บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เมื่อประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา ได้มีการนำเทคนิคนิวตรอนแอคติเวชันมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนภายในร่างกาย (In Vivo) โดยมีวิธีการวิเคราะห์ 2 วิธีคือ วิธีดีเลย์แกมมา (Delayed Gamma) และวิธีพรอมต์แกมมา (Prompt Gamma) วิธีดีเลย์แกมมาได้มีการพัฒนาโดยนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ได้แก่ Palmer และคณะ ปี 1968, Cohen และ Dombrowski ปี 1971, Oxby และคณะ ปี 1978 และ Williams และคณะ ปี 1978 (1) วิธีการวิเคราะห์ดีเลย์แกมมาอาศัยการใช้นิวตรอนเร็ว (Fast Neutron) ฉายผ่านร่างกายไปทำปฏิกิริยากับไนโตรเจน-14 เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ $^{14}N(n,2n)^{13}N$ ^{13}N มีค่าครึ่งชีวิต 10 นาที ซึ่งเมื่อสลายตัวกลับสู่สภาวะปกติ (ground state) จะได้ คาร์บอน -13 พร้อมทั้งปลดปล่อยรังสีเบตาบวก (β^+) รังสีเบตาบวกจะรวมกับอิเล็กตรอน เกิดแอนนิฮิเลชัน (annihilation) แล้วให้รังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ออกมาซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการวิเคราะห์ไนโตรเจนแบบดีเลย์แกมมา แต่จากปฏิกิริยานี้พบว่า รังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ยังเกิดจากรังสีเบตาบวกที่ได้จากปฏิกิริยาอื่นอีก เช่นปฏิกิริยานิวเคลียร์ $^{16}O(n,2n)^{15}O$ และ $^{12}C(n,2n)^{11}C$ ซึ่งออกซิเจน-16 และคาร์บอน-12 เป็นธาตุที่มีปริมาณสูงในสิ่งมีชีวิต จึงเกิดการรบกวนและทำให้การวัดปริมาณไนโตรเจนผิดพลาดไปจากความเป็นจริง ต่อมาในปี 1972 Biggin และคณะได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนแบบพรอมต์แกมมาขึ้นที่เบอร์มิงแฮม ประเทศอังกฤษ โดยใช้นิวตรอนจากเครื่องเร่งอนุภาคแบบไซโคลตรอน Mernagh และคณะ ปี 1977 ที่โตรอนโต ประเทศแคนาดา Vartsky และคณะ ปี 1979 ที่บรุคฮาเวนประเทศสหรัฐอเมริกา และ Beddoe และคณะ ปี 1984 ที่โอคแลนด์ ประเทศนิวซีแลนด์ ได้หันมาใช้แหล่งกำเนิดรังสีนิวตรอนแบบไอโซโทป (Isotopic Neutron Source) หาปริมาณของไนโตรเจนด้วยวิธีการของพรอมต์แกมมาใช้นิวตรอนช้า (thermal neutron) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไนโตรเจน-14 ภายในร่างกายเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็น $^{14}N(n,\gamma)^{15}N$ และ ^{15}N จะกลับสู่สภาวะปกติ (ground state) พร้อมทั้งปลดปล่อยรังสีแกมมา พลังงาน 10.82 MeV ทันที ภายในเวลาประมาณ 10^{-15} วินาที พลังงานค่านี้มีค่าสูงกว่าพลังงานของรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยจากธาตุสำคัญอื่น ๆ ของร่างกายทำให้ไม่มีการรบกวนการวิเคราะห์ ปัจจุบันได้มีการนำเทคนิค Prompt Gamma Neutron Activation Analysis (PGNAA) มาใช้กับการวินิจฉัยโรค Cystic Fibrosis (2) ในเด็กที่ป่วย ณ โรงพยาบาลเด็กที่เมือง Camperdown ในประเทศออสเตรเลีย และในการหาปริมาณไนโตรเจนในร่างกาย (total body nitrogen) ในทางการแพทย์ของหลายประเทศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ได้มีการใช้ประโยชน์จากเทคนิค (PGNAA) นี้ตรวจหาธาตุไนโตรเจนในการตรวจสอบวัตถุระเบิดเพื่อความปลอดภัยในการคมนาคมทางอากาศ ซึ่งกระทำได้โดยการตรวจจับวัตถุระเบิดที่ซุกซ่อนอยู่ในกระเป๋าเดินทางหรือตู้เก็บสินค้า(3) องค์ประกอบของวัตถุระเบิดนั้นจะมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ประมาณ 40% โดยน้ำหนักไม่ว่าจะอยู่ในรูปเกลือไนเตรต หรือไนโตรเซลลูโลส โครงการวิจัยนี้ได้ทำขึ้นโดย Science Application International Corparation (SAIC) ในประเทศสหรัฐอเมริกา(4) ระบบ Explosive Detection System นี้ได้รับการยอมรับโดย Federal Aviation Administration ว่ามีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ในการตรวจจับวัตถุระเบิด เพื่อช่วยในการรักษาความปลอดภัยในอุตสาหกรรมการบิน นอกจากการรักษาความปลอดภัยตามท่าอากาศยานยังสามารถนำมาใช้ตรวจสอบหีบห่อพัสดุตามด่านศุลกากรทั่วไปได้

มีนักวิจัยหลายท่านได้พยายามพัฒนาวิธีการในการหาปริมาณไนโตรเจนเพื่อให้ได้ผลรวดเร็ว ทั้งวิธีทางเคมี Kjeldahl Analysis และวิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคทางนิวเคลียร์ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลได้รวดเร็วแน่นอนและมีความถูกต้องสูง วิธีการทางเคมีไม่ว่าจะเป็นแบบที่ได้รับการพัฒนามาแล้วหรือยังไม่ได้รับการพัฒนาก็ตาม โดยทั่วไปแล้วต้องใช้เวลามากมีขั้นตอนที่ยุ่งยากซับซ้อนและเป็นวิธีวิเคราะห์แบบทำลายซึ่งจะนำตัวอย่างเดิมมาใช้วิเคราะห์ใหม่อีกไม่ได้

สำหรับเทคนิคนิวเคลียร์ ได้มีการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์รังสีพรอมต์แกมมาจากการอาบรังสีนิวตรอน โดยวัดรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมาขณะอาบรังสีนิวตรอน วิธีนี้เป็นวิธีที่ให้ผลวิเคราะห์ได้รวดเร็ว และเป็นเทคนิคการวิเคราะห์แบบไม่ทำลาย แต่การใช้เทคนิคนี้วิเคราะห์ไนโตรเจนค่อนข้างยากกว่าการวิเคราะห์ธาตุอื่น ๆ เช่น H,B,Pb,Fe เนื่องจากไนโตรเจน-14 มีภาคตัดขวางการดูดกลืนนิวตรอน (thermal neutron absorption cross section, σ_a) ต่ำเพียง 1.88 บาร์น โอกาสการเกิดปฏิกิริยา $^{14}N(n,\gamma)^{15}N$ แล้วปลดปล่อยรังสีแกมมาพลังงาน 10.82 MeV มีเพียงร้อยละ 15 ประกอบกับประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาพลังงานสูงมีค่าต่ำด้วย ทำให้การตรวจวัดไนโตรเจนทำได้ค่อนข้างยาก การศึกษาวิจัยในเรื่องการจัดระบบวัดรังสีแกมมาและการจัดระบบอาบรังสีนิวตรอนที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมากในการที่จะนำวิธีนี้ไปใช้ประโยชน์

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทดลองใช้เทคนิคการวิเคราะห์รังสีพรอมต์แกมมาในการหาธาตุไนโตรเจนปริมาณสูงในสารบางชนิด เช่น สารอินทรีย์ ปุ๋ย เป็นต้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาการออกแบบ ดัดแปลงและสร้างระบบอาบรังสีนิวตรอนโดยใช้พลูโทเนียม-238/เบริลเลียม ขนาด 5 คูรี (185 GBq) จัดเก็บอยู่ในน้ำโดยใช้หัววัด NaI (Tl) ขนาด 5"x5"ในการวัดรังสีพรอมต์แกมมา

1.3.2 ออกแบบและจัดระบบวัดรังสีพรอมต์แกมมา พลังงาน 10.82 MeV จากไนโตรเจน

1.3.3 ศึกษาและทำการวัดปริมาณไนโตรเจนในสารประกอบบางชนิด เช่น สารอินทรีย์ ปุ๋ย เป็นต้น พร้อมทั้งหาขีดจำกัดในการวิเคราะห์ด้วยวิธีวัดพรอมต์แกมมา

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลและศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ด้วยเทคนิค PGNAA

1.4.2 ศึกษาออกแบบและสร้างระบบอาบรังสีนิวตรอนสำหรับต้นกำเนิดนิวตรอน Pu^{238}/Be

1.4.3 ทำการปรับปรุงและจัดระบบวัดให้มีประสิทธิภาพ

1.4.4 ทำการทดลองหาปริมาณไนโตรเจนในสารประกอบบางชนิด เช่น สารอินทรีย์ ปุ๋ย

1.4.5 ทำการเปรียบเทียบและหาขีดจำกัดในการวิเคราะห์ไนโตรเจน

1.4.6 รวบรวมข้อมูล สรุปผลการวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

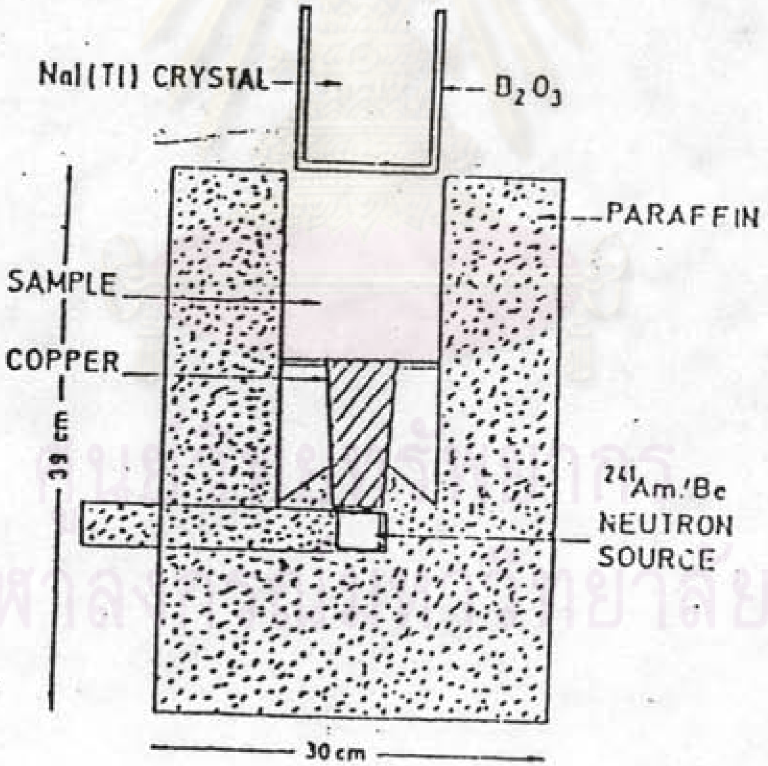
1.5.1 ได้ข้อมูลในการปฏิบัติสำหรับการนำเทคนิคการวิเคราะห์รังสีพรอมต์แกมมาในการวิเคราะห์ไนโตรเจน

1.5.2 เป็นแนวทางในการนำเทคนิคเดียวกันนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ธาตุอื่นที่มีอันตรกิริยาทางนิวเคลียสคล้ายกันได้โดยง่าย เช่น H,B,S,Fe,Pb และธาตุอื่น ๆ ที่วิเคราะห์ไม่ได้หรือได้ไม่ดีโดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชันแบบที่ใช้กันทั่วไป

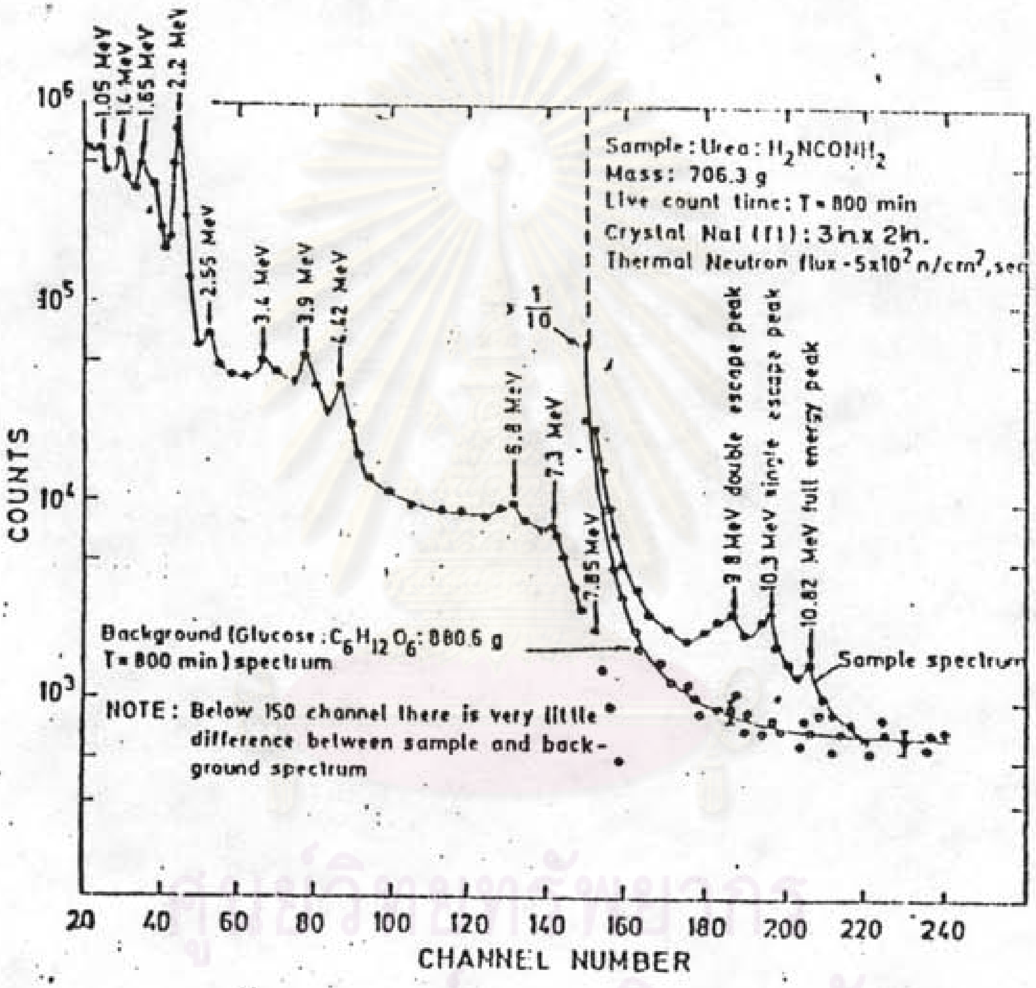
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 <u>งานวิจัยที่ผ่านมา</u>

ในปี ค.ศ.1971 P.N. Tiwari และคณะ(5) ได้ทำการวัดไนโตรเจนในยูเรีย (H_2NCONH_2) โดยใช้กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) เป็น Blank Spectrum โดยมี Am^{241}-Be ความแรง 100 มิลลิคูรี เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน thermal neutron flux ณ ตำแหน่งอาบรังสีตัวอย่างมีค่าประมาณ $5x10^2$ n/cm^2 sec ระบบอาบรังสีนิวตรอนใช้พาราฟินเป็นตัวลดพลังงานของนิวตรอนเร็วและใช้ทองแดงเป็นตัวกำบังรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนไม่ให้เข้าสู่หัววัดโดยตรง และใช้หัววัดแกมมาแบบ NaI(Tl) ขนาด 3"x2" และได้ทดลองวัดพรอมต์แกมมาจากไนโตรเจนในสารตัวอย่างยูเรีย 706 กรัม โดยใช้เวลาในการวัด 800 นาที (13.33 ชม.) ระบบอาบรังสีนิวตรอนและตัวอย่างสเปคตรัมที่ได้จากการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 1.1 และรูปที่ 1.2 ตามลำดับ



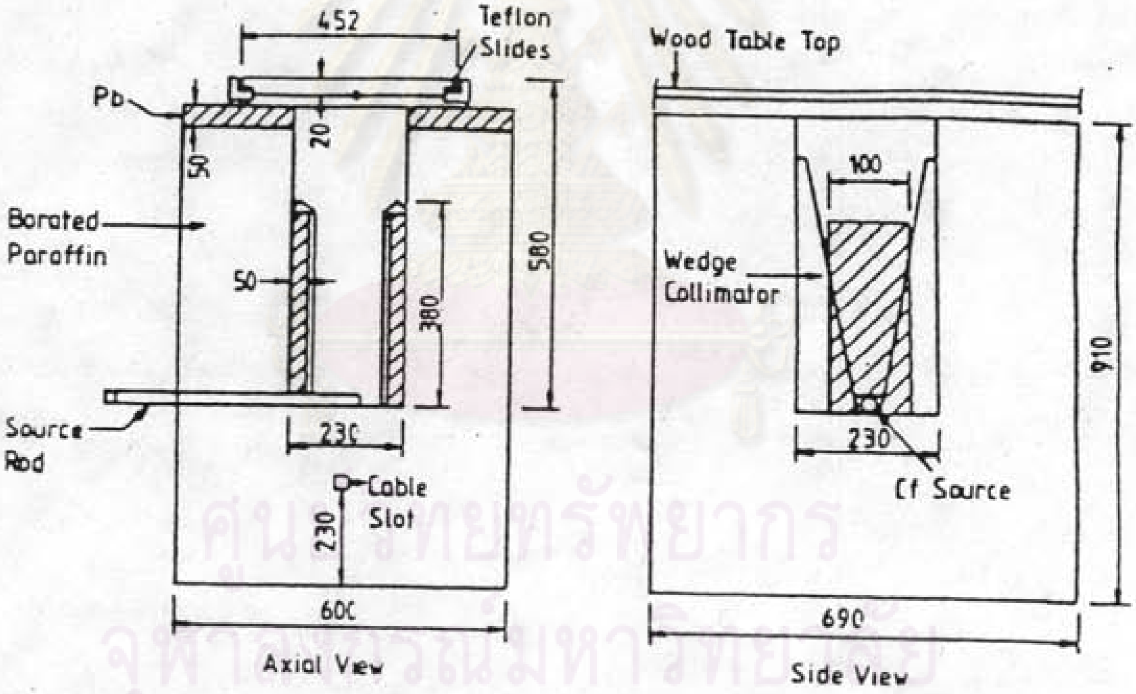
รูปที่ 1.1 Neutron "Howitzer" ที่ใช้ในการวิจัยของ Tiwari



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

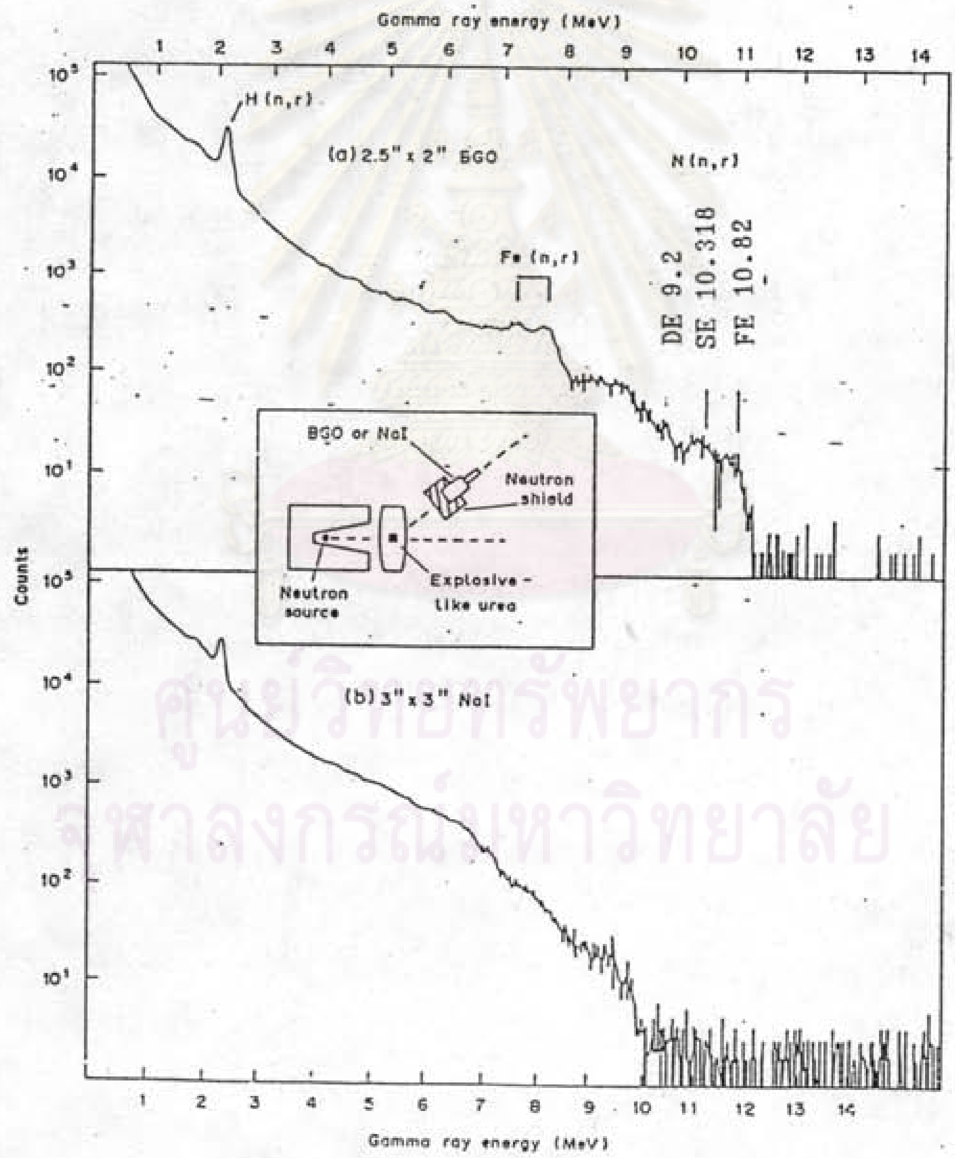
รูปที่ 1.2 ตัวอย่างสเปคตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาที่ได้จากยูเรียและแบลงค์ จากการวิจัยของ Tiwari (5)

ในปี 1985 B.J. Allen และคณะ(2) ได้ใช้เทคนิค PGNAA นี้ในการหาปริมาณไนโตรเจนในเด็กที่ป่วยเป็นโรคขาดโปรตีน ใช้ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนคาลิฟอร์เนียม-252 ประมาณ 10 ไมโครกรัม ซึ่งให้นิวตรอนเร็วออกมาประมาณ 2.1×10^{8} n/sec ระบบอาบรังสีนิวตรอนขึ้นจากพาราฟินและพาราฟินผสมโบริค 50% (ดังแสดงในรูปที่ 1.3) ได้ทำการศึกษาและปรับเทียบโดยใช้น้ำเป็นแบลงค์ (blank) และใช้ Urea 0.5-7 mol/L เป็นสารมาตรฐาน



รูปที่ 1.3 ระบบอาบรังสีนิวตรอนที่ใช้ในการวิจัยของ B.J.Allen (2)

ในปี 1990 Cheng-Jong Lee และคณะ(3) ได้ใช้เทคนิค PGNAA ในการตรวจหาไนโตรเจนในยูเรียบรรจุอยู่ในกระเป๋าเอกสาร เลียนแบบการตรวจหาวัตถุระเบิดด้วยเทคนิคนี้ โดยมี ^{252}Cf 40 ไมโครกรัม เป็นต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน และใช้หัววัดรังสีสองชนิดเปรียบเทียบกัน คือ NaI(Tl) ขนาด 3"x3" กับบิสมัสเจอร์มาเนต ($Bi_4Ge_3O_{12}$,BGO) ขนาด 2.5"x2" ผลการวิจัยพบว่าเมื่อใช้เวลานับรังสี 1800 วินาที และมียูเรียบรรจุอยู่ในกระเป๋าเอกสาร 2 กิโลกรัม สามารถตรวจได้ว่ามีไนโตรเจนเมื่อใช้หัววัดรังสี BGO แสดงดังรูปที่ 1.4 ส่วนการใช้หัววัด NaI(Tl) นั้น ไม่สามารถตรวจได้ว่ามีไนโตรเจน



รูปที่ 1.4 ระบบอาบรังสีนิวตรอนที่ใช้ในการวิจัยของ Cheng-Jong Lee และตัวอย่างสเปคตรัมของรังสีพรอมต์แกมมาที่ได้จากการวัดด้วยหัววัดรังสี BGO และ NaI(Tl) (3)