รายการอ้างอิง

1. Larmarsh, John R. Introduction to nuclear engineering. 2nd ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 1983.
2. Gordon, Gilmore and John, D. Hemingway. Practical gamma-ray spectrometry. England: John wiley&Sons, 1995.
3. สมพร จองคำ. Nuclear Activation analysis. กรุงเทพมหานคร: กองฟิสิกส์ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ, (ม.ป.ป.).
4. C.G.Clyton and J.F.Cameron. A review of the design and application of radioisotope instruments in industry. Radioisotope instruments in industry and geophysic Vol1 (october 1965): 34-37.
5. สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2528.
6. J. S. Charltion. Radioisotope techniques for problem solving in industrial process plants. Cleveland: John Stuart Charlton, 1986.
7. EG&G. Ortect. Model 541 ratemeter operating and service manual. , (n.p., n.d.).
8. มงคล วรรณประภา. การพัฒนาระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

1. ประสพ ธงธวัช. การพัฒนาระบบวัดน้ำในถังเก็บ โดยใช้รังสีแกมมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

2. ชัชชัย สุมิตร สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และ นเรศร์ จันทน์ขาว. เครื่องวัดและควบคุมระดับของเหลวด้วยเทคนิคนิวเคลียร์. กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

3. สัมพันธ์ วงศ์นาวา. การเรื่องรังสีเอกซ์แบบการกระจายพลังงานเบื้องต้น. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2535.

4. สุทธิรัตณ์ สุวรรณ์จรัส. การศึกษาการวัดระดับของเหลวในภาชนะปิด โดยนิวเคลียร์เทคนิค. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.

5. สุพร กุลวัฒนันท์ชัย. การพัฒนาระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

6. Knoll, Genn F. Radiation Detection and Measuremeny. 2nd ed. NewYork : John willey & Sons, 1989.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

โปรแกรมแสดงผลการวัดระดับ

โปรแกรมแสดงผลการวัดระดับเขียนขึ้นด้วยภาษา Quick BASIC. มีตัวแปรและคำสั่งที่สำคัญดังนี้

1 coun(I)	ตัวแปรสำหรับเก็บข้อมูลปริมาณนับความเข้มรังสีสัมพัทธ์
2 det	ตัวแปรสำหรับเวลาจัดในการเก็บ
3. sts	ตัวแปรสำหรับกำหนดรูปทรงผิวหน้า
4. sam	ตัวแปรสำหรับการกำหนดครั้งที่เก็บข้อมูล
5. sta	ตัวแปรสำหรับตั้งระดับการเตือน
6. inp(772)	คำสั่งในการรับข้อมูลจาก พอร์ต
7. out 771,137	คำสั่งกำหนด พอร์ต 8255

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
'count by ratemeter with adc

DIM coun(1510) AS INTEGER

   OUT 771, 137
   REM 0bl 1b 2g 3gb 4r 5v 6br 7w 8gr 9lb 14ly 15lw
   CLS

'************ main program ************'
  m = 15
  GOSUB mo
  GOSUB mainmu
  GOSUB convt
  tc = t: tr = t
  FOR lo = 1 TO sam
    DO UNTIL t = tc + 1: GOSUB convt: LOOP
    tc = t
    coun(lo) = INP(772)
    LOCATE 1, 66: PRINT t - tr
    LOCATE 2, 66: PRINT INT(coun(lo) / 2.55)
    LOCATE 3, 66: PRINT lo
    LOCATE 4, 66: PRINT sam
    LOCATE 5, 66: PRINT sts
    LOCATE 6, 66: PRINT sta
    GOSUB plotp
    IF INKEY$ = "z" THEN GOTO interrup
    GOSUB surface
  NEXT lo
  '***** end of sampling *****'
interrup:
  lor = lo - 1
  delt = t - tr
  LOCATE 4, 17: PRINT "you'r sampling "; delt; "time"
```

```
  LOCATE 6, 17: INPUT "put ENTER to clear sceen"; p
  CLS
  GOTO savdat
END
'************ end of main ***************'



'***** converse time *****'
convt:
  h$ = TIME$: m$ = MID$(h$, 4, 2): s$ = MID$(h$, 7, 2)
  h = VAL(h$): m = VAL(m$): s = VAL(s$)
  t = h * 3600 + m * 60 + s
RETURN

'**** plot point *****'
plotp:
  y = coun(lo)
REM   xc = mixg + INT(y * (maxg - mixg) / 255)
REM   yc = mayg - INT(lo * (mayg - miyg) / 1500)
  yc = mayg - INT(y * (mayg - miyg) / 255)
  xc = mixg + INT(lo * (maxg - mixg) / 1500)
  PRESET (xc, yc), m
RETURN

'***** surface feed *****'
surface:
  al1 = .35 * maxay: al2 = .7 * maxay: al3 = .554 * maxay
  LINE (otx - 1, ysu + zsu1)-(peak, ysu + zsu2), 0
  LINE (peak, ysu + zsu2)-(otx2 + 1, ysu + zsu1), 0
  LOCATE 21, 55: PRINT "      "
  zsu1 = 30 * (sts): zsu2 = 30 * (1 - sts)
  SELECT CASE coun(lo)
    CASE IS < 80
      ysu = al1
```

```
    CASE IS > 180
      ysu = al2
    CASE ELSE
      ysu = al3
  END SELECT
  GOSUB alarm
  peak = INT((otx2 + otx) / 2)
  LINE (otx - 1, ysu + zsu1)-(peak, ysu + zsu2)
  LINE (peak, ysu + zsu2)-(otx2 + 1, ysu + zsu1)
RETURN

'***** load file *****'
viewfile:
  REM m = m + 1
  m = 7
  LOCATE 1, 1: INPUT "fill filename =>(enter for backup)"; fv$
  LOCATE 1, 1: PRINT "                                    "
  IF fv$ = "" THEN fv$ = "backup"
  LOCATE 1, 10: PRINT "loading.......Please Wait"
  i = 0
  OPEN fv$ FOR INPUT AS #1
    DO UNTIL EOF(1)
      INPUT #1, a$
      i = i + 1
      coun(i) = VAL(a$)
    LOOP
  CLOSE #1
  LOCATE 1, 10: PRINT "                        "
  '***** plot graph from disk *****'
  GOSUB plotbg
  sta = coun(i)
  sts = coun(i - 1)
  sam = coun(i - 2)
  lo = coun(i - 3)
```

```
  co = coun(i - 4)
  dt = coun(i - 5)
  FOR cl = 1 TO 6
  LOCATE cl, 66: PRINT "      "
  NEXT cl
  LOCATE 1, 66: PRINT dt
  LOCATE 2, 66: PRINT co
  LOCATE 3, 66: PRINT lo
  LOCATE 4, 66: PRINT sam
  LOCATE 5, 66: PRINT sts
  LOCATE 6, 66: PRINT sta
  l = i - 7
  FOR lo = 1 TO l
    GOSUB plotp
  NEXT lo
  GOSUB surface
  DO UNTIL INKEY$ <> "": LOOP
  LOCATE 1, 10: INPUT "plot more graph press M ", p$
  LOCATE 1, 10: PRINT "                         "
  IF p$ = "m" THEN GOTO viewfile
  GOTO mainmu

'***** alarm and sound *****'
alarm:
  IF sta = 0 THEN RETURN
  IF (sts = 0 AND ysu = al1) THEN
    RETURN
  ELSEIF (sts = 1 AND ysu = al2) THEN
    RETURN
  ELSEIF ysu = al3 THEN
    s = 1
  ELSEIF (sts = 0 AND ysu = al2) THEN
    LOCATE 21, 55: PRINT "*EMPTY*"
    s = 2
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
  ELSE LOCATE 21, 56: PRINT "*FULL*"
    s = 2
  END IF
  '***** sound *****'
  FOR al = 1 TO s
    BEEP: FOR d = 1 TO 1000: NEXT d
  NEXT al
RETURN

'***** save data *****'
savdat:
  SCREEN 0
  LOCATE 9, 10: PRINT "RESTART program     press ** R"
  LOCATE 10, 10: PRINT "SAVE               press ** S"
  LOCATE 11, 10: INPUT "EXIT  without save  press ** E"; ch$
  IF ch$ = "r" THEN GOTO mainmu
  IF ch$ = "e" THEN GOTO exi
  IF ch$ <> "s" THEN GOTO savdat
  CLS
  LOCATE 15, 5: INPUT "please fill filename =>(enter to SAVE in backup)"; f$
  IF f$ = "" THEN f$ = "backup"
  CLS
  PRINT "now is SAVEING data"
  OPEN f$ FOR OUTPUT AS #1
    FOR sav = 1 TO lor
      WRITE #1, coun(sav)
    NEXT sav
    WRITE #1, delt
    WRITE #1, INT(coun(lor) / 2.55)
    WRITE #1, lor
    WRITE #1, sam
    WRITE #1, sts
    WRITE #1, sta
  CLOSE 1
```

```
  CLS
  LOCATE 10, 20: PRINT "Already saved "
  LOCATE 11, 20: PRINT "you save in "; f$
  LOCATE 12, 20: INPUT "press enter to restart"; p
  CLS
  GOTO mainmu

'***** type of moniter *****'
mo:
  LOCATE 10, 15: PRINT "Monitor type      monocrome  press  3"
  LOCATE 11, 15: INPUT "                  SVGA  press  9 ", scr
  IF scr = 3 THEN
    maxax = 720: maxay = 320
    maxg = 330: mayg = 290
    mixg = 50: miyg = 90
    CLS
    RETURN
  ELSEIF scr = 9 THEN
    maxax = 640: maxay = 350
    maxg = 330: mayg = 300
    REM maxg = 295: mayg = 300
    mixg = 43: miyg = 90
  ELSE GOTO mo
  END IF
  CLS
  RETURN
'***** main menu *****'
mainmu:
  SCREEN 0
  LOCATE 9, 10: PRINT "START          press **  S  **"
  LOCATE 10, 10: PRINT "LOAD  data     press **  L  **": m = 0
  LOCATE 11, 10: INPUT "EXIT  program   press **  E  **  ", ch1$
  CLS
  IF ch1$ = "l" THEN GOTO viewfile
```

```
  IF ch1$ = "e" THEN GOTO exi
  IF ch1$ <> "s" THEN GOTO mainmu
  SCREEN scr
  LINE (30, 80)-(500, 300), , B
  LOCATE 12, 10: PRINT "status off contain      charge   press  C"
  LOCATE 13, 32: INPUT "discharge press  ENTER ", st$
  IF st$ = "c" THEN sts = 1
  IF st$ <> "c" THEN sts = 0
  LOCATE 14, 10: INPUT "number of sampling   ENTER for sampling 1500 ", sam
  IF sam < 1 THEN sam = 1500
  LOCATE 15, 10: INPUT "ON alarm press 1     ENTER      to OFF alarm ", sta
  IF sta < 1 THEN sta = 0
  LOCATE 17, 25: INPUT "ENTER   for  sampling"; p
  CLS
  '***** plot background of graph *****'
plotbg:
  SCREEN scr
  '***** axis *****'
  LINE (mixg, miyg - 10)-(mixg, mayg)
  LINE (mixg, mayg)-(maxg + 10, mayg)
REM   LOCATE 23, 42: PRINT "reative countrate"
REM   LOCATE 4, 1: PRINT "time(sec)*100"
  LOCATE 4, 1: PRINT "reative countrate(%)"
  LOCATE 23, 44: PRINT "time(sec)*100"
  '***** x scale *****'
REM   scx = (maxg - mixg) / 10: chx = 100 / 10
   scx = (maxg - mixg) / 10: chx = 1500 / 10
  FOR x1 = 0 TO 10
  LINE ((x1 * scx) + mixg, mayg)-((x1 * scx) + mixg, mayg + 5)
  NEXT x1
  FOR x1 = 0 TO 5
    LOCATE 23, x1 * 7 + 5: PRINT x1 * chx / 50
    REM PRINT x1 * chx * 2
  NEXT x1
```

```
'***** y scale *****'
REM   scy = (mayg - miyg) / 10: chy = 1500 / 10
    scy = (mayg - miyg) / 10: chy = 100 / 10
  FOR y1 = 0 TO 10
     LINE (mixg - 5, mayg - (y1 * scy))-(mixg, mayg - (y1 * scy))
  NEXT y1
  FOR y1 = 0 TO 5
    LOCATE 22 - (y1 * 3), 1: PRINT y1 * chy * 2
    REM PRINT y1 * chy / 50
  NEXT y1
  '***** tank ******'
  otx = (.83 * maxax): oty = (.85 * maxay)
  otx2 = (.6 * maxax): oty2 = (.35 * maxay)
  LINE (otx, oty)-(otx, oty2)
  LINE (otx2, oty)-(otx2, oty2)
  LINE (otx, oty)-(otx2, oty)
  LINE (maxax * .84, maxay * .6)-(maxax * .9, maxay * .65), , B
  LOCATE 15, 70: PRINT "Detector"
  '*****data menu *****'
  LOCATE 1, 48: PRINT "elaped time           sec"
  LOCATE 2, 48: PRINT "relative countrate"
  LOCATE 3, 48: PRINT "NO. of sampling"
  LOCATE 4, 48: PRINT "total sampling"
  LOCATE 5, 48: PRINT "surface"
  LOCATE 6, 48: PRINT "alarm"
  LOCATE 7, 48: PRINT "press  ** Z **  to stop"
RETURN
'***** end of subprogram *****'


'***** end off program *****'
exi:
  SCREEN 0
  CLS
  LOCATE 10, 25: PRINT "End of program"
```

ภาคผนวก ข

คุณสมบัติธาตุ

ข.1 ตารางคุณสมบัติของธาตุ

ข.2 ตารางสัมประสิทธิ์การถดถอยเชิงเส้นของธาตุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.1 ตารางคุณสมบัติของธาตุ

Element or molecule	Symbol	Atomic number	Atomic or molecular weight*	Nominal density, g/cm³	Atoms or molecules per cm³† (× 10²⁴)	σ_a,‡ barns	σ_s,‡ barns	Σ_a,† cm⁻¹	Σ_s,† cm⁻¹
Actinium	Ac	89	227			515			
Aluminum	Al	13	26.9815	2.699	0.06024	0.230	1.49	0.01386	0.08976
Antimony	Sb	51	121.75	6.62	0.03275	5.4	4.2	0.1769	0.1376
Argon	Ar	18	39.948	Gas		0.678	0.644		
Arsenic	As	33	74.9216	5.73	0.04606	4.3	7	0.1981	0.3224
Barium	Ba	56	137.34	3.5	0.01535	1.2		0.01842	
Beryllium	Be	4	9.0122	1.85	0.1236	0.0092	6.14	0.001137	0.7589
Bismuth	Bi	83	208.980	9.80	0.02824	0.033		0.0009319	
Boron	B	5	10.811	2.3	0.1281	759	3.6	97.23	0.4612
Bromine	Br	35	79.909	3.12	0.02351	6.8	6.1	0.1599	0.1434
Cadmium	Cd	48	112.40	8.65	0.04635	2450	5.6	113.56	0.2596
Calcium	Ca	20	40.08	1.55	0.02329	0.43		0.01001	
Carbon (graphite)§	C	6	12.01115	1.60	0.08023	0.0034	4.75	0.0002728	0.3811
Cerium	Ce	58	140.12	6.78	0.02914	0.63	4.7	0.01836	0.1370
Cesium	Cs	55	132.905	1.9	0.008610	29.0		0.2497	
Chlorine	Cl	17	35.453	Gas		33.2			
Chromium	Cr	24	51.996	7.19	0.08328	3.1	3.8	0.2582	0.3165
Cobalt	Co	27	58.9332	8.8	0.08993	37.2	6.7	3.345	0.6025
Copper	Cu	29	63.54	8.96	0.08493	3.79	7.9	0.3219	0.6709
Deuterium	D	1	2.01410	Gas		0.00053			
Dysprosium	Dy	66	162.50	8.56	0.03172	930	100	29.50	3.172
Erbium	Er	68	167.26	9.16	0.03203	162	11.0	5.189	0.3523
Europium	Eu	63	151.96	5.22	0.02069	4600	8.0	95.17	0.1655
Fluorine	F	9	18.9984	Gas		0.0095	4.0		
Gadolinium	Gd	64	157.25	7.95	0.03045	49000		1492	
Gallium	Ga	31	69.72	5.91	0.05105	2.9	6.5	0.1480	0.3318
Germanium	Ge	32	72.59	5.36	0.04447	2.3	7.5	0.1023	0.3335
Gold	Au	79	196.967	19.32	0.05907	98.8		5.836	
Hafnium	Hf	72	178.49	13.36	0.04508	102	8	4.598	0.3606
Heavy water¶	D_2O		20.0276	1.105	0.03323	0.00133	13.6	4.420×10^{-5}	0.4519
Helium	He	2	4.0026	Gas		<0.05			
Holmium	Ho	67	164.930	8.76	0.03199	66.5	9.4	2.127	0.3007
Hydrogen	H	1	1.00797	Gas		0.332			
Indium	In	49	114.82	7.31	0.03834	193.6		7.419	
Iodine	I	53	126.9044	4.93	0.02340	6.2		0.1451	
Iridium	Ir	77	192.2	22.5	0.07050	426	14	30.03	0.9870
Iron	Fe	26	55.847	7.87	0.08487	2.55	10.9	0.2164	0.9251
Krypton	Kr	36	83.80	Gas		25.0	7.50		
Lanthanum	La	57	138.91	6.19	0.02684	9.0	9.3	0.2416	0.2496
Lead	Pb	82	207.19	11.34	0.03296	0.170	11.4	0.005603	0.3757
Lithium	Li	3	6.942	0.53	0.04600	70.7		3.252	
Lutetium	Lu	71	174.97	9.74	0.03353	77	8	2.581	0.2682
Magnesium	Mg	12	24.312	1.74	0.04310	0.063	3.42	0.002715	0.1474
Manganese	Mn	25	54.9380	7.43	0.08145	13.3	2.1	1.083	0.1710
Mercury	Hg	80	200.59	13.55	0.04068	375		15.26	
Molybdenum	Mo	42	95.94	10.2	0.06403	2.65	5.8	0.1697	0.3714
Neodymium	Nd	60	144.24	6.98	0.02914	50.5	16	1.472	0.4662
Neon	Ne	10	20.183	Gas		0.038	2.42		
Nickel	Ni	28	58.71	8.90	0.09130	4.43	17.3	0.4045	1.579
Niobium	Nb	41	92.906	8.57	0.05555	1.15		0.06388	
Nitrogen	N	7	14.0067	Gas		1.85	10.6		
Osmium	Os	76	190.2	22.5	0.07124	15.3		1.090	
Oxygen	O	8	15.9994	Gas		0.00027	3.76		
Palladium	Pd	46	106.4	12.0	0.06792	6.9	5.0	0.4686	0.3396
Phosphorus (yellow)	P	15	30.9738	1.82	0.03539	0.180		0.006370	
Platinum	Pt	78	195.09	21.45	0.06622	10.0	11.2	0.6622	0.7167
Plutonium	Pu	94	239.0522	19.6	0.04938	σ_a = 1011.3, σ_f = 742.5	7.7	49.93, 36.66	0.3802
Polonium	Po	84	210	9.51	0.02727				
Potassium	K	19	39.102	0.86	0.01325	2.10	1.5	0.02783	0.01988
Praseodymium	Pr	59	140.907	6.78	0.02898	11.5	3.3	0.3333	0.09563
Promethium	Pm	61							
Protactinium	Pa	91	231.0359			210			
Radium	Ra	88	226.0254	5.0	0.01332	11.5		0.1532	
Rhenium	Re	75	186.2	20	0.06596	88	11.3	5.804	0.7453
Rhodium	Rh	45	102.905	12.41	0.07263	150		10.89	
Rubidium	Rb	37	85.47	1.53	0.01078	0.37	6.2	0.003989	0.06684
Ruthenium	Ru	44	101.07	12.2	0.07270	2.56		0.1861	
Samarium	Sm	62	150.35	6.93	0.02776	5800		161.0	
Scandium	Sc	21	44.956	2.5	0.03349	26.5	24	0.8876	0.8038
Selenium	Se	34	78.96	4.81	0.03669	11.7	9.7	0.4293	0.3559
Silicon	Si	14	28.086	2.33	0.04996	0.16	2.2	0.007994	0.1099
Silver	Ag	47	107.870	10.49	0.05857	63.6		3.725	
Sodium	Na	11	22.9898	0.97	0.02541	0.530	3.2	0.01347	0.08131
Strontium	Sr	38	87.62	2.6	0.01787	1.21	10	0.02162	0.1787
Sulfur	S	16	32.064	2.07	0.03888	0.520	0.975	0.02022	0.03791

ข.1 ตารางคุณสมบัติของธาตุ (ต่อ)

Element or molecule	Symbol	Atomic number	Atomic or molecular weight*	Nominal density, g/cm^3	Atoms or molecules per cm^3† (× 10^{24})	σ_a,‡ barns	σ_s,‡ barns	Σ_a† cm^{-1}	Σ_s† cm^{-1}
Tantalum	Ta	73	180.948	16.6	0.05525	21.0	5.2	1.150	0.3426
Technetium	Tc	43	99			19			
Tellurium	Te	52	127.60	6.24	0.02945	4.7		0.1384	
Terbium	Tb	65	158.925	8.33	0.03157	25.5	20	0.8050	0.6314
Thallium	Tl	81	204.37	11.85	0.03492	3.4	9.7	0.1187	0.3387
Thorium	Th	90	232.038	11.71	0.03039	7.40	12.67	0.2249	0.3850
Thulium	Tm	69	168.934	9.35	0.03314	103	12	3.413	0.3977
Tin	Sn	50	118.69	7.298	0.03703	0.63		0.02333	
Titanium	Ti	22	47.90	4.51	0.05670	6.1	4.0	0.3459	0.2268
Tungsten	W	74	183.85	19.2	0.06289	18.5		1.163	
Uranium	U	92	238.03	19.1	0.04833	σ_a = 7.59	8.90	0.3668	0.4301
						σ_f = 4.19		0.2025	
Vanadium	V	23	50.942	6.1	0.07212	5.04	4.93	0.3635	0.3556
Water	H_2O		18.0153	1.0	0.03343	0.664	103	0.02220	3.443
Xenon	Xe	54	131.30	Gas		24.5	4.30		
Ytterbium	Yb	70	173.04	7.01	0.02440	36.6	25.0	0.8930	0.6100
Yttrium	Y	39	88.906	5.51	0.03733	1.28	7.60	0.04778	0.2837
Zinc	Zn	30	65.37	7.133	0.06572	1.10	4.2	0.07230	0.2760
Zirconium	Zr	40	91.22	6.5	0.04291	0.185	6.40	0.007938	0.2746

*Based on ^{12}C = 12.00000.

†Four-digit accuracy for computational purposes only; last digit(s) usually is not meaningful.

‡Cross sections at 0.0253 eV or 2200 m/sec. The scattering cross sections, except for those of H_2O and D_2O, are measured values in a thermal neutron spectrum and are assumed to be 0.0253 eV values because σ_s is usually constant at thermal energies. The errors in σ_s tend to be large, and the tabulated values of σ_s should be used with caution. (From BNL-325, 3rd ed., 1973).

§The value of σ_a given in the table is for pure graphite. Commercial, reactor-grade graphite contains varying amounts of contaminants and σ_a is somewhat larger, say, about 0.0048 barns, so that $\Sigma_a \approx 0.0003851$ cm^{-1}.

¶The value of σ_a given in the table is for pure D_2O. Commercially available heavy water contains small amounts of ordinary water and σ_a in this case is somewhat larger.

ข.2 ตารางค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของธาตุต่างๆ

The mass attenuation coefficient (μ/ρ) for several materials, in cm^2/g*†

Material	Gamma-ray energy, MeV																	
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2	3	4	5	6	8	10
H	.295	.265	.243	.212	.189	.173	.160	.140	.126	.113	.103	.0876	.0691	.0579	.0502	.0446	.0371	.0321
Be	.132	.119	.109	.0945	.0847	.0773	.0715	.0628	.0565	.0504	.0459	.0394	.0313	.0266	.0234	.0211	.0180	.0161
C	.149	.134	.122	.106	.0953	.0870	.0805	.0707	.0636	.0568	.0518	.0444	.0356	.0304	.0270	.0245	.0213	.0194
N	.150	.134	.123	.106	.0955	.0869	.0805	.0707	.0636	.0568	.0517	.0445	.0357	.0306	.0273	.0249	.0218	.0200
O	.151	.134	.123	.107	.0953	.0870	.0806	.0705	.0636	.0565	.0518	.0445	.0359	.0309	.0276	.0254	.0224	.0206
Na	.151	.130	.118	.102	.0912	.0833	.0770	.0676	.0608	.0546	.0496	.0427	.0348	.0303	.0274	.0254	.0229	.0215
Mg	.160	.135	.122	.106	.0944	.0860	.0795	.0699	.0627	.0560	.0512	.0442	.0360	.0315	.0286	.0268	.0242	.0228
Al	.161	.134	.120	.103	.0922	.0840	.0777	.0683	.0614	.0548	.0500	.0432	.0353	.0310	.0282	.0264	.0241	.0229
Si	.172	.139	.125	.107	.0954	.0869	.0802	.0706	.0635	.0567	.0517	.0447	.0367	.0323	.0296	.0277	.0254	.0243
P	.174	.137	.122	.104	.0928	.0846	.0780	.0685	.0617	.0551	.0502	.0438	.0358	.0316	.0290	.0273	.0252	.0242
S	.188	.144	.127	.108	.0958	.0874	.0806	.0707	.0635	.0568	.0519	.0448	.0371	.0328	.0302	.0284	.0266	.0255
Ar	.188	.135	.117	.0977	.0867	.0790	.0730	.0638	.0573	.0512	.0468	.0407	.0338	.0301	.0279	.0266	.0248	.0241
K	.215	.149	.127	.106	.0938	.0852	.0786	.0689	.0618	.0552	.0505	.0438	.0365	.0327	.0305	.0289	.0274	.0267
Ca	.238	.156	.132	.109	.0965	.0876	.0809	.0708	.0634	.0565	.0518	.0451	.0378	.0338	.0316	.0302	.0285	.0280
Fe	.344	.183	.138	.106	.0919	.0828	.0762	.0664	.0595	.0531	.0485	.0424	.0361	.0330	.0313	.0304	.0295	.0294
Cu	.427	.206	.147	.108	.0916	.0820	.0761	.0654	.0585	.0521	.0476	.0418	.0357	.0330	.0316	.0309	.0303	.0305
Mo	1.03	.389	.225	.130	.0998	.0851	.0761	.0648	.0575	.0510	.0467	.0414	.0365	.0349	.0344	.0344	.0349	.0359
Sn	1.58	.563	.303	.153	.109	.0886	.0776	.0647	.0568	.0501	.0459	.0408	.0367	.0355	.0355	.0358	.0368	.0383
I	1.83	.648	.339	.165	.114	.0913	.0792	.0653	.0571	.0502	.0460	.0409	.0370	.0360	.0361	.0365	.0377	.0394
W	4.21	1.44	.708	.293	.174	.125	.101	.0763	.0640	.0544	.0492	.0437	.0405	.0402	.0409	.0418	.0438	.0465
Pt	4.75	1.64	.795	.324	.191	.135	.107	.0800	.0659	.0554	.0501	.0445	.0414	.0411	.0418	.0427	.0448	.0477
Tl	5.16	1.80	.866	.346	.204	.143	.112	.0824	.0675	.0563	.0508	.0452	.0420	.0416	.0423	.0433	.0454	.0484
Pb	5.29	1.84	.896	.356	.208	.145	.114	.0836	.0684	.0569	.0512	.0457	.0421	.0420	.0426	.0436	.0459	.0489
U	10.60	2.42	1.17	.452	.259	.176	.136	.0952	.0767	.0615	.0548	.0484	.0445	.0440	.0446	.0455	.0479	.0511
Air	.151	.134	.123	.106	.0953	.0868	.0804	.0706	.0636	.0567	.0517	.0445	.0357	.0307	.0274	.0250	.0220	.0202
NaI	1.57	.568	.305	.155	.111	.0901	.0789	.0657	.0577	.0508	.0465	.0412	.0367	.0351	.0347	.0347	.0354	.0366
H_2O	.167	.149	.136	.118	.106	.0966	.0896	.0786	.0706	.0630	.0575	.0493	.0396	.0339	.0301	.0275	.0240	.0219
Concrete	.169	.139	.124	.107	.0954	.0870	.0804	.0706	.0635	.0567	.0517	.0445	.0363	.0317	.0287	.0268	.0243	.0220
Tissue	.163	.144	.132	.116	.100	.0936	.0867	.0761	.0683	.0600	.0556	.0478	.0384	.0329	.0292	.0267	.0233	.0212

*From L. T. Templin, editor, *Reactor Physics Constants*, ANL-5800, 2nd ed., 1963; based on G. W. Grodstein National Bureau of Standards circular 583, 1957.

†Nominal densities of the elements are given in Table II.3. For air at 1 atm and 0°C, ρ = 1.293 × 10^{-3} g/cm^3; ρ (NaI) = 3.67 g/cm^3, ρ (tissue) = (H_2O) = 1 g/cm^3; ρ (concrete) = 2.25–2.40 g/cm^3.

ภาคผนวก ค

วิธีคำนวณหาความหนาอิ่มตัวของรังสีแกมมากระเจิงกลับ

จากสมการ

$$E' = \frac{EE_e}{E(1 - \cos\vartheta) + E_e}$$

E' คือ พลังงานของรังสีแกมมาภายหลังการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

E คือ พลังงานก่อนการชน

E_e คือ m_ec^2 มีค่า 511 keV

ϑ คือ มุมภายหลังการชน

รังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 พลังงาน 662 keV
สำหรับรังสีแกมกระเจิงกลับทำมุม 180 องศาภายหลังการชน
แทนค่า

$$E' = \frac{662 \times 0.511}{662 \times (1 - \cos 180) + 511}$$

$$= 184 \quad \text{keV}$$

พลังงานจะเปลี่ยนไปเป็น 184 keV
สามารถหาความหนาอิ่มตัวในการกระเจิงกลับของวัสดุได้ดังสมการ

$$\text{ความหนาอิ่มตัว} = \frac{3}{(\mu + \mu')}$$

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีส่งผ่านของเหล็ก 0.0721 cm^2/g

μ' คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีกระเจิงกลับของเหล็ก 0.138 cm^2/g

แทนค่า

$$\text{ความหนาอิ่มตัว} = \frac{3}{(0.0721+0.138)}$$

$$= 17 \quad \text{มิลลิเมตร}$$

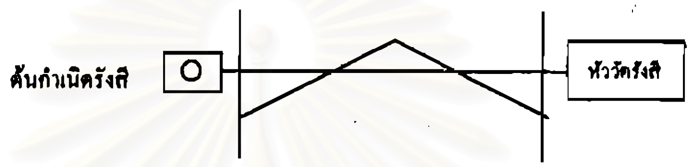
ความหนาอิ่มตัวของในการกระเจิงกลับที่เกิดอันตรกิริยาต่อของเหล็ก มีค่า 17 มิลลิเมตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

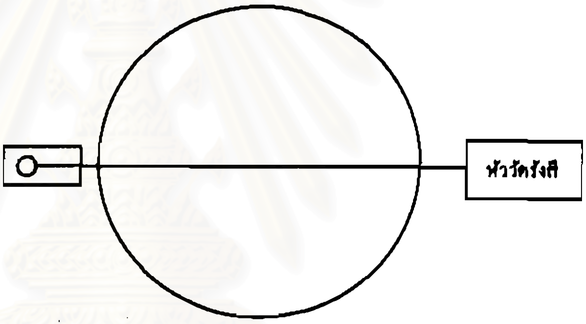
ภาคผนวก ง

วิธีการคำนวณความเข้มรังสีส่งผ่านผิวหน้าของวัสดุผง

กาพแสดงลักษณะผิวหน้าขณะเติมวัสดุ ภายใต้สมมติฐานให้ผิวหน้าเป็นรูปกรวยโดยสมบูรณ์



กาพแสดงการติดตั้งหัววัดรังสี



สมการสำหรับการหาความหนาของวัสดุ

เมื่อ H คือความสูงกรวย ที่ขนาดถัง D

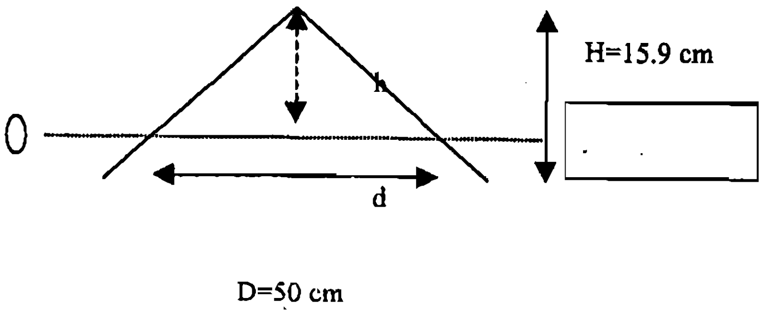
D เส้นผ่าศูนย์กลางถัง มีค่า 50 เซนติเมตร

เมื่อ h คือความสูงยอดกรวยถึงระดับหัววัด

d เส้นผ่าศูนย์กลางฐานกรวย เมื่อยอดกรวยสูง h

x ความหนาทรายที่แนวรังสีผ่าน มีค่าเท่ากับ d

จาก $\frac{h}{d} = \frac{H}{D}$



แทนค่า d ใน x

$$x = \frac{Dh}{H}$$

ตั้งสมมติฐานให้ หัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีเป็นจุด ลำรังสีเป็นลำขนาน ไม่มีการกระเจิง

จากสมการ

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

X คือ ความหนาของวัสดุ

I_x คือ ความเข้มรังสี เมื่อมีวัสดุที่วัดมีความหนาx

I_0 คือ ความเข้มรังสีเมื่อไม่มีวัสดุในถัง

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสี

ρ คือ ความหนาแน่นทราย 1.45 g/cm^3

แทนค่า

ที่ระดับยอดกรวยสูง h = 10 เซนติเมตร

x = 50 x 10 / 15.9

x = 31.45

μ/ρ ทรายที่ 662 keV ค่า 0.07635 cm^2/cm^3

$$I_x = I_o e^{-(0.07635 \times 31.45)}$$

$$I_x = 0.0308 I_o$$

กรณีถ่ายทรายออก

ที่ระดับยอดกรวยลึก h = 10 เซนติเมตร

x = 50 x 10 / 15.6

x = 32.05

x' = 50 - x

x' = 17.95

$$I_x = I_o e^{-(0.07635 \times 17.95)}$$

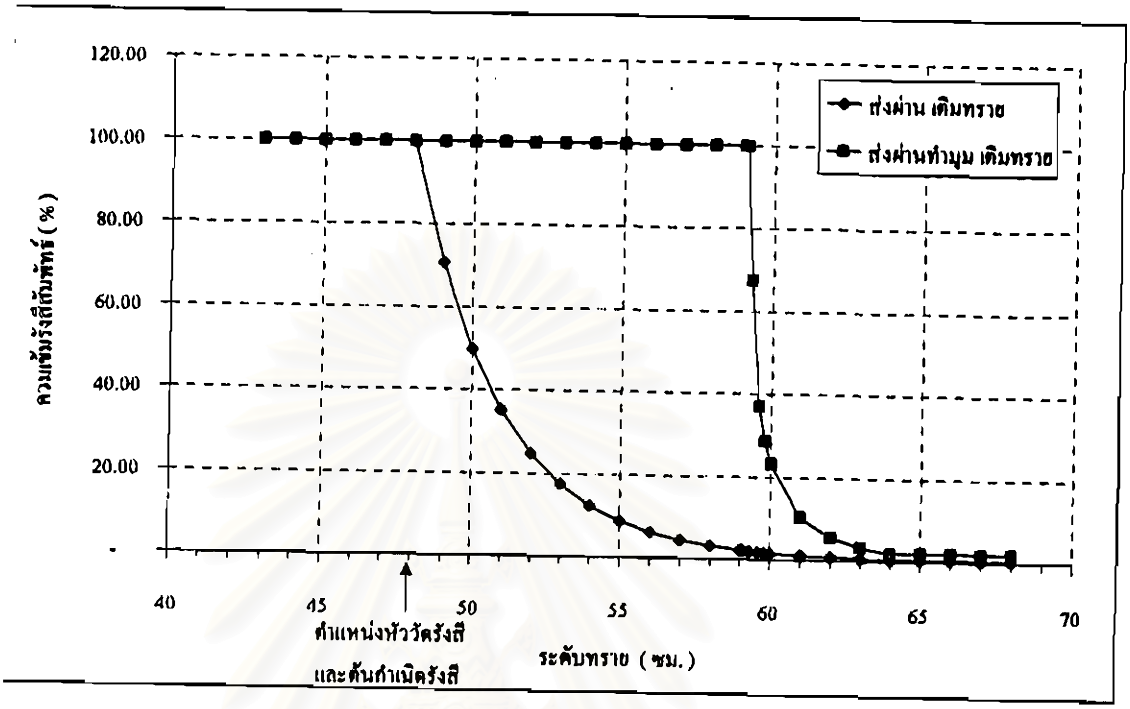
$$I_x = 0.1371 I_o$$

ตาราง ง.1 ค่าความเข้มรังสีส่งผ่านขณะเติมทรายเข้าภาชนะ

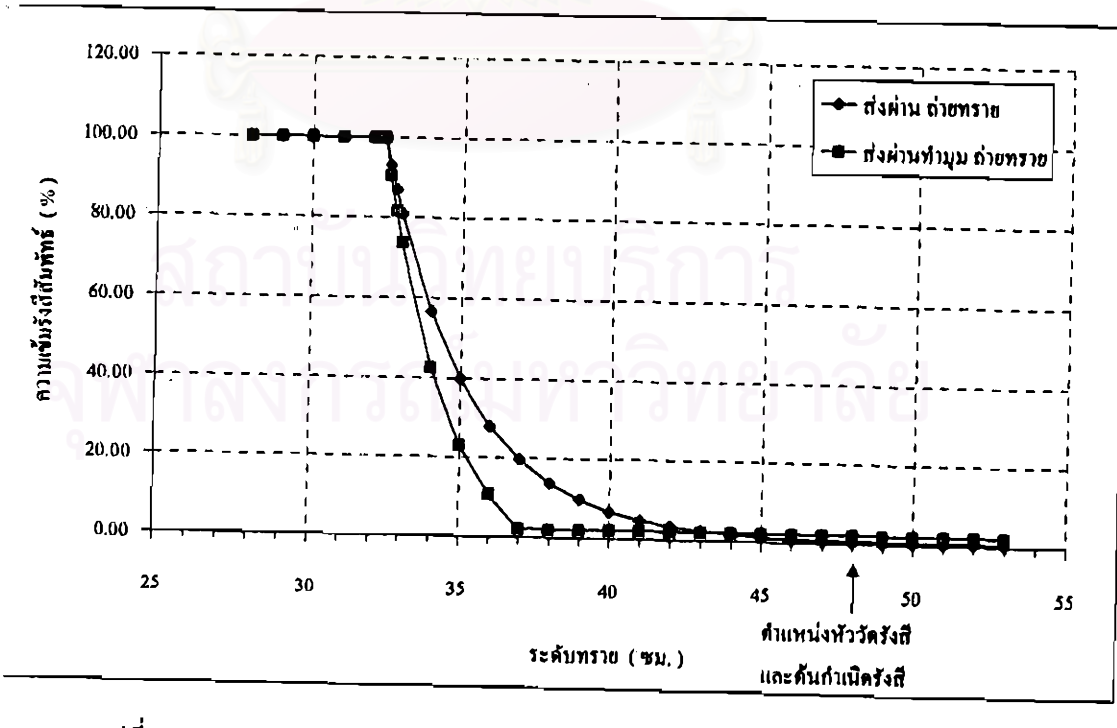
ระดับทรายกลางภาชนะ(ซม.)	ความหนาทราย (ซม.)	ความเข้มรังสีส่งผ่าน (%)	ความเข้มรังสีส่งผ่านทำมุม(%)
48	0.00	100.00	100.00
49	3.14	70.60	100.00
50	6.29	49.84	100.00
51	9.43	35.19	100.00
52	12.58	24.84	100.00
53	15.72	17.54	100.00
54	18.87	12.38	100.00
55	22.01	8.74	100.00
56	25.16	6.17	100.00
57	28.30	4.36	100.00
58	31.45	3.08	100.00
59	34.59	2.17	100.00
60	37.74	1.53	23.21
61	40.88	1.08	10.31
62	44.03	0.76	5.48
63	47.17	0.54	3.15
64	50.00	0.39	2.00
65	50.00	0.39	2.00
66	50.00	0.39	2.00
67	50.00	0.39	2.00
68	50.00	0.39	2.00

ตาราง ง.2 ค่าความเข้มรังสีส่งผ่านขณะถ่ายทรายออกจากภาชนะ

ระดับทรายกลางภาชนะ(ซม.)	ความหนาทราย (ซม.)	ความเข้มรังสีส่งผ่าน (%)	ความเข้มรังสีส่งผ่านทำมุม(%)
28	0	100.00	100.00
29	0	100.00	100.00
30	0	100.00	100.00
31	0	100.00	100.00
32	0	100.00	100.00
33	1.92	80.82	73.54
34	5.13	56.68	42.91
35	8.33	39.75	22.91
36	11.54	27.87	10.67
37	17.74	19.55	2.00
38	17.95	13.71	2.00
39	21.15	9.61	2.00
40	24.36	6.74	2.00
41	27.56	4.73	2.00
42	30.77	3.31	2.00
43	33.97	2.32	2.00
44	37.18	1.63	2.00
45	40.38	1.14	2.00
46	43.59	0.80	2.00
47	46.79	0.56	2.00
48	50.00	0.39	2.00



รูปที่ ง.1 กราฟผลการคำนวณความเข้มรังสีสัมพัทธ์ขณะเติมทรายเข้าภาชนะ



รูปที่ ง.2 กราฟผลการคำนวณความเข้มรังสีสัมพัทธ์ขณะถ่ายทรายออกจากภาชนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นาย จิรศักดิ์ จงจิตวิมล เกิดเมื่อวันที่ 6 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาบัณฑิต วิชาเอกวิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปีการศึกษา 2536 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในบริษัทคอลเกต-ปาล์มโอลีฟ (ประเทศไทย)จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรฝ่ายผลิตโรงงานสบู่ และเข้าศึกษาต่อที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2538

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย