บทที่ 3

เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน/รังสีแกมมา

เทคนิคนิวตรอน (Neutron technique) เป็นเทคนิคนิวเคลียร์ที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดปริมาณของไฮโดรเจน และวัสดุหรือองค์ประกอบที่มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักเช่น การใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนและรังสีแกมมาในการวัดปริมาณไขมันในเนื้อสัตว์ [18] การวัดปริมาณความชื้นและความหนาแน่นในดิน [19] การวัดความชื้นของแป้งมันสำปะหลัง [20] การใช้เทคนิคการหน่วงนิวตรอนในการวัดความชื้นและปริมาณของไฮโดรเจน [21] การวัดปริมาณของไฮโดรเจนความเข้มข้นต่ำในตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก [22] การวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนัก [23, 24] และการใช้เทคนิคการกระเจิงนิวตรอนในการหาความชื้นในดิน [25] และวัสดุก่อสร้างบางชนิด [26] เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทนเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็วเนื่องจากเอพิเทอร์มาลนิวตรอนใช้จำนวนครั้งในการชนกับนิวเคลียสของตัวกลางแล้วกลายเป็นนิวตรอนช้าน้อยกว่านิวตรอนเร็ว ทำให้สามารถลดขนาดของตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดลงได้ และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดสำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณไฮโดรเจนต่ำ เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาร่วมกับการส่งผ่านนิวตรอนได้ถูกพัฒนาขึ้น เนื่องจากเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาสามารถใช้วัดความหนาของตัวอย่างได้จึงนำมาช่วยปรับแก้ค่าความหนาของตัวอย่างที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมายังมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่นๆ ดังนี้คือเป็นเทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลายตัวอย่างและไม่ต้องมีอุปกรณ์ใดๆ สัมผัสกับตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างปริมาณไม่มาก สะดวกรวดเร็ว และมีความถูกต้องสูง แต่ยังไม่มีผู้ใดนำมาใช้ในการวัดปริมาณไขมันในเนื้อสัตว์

3.1 หลักการวัดปริมาณไฮโดรเจนด้วยเทคนิคนิวตรอน

เทคนิคนิวตรอนที่นิยมใช้ในการวัดปริมาณของไฮโดรเจนในตัวอย่างมี 2 วิธีคือ ใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนช้าและการใช้เทคนิคการหน่วงพลังงานของนิวตรอนเร็ว การใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนช้านั้นแหล่งกำเนิดนิวตรอนจำเป็นต้องมีฟลักซ์สูงเพื่อให้ผลการทดลองมีความถูกต้องสูงภายในเวลาที่ยอมรับได้เนื่องจากเทคนิคนี้มีความไวไม่สูงมากนัก ในขณะที่เทคนิคการหน่วงพลังงานของนิวตรอนเร็วจะใช้ได้ดีเมื่อตัวอย่างมีขนาดใหญ่และมีปริมาณของไฮโดรเจนอยู่

ค่อนข้างสูง เทคนิคนี้ไม่สามารถใช้หาปริมาณของไฮโดรเจนในกรณีที่ตัวอย่างมีขนาดเล็กได้เนื่องจากต้องการตัวอย่างที่มีปริมาณมากพอสำหรับการหน่วงพลังงานของนิวตรอนเร็ว

เทคนิคนิวตรอนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณของไฮโดรเจนในตัวอย่างได้ เนื่องจากอนุภาคนิวตรอนจะสูญเสียพลังงานมากที่สุดเมื่อชนกับนิวเคลียสของไฮโดรเจน เนื่องจากมวลของนิวตรอนมีค่าใกล้เคียงกับมวลของไฮโดรเจน นอกจากนั้นค่าพารามิเตอร์ของการชน (collision parameter) และค่าสโลวิงดาวน์-เพาเวอร์ (slowing down power) ต่อหน่วยมวลของไฮโดรเจนยังมีค่าสูงกว่าธาตุอื่น ๆ ดังนั้นการชนของนิวตรอนกับโมเลกุลของไฮโดรเจนจะทำให้นิวตรอนลดพลังงานลงได้เร็วกว่าการชนกับโมเลกุลของธาตุอื่น ๆ ดังจะเห็นได้จากจำนวนครั้งของการชนที่ทำให้นิวตรอนพลังงาน 4 MeV และ 100 eV ลดพลังงานเป็นเทอร์มาลนิวตรอนที่มีพลังงาน 0.0253 eV ของไฮโดรเจนจะน้อยกว่าของธาตุอื่น ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติบางประการของธาตุบางชนิดที่ใช้ในการลดพลังงานของนิวตรอน

Element	Average logarithmic energy decrement (ξ)	Macroscopic absorption cross section at 0.0253 eV barn (σ_a)	Macroscopic scattering cross section at 100 eV barn (σ_s)	Slowing-down Power barn ($\xi\sigma_s$)	Ratio of Slowing-down Power per unit mass	Average number of collisions necessary for thermallization	
						4 MeV to 0.0253 eV	100 eV to 0.0253 eV
H	1.000	0.332	20	20	20	19	8
C	0.158	0.0034	4.6	0.016	0.001	120	53
O	0.120	< 0.0002	3.8	0.456	0.029	159	70
Mg	0.080	0.063	3.5	0.280	0.012	238	105
Si	0.070	0.16	2.5	0.175	0.006	272	120
Fe	0.035	0.16	13	0.455	0.012	545	239
Ni	0.032	2.53	17	0.544	0.008	596	262

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของการชนกับนิวตรอนของธาตุบางชนิด

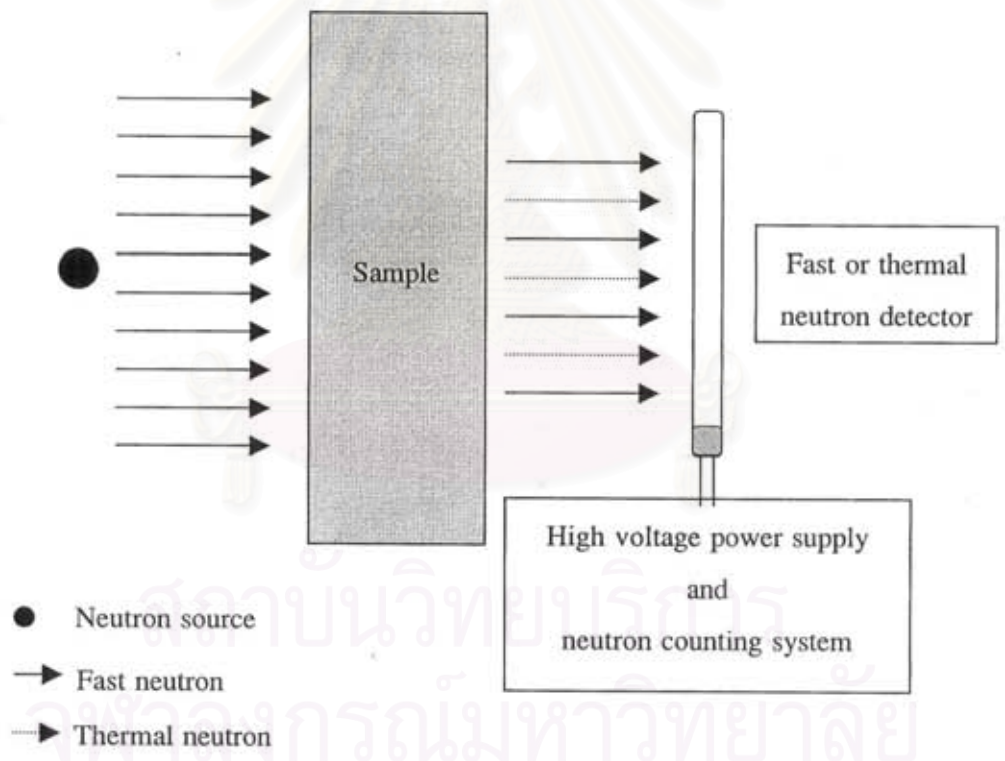
นิวเคลียส	เลขมวล	พารามิเตอร์ของการชน (α)	slowing-down factor ($\xi\sigma_s$)	จำนวนครั้งของการชนเฉลี่ยสำหรับการลดพลังงานจาก 1 MeV เป็น 0.0253 eV
ไฮโดรเจน (H)	1	0	1.000	18
น้ำ (H_2O)	*	*	0.920[a]	19
ดิวทีเรียม (D)	2	0.111	0.725	54
น้ำชนิดหนัก (D_2O)	*	*	0.509[a]	34
เบริลเลียม (Be)	9	0.640	0.209	84
คาร์บอน (C)	12	0.716	0.158	111
ออกซิเจน (O)	16	0.779	0.120	146
โซเดียม (Na)	23	0.840	0.0825	*
เหล็ก (Fe)	56	0.931	0.0357	490
ยูเรเนียม (U)	238	0.983	0.00838	2087

[a] ค่าได้จากการประมาณ

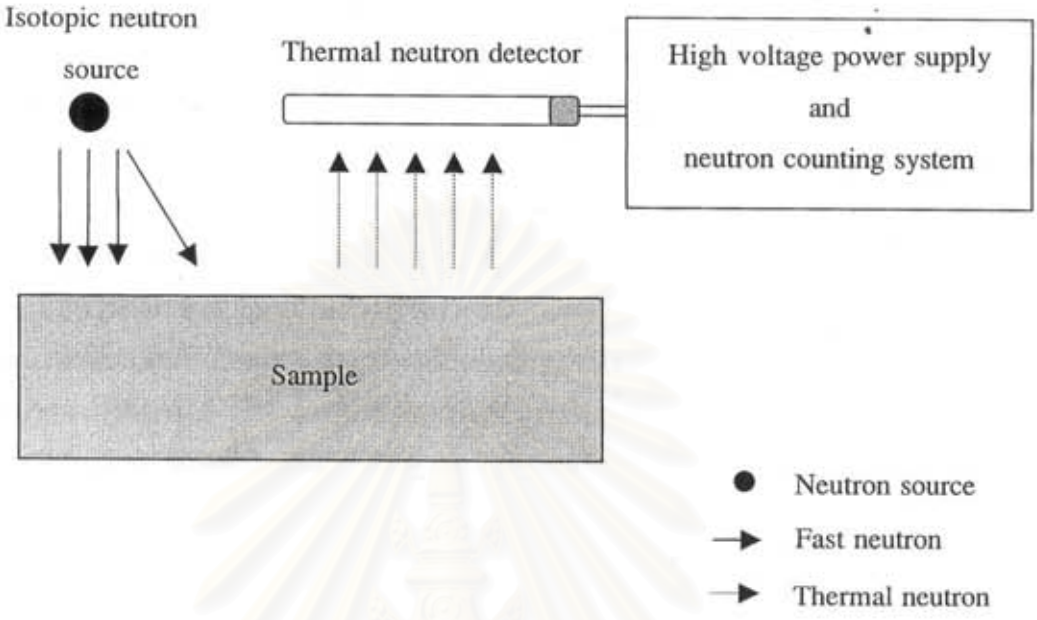
* not defined

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

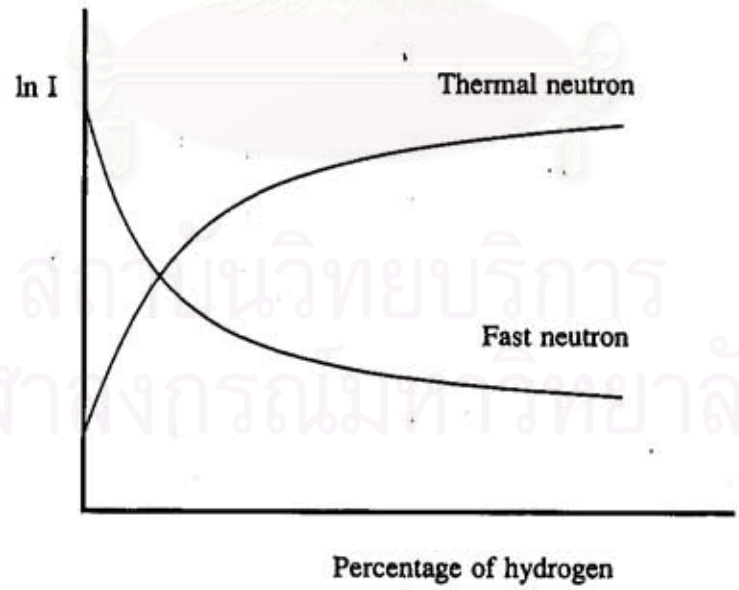
การวัดปริมาณของไฮโดรเจนในตัวอย่างด้วยเทคนิคนิวตรอนที่ใช้งานอยู่โดยทั่วไปจะใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็ว (Fast neutron transmission technique) หรือเทคนิคการกระเจิงของนิวตรอน (Neutron scattering technique) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2 การแปรผลการทดลองหาปริมาณของไฮโดรเจนในตัวอย่างทำได้โดยทำการวัดนิวตรอนเร็วที่ทะลุผ่านตัวอย่างออกมาหรือวัดนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้น เนื่องจากปริมาณของนิวตรอนเร็วที่หายไปหรือนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับปริมาณและความเข้มข้นของไฮโดรเจนในตัวอย่าง โดยอัตรานับนิวตรอนเร็วที่ทะลุผ่านตัวอย่างออกมาจะมีค่าน้อยลงเมื่อปริมาณของไฮโดรเจนในตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่อัตรานับนิวตรอนช้าจะมีค่ามากขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับนิวตรอนเร็วที่หายไปและอัตรานับนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นกับปริมาณของไฮโดรเจนในตัวอย่างแสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนเร็วด้วยเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอน



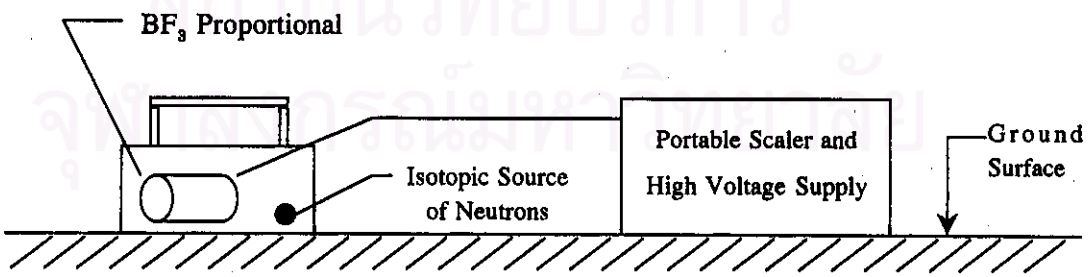
รูปที่ 3.2 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนเร็วด้วยเทคนิคการกระเจิงนิวตรอน



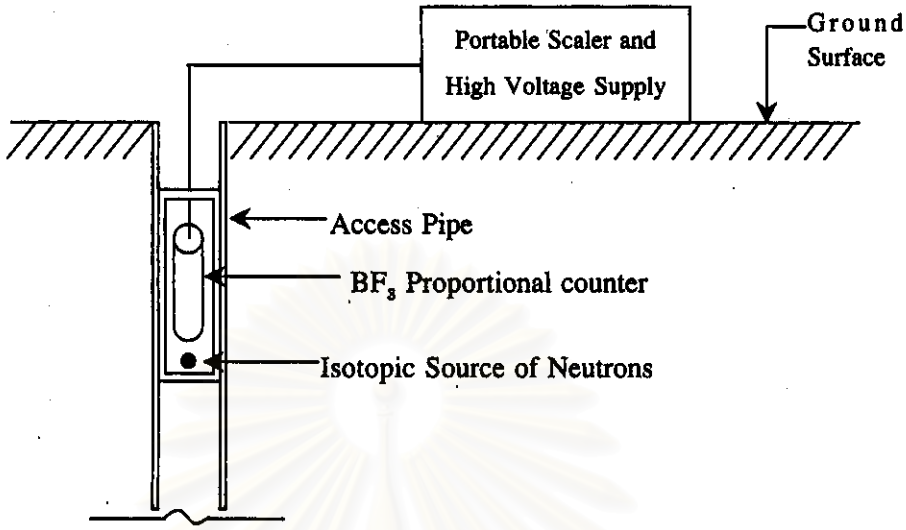
รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณของไฮโดรเจน

R. P. Gardner [27] และ เฉลิมเดช เฉลิมลาภอัศดร [25] ได้ทำการศึกษาถึงการใช้เทคนิคการกระเจิงนิวตรอนเร็วในการวัดความชื้นของวัสดุก่อสร้างบางชนิดโดยทำการจัดระบบวัดนิวตรอนดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นระบบวัดความชื้นที่ระดับพื้นผิวและที่ระดับลึก ระบบวัดรังสีที่ใช้ประกอบด้วยต้นกำเนิดนิวตรอนเร็วและหัววัดนิวตรอนช้าชนิดโบรอนไตรฟลูออไรด์ สำหรับการวัดนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจากการกระเจิงของนิวตรอน เทคนิคนี้ใช้หลักการกระเจิงกลับ (back scattering technique) ของนิวตรอนเร็ว ซึ่งจะถูกลดพลังงานลงกลายเป็นนิวตรอนช้าเมื่อผ่านเข้าสู่ตัวอย่าง นิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจะวิ่งเข้าสู่หัววัดโดยปริมาณของนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณของความชื้นในตัวอย่างมากขึ้น เทคนิคนี้มีข้อดีคือสามารถจัดระบบวัดให้ต้นกำเนิดนิวตรอนและหัววัดอยู่ทางด้านเดียวกันของตัวอย่างได้ จึงสามารถใช้วัดตัวอย่างจากด้านใดด้านหนึ่งของตัวอย่างได้ จากผลการทดลองพบว่าการใช้เทคนิคนี้จะมีปัญหาในเรื่องข้อจำกัดของตัวอย่างที่ต้องมีขนาดค่อนข้างใหญ่ เนื่องจากนิวตรอนเร็วที่ใช้มีอำนาจในการทะลุผ่านตัวอย่างสูง และพื้นผิวของตัวอย่างต้องเป็นพื้นผิวที่เรียบ

