รายการอ้างอิง

1. วิสิทธิ์ชัย นิตยาพร. การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยการใช้กระดาษอัดรูป. ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
2. นเรศร์ จันทน์ขาว. การตรวจสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี. เอกสารประกอบการอบรมทางวิชาการ, ชมรมตรวจสอบโดยไม่ทำลาย, ตุลาคม 2528.
3. American Society for Testing and Materials. Standard Method for Determining Image Quality in Direct Thermal Neutron Radiographic Examination ASTM Designation : E545-91. Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1976.
4. วิเชียร รตนธงชัย. การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนบีอี-10. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
5. Fleischer, R.L., Price, P.B. and walker,R.M. Nuclear Tracks in Solids. Berkley : University of California Press, 1975.
6. Csige, I. Detection Efficiency Calculations for CR-39 Plastic Nuclear Track Detectors in Neutron Capture Radiography. In Fujine, S.,Kanda, K., Matsumoto, G., and Barton, J.P. (eds.), Neutron Radiography (3). pp.835-842. Dordrecht : Kluwer Academy Publishers, 1990.
7. Domanas, J.C., ed. Practical Neutron Radiography. Dordrecht, Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 1992.
8. Hamamatsu. Image Intensifiers. Technical Data, Japan , Dec, 1995.
9. อีทีที, บริษัท. CP-32 Basic Expansion Command V 2.0. กรุงเทพมหานคร.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด. คู่มือ/เทียบเบอร์ไอซี TTL. กรุงเทพมหานคร : หจก. เอช เอน การพิมพ์, 2531.

ประสม สุขสว่าง. การศึกษาวิธีการถ่ายภาพภาพด้วยนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.

ประวิทย์ เรืองไรรัตนโรจน์. การพัฒนาระบบสร้างภาพตัดขวางด้วยไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีในอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

นิวัฒน์ ตะโพนทอง. การศึกษาวิธีถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทร็ก-เอตช์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

ธีรวัฒน์ ประกอบผล. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), เมษายน 2540.

ศศิพันธุ์ ณ สงขลา. การพัฒนาฉากรังสีซัลไฟด์(เงิน)เพื่อการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

เศกสิทธ์ คำชมภู. บอร์ดควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์. วารสารเซมิคอนดักเตอร์ 169 (มีนาคม 2540) : 45-49.

ภาษาอังกฤษ

Berger H. Neutron Radiography Amsterdam: Elsevier, 1965.

Berger H. Practical Application of Neutron Radiography and Gaging. Am. Soc. Testing and Materials, Philadelphia, STP 586 (1967).

Lamarsh J.R. Introduction to Nuclear Reactor Theory. Sydney: Addison-Wesley Publishing Co.,1982

Collected paper of research activities on neutron radiography in Japan , Research Reactor Institute , Kyoto University , 1990.

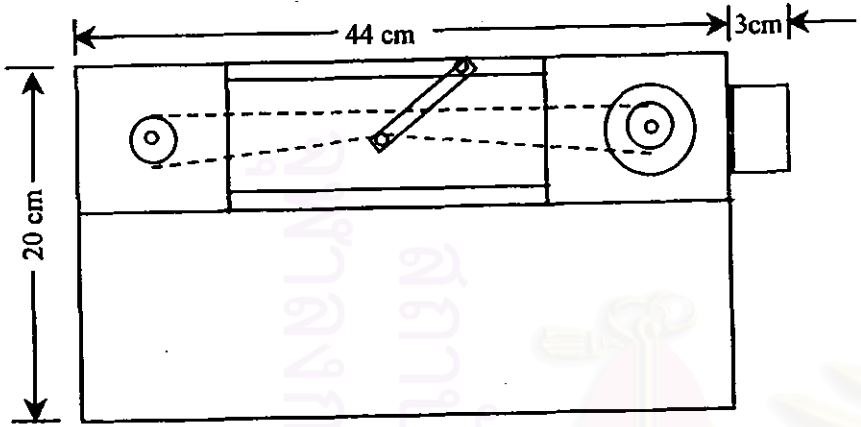
ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

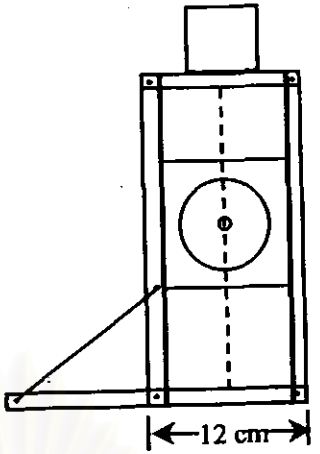
ภาคผนวก ก

แบบประกอบชุดอุปกรณ์กลขับเคลื่อนชิ้นงานทดสอบ

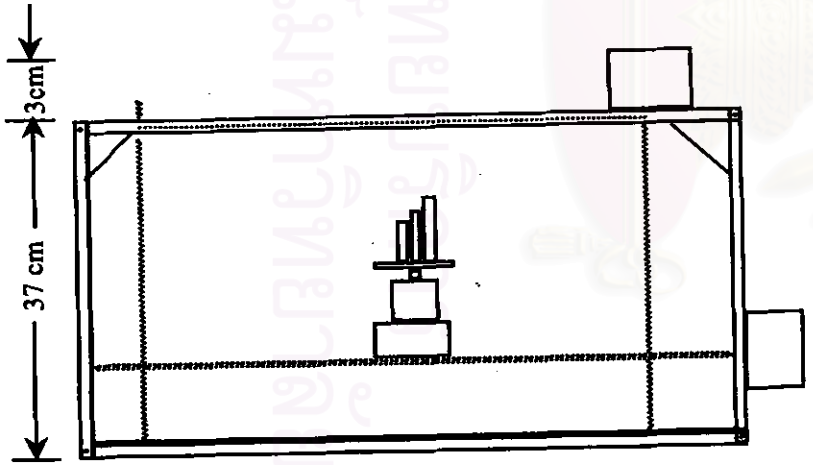
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



TOP VIEW



SIDE VIEW



FRONT VIEW

NUCLEAR TECHNOLOGY CHULALONGKORN UNIVERSITY	
NOPPADON	3970733521

ภาคผนวก ข

การวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์โดยวิธี Foil Activation

แผ่นโลหะบางหรือแผ่นฟอยล์โลหะที่ใช้ในการวัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ ควรมีคุณสมบัติคือ

1. เป็นค่าที่มีภาคตัดขวางสำหรับเทอร์มัลนิวตรอนสูงเพื่อให้เกิดไอโซโทปรังสีได้ดี
2. มีค่าครึ่งชีวิตที่เหมาะสมที่จะได้ใช้เวลาไม่มากนักในการอาบนิวตรอนเพื่อให้ได้ค่าความแรงสูงสุด และมีการสลายตัวของไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นต้องไม่เร็วหรือช้าเกินไป
3. แผ่นโลหะควรมีความหนาน้อย ๆ เพื่อลดปัญหาในด้านการกำบังตัวเอง (Self - Shielding) อย่างไรก็ตามโดยปกติ ต้องมีการแก้ค่าการกำบังตัวเองเสมอ

ในงานวิจัยนี้ใช้แผ่นอินเดียมเป็นตัววัดเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ เมื่อนำแผ่นอินเดียมไปอาบรังสีในต้นกำเนิดนิวตรอนที่เตาปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยในบริเวณที่ต้องการทราบค่าเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างแผ่นอินเดียม และ เทอร์มัลนิวตรอน แบบ (n , γ) ดังสมการ

$$^{115}_{49}In + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{116}_{49}In + \gamma$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาดูดกลืนนิวตรอนที่ทุกพลังงาน $= N\sigma_a\phi = A_0$

ดังนั้น $$\phi = \frac{A_0}{N\sigma_{act}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

เมื่อ N = จำนวนอะตอมทั้งหมดของแผ่นอินเดียมที่ทำปฏิกิริยากับนิวตรอนแล้วเกิดเป็นธาตุกัมมันตรังสี

σ_{act} = ภาคตัดขวางจุลภาคของการดูดกลืนมีหน่วยเป็นบาร์น

ϕ = นิวตรอนฟลักซ์มีหน่วยเป็น neutron/cm^2/sec

เมื่อนำแผ่นอินเดียมไปอาบรังสีเป็นเวลานานเพียงพอจะเกิดสภาวะคงที่ คือ อัตราการเกิดและการสลายมีค่าเท่ากัน ในสภาวะนี้ เรียกว่า ความแรงรังสีอิ่มตัว (Saturation Activity) เป็นความแรงรังสีสูงสุด

ดังนั้นอัตราการแผ่รังสีของอินเดียมที่อาบรังสีในเวลา T ดังสมการ

$$A_T = A_0(1 - e^{-\lambda T})$$

เมื่อ A_0 = อัตราการแผ่รังสีของอินเดียมเมื่ออาบรังสีจนอิ่มตัว

T = เวลาที่ใช้ในการอาบรังสีมีหน่วยเป็นวินาที

λ = ค่าคงที่การสลายตัวของอินเดียม

เมื่อนำแผ่นอินเดียมที่อาบรังสีแล้วออกมาจากนิวตรอนฟลักซ์ แล้วนำเข้าระบบวัดในเวลา t ต่อมา รังสีบางส่วนจะสลายตัวไป ดังนั้นค่าที่วัดได้จะน้อยกว่าที่เป็นจริง จึงแก้ด้วยเทอม $e^{-\lambda t}$

$$A_T = A_0(1 - e^{-\lambda T})e^{-\lambda t} \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ t = เวลาในระหว่างนำแผ่นอินเดียมออกจากการอาบนิวตรอนมายังเครื่องวัดมีหน่วยเป็นวินาที

จากสมการ $\phi = \dfrac{A_0}{N\sigma_{act}}$

ดังนั้น $\phi = \dfrac{A_T}{N\sigma_{act}\left(1-e^{-\lambda T}\right).e^{-\lambda t}}$ .....(3)

ในกรณีที่ใช้เวลาในการอาบรังสีนานมาก ค่า $e^{-\lambda T}$ จะมีค่าน้อยลงจนใกล้ศูนย์ ความแรงรังสีของแผ่นอินเดียม (A_T) ในสมการ (3) สามารถคำนวณได้จาก

$$A_T = \frac{cps}{\varepsilon}$$

เมื่อ cps คือ จำนวนนับรังสีต่อวินาที

ε คือ ประสิทธิภาพของระบบวัดรังสีต่อรังสีที่นับ

ประสิทธิภาพระบบวัดรังสีแกมมา ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมา ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดกับหัววัด รูปร่างของต้นกำเนิดรังสี ชนิด และ ขนาดของหัววัดรังสี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้ความแรงรังสีของแผ่นอินเดียม (A_T) ยังขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นอินเดียมด้วย เนื่องจากอินเดียมมีภาคตัดนิวตรอนสูง ฟลักซ์นิวตรอน (ϕ) ในแผ่นอินเดียมลดลงตามความหนา กล่าวคืออะตอมอินเดียมส่วนที่อยู่ลึกๆ จากผิวเข้าไปจะทำปฏิกิริยากับนิวตรอนน้อยกว่าส่วนที่อยู่ที่ผิวทำให้ A_T มีค่าน้อยกว่าที่เป็นจริงจึงต้องแก้ค่า ϕ ที่ได้ด้วยค่าแฟคเตอร์กำบังตัวเอง (Self - Shielding Factor, f_{th}) ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นอินเดียม ดังนี้

$$\phi_m = f_{th}\phi$$

เมื่อ ϕ_m คือ นิวตรอนฟลักซ์ที่วัดได้

$$f_{th} = \frac{1}{2\xi}(1-e^{-2\xi}) \quad \text{.....(5)}$$

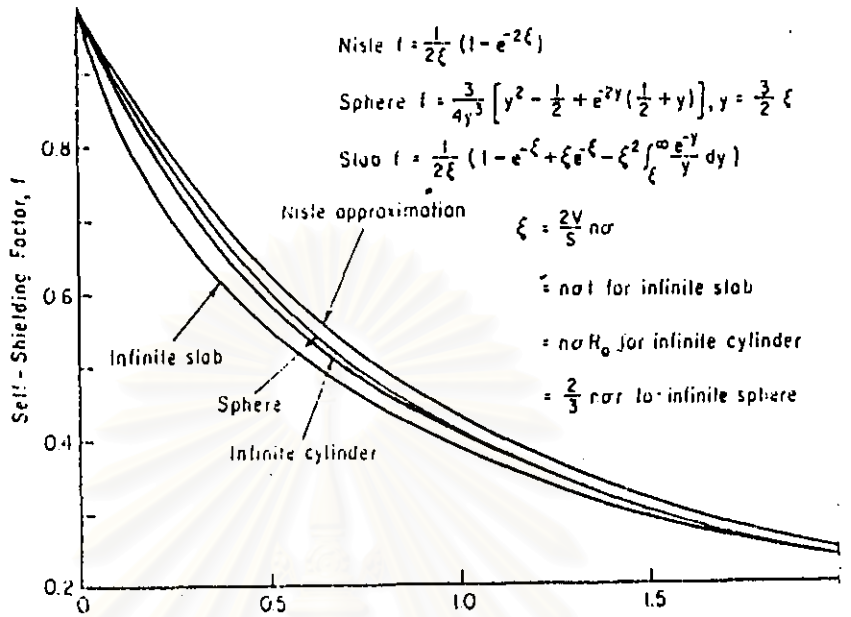
โดยที่ $\xi = \left(\frac{2V}{S}\right)\Sigma_a$

เมื่อ V = ปริมาตรของแผ่นอินเดียม

S = พื้นที่ผิวของแผ่นอินเดียม

$\sum_a$ = ภาคตัดขวางมหาภาคของการดูดกลืน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.1 แสดงค่า Self - Shielding Factors ตามสมการของ Nisle และสมการสำหรับ Slab , Cylinder และ Sphere

****(ในงานวิจัยนี้ใช้แผ่นอินเดียมเป็นแบบ Slab)**

การคำนวณประสิทธิภาพหัววัด

ทำการคำนวณโดยใช้พื้นที่ใต้กราฟได้จาก Co-60 ผลิตเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 1974 มีความแรงรังสี 1 μCi ได้ทำการวัดเมื่อวันที่ 26 มกราคม 1999 โดยใช้หัววัด NaI (Tl) เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีระยะห่างจากหัววัดประมาณ 1 เซ็นติเมตร ทำการวัดเป็นเวลา 60 วินาที

เมื่อ t เป็นเวลาที่ทำให้รังสีบางส่วนจากต้นกำเนิดรังสีสลายตัว ตั้งแต่วันที่ผลิตจนถึงวันที่ทำการวัด

$$t = (25 \times 365) - (11 \times 30) + 25 = 8{,}820 \text{ วัน}$$

$$= 8{,}820 \times 24 \times 3600 = 7.62 \times 10^8 \text{ วินาที}$$

เมื่อ $A_0 = 1 \times 10^{-6} \times 3.7X \times 10^{10} = 37{,}000$ dps

$T_{1/2}$ ของ Co - 60 เท่ากับ 5.27 ปี

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{(5.27 \times 365 \times 24 \times 3600)} = 4.169 \times 10^{-9} \text{ วินาที}^{-1}$$

จะได้ความแรงรังสี ดังนี้

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$= 37{,}000 \times e^{(-4.169 \times 10^{-9} \times 7.62 \times 10^{8})}$$

$$= 37{,}000 \times 0.0417$$

$$= 1543.634 \text{ dps}$$

เมื่อ % Abundance ของ Co-60 = 99.99%

$$\text{ดังนั้น } A = \frac{1543.634 \times 99.99}{100} = 1543.479$$

ดังนั้นการหาประสิทธิภาพของหัววัด โดยใช้ Co-60 ที่พลังงาน 1.17 MeV และ 1.33 MeV เป็นดังนี้

1. ที่พลังงาน 1.17 Mev มีค่า Area = 3629 /60 sec = 60.483

$$\% \text{ Efficiency} = \frac{cps \times 100}{dps} = \frac{60.483 \times 100}{1543.479} = 3.92\ \%$$

2. ที่พลังงาน 1.33 MeV มีค่า Area = 3179 / 60 sec = 52.98

$$\% \text{ Efficiency} = \frac{cps \times 100}{dps} = \frac{52.98 \times 100}{1543.479} = 3.43\ \%$$

ทำการ Interpolate ที่พลังงาน 1.097 MeV จะได้

$$\% \text{ Efficiency} = 3.92 + \left[\frac{(3.92 - 3.43) \times (1.17 - 1.097)}{(1.33 - 1.17)}\right]$$

$$= 3.92 + \left[\frac{0.49 \times 0.073}{0.16}\right] = 4.14\ \%$$

ทำการ Interpolate ที่พลังงาน 1.294 MeV จะได้

$$\% \text{ Efficiency} = 3.43 + \left[\frac{(3.92-3.43)\times(1.33-1.294)}{(1.33-1.17)}\right]$$

$$= 3.43 + \left[\frac{0.49\times 0.036}{0.16}\right] = 3.54\ \%$$

วิธีการคำนวณหาเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์โดยใช้วิธี Foil Activation

วิธีคำนวณโดยนำแผ่นอินเดียมฟอลย์ไปอาบนิวตรอนที่ต้นกำเนิดนิวตรอน เป็น Research - Reactor ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

น้ำหนักของแผ่นอินเดียมฟอลย์ = 0.09628 กรัม

ขนาดของแผ่นอินเดียม กว้าง × ยาว = 1 เซ็นติเมตร × 1 เซ็นติเมตร

ทำการอาบนิวตรอนเมื่อวันที่ 26 มกราคม 2542 ทำการวัด 60 วินาที ที่พลังงาน 1.097 MeV และ 1.294 MeV มีจำนวนของรังสีแกมมาต่อการสลายตัวสูงสุดเท่ากับ 56 % และ 84 % ตามลำดับ

<u>ที่กำลัง 700 kW</u>

เมื่อนำอินเดินมฟอลย์*<u>หุ้มแคดเมียม</u>* อาบนิวตรอนนาน 20 นาที แล้วปล่อยให้รังสีสลายตัว 14 นาที หลังจากนั้นจึงทำการวัด นาน 1 นาที

Peak Count (Area) ที่พลังงาน 1.097 MeV รวมกับ 1.294 MeV มีค่าเท่ากับ 309 Counts / 60sec

$$N_{840\text{-}900} = \int_{840}^{900} N_0 e^{-\lambda t}dt = \frac{-N_0}{\lambda}\left[e^{-\lambda t}\right]_{840}^{900}$$

$$= \frac{-54.2\times 60}{0.693} N_0\left[e^{\frac{-0.693\times 900}{54.2\times 60}} - e^{\frac{-0.693\times 840}{54.2\times 60}}\right]$$

$$= \frac{-N_0}{2.13\times 10^{-4}}[0.8254 - 0.836]$$

$$= 50.248\ N_0$$

ดังนั้น $N_0 = \frac{N_{840\text{-}900}}{50.248} = \frac{309}{50.248} = 5.914$ cps

เมื่อ $E(\%) = \frac{(4.14 \times 0.56) + (3.54 \times 0.84)}{1.4} = 3.78\ \%$

$$dps = \frac{5.914}{0.0378} = 156.45$$

หาเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ (ϕ_{th}) ;

$$\phi_{fast} = \frac{A \times M}{W \times k \times N_A \times \sigma_{act} \times (1 - e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t}}$$

เมื่อ A = Activity (dps)

k = % Abundance of In-116

จาก $e^{-\lambda T} = e^{\frac{-0.693 \times 20m}{54.2m}} = 0.774$

$(I - e^{-\lambda T}) = 1 - 0.774 = 0.2256$

$e^{-\lambda t} = e^{\frac{-0.693 \times 840}{54.2 \times 60}} = 0.836$

แทนค่า

$$\phi_{fast} = \frac{156.45 \times 114.8}{0.09628 \times 0.597 \times 6.02 \times 10^{23} \times 1.62 \times 10^{-22} \times 0.2256 \times 0.836}$$

$$= 10597.72 \quad n/cm^2/sec$$

การคำนวณแก้ค่า Self - Shielding Factor

ความหนาของอินเดียมฟอลย์ (t) หาจาก

$$t = \frac{m}{A \times \rho} = \frac{0.09628}{1 \times 7.28} = 0.01322 \text{ cm}$$

เมื่อ m = มวลของอินเดียมฟอลย์มีหน่วยเป็น g

A = พื้นที่หน้าตัดของอินเดียม มีหน่วยเป็น cm^2

ρ = ความหนาแน่นของอินเดียม มีหน่วยเป็น g/cm^2

สำหรับ $\xi = \sum_a t = 7.75 \times 0.01322 = 0.10249$

แทนค่า ξ ลงในสมการที่ $f = \frac{1}{2\xi}\left(1 - e^{-2\xi}\right)$

$= 0.9041$

ดังนั้นค่าฟลักซ์ของนิวตรอนเร็วจะเท่ากับ

$$\phi_{fast} = \frac{10597.72}{0.9041} = 1.172 \times 10^4 \text{ n/cm}^2\text{/sec}$$

เมื่อนำแผ่นอินเดียมฟอลย์อาบนิวตรอนนาน 20 นาที แล้วปล่อยให้รังสีสลายตัว 17 นาที หลังจากนั้นจึงทำการวัดนาน 1 นาที

Peak Counts (Area) ที่พลังงาน 1.097 MeV รวมกับ 1.294 MeV มีค่าเท่ากับ 18254 Count/60 sec

$$N_{1020\text{-}1080} = \int_{1020}^{1080} N_0 e^{-\lambda t} dt = \frac{-N_0}{\lambda}\left[e^{-\lambda t}\right]_{100}^{1080}$$

$$= \frac{-54.2 \times 60}{0.693} N_0 \left[e^{\frac{-0.693 \times 1080}{54.2 \times 60}} - e^{\frac{-0.693 \times 1020}{54.2 \times 60}} \right]$$

$$= \frac{-N_0}{213 \times 10^{-4}} [0.7944 - 0.8406]$$

$$= 47.88\, N_0$$

$$N_0 = \frac{N_{1020\text{-}1080}}{47.88} = \frac{18254}{47.88} = 381.244$$

เมื่อ E(%) = 3.78 %

$$\text{dps} = \frac{381.244}{0.0378} = 10085.82$$

$$e^{-\lambda t} = e^{\frac{-0.693\times1020}{54.2\times60}} = 0.8046$$

หา $\phi_{th+fast}$

$$= \frac{A \times M}{W \times k \times N_A \times \sigma_{act} \times \left(1-e^{-\lambda T}\right)e^{-\lambda t}}$$

$$= \frac{10085.82 \times 114.8}{0.09628 \times 0.957 \times 6.02 \times 10^{23} \times 1.62 \times 10^{-22} \times 0.2256 \times 0.8046}$$

$$= 7.098 \times 10^5 \quad \text{n/cm}^2\text{/sec}$$

แก้ Self-shielding Factor (F_{th})

$$\phi_{th+fast} = \frac{7.098 \times 10^5}{0.9041} = 7.85 \times 10^5 \quad \text{n/cm}^2\text{/sec}$$

คำนวณค่า Cadmium Ratio ที่700 kW $= \frac{7.85 \times 10^5}{1.172 \times 10^4} = 67$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่กำลัง 100 kW

เมื่อนำอินเดียมฟอลย์*หุ้มแคดเมียม* อาบนิวตรอนนาน 10 นาที แล้วปล่อยให้รังสีสลายตัว 1 นาที

Peak Counts (Area) ที่พลังงาน 1.097 MeV รวมกับ 1.294 MeV มีค่าเท่ากับ 188 Counts / 60 sec

$$N_{60\text{-}120} = \int_{60}^{120} N_0 e^{-\lambda t}\,dt = \frac{-N_0}{\lambda}\left[e^{-\lambda t}\right]_{60}^{120}$$

$$= \frac{-54.2\times 60}{0.693} N_0 \left[e^{\frac{-0.693\times 120}{54.2\times 60}} - e^{\frac{-0.693\times 60}{54.2\times 60}} \right]$$

$$= \frac{-N_0}{2.13\times 10^{-4}}[0.974 - 0.987]$$

$$= 62.42\, N_0$$

ดังนั้น $N_0 = \frac{N_{60\text{-}120}}{62.42} = \frac{188}{62.42} = 3.01$

เมื่อ $E(\%) = \frac{(4.14\times 0.56)+(3.54\times 0.84)}{1.4} = 3.78\,\%$

$$\text{dps} = \frac{3.01}{0.0378} = 79.63$$

หา $\phi_{th} = \frac{A\times M}{W\times k\times N_A\times \sigma_{act}\times\left(1-e^{-\lambda T}\right)e^{-\lambda t}}$

$$e^{-\lambda T} = e^{\frac{-0693\times 10m}{54.2m}} = 0.879$$

$$(1-e^{-\lambda T}) = 1 - 0.879 = 0.12$$

$$e^{-\lambda t} = e^{\frac{-0.693\times60}{54.2\times60}} = 0.987$$

ดังนั้น

$$\phi_{fast} = \frac{79.63\times114.8}{0.09628\times0957\times6.02\times10^{23}\times1.62\times10^{-22}\times0.12\times0.987}$$

