

γ 선CT장치의 원천특성량결정에 대하여

량석진, 채철

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《과학연구사업을 더욱 강화하여 세포공학과 유전자공학, 초고압물리학, 극저온물리학을 발전시키며 레이자와 플라즈마기술, 원자에너지와 태양에너지를 개발하여 인민경제에 받아들이는데서 나서는 과학기술적문제를 적극 풀어나가야 하겠습니다.》(《김정일선집》 제11권 증보판 139페이지)

원천의 방사능은 촬영화상의 대조도특성을 개선해주며 따라서 밀도분해능과 촬영시간에 영향을 준다.[2]

γ 선에너르기가 작으면 촬영화상에 해살잡음[1]과 같은 잡음이 생기며 따라서 공간분해능에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서 적합한 촬영조건을 보장하기 위해서는 시편의 종류와 크기에 해당하는 원천(원소 및 방사능)을 선정해야 한다.

우리는 금속시편에서 γ 선CT용원천(^{137}Cs , ^{60}Co)의 깊이선량을 계산하고 촬영시편에 따르는 원천선택방법과 CT장치가 설치된 실내에서의 선량평가방법을 고찰하였다.

1. 여러가지 매질에서 ^{137}Cs , ^{60}Co 원천에서 나오는 γ 선들의 깊이선량

γ 선CT장치는 ^{137}Cs ($E_\gamma = 661.5\text{keV}$)과 ^{60}Co ($E_{\gamma_1} = 1.17\text{MeV}$, $E_{\gamma_2} = 1.332\text{MeV}$)원천을 리용하여 직경이 20~200mm 이고 높이가 50mm인 금속시편을 촬영한다.

원천은 등방성원천으로서 원기둥형원천용기속에 차폐되어있다. 장치는 촬영전기간 실내에 설치되어있으며 촬영시간은 10~400min이다.

촬영에 영향을 주는 요소로서는 γ 선의 에너르기와 방사능을 들수 있다.

실례로 NaI(Tl)섬광체를 검출기로 하는 경우 직경이 20mm인 Al시편에 대하여 ^{137}Cs ($Q = 5\text{mCi}$)의 경우 촬영시간은 10min정도 걸린다.

우리는 ^{137}Cs , ^{60}Co 원천에 대하여 각이한 물질들에서의 깊이선량을 립자수송계산프로그램 MCNP5로 계산하였다.(표 1, 2)

이때 원천은 등방성으로서 γ 선은 반경이 50mm인 공기구를 지나서(시준구멍통과) 매질속으로 들어가는것으로 선정하였다.

시편의 크기가 주어진 경우 표 1, 2에 주어진 값에 방사능을 곱하여 필요한 원천원소 (^{137}Cs 혹은 ^{60}Co)와 방사능을 결정할수 있다. 혹은 원천원소가 주어진 경우 촬영가능한 시편의 크기와 방사능을 결정할수 있다.

γ 선CT장치의 원천특성량결정에 대하여

표 1. $^{137}\text{Cs}(E_\gamma = 661.5\text{keV})$ 에서 나오는 γ 선의 침투깊이에 따르는 F5값들

매 질	깊이/cm									
	1	3	5	8	10	12	14	16	18	20
Ag	8.006 33 $\times 10^{-2}$	9.355 70 $\times 10^{-3}$	3.818 82 $\times 10^{-3}$	3.782 79 $\times 10^{-4}$	7.455 82 $\times 10^{-5}$	1.583 86 $\times 10^{-5}$	2.231 11 $\times 10^{-6}$	7.363 65 $\times 10^{-7}$	1.016 70 $\times 10^{-7}$	1.815 58 $\times 10^{-7}$
콩크리트	8.108 35 $\times 10^{-2}$	1.038 69 $\times 10^{-2}$	4.928 06 $\times 10^{-3}$	2.239 19 $\times 10^{-3}$	1.325 19 $\times 10^{-3}$	8.728 96 $\times 10^{-4}$	6.014 57 $\times 10^{-4}$	4.149 59 $\times 10^{-4}$	2.463 17 $\times 10^{-4}$	1.663 08 $\times 10^{-4}$
Cr	8.106 48 $\times 10^{-2}$	1.038 29 $\times 10^{-2}$	4.952 14 $\times 10^{-3}$	1.154 66 $\times 10^{-3}$	4.100 00 $\times 10^{-4}$	1.417 77 $\times 10^{-4}$	5.390 13 $\times 10^{-5}$	2.338 31 $\times 10^{-5}$	6.670 24 $\times 10^{-6}$	2.005 19 $\times 10^{-6}$
Cu	8.080 30 $\times 10^{-2}$	1.011 47 $\times 10^{-2}$	4.679 40 $\times 10^{-3}$	7.681 64 $\times 10^{-4}$	2.174 17 $\times 10^{-4}$	6.259 46 $\times 10^{-5}$	7.623 01 $\times 10^{-5}$	4.189 22 $\times 10^{-6}$	9.978 33 $\times 10^{-7}$	2.099 58 $\times 10^{-7}$
Gd	7.981 12 $\times 10^{-2}$	9.090 34 $\times 10^{-3}$	3.517 09 $\times 10^{-3}$	3.589 76 $\times 10^{-4}$	1.020 13 $\times 10^{-4}$	1.820 12 $\times 10^{-5}$	4.324 25 $\times 10^{-6}$	7.262 15 $\times 10^{-7}$	4.389 72 $\times 10^{-7}$	4.545 20 $\times 10^{-8}$
Mg	8.085 60 $\times 10^{-2}$	1.016 24 $\times 10^{-2}$	4.665 10 $\times 10^{-3}$	2.231 94 $\times 10^{-3}$	1.421 67 $\times 10^{-3}$	9.659 13 $\times 10^{-4}$	6.925 73 $\times 10^{-4}$	5.275 65 $\times 10^{-4}$	3.532 72 $\times 10^{-4}$	2.541 00 $\times 10^{-4}$
Mn	8.099 78 $\times 10^{-2}$	1.031 72 $\times 10^{-2}$	4.842 88 $\times 10^{-3}$	1.100 34 $\times 10^{-3}$	3.550 63 $\times 10^{-4}$	1.314 02 $\times 10^{-4}$	4.793 04 $\times 10^{-5}$	1.429 77 $\times 10^{-5}$	4.569 32 $\times 10^{-6}$	4.085 45 $\times 10^{-6}$
Mo	8.020 51 $\times 10^{-2}$	9.500 85 $\times 10^{-3}$	3.986 87 $\times 10^{-3}$	4.742 37 $\times 10^{-4}$	1.134 53 $\times 10^{-4}$	1.788 98 $\times 10^{-5}$	4.340 78 $\times 10^{-6}$	8.305 18 $\times 10^{-7}$	1.560 52 $\times 10^{-7}$	5.779 73 $\times 10^{-8}$

표 2. $^{60}\text{Co}(E_\gamma = 1.17\text{MeV}, E_\gamma = 1.332\text{MeV})$ 에서 나오는 γ 선의 침투깊이에 따르는 F5값들

매 질	깊이/cm									
	1	5	10	14	18	24	28	32	36	40
Ag	16.002 04 $\times 10^{-2}$	7.565 68 $\times 10^{-3}$	4.980 42 $\times 10^{-4}$	4.980 42 $\times 10^{-5}$	5.104 58 $\times 10^{-6}$	10.966 3 $\times 10^{-7}$	10.963 00 $\times 10^{-8}$	16.650 48 $\times 10^{-10}$	6.432 68 $\times 10^{-11}$	4.190 18 $\times 10^{-12}$
콩크리트	16.122 18 $\times 10^{-2}$	8.931 54 $\times 10^{-3}$	2.644 06 $\times 10^{-3}$	11.536 80 $\times 10^{-4}$	5.792 82 $\times 10^{-4}$	2.680 32 $\times 10^{-4}$	12.058 70 $\times 10^{-5}$	6.953 40 $\times 10^{-5}$	4.001 08 $\times 10^{-5}$	2.419 12 $\times 10^{-5}$
Cr	16.143 64 $\times 10^{-2}$	9.073 98 $\times 10^{-3}$	12.405 58 $\times 10^{-4}$	2.607 70 $\times 10^{-4}$	7.305 68 $\times 10^{-5}$	6.806 68 $\times 10^{-6}$	13.816 68 $\times 10^{-7}$	11.213 04 $\times 10^{-8}$	2.112 76 $\times 10^{-8}$	6.112 94 $\times 10^{-9}$
Cu	16.109 66 $\times 10^{-2}$	8.656 30 $\times 10^{-3}$	8.007 86 $\times 10^{-4}$	12.688 40 $\times 10^{-5}$	16.215 80 $\times 10^{-6}$	6.070 94 $\times 10^{-7}$	8.177 56 $\times 10^{-8}$	7.737 12 $\times 10^{-9}$	6.595 30 $\times 10^{-10}$	6.043 26 $\times 10^{-11}$
Gd	15.958 42 $\times 10^{-2}$	7.061 42 $\times 10^{-3}$	5.417 42 $\times 10^{-4}$	10.278 70 $\times 10^{-5}$	14.737 00 $\times 10^{-6}$	8.293 96 $\times 10^{-7}$	17.435 28 $\times 10^{-8}$	17.041 20 $\times 10^{-9}$	2.988 20 $\times 10^{-9}$	4.012 54 $\times 10^{-10}$
Mg	16.088 82 $\times 10^{-2}$	8.399 00 $\times 10^{-3}$	2.663 62 $\times 10^{-3}$	13.321 78 $\times 10^{-4}$	8.300 40 $\times 10^{-4}$	3.804 84 $\times 10^{-4}$	2.192 38 $\times 10^{-4}$	2.192 38 $\times 10^{-4}$	8.106 24 $\times 10^{-5}$	5.103 22 $\times 10^{-5}$
Mn	16.135 78 $\times 10^{-2}$	8.965 26 $\times 10^{-3}$	11.111 98 $\times 10^{-4}$	2.242 94 $\times 10^{-4}$	6.379 48 $\times 10^{-5}$	5.768 76 $\times 10^{-6}$	10.022 20 $\times 10^{-7}$	8.179 18 $\times 10^{-8}$	18.456 62 $\times 10^{-9}$	3.786 64 $\times 10^{-9}$
Mo	16.024 66 $\times 10^{-2}$	7.844 70 $\times 10^{-3}$	5.023 40 $\times 10^{-4}$	5.691 18 $\times 10^{-5}$	7.726 92 $\times 10^{-6}$	19.629 90 $\times 10^{-8}$	16.123 98 $\times 10^{-9}$	4.621 90 $\times 10^{-9}$	15.805 16 $\times 10^{-11}$	10.198 84 $\times 10^{-12}$

2. ^{137}Cs , ^{60}Co γ 선들의 연속에서의 깊이선량

^{137}Cs , ^{60}Co 원천의 연차폐특성과 실내에 설치된 장치의 선량분포도 함께 계산하였다. 이때 ^{137}Cs 과 ^{60}Co 은 점원천으로서 반경이 100cm인 구형연용기속에 있는것으로서 선정하였다. ^{137}Cs , ^{60}Co 의 경우 텔리 F5로 계산된 자료들은 표 3, 4와 같다.

표 3. ^{137}Cs 의 경우

침투 깊이 /cm	F5	침투 깊이 /cm	F5	침투 깊이 /cm	F5	침투 깊이 /cm	F5
1	$3.760\ 94 \times 10^{-2}$	6	$1.047\ 09 \times 10^{-6}$	11	$7.414\ 96 \times 10^{-9}$	16	$2.745\ 20 \times 10^{-12}$
2	$3.477\ 42 \times 10^{-3}$	7	$9.039\ 42 \times 10^{-7}$	12	$1.265\ 34 \times 10^{-9}$	17	$6.632\ 54 \times 10^{-13}$
3	$4.845\ 11 \times 10^{-4}$	8	$1.859\ 78 \times 10^{-7}$	13	$2.342\ 66 \times 10^{-10}$	18	$1.629\ 62 \times 10^{-13}$
4	$9.217\ 54 \times 10^{-5}$	9	$3.636\ 24 \times 10^{-8}$	14	$5.069\ 02 \times 10^{-11}$	19	$4.057\ 03 \times 10^{-14}$
5	$1.813\ 60 \times 10^{-5}$	10	$1.061\ 67 \times 10^{-8}$	15	$1.160\ 54 \times 10^{-11}$	20	$1.016\ 63 \times 10^{-14}$

