



ความเป็นมาของปัญหา

ไฮโดรเจน (H) เป็นธาตุอันดับแรกในตารางธาตุ มีมวล 1.00790 amu. โดยปกติจะอยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจน (H_2) หรือสารประกอบไฮโดรด์ เช่น น้ำ (Ordinary water; H_2O), ไฮโดรเจนคลอไรด์ (Hydrogenchloride; HCl), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogensulfide ; H_2S) เป็นต้น หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและอนุพันธ์ (Hydrocarbon and derivative) เช่น มีเทน (Methane ; CH_4), อีเทน (Ethane ; C_2H_4) คลอโรฟอร์ม (Chloroform ; $CHCl_3$) เป็นต้น

ในการหานั้นสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งทางเคมี คือ Combustion-tube method (CHN elemental analysis) และเทคนิคทางนิวเคลียร์ เนื่องจากเทคนิคทางเคมีโดยทั่วไปต้องใช้เวลา มีขั้นตอนที่ยุ่งยาก และเป็นวิธีวิเคราะห์แบบทำลายตัวอย่าง (destructive analysis) ซึ่งทำให้ไม่สามารถนำตัวอย่างเดิมกลับมาวิเคราะห์ใหม่อีกได้ จึงได้มีการนำเทคนิคทางนิวเคลียร์มาใช้ในการหาปริมาณไฮโดรเจน ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้หลักการหน่วงพลังงานของนิวตรอน (neutron moderation) เมื่อชนกับอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งเป็นการหาปริมาณไฮโดรเจนทางอ้อม (indirect method) ซึ่งมีข้อเสียคืออะตอมของธาตุอื่น ๆ ก็สามารถหน่วงพลังงานนิวตรอนได้เช่นกันถึงแม้ว่าจะไม่ตีเท่าไฮโดรเจน การนำไปใช้งานจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกับวัสดุตัวอย่างที่เหมาะสมจึงจะให้ผลถูกต้อง การใช้เทคนิคนิวตรอนแคปเจอร์พรอมต์แกมมา (neutron captured prompt gamma-ray techniques) เป็นการหาปริมาณไฮโดรเจนทางตรง (direct method) โดยอาศัยเทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron) เข้าทำปฏิกิริยากับอะตอมของไฮโดรเจน แล้วเกิดปฏิกิริยา คือ $^1H(n, \gamma)^2H$ ซึ่งจะปลดปล่อยรังสีพรอมต์แกมมา (prompt gamma-ray) ที่พลังงาน 2.223 MeV ออกมา สำหรับปฏิกิริยานี้มีค่าภาคตัดขวางของการดูดกลืนเทอร์มัลนิวตรอน (σ_a) เท่ากับ 332 mbarns.

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา และทดลองใช้เทคนิคการวัดรังสีพรอมต์แกมมา พลังงาน 2.223 MeV ที่เกิดจากปฏิกิริยา $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$ โดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทป (isotopic neutron source) และกราไฟต์เป็นตัวหน่วงพลังงานนิวตรอน (moderator) ในการหาไฮโดรเจนปริมาณสูงในสารบางชนิด

ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างระบบอาบริงสีนิวตรอน โดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทป ซึ่งมีกราไฟต์เป็นตัวหน่วงพลังงานนิวตรอน โดยใช้หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชัน (scintillation detector; NaI(Tl)) ในการวัดรังสีพรอมต์แกมมาพลังงาน 2.223 MeV ที่เกิดจากปฏิกิริยา $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$
2. ออกแบบและจัดระบบวัดรังสีพรอมต์แกมมา พลังงาน 2.223 MeV ที่เกิดจากปฏิกิริยา $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$
3. ศึกษาและวัดหาปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบบางชนิด เช่น น้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่างๆ และ ถ่านหิน พร้อมกับหาขีดจำกัดในการหาปริมาณไฮโดรเจนด้วยวิธีนิวตรอน แคปเจอร์พรอมต์แกมมา (neutron captured prompt gamma analysis)

ขั้นตอนการวิจัย

1. ค้นคว้ารวบรวมข้อมูล และศึกษาความเป็นไปได้ ในการหาปริมาณไฮโดรเจนด้วยวิธีต่างๆ
2. ศึกษาเทคนิคนิวตรอนแคปเจอร์พรอมต์แกมมา
3. ศึกษาออกแบบและสร้างระบบอาบริงสีนิวตรอน สำหรับต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทป
4. ปรับปรุง และจัดระบบวัดรังสีพรอมต์แกมมา ให้มีประสิทธิภาพ
5. ทดลองหาปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบบางชนิด เช่น น้ำชนิดหนักที่มีความเข้มข้นต่างๆ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ และ ถ่านหิน

6. เปรียบเทียบ และหาขีดจำกัดในการหาปริมาณไฮโดรเจน
7. สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลในทางปฏิบัติสำหรับการหาปริมาณไฮโดรเจน ด้วยวิธีนิวตรอนแคปเจอร์พร้อมดีแกมมาแอกติเวชัน ซึ่งมีข้อดีคือ

1. เป็นวิธีที่วิเคราะห์ได้รวดเร็ว แม่นยำ และมีความถูกต้อง
2. เป็นวิธีที่วิเคราะห์ได้โดยไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive method)
3. เป็นวิธีที่วิเคราะห์ได้โดยตรง (direct method) คือวัดรังสีพร้อมดีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมาจากไฮโดรเจนโดยตรง

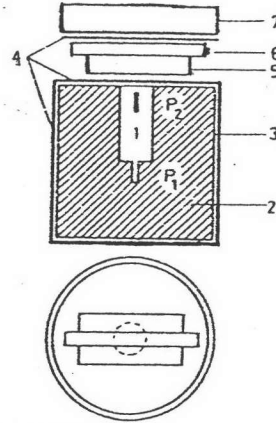
สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสำรวจงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้กระทำมาแล้ว

Wada (1974) ได้ทำการวัดปริมาณความชื้น และ ปริมาณไฮโดรเจน ในตัวอย่างขนาดเล็ก อาศัยหลักการหน่วงพลังงานอินเตอร์มีเดียตนิวตรอน (intermediate neutron moderation) โดยการวางตัวอย่างไว้บริเวณด้านบนของ neutron howitzer ซึ่งอยู่ระหว่างแผ่นแคดเมียม โดยจะใช้หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันนัล (proportional detector) ที่วางอยู่บนตัวอย่าง (ดังรูปที่ 1.1) ในการวัดปริมาณรังสีเทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron) ที่เกิดจากการหน่วงพลังงานอินเตอร์มีเดียตนิวตรอนของตัวอย่าง สำหรับต้นกำเนิดนิวตรอนที่ใช้คือ อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม-9 ความแรง 500 มิลลิวูรี โดยมีขีดจำกัดในการวัดความชื้นในแผ่นแอสเบสตอส (asbestos plate) ขนาด 10 x 20 x 1.8 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในเวลา 1 นาที เท่ากับ 0.5 % โดยน้ำหนัก และมีความถูกต้องในการวัด

ปริมาณไฮโดรเจนในสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่ประกอบด้วย 12 มิลลิกรัม ไฮโดรเจน/มิลลิลิตร เท่ากับ 0.9 % เจื่อนโซเดียวกัน

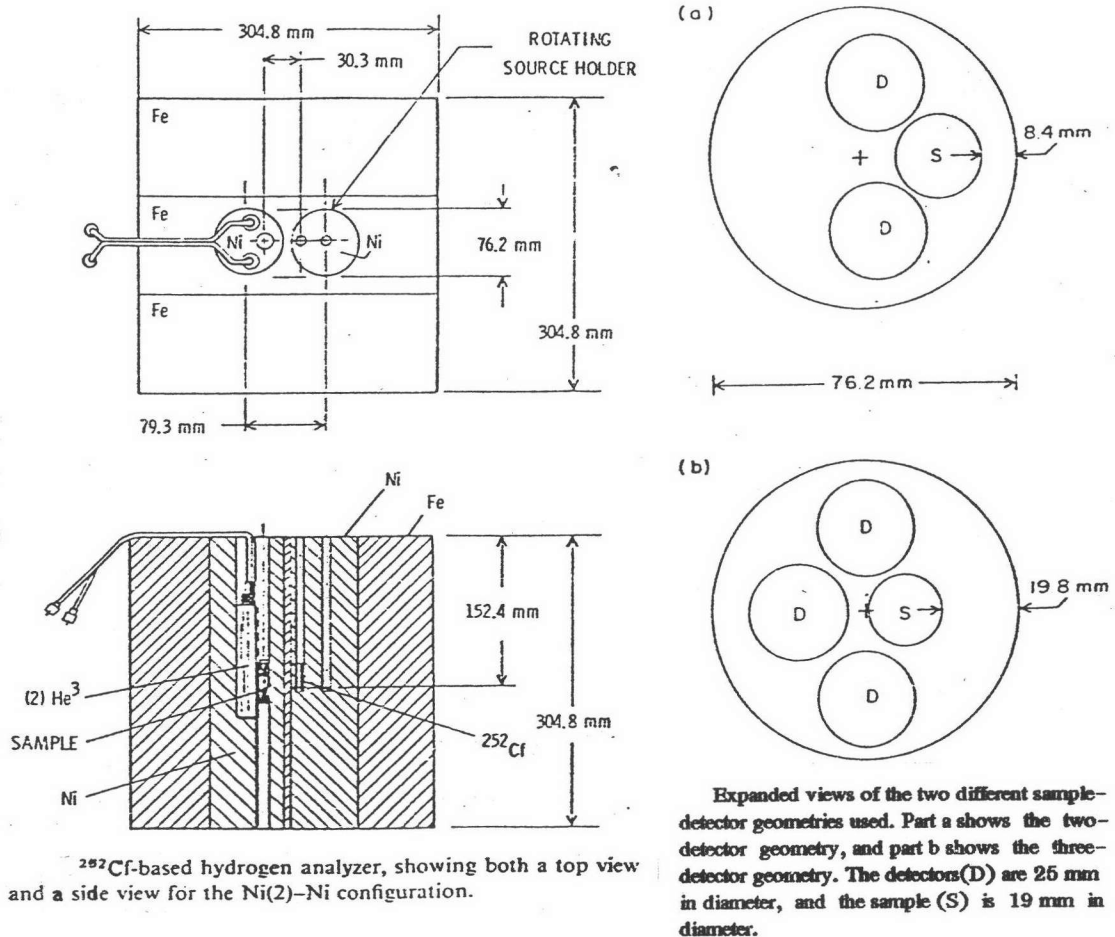


Experimental arrangement for measurement of moisture and/or hydrogen content. 1 - Am-Be neutron source ($1.2 \cdot 10^6 \text{ n} \cdot \text{sec}^{-1}$), 2 - paraffin moderator, 3 - aluminium can, 4 - cadmium sheet, 5 - sample cell ($10 \times 20 \times 3 \text{ cm}^3$, aluminium thickness 0.6 mm), 6 - ^3He proportional counter (10 atm), 7 - polyethylene reflector

รูปที่ 1.1 แผนผังอุปกรณ์วัดความชื้นและปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างขนาดเล็กของ

Wada (1974)

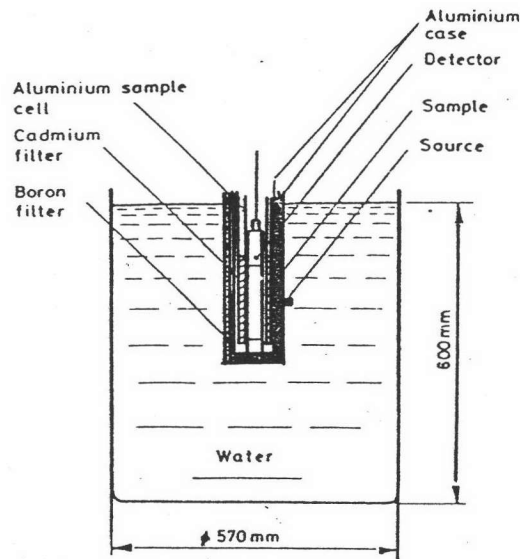
Close et al. (1976) วัดปริมาณไฮโดรเจนโดยอาศัยหลักการในการหน่วงพลังงาน ด้วยวิธีการชนแบบยืดหยุ่น (elastic collisions) ระหว่างอนุภาคนิวตรอนเร็วกับอะตอมของไฮโดรเจน ซึ่งประกอบด้วย ต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว ^{252}Cf ขนาด 30 ไมโครกรัม และใช้หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันนัลบรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3) ในการวัดนิวตรอนพลังงานต่ำ (ดังรูปที่ 1.2) พบว่าสำหรับการวัดนี้สามารถวัดปริมาณไฮโดรเจน ได้ต่ำสุดเพียง 6 ไมโครกรัม



รูปที่ 1.2 แผนผังอุปกรณ์วัดปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างขนาดเล็ก ที่ใช้ในงานวิจัยของ

Close et al. (1976)

Wada (1978) วัดปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างขนาดเล็ก และวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก (heavy water; D_2O) อาศัยหลักการห่วงพลังงานอินเตอร์มีเดียตนิวตรอน ซึ่งใช้โบรอนและแคดเมียม เป็นตัวกรอง (filter) นิวตรอนช้า ระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอน และช่องว่างสำหรับใส่ตัวอย่างและมีน้ำเป็นตัวห่วงพลังงาน โดยใช้หัววัดรังสีนิวตรอนแบบพรอพอร์ชันนัลบรรจุก๊าซโบรอน ไตรฟลูออไรด์ วางติดกับตัวอย่าง (ดังรูปที่ 1.3) เพื่อวัดปริมาณรังสีนิวตรอนที่เกิดจากการห่วงพลังงานอินเตอร์มีเดียตนิวตรอนของไฮโดรเจนในสารตัวอย่าง โดยปริมาณนิวตรอนที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณไฮโดรเจนในสารตัวอย่าง สำหรับต้นกำเนิดนิวตรอนที่ใช้คือ ^{252}Cf ขนาด 1.3 ไมโครกรัม โดยมีขีดจำกัดต่ำสุดในการวัดปริมาณไฮโดรเจนที่ 200 มิลลิลิตร ในระยะเวลาที่ใช้ับ 10 นาที หรือประมาณ 0.01 % โดยน้ำหนัก วิธีนี้สามารถใช้วัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก (D_2O) ได้ในช่วง 0-100 %

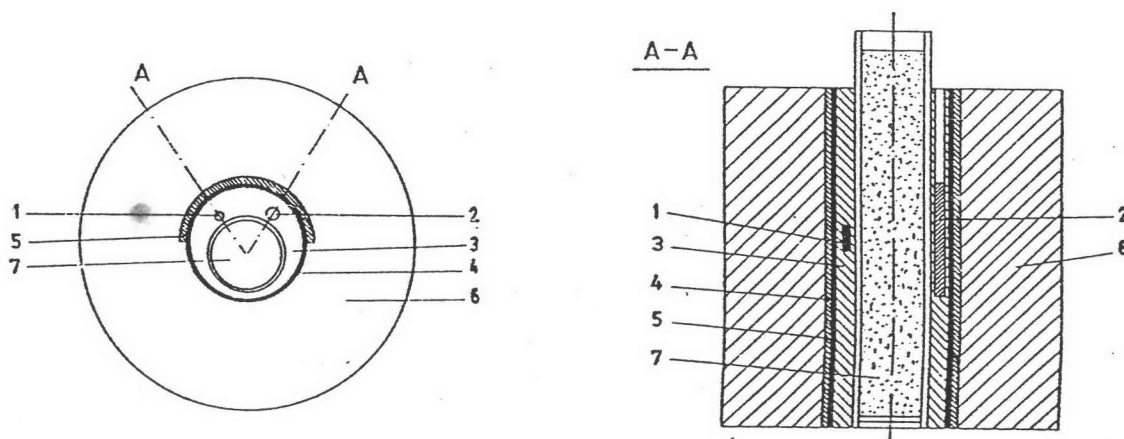


รูปที่ 1.3 แผนผังอุปกรณ์หาปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างขนาดเล็ก
ที่ใช้ในงานวิจัยของ Wada (1978)

Ladney et al. (1979) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของไนโตรเจน คาร์บอน และไฮโดรเจนในตัวอย่าง โดยอาศัยเทคนิคเทอร์มัลนิวตรอนพรอมต์แกมมา (thermal neutron prompt gamma-ray spectrometry) ซึ่งใช้นิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ พบว่าสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างขนาด 1 กรัม ที่ประกอบด้วยปริมาณของไนโตรเจนมากกว่า 500 ppm. คาร์บอนมากกว่า 10% และไฮโดรเจนมากกว่า 5 ppm.

เฉลิมเดช เฉลิมลาภอักษร (1987) พัฒนาระบบวัดความชื้น ใช้หลักการกระเจิงกลับของนิวตรอน โดยอาศัยการหน่วงพลังงานของนิวตรอนเร็วลงเมื่อชนกับนิวเคลียสของไฮโดรเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นปริมาณรังสีนิวตรอนช้าที่มีจึงขึ้นกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุนั้น ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างโปรบวัดความชื้นซึ่งประกอบด้วยต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม-9 ความแรง 1.11×10^9 เบคเคอเรล (30 มิลลิคูรี) และหัววัดนิวตรอนพลังงานต่ำแบบพรอพอร์ชันนัลที่บรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ ขนาด 2.5 เซนติเมตร ยาว 26.5 เซนติเมตร โปรบวัดเป็นแบบพื้นผิวขนาด 13 เซนติเมตร x 37 เซนติเมตร x 8 เซนติเมตร น้ำหนัก 2.73 กิโลกรัม ใช้กับเครื่องนับรังสีแบบกระเป๋าทัวทำการทดลองกับวัสดุ 2 ชนิด คือ อิฐมอญ และ ดินลูกรัง พบว่าความชื้นของอิฐมอญ อยู่ในช่วง 3 - 37 % และในดินลูกรัง อยู่ในช่วง 5 - 14 %

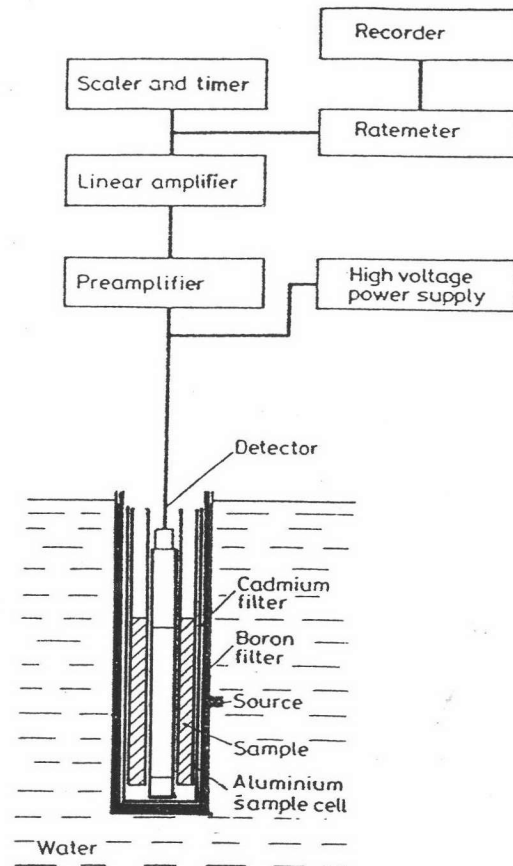
Ciechanowski et al. (1988) ได้ทำการวัดปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนในสารละลายที่ไหลผ่านท่อ โดยอาศัยเทคนิคการหน่วงพลังงาน (thermalization) และการกระเจิง (scatter) ของนิวตรอนพลังงานปานกลาง จากต้นกำเนิดนิวตรอน พลูโทเนียม-238/เบริลเลียม-9 ที่ 5×10^6 นิวตรอนต่อวินาที และใช้หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันนัลที่บรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ในการวัดนิวตรอนช้า (ดังรูปที่ 1.4) พบว่าสามารถวัดได้ถึงความเข้มข้นของ H_2SO_4 อยู่ในช่วง 80 ถึง 100 wt% โดยมีค่าความถูกต้องน้อยกว่า 0.5 %



Experimental arrangement. 1—neutron source; 2— BF_3 -filled proportional counter; 3—steel reflector; 4—cadmium tube; 5—paraffin wax + boric acid; 6—paraffin wax; 7—sample contained in a Teflon tube.

รูปที่ 1.4 แผนผังการจัดอุปกรณ์วัดปริมาณ H_2SO_4 โดยวิจัยการหน่วงพลังงานและการกระเจิงกลับของนิวตรอนพลังงานปานกลาง ของ Ciechanowski et al. (1988)

Wada (1989) วัดปริมาณน้ำหนัก (Heavy water; D_2O) อาศัยการหน่วงพลังงาน (moderation) อินเตอร์มีเดียตนิวตรอน (intermediate neutron) ^{252}Cf ขนาด 1.6 ไมโครกรัม เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน และใช้หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันนัล (proportional detector; BF_3) ในการวัดนิวตรอน (ดังรูปที่ 1.5) โดยมีความแม่นยำในการวัดตัวอย่างขนาด 500 มิลลิลิตร เท่ากับ ± 0.02 mol% ซึ่งมีช่วงความเข้มข้นประมาณ 0 ถึง 100 mol% ในระยะเวลาการนับรังสี 2 ถึง 10 นาที โดยการประเมินประสิทธิภาพของระบบนี้จะเป็นการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 1.5 แผนผังอุปกรณ์หาปริมาณน้ำชนิดหนักที่ใช้ในงานวิจัยของ Wada (1988)

Yuren et al. (1991) ได้ทำการศึกษาถึงความผิดพลาดในการวัดความเข้มข้นของ Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , และ SiO_2 ของขบวนการผลิตอลูมิเนียม ด้วยวิธีนิวตรอนพรอมต์แกมมา แอคติเวชัน โดยในระบบการอบรังสีนิวตรอนประกอบด้วยต้นกำเนิดนิวตรอนซึ่งเป็น ^{252}Cf ขนาด 100-200 ไมโครกรัม ซึ่งบรรจุอยู่ในท่อเหล็กที่สามารถสอดเข้าในท่อที่ใช้วิเคราะห์ในขณะทำการอบรังสีนิวตรอน รวมถึงท่อเหล็กนี้สามารถยกระดับขึ้นไว้บริเวณตรงกลางของภาชนะที่ใช้กำบังรังสีได้ในขณะไม่ได้ทำการอบรังสีนิวตรอน สำหรับระบบวัดรังสีพรอมต์แกมมาได้ใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ (semiconductor detector ; HPGe detector) ร่วมกับเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (Multichannel spectrometer) ในการวัดรังสีพรอมต์แกมมา (ดังรูปที่ 1.6) ซึ่งระหว่างต้นกำเนิดรังสี และหัววัดรังสีแกมมา จะประกอบด้วย บิหมัส ซึ่งใช้เป็นตัวนำพลังงานนิวตรอน และ แคดเมียม

ในการป้องกันรังสีแกมมา และรังสีนิวตรอนจากต้นกำเนิดรังสีมาถึงหัววัดโดยตรง จากระบบนี้พบว่าสามารถวิเคราะห์หาช่วงในการวัดได้ ดังตารางที่ 1.1

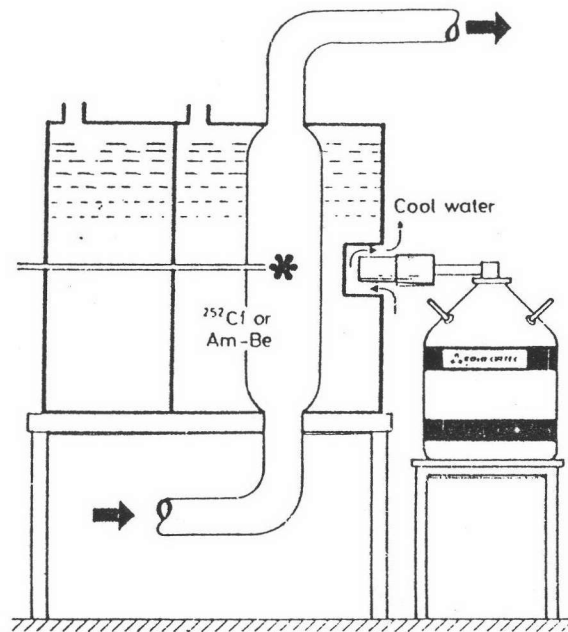
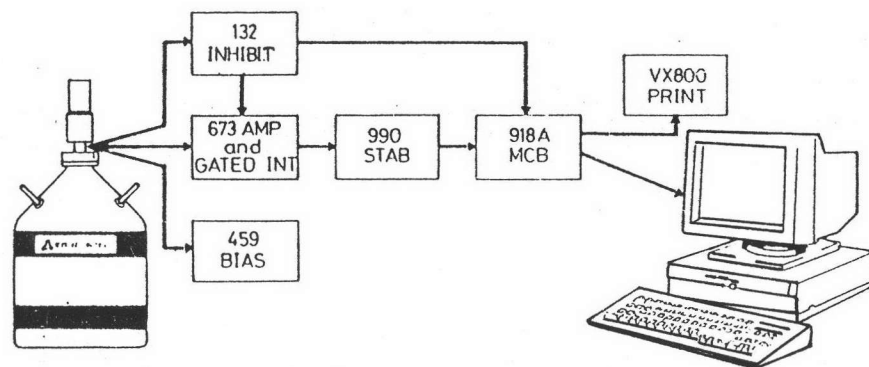


Diagram of on-line measurement assembly



รูปที่ 1.6 แผนผังการวัดปริมาณของธาตุต่างๆ ด้วยวิธีนิวตรอนพร้อมแกมมาแอกติเวชัน
ที่ใช้ในงานวิจัยของ Yuren et al. (1991)

ตารางที่ 1.1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ (Yuren, 1991)

Oxide	Concentration range %	Measurement error %
Al ₂ O ₃	10 - 40	± 0.3
Fe ₂ O ₃	1 - 10	± 0.1
CaO	10 - 30	± 0.4
SiO ₂	5 - 20	± 0.4
Na ₂ O	10 - 30	± 0.4
TiO ₂	< 5.5	± 0.2
H ₂ O	10 - 100	± 0.5

อุทิศ ทองกลิ้ง (1992) วัดปริมาณความชื้นในวัสดุก่อสร้างบางชนิด ด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มัลนิวตรอน (epithermal neutron transmission) จากต้นกำเนิดนิวตรอนอะเมริเซียม-241/เบริลเลียม-9 ความแรง 3.33 กิกะเบคเคอเรล (90 มิลลิวูรี) ที่บรรจุไว้ในพาราฟินตันขนาด 30 x 30 x 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งใช้เป็นตัวนำพลังงานของนิวตรอนโดยมีแผ่นแคดเมียม และแผ่นยางผสมโบรอนเป็นตัวจับนิวตรอนช้าไว้ เพื่อให้เหลือเพียงเอพิเทอร์มัลนิวตรอนผ่านไปถึงตัวอย่าง นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาผลของตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนและขนาดของหลุมที่เจาะให้นิวตรอนช้าออกมาจากพาราฟินตันที่มีต่อความชื้นของนิวตรอนช้า ผลการเปรียบเทียบความไวในการวัดรังสีนิวตรอนช้าพบว่า หัววัดฮีเลียม-3 ที่บรรจุก๊าซที่มีความดัน 15,200 มิลลิเมตรของปรอท ซึ่งมีความไวสูงกว่าหัววัดโบรอนไตรฟลูออไรด์ที่บรรจุก๊าซที่มีความดัน 700 มิลลิเมตรของปรอท ที่มีขนาดเท่ากัน ประมาณ 14 เท่า ในการทดลองหาปริมาณความชื้นของวัสดุก่อสร้างบางชนิด พบว่าสำหรับแผ่นไม้อัดที่มีความหนา 10, 15, 20 มิลลิเมตร ที่มีความชื้นในช่วงร้อยละ 7 ถึง 15 มีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 1.04, 1.26 และ 1.30 ตามลำดับ ส่วนกระเบื้องซีเมนต์โยหินแผ่นเรียบหนา 4 มิลลิเมตร ที่มีความชื้นร้อยละ 9 ถึง 15 มีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 1.23 และ 1.74 ตามลำดับ

ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล และ นเรศร์ จันทน์ขาว, (1993) ได้ทดลองวัดปริมาณความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักในช่วงร้อยละ 0 ถึง 100 โดยโมล โดยการใช้นิวตรอนพลังงานปานกลาง และนิวตรอนเร็ว (fast neutron) จากต้นกำเนิดนิวตรอน อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม-9 ความแรง 1.11 กิกะเบคเคอเรล จำนวน 3 ตัว ซึ่งถูกห่อหุ้มพลังงานลงก่อนด้วยโพลีเอทิลีน แล้วใช้แผ่นแคดเมียมและโบรอน กรองนิวตรอนช้าออกไป เพื่อให้เหลือแต่นิวตรอนพลังงานปานกลาง ผ่านไปถึงตัวอย่างโดยใช้หัววัดรังสีนิวตรอนช้า (NE905 glass scintillator) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร เป็นตัววัดรังสีนิวตรอน ผลการวิจัยพบว่าความเข้มข้นของนิวตรอนช้าลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักเพิ่มขึ้น และมีความเที่ยงตรงในการวัดอยู่ที่ \pm ร้อยละ 0.5 โดยโมล (2σ) สำหรับเวลาในการนับรังสี 1000 วินาที