิต และคุณภาพของปูนซีเมนต์ กระบวนการควบคุมคุณภาพก็เช่นเดียวกัน มีการปรับปรุงการตรวจสอบคุณภาพแบบเดิม และการคิดค้นทางเลือกใหม่สำหรับการตรวจสอบคุณภาพ

เทคนิคนิวเคลียร์ไม่ใช่สิ่งแปลกใหม่ในวงการอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย มีการนำเทคนิคนิวเคลียร์บางประเภทมาใช้ในงานตรวจสอบคุณภาพนานแล้ว ตัวอย่างเช่น การวัดและควบคุมระดับของวัสดุระหว่างขั้นตอนการผลิต หรือเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence technique ; XRF) ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณ ของปูนซีเมนต์และวัตถุดิบที่ใช้ผลิต เพราะเป็นวิธีสะดวก รวดเร็ว ให้ความแม่นยำสูง และเป็นการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย แต่ปัญหาเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ก็คือ ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ ณ ที่ที่มีการผลิตได้ทันที จำเป็นต้องสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ ในการสุ่มตัวอย่างนับเป็นการยากที่จะทำการสุ่มตัวอย่างปริมาณน้อย ๆ จากตัวอย่างปริมาณมาก เพื่อที่จะให้ตัวอย่างนั้นแทนตัวอย่างปริมาณมากทั้งหมดได้

รวมทั้งการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ จำเป็นต้องมีการบดและอัดตัวอย่างก่อน ทำให้ต้องเสียเวลาระหว่างนี้ด้วย การควบคุมคุณภาพจึงอาจล่าช้าไป ทางเลือกใหม่สำหรับการควบคุมคุณภาพจึงถูกคิดค้นขึ้น เทคนิคนิวเคลียร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุนอกจากเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์แล้ว ยังมีอีกหลายวิธี เช่น เทคนิคการส่งผ่านรังสี (radiation transmission technique) เทคนิคการกระเจิงกลับรังสี (radiation back-scatter technique) และเทคนิคนิวตรอน (neutron technique) ฯลฯ

งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาเทคนิคนิวตรอน เนื่องจากเป็นวิธีการวิเคราะห์โดยไม่ทำลาย (non-destructive method) เตรียมตัวอย่างได้ง่าย เพราะสามารถใช้กับตัวอย่างปริมาณมาก (bulk sample) ได้ ดังนั้นจึงใช้ตรวจสอบคุณภาพ ณ ที่ที่มีการผลิต (on-line analysis) หรือการวิเคราะห์บนสายพาน (on-belt analysis) ได้

ปูนซีเมนต์ประกอบด้วยธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก 4 ธาตุ คือ แคลเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน และเหล็ก รวมกันประมาณ 90% การควบคุมคุณภาพจำเป็นที่ต้องมีการวิเคราะห์คุณภาพ และปริมาณของธาตุเหล่านี้ เทคนิคนิวตรอนที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ได้แก่

I. เทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน (Neutron inelastic scattering prompt gamma-ray technique)
II. เทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน (Neutron captured prompt gamma-ray technique)
III. เทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน (Neutron activation technique)

เทคนิคทั้งสามมีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ อาศัยปฏิกิริยาที่ต้นกำเนิดนิวตรอนทำอันตรกิริยากับธาตุ แล้วเกิดรังสีแกมมาทุติยภูมิออกมา แต่รังสีแกมมาที่เกิดขึ้นนั้น มาจากอันตรกิริยาที่ต่างกัน ดังจะได้กล่าวโดยละเอียดในบทที่ 2

อุตสาหกรรมไทย ได้มีการนำพลังงานนิวเคลียร์มาประยุกต์ใช้ ทั้งในกระบวนการผลิต กระบวนการควบคุมคุณภาพ ฯลฯ เนื่องจากข้อดีหลายประการ ดังเช่นในงานวิเคราะห์ที่กล่าว

มาแล้ว ข้อได้เปรียบของเทคนิคนิวเคลียร์ที่เด่นชัดที่สุดเห็นจะได้แก่ เป็นวิธีไม่ทำลาย (nondestructive method) นั่นเอง แต่อย่างไรก็ดีการนำพลังงานนิวเคลียร์มาประยุกต์ในทางอุตสาหกรรม จำเป็นต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญ เกี่ยวกับคุณสมบัติของพลังงานนิวเคลียร์คอยดูแล และควบคุม เพราะไม่ว่าสิ่งใด ๆ ก็ตาม ย่อมมีคุณและโทษในตัวเอง หากใช้งานอย่างไม่มีความรู้ความเข้าใจเพียงพอ สิ่งนั้นก็อาจก่อให้เกิดโทษได้ และที่สำคัญสำหรับประเทศที่กำลังจะก้าวสู่ การเป็นประเทศอุตสาหกรรม เช่น ประเทศไทย ควรต้องมีความรู้และมีการพัฒนา ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะได้ไม่ต้องคอยรับเทคโนโลยีจากต่างชาติมากนัก และสามารถพึ่งตนเองได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ได้แก่ แคลเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน และ เหล็ก โดยใช้เทคนิคนิวตรอนแบบต่าง ๆ คือ นิวตรอนแอกติเวชัน (neutron activation) วิธีวัดรังสีพรอมต์แกมมา (prompt gamma-ray) จากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน (neutron captured reaction) และปฏิกิริยาการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน (neutron inelastic scattering reaction)

2. เพื่อทดลองใช้เทคนิคนิวตรอนที่เหมาะสม ในการวิเคราะห์ธาตุประกอบหลักของปูนซีเมนต์ เปรียบเทียบกับเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence)

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ได้แก่ แคลเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน และ เหล็ก โดยใช้เทคนิคนิวตรอนแบบต่างๆ คือ นิวตรอนแอกติเวชัน วิธีวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากปฏิกิริยาการจับนิวตรอน และปฏิกิริยาการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน

2. ออกแบบและจัดระบบอาบรังสีนิวตรอน และระบบวัดรังสีแกมมา โดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทป (isotopic neutron source) เพื่อวิเคราะห์ธาตุประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปริมาณมาก ด้วยเทคนิคนิวตรอนที่เหมาะสมสำหรับธาตุแต่ละชนิด

3. ทดลองวิเคราะห์ธาตุประกอบหลักของปูนซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิคนิวตรอน เปรียบเทียบกับเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence)

ขั้นตอนการวิจัย

1. ค้นคว้ารวบรวมข้อมูล และศึกษาความเป็นไปได้ ในการวิเคราะห์ปูนซีเมนต์ปริมาณมาก ด้วยวิธีต่าง ๆ

2. ศึกษาการวิเคราะห์ธาตุแคลเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน และ เหล็ก ด้วยเทคนิคนิวตรอนแบบต่างๆ คือ นิวตรอนแอกติเวชัน (neutron activation) ปฏิกิริยาการจับและปฏิกิริยาการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน และเลือกเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับธาตุแต่ละชนิด

3. ศึกษา ออกแบบและจัดระบบอาบรังสีนิวตรอน สำหรับต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนแบบไอโซโทป (isotopic neutron source)

4. ศึกษา ออกแบบและจัดระบบวัดรังสีแกมมา โดยหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม) [NaI(Tl)]

5. ทดลองวิเคราะห์ธาตุประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปริมาณมาก คือ แคลเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน และเหล็ก ด้วยเทคนิคนิวตรอน

6. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

7. สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบเทคนิค และข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ธาตุประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ด้วยเทคนิคนิวตรอน

2. เป็นแนวทางในการนำเทคนิคนิวตรอนไปใช้ในการวิเคราะห์ธาตุประกอบหลัก เพื่อควบคุมคุณภาพในการผลิตปูนซีเมนต์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S.W. Yates, A.J. Filo, C.Y. Cheng, D.F. Coope (1978) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ธาตุ โดยใช้เทคนิควัดพรอมต์แกมมาที่เกิดจากการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน โดยใช้หัววัด Ge(Li) และใช้ Van De Graaff accelerator ผลิตโปรตอนเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับ tritium gas ได้นิวตรอนพลังงาน ~ 5 MeV และสามารถเปลี่ยน target gas เพื่อให้ได้นิวตรอนที่พลังงานต่างๆกันออกไปด้วย ได้ทำการทดลองกับตัวอย่างที่มีธาตุเหล็ก ทองแดง และสังกะสีเป็นองค์ประกอบและตัวอย่างอีก 38 ชนิด

จากการทดลองพบว่า พลังงานของนิวตรอนที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ คือ 2.5 MeV สำหรับตัวอย่างที่มีองค์ประกอบหลายชนิด และสำหรับตัวอย่างที่มีธาตุส่วนประกอบชนิดเดียวควรใช้นิวตรอนที่มีพลังงานของสูงกว่า threshold energy ของสภาวะถูกกระตุ้นแรก (first excited state) ของธาตุนั้นๆ เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และได้ทำการทดลองหาปริมาณต่ำสุดของตัวอย่างที่สามารถวัดได้ เมื่อใช้นิวตรอนพลังงาน 2.5 MeV ของธาตุตัวอย่าง 38 ชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถใช้นำไปประยุกต์กับโลหะอัลลอยด์ได้

B.D. Sowerby (1979) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ธาตุ โดยการวัดรังสีแกมมาที่เกิดจากการชนแบบไม่ยืดหยุ่นของนิวตรอน โดยใช้สารกัมมันตภาพรังสีเป็นต้นกำเนิดนิวตรอน (^{238}Pu-Be) พบโฟโตพีคของรังสีแกมมาทั้งหมด 81 พีค จากการวัดธาตุจำนวน 21 ชนิด และเปรียบเทียบความเข้มของพีค ระหว่างการวัดโดยใช้หัววัด Ge(Li) และการวัดโดยใช้หัววัดโซเดียมไอโอไดด์แทลเลียม พบว่าอัตราการนับของโฟโตพีครังสีแกมมา ของการวัดโดยใช้หัววัด NaI(Tl) สูงกว่าการวัดโดยใช้หัววัด Ge(Li) แต่สามารถนำไปคำนวณได้ผลดีพอๆกัน นอกจากนี้ยังพบว่าในการวัดจะพบโฟโตพีค ของธาตุที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมทั่วไปด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุที่ต้องการวัดสูง ๆ ซึ่งถ้ามีปริมาณความเข้มข้นมากกว่า 1% โดยน้ำหนัก จะได้ผลการวิเคราะห์ที่ดี และได้ผลดียิ่งขึ้น เมื่อปริมาณความเข้มข้นมากกว่า 5 % โดยน้ำหนัก จากตัวอย่างหนักประมาณ 10-100 กิโลกรัม

Baron และคณะ (1990) จากความร่วมมือระหว่าง Cements Lafarge และ The Laboratoire Central des Ponts et Chaussees (LCPC) ได้พัฒนาเทคนิคนิวตรอน สำหรับการ

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

แคดเมียมทำหน้าที่ในการป้องกันรังสีแกมมา และนิวตรอนจากต้นกำเนิดรังสี ไม่ให้มาถึงหัววัดโดยตรง

คณิต ทองพิสิฐสมบัติ (1992) ทำวิทยานิพนธ์เรื่องการหาปริมาณไนโตรเจนโดยเทคนิคการวิเคราะห์รังสีพรอมต์แกมมา ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แหล่งกำเนิดรังสีนิวตรอนจาก พลูโทเนียม-238 / เบริลเลียม ความแรงรังสี 185 กิกะเบคเคอเรล (5 คูรี) โดยมีหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว สำหรับวัดรังสีพรอมต์แกมมาพลังงาน 10.82 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ได้จากปฏิกิริยา $^{14}N(n,\gamma)^{15}N$ การวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบอาบรังสีโดยบรรจุต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนไว้ในถังเหล็ก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 ซม. ที่มีน้ำบรรจุอยู่เพื่อใช้ในการผลิตนิวตรอนช้า ลำรังสีนิวตรอนช้าถูกนำออกจากตอนบนของถังเพื่ออาบรังสีตัวอย่าง จากนั้นได้ศึกษาผลของตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ตำแหน่งของหัววัดรังสีไอโอไดด์ (แทลเลียม) และปริมาตรของสารตัวอย่าง ที่มีต่อประสิทธิภาพการวัดรังสีพรอมต์แกมมาพลังงาน 10.82 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ การหาปริมาณไนโตรเจนในสารอินทรีย์ และปุ๋ย ได้ทดสอบในรูปของสารละลาย โดยใช้ยูเรียเป็นสารมาตรฐาน ซึ่งมีความเข้มข้นในช่วง 0.5-8 โมลต่อลิตร พบว่าค่าปริมาณความเข้มข้นรังสีที่ได้จากสเปกตรัมของไนโตรเจน จะเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายยูเรียเพิ่มขึ้น โดยมีค่าขีดจำกัดในการวัดประมาณ 1% ของไนโตรเจน สำหรับตัวอย่างขนาด 7 ลิตร และเวลาที่ทำการวัดรังสี 4000 วินาที นอกจากนี้ได้จำลองสถานการณ์การตรวจหาสารคล้ายวัตถุระเบิดจากการใช้เทคนิคนี้ โดยบรรจุสารยูเรียไว้ในกระเป๋าเอกสาร ซึ่งผลการทดสอบ ปรากฏว่าความไวในการวัดรังสีได้ประมาณ 0.1 cps ต่อ 100 กรัม ของไนโตรเจน

C. Oliveira และคณะ (1993) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารประกอบ Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO และ SiO_2 ในวัตถุดิบสำหรับทำปูนซีเมนต์ โดยใช้เทคนิคพรอมต์แกมมานิวตรอนแอกติเวชัน และใช้แคลิฟอร์เนียม-252 (^{252}Cf) เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน ได้ทำการสร้างกราฟปรับเทียบ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างหินปูน (limestone) และดินเหนียว ซึ่งผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ ทำให้แต่ละตัวอย่างมีสารประกอบทั้งสี่ชนิดนี้ต่างกัน จำนวน 15 ตัวอย่าง พบว่าค่า least square ของกราฟปรับเทียบ ที่สร้างจากค่าที่นับได้ของพีครังสีแกมมา ต่อความเข้มข้นของออกไซด์ต่าง ๆ มีค่าเกิน 0.98 เมื่อใช้หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และ 0.97 เมื่อใช้หัววัดโซเดียมไอโอไดด์แทลเลียม (NaI (Tl)) ในการตรวจสอบความถูกต้องของกราฟปรับเทียบ

ได้ทดสอบวิเคราะห์ตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง และจากการเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคนิวเคลียร์กับเทคนิคเคมี พบว่าผลจากทั้งสองวิธีนี้พ้องกัน อย่างไรก็ดี ค่าความเบี่ยงเบนยังค่อนข้างสูงสำหรับตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเตรียมตัวอย่างไม่เพียงพอสำหรับใช้ในการปรับเทียบ

กำธร สุนทรปกาสิต (1995) ทำวิทยานิพนธ์เรื่องการทดลองหาปริมาณไฮโดรเจนโดยการวัดรังสีพรอมต์แกมมาพลังงาน 2.223 MeV จากปฏิกิริยา $^{1}H(n,\gamma)^{2}H$ งานวิจัยนี้เป็นการทดลองหาปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างของเหลว โดยการวัดรังสีพรอมต์แกมมาพลังงาน 2.223 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์จากไฮโดรเจน นิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนชนิดอะเมริเซียม-เบริลเลียม ความแรง 3.33 กิกะเบคเคอเรล (90 มิลลิคูรี) ถูกหน่วงพลังงานโดยใช้กราไฟต์เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนของไฮโดรเจนจากตัวหน่วงนิวตรอนที่เป็นสารประกอบไฮโดรเจน โดยมีหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว สำหรับวัดรังสีแกมมา ได้ทำการศึกษาผลของตำแหน่งต้นกำเนิดรังสี ตำแหน่งของหัววัดรังสี ปริมาตรของตัวอย่าง และขนาดของภาชนะใส่ตัวอย่าง ต่อความเข้มรังสีแกมมา ตัวอย่างของเหลวที่ นำมาทดสอบในการวิจัยครั้งนี้ เช่น น้ำชนิดหนัก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายแอมโมเนีย และน้ำมันพาราฟิน ขีดจำกัดในการวัดปริมาณไฮโดรเจนในน้ำชนิดหนัก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.383 และ 0.234 โดยโมล ตามลำดับ สำหรับเวลาในการนับรังสี 5000 วินาที นอกจากนี้ได้ทดลองวัดรังสีพรอมต์แกมมาจากตัวอย่างถ่านหินที่บดแล้ว จำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งมีปริมาณไฮโดรเจนประมาณร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก และพบว่าสามารถเห็นพีครังสีแกมมาพลังงาน 2.223 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ ได้ชัดเจนภายหลังการหักลบ แบคกราวด์ออกแล้ว ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้วิธีนี้ สำหรับการหาปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบไฮโดรเจนโดยไม่ทำลายตัวอย่าง และให้ผลได้รวดเร็ว