รายการอ้างอิง

1. Bartle, C. M. Simultaneous Transmission of Neutrons and Gamma Rays (NEUGAT) to Measure Fat in Meat. Appl. Radiat. Isot. 42 No. 11(1991): 1115-1116.
2. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 26. New York: Pergamon Press, 1977.
3. มนตรี จุฬาวัฒนทล และคณะ. ชีวเคมี. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วน ศ.ส., 2530.
4. Delaney, C. F. G. and Finch, E. C. Radiation Detectors Physical Principles and Applications. New York: Oxford University Press, 1992.
5. Spinks, J. W. T. and Woods, R. J. An Introduction to Radiation Chemistry. 3rd edition. Vol. 1. New York: John Wiley & Sons, 1990.
6. Evans, R. D. The Atomic Nucleus. New York: McGraw-Hill, 1995.
7. Gilmore, G. and Hemingway, J. D. Practical Gamma-Ray Spectrometry. New York: John Wiley & Sons, 1995.
8. Burhham, J. U. Radiation Protection Training Course. January 1992.
9. ปานทิพย์ อัมพรรัตน์. การวิเคราะห์ปูนซีเมนต์ปริมาณมากโดยใช้เทคนิคนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
10. Berger, H., et al. Practical Application of Neutron Radiography and Gauging. ASTM Special Technical Publication 586(1976).
11. Von der Hardt, P. and Röttger, H. Neutron Radiography Handbook. Boston: D. Reidel, 1981.
12. Knoll, Glenn F. Radiation Detection and Measurement. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, 1989.
13. Curtiss, L. F. Introduction to Neutron Physics. New Delhi: Affifiated East-West Press, 1959.
14. Garrett, D. A. and Berger, H. The Technological Development of Neutron Radiography. Atomic Energy Review 15 No. 2(1977): 125-142.
15. Tsoulfanidis, N. Measurement and Detection of Radiation. New York: McGraw-Hill, 1983.
16. Lamarsh, John R. Introduction to Nuclear Engineering. 2nd edition. Massachusetts: Addison-Wesley, 1983.

17. Edmonds, E. A. The Basis Physics of Radioactivity. Radioisotope Techniques for Problem-Solving in Industrial Process Plants. Glasgow: Leonard Hill, 1986.

18. Bartle, C. M. Features of the Measurement of Fat in Meat using Neutron/Gamma Transmission (NEUGAT) Method. Appl. Radiat. Isot. 46 No. 5(1995): 741-750.

19. มาโนช โชติศศิธร. เครื่องวัดความชื้นและความหนาแน่นของดินโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนและแกมมาสำหรับงานสร้างถนน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

20. ประวิทย์ เจริญกิจสุพัฒน์. การวัดความชื้นของแป้งมันสำปะหลังด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีนิวตรอนเร็วโดยใช้หัววัดแบบแก้วเรืองรังสี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

21. Wada, N. Measurement of Moisture and Hydrogen Contents by Intermediate Neutron Moderation. Journal of Radioanalytical Chemistry 23(1974): 147-158.

22. Wada, N. Measurement of Low Concentrations of Hydrogen in Small Samples by Intermediate Neutron Moderation. Journal of Radioanalytical Chemistry 44(1978): 175-187.

23. Wada, N. On-Stream Measurement of Heavy Water Concentration by Intermediate Neutron Moderation. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 129 No. 1 (1989): 121-131.

24. ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล และ นเรศร์ จันทน์ขาว. การวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักโดยใช้นิวตรอนพลังงานปานกลาง. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

25. เฉลิมเดช เฉลิมลาภอัศดร. การวัดปริมาณความชื้นในวัสดุก่อสร้างบางชนิดโดยเทคนิคการกระเจิงกลับของนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย, 2531.

26. อุทิศ ทองกลึง. การวัดความชื้นในวัสดุก่อสร้างบางชนิดด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย, 2536.

27. Gardner, P. R. and Ely, L. R. Jr. Radioisotope Measurement Application in Engineering. New York: Reinhold, 1967.

28. Chongsong, J. Combined Neutron Moisture Gamma Density Depth Gauge. National Executive Management Seminars on the Application of Nucleonic Gauging Techniques to Civil Engineering (August 1989).

29. Helf, S. Practical Applications of Neutron Radiography and Gauging. ASTM Special technical Publication 586.

30. Close, D. A.; Bearse, R. C. and Menlove, H. O. ^{252}Cf-Based Hydrogen Analyzer. Nuclear Instrument and Methods 136(1976): 131-135.

31. Harms, A. A. Physical Processes and Mathematical Methods in Neutron Radiography. Atomic Energy Review 15 No. 2(1977): 143-168.

32. Mott, W. E. and Rhodes, D. F. Hydrogen Analysis by Slow Neutron Transmission. Radioisotope Instruments in Industry and Geophysics 347- 364.

33. Cox, A. J. The Design of Neutron Howitzer. International Journal of Applied Radiation and Isotopes 19(1968): 541-544.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

จำนวนนับนิวตรอนที่ได้จากการใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนนั้นนอกจากจะขึ้นกับปริมาณของไขมันในตัวอย่างแล้วยังขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวอย่างด้วย ในกรณีที่ตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีความหนาแตกต่างกัน ปริมาณไขมันที่อ่านได้จากกราฟปรับเทียบก็อาจจะเกิดการผิดพลาดขึ้นได้ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวการใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาร่วมกับเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนได้ถูกพัฒนาขึ้น เนื่องจากจำนวนนับรังสีแกมมาที่ได้จากเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาจะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของความหนาหรือความหนาแน่นของตัวอย่างเท่านั้น ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงชนิดหรือส่วนประกอบของตัวอย่าง

การใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาร่วมกับเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะใช้หาค่าแก้สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาแตกต่างกัน ซึ่งทำได้โดยการสร้างกราฟปรับเทียบระหว่างอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมากับความหนาของตัวอย่าง จำนวนนับนิวตรอนกับความหนาของตัวอย่าง และจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันในตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ ก.1, ก.2 และ ก.3 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของตัวอย่าง ความหนาของตัวอย่างที่คำนวณได้จากการกราฟปรับเทียบระหว่างอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมากับความหนาของตัวอย่างจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาจำนวนนับนิวตรอนสุทธิ สุดท้ายจำนวนนับนิวตรอนสุทธิที่คำนวณได้จะถูกนำไปใช้คำนวณหาค่าปริมาณไขมันจากกราฟปรับเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมัน

1. การคำนวณหาค่าแก้สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาไม่เท่ากัน

การหาค่าแก้สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาแตกต่างกันทำได้โดยการสร้างกราฟปรับเทียบระหว่างอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาขณะที่มีและไม่มีตัวอย่างกับความหนาของตัวอย่าง กราฟระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับความหนาของตัวอย่าง และกราฟระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันในตัวอย่าง โดยกราฟปรับเทียบระหว่างอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาขณะที่มีและไม่มีตัวอย่างกับความหนาของตัวอย่างจะทำให้ทราบความหนาของตัวอย่าง กราฟระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับความหนาของตัวอย่างทำให้ทราบจำนวนนับนิวตรอนสุทธิ และกราฟระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันในตัวอย่างทำให้ทราบปริมาณของไขมันที่มีอยู่ในตัวอย่าง

การคำนวณหาความหนาของตัวอย่างทำได้โดยการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาดังรูปที่ ก.1 โดยใช้สมการที่ ก.1 และ ก.2

$$C_\gamma = 0.9775e^{-0.1559t} \quad (ก.1)$$

$$F_\gamma = -13.8889\ (I_\gamma - I_w) \quad (ก.2)$$

$$T = 4.6667 - 13.8889\ (I_\gamma - I_w) \quad (ก.3)$$

$$= 4.6667 + F_\gamma$$

โดยที่ C_γ คือ อัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมา

t คือ ความหนาของตัวอย่าง

I_γ คือ อัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาที่ได้จากการทดลอง

I_w คือ อัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาที่ได้จากตัวอย่างน้ำ

F_γ คือ ค่าแก้สำหรับหาความหนาของตัวอย่าง

T คือ ความหนาของตัวอย่างที่ได้จากการแก้ค่าอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมา

จากสมการที่ ก.1 ทำให้ทราบว่าเมื่ออัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น 3.6×10^{-4} จะทำให้ความหนาของตัวอย่างลดลง 0.005 กรัม/ซม^2 จากนั้นนำค่าความหนาที่คำนวณได้จากสมการที่ ก.3 ไปแทนในสมการที่ ก.6 เพื่อคำนวนหาจำนวนนับนิวตรอนสุทธิ

$$C_n = 1425.6t^2 + 8719t - 5939.3 \quad (ก.4)$$

$$F_n = 22017.56 \times (4.6667 - T) \quad (ก.5)$$

$$= 305799.6891(I_\gamma - I_w)]$$

$$I_n = C + 22017.56 \times (4.6667 - T) \quad (ก.6)$$

$$= C + F_n$$

โดยที่ C_n คือ จำนวนนับนิวตรอน

F_n คือ ค่าแก้สำหรับหาจำนวนนับนิวตรอนสุทธิ

C คือ จำนวนนับนิวตรอนที่ได้จากการทดลอง

I_n คือ จำนวนนับนิวตรอนสุทธิที่ได้จากการแก้ค่าความหนาของตัวอย่าง

จากสมการที่ ก.4 ทำให้ทราบว่าเมื่อความหนาของตัวอย่างลดลง 0.005 กรัม/ ซม^2 จะทำให้จำนวนนับนิวตรอนเปลี่ยนแปลงไป 110.0878 count/30 min.จากนั้นนำจำนวนนับ

นิวตรอนสุทธิที่คำนวณได้จากสมการที่ ก.6 ไปแทนค่าลงในสมการที่ ก.7 ซึ่งได้จากกราฟปรับเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันในตัวอย่างเพื่อใช้คำนวณหาปริมาณไขมันที่ถูกต้อง

$$N = 562.63\,f + 184774 \qquad (ก.7)$$

$$F_f = 1.777 \times 10^{-3} \times [\,C + 305799.6891(I_\gamma - I_w) - 187997.8699] \qquad (ก.8)$$

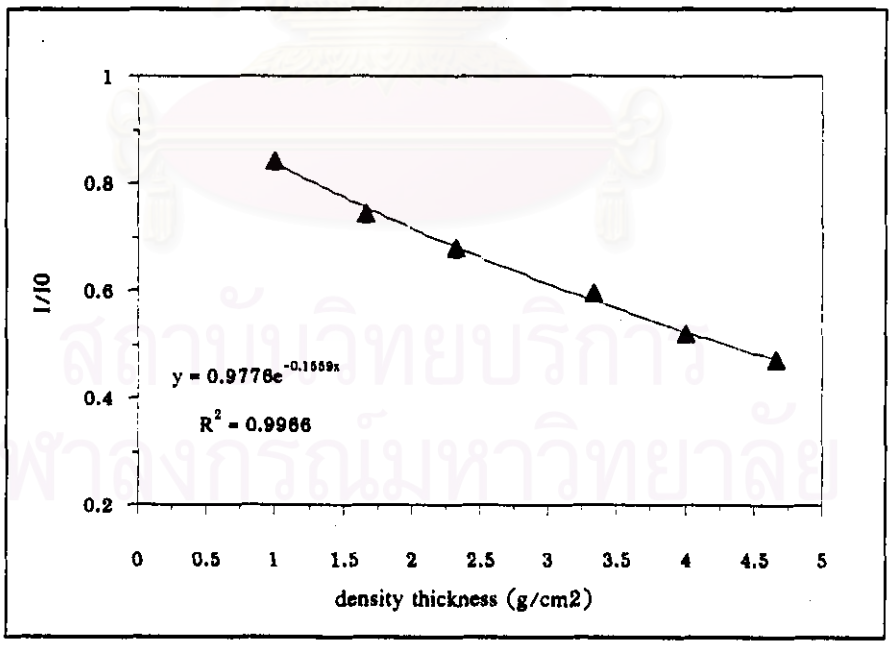
$$Fat = 5.73 + F \qquad (ก.9)$$

โดยที่ N คือ จำนวนนับนิวตรอนสุทธิ

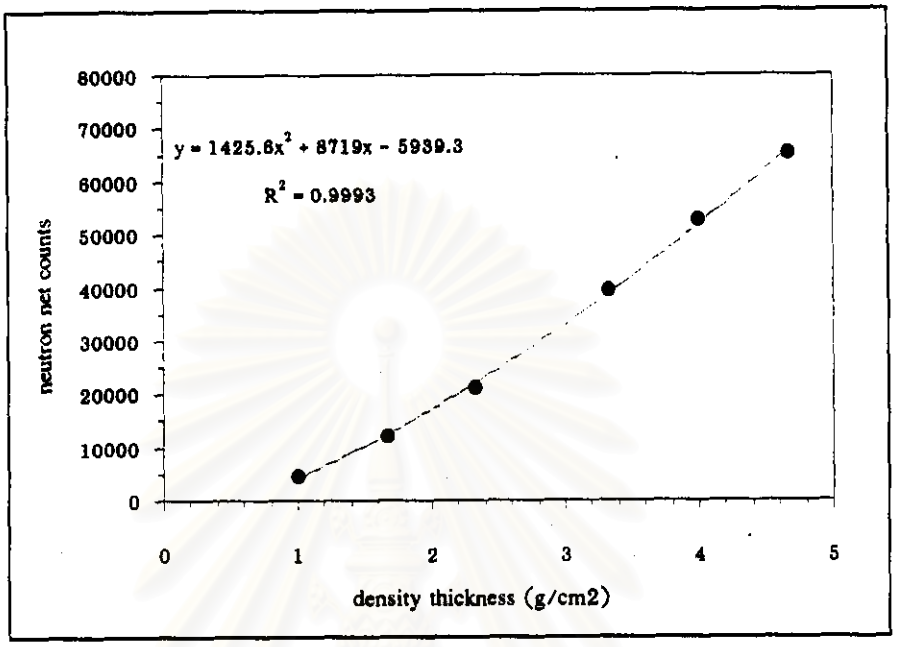
f คือ ปริมาณไขมันในตัวอย่าง

F_f คือ ค่าแก้สำหรับคำนวณหาปริมาณไขมันในตัวอย่าง

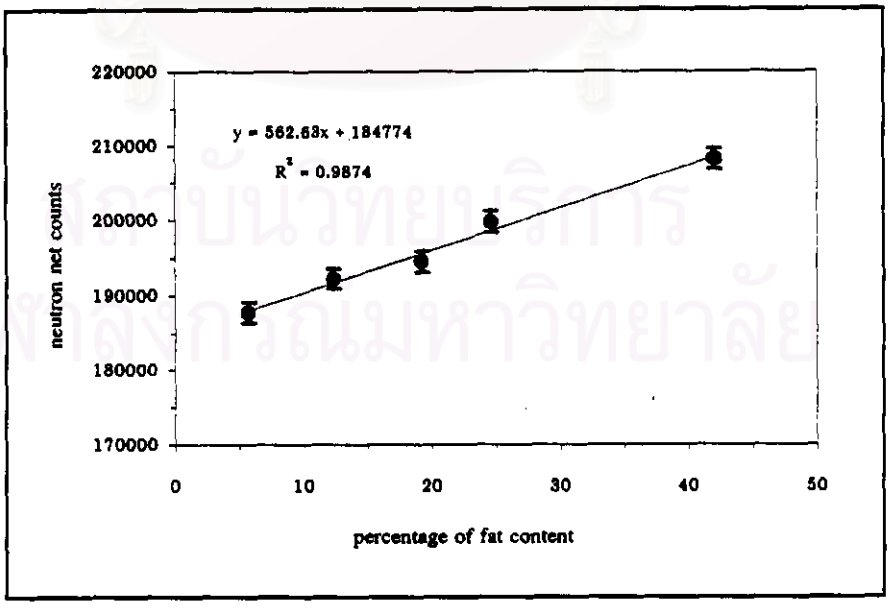
Fat คือ ปริมาณไขมันในตัวอย่างที่ได้จากการแก้ค่า



รูปที่ ก.1 แสดงกราฟปรับเทียบระหว่างอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมากับความหนาของตัวอย่าง



รูปที่ ก.2 แสดงกราฟปรับเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับความหนาของตัวอย่าง



รูปที่ ก.3 แสดงกราฟปรับเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันในตัวอย่าง

2. ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณไขมันจากกราฟปรับเทียบ

วิธีการคำนวณหาปริมาณไขมันจากเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมาแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาความหนาที่แท้จริงของตัวอย่าง ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาจำนวนนับนิวตรอนสุทธิ และ ขั้นตอนสุดท้ายคือการคำนวณหาปริมาณไขมันในตัวอย่าง แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 คำนวณหาความหนาที่แท้จริงของตัวอย่าง โดยการปรับเทียบอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาของตัวอย่างที่นำมาทดสอบกับอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาของตัวอย่างน้ำหนา 4.6667 กรัม/ซม^2 อัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาและความหนาของตัวอย่างมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ ก.1 อัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถนำมาใช้ในการคำนวณหาความหนาของตัวอย่างได้ดังนี้

C_γ = 0.47228 t = 4.6667 กรัม/ซม^2

C_γ = 0.47264 t = 4.6617 กรัม/ซม^2

เมื่อ C_γ เพิ่มขึ้น 3.6×10^{-4} t เพิ่มขึ้น -0.005 กรัม/ซม^2

C_γ เพิ่มขึ้น $(I_\gamma - I_w)$ t เพิ่มขึ้น $\dfrac{-0.005 \times (I_\gamma - I_w)}{3.6 \times 10^{-4}}$

t เพิ่มขึ้น $-13.8889(I_\gamma - I_w)$

$\therefore$ ความหนาของตัวอย่าง (T) $= 4.6667 + [-13.8889(I_\gamma - I_w)]$

$= 4.6667 - [13.8889(I_\gamma - I_w)]$

2.2 การคำนวณหาจำนวนนับนิวตรอนสุทธิ ทำได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนสุทธิกับความหนาของตัวอย่างดังสมการที่ ก.4 จำนวนนับนิวตรอนสุทธิสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

ถ้า t = 4.6667 กรัม/ซม^2 C_n = 65796.5008

t = 4.6617 กรัม/ซม^2 C_n = 65686.4130

เมื่อ t ลดลง 0.005 C_n ลดลง 110.0878

t ลดลง (4.6667-T) C_n ลดลง $\frac{110.0878 \times (4.6667 - T)}{0.005}$

C_n ลดลง $22017.56 \times (4.6667 - T)$

แทนค่า T จากสมการที่ ก.3 ลงในสมการจะได้ว่า

C_n ลดลงเท่ากับ $22017.56 \times [13.8889(I_\gamma - I_w)]$

ลดลงเท่ากับ $305799.6891(I_\gamma - I_w)$

$\therefore$ จำนวนนับนิวตรอนสุทธิ $(I_n) = C + [305799.6891(I_\gamma - I_w)]$ (ก.10)

2.3 การคำนวณหาปริมาณไขมันในตัวอย่าง ทำได้โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันในตัวอย่างซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ ก.7 การคำนวณหาปริมาณไขมันในตัวอย่างสามารถคำนวณได้ดังนี้

ถ้า N = 187997.8699 f = 5.73

N = 191728.1068 f = 12.36

เมื่อ N เพิ่มขึ้น 3730.2369 f เพิ่มขึ้น 6.63%

N เพิ่มขึ้น $(I_n - 187997.8699)$ f เพิ่มขึ้น $\frac{6.63 \times (I_n - 187997.8699)}{3730.2369}$

เพิ่มขึ้น

$1.777 \times 10^{-3}(I_n - 187997.8699)$

แทนค่า I_n จากสมการที่ ก.6 ลงในสมการจะได้ว่า

N เพิ่มขึ้น $1.777 \times 10^{-3} [C + 305799.6891 (I_\gamma - I_w) - 187997.8699]$

$\therefore$ ปริมาณไขมัน = $5.73 + \{1.777 \times 10^{-3} [C + 305799.6891(I_\gamma - I_w) - 187997.8699]\}$ (ก.11)

หรือ ปริมาณไขมัน = $5.73 + F_f$ %

โดย F_f คือ ค่าแก้ของการหาปริมาณไขมันที่ใช้ในงานวิจัยนี้

$= 1.777 \times 10^{-3} [Cn + 305799.6891(I_\gamma - I_w) - 187997.8699]$

จากสมการที่ ก.9 ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณไขมันในตัวอย่างโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมาได้ถ้าทราบอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาของตัวอย่างเนื้อหมูบด อัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาของตัวอย่างน้ำหนา 4.67 กรัม/ซม^2 และจำนวนนับนิวตรอนของตัวอย่าง ตัวอย่างของการคำนวณหาปริมาณไขมันในตัวอย่างแสดงไว้ในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณไขมัน

ตัวอย่างที่	อัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมา	จำนวนนับนิวตรอน	ปริมาณไขมันที่คำนวณได้	ปริมาณไขมันที่หาได้ด้วยวิธีมาตรฐาน
1	0.45244	197859	13.65	16.26
2	0.45316	195662	10.13	14.60
3	0.44981	201700	19.04	16.01
4	0.46198	204818	31.20	29.68

* อัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมาของตัวอย่างน้ำ = 0.47012

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสิตา กองคำ เกิดเมื่อวันที่ 19 มกราคม พ.ศ. 2517 ที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา จบการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชารังสีเทคนิค จากคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปี พ.ศ. 2538 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย