การหาปริมาณไขมันในเนื้อหมูบด
โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน/รังสีแกมมา

นางสาว สิตา กองคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-422-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19413634

DETERMINATION OF FAT IN MINCED PORK USING EPITHERMAL NEUTRON/GAMMA-RAY TRANSMISSION TECHNIQUE

Miss Sita Kongkum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-332-422-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาปริมาณไขมันในเนื้อหมูบดโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาล นิวตรอน/รังสีแกมมา
โดย	นางสาว สิตา กองคำ
ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สิตา กองคำ : การหาปริมาณไขมันในเนื้อหมูบดโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน/รังสีแกมมา (DETERMINATION OF FAT IN MINCED PORK USING EPITHERMAL NEUTRON/GAMMA-RAY TRANSMISSION TECHNIQUE) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผศ. นเรศร์ จันทน์ขาว, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: รศ. สมยศ ศรีสถิตย์, 99 หน้า. ISBN 974 - 332 - 422 - 4.

ได้พัฒนาวิธีการหาปริมาณไขมันในเนื้อหมูบดโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน ทำการผลิตนิวตรอนช้าโดยใส่ต้นกำเนิดนิวตรอนชนิดอะเมริเซียม-241/เบริลเลียม ความแรง 120 มิลลิคูรี (4.44 กิกะเบคเคอเรล) ไว้ในพาราฟินทรงตันขนาด 30 ซม. × 30 ซม. × 16 ซม โดยมีแผ่นแคดเมียม 1 แผ่นและแผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น วางทับด้านบนของพาราฟินเพื่อดูดกลืนเทอร์มาลนิวตรอนให้เหลือแต่เอพิเทอร์มาลนิวตรอนทะลุผ่านไปยังตัวอย่างได้ ในการวัดเทอร์มาลนิวตรอนได้ใช้ตัวอย่างเนื้อหมูบดประมาณ 1400 กรัม บรรจุไว้ในกล่องอลูมิเนียมขนาด 10 ซม. × 30 ซม. × 5 ซม. ซึ่งวางอยู่บนแผ่นแคดเมียมและแผ่นยางผสมโบรอน โดยมีหัววัดเทอร์มาลนิวตรอนชนิดโบรอนไตรฟลูออไรด์ 2 หัววางอยู่บนกล่องบรรจุตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่าจำนวนนับนิวตรอนเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณไขมันในตัวอย่าง นอกจากนี้ยังได้ใช้การส่งผ่านรังสีแกมมาพลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จากต้นกำเนิดอะเมริเซียม-241 ปรับแก้ความแปรปรวนของผลเนื่องจากความแตกต่างของความหนาของตัวอย่าง จากการทดลองวัดปริมาณไขมันของเนื้อหมูบด 4 ตัวอย่างเปรียบเทียบกับวิธีมาตราฐานทางเคมีพบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจและชี้ให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการหาปริมาณไขมันได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา .....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....
สาขาวิชา .....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....
ปีการศึกษา .....2541.....

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

#3972056721 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEY WORD: EPITHERMAL NEUTRON/GAMMA - RAY TRANSMISSION TECHNIQUE / MINCED PORK / EPITHERMAL NEUTRON

SITA KONGKUM : DETERMINATION OF FAT IN MINCED PORK USING EPITHERMAL NEUTRON/GAMMA-RAY TRANSMISSION TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. NARES CHANKOW, THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMYOT SRISATIT. 99 pp. ISBN 974 - 332 - 422 - 4 .

A method for determining fat content in minced pork using epithermal neutron transmission technique was developed. Four $^{241}Am/^{9}Be$ radioisotopic fast neutron sources having a total activity of 120 mCi (4.44 GBq) were placed in a 30 cm × 30 cm × 16 cm paraffin block to produce slow neutrons. A cadmium and two boron rubber sheets were placed on top of the paraffin block to absorb thermal neutrons allowing only epithermal neutrons to reach the sample. About 1400 g of minced pork sample was contained in a 10 cm × 30 cm × 5 cm aluminum box and placed on the cadmium and boron rubber sheets for neutron counting. Two boron trifluoride detectors were used to detect thermal neutrons. It was found that the neutron count was directly proportional to the fat content in the sample. For better results, gamma-ray transmission technique using 60-keV gamma-rays from ^{241}Am source was also used to normalize variation of sample thicknesses. Finally, the fat content in 4 unknown samples were determined by the developed method in comparison to the standard chemical method. It was found that the results were satisfactory and indicated possible use of the developed method for fat determination.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยดูแลและให้คำปรึกษาแนะนำมาโดยตลอด รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ได้ให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิศิษฐ ทวีปรังษีพร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณะชัยยะ อาจารย์ เดโช ทองอร่าม และ อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ รวมทั้งอาจารย์ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีทุกท่าน ที่ให้ความกรุณาและให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้การอุดหนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นิสิตภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีโดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณปรวรรณ เสวตเวชากุล คุณปิยะพร สิ้นโศรก คุณฉัตรชัย อัสดาธร คุณวิทิต ผึ่งกัน และ คุณจเด็จ เย็นใจ สำหรับความช่วยเหลือ ความห่วงใย และคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ บิดา-มารดา ซึ่งได้ให้การสนับสนุนให้ข้อคิดเห็น และเป็นกำลังใจให้เสมอมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ทำวิจัย
นางสาว สิตา กองคำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ
กิตติกรรมประกาศ .....ฉ
สารบัญ .....ช
สารบัญตาราง .....ฌ
สารบัญภาพ .....ญ
บทที่

1.บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4
2. นิวตรอนและรังสีแกมมา 5
2.1 อนุภาคและรังสี 5
2.2 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ 8
2.3 นิวตรอน 10
2.3.1 คุณสมบัติบางประการของนิวตรอน 10
2.3.2 ต้นกำเนิดนิวตรอน 11
2.3.3 พลังงานของนิวตรอน 15
2.3.4 อันตรกิริยาของนิวตรอนกับตัวกลาง 16
2.3.5 ภาคตัดขวางนิวตรอน 19
2.3.6 นิวตรอนฟลักซ์ 21
2.3.7 การลดทอนความเข้มนิวตรอน 22
2.3.8 การหน่วงพลังงานของนิวตรอน 25
2.3.9 หัววัดนิวตรอน 25
2.4 รังสีแกมมา 27
2.4.1 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา 28
2.4.2 การลดทอนรังสีแกมมา 31
2.4.3 หัววัดรังสีแกมมา 33

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3. เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน/รังสีแกมมา 36
3.1 หลักการวัดปริมาณไฮโดรเจนด้วยเทคนิคนิวตรอน 36
3.2 หลักการวัดปริมาณไขมันในเนื้อหมูบดโดยใช้
เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมา 48
4. วัสดุอุปกรณ์ วิธีการดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย 50
4.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 50
4.2 วิธีการ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย และผลการวิจัย 57
4.2.1 หาเงื่อนไขของระบบวัดและตัวอย่างที่เหมาะสม
ในการวัดนิวตรอนช้า 58
4.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนนับนิวตรอนและจำนวนนบรังสีแกมมา
เมื่อตัวอย่างมีน้ำหนักและปริมาณไขมันต่าง ๆ กัน 69
4.2.3 สร้างกราฟปรับเทียบสำหรับการวัดปริมาณไขมัน 72
4.2.4 ทำการทดลองวัดปริมาณไขมันในตัวอย่างเนื้อหมูบดโดยการส่งผ่าน
เอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมา.....78
5. สรุป วิจารณ์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....81
5.1 สรุปผลการทดลอง 81
5.1.1 ผลการทดลองหาเงื่อนไขของตัวอย่างและระบบวัดที่เหมาะสม.....81
5.1.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนับนิวตรอนและรังสีแกมมา
เมื่อตัวอย่างมีน้ำหนักหรือความหนาต่าง ๆ กัน.....84
5.1.3 ผลการทดลองสร้างกราฟปรับเทียบสำหรับการวัดปริมาณไขมัน
และหาค่าแก้สำหรับตัวอย่างที่มีความหนาแตกต่างกัน 85
5.1.4 ผลการทดลองวัดปริมาณของไขมันในตัวอย่างด้วยเทคนิคการส่งผ่าน
เอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมา 86
5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 86
รายการอ้างอิง 88
ภาคผนวก 91
ประวัติผู้เขียน 99

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงลักษณะเฉพาะของเครื่องเร่งอนุภาคบางชนิดที่ใช้ผลิตนิวตรอน 13
2.2 แสดงคุณสมบัติของต้นกำเนิดนิวตรอนแบบสลายตัวให้รังสีแกมมา 14
2.3 แสดงคุณสมบัติของต้นกำเนิดนิวตรอนแบบสลายตัวให้อนุภาคอัลฟา 15
3.1 คุณสมบัติบางประการของธาตุบางชนิดที่ใช้การลดพลังงานของนิวตรอน 37
3.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของการชนกับนิวตรอนของธาตุบางชนิด 38
4.1 แสดงผลการทดลองระหว่างความกว้างของภาชนะบรรจุน้ำต่อจำนวนนับนิวตรอน.....60
4.2 แสดงผลการทดลองระหว่างความสูงของภาชนะบรรจุน้ำต่อจำนวนนับนิวตรอน.....62
4.3 แสดงผลการทดลองระหว่างความหนาของเนื้อหมูบดต่อจำนวนนับนิวตรอนเมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอน 1 แผ่น.....64
4.4 แสดงผลการทดลองระหว่างความหนาของเนื้อหมูบดต่อจำนวนนับนิวตรอนเมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น.....64
4.5 แสดงผลการทดลองระหว่างตำแหน่งของหัววัดนิวตรอนต่อจำนวนนับนิวตรอน 67
4.6 แสดงผลการทดลองเมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา 2 ชนิด 69
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับความหนาของตัวอย่างหมูเนื้อแดง.....70
4.8 แสดงผลการทดลองระหว่างจำนวนนับรังสีแกมมากับความหนาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของมันหมูต่าง ๆ กัน.....71
4.9 แสดงผลการทดลองสร้างกราฟปรับเทียบของตัวอย่างชุดที่ 1 (ปริมาณไขมันในช่วง 4.3- 84.54%) 74
4.10 แสดงผลการทดลองสร้างกราฟปรับเทียบของตัวอย่างชุดที่ 2 (ปริมาณไขมันในช่วง 5.73- 42.02%) 74
4.11 แสดงผลการทดลองระหว่างจำนวนนับรังสีแกมมากับตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของปริมาณไขมันต่าง ๆ กัน 77
4.12 แสดงผลการทดลองหาปริมาณไขมันจากตัวอย่าง 78
4.13 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไขมันที่หาได้จากวิธีมาตรฐานและการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมา.....79

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงสเปกตรัมของอนุภาคเบตา 6
2.2 แสดงการเกิดกระบวนการแอนนิฮิเลชันของโพซิตรอนกับอิเล็กตรอน 7
2.3 แสดงการเกิดอันตรกิริยาแบบต่าง ๆ ของนิวตรอนกับตัวกลาง 18
2.4 แสดงลำนิวตรอนที่ตกกระทบเป้า 19
2.5 แสดงการวัดนิวตรอนที่ไม่เกิดการชนกับนิวเคลียสของตัวกลาง 22
2.6 แสดงการคำนวณหาความน่าจะเป็นที่นิวตรอนจะวิ่งผ่านตัวกลางโดยไม่เกิด อันตรกิริยา 23
2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาคตัดขวางกับพลังงานของนิวตรอน สำหรับการเกิดปฏิกิริยา $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$ 26
2.8 แสดงสเปกตรัมพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 28
2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการเกิดปรากฏการณ์ โฟโตอิเล็กทริคเอฟเฟคกับพลังงานของรังสีแกมมาในตะกั่ว 29
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับพลังงานของรังสีแกมมา 30
2.11 แสดงลักษณะทั่วไปของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซ 33
2.12 แสดงองค์ประกอบของการจัดระบบวัดรังสีโดยหัววัดซินทิลเลชัน 34
3.1 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนเร็วด้วยเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอน 39
3.2 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนเร็วด้วยเทคนิคการกระเจิงนิวตรอน 40
3.3 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณของไฮโดรเจน 40
3.4 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนกระเจิงกลับแบบพื้นผิว 41
3.5 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนกระเจิงกลับในระดับลึก.....42
3.6 แสดงการจัดระบบวัดรังสีด้วยเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนเร็ว.....42
3.7 แสดงการจัดระบบวัดปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของตัวอย่าง 43
3.8 แสดงการจัดระบบวัดด้วยเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนและรังสีแกมมา 44
3.9 การจัดระบบวัดปริมาณน้ำชนิดหนัก..... 46
3.10 แสดงการจัดระบบวัดรังสีด้วยเทคนิคการส่งผ่านนิวตรอนพลังงานปานกลาง 46
3.11 แสดงการผลิตนิวตรอนพลังงานปานกลางจากต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว 47
3.12 แสดงค่าภาคตัดขวางการดูดกลืนนิวตรอนพลังงานต่ำ ของแคดเมียมและโบรอน 47
3.13 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนช้าในการวิเคราะห์ไฮโดรเจน 48

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.14 แสดงตัวอย่างการใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน ในการวัดความชื้นในตัวอย่างขนาดเล็ก 49
4.1 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนช้า....52
4.2 แสดงแผนภาพการจัดระบบวัดนิวตรอนช้าโดยใช้หัววัดโบรอนไตรฟลูออไรด์....52
4.3 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบวัดนิวตรอนช้า....53
4.4 แสดงการจัดระบบวัดรังสีแกมมา....53
4.5 แสดงแผนภาพการจัดระบบวัดรังสีแกมมาโดยใช้ หัววัดโซเดียมไอโอไดด์(ทัลเลียม)....54
4.6 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบวัดรังสีแกมมา....54
4.7 แสดงการจัดระบบวัดรังสีโดยเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและ รังสีแกมมา 55
4.7 แสดงหัววัดนิวตรอนชนิดบรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ 56
4.9 แสดงหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดด์(ทัลเลียม) 56
4.10 แสดงเครื่องชั่งที่ใช้ในการชั่งตัวอย่าง....56
4.11 (ก) กล่องอะลูมิเนียมที่ใช้บรรจุตัวอย่าง (ข) กล่องอะลูมิเนียมล้อมรอบด้วย แผ่นยางผสมโบรอนสำหรับกำบังนิวตรอนที่กระเจิงจากวัสดุกำบังนิวตรอน....57
4.12 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนเมื่อเปลี่ยนความกว้างของภาชนะบรรจุน้ำ....59
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของภาชนะบรรจุตัวอย่างกับจำนวนนับ นิวตรอน 60
4.14 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนเมื่อเปลี่ยนความสูงของภาชนะบรรจุน้ำ....61
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของภาชนะบรรจุน้ำกับจำนวนนับนิวตรอน...62
4.16 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนโดยใช้แผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น 63
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเนื้อหมูบดต่อจำนวนนับนิวตรอน เมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอน 1 แผ่น 65
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของเนื้อหมูบดต่อจำนวนนับนิวตรอน เมื่อใช้แผ่นยางผสมโบรอน 2 แผ่น 65
4.19 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของหัววัดตามแนวยาวของภาชนะบรรจุตัวอย่าง หมูเนื้อแดง....67

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของหัววัดนิวตรอนกับจำนวนนับนิวตรอน....68
4.21 กราฟปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับความหนาของหมูเนื้อแดง....70
4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนจำนวนนับรังสีแกมมากับความหนาของตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของมันหมูต่าง ๆ กัน (ขนาด 30 ซม. (ก) × 10 ซม.(ย)) 72
4.23 แสดงการจัดระบบวัดนิวตรอนช้าที่ใช้ในการสร้างคราฟปรับเทียบ 73
4.24 แสดงกราฟปรับเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันของตัวอย่างชุดที่ 1 (ปริมาณไขมันในช่วง 4.3 – 84.54%) 75
4.25 แสดงกราฟปรับเทียบระหว่างจำนวนนับนิวตรอนกับปริมาณไขมันของตัวอย่างชุดที่ 2 (ปริมาณไขมันในช่วง 5.73 – 42.02%) 75
4.26 แสดงกราฟปรับเทียบของเทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมา....77
4.27 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณไขมันที่หาได้จากวิธีมาตรฐานและการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและรังสีแกมมา....79
5.1 แสดงปริมาตรวิกฤต และรัศมีวิกฤตของการใช้เทคนิคนิวตรอน 82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย