

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

3.1.1 หัววัดรังสีแกมมาแบบโซเดียมไอโอดด์ (ทึบเลียม) [NaI(Tl)] ขนาด 5"x5" พร้อมหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน (photomultiplier tube, PMT) สำหรับวัดรังสีพรอมต์แกมมา พลังงานสูง 10.82 MeV จากปฏิกิริยาของนิวตรอนกับไนโตรเจน-14

3.1.2 ฐานหลอด (tube base) พร้อมภาคขยายส่วนหน้า (preamplifier) สำหรับหัววัดรังสีแกมมา

3.1.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าสีกาสูง (high voltage power supply) สำหรับหัววัดรังสี

3.1.4 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (multichannel analyzer, MCA) CANBERRA รุ่น 35 Plus พร้อมภาคขยายหลัก (amplifier)

3.1.5 ไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิต สำหรับรับ-ส่งข้อมูลวิเคราะห์พลังงานของรังสีกับ MCA

3.1.6 คันทาเนตริงซีนิวตรอน พลูโทเนียม-238/เบริลเลียม ความแรง 5 คูรี (185 GBq) เก็บอยู่ใต้น้ำในถังเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 110 ซม. สูง 110 ซม.

3.1.7 หัววัดรังซีนิวตรอนเข้าแบบซินทิลเวชันแก้ว (glass scintillator) NE 905 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม.หนา 3 มม. พร้อมหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนและภาคขยายส่วนหน้า หัววัดนี้ใช้ในการวัดความเข้มของรังซีนิวตรอนเข้า

3.1.8 วัสดุกำบังรังสี ได้แก่ ตะกั่วสำหรับกำบังรังสีแกมมา และพาราฟินผสมกรดบอริก สำหรับกำบังรังซีนิวตรอน

3.1.9 พาราฟิน และท่อโลหะสำหรับสร้างระบบอาบรังซีนิวตรอน

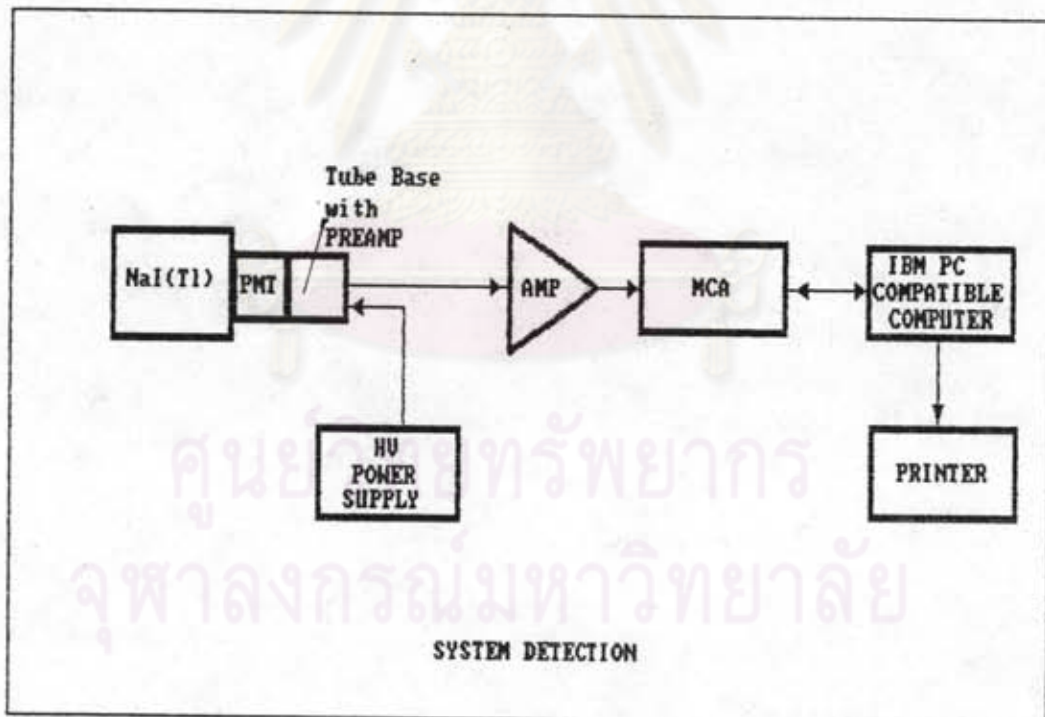
3.1.10 อินเดียม ฟอยล์ (indium foil) สำหรับวัดนิวตรอนฟลักซ์

3.1.11 ยูเรเนียม สำหรับใช้ในการศึกษาการจัดระบบอาบรังซีนิวตรอนและระบบวัดรังสีพรอมต์แกมมาที่เหมาะสมในการหาปริมาณไนโตรเจน รวมทั้งใช้เป็นสารมาตรฐานในการปรับเทียบการหาปริมาณไนโตรเจนในสารประกอบอื่น ๆ

3.1.12 สารประกอบไนโตรเจนปริมาณสูง ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 14-14-21 , 15-0-0 , 15-15-15 , 15-5-20 , 16-16-16 , สารเคมี แอมโมเนียมไนเตรด ($C_6H_{14}N_2O_7$) สำหรับเป็นตัวอย่างทดสอบในการหาปริมาณไนโตรเจน

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การจัดระบบวัดรังสีแกมมา ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้หัววัดรังสีแกมมาชนิด โซเดียมไอโอไดด์ (ทึบเลียม) ขนาด 5"x5" เพื่อให้มีประสิทธิภาพดีในการวัดรังสีแกมมาพลังงานสูง เนื่องจากรังสีฟรอมต์แกมมาที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา $^{14}\text{N}(n, \gamma)^{15}\text{N}$ มีพลังงานสูงถึง 10.82 MeV แผนผังของระบบวัดรังสีแกมมาแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ในการปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขช่อง (channel number) กับพลังงานรังสีแกมมานั้น ในเบื้องต้นปรับเกน (gain) ของภาคขยายหลักและของเอดีซี (ADC = Analog-to-Digital Converter) เพื่อให้สามารถวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาได้ในช่วงสูงถึงประมาณ 12 MeV โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานและรังสีแกมมาพลังงาน 4.43 MeV จากต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน พลูโทเนียม-238/เบริลเลียมในการปรับเทียบ



รูปที่ 3.1 แผนผังของระบบวัดรังสีแกมมา

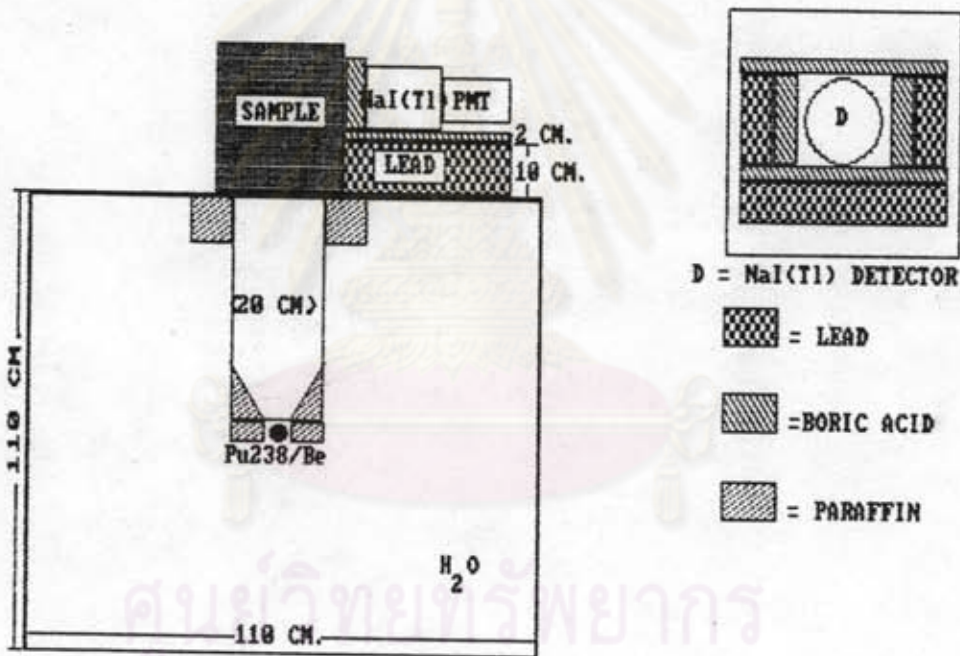


3.2.2 การออกแบบระบบอบรังสีนิวตรอน ระบบอบรังสีนิวตรอนนับว่ามีความสำคัญมากในการหาปริมาณธาตุด้วยเทคนิคการวัดรังสีพร้อมคัมพมาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ใช้ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนชนิดไอโซโทปที่ผลิตนิวตรอนจากปฏิกิริยา (α, n) ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลที่สำคัญสองประการคือ ประการแรก ต้นกำเนิดรังสีประเภทนี้ให้อัตราการปลดปล่อยนิวตรอนต่ำคือ ประมาณ 2.2×10^{10} ต่อวินาทีต่อ 1 คูรี ประการที่สอง มีรังสีแกมมาพลังงานสูง 4.43 MeV ปลดปล่อยออกมาด้วยซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^6\text{C}^{12}$ ที่ใช้ผลิตนิวตรอน รังสีแกมมานี้เกิดจากการที่คาร์บอน-12 ลดระดับพลังงานลงมาจากสภาวะถูกกระตุ้น (excited state) ไปสู่สภาวะปกติ (ground state) นอกจากนี้ยังมีรังสีพร้อมคัมพมาพลังงานสูงราว 6-9 MeV จากวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้าง ส่วนประกอบ และกำบังรังสีซึ่งได้แก่ เหล็กและตะกั่วอีกด้วย การออกแบบระบบอบรังสีนิวตรอนมีความสำคัญเป็นพิเศษในการวัดรังสีพร้อมคัมพมาของไนโตรเจน เพราะนอกจากเหตุผลข้างต้นแล้ว ไนโตรเจนยังมีภาคตัดขวางในการดูดกลืนนิวตรอนต่ำ และให้รังสีแกมมาพลังงานสูงมาก ทำให้โอกาสในการเกิดปฏิกิริยาต่ำ และประสิทธิภาพในการนับรังสีก็ต่ำด้วย

การออกแบบระบบอบรังสีนิวตรอนที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้ออกแบบโดยพิจารณาจากข้อมูลที่มีผู้วิจัยไว้ ซึ่งได้แก่ B.J.Allen และคณะ(2) P.N.Tiwari และคณะ(5) N.Wada(9) A.H.Beddoe และคณะ(8) ประกอบกับหลักการทางทฤษฎี แล้วนำมาดัดแปลงให้เหมาะสมกับวัสดุอุปกรณ์และทุนวิจัยที่ได้รับ ในการวิจัยนี้ใช้ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนพลูโทเนียม-238/เบริลเลียม ความแรง 5 คูรี โดยติดตั้งไว้ในถึงน้ำที่ท้าวด้วยเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 110 ซม. สูง 110 ซม. เหตุที่ใช้ น้ำเป็นตัวหน่วงพลังงานนิวตรอนเนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ของระบบอบรังสีได้ง่ายและประหยัด ระบบอบรังสีในขณะเริ่มทำการศึกษาวิจัย แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2

สาเหตุที่เลือกจัดหัววัดรังสีไว้ด้านข้างตัวอย่าง ก็เพื่อไม่ให้หัววัดรังสีอยู่ในแนวที่รังสีแกมมาและนิวตรอนพุ่งชนมาจากท่ออบรังสีอื่นจะทำให้แบคกราวด์สูง การจัดหัววัดรังสีลักษณะนี้จะทำให้รังสีแกมมาที่กระเจิงออกมาจากตัวอย่าง เข้าสู่หัววัดต่ำด้วย เนื่องจากความเข้มรังสีแกมมากระเจิงมีค่าต่ำสุดที่มุมกระเจิงเท่ากับ 90 องศา ขนาดของภาชนะใส่ตัวอย่างได้เลือกให้มีขนาดโตกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหัววัดรังสีแกมมา (คือมากกว่า 5 นิ้ว) เพื่อเพิ่มโอกาสที่หัววัดรังสีจะวัดรังสีพร้อมคัมพมาจากไนโตรเจนให้มากขึ้น สำหรับท่ออบรังสีนิวตรอนได้เลือกให้มีขนาดเล็กกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของภาชนะใส่ตัวอย่างเล็กน้อย เพื่อให้ตัวอย่างถูกอบรังสีนิวตรอนเต็มพื้นที่ ในขณะที่ตัวกันก็ป้องกันไม่ให้นิวตรอนเล็ดลอดออกไปจากท่ออบรังสีโดยไม่ผ่านตัวอย่าง หัววัดรังสีด้านล่างมีตะกั่วหนา 10 ซม. เพื่อกันรังสีแกมมา 4.43 MeV จากต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน รังสีพร้อมคัมพมาพลังงาน 2.23 MeV, 6.858 MeV, 9.298 MeV, จากไนโตรเจนในน้ำ ตะกั่วที่ใช้เป็นกำบังรังสีแกมมา และเหล็กจากถังน้ำตามลำดับ

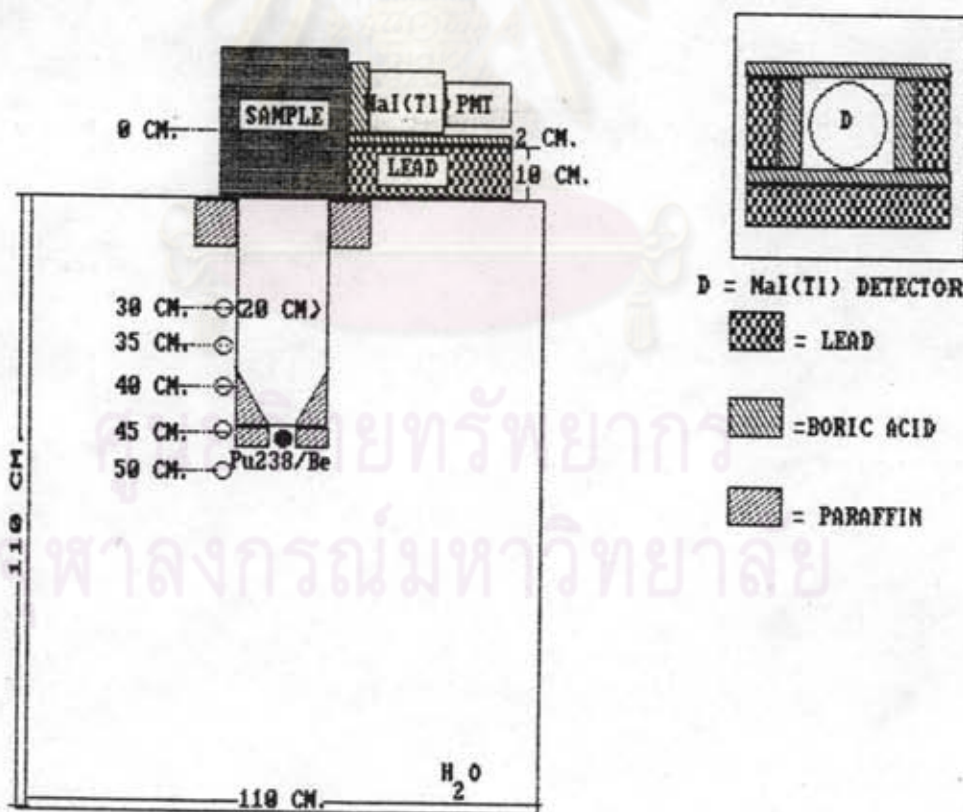
นอกจากนี้ยังต้องใช้กรดบอริก (Borated Parafin) ความหนา 5 ซม. หรือความหนาแน่น 2.64 g/cm^3 กำบังรังสีนิวตรอนไม่ให้เข้าสู่ตัววัดรังสีโซเดียมไอโอดัด เพื่อป้องกันไม่ให้โซเดียมและไอโอดีนจับกับนิวตรอน แล้วเกิดเป็นไอโซโทปรังสีของธาตุทั้งสอง รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยาแตกตัวมาจากธาตุทั้งสองด้วย



รูปที่ 3.2 ระบบอาบรังสีนิวตรอนในระยะที่เริ่มศึกษาวิจัย

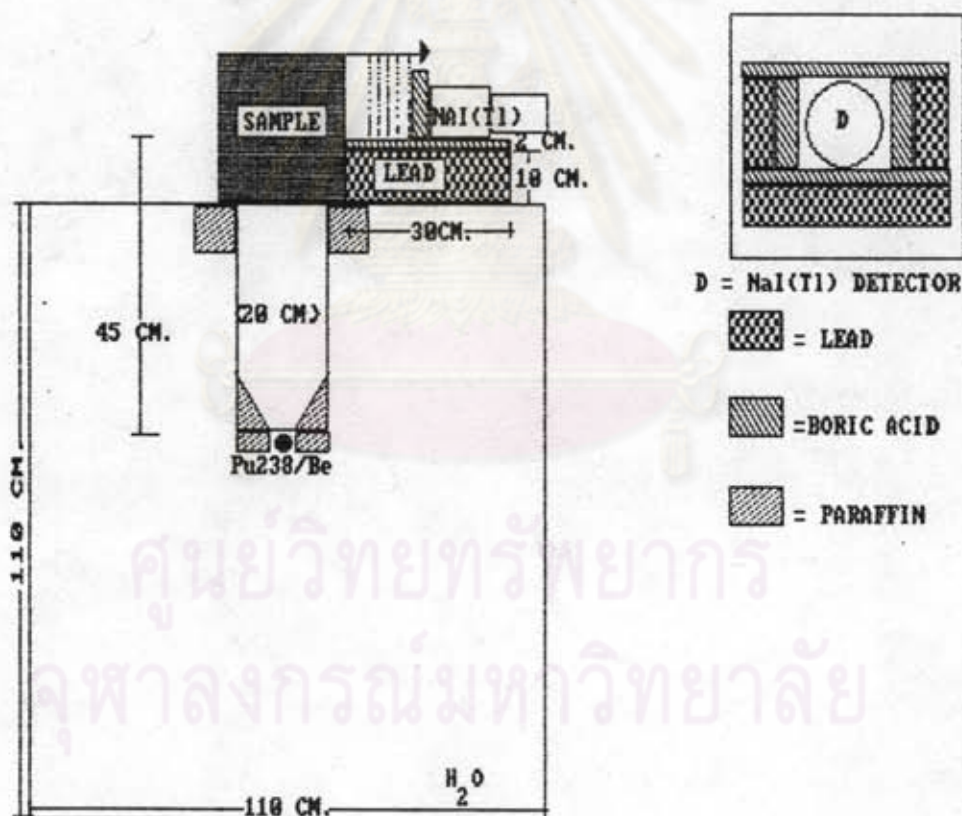
เพื่อให้การวัดระบบออบรังสีมีความเหมาะสมในการหาปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่าง จึงทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นสีพร้อมดแกมมาของไนโตรเจนต่อแบบคร่าวด์ ปัจจัยที่ทำการศึกษาวิจัยได้แก่ ตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ขนาดของท่อออบรังสีนิวตรอน ตำแหน่งของหัววัดรังสี และขนาดของตัวอย่าง โดยใช้ยูเรเนียมเป็นตัวอย่างเนื่องจากเป็นสารประกอบไนโตรเจนซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนอยู่สูงคือเท่ากับ 46 % โดยน้ำหนัก

3.2.2.1 การศึกษาผลของตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน ใช้ท่อออบรังสีนิวตรอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. ยาว 40 ซม. ตัวอย่างยูเรเนียม 6 kg ใส่ภาชนะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. สูงประมาณ 20 ซม. โดยมีหัววัดรังสีอยู่ห่างจากภาชนะใส่ตัวอย่าง 5 ซม. โดยไม่ให้โพลีเอทิลีนที่กำบังรังสีออกมา จากนั้นจึงเลื่อนต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 แต่ละตำแหน่งทำการนับรังสีเป็นเวลา 2000 วินาที ผลการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และตารางที่ 4.1



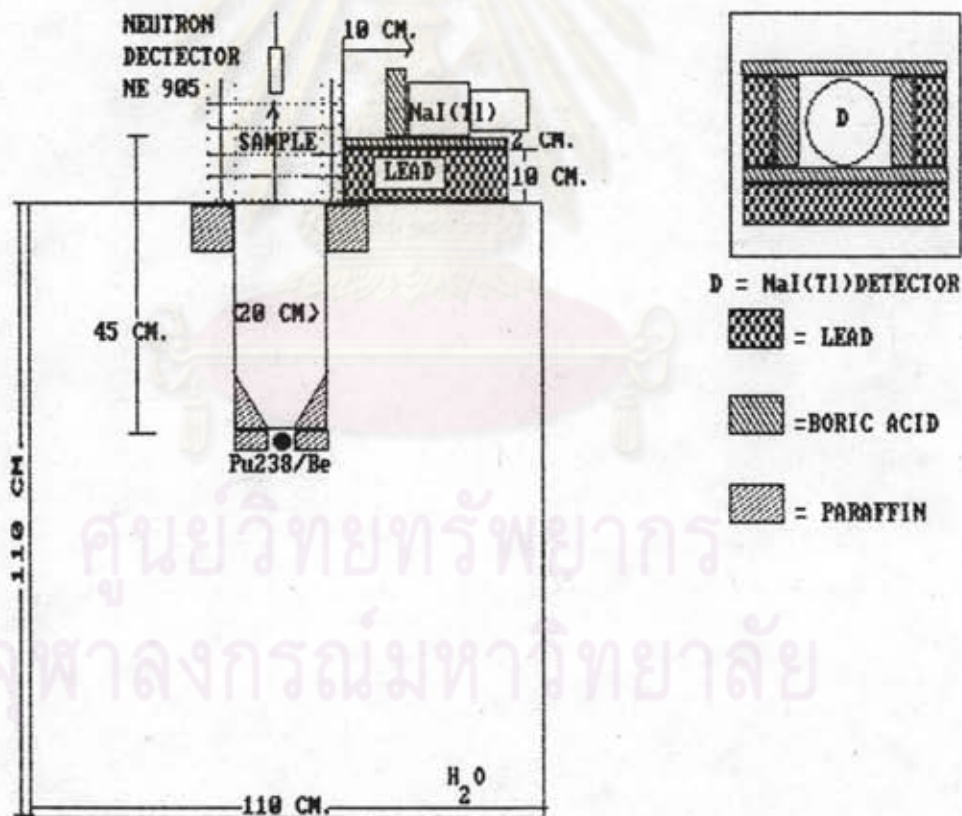
รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงตำแหน่งของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ทำการวิจัย

3.2.2.2 การศึกษาผลของตำแหน่งหัววัดรังสีแกมมา จักระบบออบรังสี เช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.2.2.1 โดยเลือกวางตำแหน่งต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ปลายด้านล่างของท่อออบรังสีนิวตรอน เพราะที่ตำแหน่งนี้ได้อัตราส่วนความเข้มข้นของรังสีปรอทแกมมาจากไนโตรเจนต่อแบคกราวด์สูงสุด และเลื่อนหัววัดรังสีจากตำแหน่งที่สัมพันธ์ข้างภาชนะใส่ตัวอย่าง (โดยมีกรดบอริกหนา 5 ซม.) วางอยู่หน้าหัววัดรังสีออกมาครึ่งละ 2.5 ซม. จนถึงระยะ 12.5 ซม. ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 แต่ละตำแหน่งทำการวัดรังสีเป็นเวลา 2000 วินาที ผลการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 4.4, 4.5, 4.6 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงการแปรเปลี่ยนตำแหน่งหัววัดรังสีแกมมา $\text{NaI}(\text{Tl})$

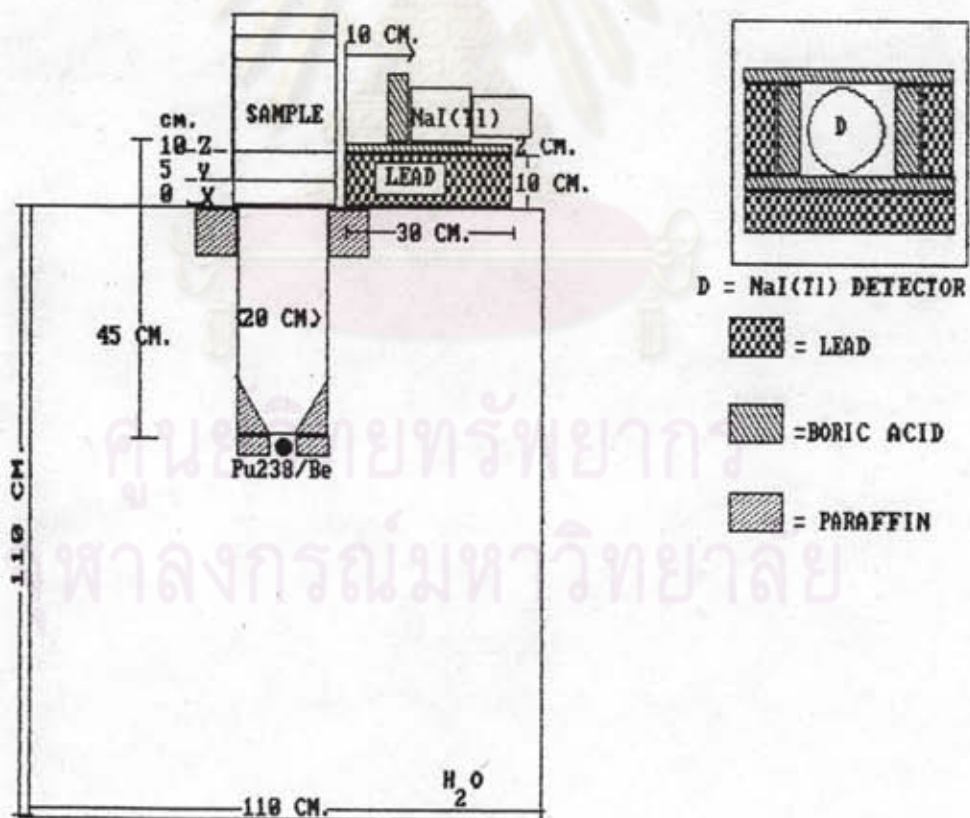
3.2.2.3 การศึกษาผลจากขนาดของตัวอย่าง การวิจัยชั้นนี้เลือกวางต้นกำเนิดรังสีไว้ที่ปลายด้านล่างท่ออาบรังสีเช่นเดียวกับในหัวข้อที่ผ่านมา และวางหัววัดรังสีแกมมาห่างจากผนังด้านข้างของภาชนะใส่ตัวอย่าง 10 ซม. แล้วนำยูเรเนียมใส่ลงไปในภาชนะบรรจุโดยเริ่มที่ความหนา 5 ซม. และเพิ่มความหนาครั้งละ 5 ซม. ทำการวัดปริมาณรังสีนิวตรอนที่ทะลุผ่านที่แต่ละความหนา โดยใช้หัววัด Lithium Glass Scintillator NE 905 พร้อมทั้งวัดรังสีพรอมด์แกมมาที่ได้ในแต่ละความหนาด้วยหัววัด NaI(Tl) ที่ระดับต่าง ๆ ครั้งละ 4000 วินาที ดังรูปที่ 3.5 หลังจากนั้นเปลี่ยนขนาดของภาชนะบรรจุที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มเป็น 25, 28 ซม. ตามลำดับ ผลการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และตารางที่ 4.3, 4.4



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงการวัดรังสีพรอมด์แกมมากับขนาดของสารทดสอบ

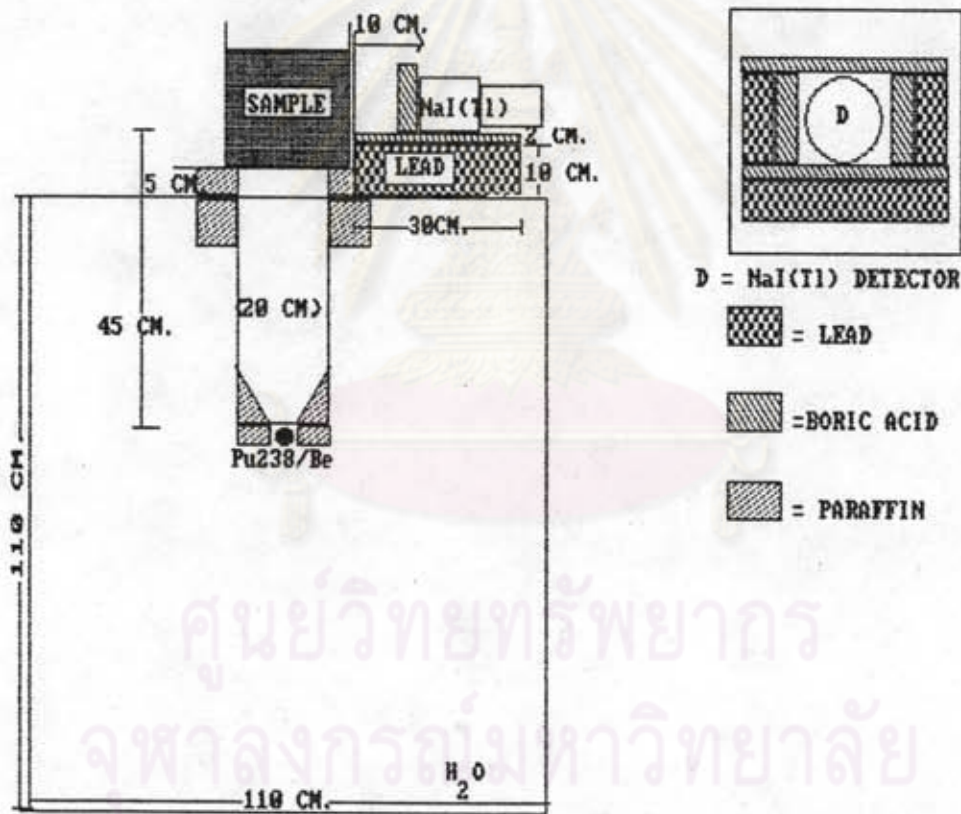
จากนั้นเปลี่ยนตัวอย่างจากยูเรเนียมเป็นสารละลายยูเรเนียม โดยใช้สารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของยูเรเนียม 4 และ 8 โมลต่อลิตร (หรือคิดเป็นไนโตรเจนร้อยละ 11.21 และ 22.4 ในสถานะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 ซม. แล้วเพิ่มปริมาตรครึ่งละ 1 ลิตร ทำการนับรังสีพรอมต์แกมมาที่ระดับต่าง ๆ ครึ่งละ 2000 วินาที ผลการวิจัยแสดงไว้ดังรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.5

3.2.2.4 ศึกษาผลของตำแหน่งในการวางสารตัวอย่าง การวิจัยขั้นนี้เลือกวางคันทาเนดรัังสีไว้ที่ปลายด้านล่างที่ออบรังสีเช่นเดียวกับในหัวข้อที่ผ่านมา และวางหัววัดรังสีแกมมาห่างจากผนังด้านข้างของภาชนะใส่ตัวอย่าง 10 ซม. แล้วนำยูเรเนียมใส่ลงไปภาชนะบรรจุ นำไปวางในตำแหน่งต่าง ๆ 3 ตำแหน่ง คือ X, Y และ Z ดังรูปที่ 3.6 ที่ตำแหน่ง X กันภาชนะบรรจุตัวอย่างอยู่ระดับเดียวกับผิวด้านล่างของตะกั่วที่ใช้กำบังรังสี ส่วนตำแหน่ง Y และ Z ภาชนะบรรจุตัวอย่างอยู่สูงกว่าตำแหน่ง X เท่ากับ 5 และ 10 ซม. ตามลำดับ ที่ 3 ตำแหน่งดังกล่าวนี้ ได้ทำการวัดความเข้มรังสีพรอมต์แกมมาของไนโตรเจนเป็นเวลา 4000 วินาที โดยใช้ตัวอย่างปริมาณต่าง ๆ กัน ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.11 ตารางที่ 4.6



รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงการวัดรังสีพรอมต์แกมมาที่ตำแหน่งในการวางสารทดสอบ

3.2.2.5 การทดสอบไนโตรเจนโดยวิธีวัดพรอมต์แกมมา จากผลการวิจัย
 ในขั้นต้นที่ผ่านมาเกี่ยวกับตำแหน่งของคันทาเนตรังสีนิวตรอน ตำแหน่งของหัววัดรังสีและผลของขนาด
 ของตัวอย่างได้นำข้อมูลเหล่านั้นมาพิจารณาในการออกแบบระบบวิเคราะห์ไนโตรเจน ซึ่งแสดงไว้
 ในรูปที่ 3.7 และได้ทำการทดสอบการวัดสเปกตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาโดยใช้ตัวอย่างยูเรเนียม 6
 กิโลกรัม เวลาค้นรังสี 4000 วินาที ซึ่งได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.12



รูปที่ 3.7 ระบบอบรังสีนิวตรอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ไนโตรเจนโดยวิธีวัดรังสีพรอมต์แกมมา



รูปที่ 3.8 รูปถ่ายของระบบอาบรังสีที่ใช้ในการวิเคราะห์ในโตรเจน โดยวิธีวัดรังสีพร้อมคั่นกมมา



รูปที่ 3.9 รูปถ่ายท่อคอลลิเมเตอร์ของระบบอาบรังสีที่ใช้ในงานวิจัย (มองจากด้านบน)



3.3 การสร้างกราฟเปรียบเทียบและการทดลองหาปริมาณไนโตรเจนในสารละลาย

3.3.1 สร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสีฟรอมต์แกลมมาของไนโตรเจนกับความเข้มข้นของสารละลายยูเรียที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้สารละลายยูเรียที่มีความเข้มข้น (0.5-8) โมล/ลิตร หรือคิดเป็นไนโตรเจน 1.4-22.4 กรัมต่อ 100 มล. ปริมาตรอย่างละ 7 ลิตร นำไปทำการวัดรังสีฟรอมต์แกลมมาที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ นาน 4000 วินาที ผลการวิจัยแสดงไว้ในรูปที่ 4.13 ตารางที่ 4.7

3.3.2 ทดสอบการหาปริมาณไนโตรเจนในสารตัวอย่างต่าง ๆ ได้ทดลองวัดรังสีฟรอมต์แกลมมาจากสารตัวอย่างซึ่งทราบความเข้มข้นดังต่อไปนี้ ปุ๋ยสูตร 16-16-16, 15-15-15, 15-0-0, 15-4-24 นำมาละลายน้ำโดยมีความเข้มข้น 500 กรัม/ลิตร สารเคมีแอมโมเนียมซีเตรด ($C_6H_{14}N_2O_7$) มีน้ำหนักโมเลกุล 226.19 มีไนโตรเจน 12.39% นำมาละลายน้ำให้ได้ความเข้มข้น 180 กรัม/ลิตร คิดเป็นปริมาณไนโตรเจน 22.3 กรัม/1 ลิตร ผลการทดสอบการหาปริมาณไนโตรเจนแสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.14, 4.16

3.4 การทดลองตรวจสอบการมีอยู่ของสารประกอบไนโตรเจน

ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าได้มีการใช้วิธีการวัดรังสีฟรอมต์แกลมมาของไนโตรเจนในการตรวจสอบหาวัฏระเบิดในกระเป๋าสัมภาระในสนามบินบางแห่ง และเมื่อไม่นานมานี้ในปี 1990 Cheng-Jong Lee และคณะได้ทดลองตรวจสอบสารประกอบยูเรียที่บรรจุอยู่ในกระเป๋าสัมภาระด้วยเทคนิคเดียวกันนี้ โดยการใช้ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนแคลิฟอร์เนียม-252 40 ไมโครกรัม และเวลาวัดรังสี 1800 วินาที

ดังนั้น ในการวิจัยนี้จึงจัดทำการศึกษาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลของระบบวัดรังสีฟรอมต์แกลมมาของไนโตรเจนกับระบบการวัดรังสีฟรอมต์แกลมมาของ Cheng-Jong Lee โดยใช้สารยูเรียบรรจุในกระเป๋าสัมภาระ 1 กิโลกรัมและใช้เวลานับรังสี 1800 วินาที เท่ากันผลการทดสอบแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.7 และกราฟในรูปที่ 4.17