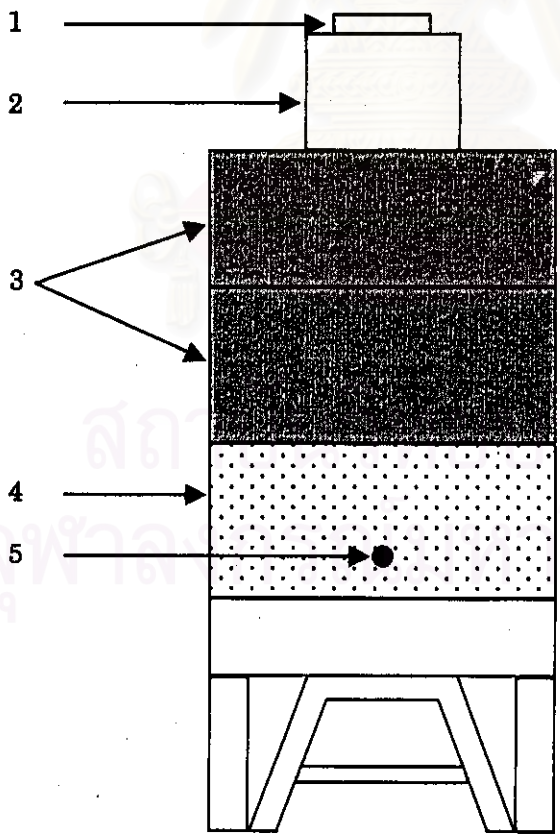
ประวิทย์ เจริญกิจสุพัฒน์ [20] ได้ทำการวิจัยเรื่องการวัดความชื้นของแป้งมันสำปะหลังโดยการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็ว และใช้หัววัดนิวตรอนแบบแก้วเรืองรังสีชนิด NE-905 ในการวัดนิวตรอนเร็วที่ทะลุผ่านตัวอย่างออกมา โดยทำการจัดระบบวัดดังรูปที่ 3.6 พบว่าปริมาณของความชื้นในตัวอย่างมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับจำนวนนับนิวตรอน โดยจำนวนนับนิวตรอนจะลดลงเมื่อปริมาณความชื้นในตัวอย่างเพิ่มขึ้น ข้อจำกัดของการใช้เทคนิคนี้คือต้องมีการหน่วงพลังงานของนิวตรอนเร็วที่ผ่านตัวอย่างออกมาก่อนเข้าสู่หัววัดเพื่อเพิ่มความไวให้กับระบบวัด และที่สำคัญคือถ้าความหนาแน่นของตัวอย่างแตกต่างกันจะทำให้ปริมาณความชื้นที่อ่านได้จากกราฟปรับเทียบมีค่าผิดไป



รูปที่ 3.4 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนกระเจิงกลับแบบพื้นผิว



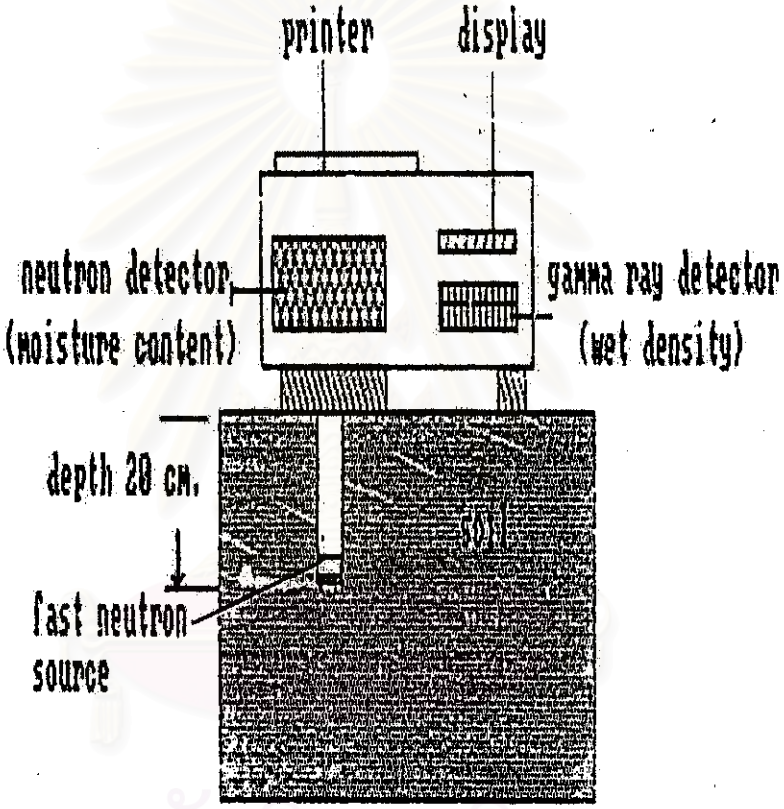
รูปที่ 3.5 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนกระเจิงกลับในระดับลึก



1. หัววัดรังสี NE-905
2. โพลีเอทธิลีนรูปทรงกระบอก หุ้มด้วยแผ่นยางผสมโบรอน
3. กล่องโพลีเทธิลีนผสมโบรอน
4. กล่องพาราฟินสำหรับบรรจุต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว
5. ต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว

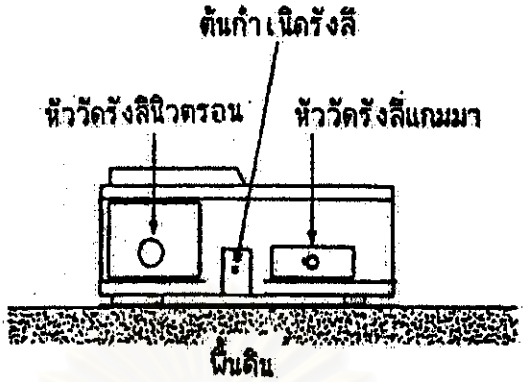
รูปที่ 3.6 แสดงการจัดระบบวัดรังสีด้วยเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็ว

เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ และความไวให้กับเทคนิคนิวตรอนในการหาปริมาณของไฮโดรเจน หรือความชื้นและความหนาแน่นในตัวอย่าง J. Chongsong [28] ได้พัฒนาเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็วร่วมกับการส่งผ่านรังสีแกมมาเพื่อแก้ปัญหาในกรณีที่ตัวอย่างมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน โดยได้ทำการจัดระบบวัดรังสีโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็วและรังสีแกมมาดังรูปที่ 3.7 ข้อจำกัดของเทคนิคนี้คือต้องใช้ตัวอย่างที่มีความหนาค่อนข้างมากคือประมาณ 20 ซม.

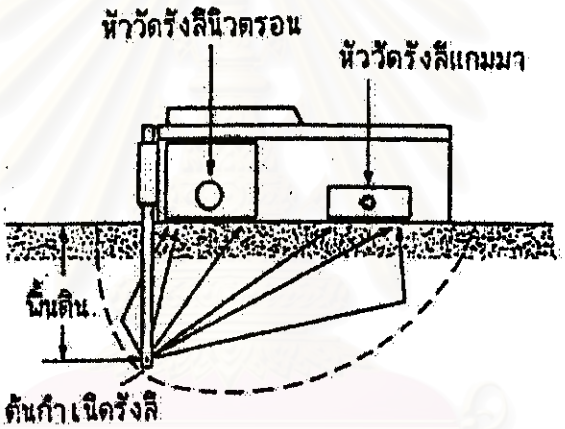


รูปที่ 3.7 แสดงการจัดระบบวัดปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของตัวอย่าง

มาโนช โชติศศิธร [19] ได้ทำการทดลองวัดความชื้นและความหนาแน่นในดินโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็วและรังสีแกมมาสำหรับงานสร้างถนน โดยได้ทำการจัดระบบวัดรังสีดังรูปที่ 3.8 ในการทดลองได้มีการนำจำนวนนับรังสีแกมมามาใช้ในการแก้จำนวนนับนิวตรอนเมื่อตัวอย่างมีความหนาแน่นไม่เท่ากันโดยใช้การคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกับวิธีมาตรฐานมากขึ้น แต่เทคนิคนี้ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของตัวอย่างซึ่งต้องใช้ตัวอย่างที่มีความสูงถึง 50 ซม.



(ก) การวัดระดับพื้นผิว



(ข) การวัดระดับลึก

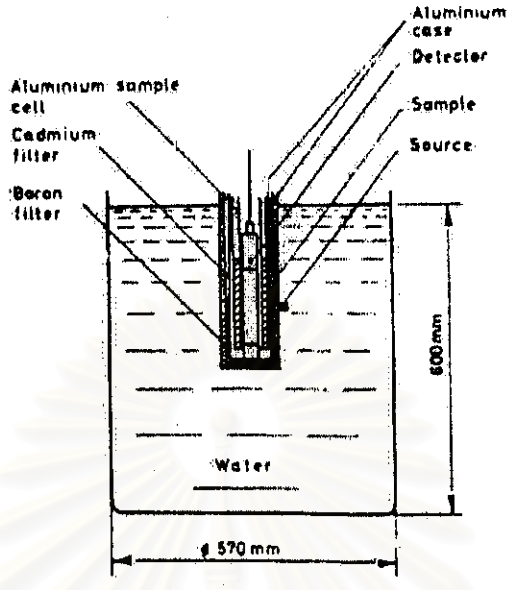
รูปที่ 3.8 แสดงการจัดระบบวัดด้วยเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนและรังสีแกมมา

C. M. Bartle [18] ได้ทำการพัฒนาเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็วและรังสีแกมมาในการวัดปริมาณไขมันในเนื้อสัตว์ เปรียบเทียบกับวิธีการทางเคมีพบว่าใช้เวลาน้อยกว่า ในขณะที่ความถูกต้องของการวัดไม่แตกต่างกันมาก และสามารถใช้เทคนิคนี้ได้กับทั้งตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านการแช่แข็ง จากการนำตัวอย่างที่ผ่านการทดลองมาตรวจหารังสีที่อาจตกค้างอยู่พบว่าปริมาณของรังสีที่ตกค้างอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ว่าจะไม่เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค ในการทดลองของ Bartle ได้ใช้การส่งผ่านนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม-9 เปรียบเทียบกับต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว คาร์ลิฟอร์เนียม-252 ซึ่งให้รังสีแกมมาออกมาด้วย แล้วทำการวัดนิวตรอนเร็วและรังสีแกมมาที่ผ่านตัวอย่างออกมา พบว่าผลการทดลองที่ได้จากการใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนทั้ง 2 ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ข้อจำกัดของการใช้เทคนิคนี้เป็นเช่นเดียวกันกับการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็วทั่วไปคือต้องใช้ตัวอย่างปริมาณมากคือใช้ถึง 27 กิโลกรัม

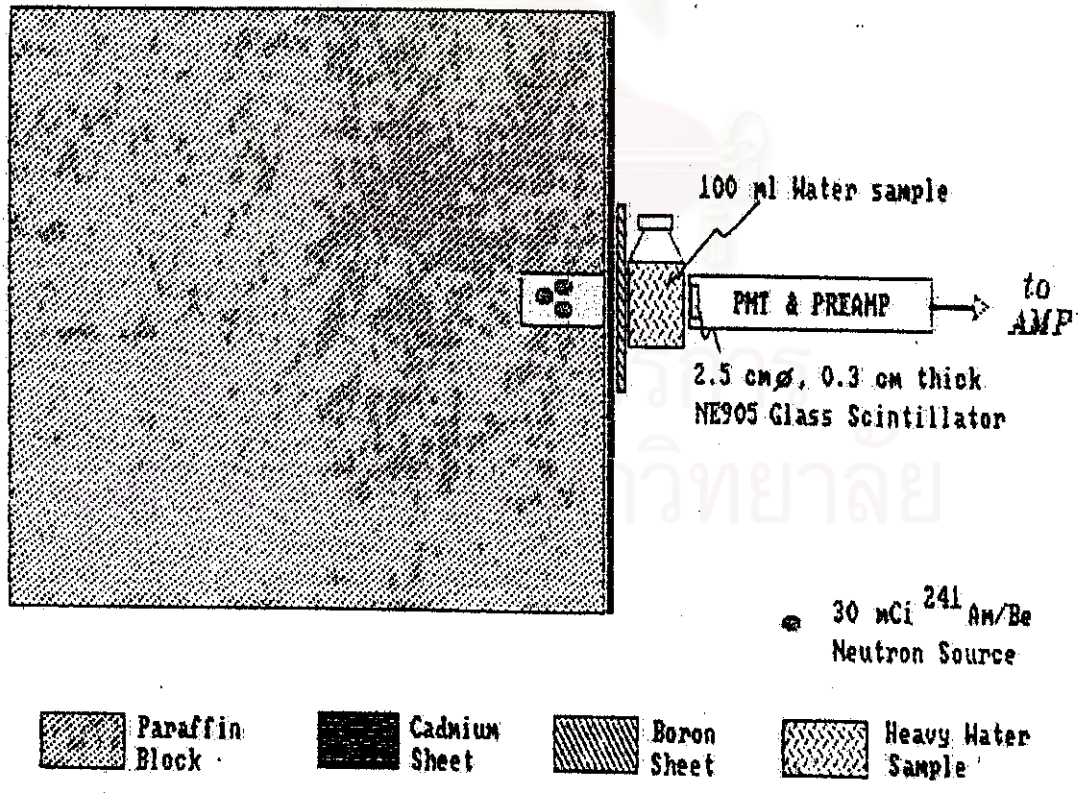
เพื่อเพิ่มความไวให้กับเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็วสำหรับวัดความชื้นในตัวอย่างขนาดเล็กนั้น HELF และคณะ [29] และ CLOSE และคณะ [30] ได้พัฒนาการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็วสำหรับตัวอย่างขนาดเล็กขึ้นโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว คาร์ลิฟอร์เนียม-252 ที่ให้นิวตรอนฟลักซ์ 10^7 ถึง 10^8 นิวตรอนต่อวินาที แต่ต้องใช้หัววัดนิวตรอนช้าที่มีความไวสูง และมีการจัดระบบวัดรังสีแบบพิเศษ

N. Wada [21] ได้ทำการทดลองวัดปริมาณของไฮโดรเจน และความชื้นในตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคการหน่วงพลังงานของนิวตรอนเร็วและเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนพลังงานปานกลาง พบว่าการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนพลังงานปานกลางสามารถที่จะลดขนาดของตัวอย่างที่ใช้ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ จากนั้น Wada จึงได้ทำการศึกษาต่อโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านพลังงานปานกลางในการหาปริมาณของไฮโดรเจนความเข้มข้นต่ำในตัวอย่างขนาดเล็ก [22] ซึ่งมีการจัดระบบวัดรังสีดังรูปที่ 3.9 โดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม-9 ที่ให้ฟลักซ์ของนิวตรอน 1.2×10^6 นิวตรอนต่อวินาที ผลการทดลองพบว่าสามารถวัดปริมาณของไฮโดรเจนได้ต่ำที่สุดโดยใช้เวลาในการวัด 1 นาที คือ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

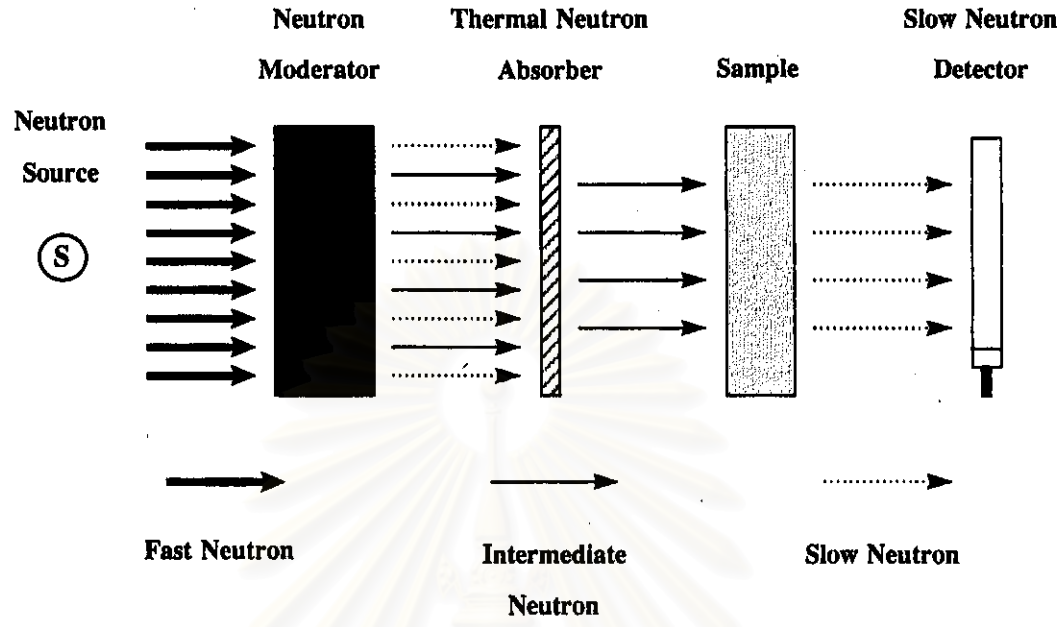
ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล และ นเรศร์ จันทน์ขาว [24] ได้ทำการวิจัยเรื่องการวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักโดยใช้เทคนิคการหน่วงพลังงานของนิวตรอนพลังงานปานกลางโดยได้จัดระบบวัดดังรูปที่ 3.10 โดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม-9 ความแรงรังสีรวม 90 มิลลิคูรี และใช้หัววัดนิวตรอนช้าชนิดแก้วเรืองรังสี NE-905 ร่วมกับหลอดทวีคูณแสงและระบบวัดรังสี นิวตรอนพลังงานปานกลางที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากการหน่วงพลังงานของนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดอะเมริเซียม-241/เบริลเลียม-9 ด้วยกล่องพาราฟินตันขนาด 30 ซม. $\times$ 30 ซม. โดยใช้แผ่นแคดเมียมและแผ่นยางผสมโบรอนในการดูดจับนิวตรอนพลังงานต่ำออกให้เหลือเพียงนิวตรอนพลังงานปานกลางเข้าทำอันตรกิริยากับตัวอย่างเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 3.11 แผ่นแคดเมียมและแผ่นยางผสมโบรอนสามารถนำมาใช้ในการดูดจับนิวตรอนพลังงานต่ำ เนื่องจากมีค่าภาคตัดขวางการดูดกลืนนิวตรอนพลังงานต่ำสูงดังแสดงในรูปที่ 3.12 จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคนี้สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักได้ดีตลอดช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 0.015 ถึง 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยโมล



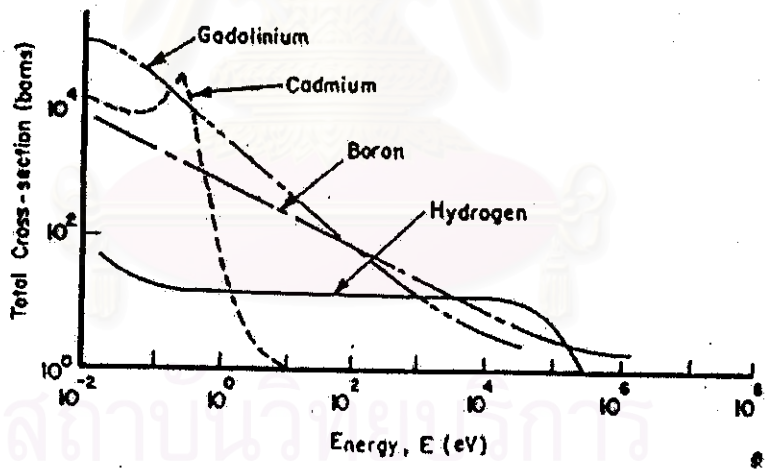
รูปที่ 3.9 การจัดระบบวัดปริมาณน้ำชนิดหนัก [22]



รูปที่ 3.10 แสดงการจัดระบบวัดรังสีด้วยเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนพลังงานปานกลาง [24]



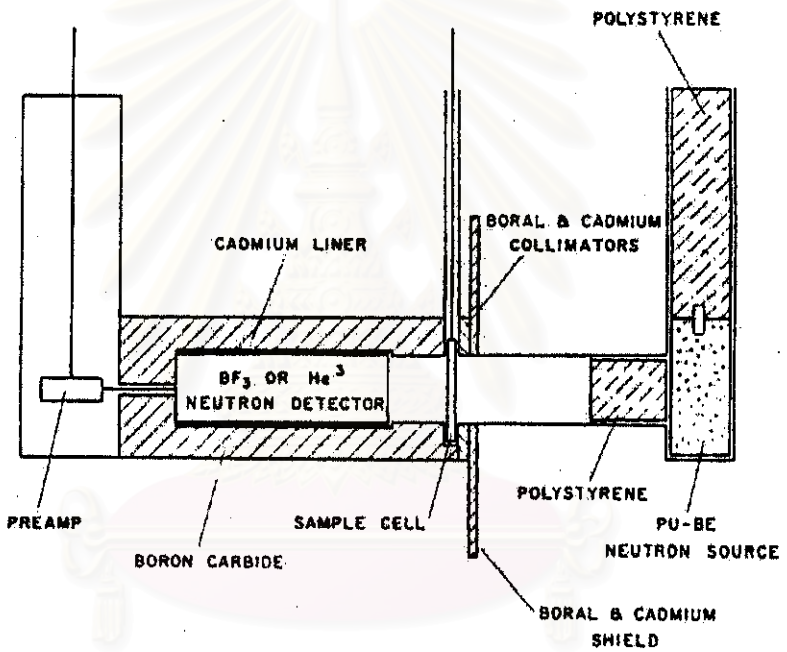
รูปที่ 3.11 แสดงการผลิตนิวตรอนพลังงานปานกลางจากต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว [24]



รูปที่ 3.12 แสดงค่าภาคตัดขวางการดูดกลืนนิวตรอนพลังงานต่ำของแคดเมียมและโบรอน [17]

นอกจากการใช้เทคนิคนิวตรอนเร็ว และนิวตรอนพลังงานปานกลางแล้ว W. E. MOTT และ D. F. RHODES [31] ได้ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนช้าในการวิเคราะห์ปริมาณของไฮโดรเจนในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนดังแสดงในรูปที่ 3.13 เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานพบว่าการใช้เทคนิคนิวตรอนมีความถูกต้องและแม่นยำมากกว่าถึง 10 เท่า ข้อจำกัดของการใช้เทคนิคนิวตรอนในการวัดปริมาณของไฮโดรเจน หรือความชื้นในตัวอย่างคือ ปริมาณของไฮโดรเจนหรือความชื้นในตัวอย่างที่อ่านได้กราฟปรับเทียบอาจผิดพลาดได้ถ้าปริมาณ ความหนา หรือความหนาแน่นของตัวอย่างแตกต่างกัน

เนื่องจากการใช้เทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็วมีข้อจำกัดในด้านของความหนาหรือความหนาแน่นของตัวอย่างที่ใช้ ในขณะที่การใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนเพียงอย่างเดียวมีจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดและความหนาแน่นเพียงเล็กน้อยของตัวอย่าง ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ และความถูกต้องให้กับเทคนิคนิวตรอนสำหรับใช้วัดปริมาณไขมันในเนื้อหมูบดจึงได้พัฒนาเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนร่วมกับการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายสำหรับการวัดปริมาณไขมันในเนื้อหมูบดที่ให้ผลการวัดที่ถูกต้อง สามารถวัดได้โดยใช้ตัวอย่างปริมาณไม่มากนัก และใช้วัดได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับตัวอย่าง



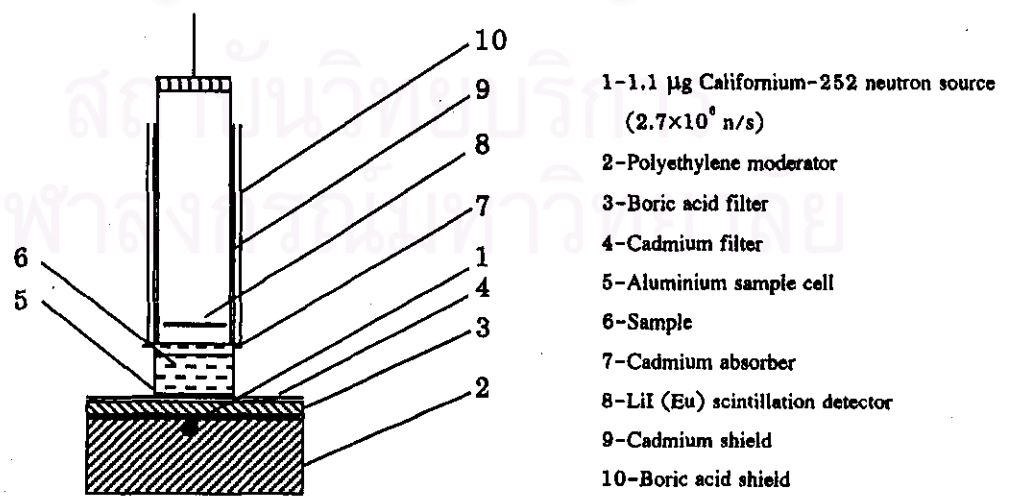
รูปที่ 3.13 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนช้าในการวิเคราะห์ไฮโดรเจน [31]

3.2 หลักการวัดปริมาณไขมันในเนื้อหมูบดโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมา

ในการวัดปริมาณไขมันในเนื้อหมูบดด้วยเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนนั้น ความเข้มของนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นนอกจากจะแปรผันตามปริมาณของไขมันในเนื้อหมูแล้วยังแปรผันตามปริมาณและความหนาของตัวอย่างขณะทำการวัดด้วย เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาร่วมกับการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนจะทำให้สามารถนำความเข้มของรังสีแกมมาที่ผ่านตัวอย่างมาใช้ในการแก้ค่าความแปรปรวนเนื่องจากปริมาณหรือความหนาของตัวอย่างได้ เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ อะเมริเซียม-241/เบริลเลียม-9 ซึ่งเป็นต้นกำเนิดนิวตรอนเร็วที่มีพลังงานของ

นิวตรอนประมาณ 4.5 MeV ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการลดพลังงานของนิวตรอนเร็วให้กลายเป็นเอพิเทอร์มาลนิวตรอนก่อน โดยให้ชนกับวัสดุหน่วงนิวตรอนบางชนิดเช่นพาราฟิน (paraffin) โพลีเอทีลีน (polyethelene) หรือน้ำ โดยในการทดลองนี้ได้เลือกใช้พาราฟินเนื่องจากสามารถหาได้ง่ายและจัดทำให้อยู่ในรูปทรงที่ต้องการได้ง่าย จากนั้นทำการกรองนิวตรอนพลังงานต่ำออกโดยใช้แผ่นแคดเมียมและแผ่นยางผสมโบรอนเพื่อให้เหลือเฉพาะเอพิเทอร์มาลนิวตรอนเท่านั้นที่เข้าทำอันตรกิริยากับตัวอย่าง แล้วทำการวัดนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นด้วยหัววัดนิวตรอนช้าโบรอนไตรฟลูออไรด์ ตัวอย่างของการใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนในการวัดตัวอย่างปริมาณน้อยแสดงไว้ในรูปที่ 3.14 ในส่วนของการส่งผ่านรังสีแกมมานั้นได้จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา อะเมริเซียม-241 ความแรงรังสี 100 มิลลิคูรี ซึ่งให้รังสีแกมมาพลังงาน 60 keV ทำการวัดรังสีแกมมาที่ผ่านตัวอย่างออกมาด้วยหัววัดรังสีแกมมาชนิดผลึกเรืองแสงโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม)

ในการใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมาสำหรับวัดปริมาณไขมันในตัวอย่างนั้น การส่งผ่านรังสีแกมมาจะช่วยในการแก้ค่าความหนาและความหนาแน่นของตัวอย่างที่แตกต่างกัน เนื่องจากการลดทอนรังสีแกมมาโดยเนื้อหมูบดนั้นจะเกิดขึ้นจากความหนาและความหนาแน่นของตัวอย่างเท่านั้นไม่มีผลจากการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบของตัวอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นอัตราส่วนความเข้มของรังสีแกมมาที่เปลี่ยนแปลงไปจึงเกิดจากการที่ตัวอย่างมีความหนาหรือความหนาแน่นต่างกัน จากข้อสรุปนี้จะเห็นได้ว่าถ้าสามารถวัดความเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความเข้มรังสีแกมมาเมื่อผ่านตัวอย่างได้จะสามารถนำไปหาค่าแก้เพื่อใช้ในการปรับจำนวนนับนิวตรอนให้ถูกต้องสำหรับการนำไปอ่านค่าปริมาณของไขมันจากกราฟปรับเทียบได้



รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างการใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนในการวัดความชื้นในตัวอย่างขนาดเล็ก