표 4. ^{60}Co 의 경우

침투 깊이 /cm	F5	침투 깊이 /cm	F5	침투 깊이 /cm	F5	침투 깊이 /cm	F5
2	$2.131\ 044 \times 10^{-2}$	12	$3.071\ 68 \times 10^{-6}$	22	$9.379\ 80 \times 10^{-10}$	32	$5.781\ 26 \times 10^{-13}$
4	$2.028\ 86 \times 10^{-3}$	14	$4.941\ 28 \times 10^{-7}$	24	$2.076\ 04 \times 10^{-10}$	34	$13.742\ 46 \times 10^{-14}$
6	$3.131\ 26 \times 10^{-4}$	16	$8.510\ 16 \times 10^{-7}$	26	$4.672\ 74 \times 10^{-11}$	36	$3.305\ 60 \times 10^{-14}$
8	$6.367\ 94 \times 10^{-5}$	18	$3.290\ 24 \times 10^{-8}$	28	$10.655\ 26 \times 10^{-12}$	38	$8.039\ 28 \times 10^{-15}$
10	$12.405\ 02 \times 10^{-6}$	20	$5.041\ 24 \times 10^{-9}$	30	$2.465\ 94 \times 10^{-12}$	40	$19.733\ 14 \times 10^{-16}$

3. CT장치가 설치된 실내에서의 선량분포

CT장치는 실내의 중심에, 자리표원점은 원천점에 설치하였다.

원천으로서 ^{137}Cs 을 리용하였는데 등방성점원천이며 원천용기는 반경이 4cm인 대칭축이 z축인 연원기둥체, 시준기직경은 2mm로 선정하였다.

자리표축에 따르는 γ 선선량분포계산결과는 표 5와 같다.

표 5. 자리표축에 따르는 γ 선선량분포계산결과(F5값)

z 축방향	x 혹은 y 축방향			
	20cm	50cm	100cm	150cm
0cm	$3.320\ 63 \times 10^{-6}$	$5.280\ 69 \times 10^{-7}$	$1.302\ 61 \times 10^{-7}$	$5.773\ 11 \times 10^{-8}$
20cm	$2.819\ 37 \times 10^{-7}$	$3.137\ 15 \times 10^{-7}$	$1.143\ 16 \times 10^{-7}$	$5.346\ 69 \times 10^{-8}$
40cm	$3.148\ 36 \times 10^{-8}$	$1.060\ 35 \times 10^{-7}$	$7.671\ 17 \times 10^{-8}$	$4.362\ 99 \times 10^{-8}$
80cm	$1.345\ 58 \times 10^{-8}$	$9.632\ 61 \times 10^{-9}$	$2.707\ 32 \times 10^{-8}$	$2.422\ 27 \times 10^{-8}$
150cm	$6.092\ 11 \times 10^{-9}$	$3.869\ 17 \times 10^{-9}$	$3.227\ 23 \times 10^{-9}$	$5.601\ 13 \times 10^{-9}$

표 5의 계산값은 원천의 방사능을 곱하여 선량률로 표시된다.

맺 는 말

계산된 ^{137}Cs , ^{60}Co γ 선들에 대한 연의 차폐특성은 원천용기설계와 장치의 방사선안정성 평가에 리용될수 있다.

참 고 문 헌

- [1] M. B. Thorsten; Computed Tomography, Springer, 348~476, 2008.
- [2] 杨雪海 等; CT 理论与应用研究, 14, 4, 61, 2009.

주체103(2014)년 5월 5일 원고접수

Decision of the γ -Rays CT Device's Radioactive Sources and the Safe Evaluation

Ryang Sok Jin, Chae Chol

We calculated the depth distribution of γ -rays CT radioactive sources (^{137}Cs , ^{60}Co) and considered the source selecting method according to samples and the dose evaluating method in CT-equipped rooms. The calculated lead's γ -rays blocking data are applicable for the radioactive source container design and the radioactive safe evaluation of the CT device.

Key words: radioactive source, γ -rays CT