




เอกสารอ้างอิง

1. กัญญา ทองเฉลิม ปฐมนิเทศศาสตร์ 1 : Soil Mechanics 1 วิชาเขตอุเทนถวาย 2527.
2. จุมพล คีนตัก, ธงชัย พึ่งรัศมี, ภิกข วสุวานิช ดิน เอกสารเศรษฐศาสตร์นิเทศศาสตร์ เล่มที่ 19 กองเศรษฐศาสตร์นิเทศศาสตร์ กรมทรัพย์สินทางปัญญา 2521
3. วิทยา เพียรวิจิตร, ฉลอง เกิดพิทักษ์, วรณศรี บุญรัตน์พันธ์ วัสดุการก่อสร้าง : การผลิต สมบัติการใช้ และการทดสอบวัสดุการก่อสร้าง. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 2 2524.
4. นเรศร์ จันทน์ขาว การศึกษาการวัดความชื้นของอิฐด้วยเทคนิคนิวเคลียร์ เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์โบราณสถาน. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรกฎาคม 2526.
5. Robin P.Gradner, and Ralph.L.Ely, Jr. Radioisotope Measurements Application in Engineering. Reinhold Publishing Corporation, New York, 1967.
6. อุไรวรรณ จุณภาค Reactor Physics. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ
7. อุไรวรรณ จุณภาค นิวเคลียร์ฟิสิกส์ โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ
8. John R.Lamarsh Introduction to Nuclear Engineering. Massachusetts, Addition-Wesley Publishing Co., 1975.
9. L.F.Curtiss Introduction to Neutron Physics. Affiliated East-West Press PVT.LTD., New Delhi, 1959.
10. กิตติ จันทรตรี "การหาปริมาณถ่านในลิกไนต์โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมา" วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
11. ประสพ ธงวัช "การพัฒนาระบบวัดน้ำในถังเก็บโดยใช้รังสีแกมมา" วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
12. G.W.Gray, B.D.Sowerby, and G.P.Youdale In-situ Determination of Moisture in Road Pavement by Nuclear Methods Australian Atomic Energy Commission Research Establishment Lucas Heights, April, 1981.



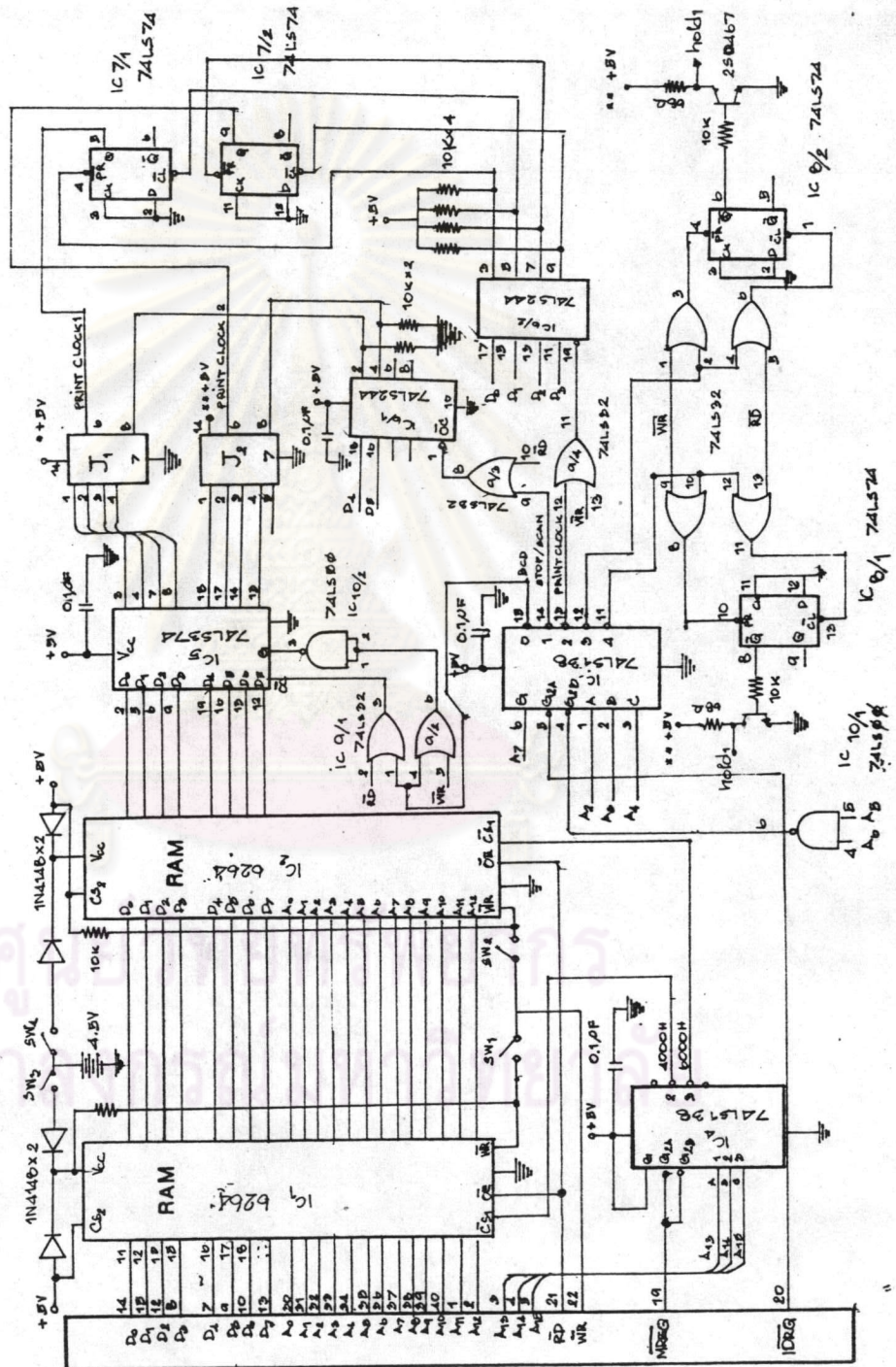
13. G.W.Gee, J.F.Stiver, and H.R.Bochert " Radiation Hazard from Americium-Beryllium Neutron Moisture Probes " *Soil.Sci.Am.J.* Vol.40, 1976.
14. National Health and Medical Research Council. Code of Praticce for the Safe Use of Soil Density and Moisture Gauges Containing Radioactive Source (1984) Reprinted from the report of 98th. Session of the Council, October 1984, Australian Government Publishing Service, Canbrra, 1986.
15. เฉลิมเดช เฉลิมลาภอักษร " การวัดปริมาณความชื้นในวัสดุก่อสร้างบางชนิดโดยใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีนิวตรอน " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

แผนผังวงจรอินเทอร์เฟซ



รูปที่ ก1 แผนผังวงจรอินเทอร์เฟซสำหรับเชื่อมโยงสัญญาณ







ภาคผนวก ค.

การคำนวณหาความชื้นและความหนาแน่นโดยวิธีอินเตอร์โพล

หลักการการคำนวณมีดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1

เครื่องวัดรังสีเครื่องที่ 1 วัดอัตราส่วนความเข้มรังสีแกมมาที่ส่งผ่าน 0.305 ( $C_g$ )  
 เครื่องวัดรังสีเครื่องที่ 2 นับจำนวนรังสีนิวตรอนเข้าได้ 4950 counts ( $C_n$ )

นำค่า  $C_g$  ไปอ่านกราฟรูปที่ 4.6

ที่เส้นบนสุดความชื้น 5 % อ่านค่าความหนาแน่นได้ 2.07 กรัม/ซม.<sup>3</sup> ( $R_2$ )  
 ที่เส้นล่างสุดความชื้น 15 % อ่านค่าความหนาแน่นได้ 1.86 กรัม/ซม.<sup>3</sup> ( $R_1$ )

นำค่า  $C_n$  ไปอ่านกราฟรูปที่ 4.5

ที่เส้นบนสุดความหนาแน่น 2.4 กรัม/ซม.<sup>3</sup> อ่านค่าความชื้นได้ 7.70 % ( $M_1$ )  
 ที่เส้นล่างสุดความหนาแน่น 1.2 กรัม/ซม.<sup>3</sup> อ่านค่าความชื้นได้ 8.64 % ( $M_2$ )

นำผลที่ได้จากการอ่านกราฟไปแทนในสมการ

$$R_u = R_1 + \frac{(R_2 - R_1) \times (15 - \%M_u)}{(15 - 5)} \dots\dots\dots (ค1)$$

$$\% M_u = \%M_1 + \frac{(\%M_2 - \%M_1) \times (2.4 - R_u)}{(2.4 - 1.2)} \dots\dots\dots (ค2)$$

$$R_u = \frac{1.86 + ((2.07 - 1.86) \times (15 - \%M_u))}{(15 - 5)}$$

$$\%M_u = \frac{7.70 + ((8.64 - 7.70) \times (2.4 - R_u))}{(2.4 - 1.2)}$$

ผลลัพธ์จากการคำนวณ

ความหนาแน่น ( $R_u$ ) = 2.00 กรัม/ซม.<sup>3</sup>

ความชื้น ( $\%M_u$ ) = 8.00 %



ทดสอบโดยนำค่า  $C_g$  และ  $C_n$  ไปอ่านกราฟรูปที่ 4.5 และ 4.6 เพื่อเปรียบเทียบผลจากการคำนวณและผลจากการอ่านกราฟ วิธีการอ่านกราฟมีดังนี้  
 นำค่า  $C_n$  ไปอ่านกราฟรูปที่ 4.5 ที่เส้นความหนาแน่น 2 กรัม/ซม.<sup>3</sup> อ่านค่าความชื้นได้ 7.9 %  
 นำค่า  $C_g$  ไปอ่านกราฟรูปที่ 4.6 ที่เส้นความชื้น 8 % อ่านค่าความหนาแน่นได้ 2 กรัม/ซม.<sup>3</sup>

### ตัวอย่างที่ 2

เครื่องวัดรังสีเครื่องที่ 1 วัดอัตราส่วนความเข้มรังสีแกมมาที่ส่งผ่าน 0.406 ( $C_g$ )  
 เครื่องวัดรังสีเครื่องที่ 2 นับจำนวนรังสีนิวตรอนเข้าได้ 3900 counts ( $C_n$ )

นำค่า  $C_g$  ไปอ่านกราฟรูปที่ 4.6

ที่เส้นบนสุดความชื้น 5 %	อ่านค่าความหนาแน่นได้	1.61	กรัม/ซม. <sup>3</sup>	( $R_2$ )
ที่เส้นล่างสุดความชื้น 15 %	อ่านค่าความหนาแน่นได้	1.49	กรัม/ซม. <sup>3</sup>	( $R_1$ )

นำค่า  $C_n$  ไปอ่านกราฟรูปที่ 4.5

ที่เส้นบนสุดความหนาแน่น 2.4 กรัม/ซม. <sup>3</sup>	อ่านค่าความชื้นได้	5.42 %	( $M_1$ )
ที่เส้นล่างสุดความหนาแน่น 1.2 กรัม/ซม. <sup>3</sup>	อ่านค่าความชื้นได้	6.32 %	( $M_2$ )

นำผลที่ได้จากการอ่านกราฟไปแทนในสมการ (ค1), (ค2)

$$R_2 = \frac{1.49 + ((1.61 - 1.49) \times (15 - \%M_2))}{(15 - 5)}$$

$$\%M_2 = \frac{5.42 + ((6.32 - 5.42) \times (2.4 - R_2))}{(2.4 - 1.2)}$$

ผลลัพธ์จากการคำนวณ

ความหนาแน่น ( $R_2$ ) = 1.60 กรัม/ซม.<sup>3</sup>

ความชื้น ( $\%M_2$ ) = 6.02 %

นำค่า  $C_g$  และ  $C_n$  ไปอ่านกราฟรูปที่ 4.5 และ 4.6 เพื่อเปรียบเทียบผลจากการคำนวณและผลจากการอ่านกราฟ วิธีการอ่านกราฟมีดังนี้

นำค่า  $C_n$  ไปอ่านกราฟรูปที่ 4.5 ที่เส้นความหนาแน่น 1.6 กรัม/ซม.<sup>3</sup> อ่านค่าความชื้นได้ 6 %  
 นำค่า  $C_g$  ไปอ่านกราฟรูปที่ 4.6 ที่เส้นความชื้น 6 % อ่านค่าความหนาแน่นได้ 1.6 กรัม/ซม.<sup>3</sup>



จากตัวอย่างที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบผลจากการคำนวณและผลจากการอ่านกราฟ ผลลัพธ์  
ออกมาใกล้เคียงกันอาจผิดพลาดไปที่คณนิยมตำแหน่งที่ 2 ( $\pm 0.05$  %) ดังนั้นการเปรียบเทียบ  
โดยวิธีอินเตอร์โพลเลชันจึงยอมรับได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง.

การออกแบบโปรแกรมวัดความชื้นและความหนาแน่น

การออกแบบโปรแกรมได้ออกโปรแกรมแยกออก 2 ลักษณะคือ แบบ ก. ใช้สำหรับวัดความหนาแน่นด้วยรังสีแกมมาและ แบบ ข. ใช้สำหรับวัดความชื้นด้วยรังสีนิวตรอนช้า การคำนวณความแรงของรังสีใช้กฎกำลังสองผกผัน (inverse square law) (ที่ระยะต่าง ๆ ปริมาตรรังสีจะลดลงเป็นไปตามสัดส่วนของกฎกำลังสองผกผัน) สำหรับโดสเรท (dose rate) ที่ยอมรับได้เมื่อต้นกำหนดรังสีเก็บอยู่ในวัสดุกำบังรังสี ที่ระยะ 5 ซม. จากต้นกำหนดรังสีถึงผิววัสดุกำบังรังสี รังสีแกมมาไม่ควรเกิน 50 มิลลิเรนท์ เกนต่อชั่วโมง และรังสีนิวตรอนไม่ควรเกิน 50 มิลลิเรม สำหรับที่ระยะ 100 ซม. จากต้นกำเนิดรังสีถึงผิววัสดุกำบังรังสี รังสีแกมมาไม่ควรเกิน 1 มิลลิเรนท์ เกนต่อชั่วโมง และรังสีนิวตรอนไม่ควรเกิน 1 มิลลิเรม (14,15) กฎกำลังสองผกผันแสดงไว้ในสมการ

$$I_1 \times d_1^2 = I_2 \times d_2^2 \quad \dots\dots\dots (ง1)$$

$$I_1 = \text{อัตราปริมาณรังสี ที่ระยะ } d_1$$

$$I_2 = \text{อัตราปริมาณรังสี ที่ระยะ } d_2$$

การออกแบบโปรแกรมแบบ ก. ใช้สำหรับวัดความหนาแน่นใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณซึ่งโปรแกรมนี้คือ POTDOSE-A PROGRAM TO ESTIMATE DOSE RATES FROM SHIELDED REFERENCE พบว่าตะกั่วหนา 6.5 ซม. ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงผิวชั้นนอกของตะกั่วหนา 7 ซม. ค่าคงที่รังสีแกมมาจำเพาะ (source strength)  $1.11 \times 10^7$  เบคเคอเรล โดสที่ผิว 3.06 มิลลิเรนท์ เกนต่อชั่วโมง สำหรับโปรแกรมวัดความหนาได้ออกแบบเป็นทรงกระบอกมีความหนาตะกั่วด้านละ 6.5 ซม. ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงผิวชั้นนอกของตะกั่วหนา (รัศมี) 7 ซม. และวัสดุกำบังรังสีสูง 14 ซม. จากกฎกำลังสองผกผันที่ระยะ 6.5 ซม. (ที่ผิวด้านข้างจุด A) โดสเรท 3.06 มิลลิเรนท์ เกนต่อชั่วโมง และที่ระยะ 9.9 ซม. (ที่จุด B) โดสเรท 1.32 มิลลิเรนท์ เกนต่อชั่วโมงและที่ระยะ 7 ซม. (ที่จุด C) โดสเรท 2.64 มิลลิเรนท์ เกนต่อชั่วโมง สำหรับรายละเอียดการออกแบบโปรแกรมวัดความหนาแน่นได้แสดงไว้ในรูปที่ ง1



การออกแบบโปรบบแบบ ข. ใช้สำหรับวัดความชื้นด้วยรังสีนิวตรอนเข้าได้ออกแบบเป็นทรงกระบอกและใช้พาราฟินผสมผงโบริคในอัตราส่วน 2:1 เพื่อกำบังรังสีนิวตรอนและลดพลังงานของนิวตรอนพลังงานสูงและใช้แผ่นเหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตร หุ้มภายนอกพาราฟินอีกชั้นเพื่อกำบังรังสีที่แกมมาและรังสีนิวตรอนพลังงานต่ำและการออกแบบใช้กฎกำลังสองผกผัน พบว่าต้นกำเนิดรังสีอะเมริเชียม-เบอริลเสียม ความแรง  $3.7 \times 10^7$  เบคเคอเรลที่ระยะ 1 ซม. ฟลักซ์นิวตรอน 2000 นิวตรอน/ซม<sup>2</sup>.วินาที มีอัตราส่วนปริมาณรังสีนิวตรอนเทียบเท่า (neutron dose equivalent rate) 2800 มิลลิเรมต่อชั่วโมงและมีอัตราส่วนปริมาณรังสีแกมมาเทียบเท่า (gamma dose equivalent rate) 2500 มิลลิเรมต่อชั่วโมงเมื่อคำนวณเทียบเป็นความแรงของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน  $1.11 \times 10^7$  เบคเคอเรลได้ฟลักซ์นิวตรอน 6000 นิวตรอน/ซม<sup>2</sup>.วินาที มีอัตราส่วนปริมาณรังสีนิวตรอนเทียบเท่า 840 มิลลิเรมต่อชั่วโมง และมีอัตราส่วนปริมาณรังสีแกมมาเทียบเท่า 750 มิลลิเรมต่อชั่วโมง ที่ระยะ 1 ซม. เช่นกัน โดยวิธีบัญญัติไตรยางค์ทางเลขคณิต (rule of three in arithmetic) (15)

ดังนั้นที่จุด A ได้ปริมาณรังสีที่ระยะ 17 ซม. ดังนี้ (ใช้สมการ ง1)

$$(1)^2 \times 6000 = \text{FLUX}(\phi) \times (17)^2$$

$$\text{FLUX}(\phi) = 20.76 \text{ นิวตรอน/ซม}^2 \cdot \text{วินาที}$$

ที่ระยะ 17 ซม. ฟลักซ์ของนิวตรอนมีค่า 20.76 นิวตรอน/ซม<sup>2</sup>.วินาที อัตราปริมาณรังสีนิวตรอนเทียบเท่าเป็น 2.91 มิลลิเรมต่อชั่วโมง และอัตราปริมาณรังสีแกมมาเทียบเท่าเป็น 2.6 มิลลิเรมต่อชั่วโมง ผลรวมของปริมาณรังสีทั้งสอง เท่ากับ 5.51 มิลลิเรมต่อชั่วโมง

และที่ระยะ 24 ซม. (ที่จุด B) ฟลักซ์ของนิวตรอนมีค่า 10.42 นิวตรอน/ซม<sup>2</sup>.วินาที อัตราปริมาณรังสีนิวตรอนเทียบเท่าเป็น 1.46 มิลลิเรมต่อชั่วโมง และอัตราปริมาณรังสีแกมมาเทียบเท่าเป็น 1.30 มิลลิเรมต่อชั่วโมง ผลรวมของปริมาณรังสี ทั้งสองเท่ากับ 2.76 มิลลิเรมต่อชั่วโมง

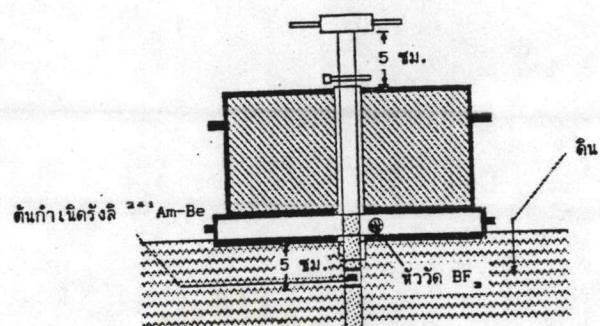
และที่ระยะ 17 ซม. (ที่จุด C) ฟลักซ์ของนิวตรอนมีค่า 20.76 นิวตรอน/ซม<sup>2</sup>.วินาที อัตราปริมาณรังสีนิวตรอนเทียบเท่าเป็น 2.91 มิลลิเรมต่อชั่วโมง และอัตราปริมาณรังสีแกมมาเทียบเท่าเป็น 2.6 มิลลิเรมต่อชั่วโมง ผลรวมของปริมาณรังสี ทั้งสองเท่ากับ 5.51 มิลลิเรมต่อชั่วโมง สำหรับรายละเอียดการออกแบบโปรบบแบบ ข. ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ ง2



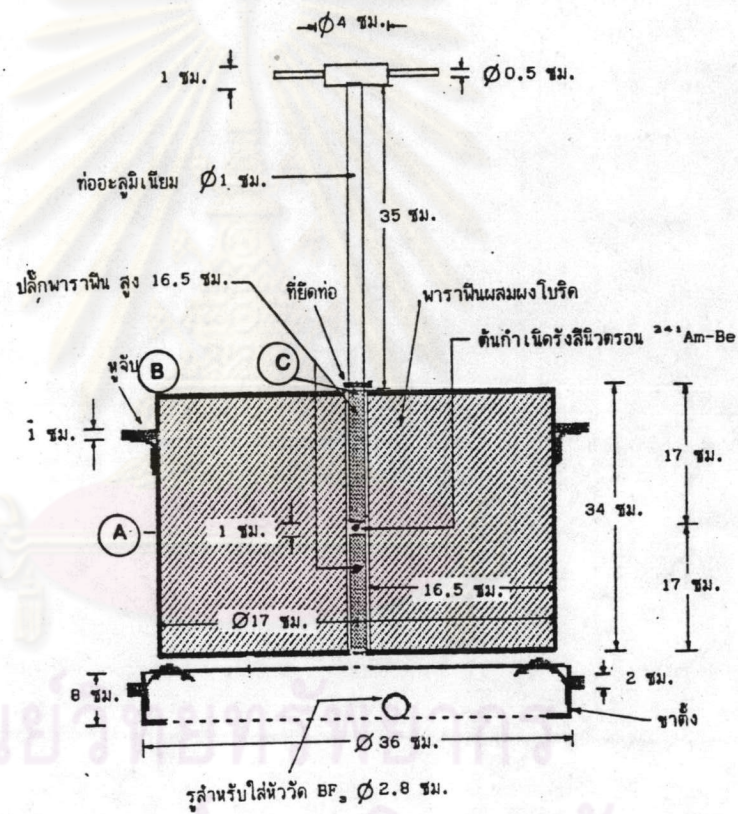




ก. ขณะใช้งาน



ข. ขณะเก็บ



น้ำหนักรวมทั้งถังเก็บ 32 กิโลกรัม

ผิวของวัสดุกำบังรังสี	โดสเรท (มิลลิเรมต่อชั่วโมง)
จุด A	2.91
จุด B	1.46
จุด C	2.91

รูปที่ 2 โปรมสำหรับวัดความชื้นโดยใช้รังสีนิวตรอน





ประวัติผู้เขียน

นาย มาโนช โชติคศิธร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์  
จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง ปี พ.ศ. 2526



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย