

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และ การดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ อุปกรณ์

- 1) หัววัดรังสีเจอร์เมเนียมความบริสุทธิ์สูง (High-Purity Germanium Detector ของบริษัท แคนเบอร์รา จำกัด)
- 2) เครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง ชนิดพกพา(Series 10 Plus Portable Multichannel Analyzer)
- 3) คอมพิวเตอร์แบบกระเป๋าหิ้ว (Computer Notebook) สำหรับบันทึกข้อมูลลงแฟ้มข้อมูล
- 4) โปรแกรมวิเคราะห์ GANAAS(Gamma Activity and Neutron Activation Analysis System) จาก IAEA (International Atomic Energy Agency)
- 5) โปรแกรมโอนถ่ายข้อมูลจาก MCA ลง แฟ้มข้อมูล (KERMIT)
- 6) โปรแกรมปฏิบัติการบนเวิร์คชีต (Microsoft Excel)
- 7) ขาดังเหล็กชนิดสามขา สำหรับตั้งหัววัดรังสี
- 8) ไนโตรเจนเหลว เพื่อรักษาให้อะตอมของผลึกในหัววัดอยู่ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

- 9) หัววัดรังสีโซเดียมไอโอดด์ (แทลเลียม) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว สำหรับการวัดรังสีแกมมาในตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ
- 10) โปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) แร่ยูเรเนียม (U ore) แร่ทอเรียม (Th ore) สำหรับใช้เป็นสารมาตรฐานของ โปแตสเซียม-40 อนุกรมยูเรเนียม อนุกรมทอเรียม
- 11) ภาชนะพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว หนา 1.8 นิ้วสำหรับใส่สารตัวอย่าง และสารมาตรฐาน
- 12) ตู้สำหรับอบไล่ความชื้นในดินตัวอย่าง
- 13) ชุดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน (ของบริษัท “อเมอแซม”) สำหรับการเปรียบเทียบพลังงานและประสิทธิภาพ ของหัววัด

3.2 วิธีการเปรียบเทียบเครื่องมือวัดรังสี

ได้แยกพิจารณาเป็นข้อๆดังนี้

3.2.1 การเปรียบเทียบหัววัดรังสีกับพลังงาน ($\frac{N_0}{\phi}$)

การจะประเมินค่า การตอบสนองของหัววัด ต่อหน่วย ของฟลักซ์ของรังสีแกมมาที่ตกกระทบในแนวแกนของหัววัดนั้น สามารถทำได้จากการวัดฟลักซ์ของรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบบจุด (standard point source) ของรังสีแกมมาหลาย ๆ ชนิด โดยให้พลังงานครอบคลุมจาก 200 keV- 3 MeV และนำผลของการวัด มาลากเส้นข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ใช้ ชุดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน จำนวน 5 ชนิดคือ 1. แบเรียม-133 (Ba-133) 2. ซีเซียม-137 (Cs-137) 3. โคบอลต์-60 (Co-60) 5. โซเดียม-22 (Na-22) และมีขั้นตอนดังนี้

1. วางต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบบจุด ที่ตำแหน่งในแนวแกนของหัววัด โดยให้มีระยะห่างระหว่างหัววัดกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบบจุดพลังงานต่าง ๆ 1 เมตร [คำนวณความหนาแน่นของ

ฟลักซ์ที่ตำแหน่งตรงกลางของคริสตัลในหัววัด (Crystal Effective Center) ซึ่งทำได้โดย นำค่า อัตราการปลดปล่อยของรังสีแกมมา (Gamma emission rate) ทหารด้วย $4\pi r^2$ ซึ่งค่า r คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งตรงกลางของคริสตัลในหัววัด กับ ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบบจุด (ในกรณีที่พลังงานของรังสีแกมมามากกว่า 1 MeV ให้ถือที่ตำแหน่งตรงกลางของคริสตัลในหัววัด เป็นจุดกำหนดการจัดวางตำแหน่งของหัววัด และสำหรับกรณีที่พลังงานของรังสีแกมมาน้อยกว่า 1 MeV ให้ถือที่บริเวณผิวสัมผัสของคริสตัลเป็นจุดกำหนด ส่วนพลังงานในช่วงระหว่าง 2 ค่านี้ให้ประมาณค่าเฉลี่ยของระยะทางการทะลุทะลวง ของรังสีแกมมาเป็นเกณฑ์ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของคริสตัล)

2. นับฟลักซ์ของรังสีแกมมา (4000 วินาที) และ คำนวณค่าอัตราการดูดกลืนในพีคของพลังงานต่าง ๆ ในสเปกตรัม
3. นับวัดแบบคร่าวๆ และนำข้อมูลที่มีในข้อที่ 2) มาลบออก
4. หาค่า $\frac{N_0}{\phi}$ โดยนำค่าอัตรานับสุทธิ (ลบแบบคร่าวๆแล้ว) มาหารด้วย ความหนาแน่นของฟลักซ์
5. ลากเส้นข้อมูลที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{N_0}{\phi}$ และพลังงาน บนสเกล ลอการิทึม และ ลากเส้นข้อมูลให้เป็นเส้นโค้งแนวโน้ม ดังแสดงในรูปที่ ผ-ก-12

3.2.2 การปรับเทียบเครื่องมือวัดรังสีกับมุม $\left(\frac{N_f}{N_0} \right)$

มีขั้นตอนดังนี้

- 1) นับของอัตราการดูดกลืนในพีคของพลังงาน (ลบแบบคร่าวๆแล้ว) แล้ววางต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบบจุด ที่ตำแหน่งในแนวแกนของหัววัด ให้มีระยะห่างระหว่างหัววัดกับ ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบบจุด 1 เมตร แล้วเปลี่ยนมุมไปตั้งแต่ 0-90 องศา ดังแสดงในรูปที่

2) วาดเส้นข้อมูลที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{N_e}{N_0}$ และ มุมและ ลากเส้นข้อมูลให้เป็นเส้นโค้ง

แนวโน้มนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3) คำนวณค่า $\frac{N_e}{N_0}$ จากสมการที่ (2.8) (โดยค่า $\phi(\theta/\phi)$ นั้นหาได้จาก Beck et al., 1972

ดังแสดงในตารางที่ 3.1)

4) วาดเส้นข้อมูลที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{N_e}{N_0}$ และ พลังงานและ พืดข้อมูลให้เป็นเส้นแนว

โน้มนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.3 การทำเวริกซ์ติดบนโปรแกรมประเภทสเปรดชีต(เอ็กเซล)เพื่อช่วยการคำนวณให้มีรูปแบบที่สะดวกมากขึ้น (ดังแสดงรูปตัวอย่างเวริกซ์ที่ตารางที่ 3.2)

ซึ่งสามารถแจกแจงความหมายในแต่ละคอลัมน์ ได้ดังนี้

คอลัมน์ ที่ A แสดง ค่าของมุมเป็นองศา(degree) ตั้งแต่ 0-90 องศา

คอลัมน์ ที่ B แสดง ค่าของมุมเป็นเรเดียน(radian) ตั้งแต่ 0-1.57 เรเดียน

(โดย เรเดียน = (มุมเป็นองศา x π)/180)

คอลัมน์ ที่ C แสดง การคำนวณค่า ในเทอมของ $\exp\left(\frac{-\mu_a h}{\cos \theta}\right)$

คอลัมน์ ที่ D แสดง ค่าฟังก์ชันของรังสีแกมมาที่ได้จากการคำนวณตามสมการ

$$\frac{d\phi}{d\theta} = \frac{(S_0 / \rho) \sin \theta}{2(\mu_s / \rho)} \exp(-\mu_a h / \cos \theta)$$

(ซึ่งสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ใน คอลัมน์ ที่ F) ในแต่ละมุม

คอลัมน์ ที่ E แสดง ค่า $\sin \theta \times \exp\left(\frac{-\mu_a h}{\cos \theta}\right)$

คอลัมน์ ที่ F แสดง ค่าฟังก์ชันของรังสีแกมมาที่ได้จากการคำนวณตามสมการ

$$\phi = \left(\frac{S_0}{\rho} \right) \left[\frac{2\mu_s}{\rho} \right] \int_0^{\pi} \exp(-\mu_s h / \cos \theta) \sin \theta d\theta$$

คอลัมน์ ที่ G แสดง ค่าแก้ของมุมสำหรับการคำนวณผลการวัดในพื้นที่จริง(ใช้ค่าเฉลี่ย)

คอลัมน์ ที่ H แสดง ความสามารถในการทะลุผ่านดิน (μ_s) ของรังสีแกมมาพลังงาน
นั้นๆ(การคำนวณทำโดยที่ ถ้าพลังงานอยู่ในช่วง 50 keV- 3 MeV .ใช้สมการ

$$(\mu_s) = \exp(-0.050414 \times i^3 + 0.898300 \times i^2 - 5.680211 \times i + 10.734713)$$

ค่า i คือค่าในคอลัมน์ J ดังแสดงในรูป ผ-ช

คอลัมน์ ที่ I แสดง ความสามารถในการทะลุผ่านอากาศ(μ_a) ของรังสีแกมมาพลังงานนั้นๆ

(การคำนวณทำโดยที่ ถ้าพลังงานอยู่ในช่วง 50 keV- 3 MeV .ใช้สมการ

$$(\mu_a) = \exp(-0.037358 \times I^2 + 0.043647 \times I - 7.999738)$$

ดังแสดงในรูป ผ-ช

คอลัมน์ ที่ J แสดง ค่าลือกธรรมชาติของพลังงานนั้นๆ ในตัวอย่างนี้คือ 1460 keVของ

โพแทสเซียม-40

คอลัมน์ ที่ K-L-M-N แสดง ค่าคงที่ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพกับมุมที่

เป็นเรเดียน $[R(\theta)] = (A \times \theta^3) + (B \times \theta^2) + (C \times \theta) + D$

ในตารางตัวอย่างสมการนี้คือ ที่พลังงาน 1461 keV ของพื้นที่สนามหญ้าหน้า จุฬาฯ

$$[R(\theta)] = (-0.910 \times \theta^3) + (1.259 \times \theta^2) + (-0.038 \times \theta) + 1.008$$

คอลัมน์ ที่ O แสดง ค่าความหนาแน่นของดิน(ρ)ที่ความชื้นนั้น

ดังแสดงตัวอย่างการคำนวณในเวิร์กชีต ตารางที่ 3.1 และ 3.2

3.4 วิธีการดำเนินการวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมในพื้นที่จริง

(1)เลือกสถานที่โดยอาศัยหลักการตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 (สถานที่ใด แสดงไว้ในบท
ที่ 4)

(2)เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ ที่เกี่ยวข้อง

(3) วัดรังสีแกมมาในสถานที่นั้น ๆ แห่งละ 2 ครั้ง ครั้งละ 6000 วินาที

(4) เก็บข้อมูลลงไฟล์โดยใช้ ซอฟต์แวร์ในการแปลงข้อมูล KERMIT (เก็บข้อมูลเรียงแบบ 8 แถว)

3.5 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณรังสีแกมมาจากสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ

เก็บตัวอย่างดิน ในสถานที่นั้น ๆ แห่งละอย่างน้อย 2 จุด แต่ละจุดเลือกเก็บ 1-2 ลูกบาศก์ฟุต โดยประมาณ เพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องทดลองเพื่อเปรียบเทียบผล (นำไปเตรียมตัวอย่างและไล่ความชื้นก่อนตามวิธีที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2) นำไปวัดสเปกตรัมโดยใช้ หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดต์ (แทลเลียม) ในห้องปฏิบัติการ นำข้อมูลที่เก็บไว้ในไฟล์มาวิเคราะห์ผล โดยจัดข้อมูลจาก 8 แถวให้เหลือแถวเดียว (บันทึกมาโครในไมโครซอฟต์เอกเซลในการจัดเรียงใหม่ให้เป็นแถวเดียว) นำข้อมูลที่เรียงแบบแถวเดียวที่ได้ไปเข้าโปรแกรม GANAAS เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่พีคของสเปกตรัม นำข้อมูลที่ได้และข้อมูลความชื้น, ความหนาแน่นของดิน เข้าไปคำนวณในเอ็กเซลเวิร์กชีตที่ได้ถูกเตรียมไว้แล้ว เพื่อวิเคราะห์ความเข้มของเรดิโอนิวไคลด์ที่ตรวจพบ ในพื้นที่นั้น ๆ และ ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนในอากาศที่มีผลจากเรดิโอนิวไคลด์ตัวนั้น ๆ นำผลไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดรังสีแกมมาของดินในห้องทดลอง ในแต่ละสถานที่ และ วิเคราะห์ผลที่ได้ ซึ่งได้ทำเวิร์กชีตช่วยการคำนวณดังตัวอย่าง ตารางที่ 3.3 และ 3.4

⇒ วิธีการเตรียมตัวอย่างและสารมาตรฐานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เนื่องจากตัวอย่างที่เก็บมา มีทั้ง หิน ดิน ทราช ก่อนนำมาวัดต้องได้รับการเตรียมตัวอย่างตามหลักการที่กล่าวมาแล้ว จากนั้นนำไปบรรจุในกล่องพลาสติก ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว หนา 1.8 นิ้ว จากนั้นปิดฝาแล้วพันด้วยเทปกาว เก็บไว้ 4 สัปดาห์เพื่อให้เกิดภาวะสมดุล [14] ดังรูปที่ 3.1 ส่วนการเตรียมสารมาตรฐาน ควรให้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับสารตัวอย่าง และควรเตรียมให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน (ควรบรรจุในภาชนะให้ปริมาตรเท่ากัน มีขนาดและรูปร่างเดียวกัน) ส่วนวิธีเตรียมอื่น ๆ ใช้หลักการเดียวกับการเตรียมสารตัวอย่าง

สารมาตรฐานที่ใช้

สารมาตรฐานที่ใช้คือ โปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) , แร่ยูเรเนียม (U ore) , แร่ทอเรียม (Th ore) เตรียมจาก 1. โปแตสเซียมซัลเฟตที่มีโปแตสเซียมมี อยู่ 448 กรัม ใน 1 kg ของโปแตสเซียมซัลเฟต นำมา 25 กรัมทำให้เจือจางโดยใช้ กรดบอริก (H_3BO_3) 475 กรัม (20 เท่า) แล้วแบ่งใส่ภาชนะจำนวน 400 กรัม ดังนั้นในสารมาตรฐานนี้มี โปแตสเซียม อยู่ 2.24 เปอร์เซ็นต์ 2. เตรียมจาก แร่ยูเรเนียม 400 ppm ทำให้เจือจาง 117 เท่าใช้ กรดบอริก 396.596 กรัม ต่อ แร่ยูเรเนียม 3.404 กรัม ดังนั้นในสารมาตรฐานนี้มี ยูเรเนียม อยู่ 3.404×10^{-6} ppm 3. เตรียมจาก แร่ทอเรียม 800 ppm ทำให้เจือจาง 193.697 เท่าโดยใช้ กรดบอริก 497.418 กรัม ต่อ แร่ทอเรียม 2.581 กรัม ดังนั้นในสารมาตรฐานนี้มี ทอเรียม อยู่ 2.065×10^{-6} ppm

⇒ การเลือกพลังงานของรังสีแกมมาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ

เนื่องจากตัวอย่างที่เก็บมามีธาตุกัมมันตรังสีหลายตัว แต่สิ่งที่เราต้องการวัดคือ ปริมาณ โปแตสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ในทางปฏิบัติเราสามารถวัดปริมาณ โปแตสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ได้โดยการเตรียมสารมาตรฐานของทั้งสามตัว แล้วเลือกค่าพลังงานที่เหมาะสมมาใช้วัด ในการเลือก ต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้คือ

(ก) พลังงานที่เลือกวัดจะต้องมีความเข้มข้นมากพอ และไม่รบกวนพีคที่

1.46 MeV ของ โปแตสเซียม-40

(ข) มีพลังงานจากนิวไคลด์อื่นๆ รบกวนน้อยที่สุด

(ค) มีพลังงานสูงพอ เพราะพลังงานต่ำจะมีปัญหาเรื่องการดูดกลืนตัวเอง

(self absorption) จึงทำให้พื้นที่ใต้พีคที่สนใจมีจำนวนน้อยลง และมีการ

รบกวนมากขึ้น การเลือกพลังงาน แสดงไว้ในรูปที่ 3.4

จากตารางที่ 2.5 (ค) (ง) จะเห็นว่าในอนุกรมยูเรเนียม นิวไคลด์ที่ให้รังสีแกมมา มากพอควรมีพลังงานสูง และมีการรบกวนจากพลังงานในอนุกรมของ ยูเรเนียม ทอเรียม และ โปแตสเซียม-40 มีน้อยมาก คือ 1.76 MeV จาก บิสมัท-214 (Bi-214) มีข้อเสียคือ บิสมัท-214 เกิดจากการสลายตัวของ เรดอน-222 (Rn-222) ซึ่งเป็นก๊าซ ดังนั้นภาชนะจะต้องกันก๊าซไม่ให้รั่วไหล โดยการติดเทปกาวที่ฝา ก่อนทำการวัดจะต้องทิ้งไว้ให้อยู่ในสภาพสมดุลย์ ในทำนองเดียวกันนิวไคลด์ในอนุกรมของทอเรียม ที่เลือกวัดคือ แทลเลียม-208 (Tl-208) ซึ่งให้พลังงาน 2.614 MeV สำหรับโปแตสเซียม-40 เท่านั้นที่ให้รังสีแกมมาเพียงค่าเดียวคือ 1.46 MeV

⇒ มีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

- 1) จัดระบบวัดตั้งแสดงไว้ในรูป ที่ 3.3
- 2) วางภาชนะบรรจุตัวอย่างลงบนหัววัด ตั้งแสดงไว้ในรูปที่ 3.1
- 3) เปรียบเทียบพลังงาน โดยใช้พีคของ บิสมัท-214 พลังงาน 1.76 MeV และ แทลเลียม-208 พลังงาน 2.614 MeV และ โปแตสเซียม -40 พลังงาน 1.46 MeV
- 4) วัดสเปกตรัม ของสารมาตรฐานโปแตสเซียม แล้วหาพื้นที่ใต้พีคในช่องของ โปแตสเซียม ยูเรเนียม และ ทอเรียม (ใช้ค่าพื้นที่ใต้พีคทั้งหมด(integral count)) ได้แสดงข้อมูลไว้ในเวิร์กชีตตารางที่ 3.3
- 5) วัดสเปกตรัม ของสารมาตรฐานยูเรเนียม แล้วหาพื้นที่ใต้พีคในช่องของโปแตสเซียม ยูเรเนียม และ ทอเรียม (ใช้ค่าพื้นที่ใต้พีคทั้งหมด(integral count))
- 6) วัดสเปกตรัม ของสารมาตรฐานทอเรียม แล้วหาพื้นที่ใต้พีคในช่องของ โปแตสเซียม ยูเรเนียม และ ทอเรียม (ใช้ค่าพื้นที่ใต้พีคทั้งหมด(integral count))
- 7) วัดสเปกตรัมของแบคกราวด์ แล้วหาพื้นที่ใต้พีคในช่องของ โปแตสเซียม ยูเรเนียม และ ทอเรียม (ใช้ค่าพื้นที่ใต้พีคทั้งหมด(integral count))

8) หาค่าหักลบของคอมพ์ตัน จากสมการ (3.1),(3.2),(3.3) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5

$$s_1 = \frac{n_K - b_K}{n_U - b_U} = \frac{\text{count in K channel}}{\text{count in U channel}} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$s_2 = \frac{n_U - b_U}{n_{Th} - b_{Th}} = \frac{\text{count in U channel}}{\text{count in Th channel}} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$s_3 = \frac{n_K - b_K}{n_{Th} - b_{Th}} = \frac{\text{count in K channel}}{\text{count in Th channel}} \dots \dots \dots (3.3)$$

s_1 คือค่าหักลบคอมพ์ตันของพีค ยูเรเนียม(1765 keV) ที่ถูกรบกวนโดยพีคโปแตสเซียม (1461 keV)

s_2 คือค่าหักลบคอมพ์ตันของพีค ทอเรียม(2614 keV) ที่ถูกรบกวนโดยพีคยูเรเนียม (1461 keV)

s_3 คือค่าหักลบคอมพ์ตันของพีคทอเรียม(2614 keV) ที่ถูกรบกวนโดยพีคโปแตสเซียม (1461 keV)

n คือ ค่าพื้นที่ใต้พีคทั้งหมดในช่องพลังงานนั้น

b คือ แบคกราวด์

9) หาค่าความคงที่ไว จากสมการ

10) วิเคราะห์ปริมาณ โปแตสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ในตัวอย่างจากสมการ

$$Th(\text{ppm}) = C_{Th}(N_{Th} - b_{Th}) \dots \dots \dots (3.4)$$

$$U(\text{ppm}) = C_U \{N_U - b_U - S_2(N_{Th} - b_{Th})\} \dots \dots \dots (3.5)$$

$$K(\%) = C_K \{ (N_K - b_K - S_3(N_{Th} - b_{Th}) - S_1 \{N_U - b_U - S_2(N_{Th} - b_{Th})\}) \} \dots \dots \dots (3.6)$$

C_{Th} , C_U , C_K คือ ค่าคงที่ความไว หรืออัตราส่วนความสมบูรณ์ของไอโซโทปที่สลายตัว ต่อจำนวนนับที่แก้ไปแล้ว

b_{Th} , b_U , b_K คือ แบคกราวด์ในช่อง ทอเรียม ยูเรเนียม และ โปแตสเซียม ตามลำดับ

นำค่าต่างๆ ไปแทนค่าเพื่อหาความเข้มข้นของยูเรเนียม ทอเรียม และ โปแตสเซียม ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} Th(ppm) &= \frac{(\text{ppm Th in standard})(\text{Net Area Th} / Wt)_{\text{sample}}}{(\text{Net Area Th} / Wt)_{\text{standard}}} \\ &= C_{Th}(\text{Net Area Th})_{\text{sample}} (Wt_{\text{standard}} / Wt_{\text{sample}}) \dots \dots \dots (3.7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U(ppm) &= \frac{(\text{ppm U in standard})(\text{Net Area U} / Wt)_{\text{sample}}}{(\text{Net Area U} / Wt)_{\text{standard}}} \\ &= C_U(\text{Net Area U})_{\text{sample}} (Wt_{\text{standard}} / Wt_{\text{sample}}) \dots \dots \dots (3.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K(\%K) &= \frac{(\%K \text{ in standard})(\text{Net Area K} / Wt)_{\text{sample}}}{(\text{Net Area K} / Wt)_{\text{standard}}} \\ &= C_K(\text{Net Area K})_{\text{sample}} (Wt_{\text{standard}} / Wt_{\text{sample}}) \dots \dots \dots (3.9) \end{aligned}$$

*ดูเพิ่มเติมได้จากภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย