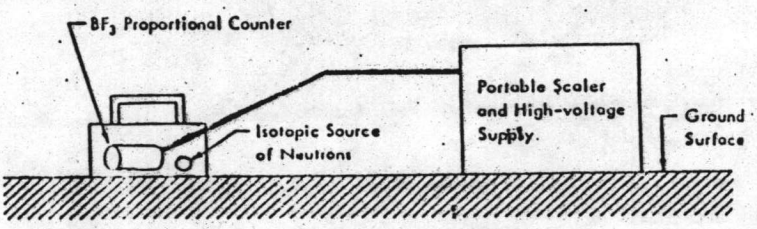
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

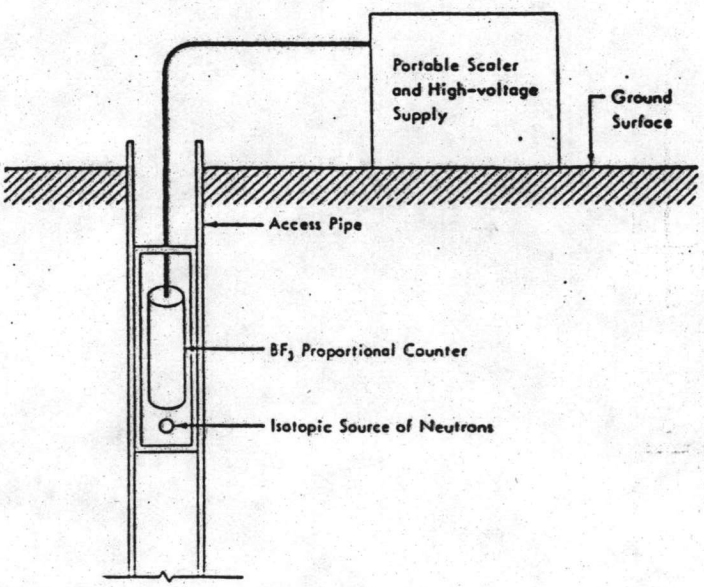
การวัดความชื้นด้วยนิวตรอน

3.1 การจัดอุปกรณ์วัดความชื้น

อุปกรณ์วัดความชื้นด้วยนิวตรอน ประกอบด้วย ต้นกำเนิดนิวตรอนเร็วและหัววัดนิวตรอนสำหรับวัดความเข้มนิวตรอน อุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่มีการออกแบบต่างๆกัน มีทั้งแบบที่ใช้สำหรับวัดความชื้นบริเวณพื้นผิว (surface moisture gauge) และแบบที่ใช้สำหรับวัดความชื้นในระดับลึก (subsurface moisture gauge) ดังที่แสดงไว้ในรูป 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ (3)



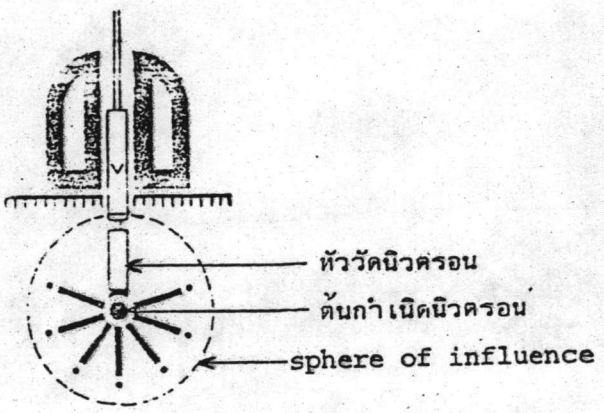
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงอุปกรณ์วัดความชื้นบริเวณพื้นผิว



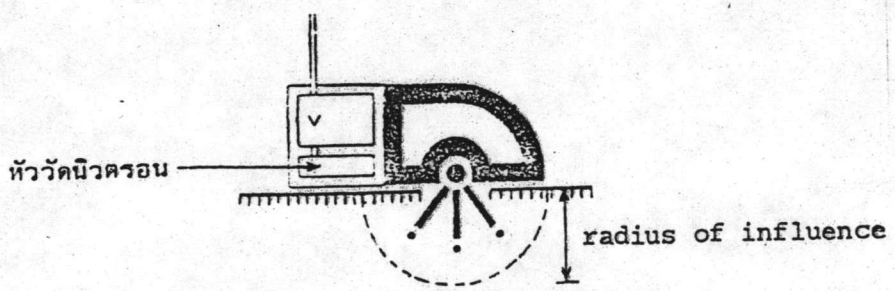
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงอุปกรณ์วัดความชื้นในระดับลึก

3.2 <u>ความหนาและพื้นที่วิกฤต</u> (1,13)

อนุภาคนิวตรอนจะกระจายออกจากต้นกำเนิดในทุกทิศทุกทาง ความเข้มของนิวตรอนที่บริเวณต้นกำเนิดและบริเวณใกล้เคียงที่เวลาใดๆ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาตรของวัสดุที่อยู่ในบริเวณรอบๆต้นกำเนิด ถ้าค่อยๆเพิ่มปริมาตรของวัสดุรอบๆต้นกำเนิดขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่าหนึ่ง ความเข้มของนิวตรอนจะมีค่าสูงสุดและไม่เพิ่มขึ้นอีก ปริมาตรของวัสดุที่น้อยที่สุดในรูปของทรงกลมที่อยู่รอบต้นกำเนิดซึ่งให้ค่าความเข้มของนิวตรอนสูงสุดเรียกว่า "พื้นที่วิกฤต" และเรียกรัศมีของทรงกลมว่า "ความหนาวิกฤต" ดังนั้นถ้าในกรณีที่เอาวัสดุนอกบริเวณพื้นที่วิกฤตออก จะไม่มีผลต่อความเข้มของนิวตรอนบริเวณต้นกำเนิดและบริเวณใกล้เคียง



(ก) หัววัดความชื้นระดับลึก



(ข) หัววัดความชื้นบริเวณพื้นผิว

รูป 3.3 แผนภาพแสดง Sphere of Influence และ Radius of Influence ของอุปกรณ์วัดความชื้นระดับลึกและพื้นผิว(1)

ในการวัดความชื้นด้วยนิวตรอน ตัวอย่างต้องมีปริมาตรอย่างน้อยเท่ากับรูปทรงกลมที่มีขนาดเท่ากับ sphere of influence สำหรับอุปกรณ์วัดความชื้นระดับลึก ดังแสดงไว้ในแผนภาพในรูป 3.3 (ก) ซึ่งหมายความว่า ในการวัดความชื้นในดินจะต้องหย่อนหัววัดความชื้นลงไปในดินอย่างน้อยเท่ากับ radius of influence สำหรับอุปกรณ์วัดความชื้นบริเวณพื้นผิวตัวอย่างจะต้องมีความหนาอย่างน้อยเท่ากับ radius of influence ดังแสดงในรูป 3.3 (ข)

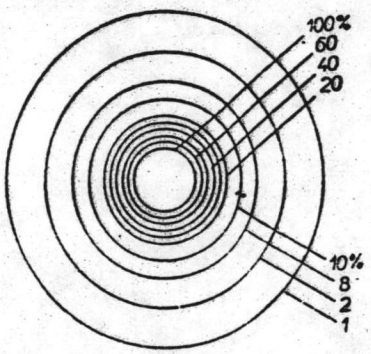
ถ้าในน้ำบริสุทธิ์ ปริมาตรของ sphere of influence มีรัศมีเท่ากับ 15 เซนติเมตร (1,3,14) และรัศมีของ sphere of influence ของวัสดุอื่นๆ มีความสัมพันธ์กับปริมาตรน้ำดังนี้

$$R = 15\ (100/V_w)^{1/3} \qquad \text{.....(3.1)}$$

เมื่อ R เป็นรัศมีของ sphere of influence มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

V_w เป็นร้อยละของน้ำโดยปริมาตร

จากความสัมพันธ์ตามสมการ (3.1) แสดงว่าค่า radius of influence มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นมีค่าน้อยลง ดังแสดงในรูป (3.4) (14)



รูปที่ 3.4 ภาคตัดขวางของเส้นผ่าศูนย์กลางสำหรับการวัดปริมาณความชื้นต่างๆกัน (มาตรส่วน 1:30)

3.3 <u>การปรับเทียบเครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน</u>

ในการวัดความชื้นด้วยนิวตรอน โดยหลักการที่กล่าวแล้ว คือการวัดปริมาณนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้น ถ้าเกิดขึ้นมากแสดงว่าตัวอย่างที่วัดมีความชื้นมาก จำเป็นต้องทราบว่าปริมาณนิวตรอนเท่าใดหมายถึงความชื้นเท่าใด ซึ่งหมายความว่าจะต้องมีตารางหรือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณนิวตรอนและความชื้น

เนื่องจากค่าที่อ่านได้จากเครื่องจะเป็นจำนวนนับ ซึ่งจะต้องปรับเทียบเพื่อเปลี่ยนเป็นค่าของความชื้นได้ ค่าความชื้นที่ใช้กันมีทั้งที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุตัวอย่าง ต่อจำนวนน้ำหนัก (percent by weight) และต่อจำนวนปริมาตร (percent by volume) การทำการปรับเทียบทำได้ด้วยการเก็บตัวอย่างที่ต้องการในภาคสนาม หรือเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ แล้วหาค่าปริมาณความชื้นได้โดยนำไปอบที่อุณหภูมิ

105°C เป็นเวลา 15-24 ชั่วโมง(ตามมาตรฐานทั้งของประเทศสหรัฐอเมริกา,อังกฤษ,เยอรมัน และญี่ปุ่นที่ปรากฏในภาคผนวก ช,ซ,ฌ และ ญ ตามลำดับ) ก่อนการอบวัสดุตัวอย่างก็ใช้อุปกรณ์วัดความชื้นวัดจำนวนนับของรังสีนิวตรอน ก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับจำนวนนับรังสีนิวตรอนหนึ่งจุด กระทำซ้ำกันอย่างนี้จนกว่าจะได้ปริมาณความชื้นที่ต้องการตั้งแต่ต่ำสุดถึงสูงสุด ส่วนวิธีปฏิบัติการในการลดหรือเพิ่มปริมาณความชื้นให้ได้ตามต้องการนั้น ก็จะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชิ้นวัสดุที่ต้องการหา เช่น ก้อนอิฐมอญก็จะใช้วิธีผึ่งแดดค่อยๆไล่น้ำออกจากตัวก้อนอิฐ ดินจะบรรจุใส่ถังและผสมน้ำให้มีความชื้นที่ต้องการ เป็นต้น

นำความสัมพันธ์ของทั้งปริมาณความชื้นกับจำนวนนับรังสีนิวตรอนที่จุดต่างๆมาเขียนกราฟ จะได้กราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ทั้งสองที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที เมื่อต้องการทราบปริมาณความชื้นของวัสดุใดก็เพียงแต่นำอุปกรณ์วัดความชื้นไปวัดที่วัสดุตัวอย่างที่ต้องการทราบจะได้จำนวนนับรังสีนิวตรอนค่าหนึ่ง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกราฟปรับเทียบเฉพาะแต่ละวัสดุ ก็สามารถทราบปริมาณความชื้นที่ต้องการได้ทันที

3.4 ความคลาดเคลื่อน

ความคลาดเคลื่อนในการวัดความชื้นด้วยนิวตรอนแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

3.4.1 ความคลาดเคลื่อนจากลักษณะของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

ความหนาแน่นของตัวอย่างจะมีผลกระทบเล็กน้อย ซึ่งหมายความว่าการปรับเทียบที่ทำไว้สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาแน่นค่าหนึ่ง เมื่อนำไปใช้กับตัวอย่างที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันออกไป อาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนในค่าของความชื้นได้บ้าง แต่ความคลาดเคลื่อนนี้ไม่มากนัก (12)

นอกจากความหนาแน่นแล้ว ธาตุบางชนิดในส่วนประกอบของตัวอย่างอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้เช่นกัน ธาตุที่สำคัญคือ โบรอน และคลอรีน โดยเฉพาะโบรอนเพียง 10 ppm (หนึ่งส่วนในล้านส่วน) หรือเกลือโซเดียมคลอไรด์เพียง 10 มิลลิกรัม/ลบ.ซม. อาจทำให้คลาดเคลื่อน 3-4 % ของความชื้นโดยปริมาตร (12)

3.4.2 ความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์

เครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอนอาจทำให้ผลคลาดเคลื่อนได้ 3 ประการ คือ

3.4.2.1 ความไม่คงที่ของระบบอิเล็กทรอนิคส์

ระบบอิเล็กทรอนิคส์ในปัจจุบันได้ก้าวหน้าไปมากและมีความคงที่ดี แต่การใช้งาน เพื่อความแน่ใจควรมีการทดสอบเป็นประจำ สำหรับเครื่องวัดความชื้น วิธีทดสอบที่สะดวกที่สุดคือ ทดสอบหัววัดกับแผ่นทดสอบซึ่งอาจทำขึ้นจากพาราฟินหรือขี้ผึ้ง โดยเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ ค่าที่อ่านได้จากแผ่นทดสอบจะช่วยให้ผู้ใช้ทราบได้ว่าอุปกรณ์ยังทำงานปกติหรือไม่ นอกจากนั้นตัวเลขนี้ยังนำมาใช้ช่วยให้การวัดแม่นยำยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น วัดความชื้นที่จุด ก. เครื่องอ่านได้ 8000 จำนวนนับต่อ 1 นาที และทดสอบกับแผ่นทดสอบได้ 4000 จำนวนนับต่อ 1 นาที จากนั้นก็ไปวัดความชื้นที่จุด ข. เครื่องอ่านได้ 8000 จำนวนนับต่อ 1 นาที และทดสอบกับแผ่นทดสอบได้ 3500 จำนวนนับต่อ 1 นาที แสดงว่าจุด ข. ชื้นกว่าจุด ก. เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องลดลงเล็กน้อย ถ้าเครื่องยังปกติอยู่ควรจะวัดความชื้นที่จุด ข. ได้ 8000×4000/3500 =

9150 จำนวนนับต่อ 1 นาที

3.4.2.2 ธรรมชาติของการแผ่รังสี

ธรรมชาติของการแผ่รังสีจากสารกัมมันตรังสีมีลักษณะไม่คงที่ คือมีลักษณะเป็นทางสถิติ ทำให้เกิดผลว่าถ้าทดลองวัดของสิ่งเดียวกัน ในสภาพเดียวกันซ้ำๆหลายครั้งจะได้ค่าที่แตกต่างบ้าง ความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุนี้ถ้าคิดเป็นร้อยละจะลดลงถ้าใช้เวลานับรังสีนานขึ้น เช่นในการวัดความชื้น ณ จุดหนึ่ง ถ้าตั้งเครื่องให้ทำงาน 1 นาที จะวัดได้ 3000 cpm (counts per minute, จำนวนนับรังสีต่อนาที) ถ้าใช้เวลานับนานขึ้นเพื่อให้ได้ค่าตัวเลขมากขึ้นเช่น 4นาทีจะวัดได้ 13000 cpm ถือว่า 13000/4 = 3250 cpm เป็นค่าที่ถูกต้องกว่า 3000cpm

3.4.2.3 หัววัดนิวตรอน (15,16)

ผลของความยาวของหัววัดนิวตรอน โดยเฉพาะพรอพอชันแนลโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3-Proportional) จะมีผลต่อความไวในการวัด ถ้าความยาวของหัววัดยิ่งยาวมากความไวก็จะลดลง จำนวนฟลักซ์นิวตรอนก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย แต่จะเป็นผลดีต่อความหนาแน่นคือทำให้อัตราการนับยาวขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นก็จะสูงขึ้นด้วย

นอกจากนั้นความไวยังขึ้นกับความดันก๊าซซึ่งบรรจุภายในหัววัดและความต่างศักย์ที่ให้กับหัววัดด้วย ประสิทธิภาพการวัดอาจลดลงถ้าเลือกขนาดความดันก๊าซและความต่างศักย์ที่ไม่เหมาะสมกับหัววัด

3.4.3 ความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งของโปรบกับตัวอย่างที่ทดสอบระหว่างการวัด

ตำแหน่งของโปรบวัดความชื้นกับตัวอย่างวัสดุที่จะวัดและการปรับเทียบ พื้นผิวของตัวอย่างจึงมีความสำคัญต่อการวัด ตำแหน่งของหัววัดที่วางบนตัวอย่างในกรณีที่ต้องการตรวจสอบซ้ำควรจะวางตำแหน่งเดิม หัววัดควรอยู่กลางของภาชนะที่ใส่ตัวอย่าง มิฉะนั้นผนังของภาชนะอาจมีผลกระทบ และปริมาตรของ sphere of influence อาจครอบคลุมได้ไม่หมด

3.5 <u>หัววัดนิวตรอนช้า</u>(15,16)

หัววัดนิวตรอนช้าที่นิยมใช้กันมากเป็นหัววัดพรอพอชันแนลโบรอนไตรฟลูออไรด์(BF_3-Proportional counter) หรือบางทีเรียกย่อๆว่า หัววัด BF_3 (BF_3-Counter) ซึ่งเป็นหัววัดที่บรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3 , Boron trifluoride) โดยบรรจุโบรอน-10 (^{10}B) ประมาณ 96% แรงดันประมาณ 12 ทอร์ (torr) ตัวหัววัดมักจะเป็นรูปทรงกระบอก ตัวหัววัดที่ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟลบอาจทำด้วยทองเหลืองหรือ อลูมิเนียม ดังแสดงในรูป 3.5(7) ซึ่งแสดงส่วนที่สำคัญของหัววัด

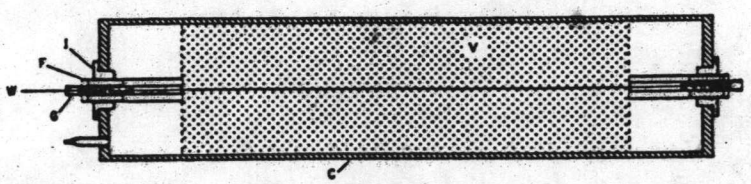
หัววัด BF_3 ใช้วัดนิวตรอนช้า โดยอาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์กับโบรอน-10 ดังสมการ

$$^{10}B_5 + {}^1n_0 \text{ -------> } {}^7Li_3 + {}^4He_2 \quad 2.792 \text{ MeV (ground state)}$$

$$^{7}Li_3^{*} + {}^4He_2 \quad 2.310 \text{ MeV (exited state)}$$

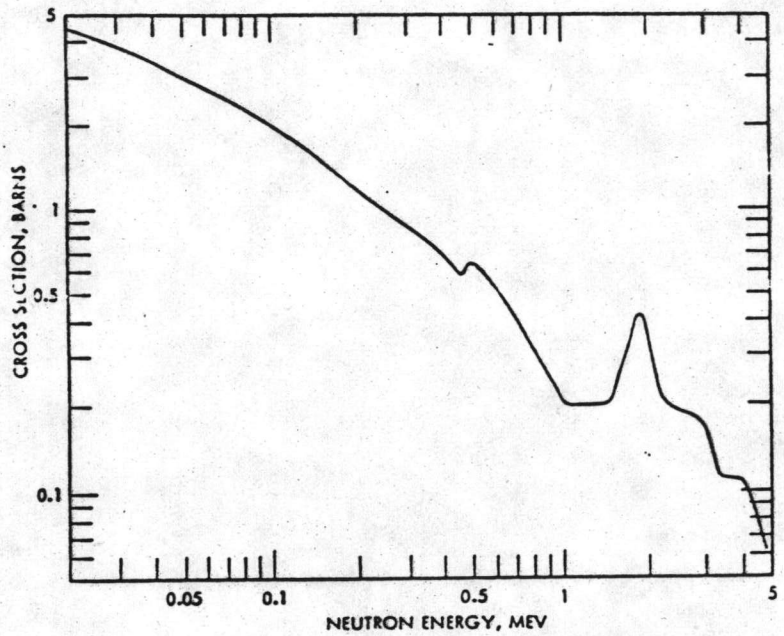
ซึ่งเกิดภายในหลอดวัด ค่าภาคตัดขวางของปฏิกิริยานี้เป็นไปตามกฎ 1/v เมื่อ v เป็นความเร็วของนิวตรอน ดังนั้นหลอด BF_3 จึงเหมาะสำหรับใช้วัดนิวตรอนที่มีพลังงานต่ำ ค่าภาคตัดขวางสำหรับนิวตรอนช้ามีค่า 384 บาร์น กราฟรูป 3.1 แสดงถึงกราฟระหว่างภาคตัดขวางกับพลังงานสำหรับปฏิกิริยา $^{10}B(n,\alpha)^7Li$ ซึ่งจะพบว่าค่าภาคตัดขวางจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้น จะเป็นสัดส่วนตามแบบ 1/v

สำหรับประสิทธิภาพของหัววัดซึ่งมีขนาดยาวประมาณ 15 เซนติเมตร จะมีค่าประมาณ 22-25 % ประสิทธิภาพของหัววัดจะลดลงเมื่อความยาวของหัววัดเพิ่มขึ้น



รูป 3.5 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของหัววัดนิวตรอนช้าชนิดหลอด BF_3

F—field tube. V—sensitive volume. W—center wire.
G—guard tube. I—insulation.



รูป 3.6 กราฟแสดงระหว่างภาคตัดขวางกับพลังงานสำหรับปฏิกิริยา $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$