$$= 8589.317 \quad n/cm^2/sec$$

แก้ค่า Self - Shielding Factor (f_{th})

$$\phi_{fast} = \frac{8589.317}{0.9041} = 9500.406 \quad n/cm^2/sec$$

และนำแผ่นอินเดียมฟอลย์อาบนิวตรอนนาน 10 นาที แล้วปล่อยให้รังสีสลายตัว 2 นาที หลังจากนั้นจึงทำการวัดนาน 1 นาที

$$N_{120\text{-}180} = \int_{120}^{180} N_0 e^{-\lambda t} dt = \frac{-N_0}{\lambda}\left[e^{-\lambda t}\right]_{120}^{180}$$

$$= \frac{-54.2\times60}{0.693} N_0\left[e^{-\frac{0.693\times180}{54.2\times60}} - e^{\frac{-0.693\times120}{54.2\times60}}\right]$$

$$= \frac{-N_0}{2.13\times10^{-4}}[0.962-0.974]$$

$$= 59.869\, N_0$$

ดังนั้น $N_0 = \frac{N_{120\text{-}1800}}{59.869} = \frac{1650}{59.869} = 27.56$

เมื่อ E (%) = 3.78 %

$$dps = \frac{27.56}{0.0378} = 729.10$$

หา $\phi_{th+fast} = \dfrac{A \times M}{W \times k \times N_A \times \sigma_{act} \times (1 - e^{-\lambda T}) e^{-\lambda t}}$

$$e^{-\lambda t} = e^{\frac{-0.693 \times 120}{54.2 \times 60}} = 0.974$$

แทนค่า

$$\phi_{th+fast} = \frac{729.10 \times 114.8}{0.09628 \times 0.957 \times 6.02 \times 10^{23} \times 1.62 \times 10^{-22} \times 0.12 \times 0.974}$$

$$= 7.969 \times 10^4 \quad n/cm^2/sec$$

แก้ค่า Self - Shielding Factor

$$\phi_{th+fast} = \frac{7.969 \times 10^4}{0.9041} = 8.81 \times 10^4 \quad n/cm^2/sec$$

คำนวณค่า Cadmium Ratio ที่กำลัง 100 kW $= \dfrac{8.81 \times 10^4}{9.5 \times 10^3} =$ **9.27**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

โปรแกรมควบคุมการทำงานระบบขับเคลื่อนชิ้นงานทดสอบ

```
list
10   CLEAR S
20  PORT1=0
30   XBY(0E0E3H)=137
40   PA=0E0E0H : PB=0E0E1H : PC=0E0E2H
50   A=(XBY(PC).AND.1)
60    IF A=1 THEN  GOTO 170 ELSE  GOTO 70
70   PORT1=2
80   B1=(XBY(PC).AND.8) : B2=(XBY(PC).AND.240)
90   B=B1+B2
100   IF B=8 THEN  GOSUB 590
110   IF B=16 THEN  GOSUB 650
120   IF B=32 THEN  GOSUB 710
130   IF B=64 THEN  GOSUB 770
140   IF B=128 THEN  GOSUB 830
150  XBY(PA)=0
160   GOTO 80
170  PORT1=8
180   GOSUB 270
190   GOSUB 360
200   GOSUB 1180
210  PS=(PORT1.AND.240)
220   IF PS<=16 THEN XBY(PB)=(16.OR.3) : PORT1=8 :  GOSUB 440
230   IF PS=32 THEN XBY(PB)=(PS.OR.3) : PORT1=8 :  GOSUB 490
240   IF PS>=48 THEN XBY(PB)=(48.OR.3) : PORT1=8 :  GOSUB 1360
250   END
260   REM "RESET-X"
270  RX=(XBY(PC).AND.6)
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
280  IF RX=2 THEN  GOTO 190
290  XBY(PA)=192 :  FOR D=1 TO 0 :  NEXT D
300  XBY(PA)=96 :  FOR D=1 TO 0 :  NEXT D
310  XBY(PA)=48 :  FOR D=1 TO 0 :  NEXT D
320  XBY(PA)=144 :  FOR D=1 TO 0 :  NEXT D
330  GOTO 270
340  RETURN
350  REM "RESET-Y"
360  RY=(XBY(PC).AND.6)
370  IF RY=4 THEN  GOTO 210
380  XBY(PA)=3 :  FOR D=1 TO 0 :  NEXT D
390  XBY(PA)=6 :  FOR D=1 TO 0 :  NEXT D
400  XBY(PA)=12 :  FOR D=1 TO 0 :  NEXT D
410  XBY(PA)=9 :  FOR D=1 TO 0 :  NEXT D
420  GOTO 360
430  RETURN
440  REM "1*1 MATRIX"
450  XBY(PB)=(0.OR.3)
460  L=1981 : N=2850 :  GOSUB 890 :  GOSUB 1050
470  E=16 :  GOSUB 1300 :  GOSUB 1230 : XBY(PB)=(16.OR.3)
480  RETURN
490  REM "2*2 MATRIX"
500  XBY(PB)=(0.OR.3)
510  L=1120 : N=2400.0 :  GOSUB 890 :  GOSUB 1050
520  E=32 :  GOSUB 1300 :  FOR D=1 TO 100 :  NEXT D
530  XBY(PB)=(16.OR.3) :  GOSUB 1180
540  GOSUB 1130 : N=920.0 :  GOSUB 1050 : XBY(PB)=(32.OR.3) :  GOSUB 1180
550  GOSUB 1130 : L=760 :  GOSUB 890 : XBY(PB)=(48.OR.3) :  GOSUB 1180
560  GOSUB 1130 : M=920.0 :  GOSUB 970 : XBY(PB)=(64.OR.3) :  GOSUB 1230
570  XBY(PA)=0
580  RETURN
590  REM "UP-MANUAL"
600  XBY(PA)=12 :  FOR D=1 TO S :  NEXT D
610  XBY(PA)=6 :  FOR D=1 TO S :  NEXT D
```

```
620 XBY(PA)=3 : FOR D=1 TO S : NEXT D
630 XBY(PA)=9 : FOR D=1 TO S : NEXT D
640 RETURN
650 REM "DOWN-MANUAL"
660 XBY(PA)=3 : FOR D=1 TO S : NEXT D
670 XBY(PA)=6 : FOR D=1 TO S : NEXT D
680 XBY(PA)=12 : FOR D=1 TO S : NEXT D
690 XBY(PA)=9 : FOR D=1 TO S : NEXT D
700 RETURN
710 REM "RIGHT-MANUAL"
720 XBY(PA)=192 : FOR D=1 TO S : NEXT D
730 XBY(PA)=96 : FOR D=1 TO S : NEXT D
740 XBY(PA)=48 : FOR D=1 TO S : NEXT D
750 XBY(PA)=144 : FOR D=1 TO S : NEXT D
760 RETURN
770 REM "LEFT-MANUAL"
780 XBY(PA)=48 : FOR D=1 TO S : NEXT D
790 XBY(PA)=96 : FOR D=1 TO S : NEXT D
800 XBY(PA)=192 : FOR D=1 TO S : NEXT D
810 XBY(PA)=144 : FOR D=1 TO S : NEXT D
820 RETURN
830 REM "ROTATION"
840 XBY(PB)=3 : FOR D=1 TO 50 : NEXT D
850 XBY(PB)=6 : FOR D=1 TO 50 : NEXT D
860 XBY(PB)=12 : FOR D=1 TO 50 : NEXT D
870 XBY(PB)=9 : FOR D=1 TO 50 : NEXT D
880 RETURN
890 REM "UP-AUTO"
900 FOR K=1 TO L
910 XBY(PA)=12 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
920 XBY(PA)=6 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
930 XBY(PA)=3 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
940 XBY(PA)=9 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
950 NEXT K
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
960  RETURN
970  REM "RIGHT-AUTO"
980  FOR K=1 TO M
990  XBY(PA)=192 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
1000 XBY(PA)=96 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
1010 XBY(PA)=48 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
1020 XBY(PA)=144 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
1030 NEXT K
1040 RETURN
1050 REM "LEFT-AUTO"
1060 FOR K=1 TO N
1070 XBY(PA)=48 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
1080 XBY(PA)=96 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
1090 XBY(PA)=192 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
1100 XBY(PA)=144 : FOR D=1 TO 0 : NEXT D
1110 NEXT K
1120 RETURN
1130 REM "KEY-START"
1140 DO
1150 KS=(XBY(PC).AND.128)
1160 WHILE KS<>128
1170 RETURN
1180 REM "SHORT BUZZER"
1190 PORT1=9 : FOR D=1 TO 100 : NEXT D
1200 PORT1=0
1210 PORT1=8
1220 RETURN
1230 REM "BUZZER"
1240 FOR D=1 TO 10
1250 PORT1=9 : FOR K=1 TO 15 : NEXT K
1260 PORT1=0 : FOR K=1 TO 15 : NEXT K
1270 PORT1=8
1280 NEXT D
1290 RETURN
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

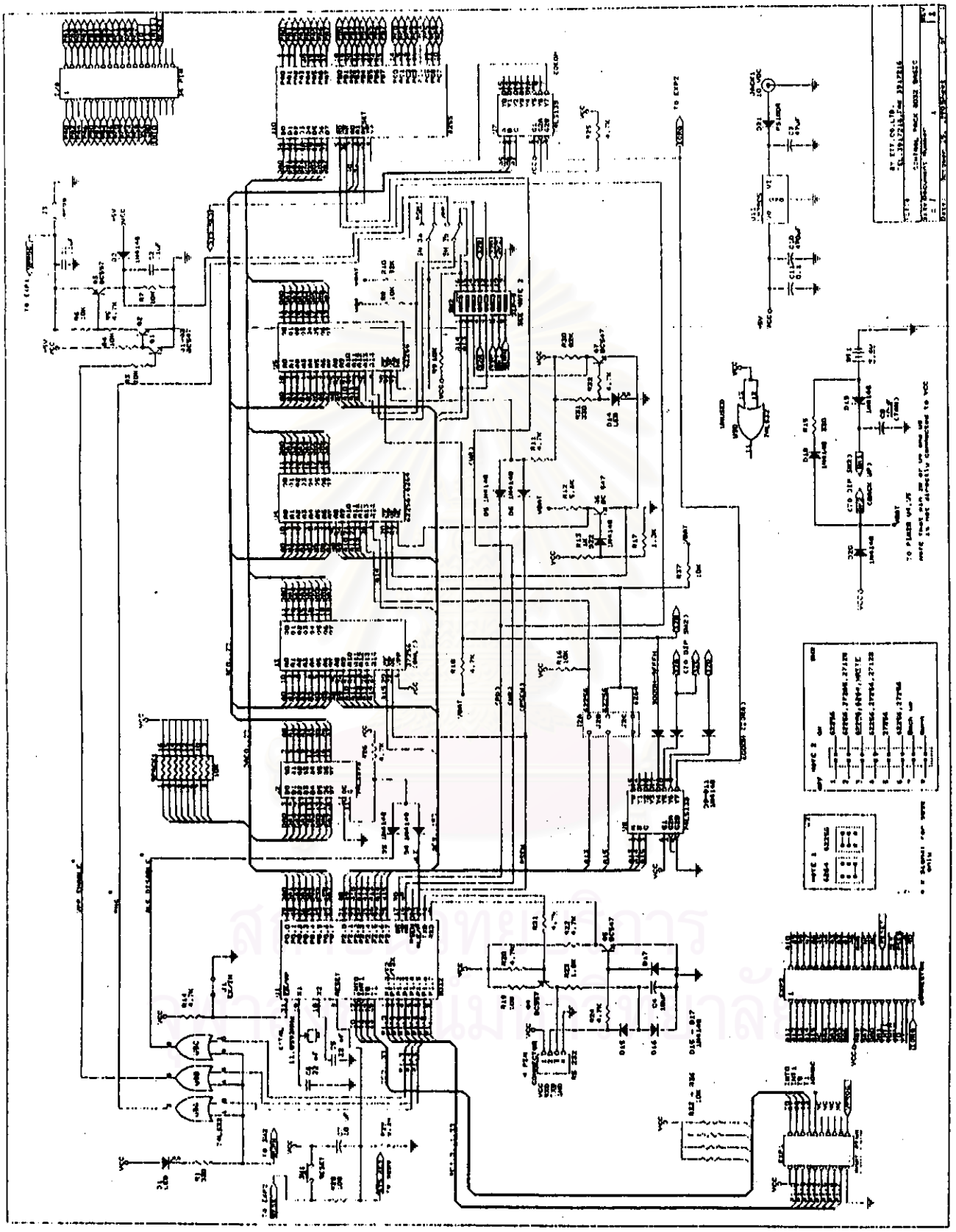
```
1300  REM "ON/OFF NUMBER"
1310  FOR D=1 TO 2
1320 XBY(PB)=(E.OR.3) :  FOR K=1 TO 500 :  NEXT K
1330 XBY(PB)=(240.OR.3) :  FOR K=1 TO 500 :  NEXT K
1340  NEXT D
1350  RETURN
1360  REM "3*3 MATRIX"
1370 XBY(PB)=(240.OR.3)
1380 L=200 : N=1950 :  GOSUB 890 :  GOSUB 1050
1390 E=48 :  GOSUB 1300 :  FOR D=1 TO 100 :  NEXT D
1400 XBY(PB)=(16.OR.3) :  GOSUB 1180
1410  GOSUB 1130 : N=920.0 :  GOSUB 1050 : XBY(PB)=(32.OR.3) :  GOSUB 1180
1420  GOSUB 1130 : N=920.0 :  GOSUB 1050 : XBY(PB)=(48.OR.3) :  GOSUB 1180
1430  GOSUB 1130 : L=760 :  GOSUB 890 : XBY(PB)=(64.OR.3) :  GOSUB 1180
1440  GOSUB 1130 : M=920.0 :  GOSUB 970 : XBY(PB)=(80.OR.3) :  GOSUB 1180
1450  GOSUB 1130 : M=920.0 :  GOSUB 970 : XBY(PB)=(96.OR.3) :  GOSUB 1180
1460  GOSUB 1130 : L=760 :  GOSUB 890 : XBY(PB)=(112.OR.3) :  GOSUB 1180
1470  GOSUB 1130 : N=920.0 :  GOSUB 1050 : XBY(PB)=(128.OR.3) :  GOSUB 1180
1480  GOSUB 1130 : N=920.0 :  GOSUB 1050 : XBY(PB)=(144.OR.3) :  GOSUB 1180
1490 XBY(PA)=0
1500  RETURN
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

วงจร บอร์ด CP32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประวัติผู้เขียน

ว่าที่เรืออากาศตรีนพดล นาคเงิน เกิดวันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ 2510 ที่อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2537 จากนั้นเข้ารับการศึกษาต่อ ที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2539 ปัจจุบันรับราชการทหาร ในตำแหน่ง นายทหารตรวจงาน ฝ่ายตรวจ 2 แผนกควบคุมคุณภาพ กองซ่อมเครื่องยนต์ กรมช่างอากาศ กองบัญชาการสนับสนุนทหารอากาศ ที่กรมช่างอากาศ ดอนเมือง กองทัพอากาศ กรุงเทพมหานครฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย