

300 keV 中性子에 대한 放射線量 關係量의 算定

李 秀 容

漢陽大學校 理工大學 物理學科

= 要 約 =

ICRU 球를 被射體로 하여 300 keV 中性子の 放射線量 關係量을 評價하였다. 被射體內의 線量當量 分布를 直接 算定하기 위해 中性子-光子-荷電粒子 結合輸送을 다룰 수 있는 몬테칼로 코드 NED-EP 을 사용하였다. 計算結果 얻은 放射線量 關係量은 다음과 같다.

深部線量當量指數 $H_{I,a}$: 1.78×10^{-11} Sv-cm²
周圍線量當量 $H^*(0.07)$: 1.70×10^{-11} Sv-cm²
實效線質係數 $Q^*(10)$: 12.4

表層線量當量指數 $H_{I,s}$: 2.08×10^{-11} Sv-cm²
周圍線量當量 $H^*(10)$: 1.78×10^{-11} Sv-cm²

I. 序 論

어떤 放射線場에 노출된 人體의 危險을 평가하기 위 해서는 物理的으로 測定이 容易한 그 放射線場의 特性 과 그에 의해 人體에 미치는 影響, 즉 “線量”과의 關係가 規定되어야 한다. 이러한 목적으로 放射線防禦의 初期에는 空間上의 한 點에서의 量이 평가되어 왔으나 상당한 크기를 가진 人體가 放射線場에 介在함으로써 線量의 分布에 무시 못할 變化가 야기된다. 따라서 國際放射線單位 및 測定委員會(ICRU)에서는 線量의 測定을 위해 人體組織等價物質로 구성된 直徑 30 cm 의 ICRU 球를 標準被射體로 지정하고 放射線防禦 關係量인 線量과의 연결을 위해 吸收線量指數 D_I 및 線量當量指數 H_I 를 定義하여 왔다^{1,2)}.

그러나 이 指數量도 엄밀한 의미에서는 測定이 容易한 量이 아니므로 ICRU에서는 근래에 새로이 實用量(operational quantity)을 定義하기에 이르렀다^{3,4)}. 그중 여기서 관심있는 量은 周圍線量當量(ambient dose equivalent)이다.

特定 放射線에 대하여 指數量 또는 實用량이 決定되면 이로부터 “感應函數”(response function) 또는 흔히 쓰이는 용어인 “線束密度-線量率 換算因子”를 산출할 수가 있다. 中性子에 대해서는 1955년 Snyder와 Neufeld⁵⁾가 平板型被射體로부터 感應函數를 導出한 이래 여러 研究者가 이를 改善 또는 擴張하여 왔다^{6~10)}.

특히 ICRU 球가 定義된 이래에도 Chen과 Chilton¹¹⁾, Hollnagel과 Sievert¹²⁾, Shiu와 Chilton¹³⁾, Mohart¹⁴⁾, Burger¹⁵⁾, Lee¹⁶⁾등이 中性子の 感應函數를 얻고자 하는 노력을 해왔다.

그런데 Thomas¹⁷⁾가 지적한 바와 같이 中性子에 대한 ICRU 球의 感應을 研究하는 主要 두 그룹(즉, 미국 일리노이대학의 Chilton 그룹과 서독 Neuherberg의 Burger 그룹)의 結果가 매우 잘 일치하고 있으나 300 keV 中性子에 대해서는 심한 差異를 보이고 있다. 즉, Shiu¹³⁾의 結果는 8.5×10^{-11} Sv-cm²인데 비하여 Mohart¹⁴⁾의 값은 2×10^{-10} Sv-cm²로서 計算에 수반되는 統計的 標準偏差의 범위를 훨씬 넘는 差異를 낸다. 따라서 여기서 300 keV 中性子에 대한 獨立된 計算을 수행하여 그 結果를 비교하고 아울러 이 에너지의 中性子の 特性을 살펴보고자 한다.

II. 計算方法 및 結果

우선 앞서 언급한 두 研究者, 즉 Shiu와 Mohart의 計算方法을 비교해 보면 前者는 몬테칼로法을 사용하여 kerma 를 계산하고 이를 電子의 輸送을 고려하여 補正함으로써 線量當量分布를 얻었으며 後者는 2次元 角分割 S_N 코드인 DOT¹⁸⁾를 사용하여 얻은 線束分布와 kerma 因子를 이용하여 線量當量分布를 얻었다.

本 計算에서는 몬테칼로法을 이용하되 직접 線量當量을 算出하기 위해 中性子-光子-陽性子-電子의 結合輸送計算을 수행할 수 있도록 開發된 電算코드 NE-

Table 1. Absorbed dose distribution in the ICRU sphere located in a broad parallel beam of 300 keV neutrons(normalized to the unit fluence) [units: 10^{-13} Gy-cm²]

Mean depth (cm)	Angular sectors(degree)									
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~180
.022	144(5) §	145(6)	156(6)	144(5)	157(6)	160(5)	158(5)	148(6)	127(5)	9(1)
.052	139(8)	144(4)	159(5)	152(5)	152(2)	159(5)	148(6)	140(5)	110(4)	8(1)
.082	147(6)	153(5)	138(5)	149(5)	156(4)	155(5)	158(6)	143(4)	95(4)	7(1)
.112	143(7)	146(5)	152(6)	153(5)	156(5)	153(6)	149(5)	133(4)	89(4)	6(0)
.261	152(2)	155(2)	151(2)	154(2)	149(2)	143(2)	133(2)	112(2)	69(1)	5(0)
.533	157(2)	154(2)	150(2)	147(2)	140(2)	128(1)	110(1)	82(1)	45(1)	4(0)
.992	144(1)	141(1)	137(1)	130(1)	119(1)	103(1)	82(1)	56(1)	30(1)	4(0)
1.654	120(1)	119(1)	116(1)	106(1)	92(1)	75(1)	56(1)	39(1)	21(0)	4(0)
2.315	101(1)	101(1)	92(1)	85(1)	73(1)	60(1)	44(1)	30(1)	17(0)	4(0)
2.977	85(2)	83(1)	74(1)	70(1)	59(1)	47(1)	34(1)	23(1)	14(0)	4(0)
3.638	70(2)	68(1)	64(1)	57(1)	48(1)	38(1)	29(1)	20(0)	13(0)	4(0)
4.683	55(1)	54(1)	50(1)	45(1)	38(0)	32(0)	24(0)	18(0)	12(0)	4(0)
6.565	36(1)	37(1)	34(1)	30(0)	27(0)	22(0)	18(0)	14(0)	11(0)	5(0)
9.120	24(1)	21(1)	21(1)	20(1)	18(0)	15(0)	14(0)	11(0)	10(0)	5(0)
11.825	14(2)	14(1)	12(1)	14(1)	13(1)	9(0)	10(1)	9(1)	8(1)	6(0)

§ Values in parentheses are the standard deviations.

Table 2. Dose equivalent distribution in the ICRU sphere located in a broad parallel beam of 300 keV neutrons(normalized to the unit fluence) [units: 10^{-12} Sv-cm²]

Mean depth (cm)	Angular sectors(degree)									
	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~180
.022	183(7) §	188(7)	202(7)	189(6)	205(8)	208(6)	206(6)	194(8)	167(7)	9(1)
.052	180(10)	185(6)	205(7)	197(6)	198(6)	205(7)	194(7)	184(7)	144(6)	8(1)
.082	188(8)	196(6)	178(6)	194(7)	202(6)	201(7)	206(8)	187(6)	123(6)	8(1)
.112	183(8)	188(7)	195(8)	197(6)	204(7)	199(7)	195(7)	173(5)	114(6)	6(1)
.261	195(3)	197(3)	194(2)	197(2)	192(2)	184(2)	171(2)	144(2)	87(1)	5(0)
.533	197(3)	196(2)	190(2)	186(2)	177(2)	162(2)	139(2)	104(2)	55(1)	3(0)
.992	179(2)	174(1)	169(1)	161(1)	147(1)	126(1)	99(1)	67(1)	34(1)	3(0)
1.654	143(2)	142(1)	137(1)	125(1)	107(1)	87(1)	64(1)	42(1)	21(0)	2(0)
2.315	114(2)	114(1)	102(1)	94(1)	81(1)	64(1)	46(1)	29(1)	15(0)	2(0)
2.977	90(2)	87(1)	77(1)	72(1)	60(1)	45(1)	31(1)	19(1)	10(0)	1(0)
3.638	68(1)	66(1)	61(1)	53(1)	44(1)	33(1)	23(1)	15(0)	9(0)	1(0)
4.683	45(1)	44(1)	39(1)	35(1)	28(1)	22(0)	15(0)	10(0)	6(0)	1(0)
6.565	22(1)	22(1)	19(0)	17(0)	14(0)	11(0)	8(0)	6(0)	4(0)	1(0)
9.120	9(1)	8(0)	8(0)	7(0)	6(0)	5(0)	4(0)	3(0)	2(0)	1(0)
11.825	3(1)	4(1)	3(0)	3(0)	2(0)	2(0)	2(0)	2(0)	2(0)	1(0)

§ Values in parentheses are the standard deviations.

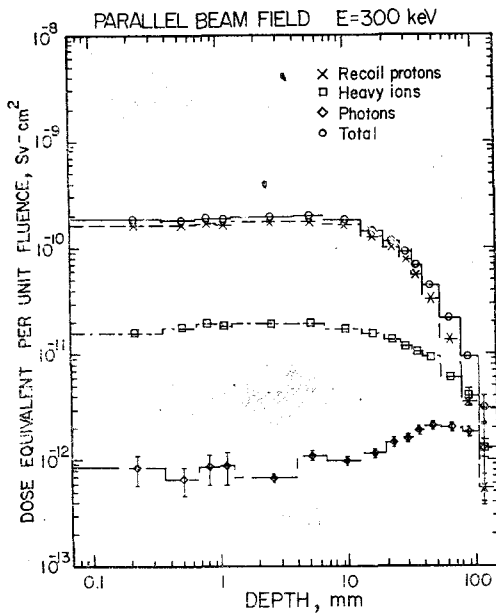


Fig. 1. Distribution of dose equivalent and its components on the principal axis of the ICRU sphere located in a unidirectional field of 300 keV neutrons (normalized to the unit fluence). Standard deviation is shown if the fractional standard deviation exceeds 5 percent.

DEP¹⁹)을 사용하였다. NEDEP 코드와 그 라이브러리의 내용에 대해서는 參考文獻 16에 상세히 記述되어 있다.

ICRU 球 内部에서의 線量分布를 얻기 위해 球를 半徑方向으로 15層, 主軸(principal axis)로부터의 角度를 10區間으로 나누어 總 150個의 體積素로 나누었다. 이때 角度의 分割은 入射面 쪽의 分布를 상세히 알기 위해 9區間을 할당하여 매 10°마다 구분하였으며 반대 쪽 半球 전체를 하나의 區間으로 하였다. 計算에는 60萬개의 粒子들이 100個의 배취(batch)로 等分되어 사용되었다.

計算結果 單一方向 빔의 300 keV 中性子場에 위치한 ICRU 球 内部의 吸收線量 및 線量當線 分布는 각각 Table 1 및 2와 같다. 이 표에서 吸收線量 또는 線量當量의 最大值가 반드시 主軸(0~10° 區間) 부근에서 일어나지 않음을 알 수 있다. 이것은 곧 빗비침효과²⁾(ear effect 또는 pole effect)에 의한 것으로서 2次荷電粒子의 輸送方向에 기인된 것으로 보인다.

새로운 量인 實用量의 觀點에서는 主軸上的 線量當量分布가 重要한 의미를 가지므로 Fig. 1에 主軸上的

Table 3. Index and operational quantities for 300 keV neutrons

Quantities	Values	Locations	
		Angular Sector	Depth (mm)
H _{I,d}	1.78 × 10 ⁻¹⁰ Sv·cm ²	0~10°	10
H _{I,s}	2.08 × 10 ⁻¹⁰ Sv·cm ²	10~60°	~0.2
D _I	1.60 × 10 ⁻¹¹ Gy·cm ²	50~60°	~0.2
H*(0.07)	1.70 × 10 ⁻¹⁰ Sv·cm ²	—	—
H*(3)	1.96 × 10 ⁻¹⁰ Sv·cm ²	—	—
H*(3)	1.96 × 10 ⁻¹⁰ Sv·cm ²	—	—
H*(10)	1.78 × 10 ⁻¹⁰ Sv·cm ²	—	—

線量當量分布(Table 2의 첫째 열)를 圖示하였으며 아울러 中性子の 相互作用別 寄與分을 보였다. 여기서 表層線量의 分布를 보다 詳細히 보이기 위해 對數그림표를 사용하였다. 수 cm의 깊이까지는 總線量當線의 約 90%를 中性子和 水素原子核의 彈性散亂에 의한 返跳陽子가 기여하고 있으며 約 9%는 返跳重核(¹⁶O, ¹⁴N, ¹²C)으로부터 나머지 1%정도가 2次 감마線의 기여임을 알 수 있다. 그러나 깊이가 增加함에 따라 減速效果에 의해 中性子の 速力이 떨어지므로 返跳核의 기여는 줄어들고 반면 熱中性子和 水素原子間의 ¹H(n, γ)²H反應으로부터 생성된 2次 감마선의 기여는 增加하여 球의 中心部에서는 세가지 反應의 기여분이 서로 비슷한 정도에 이른다.

Table 1 및 2의 線量分布로부터 吸收線量指數, 線量當量指數 및 周圍線量當量을 決定하기 위하여 이들 데이터를 3次 스피라인(cubic spline) 補間法에 의한 近似프로그램 ICSSCU²⁰)을 사용하여 매끄러운 曲線으로 만들고 區間別로 微分하여 最大值를 찾았다. 이 결과를 要約한 것이 Table 3이다.

한편 ICRU 球의 半徑方向의 各殼에 대하여 體積加重平均値를 算出하면 이것이 곧 等方性 放射線場에서의 感應과 같다. 이러한 方法으로 얻은 等方性場에서의 深部線量分布는 Table 4와 같으며 이를 圖示한 것이 Fig. 2이다. 이 경우에는 最大線量當量이 最外殼(0.07 mm 두께의 表皮를 除外한)에서 일어나고 깊이가 증가함에 따라 단조감소함을 알 수 있다. 이 線量分布로부터 얻은 指數量을 Table 5에 실었으며 單一方向場에서의 對應하는 값에 대한 比率 즉, 等方因子(isotropy factor)²¹)를 같이 보였다.

Table 2에 주어진 線量當量을 Table 1의 吸收線量으로 나누면 이른바 實效線質係數(effective quality

Table 4. Depth dose in the ICRU sphere located in an isotropic beam field of 300 keV neutrons(normalized to the unit fluence)

Mean depth (cm)	Absorbed dose (10^{-14} Gy·cm ²)	Dose equivalent (10^{-13} Sv·cm ²)
.022	788(10) §	1,017(14)
.052	755(10)	974(13)
.082	743(9)	954(12)
.112	717(9)	922(12)
.261	659(3)	835(4)
.533	571(3)	709(3)
.992	463(2)	552(2)
1.654	356(1)	398(2)
2.315	287(1)	295(1)
2.977	234(1)	216(1)
3.638	200(1)	163(1)
4.683	167(1)	109(1)
6.565	130(1)	58(1)
9.120	102(1)	27(1)
11.825	83(1)	16(1)

§ Values in perentheses are the standard deviations.

Table 5. Index quantities for isotropic field of 300 keV neutrons

Quantity	Values	Isotropy factor k
H _{1,d}	5.55×10^{-11} Sv·cm ²	3.2
H _{1,s}	1.04×10^{-10} Sv·cm ²	2.0
D _t	7.90×10^{-12} Gy·cm ²	2.0

factor) \bar{Q} 를 얻을 수 있다. 被射體 内部에서 깊이에 따른 實效線質係數의 變化를 알아보기 위하여 Fig. 3에 主軸上에서의 \bar{Q} 값, \bar{Q}^* 을 나타내었다. 아울러 陽性子 및 重返跳核의 實效線質係數도 같이 보여 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 \bar{Q}^* 값은 被射體의 内部로 들어감에 따라 減少하는 경향을 보이고 있으나 극히 얇은 깊이에서는 增加하고 있다. 이 現象은 表皮 근처에서는 荷電粒子的 平衡이 이루어지지 않으며 특히 에너지가 큰 荷電粒子가 局地를 벗어남으로써 線質係數의 平均値가 減少되기 때문이다. 線量의 대부분을 기여하는 返跳 陽性子的 경우 그 線質係數가 初期에너지 約 200 keV에서 最大値인 13.4를 가지며 400 keV 이상에서 급격히 減少하는 특성이 있다²²⁾. 그러나 300 keV中性

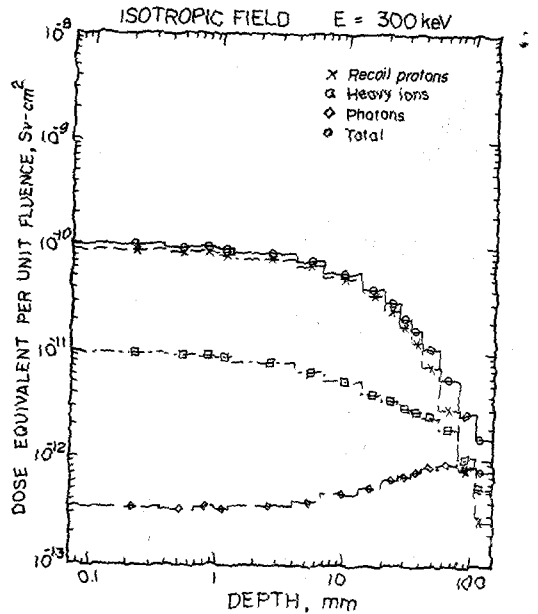


Fig. 2. Distribution of dose equivalent and its components in the ICRU sphere located in a isotropic field of 300 keV neutrons(normalized to the unit fluence).

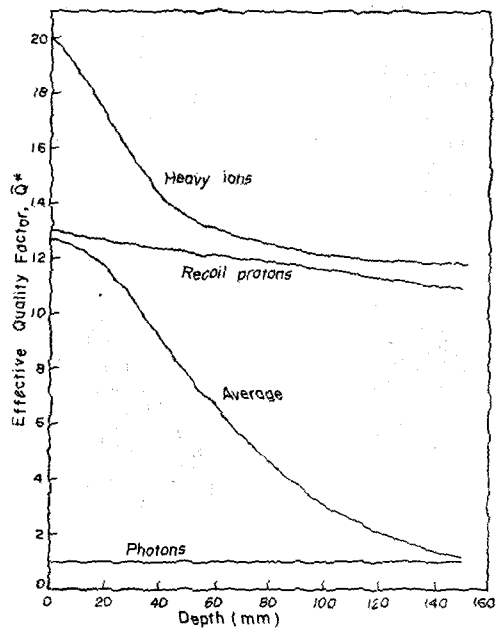


Fig. 3. Penetration depth dependence of the effective quality factors in the ICRU sphere located in a unidirectional field of 300 keV neutrons.

Table 6. Comparison of some dosimetric quantities for 300 keV neutrons [units: 10^{-10} Sv-cm²]

Quantities	Shiue	Morhart [§]	Present
H _{1,d}	0.99	1.7	1.78
H _{1,s}	1.10	2.0	2.08
H*(0.07)	0.84	2.0	1.70
H*(3)	1.02	2.0	1.96
H*(10)	0.99	1.7	1.78

§ approximate values read from ref. 24.

자에 의한 返跳 陽性자의 2/3이상인 200 keV 이하의 에너지를 가지므로 전반적으로 이 에너지 領域에서의 荷電粒子의 線質係數는 에너지와 함께 減少한다고 말할 수 있다.

特記할만한 것은 觀心있는 지점인 主軸上의 10 mm 깊이에서 實效線質係數 값이 12.4로서 國際放射線防禦委員會(ICRP)에서 제시하고 있는 값²³⁾(補間法으로 구하면 約 10.4)보다 상당히 높다는 점이다. 이러한 差異의 理由는 ICRP 값이 Synder⁵⁾의 平板 팬텀 資料를 根據로 하고 있으며 무엇보다도 그 당시 사용한 荷電粒子의 線에너지傳達(LET)값이 지금 값에 비해 상당한 差異가 있었기 때문으로 解析된다. 그러므로 ICRP에서는 ICRU 球를 對象으로 計算한 資料들을 바탕으로 하여 새로운 中性子 線質係數를 決定하여야 할 시기가 된 것으로 본다.

檢討 및 論議

本 研究에서 얻은 線量當量指數量 및 實用量을 Table 6에 Shiue의 結果 및 Morhart의 結果와 함께 比較하였다. 이 표를 보면 本 研究의 結果와 Morhart의 값은 H*(0.07)을 제외하고는 매우 잘 일치하고 있으나 Shiue의 結果는 約 1/2에 불과함을 알 수 있다. 따라서 300 keV 中性子에 대한 Shiue의 計算에는 어떤 錯誤가 있었을 것으로 判斷된다. 보다 낮은 에너지(100 keV 이하)에서의 Shiue의 結果는 다른 研究結果와 잘 일치하고 있는 것으로 보아 그가 사용한 熱中性子 散亂模型이 高에너지에서는 적당하지 않았거나 線質係數 데이터가 300 keV 부근에서 잘못 처리되었을 것으로 보인다.

計算에 隨伴되는 誤差를 고려한다면 本 研究의 結果와 Morhart의 結果는 一致한다고 말할 수 있으나 H*(0.07)의 값은 1.70이 보다 나은 結果로 본다. 왜냐하

면 Morhart는 앞서 언급한 바와같이 角分割 S_N法 코드인 DOT를 사용하여 ICRU 球 內部の 中性子 線束 分布를 算出하고 點檢出器를 가정 한 kerma 因子를 加重하여 線量當量을 評價하였기 때문에 表皮 근처에서의 荷電粒子 脫出效果가 充分히 반영되지 않은 반면, 本 研究에서는 中性子-光子-荷電粒子 結合輸送을 몬테칼로法으로 수행하여 線量當量을 直接 算定하였기 때문이다.

또한 여기서 얻은 300 keV 中性子の 實效線質係數 값은 外部被曝에서 觀心있는 깊이인 10 mm에서 12.4로 나타나 現在 ICRP에서 勸告하고 있는 값보다 約 20%가 높은 것으로 나타났다. 따라서 ICRP는 ICRU에서 標準被射體로 指定한 팬텀을 根據로 算出된 새로운 中性子線質係數를 同委員會의 勸告에 反映하여야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 1) International Commission on Radiation Units and Measurements, *Radiation quantities and units*, ICRU Report 16(1971).
- 2) International Commission on Radiation Units and Measurements, *Radiation quantities and Units*, ICRU Report 33(1980).
- 3) International Commission on Radiation Units and Measurements, *Determination of dose equivalents resulting from external sources*, ICRU Report 39(1985).
- 4) 이재기, "ICRU 보고서 39의 배경과 전망", 대한 방사선 방어학회지, 10(1), 74-85, 1985.
- 5) W.S. Snyder and J. Neufeld, "Calculated depth dose, curves in tissue for broad beams of fast neutrons," *Brit. J. Radiol.*, 28, 342-350(1955).
- 6) C.D. Zerby and W.E. Kinney, "Calculated tissue current-to-dose conversion factors for nucleons below 400 MeV," *Nucl. Inst. and Methods*, 36, 125-140(1965).
- 7) D.C. Irving, R.C. Alsmiller, Jr. and H.S. Moran, "Tissue current-to-dose conversion factors for neutrons with energies from 0.5 to 60 MeV," *Nucl. Inst. and Methods*, 51, 129-135 (1967).
- 8) J.A. Auxier, Jr., T.W. Armstrong and W.A. Coleman, "The absorbed dose and dose equiva-

- lent from neutrons in the energy range 60 to 3,000 MeV and photons in the energy range 400 to 3,000 MeV", *Nucl. Sci. Eng.*, **42**, 367-381(1970).
- 9) J.A. Auxier, W.S. Snyder, and T.D. Jones, "Neutron interaction and penetration in tissue", In: *Radiation dosimetry*, Vol. 1, pp.275-316, Academic Press Inc. (1968).
 - 10) T.D. Jones, W.S. Snyder and J.A. Auxier, "Absorbed dose, dose equivalent and LET distributions in cylindrical phantoms irradiated by a collimated beam of monoenergetic neutrons," **21**, 253-272(1971).
 - 11) S-Y Chen and A.B. Chilton, "Calculation of fast neutron depth-dose in the ICRU standard tissue phantom and the derivation of neutron fluence-to-dose-index conversion factors", *Radiat. Res.*, **78**, 335-370(1979).
 - 12) R. Hollnagel and B. Sievert, "Depth-dose studies for neutrons in spherical phantoms", In: *Proceedings of the fourth symposium on neutron dosimetry*, Munich-Neuherberg, Germany, June 1-5, 1981, EUR-7748 EN, Vol. 1, pp.93-104, Commission of the European Community, Luxembourg (1981).
 - 13) Y-L. Shiue and A.B. Chilton, "Calculation of low energy neutron dose indices and depth doses in the ICRU tissue sphere," *Radiat. Res.*, **93**, 421-443(1983).
 - 14) A. Morhart, G. Hanofner, D. Combecher and G. Burger, "The calculation of index quantities for fast neutrons", *op. cit.* Ref. 12, pp. 81-92.
 - 15) G. Burger, A. Morhart, P.S.: Nagarajan, and A. Wittmann, "Conversion functions for primary and operational quantities in neutron radiation protection", *op. cit.* Ref. 12, pp.33-48.
 - 16) J.K. Lee, "Assessment of quantities for radiation protection in the ICRU standard tissue sphere for intermediate energy neutrons", Ph. D. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign (1985).
 - 17) R.H. Thomas, "Some important issues in developing basic radiation protection recommendation: dosimetric aspects", Lawrence Berkeley Laboratory report, LBL-17431(1984).
 - 18) I.R. Mynatt, F.J. Muckenthaler, P.N. Stevens, "Development of two-dimensional discrete ordinates transport theory for radiation shielding," Oak Ridge National Laboratory report, CTC-INF-952(1969).
 - 19) J.K. Lee and M.M. Ragheb, "An informal note on NEDEP code", Nuclear Engineering Program, University of Illinois at Urbana-Champaign(1985).
 - 20) *IMSL library reference manual*, IMSL LIB-0009, International Mathematical and Statistical Libraries, Inc., Houston, Texas(1982).
 - 21) International Commission on Radiation Units and Measurements, *Conceptual basis for the determination of dose equivalent*, ICRU report 25(1976).
 - 22) J.K. Lee, "Derivation of a Monte Carlo estimator for dose equivalent", *대한방사선방어학회지* **10**(2), 89-95(1985).
 - 23) International Commission on Radiological Protection, *Data for protection against ionizing radiation from external sources: Supplement to ICRP publication 15*, ICRP publication 21, Pergamon press, New York (1973).
 - 24) A Morhart and G. Burger, "Specified dose equivalent quantities for neutrons in the ICRU sphere and their applicability", *Radiat. Prot. Dosim.*, **12**(2), 107-111(1985).

Dosimetric Quantities for 300 keV Neutrons

Soo-Yong Lee

Department of Physics, College of Science and Engineering, Hanyang University

= Abstract =

Dosimetric quantities for 300 keV neutrons in the ICRU standard tissue sphere were evaluated. The Monte Carlo code NEDEP which performs neutron-photon-charged particles coupled transport was used in the direct estimation of absorbed dose and dose equivalent. Some important quantities calculated are as follows;

Deep dose equivalent index $H_{t,d}$: 1.78×10^{-11} Sv-cm²

Shallow dose equivalent index $H_{t,s}$: 2.08×10^{-11} Sv-cm²

Ambient dose equivalent $H^*(0.07)$: 1.7×10^{-11} Sv-cm²

Ambient dose equivalent $H^*(10)$: 1.78×10^{-11} Sv-cm²

Effective quality factor $\bar{Q}^*(10)$: 12.4