

การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมโดยใช้หัววัดเจอร์เมเนียมความบริสุทธิ์สูง /



นางสาว ภาวดี สราภัสสร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-861-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

i 1712976x

ENVIRONMENTAL GAMMA-RAY MEASUREMENT USING
A HIGH-PURITY GERMANIUM DETECTOR



Miss Paratee Sarapassorn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Nuclear Technology

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-861-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมโดยใช้หัววัดเจอร์เมเนียม
ความบริสุทธิ์สูง

โดย

นางสาวภารตี สราภัสสร

ภาควิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. ธัชชัย สุमितร

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์. ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธัชชัย สุमितร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....กรรมการ

(นางพรศรี พลพงษ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ภาวดี สราภัสสร : การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมโดยใช้หัววัดเจอร์เมเนียมความบริสุทธิ์สูง
(ENVIRONMENTAL GAMMA-RAY MEASUREMENT USING A HIGH-PURITY GERMANIUM
DETECTOR) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.รัชชัช สุมิตร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.เนเรศร์ จันทน์ขาว , 100 หน้า,
ISBN 974-636-861-3

ได้ทำการศึกษาและทดสอบเทคนิคการวัดรังสีแกมมาในพื้นที่จริงเพื่อนำไปใช้งานสำหรับการตรวจวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม หัววัดรังสีแกมมาที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นหัววัดรังสีเจอร์เมเนียมความบริสุทธิ์สูงที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 10% ได้ทำการเปรียบเทียบหัววัดรังสีที่มุมต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา ที่ระยะห่าง 1 เมตร โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน การวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาทำโดยใช้ซอฟต์แวร์ชื่อ GANAAS ของทบวงการประมาณะระหว่างประเทศ และได้สร้างสูตรบนไมโครซอฟต์เอกเซลเพื่อความสะดวกในการคำนวณต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพสัมพัทธ์ของหัววัดรังสี การสร้างกราฟเปรียบเทียบ การแก้ค่าการตอบสนองของหัววัดรังสีที่มุมต่าง ๆ การคำนวณฟลักซ์ ฯลฯ จากนั้นได้ทดลองวัดรังสีในภาคสนามในพื้นที่ 5 แห่งด้วยกัน คือ บริเวณสนามหญ้าด้านหน้าจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถานที่ก่อสร้างศูนย์วิจัยนิวเคลียร์ที่อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและหาดบ้านแพ จังหวัดระยอง ความเข้มข้นของโปแตสเซียม-40 ยูเรเนียม และทอเรียมในดินที่วัดได้อยู่ในช่วง 14.60 - 545.19, 7.94 - 20.97 และ 3.39 - 38.78 เบคเคอเรลต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของตัวอย่างดินที่เก็บจากพื้นที่เดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต ภาวดี สราภัสสร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รัชชัช สุมิตร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม เนเรศร์ จันทน์ขาว

C618704 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: ENVIRONMENTAL GAMMA-RAYS / IN SITU GAMMA-RAY MEASUREMENTS

Paratee Sarapassorn : Environmental Gamma-Ray Measurement Using A High- Purity Germanium Detector. Thesis Advisor : Associate Professor Tatchai Sumitra, Dr.Ing. Thesis Co-Advisor : Assistant Professor Nares Chankow, M.Eng. 100 pp. ISBN 974-636-861-3

Technique for in-situ gamma-ray measurement have been investigated and tested to be used for environmental gamma-ray monitoring. A portable high-purity germanium (HPGe) detector with relative efficiency of 10% was used in this research. The detector was calibrated for its detection efficiencies at different angles from 0 to 90 degrees for 1 meter distance using standard point sources. The spectrum analysis was performed by using the IAEA'S GANAAS software package. All Calculations such as the relative detection efficiency, curve fitting, angular response correction, photon flux and so on were easily performed by using the developed formulas on the Microsoft Excel. Field gamma-ray measurements were carried out in 5 areas i.e. the field in front of Chulalongkorn University, the new site of the Nuclear Research Center in Ongkarak District of Nakornnayok Province, Banrai District of Utaitani, Rayong Industrial Estate at Maptaput and Banpae beach of Rayong Province. The radioactivity of K-40, Uranium and Thorium were found to be in the range of 14.6-545.2 7.9-21.0 and 3.4-38.8 of soil respectively which were in good agreement with those obtained from laboratory analysis of the taken samples.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....

สาขาวิชา..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....

ปีการศึกษา..... 2539.....

ลายมือชื่อนิสิต..... ภาวณี สรรพโสธร.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ชัยเชิด.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... นพพร.....

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากบุคคลหลายท่าน โดยเฉพาะท่าน รองศาสตราจารย์ ดร. รัชชัย สุมิตร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ จันทน์ขาว ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในงานวิจัย และ ตรวจแก้ต้นฉบับวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ขอขอบคุณ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือใน การขอยืมชุดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน สำหรับการเปรียบเทียบพลังงานและหัววัดรังสี จาก โรงเรียนฟิสิกส์การแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามธิบดี ซึ่งขอขอบพระคุณอย่างสูงในความเอื้อเฟื้อให้ยืมมา ณ ที่นี้ด้วย ขอขอบคุณ มิสเตอร์ นาโอโตะ มียากาวา (นักวิจัยทางด้าน Power Reactor จาก NPC {Nuclear Fuel Development Corporation}, ประเทศญี่ปุ่น) ที่กรุณาแนะนำแนวทางดำเนินการวิจัยและวิเคราะห์ผล อีกทั้งยังกรุณาให้เอกสารที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง และทุกๆท่าน ที่ได้เคยมีส่วนร่วมในการช่วยเหลืองานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเสร็จมาได้ ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล การประดิษฐ์อุปกรณ์สำหรับตั้งหัววัดรังสี การแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนการออกทำการวิจัยนอกสถานที่ซึ่งยากลำบากและเหน็ดเหนื่อย และที่ลืมไม่ได้คือกำลังใจที่มีให้อยู่เสมอจากครอบครัวและบุคคลใกล้ชิดทุกท่าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ(อังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	4
1.5 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2. กัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อม.....	6
2.1 แหล่งกำเนิดของกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อม.....	6
2.1.1 แหล่งกำเนิดกัมมันตภาพรังสีตามธรรมชาติ.....	6
2.1.1.1 รังสีที่คอสมิก.....	6

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.1.1.1.1 รังสีที่คอสมิกปฐมภูมิ.....	6
2.1.1.1.2 รังสีที่คอสมิกทุติยภูมิ.....	6
2.1.2 กัมมันตรังสีที่ปะปนอยู่ที่ผิวโลก.....	7
ลำดับการสลายตัวให้รังสี.....	8
โปแตสเซียม.....	8
อนุกรมยูเรเนียม.....	8
อนุกรมทอเรียม.....	9
สภาพสมดุลของอนุกรมการสลายตัวให้รังสี.....	9
2.1.2.กัมมันตภาพรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น.และจากกิจกรรมของมนุษย์.....	11
2.2.การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม.....	12
2.2.1.การวัดปริมาณรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ.....	12
2.2.2.การวัดรังสีแกมมาในพื้นที่จริง.....	13
รูปแบบการกระจายของรังสีในดิน.....	14
การกระจายแบบปกคลุมพื้นผิวดิน.....	15

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

การกระจายแบบเอกโปเนนเชียลกับความลึก.....	15
การกระจายอย่างสม่ำเสมอกับความลึก.....	15
2.2.2.1 การเปรียบเทียบหัววัดรังสี.....	16
การเปรียบเทียบหัววัดรังสีที่สัมพันธ์กับพลังงาน.....	16
การเปรียบเทียบหัววัดรังสีที่สัมพันธ์กับมุมที่ฟลักซ์ตกกระทบบหัววัด.....	16
ประสิทธิภาพสมบูรณ์ของการวัด	18
ประสิทธิภาพแบบอินทรีนลิก.....	19
2.2.2.2 การเลือกสถานที่.....	19
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และการดำเนินการวิจัย.....	20
3.1 วัสดุ อุปกรณ์	20
3.2 การเปรียบเทียบเครื่องมือวัดรังสี.....	21
3.2.1 การเปรียบเทียบหัววัดรังสีกับพลังงาน.....	21
3.2.2 การเปรียบเทียบหัววัดรังสีกับมุม.....	22
3.3 การทำเวิร์กชิตบนโปรแกรมประเภทสเปรดชีต(เอ็กเซล).....	23
3.4 วิธีการดำเนินการวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมในพื้นที่จริง.....	24

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.5 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ.....	25
วิธีการเตรียมตัวอย่างและสารมาตรฐานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้.....	25
การเลือกพลังงานของรังสีแกมมา เพื่อวิเคราะห์ปริมาณ.....	26
ขั้นตอนการปฏิบัติ.....	27
บทที่ 4 ผลการวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม.....	30
พื้นที่ที่สนใจในการวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม.....	30
สเปกตรัมของรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ที่สนใจ.....	31-35
ผลการวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมพื้นที่ที่สนใจเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน.....	36
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ.....	38
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	38
เสนอแนะ.....	40
รายการอ้างอิง.....	41-44
ภาคผนวก.....	69-99
ประวัติผู้เขียน.....	100

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงธาตุกัมมันตรังสีดั้งเดิมที่เกิดมาพร้อมผิวโลก.....	46
ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างธาตุกัมมันตรังสีในดิน.....	46
ตารางที่ 2.3 แสดงธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิก.....	47
ตารางที่ 2.4 แสดงรูปแบบการสลายตัวของโปแตสเซียม-40.....	48
ตารางที่ 2.5(ก) แสดงการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม.....	48
ตารางที่ 2.5(ข) แสดงพลังงานต่าง ๆ ในอนุกรมยูเรเนียม เรียงตามลำดับพลังงาน.....	48
ตารางที่ 2.5(ค) แสดงพลังงานต่าง ๆ ของธาตุในอนุกรมยูเรเนียม.....	49
ตารางที่ 2.5(ง) แสดงพลังงานต่าง ๆ ของธาตุในอนุกรมยูเรเนียม (ต่อ).....	50
ตารางที่ 2.6(ก) แสดงการสลายตัวของอนุกรมทอเรียม.....	51
ตารางที่ 2.6(ข) แสดงพลังงานต่าง ๆ ในอนุกรมทอเรียม เรียงตามลำดับพลังงาน.....	51
ตารางที่ 2.6(ค) แสดงคุณสมบัติของธาตุในอนุกรมทอเรียม.....	52
ตารางที่ 2.6(ง) แสดงคุณสมบัติของธาตุในอนุกรมทอเรียม (ต่อ).....	53
ตารางที่ 2.7(ก) แสดงธาตุกัมมันตรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น.....	54
ตารางที่ 2.7(ก) (ต่อ) แสดงธาตุกัมมันตรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น.....	55
ตารางที่ 3.1 แสดงเวิร์กชีตสำหรับการคำนวณการปรับเทียบหัววัดรังสี.....	56

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 3.2 แสดงเวิร์กชีตสำหรับการคำนวณปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมจากพื้นที่จริง.....	57
ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างเวิร์กชีตสำหรับการวิเคราะห์ K U Th ในดิน (ห้องปฏิบัติการ)..	58
ตารางที่ 3.4 แสดงเวิร์กชีตสำหรับการคำนวณปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมจากห้องปฏิบัติการ	59
ตารางที่ผ-ก-1แสดงค่าประสิทธิภาพกับพลังงานที่มุม 0-90องศา(GANAAS).....	70
ตารางที่ผ-ก-2แสดงค่าประสิทธิภาพกับพลังงานที่มุม 0-90องศา(การคำนวณด้วยตัวเอง)	71
ตารางที่ผ-ก-3 คุณสมบัติของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	71
ตารางที่ผ-ก-5แสดงค่าประสิทธิภาพกับพลังงานต่าง ๆที่มุม 0-90องศา.....	79
ตารางที่ผ-ก-6แสดงค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพของการวัดที่มุมต่าง ๆ.....	80
ตารางที่ผ-ก-8ตัวอย่างสมการที่พลังงาน 1461,1765,2614 keV.....	78
ตารางที่ผ-ก-9แสดงค่าฟลักซ์ที่พลังงานต่าง ๆ.....	82
ตารางที่ผ-ก-11แสดงค่า N_0/ϕ ที่พลังงานต่าง ๆ.....	88
ตารางที่ผ-ก-14แสดงตัวอย่างข้อมูลและผลจากการคำนวณ.....	90
ตารางที่ผ-ก-15แสดง ϕ/I ที่พลังงานต่าง ๆ.....	91
ตารางที่ผ-ก-16แสดง ϕ/I ต่อ pCi/g ของ ^{226}Ra และ ^{232}Th	94

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ผ-ง-1 แสดงน้ำหนักและความชื้นของดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง.....	96
ตารางที่ผ-จ แสดงผลการวิจัยเปรียบเทียบระหว่างการวัดรังสีในพื้นที่จริง.....	94
ตารางที่ผ-ช แสดงพลังงานของรังสีแกมมาที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์.....	99

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบการสลายตัวของบิสมัท-214.....	60
รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบการสลายตัวของแทลเลียม-208.....	60
รูปที่ 2.3 แสดงสเปกตรัมของยูเรเนียม-238.....	61
รูปที่ 2.4 แสดงสเปกตรัมของทอเรียม-232 และผลผลิตในอนุกรม.....	61
รูปที่ 2.5 แสดงวิธีการปรับเทียบประสิทธิภาพในแต่ละมุม.....	62
รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของฟลักซ์ที่มีผลต่อพื้นดินของพลังงาน 662 keV.....	63
รูปที่ 2.7 แสดงการจัดระบบเครื่องมือวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมจากพื้นที่จริง.....	64
รูปที่ 3.1 แสดงการวางภาชนะบรรจุตัวอย่างดินลงบนหัววัด NaI(Tl) ในห้องปฏิบัติการ.....	65
รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะตัวอย่างดินจากพื้นที่ต่าง ๆ ที่บรรจุในภาชนะพลาสติก.....	65
รูปที่ 3.3 แสดงการจัดระบบเครื่องมือวัดรังสีแกมมาจากตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ.....	65
รูปที่ 3.4 แสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากสารมาตรฐาน K U Th.....	66
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะพื้นที่ในบริเวณสถานที่ก่อสร้างศูนย์วิจัยนิวเคลียร์ องค์กรักษ์.....	67
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะพื้นที่ในบริเวณ อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี.....	67
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะพื้นที่ในบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด.....	68
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะพื้นที่ในบริเวณใกล้ชายหาดบ้านเพ จังหวัดระยอง.....	68

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ ผ-ก-4-1 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(0)กับพลังงาน.....	72
รูปที่ ผ-ก-4-2 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(10)กับพลังงาน.....	72
รูปที่ ผ-ก-4-3 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(20)กับพลังงาน.....	73
รูปที่ ผ-ก-4-4 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(30)กับพลังงาน.....	73
รูปที่ ผ-ก-4-5 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(40)กับพลังงาน.....	74
รูปที่ ผ-ก-4-6 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(50)กับพลังงาน.....	74
รูปที่ ผ-ก-4-7 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(60)กับพลังงาน.....	75
รูปที่ ผ-ก-4-8 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(70)กับพลังงาน.....	75
รูปที่ ผ-ก-4-9 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(80)กับพลังงาน.....	76
รูปที่ ผ-ก-4-10 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(90)กับพลังงาน.....	76
รูปที่ ผ-ก-4-11 กราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการวัดที่มุม(0-90)กับหลายพลังงาน.....	77
รูปที่ ผ-ก-10 แสดงเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ของรังสีแกมมากับพลังงาน.....	78
รูปที่ ผ-ก-7 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ของ P.D.E ratio ของ 296 keVกับมุมต่าง ๆ.....	81
รูปที่ ผ-ก-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง N_0/ϕ ที่มุมต่าง ๆกับหลายพลังงาน.....	83
รูปที่ ผ-ก-13-1 เปรียบเทียบ N_0/N_0 ของมุม(0-90)พลังงาน 122 keV ที่ L/D ต่าง ๆ.....	84

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ผ-ก-13-2 เปรียบเทียบ N_0/N_0 กับมุม (0-90) พลังงาน 662 keV ที่ L/D ต่าง ๆ.....	84
รูปที่ผ-ก-13-3 เปรียบเทียบ N_0/N_0 กับมุม (0-90) พลังงาน 1408 keV ที่ L/D ต่าง ๆ.....	85
รูปที่ผ-ก-13-4 เปรียบเทียบ N_0/N_0 กับมุมที่พลังงาน 122,662,1408 keV.....	86
รูปที่ผ-ก-13-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง N_f/N_0 กับ L/D ของผลึก Ge ในหัววัด.....	87
รูปที่ผ-ช แสดงค่าความสามารถทะลุผ่านของรังสีในดินและอากาศที่พลังงานต่าง ๆ.....	98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย