การพัฒนาระบบวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์โดยใช้ท่อนำแสงเคลือบปลายด้วยซินทิลเลเตอร์

นางสาวอุรณัตร กิตติกุล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-639-086-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17905759

DEVELOPMENT OF A THERMAL NEUTRON FLUX MEASUREMENT SYSTEM USING SCINTILLATOR-ENDCOATED OPTICS LIGHT GUIDE

MISS URACHAT KITTIKUL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology
Graduate School
Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-639-086-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์โดยใช้ท่อนำแสงเคลือบปลายด้วยซินทิลเลเตอร์
โดย	นางสาวอุรณัตร กิตติกุล
ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัชชัย สุมิตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุรฉัตร กิตติกุล : การพัฒนาระบบวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์โดยใช้ท่อนำแสงเคลือบปลายด้วยซินทิลเลเตอร์ (DEVELOPMENT OF A THERMAL NEUTRON FLUX MEASUREMENT SYSTEM USING SCINTILLATOR-ENDCOATED OPTICS LIGHT GUIDE) อ. ที่ปรึกษา : อ. อรรถพร ภัทรสุมันต์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล; 92 หน้า. ISBN 974-639-086-4.

ระบบวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยหัววัดนิวตรอนที่ทำจากท่อนำแสงเคลือบปลายด้วยซินทิลเลเตอร์ชนิด LiF / ZnS ระบบกลสำหรับขับเคลื่อนหัววัดนิวตรอน และโปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบ ระบบนี้สามารถสแกนวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งในแนวดิ่งและแนวระดับได้อย่างสะดวก อีกทั้งยังแสดงผลการวัดแบบกราฟิกในทันทีบนจอภาพของไมโครคอมพิวเตอร์ จากการทดลองวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ รอบต้นกำเนิดนิวตรอนพลูโตเนียม-238 / เบอริลเลียม ความแรง 5 คูรี ที่บรรจุในถังน้ำด้วยระบบนี้ พบว่า ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับการวัดโดยเทคนิคนิวตรอนแอคติเวชันเป็นอย่างดี และยังสอดคล้องกับผลการทดลองที่รายงานโดยทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA)

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต อุรฉัตร กิตติกุล

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C718948 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEY WORD: THERMAL NEUTRON FLUX / SCINTILLATOR / LIQUID LIGHT GUIDE
URACHAT KITTIKUL : DEVELOPMENT OF A THERMAL NEUTRON FLUX MEASUREMENT SYSTEM USING SCINTILLATOR-ENDCOATED OPTICS LIGHT GUIDE. THESIS ADVISOR : ATTAPORN PATTARASUMUNT, THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. SIRIWATTANA BANCHORNDHEVAKUL, 92 pp. ISBN 947-639-086-4.

The thermal neutron flux measurement system was developed, consists of an endcoated-scintillator optic light guide neutron detector, mechanical scanning system and supported software. The system can be used in scanning thermal neutron flux in both horizontal and vertical direction conveniently with instant display on monitor of a microcomputer. The results of thermal neutron flux measurements from a 5 Ci ^{238}Pu / Be neutron source in water tank using this system were found to agree very well with the results from neutron activation technique and also agree with the experimental results reported by the International Atomic Energy Agency (IAEA)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต อุรชัตร กิตติกุล

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความกรุณาและช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยดูแลและให้คำปรึกษาข้าพเจ้าตลอดมา รองศาสตราจารย์ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการเขียนวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว รองศาสตราจารย์ ดร. ชัชชัย สุมิตร และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ รวมทั้งอาจารย์ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การอุดหนุนทุนวิจัยบางส่วนในการทำวิจัยครั้งนี้และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างชุดอุปกรณ์ตลอดจน คุณบัญชา อุนพานิช ที่อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทำวิจัย รวมทั้งนิสิตภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบคุณ คุณฐิติกร เห็นทรัพย์ไพบูลย์ ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำในทุกด้าน คุณสุภสิทธ์ คะวีรัตน์ คุณศศิพันธุ์ ณ สงขลา คุณวิเชียร รตนธงชัย คุณอารีรัตน์ คอนดวงแก้ว และคุณสุเมธ อาวสกุลสุทธิ และคนอื่นที่มิได้กล่าวถึง ณ. ที่นี้ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจมาตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อ บิดา – มารดา คุณปู่ คุณป้า คุณน้าและบรรดาญาติ ๆ ทุกคนซึ่งให้การสนับสนุนในทุกด้าน ให้ข้อคิดเห็น และเป็นกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ข้าพเจ้าขอแสดงความกตัญญู มา ณ โอกาสนี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 1

1.3 ขอบเขตการวิจัย..... 2

1.4 ขั้นตอนการวิจัย..... 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้..... 2

2. ทฤษฎี..... 3

2.1 ชนิดและต้นกำเนิดนิวตรอน..... 3

2.1.1 ชนิดของนิวตรอน..... 3

2.1.2 ต้นกำเนิดนิวตรอน..... 3

2.2 การลดพลังงานนิวตรอน..... 6

2.3 เทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์..... 6

2.4 การวัดนิวตรอน..... 7

2.4.1 ใช้ผลการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ของนิวตรอน..... 7

2.4.2 ใช้ผลการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันโดยนิวตรอน..... 9

2.4.3 ใช้ผลการกระเจิงของนิวตรอน..... 9

2.4.4 ใช้ผลการอาบนิวตรอนแล้วทำให้เกิดสารกัมมันตรังสี..... 10

2.4.5 การนับจำนวนรอยบนฟิล์ม..... 10

2.5 หัววัดนิวตรอนชนิดท่อนำแสงเคลือบปลายด้วยซินทิลเลเตอร์..... 10

2.5.1 สารซินทิลเลเตอร์..... 11

2.5.2 เส้นใยนำแสง..... 14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

2.5.3 หลอดทวีคูณแสง..... 22

3. วัสดุ อุปกรณ์ และการพัฒนาระบบวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ 24

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย..... 24

3.2 การพัฒนาระบบวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์..... 26

3.3 การออกแบบ และพัฒนาหัววัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์..... 27

3.4 ระบบวัดนิวเคลียร์..... 28

3.5 การออกแบบและพัฒนาระบบขับเคลื่อนทางกล..... 29

3.6 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ..... 29

3.6.1 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบขับเคลื่อนทางกลกับไมโคร-คอมพิวเตอร์..... 30

3.6.2 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบวัดนิวเคลียร์ กับไมโครคอมพิวเตอร์ 36

3.7 การพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบ..... 38

3.7.1 เมนูหลัก..... 38

3.7.2 โปรแกรมสแกนวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์คอมพิวเตอร์..... 39

3.7.3 โปรแกรมแสดงเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่เก็บบันทึกไว้บนจอภาพไมโครคอมพิวเตอร์..... 41

4. การทดสอบและผลการทดสอบ..... 42

4.1 การทดสอบหัววัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่พัฒนาขึ้น..... 42

4.1.1 การทดสอบผลตอบสนองของท่อนำแสงที่ปราศจากสารซินทิลเลเตอร์ซึ่งมีต่อนิวตรอนและรังสีแกมมา..... 42

4.1.2 การทดสอบการตอบสนองของสารซินทิลเลเตอร์ชนิด ZnS(Ag) และ LiF / ZnS(Ag) ที่มีต่อรังสีจากต้นกำเนิดนิวตรอน ^{238}Pu / Be..... 43

4.1.3 การเปรียบเทียบความไวต่อเทอร์มัลนิวตรอนของสารซินทิลเลเตอร์ชนิด $LiBO_2$ / ZnS(Ag) กับ LiF / ZnS(Ag)..... 44

4.14 การทดสอบการตอบสนองของสารซินทิลเลเตอร์ที่ใช้ต่อนิวตรอนเร็วและอิพิเทอร์มัลนิวตรอน..... 46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

4.15 การทดสอบเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมของสารซินทิลเลเตอร์ที่ใช้..... 47
4.2 การปรับเทียบระบบวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่พัฒนาขึ้น..... 49
4.3 การทดสอบการทำงานของระบบวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่พัฒนาขึ้น..... 51
4.4 การเปรียบเทียบค่าเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่วัดโดยระบบที่พัฒนาขึ้น กับวิธี Foils Activation และจากผลการทดลองของ IAEA..... 54
4.5 การควบคุมและประมวลผลโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์..... 57
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 59
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 59
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 61
รายการอ้างอิง..... 62
ภาคผนวก ก..... 64
ภาคผนวก ข..... 65
ภาคผนวก ค..... 74
ภาคผนวก ง..... 76
ภาคผนวก จ..... 85
ภาคผนวก ฉ..... 86
ประวัติผู้เขียน..... 92

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 แสดงคุณสมบัติบางประการของต้นกำเนิดนิวตรอนชนิดต่าง ๆ..... 5

2.2 ตารางแสดงความยาวคลื่นแสงที่เกิดขึ้นจากสารเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ..... 13

2.3 ตารางแสดงคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงชนิดต่างๆ..... 17

3.1 แสดงการกำหนดตำแหน่งหมายเลขพอร์ทในไมโครคอมพิวเตอร์..... 30

4.1 แสดงจำนวนนับรังสีที่ระยะต่าง ๆ เมื่อวัดด้วยท่อนำแสงที่ปราศจากสารซินทิลเลเตอร์เชื่อมต่อกับหลอดทวีคูณแสง..... 42

4.2 แสดงจำนวนรังสีเฉลี่ยเมื่อเคลือบสารซินทิลเลเตอร์ชนิด ZnS(Ag) และ LiF / ZnS(Ag) ที่ปลายท่อนำแสง วัดที่ระยะต่าง ๆ ห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอนในแนวระดับ..... 43

4.3 แสดงจำนวนรังสีเฉลี่ยเมื่อเคลือบปลายท่อนำแสงด้วย สารซินทิลเลเตอร์ชนิด $LiBO_2$ / ZnS(Ag) และ LiF / ZnS(Ag) ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอนต่างๆ.. 45

4.4 แสดงจำนวนนับรังสีเฉลี่ยเมื่อไม่ได้หุ้มส่วนปลายของท่อนำแสงด้วยแคดเมียม และที่หุ้มด้วยแคดเมียม ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอนต่าง ๆ กันในน้ำ..... 46

4.5 แสดงจำนวนนับรังสีเฉลี่ยที่ความหนาของซินทิลเลเตอร์ต่าง ๆ กัน..... 48

4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีเฉลี่ยที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นกับค่าเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ ที่วัดได้โดยวิธี Foils Activation 50

4.7 แสดงค่าเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆในถังน้ำ..... 53

4.8 แสดงค่าเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ ที่ได้จากการวัดโดย ระบบที่พัฒนาขึ้นกับวิธี Foils Activation และผลการทดลองของ IAEA ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 8 cm ในแนวระดับ..... 54

4.9 แสดงค่าเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ ที่ได้จากการวัดโดย ระบบที่พัฒนาขึ้นกับวิธี Foils Activation และผลการทดลองของ IAEA ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 10 cm ในแนวระดับ.....55

4.10 แสดงค่าเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ ที่ได้จากการวัดโดย ระบบที่พัฒนาขึ้นกับวิธี Foils Activation และผลการทดลองของ IAEA ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 15 cm ในแนวระดับ.....56

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 แสดงหัววัดนิวตรอนชนิดซินทิลเลชัน..... 8

2.2 แสดงหัววัดนิวตรอนชนิด fission chamber..... 9

2.3 กราฟแสดงภาคตัดขวางของสารดูดกลืนนิวตรอนชนิดต่าง ๆ ที่แปรผันตามพลังงานของนิวตรอน..... 12

2.4 โครงสร้างเส้นใยนำแสง..... 14

2.5 แสดง ลำแสง 1 จะตกกระทบที่มุม > θ_c จะเกิดการสะท้อนกลับหมด ลำแสงที่ 2 จะตกกระทบที่มุม < θ_c จะมีแสงบางส่วนหักเหและบางส่วนสะท้อน..... 14

2.6 แสดงแสงที่ตกกระทบเส้นใยนำแสงภายใน acceptance cone เกิดการสะท้อนกลับหมดที่ผิวของคอร์ และแคลดดิง..... 15

2.7 แสดงปริมาณแสงที่สามารถผ่านเข้าไปในเส้นใยแก้วได้ ภายในมุมรองรับรูปทรงกรวย (acceptance cone)..... 16

2.8 แสดงการส่งผ่านแสงของ Fiber Bundles ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นจะมีค่าลดลงเมื่อความยาวสายเพิ่มขึ้น 18

2.9 การส่งผ่านแสงของ Standard Grade Fused Silica Bundles..... 18

2.10 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยนำแสงชนิดสเต็ปอินเด็กซ์..... 19

2.11 แสดงทางเดินของแสงในเส้นใยนำแสงชนิดเกรดอินเด็กซ์..... 19

2.12 แสดงการส่งผ่านแสงในช่วง UV-VIS และ VIS-NIR ของ Singer fiber..... 20

2.13 โครงสร้างของ Liquid Light Guide..... 21

2.14 กราฟแสดงการส่งผ่าน Liquid Light Guide..... 22

2.15 โครงสร้างของหลอดทวีคูณแสง..... 22

2.16 กราฟแสดงความไวของหลอดทวีคูณแสงที่ความยาวคลื่นแสงต่างๆ..... 23

3.1 แผนภาพของระบบวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่พัฒนาขึ้น..... 25

3.2 แสดงส่วนประกอบของหัววัดเทอร์มัลนิวตรอน..... 27

3.3 ภาพของ Liquid Light Guide..... 27

3.4 แสดงส่วนประกอบของระบบวัดนิวเคลียร์..... 28

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.5 ระบบวัดนิวเคลียร์ที่ใช้ในงานวิจัย..... 28
3.6 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ..... 30
3.7 แสดงรหัสควบคุม และหน้าที่รหัสควบคุมแต่ละบิตของ 8255..... 31
3.8 แสดงค่ารหัสควบคุม (Control Word) ของ 8255 ใน Mode 0..... 32
3.9 การกำหนดตำแหน่งของพอร์ทในไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับ IC 8255..... 32
3.10 แผนภาพการเชื่อมโยงระบบขับเคลื่อนทางกลกับไมโครคอมพิวเตอร์..... 33
3.11 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์..... 34
3.12 แสดงวงจรตรวจสอบจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของมอเตอร์..... 35
3.13 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง..... 35
3.14 แผนภาพการเชื่อมโยงระหว่างอุปกรณ์นับรังสีกับไมโครคอมพิวเตอร์..... 36
3.15 แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์นับรังสี..... 36
3.16 แผนภาพสัญญาณเวลาของอุปกรณ์นับรังสี..... 37
3.17 แสดงโปรแกรมเมนูหลักทางหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์..... 38
3.18 แสดง Flow Chart การทำงานของโปรแกรมเมนูหลัก..... 39
3.19 แสดง Flow Chart การทำงานของ ระบบสแกนวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์..... 40
3.20 แสดง Flow Chart ของโปรแกรม DISPLAY PROFILE..... 41
4.1 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบการตอบสนองของท่อนำแสงต่อนิวตรอน และรังสีแกมมา..... 42
4.2 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบเมื่อเคลือบ ZnS(Ag) และ LiF / ZnS(Ag) ที่ปลายท่อนำแสงตามลำดับ..... 43
4.3 กราฟการตอบสนองต่อรังสีจากต้นกำเนิดนิวตรอน เมื่อใช้สารซินทิลเลเตอร์ชนิด ZnS(Ag) เปรียบเทียบกับชนิด LiF / ZnS(Ag) เมื่อนำมาเคลือบที่ปลายท่อนำแสง..... 44
4.4 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบความไวของสารซินทิลเลเตอร์ทั้งสองชนิด..... 44

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.5 แสดงการเปรียบเทียบความไวต่อเทอร์มัลนิวตรอนของสารซินทิลเลเตอร์ที่ใช้ระหว่าง $LiBO_2$/ ZnS(Ag) และ LiF / ZnS(Ag)..... 45

4.6 แผนภาพอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบการตอบสนองของสารซินทิลเลเตอร์ต่อนิวตรอนเร็วและอิพิเทอร์มัลนิวตรอน..... 46

4.7 กราฟเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีเฉลี่ยที่ได้จากท่อนำแสงเคลือบปลายด้วย LiF / ZnS(Ag) เมื่อไม่ได้หุ้มด้วยแคดเมียมและเมื่อหุ้มด้วยแคดเมียม..... 47

4.8 แผนภาพอุปกรณ์ทดสอบเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมของสารซินทิลเลเตอร์..... 47

4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีเฉลี่ย กับความหนาของสารซินทิลเลเตอร์..... 48

4.10 การจัดอุปกรณ์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์กับจำนวนนับรังสี..... 49

4.11 กราฟแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างจะนวนนับรังสีเฉลี่ยจากระบบที่พัฒนาขึ้น กับเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์จาก Foils Activation..... 50

4.12 ระบบสแกนวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่พัฒนาขึ้น..... 51

4.13 การจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์..... 52

4.14 แสดงการกระจายของเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์จากระบบที่พัฒนาขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆในแนวดิ่งและที่ระยะห่าง 8, 10, 15 cmในแนวระดับ..... 53

4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่วัดโดยระบบที่พัฒนาขึ้นกับวิธี Foils Activation และผลการทดลองของ IAEA ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 8 cm ในแนวระดับ และที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวดิ่ง..... 54

4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่วัดโดยระบบที่พัฒนาขึ้นกับวิธี Foils Activation และผลการทดลองของ IAEA ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 10 cm ในแนวระดับ และที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวดิ่ง..... 55

4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่วัดโดยระบบที่พัฒนาขึ้นกับวิธี Foils Activation และผลการทดลองของ IAEA ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 15 cm ในแนวระดับ และที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวดิ่ง..... 56

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

4.18 แสดงโพรไฟล์ของเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 8 cm ในแนวระดับและตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวดิ่งสัมพัทธ์กับตำแหน่งกึ่งกลางของต้นกำเนิดนิวตรอนบนจอภาพไมโครคอมพิวเตอร์..... 57

4.19 แสดงโพรไฟล์ของเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 10 cm ในแนวระดับและตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวดิ่งสัมพัทธ์กับตำแหน่งกึ่งกลางของต้นกำเนิดนิวตรอนบนจอภาพไมโครคอมพิวเตอร์..... 58

4.20 แสดงโพรไฟล์ของเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอน 15 cm ในแนวระดับและตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวดิ่งสัมพัทธ์กับตำแหน่งกึ่งกลางของต้นกำเนิดนิวตรอนบนจอภาพไมโครคอมพิวเตอร์..... 58

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย