การวัดความชื้นในวัสดุก่อสร้างบางชนิดด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน

นายอุทิศ ทองกลิ่ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2536

ISBN 974-582-632-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019698
I17861586

MOISTURE MEASUREMENT IN SOME CONSTRUCTION MATERIALS BY EPITHERMAL NEUTRON TRANSMISSION METHOD

Mr.Utit Thongklueng

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1993

ISBN 974-582-632-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวัดความชื้นในวัสดุก่อสร้างบางชนิดด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน
โดย	นายอุทิศ ทองกลิ่ง
ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

พระพิมพ์ดินเผาย่อวิทย์ ... เมืองพิมาย ...

อุทิศ ทองกลึง : การวัดความชื้นในวัสดุก่อสร้างบางชนิดด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน (MOISTURE MEASUREMENT IN SOME CONSTRUCTION MATERIALS BY EPITHERMAL NEUTRON TRANSMISSION METHOD) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, 94 หน้า. ISBN 974-582-632-4

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาทดลองเกี่ยวกับการใช้วิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนในการหาปริมาณความชื้นของวัสดุก่อสร้างบางชนิด เอพิเทอร์มาลนิวตรอนได้มาจากต้นกำเนิดนิวตรอนอเมริเซียม-241/เบริลเลียม ความแรง 3.33 กิกะเบคเคอเรล (90 มิลลิคูรี) ที่เก็บไว้ในก้อนพาราฟินต้นขนาด 30 ซม. × 30 ซม. × 30 ซม. ซึ่งใช้เป็นตัวหน่วงพลังงานของนิวตรอน โดยมีแผ่นแคดเมียมและแผ่นยางผสมโบรอนเป็นตัวดูดจับนิวตรอนช้าไว้ เพื่อให้เหลือเพียงเอพิเทอร์มาลนิวตรอนผ่านไปถึงตัวอย่าง นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาผลของตำแหน่งต้นกำเนิดนิวตรอนและขนาดของหลุมที่เจาะให้นิวตรอนช้าออกมาจากก้อนพาราฟินต้นที่มีต่อความเข้มของนิวตรอนช้า ผลการเปรียบเทียบความไวในการวัดรังสีนิวตรอนช้าพบว่า หัววัดฮีเลียม-3 ที่บรรจุก๊าซที่ความดัน 15,200 มม.ของปรอท มีความไวสูงกว่าหัววัดโบรอนไตรฟลูออไรด์ที่มีขนาดเท่ากันประมาณ 14 เท่า ในการทดลองหาปริมาณความชื้นของวัสดุก่อสร้างบางชนิด พบว่าสำหรับแผ่นไม้อัดที่มีความหนา 10, 15 และ 20 มม. และมีความชื้นในช่วงร้อยละ 7 ถึง 15 มีค่าผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 1.04, 1.26 และ 1.30 ตามลำดับ ส่วนกระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบหนา 4 มม. ที่มีความชื้นร้อยละ 9 ถึง 15 มีความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 1.23 และ 1.74 ตามลำดับ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C216954 MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY
KEY WORD: MOISTURE CONTENT / EPITHERMAL NEUTRON / NEUTRON
UTIT THONGKLUENG : MOISTURE MEASUREMENT IN SOME CONSTRUCTION MATERIALS BY EPITHERMAL NEUTRON TRANSMISSION METHOD. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. NARES CHANKOW, M.Eng. 94 pp. ISBN 974-582-632-4

The aime of this research was to investigate a method for determining moisture content in some construction materials using the epithermal neutron transmission technique. Epithermal neutrons were produced from a 3.33 GBq (90 mCi) Am-241/Be source kept in a 30 cm x 30 cm x 30 cm paraffin block which was used as the neutron moderator. A cadmium and a boron-rubber sheets were used to absorb slow neutrons allowing only epithermal neutrons to reach the sample. The effect of source position and size of the cavity in the paraffin block on the slow neutron intensity were also investigated. A BF_3 counter of 700 mm of Hg filling gas pressure and a ^3He counter of 15,200 mm of Hg filling gas pressure with the same size were compared in measuring slow neutron intensity. It was found that the ^3He counter gave a count rate that is about 14 times higher than that obtained with the BF_3 counter. Finally, the moisture contents in some construction materials were determined. It was found that for the plywood sheets of 10, 15 and 20 mm thickness with the moisture contents in the range of 7 to 15 %, the errors were found to be < 1.04, 1.26 and 1.30 % respectively. For the 4 mm - and 6 mm - thick asbestos-cement flat sheets with 4 to 10 % moisture and the 4 mm - thick cement-bonded particle boards with 9 to 15 % moisture the errors were found to be < 1.23 and 1.74 % respectively.

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2535 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีทุกท่านที่ได้สนับสนุนการศึกษาวิจัยนี้ ให้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือแนะนำและแก้ปัญหาต่าง ๆ ทั้งทางด้านวิชาการและปฏิบัติการอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และบุคคลากรของภาควิชาวัสดุกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียมทุกท่านที่ช่วยสนับสนุน และให้กำลังใจ

ขอขอบคุณ คุณบัญชา อุนพานิช คุณสมศักดิ์ จิตซื่อตรง และบุคคลากรของภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ทุกท่านที่ช่วยเหลือในด้านซ่อมอุปกรณ์บางส่วนที่ชำรุด และให้กำลังใจ

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ คุณพัลลภ แย้มสำเร็จ ที่ช่วยเหลือในด้านการพิมพ์วิทยานิพนธ์

และท้ายสุดนี้ผู้เขียน ขอแสดงความกตัญญูกตเวทิตาคุณพ่อ และคุณแม่ ผู้ซึ่งให้ชีวิต ความเมตตา ความอบอุ่น ทั้งกายและใจ และครอบครัวสนับสนุนต่อการทำวิทยานิพนธ์ของผู้เขียนมาตลอด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 3

2. อันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับสสาร..... 4

2.1 นิวตรอน..... 4

2.2 ต้นกำเนิดนิวตรอน..... 5

2.3 อันตรกิริยาของนิวตรอน..... 7

2.4 ภาคตัดขวางทางนิวเคลียร์..... 9

2.5 การลดพลังงานของเทอร์มาลนิวตรอน..... 13

2.6 พลังงานของเทอร์มาลนิวตรอน..... 22

3. เทคนิคและอุปกรณ์วัดความฟ้นด้วยนิวตรอน..... 24

3.1 เทคนิคนิวตรอนเร็ว..... 24

3.2 เทคนิคเอพิเทอร์มาลนิวตรอน..... 29

3.3 หัววัดนิวตรอนช้า..... 32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4. วัสดุอุปกรณ์การวิจัยและวิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 วัสดุและอุปกรณ์..... 35

4.2 วิธีดำเนินการวิจัย..... 39

5. ผลการวิจัย

5.1 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตเอพิเทอร์มาล นิวตรอนและการวัดรังสี..... 48

5.2 การสร้างกราฟปรับเทียบสำหรับใช้ในการวัดความชื้นของแผ่นวัสดุก่อสร้างบางชนิด..... 61

5.3 ผลการทดลองหาความชื้นในแผ่นไม้อัด กระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบและแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์..... 70

6. สรุปวิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย..... 82

6.2 ข้อเสนอแนะ..... 85

เอกสารอ้างอิง..... 87

ภาคผนวก

ก. ตารางความชื้นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม..... 93

ประวัติผู้เขียน..... 94

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนที่นิยมใช้กัน.....	6
2.2	พารามิเตอร์ในการชนกับนิวตรอนของนิวเคลียสบางชนิด.....	21
2.3	slowing-down power ตัวกลางนิวตรอนสำหรับนิวเคลียสบางชนิดและ collision เฉลี่ยสำหรับ Thermalization...	22
5.1	ความเข้มของรังสีนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนผ่านไม้อัดหนา 8 มิลลิเมตร เมื่อหลุมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 ซม. ลึก 10 ซม.....	49
5.1	(ก) เมื่อต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ที่กันหลุม (ลึก 10 ซม. จากปากหลุม).....	49
5.1	(ข) เมื่อต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่กลางหลุม (ลึก 5.5 ซม. จากปากหลุม).....	50
5.1	(ค) เมื่อต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ปากหลุม.....	50
5.2	ความเข้มของรังสีนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนผ่านไม้อัดหนา 8 มิลลิเมตร เมื่อหลุมมีขนาด 6 ซม. X 20 ซม. X 10 ซม.....	52
5.2	(ก) เมื่อต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ที่กันหลุม (ลึก 10 ซม. จากปากหลุม).....	52
5.2	(ข) เมื่อต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่กลางหลุม (ลึก 5.5 ซม. จากปากหลุม).....	52
5.2	(ค) เมื่อต้นกำเนิดนิวตรอนอยู่ปากหลุม.....	53
5.3	ผลการวัดความเข้มรังสีนิวตรอนช้าที่เกิดจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนผ่านแผ่นไม้อัดหนา 10 มม. โดยใช้หัววัด BF_3.....	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

5.4 ผลการวัดความเข้มรังสีนิวตรอนช้าที่เกิดจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนผ่านแผ่นไม้อัดหนา 10 มม. โดยใช้หัววัด ^{3}He..... 56

5.5 ความเข้มของนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและนิวตรอนเร็ว ผ่านน้ำที่มีความหนาต่างๆกัน..... 58

5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้ากับปริมาณความชื้นของแผ่นไม้อัดหนา 10 มิลลิเมตร..... 61

5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้ากับปริมาณความชื้นของแผ่นไม้อัดหนา 15 มิลลิเมตร..... 62

5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้ากับปริมาณความชื้นของแผ่นไม้อัดหนา 20 มิลลิเมตร..... 63

5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้ากับปริมาณความชื้นของกระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบหนา 4 มิลลิเมตร..... 65

5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้ากับปริมาณความชื้นของกระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบหนา 6 มิลลิเมตร..... 66

5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้ากับปริมาณความชื้นของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์หนา 4 มิลลิเมตร..... 68

5.12 ผลการทดลองวัดความชื้นของแผ่นไม้อัดความหนา 10 มิลลิเมตร ด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน..... 70

5.13 ผลการทดลองวัดความชื้นของไม้อัดความหนา 15 มิลลิเมตร ด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน..... 72

5.14 ผลการทดลองวัดความชื้นของไม้อัดความหนา 20 มิลลิเมตร ด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน..... 74

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

5.15 ผลการทดลองวัดความชื้นของแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน แผ่นเรียบหนา 4 มิลลิเมตร ด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน..... 76

5.16 ผลการตรวจสอบการวัดความชื้นของแผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน แผ่นเรียบหนา 6 มิลลิเมตร ด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน..... 78

5.17 ผลการทดลองวัดความชื้นของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ หนา 4 มิลลิเมตร ด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาล..... 80

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

2.1 อันตรกิริยาของนิวตรอนแบบต่าง ๆ..... 9

2.2 ภาคตัดขวางทางนิวเคลียร์รวมต่ออะตอมไฮโดรเจนของน้ำ สำหรับพลังงานของนิวตรอนในช่วง 0.002 ถึง 100 eV..... 11

2.3 ภาคตัดขวางรวมของนิวตรอนสำหรับไฮโดรเจนในช่วงพลังงาน 0.01 ถึง 100 MeV..... 11

2.4 กราฟแสดงค่าของภาคตัดขวางรวมของ neutron absorber บางชนิดที่จะใช้เป็น filter ที่พลังงานของนิวตรอนต่าง ๆกัน. 12

2.5 หลักการของวิธีการส่งผ่านรังสี..... 12

2.6 การชนแบบยืดหยุ่นของนิวตรอน..... 14

2.7 เวคเตอร์ของโมเมนตัม..... 15

2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและเลทาร์จี..... 19

2.9 กราฟแสดงสเปกตรัมพลังงานของนิวตรอนเร็วที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดนิวตรอนแบบต่าง ๆ และสเปกตรัมของเทอร์มาลนิวตรอน..... 23

3.1 หลักการของวิธีใช้นิวตรอนเร็ววัดความชื้น..... 25

(ก) แบบการกระเจิง (scattering)..... 25

(ข) แบบการส่งผ่าน (transmission)..... 25

3.2 แผนภาพแสดงอุปกรณ์วัดความชื้นบริเวณพื้นผิวแบบนิวตรอนกระเจิงกลับ..... 26

3.3 แผนภาพแสดงอุปกรณ์วัดความชื้นในระดับลึกแบบนิวตรอนกระเจิงกลับ..... 26

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.4 แผนภาพแสดงอุปกรณ์การวัดความชื้นแบบการส่งผ่านของนิวตรอนเร็ว..... 27

3.5 แผนภาพแสดง Sphere of Influence และ Radius of Influence ของอุปกรณ์วัดความชื้นระดับลึกและผิวหน้า..... 28

(ก) หัววัดความชื้นระดับลึก..... 28

(ข) หัววัดความชื้นบริเวณพื้นผิว..... 28

3.6 แผนภาพแสดงหลักการวัดความชื้นในวัสดุโดยใช้เอพิเทอร์มาลนิวตรอน..... 29

3.7 แผนภาพแสดงการใช้เทคนิคเอพิเทอร์มาลนิวตรอนให้การวัดความชื้น หรือหาปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างที่มีปริมาตรน้อย.. 30

3.8 ภาคตัดขวางของเส้นผ่าศูนย์กลางสำหรับการวัดปริมาณความชื้นต่าง ๆ กัน (มาตราส่วน 1:30)..... 31

3.9 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของหัววัดนิวตรอนช้าชนิดหลอด BF_3.. 33

3.10 กราฟแสดงระหว่างภาคตัดขวางกับพลังงานสำหรับปฏิกิริยา $^{10}B(n,\alpha)\ ^{7}Li$..... 33

3.11 กราฟแสดงประสิทธิภาพของหัววัด ^{3}He กับพลังงานของนิวตรอน..... 34

4.1 แผนผังการวัดอุปกรณ์วัดรังสีนิวตรอน..... 36

4.2 กล่องพาราฟินตันขนาด 30 ซม. X 30 ซม. X 30 ซม. สำหรับเก็บต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนเพื่อผลิตเอพิเทอร์มาลนิวตรอน..... 36

4.3 ภาพถ่ายอุปกรณ์นับรับสีและหัววัดรังสีนิวตรอน..... 37

4.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก..... 38

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.5 ตู้อบไฟฟ้า..... 39
4.6 แผนภาพแสดงลักษณะของกล่องพาราฟินตันที่มีหลุมพาราฟินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 ซม. ลึก 10 ซม. และตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนในหลุม..... 41
4.7 แผนภาพแสดงลักษณะของกล่องพาราฟินตันที่มีหลุมขนาด 6 ซม. X 20 ซม. X 10 ซม. และตำแหน่งของต้นกำเนิดนิวตรอนในหลุม..... 42
4.8 แผนภาพแสดงจัดอุปกรณ์ในการหาระยะสโลวิงดาวน์ในน้ำของเอพิเทอร์มาลนิวตรอน..... 44
4.9 แผนภาพแสดงจัดอุปกรณ์ในการหาระยะสโลวิงดาวน์ในน้ำของนิวตรอนเร็ว..... 45
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้ากับปริมาณความชื้นของไม้อัดหนา 8 มม. เมื่อหลุมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 ซม. ลึก 10 ซม..... 51
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีนิวตรอนช้ากับปริมาณความชื้นของไม้อัดหนา 8 มม. เมื่อหลุมขนาด 6 ซม. X 20 ซม. X 10 ซม..... 54
5.3 ผลการเปรียบเทียบความไวในการวัดรังสีนิวตรอนช้าที่เกิดจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนผ่านไม้อัดหนา 10 มม. ระหว่างหัววัด ^{3}He กับหัววัด BF_3..... 57
5.4 ความเข้มรังสีนิวตรอนช้าที่เกิดจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนกับนิวตรอนเร็วผ่านน้ำที่มีความหนาต่างๆกัน..... 60
5.5 กราฟปรับเทียบระหว่างจำนวนนับรังสีกับปริมาณความชื้นของแผ่นไม้อัด..... 64

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่

5.6 กราฟปรับเทียบระหว่างจำนวนนับรังสีกับปริมาณความชื้นของกระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ..... 67

5.7 กราฟปรับเทียบระหว่างจำนวนนับรังสีกับปริมาณความชื้นของแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์..... 69

6.1 แสดงภาคตัดขวางของแผ่นไม้อัดหนา 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร..... 84

6.2 แสดงการเปลี่ยนค่าแหน่งของหัววัดนิวตรอนเพื่อลดแบคกราวด์จากตำแหน่ง A ไปเป็น B..... 86