

บทที่ 3

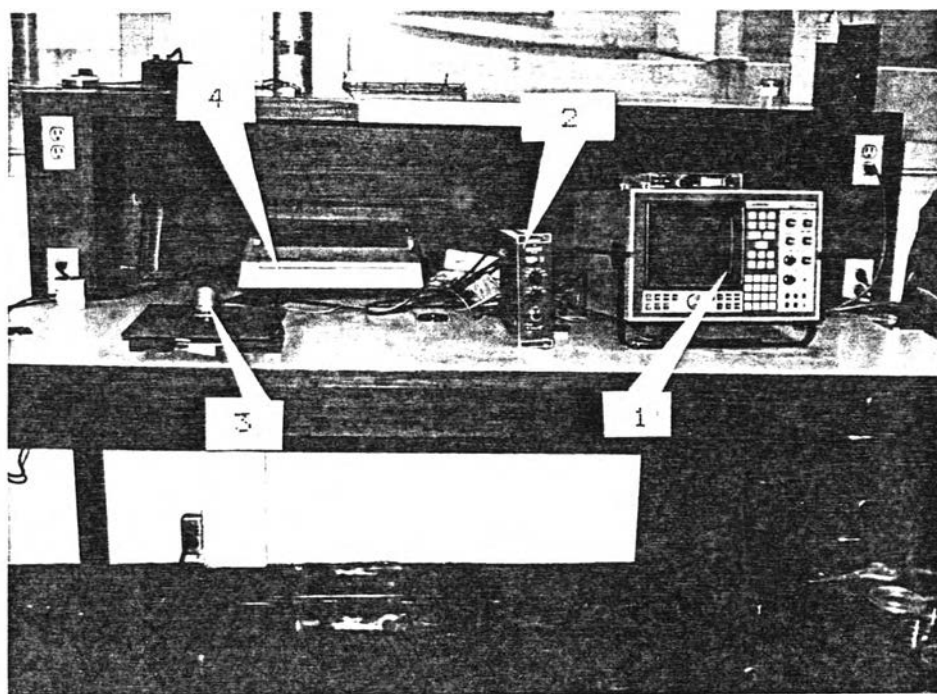
วัสดุ อุปกรณ์ และขั้นตอนการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

- 3.1.1 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (multichannel analyzer) CANBERRA 35 PLUS
- 3.1.2 หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (high purity germanium detector) และหัววัดแบบพรอพอร์ชันนัล (proportional counter) ขนาด 20 มม. x 64 มม. x 20 มม. บรรจุก๊าซซีนอนหน้าต่างทำด้วยเบริลเลียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร
- 3.1.3 ต้นกำเนิดรังสีพลูโทเนียม-238 (Plutonium-238, Pu^{238}) แบบวงแหวน ความแรง 30 มิลลิวูรี
- 3.1.4 ท่ออะลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.8 เซนติเมตรสำหรับเป็นภาชนะอัดลิแกนด์ และท่ออะลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร หน้า 5 เซนติเมตร สำหรับใส่ลิแกนด์ที่บิดเป็นผละเอียดสำหรับใช้วัดกับหัววัดแบบพรอพอร์ชันนัล
- 3.1.5 ท่อนลาสติกที่มีความหนาตั้งแต่ 7 มิลลิเมตรถึง 14 มิลลิเมตร ใช้สำหรับรองตัวอย่าง เพื่อปรับระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับลิแกนด์ในการหาระยะเหมาะสม
- 3.1.6 เต้าอบชนิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 20-350 องศาเซลเซียส
- 3.1.7 สารเคมีสำหรับเตรียมตัวอย่างให้มีความเข้มจากการวัดการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์เท่ากับลิแกนด์ตัวอย่าง สารประกอบที่ใช้คืออะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) บอแรกซ์ (borax, $Na_2B_4O_7$)
- 3.1.8 แผ่นอะลูมิเนียมหนา 0.043 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- 3.1.9 เครื่องบดตัวอย่างและเครื่องอัดตัวอย่าง
- 3.1.10 ตัวอย่างลิแกนด์และตัวอย่างมาตรฐาน

ตัวอย่างลิแกนด์ที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยมีทั้งสิ้น 34 ตัวอย่าง โดยได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างจากเหมืองแม่เมาะ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ตัวอย่างที่มีผลวิเคราะห์เก่าและความชื้น ASTM แบบ proximate analysis และนำตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์ตามมาตรฐาน

ASTM แบบ proximate analysis ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการอีกครั้งหนึ่ง ตัวอย่างที่มีผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าจากการไฟฟ้าผลิต ๔ และกรมวิทยาศาสตร์บริการ ต่างกันไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ นำไปใช้ในการสร้างกราฟเปรียบเทียบกับการกระเจิงกลับรังสีเอกซ์ เพื่อเป็นกราฟมาตรฐานที่จะใช้งานต่อไป



รูปที่ 3.1 แสดงระบบวัดโดยเทคนิครังสีเอกซ์กระเจิงกลับ

- 1) เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง
- 2) แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง
- 3) ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับใส่ลิกไนต์
- 4) เครื่องนิมฟ์

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

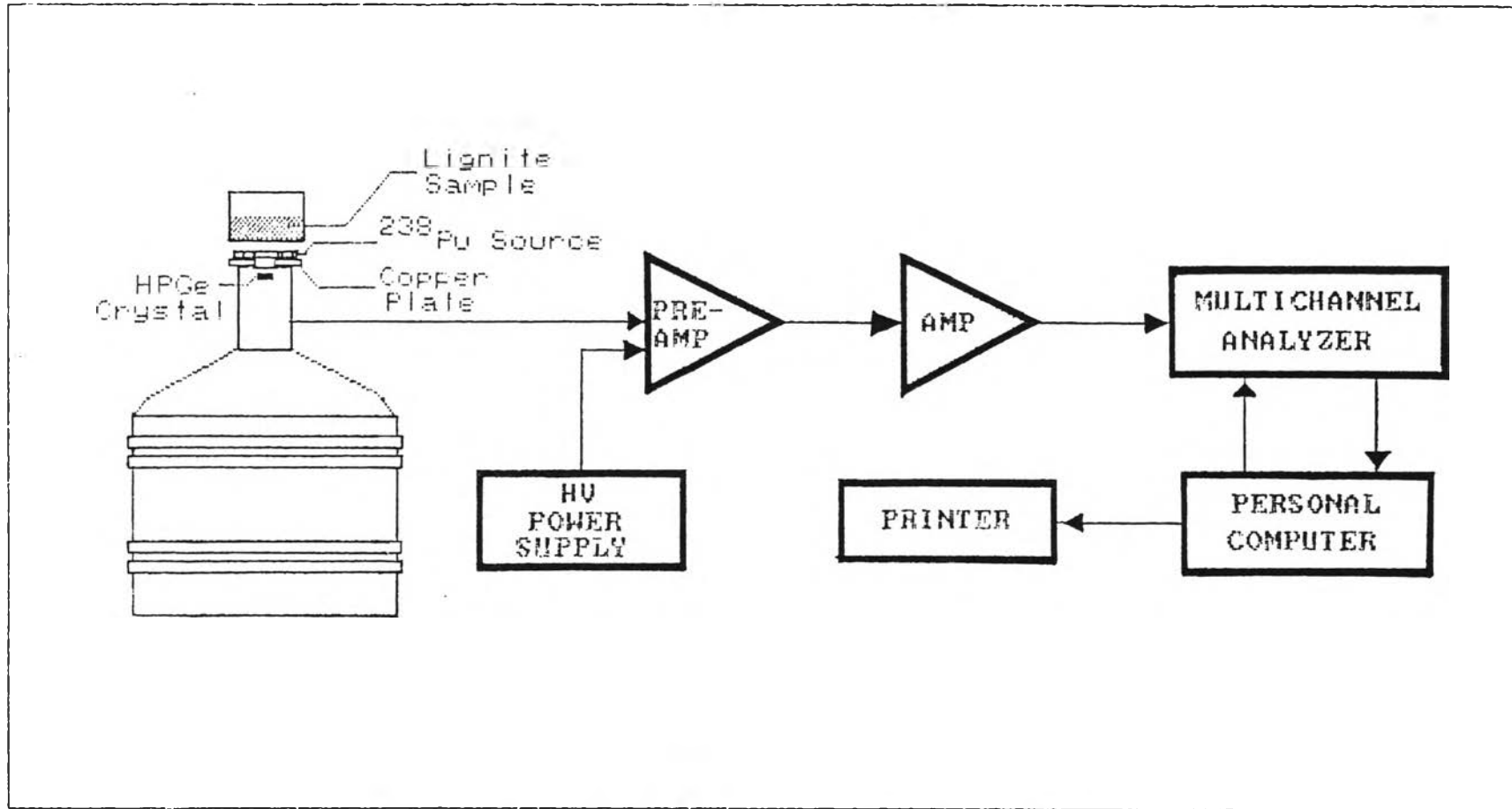
- 3.2.1 หาระยะที่เหมาะสมระหว่างลิกไนต์ตัวอย่างกับต้นกำเนิดรังสี และหาความหนาวิกฤตของตัวอย่าง โดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง
- 3.2.2 ศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคลิกไนต์ต่อความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ
- 3.2.3 การหาความหนาวิกฤตของตัวอย่าง พร้อมกับหาระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่างลิกไนต์โดยใช้หัววัดแบบพรอพอร์ชันนัลสำหรับตัวอย่างที่บดละเอียดแต่ไม่อัด
- 3.2.4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิงกลับกับปริมาณถ่านลิกไนต์
- 3.2.5 หาความสัมพันธ์ของความชื้นที่มีอิทธิพลต่อการวัดปริมาณถ่านลิกไนต์
- 3.2.6 หาความสัมพันธ์ของเหล็กที่มีอิทธิพลต่อการวัดปริมาณถ่านลิกไนต์
- 3.2.7 การปรับแก้กราฟเปรียบเทียบเนื่องจากอิทธิพลของเหล็ก
- 3.2.8 หาปริมาณถ่านโดยใช้เทคนิคการกระเจิงกลับรังสีเอกซ์เทียบกับวิธีทางเคมีและวิธีส่งผ่านรังสีแกมมา

อนึ่ง การศึกษาริวิจัยในช่วงแรกซึ่งได้แก่การหาระยะห่างที่เหมาะสม การหาความหนาวิกฤต การหาขนาดของอนุภาค และขนาดของตัวอย่างที่ใช้ระบบวัดรังสีซึ่งใช้หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง ทั้งนี้ก็เพื่อให้รายละเอียดของสเปกตรัมรังสีเอกซ์ได้ดี การวิจัยต่อจากนั้นจะใช้หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันนัล ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการทำงานมากกว่าในแง่ของ ขนาด ราคา และความสะดวกในการใช้งานในภาคสนาม

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การหาความหนาวิกฤต พร้อมกับหาระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่าง โดยใช้หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

ในการหาความหนาวิกฤตนี้ ได้ตรวจสอบพื้นที่หน้าตัดตัวอย่างแล้วพบว่าพื้นที่หน้าตัดตัวอย่างวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 4 เซนติเมตรขึ้นไป ความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิงกลับจะไม่ต่างกันเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางพื้นที่หน้าตัดโตขึ้น ดังนั้น จึงเลือกใช้ภาชนะอะลูมิเนียมซึ่งเป็นท่อกลมขนาดโตกว่า 4 เซนติเมตร คือใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.8 เซนติเมตรที่มีอยู่แล้ว เนื่องจากเมื่ออัดลิกไนต์แล้วท่ออะลูมิเนียมจะหุบเข้ามาเล็กน้อย ถ้าใช้ขนาดเล็กซึ่งอาจจะมิผลต่อการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์ ขั้นตอนวิจัยดังนี้



รูปที่ 3.2 แผนผังระบบวัดรังสีที่ใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

ก. อัดลิกไนต์ที่มีปริมาณเก่า 3.4 และ 24.7 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เครื่องอัดความดัน 20 ตัน/ตารางเซนติเมตร ปริมาณลิกไนต์ที่ใช้แต่ละตัวอย่างต่างกันตั้งแต่ 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 กรัม

ข. วางต้นกำเนิดรังสีพลูโทเนียมไอโซโทป-238 บนแผ่นทองแดงหนา 0.5 เซนติเมตร ซึ่งเจาะรูไว้ให้ตรงกับรูของต้นกำเนิดรังสี (แผ่นทองแดงนี้ใช้กำบังรังสีจากต้นกำเนิดรังสีไม่ให้เข้าหัววัดโดยตรง) วางแผ่นทองแดงและต้นกำเนิดรังสีเหนือหัววัดรังสีเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

ค. วางลิกไนต์ปริมาณเก่า 3.4 เปอร์เซ็นต์ที่อัด 10 กรัมเหนือต้นกำเนิดรังสีโดยใช้วงแหวนพลาสติกสูง 5 มิลลิเมตรรอง แล้ววัดความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ

ง. ทำซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาณลิกไนต์เป็น 20, 40, 60, 80 กรัม ตามลำดับ

จ. ทำซ้ำ ค. และ ง. โดยเปลี่ยนวงแหวนพลาสติกความสูง 8, 10, 12 ตามลำดับ

ฉ. ทำซ้ำเดิมอีกโดยเปลี่ยนเป็นลิกไนต์ปริมาณเก่า 24.7 เปอร์เซ็นต์และใช้ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับลิกไนต์ตัวอย่าง ที่วัดความเข้มรังสีกระเจิงกลับได้มากที่สุดระยะเดียวโดยไม่ต้องปรับระยะใหม่ ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2, 4.3 และกราฟรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4

3.3.2 การหาขนาดของอนุภาค

ก. การเตรียมตัวอย่างสำหรับหาขนาดของอนุภาค

นำลิกไนต์ก้อนโต ๆ ไปบดโดยเครื่องบดไม่ต้องละเอียดแล้วนำไปร่อนโดยตะแกรงร่อนขนาด 9.5 มม. (0.357 นิ้ว), 6.7 มม. (0.265 นิ้ว), 4.75 มม. (4 เมช), 3.35 มม. (6 เมช), 2.36 มม. (8 เมช), 1.651 มม. (12 เมช), 0.833 มม. (20 เมช) และ 0.710 มม. (25 เมช)

ข. นำลิกไนต์ที่เตรียมในข้อ ก. มาวัดโดยเปรียบเทียบกันระหว่างเขย่าด้วยเครื่องกับไม่เขย่า หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดลิกไนต์แต่ละขนาดจำนวน 20 ครั้ง การเขย่าลิกไนต์นั้นจะใส่ลิกไนต์ในภาชนะที่อะลูมิเนียมปิดปากและกันท้ออะลูมิเนียมด้วยแผ่นพลาสติก แล้วนำไปวางลงในเครื่องเขย่าซึ่งใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า เปลี่ยนเวลาเขย่าจาก 5 นาทีแล้วเพิ่มเป็น 10 นาทีเพื่อดูค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานว่าจะน้อยลงหรือไม่เมื่อใช้เวลากการเขย่ามากขึ้น ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยลงนั้นหมายความว่าความเข้มการกระเจิงกลับรังสีเอกซ์ที่วัดตัวอย่างละหลาย ๆ ครั้งจะต่างกันไม่มาก ซึ่งจะเป็นผลดีสำหรับการวิจัย ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.4

3.3.3 การวัดความเข้มของรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ จากตัวอย่างที่อัดกับตัวอย่างที่ไม่อัดโดยใช้หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

เพื่อศึกษาอิทธิพลของความหนาแน่น ที่จะมีผลต่อความเข้มการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์และความแม่นยำของการวัด เนื่องจากการเรียงตัวของอนุภาคต่างกันการวัดจะวัดตัวอย่างละ 20 ครั้ง สำหรับตัวอย่างที่เป็นผงละเอียดทุกครั้งที่วัดจะต้องเซย์ก่อนวัด จากนั้นจึงนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ยและหาเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบกัน ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5

3.3.4 การหาความหนาวิกฤต พร้อมกับหาระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่าง โดยใช้หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันนัล สำหรับตัวอย่างที่บดละเอียดแต่ไม่อัด

การหาความหนาวิกฤตของตัวอย่างลิกไนต์โดยไม่อัดตัวอย่างแต่บดละเอียดขนาดอนุภาคเล็กกว่า 425 ไมครอน (40 เมช) เพื่อทราบปริมาณลิกไนต์ที่จะใช้สำหรับวิจัย โดยใช้หัววัดแบบพรอพอร์ชันนัลต่อไป ขั้นตอนวิจัยดังนี้

ก. นำลิกไนต์ที่มีปริมาณเก่า 14.29 เปอร์เซ็นต์ 10 กรัมใส่ลงในท่อกลมอะลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร โดยท่ออะลูมิเนียมปิดกั้นด้วยแผ่นพลาสติกบาง

ข. วางต้นกำเนิดรังสีพลูโทเนียม-238 บนแผ่นทองแดงหนา 0.5 เซนติเมตร ซึ่งเจาะรูไว้ตรงกลางให้ตรงกับรูของต้นกำเนิดรังสีวางแผ่นทองแดงและต้นกำเนิดรังสีเหนือหัววัดพรอพอร์ชันนัลทำนองเดียวกันกับหัวข้อ 3.3.1 ข.

ค. นำลิกไนต์ปริมาณเก่า 14.29 เปอร์เซ็นต์ที่เตรียมในข้อ ก. วางเหนือต้นกำเนิดรังสีโดยใช้วงแหวนพลาสติกสูง 5 มิลลิเมตรรองแล้ววัดความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ

ง. ทำซ้ำโดยเปลี่ยนวงแหวนพลาสติกสูง 7, 8, 9, 10, 11, 12 มิลลิเมตรตามลำดับ

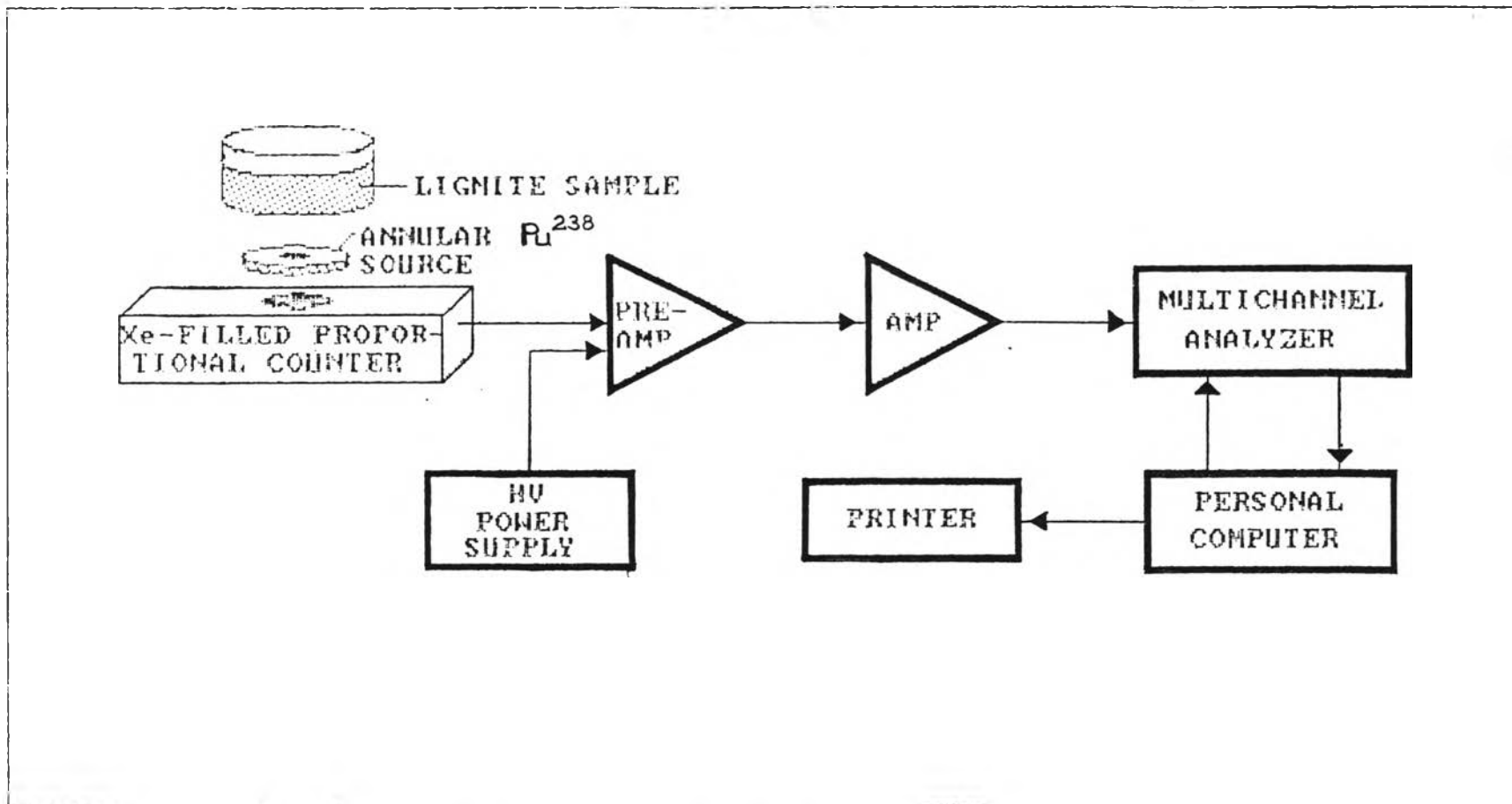
จ. ทำซ้ำ ค. และ ง. โดยเติมน้ำหนักลิกไนต์เป็น 20, 30, 40, 50 กรัมตามลำดับ

ฉ. ทำซ้ำเดิมตั้งแต่ข้อ ก. ถึง ข้อ จ. โดยใช้ลิกไนต์ปริมาณเก่า 40.38 และ 56.75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และกราฟรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8 ตามลำดับ

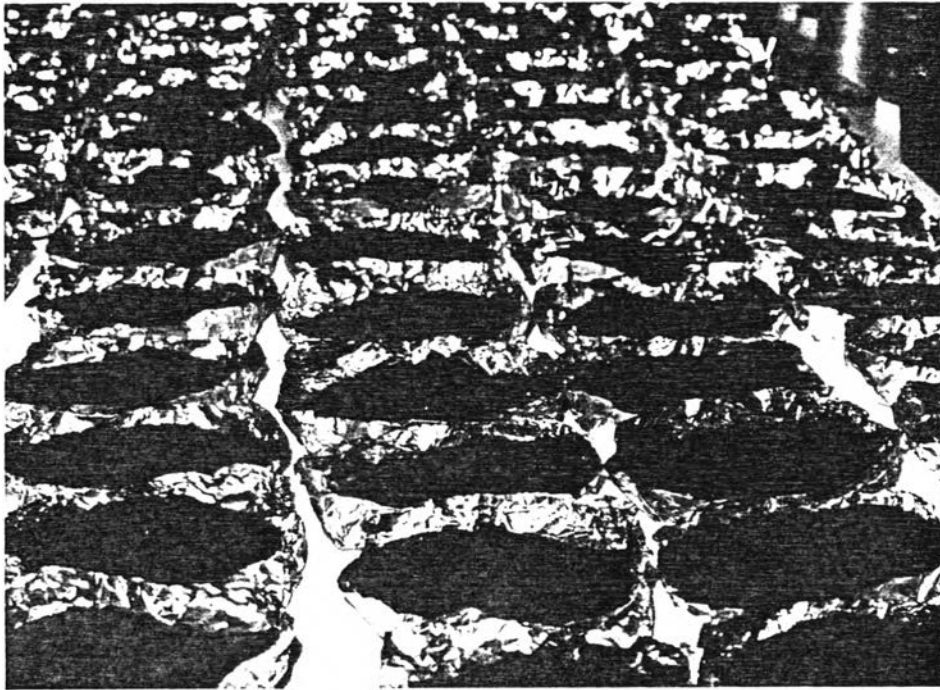
3.3.5 การสร้างกราฟเปรียบเทียบ สำหรับตัวอย่างที่บดแต่ไม่อัดโดยใช้หัววัดพรอพอร์ชันนัล

ก. การเตรียมตัวอย่าง

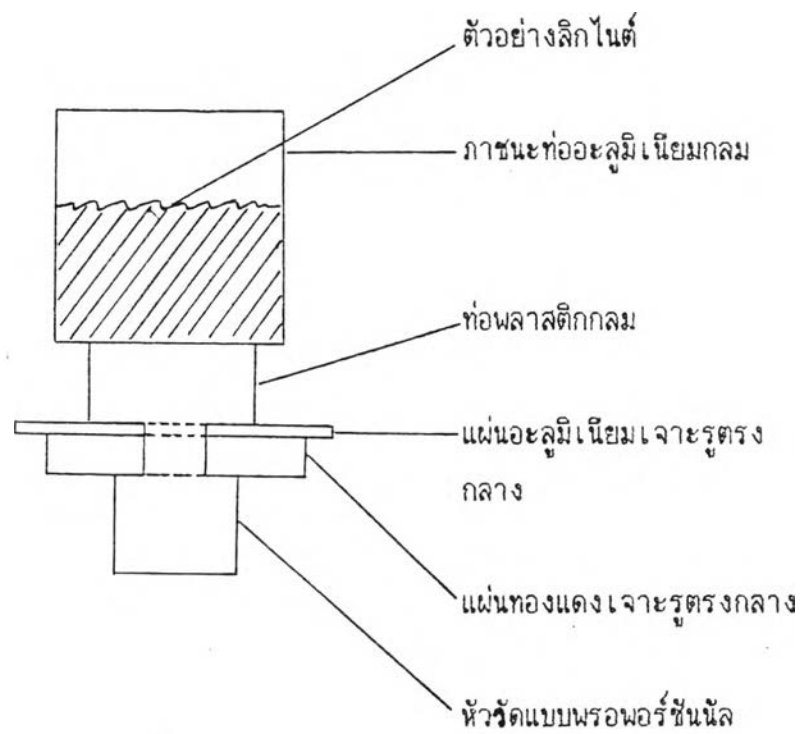
นำลิกไนต์ไปบดโดยเครื่องบดให้ละเอียดโดยใช้ตัวอย่างลิกไนต์ 26 ตัวอย่าง



รูปที่ 3.3 แผนผังระบบวัดรังสีที่ใช้หัววัดแบบพรอลพอร์ซันนัล



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างลิกไนต์ปริมาณเก่าต่าง ๆ ที่บดละเอียดขนาด 425 ไมครอน (40 เมช)



รูปที่ 3.5 ภาพสเกตการวางตัวอย่างลิกไนต์เหนือหัววัดแบบพรอพรอร์ชันนัล

ข. การวัดความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ

เพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลของสตรอนเตียมเนื่องจากรังสีเอกซ์เรืองแสง K ของสตรอนเตียมมีพลังงาน 14.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จึงเลือกใช้พลังงานที่สูงกว่าพลังงานรังสีเอกซ์เรืองแสงของสตรอนเตียมคือใช้พลังงานในช่วงตั้งแต่ 14.9 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ถึงประมาณ 22 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 บรรจุลิกไนต์ตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมในข้อ ก. ใส่ลงในภาชนะท่ออะลูมิเนียมซึ่งตัดสำหรับใส่ลิกไนต์ให้ถึงความหนาวิกฤตแล้วจึงนำไปตั้งสำหรับวัดโดยวัดแต่ละเปอร์เซ็นต์เก้า 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของจำนวนนับที่วัดได้

ค. นำตัวอย่างลิกไนต์ทั้ง 26 ตัวอย่าง ไปอบด้วยอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดซ้ำในข้อ ข.

ง. การสร้างกราฟเปรียบเทียบ

นำข้อมูลที่วัดได้ในข้อ ข. ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเท่ากับค่าเฉลี่ยของจำนวนนับเปรียบเทียบกราฟระหว่างอบกับไม่อบ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ต่อไป ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.9

3.3.6 การศึกษาอิทธิพลของความชื้นต่อความเข้มรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ

ก. การเตรียมตัวอย่างลิกไนต์

ใช้ลิกไนต์ตัวอย่างที่มีปริมาณแตกต่างกัน 6 ตัวอย่าง ตั้งแต่ปริมาณเก้า 14.29, 16.49, 22.74, 25.31, 37.31 และ 68.40 เปอร์เซ็นต์ นำมาใส่ภาชนะท่ออะลูมิเนียมแล้วค่อย ๆ ใส่น้ำ ทั้งไว้สัก 10 นาที จะง่ายในการเคล้าให้เข้ากันภาชนะท่ออะลูมิเนียมจะต้องปิดแผ่นพลาสติกทั้งปากและกันเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ลิกไนต์ที่ใช้จะต้องมีปริมาณที่มากพอเกินความหนาวิกฤตที่หาได้

ข. วิธีวัดความชื้น

นำลิกไนต์ที่เตรียมในข้อ ก. ไปชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 5 ตำแหน่ง แล้วนำไปวัดโดยแต่ละเปอร์เซ็นต์เก้า 3 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เวลา 100 วินาที เมื่อวัดเสร็จแล้วนำลิกไนต์ตัวอย่างไปเข้าเตาอบโดยใส่ลงในแผ่นอะลูมิเนียมหนา 0.043 มิลลิเมตร/ตารางเซนติเมตร ทั้งไว้ประมาณ 10-15 นาที แล้วนำออกมาชั่งจากนั้นก็นำไปวัดใหม่อีกครั้งทำซ้ำเดิมอย่างนี้อีกแต่เวลาการอบจะต้องเพิ่มขึ้นเนื่องจากความชื้นลดลงเรื่อย ๆ จนกว่าน้ำหนักลิกไนต์เริ่มไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นก็อบไว้อีก 24 ชั่วโมง จนแน่ใจว่าแห้งสนิทแล้วจึงนำมาชั่ง วัดเป็นครั้งสุดท้าย ผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.10

3.3.7 การหาผลกระทบเนื่องจากอิทธิพลของเหล็ก

ก. การเตรียมตัวอย่าง

เนื่องจากในลิกไนต์จะมีปริมาณเหล็กรวมอยู่แล้ว และไม่สามารถทราบปริมาณที่แน่นอนได้ ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาทั้งสองอย่างจึงใช้สารประกอบเคมีผสมกันเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของการกระเจิงกลับรังสีเอกซ์เท่ากับลิกไนต์ปริมาณแตกต่างกัน ดังนี้คือ 14.29, 16.49, 22.74, 25.31, 37.31 และ 68.39 เปอร์เซ็นต์ รายละเอียดของการผสมสารประกอบเคมีและการคำนวณเลขอะตอมและเลขมวลยังผลจะกล่าวไว้ในภาคผนวก ก.

ข. การวัดผลกระทบเนื่องจากอิทธิพลของเหล็ก

นำสารประกอบเคมีที่เตรียมไว้ในหัวข้อ ก. ใส่ในภาชนะที่อะลูมิเนียมครั้งแรกจะยังไม่เติมผงเหล็กออกไซด์ จากนั้นจึงนำไปวัดโดยแต่ละตัวอย่างวัด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยแต่ละครั้ง ใช้เวลาวัด 100 วินาที ปริมาณสารประกอบตัวอย่างที่ใช้ตัวอย่างละ 50 กรัม เมื่อวัดเสร็จแล้วจึงนำไปเติมผงเหล็กออกไซด์ ให้เข้ากันใช้เวลาเขย่าให้เข้ากันประมาณ 40 วินาทีแล้วจึงนำไปวัดเมื่อวัดเสร็จแล้วก็ทำซ้ำแบบเดิมอีกจนปริมาณเหล็กออกไซด์ที่ผสมเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมากกว่าที่รวมตัวอยู่ในลิกไนต์ จากนั้นจึงนำผลการวิจัยมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เหล็ก กับความเข้มข้นการกระเจิงกลับของรังสีเอกซ์ ซึ่งผลการวิจัยแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.11

3.3.8 การปรับแก้กราฟเปรียบเทียบเนื่องจากอิทธิพลของเหล็ก

เมื่อทราบความสัมพันธ์ของเหล็กที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของความเข้มข้นรังสีเอกซ์การกระเจิงกลับแล้วในหัวข้อ 3.3.7 การปรับแก้ทำตามขั้นตอนดังนี้

ก. คำนวณความชันที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กกับความเข้มข้นรังสีเอกซ์การกระเจิงกลับของปริมาณเก่า 14, 16, 23, 25, 37 และ 68 เปอร์เซ็นต์ โดยอ่านที่ปริมาณเหล็ก 8 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10

ข. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็ก กับอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นรังสีเอกซ์เรื่องเส้น K ของเหล็กต่อความเข้มข้นรังสีเอกซ์การกระเจิงกลับของตัวอย่างสารเคมีที่เตรียมให้ถึงความเข้มข้นเท่ากับปริมาณเก่าในข้อ ก. ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 และกราฟรูปที่ 4.12

ค. หาปริมาณเหล็กของลิกไนต์ โดยนำค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นรังสีเอกซ์เรื่องของเหล็กเส้น K ต่อความเข้มข้นรังสีเอกซ์การกระเจิงกลับของลิกไนต์ตัวอย่างทั้ง 26 ตัวอย่าง ไปแทนค่าความสัมพันธ์ในข้อ ข. โดยต้องพิจารณาความสัมพันธ์ที่ความเข้มข้นรังสีเอกซ์การกระเจิงกลับและความเข้มข้นรังสีเอกซ์เรื่องของเหล็กใกล้เคียงกันระหว่างสารเคมีกับลิกไนต์ ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ ก.4

ง. เทียบค่าปริมาณเหล็กในลิกไนต์ให้เท่ากับโดยปรับปริมาณเหล็กในลิกไนต์ ทั้ง 26 ตัวอย่างเท่ากับ 3 เปอร์เซนต์เท่ากัน

จ. ใช้ความชื้นจากตารางที่ 4.10 ดังนี้ ปริมาณถ้ำตั้งแต่ 14 ถึง 15 เปอร์เซนต์ ใช้ค่าความชื้นเท่ากับ 4695 ปริมาณถ้ำตั้งแต่ 16 ถึง 19 เปอร์เซนต์ ใช้ค่าความชื้นเท่ากับ 4130 ปริมาณถ้ำตั้งแต่ 20 ถึง 23 เปอร์เซนต์ ใช้ค่าความชื้นเท่ากับ 2719 ปริมาณถ้ำตั้งแต่ 24 ถึง 25 เปอร์เซนต์ ใช้ค่าความชื้นเท่ากับ 2251 ปริมาณถ้ำตั้งแต่ 30 ถึง 46 เปอร์เซนต์ ใช้ค่าความชื้นเท่ากับ 1295 ปริมาณถ้ำตั้งแต่ 49 เปอร์เซนต์ขึ้นไป ใช้ค่าความชื้นเท่ากับ 740 โดยที่ค่าความชื้นคือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนนับที่ลดลงต่อปริมาณเหล็กเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซนต์

ฉ. นำผลต่างระหว่าง ปริมาณเหล็กในลิกไนต์ กับปริมาณเหล็ก 3 เปอร์เซนต์ ที่เลือกแล้วเป็นหลักเทียบในข้อ ง. คูณกับค่าความชื้นที่คำนวณได้จากข้อ จ. บวก เข้ากับความเข้มข้นรังสีเอกซ์กระเจิงกลับของลิกไนต์ ถ้าปริมาณเหล็กของลิกไนต์มากกว่า 3 เปอร์เซนต์ ในทางกลับกันเอาค่าที่ได้ลบออกจากความเข้มข้นรังสีเอกซ์กระเจิงกลับถ้าปริมาณเหล็กของลิกไนต์น้อยกว่า 3 เปอร์เซนต์ ผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.12 รูปที่ 4.14

3.3.9 การวัดปริมาณถ้ำในลิกไนต์เทียบกับวิธีเคมี และ วิธีส่งผ่านรังสีแกมมา ขั้นตอนในการวิจัยมีดังนี้

ก. นำตัวอย่างลิกไนต์จำนวน 8 ตัวอย่างไปอบด้วยอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ข. นำตัวอย่างไปใส่ภาชนะ และนำไปวัดความเข้มข้นรังสีเอกซ์กระเจิงกลับ เป็นเวลา 100 วินาที

ค. นำค่าความเข้มข้นรังสีเอกซ์กระเจิงกลับไปอ่านกราฟเปรียบเทียบ ในรูปที่ 4.9 เพื่อหาปริมาณถ้ำเปรียบเทียบผลกับวิธีวิเคราะห์ทางเคมีจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ และเหมืองแม่เมาะของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต รวมทั้งวิธีส่งผ่านรังสีแกมมา ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.13 และกราฟรูปที่ 4.14, 4.15, 4.16

ง. นำค่าความเข้มข้นรังสีเอกซ์กระเจิงกลับปรับค่าตามวิธีในหัวข้อ 3.3.9

จ. นำค่าความเข้มข้นรังสีเอกซ์กระเจิงกลับที่ปรับค่าในข้อ ง. ไปอ่านกราฟเปรียบเทียบในรูปที่ 4.13 แล้วทำเหมือนข้อ ค. ผลการวิจัยดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.13 และ กราฟรูปที่ 4.17, 4.18, 4.19