



관리구역의 재평가 · 차폐계산의 실제

1. 머리말

ICRP 1990년 권고를 받아들인 방사선장해방지법에 관한 개정법령이 2001년 4월부터 시행되었다. 차폐에 직접관계되는 개정점은 이하의 두가지이다.

- (1) 선량평가를 1cm선량당량으로 하지 않고, 실효선량으로 한다.
- (2) 관리구역에 관계되는 선량의 기준이 $300\mu\text{Sv/주}$ 에서 1.3mSv/3개월 로 하향되었다.

(2)에 관하여 선원의 사용시간을 특히 정하고 있지 않는 경우는, 종래는 주 48시간의 체재시간으로부터 약 $6\mu\text{Sv/시}$ 에 상당하고 있었다. 법령개정에 따라 체재시간이 3개월 500시간(연간 노동시간 2,000시간의 1/4)으로 재평가되어, 선량률은 약 $2.6\mu\text{Sv/시}$ 로 상당하기 때문에, 실질적으로는 2.3분의 1로 낮추어진 것이다. 어찌면 대부분의 사업소로서는 이것이 가장 냉엄한 개정점이라고 생각된다.

구관의 [차폐계산실무매뉴얼](이하 구매뉴얼)에는, ICRP51에 환산계수가 제시되고 있는 1cm

선량당량을 구하는데 필요한 방법과 데이터가 게재되어 있지만, 법령개정에 따라 실효선량을 계산할 데이터가 필요하게 되었다.

이번 법령개정에 대비하여, 9명의 위원과 협력자로 구성된 [차폐계산매뉴얼 책정에 관한 조사위원회]가 1997년도에 설치되어 논의를 거듭하여 왔다. 당초는 과도한 차폐강화를 막을 목적으로 관리구역바깥의 체재시간을 실정에 맞도록 논의하였지만, 과학기술청 방사선안전과의 의견조정을 하지 못하여 새로운 매뉴얼(이하 신매뉴얼)에 채택되는 것은 보류되었다.

매뉴얼집필에서는 실효선량을 계산할 수 있게 하는 것은 물론, 이하의 점에 유의하였다.

- (1) 되도록 새로운 지견을 받아들이고, 이용하기 쉬운 것으로 한다.
- (2) 구매뉴얼에 소개되어 있는 방법은 버리지 않고, 계속성을 확보한다.
- (3) 과도한 차폐를 경감할 수 있는 합리적인 사고방식을 되도록 받아들인다.

이하에 구체적인 변경점 등을 소개한다.



2. 1cm선량당량에서 실효선량으로

광자, 중성자속에서 실효선량으로의 변환계수를 각각 그림 1, 2에 나타낸다. 그림에는 ICRP51 및 ICRP74에 있는 1cm선량당량으로의 환산계수도 제시하였지만, ICRP51은 구법령에서의 차폐 계산이나 측정의 기초이며, ICRP74는 개정법령에서의 측정이 기초가 되는 계수이다.

광자의 실효선량환산계수는 구법령의 1cm선량당량환산계수와 비교하면, 100keV 이상에서는 10%~20% 낮고, 저에너지영역에서는 더욱 낮아진다. 이것은 같은 방사선장에서 실효선량은 1cm선량당량에 비하면 10%이상 작아짐을 나타내고 있다. 따라서 관리구역내나 사업소경계에서는, 법령개정에 의하여 약간이지만 완화되었다. ⇒ 개정후의 측정을 위한 값인 1cm선량당량에 대해서는, 개정전과의 차는 매우 작음을 알 수 있다.

한편, 중성자에서는 사정이 크게 달라진다. eV 영역에서 수10keV영역까지 실효선량환산계수는

구법령의 1cm선량당량환산계수보다도 크고, 수 10keV에서 수meV의 범위까지는 반대로 작다. 개정법령의 1cm선량당량은 구법령의 1cm선량당량에 비교하며 모든 영역에서 20%이상 크고, 수 100keV영역에서 50%정도 커져 있다. 이것들은 1cm 선량당량에 관하여 ICRP 1990년 권고에서는 선질계수가 크게 변경되었다는 것, 실효선량에서는 방사선하중계수가 되었다는데 기인한다. 그러나 필자가 몇몇 중성자스펙트럼에 대하여 구법령에서의 1cm선량당량과 신법령에서의 실효선량치를 계산해본 결과, 환산계수의 요철은 상쇄되는 경향이 있고, 그 차는 작다는 것을 알았다. 구법령하에서는 계산한 중성자선량을 ICRP 파리성명에 따라 2배로 평가하도록 과장에 통지되었지만, 이것은 필요없게 되었다. 따라서 중성자에 대해서는 관리구역내나 사업소경계에서는 실질적으로 선량은 약반으로 되어 그만큼 차폐는 완화된다. 관리구역경계에 대해서도 법령개정에 따른 기준치인하의 영향은 약 1/1.3 작아진다.

한 의 소 식

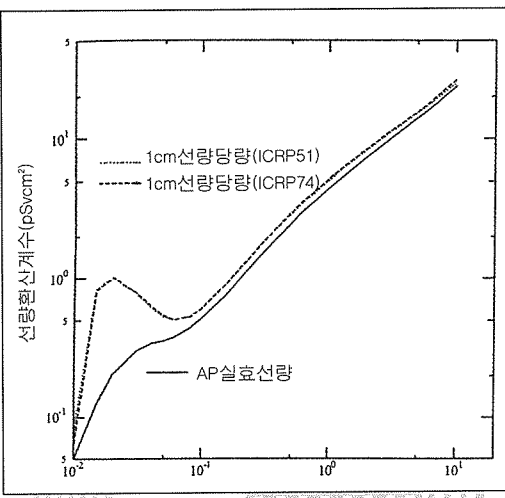


그림 1. 광자플루언스에서 실효선량, 1cm선량당량으로의 환산계수

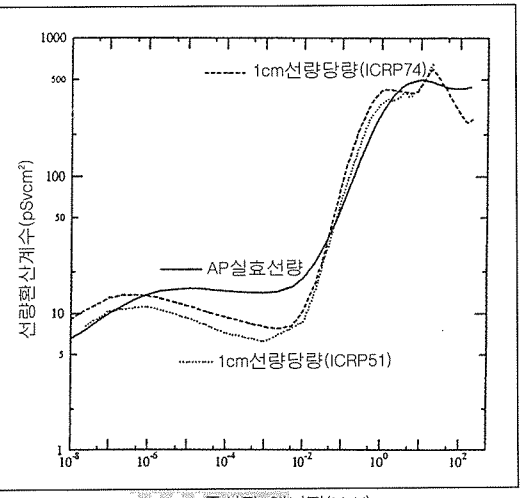


그림 2. 중성자플루언스에서 실효당량, 1cm선량당량으로의 환산계수



3. 실효선량의 계산

사용하는 데이터는 변경되었지만, 계산방법은 구매뉴얼에서의 1cm선량당량계산과 완전히 같다. 이하에 선원별로 개략을 소개한다.

3.1 γ 선(X선)

(1) 실효선량투과율을 이용하는 방법

차폐가 없을 때의 실효선량을 계산하여, 그것에 투과율을 곱해서 실효선량을 구한다. 많이 사용되고 있는 33핵종에 대해서는 실효선량률상수 및 핵종으로부터 방출되는 γ 선에 대한 투과율이 구매뉴얼에 있기 때문에, 매우 간편하게 계산할 수 있다. 또 실효선량률상수에 대해서는 [아이소토프 수첩 10판(2001)]에 더 많은 핵종에 대하여 기재하고 있다.

(2) 실효선량 빌드업계수를 이용하는 방법
비충돌 γ 선에 의한 실효선량을 먼저 계산하여, 그것에 실효선량빌드업계수를 곱하여 구한다.

(3) 실효환산계수를 이용하는 방법

여러 가지 문헌에 잘 정비되어 있는 데이터를 이용하여 먼저 공기 kerma(또는 조사선량)를 계산하여, 그것에 공기케르마에서 실효선량으로의 환산계수를 곱하여 구한다.

구매뉴얼에는, 과거의 경위에서 (3)의 방법이 먼저 해설되어 있지만, 이번은 더욱더 간편한 (1)의 방법을 기본으로 하여 설명하고 있다.

3.2 β 선에 의한 제동방사선

많이 사용되고 있는 13핵종에 대하여 표적원자번호 20일때의 실효선량률상수 및 제동방사선의 실효선량투과율이 주어져 있으며, γ 선의 경우의 (1)방법과 마찬가지로 계산한다. 표적이 다른 경우에는 원자번호 20을 기준으로 한 제동방사호

율비를 이용하여 환산한다. 최근에는 선원이 투명한 아크릴수지에 봉입된 것이 많기 때문에, 신매뉴얼에는 아크릴수지표적인 경우의 실효선량률 상수도 제시하고 있는데, 표적원자번호 20의 실효선량률상수에 비교하면 약 1/3의 선량으로 된다.

3.3 중성자 및 2차 γ 선

²⁵²Cf, ²⁴¹Am-Be, d-T, d-D 중성자원에 대하여 실효선량률 상수와 투과율이 제시되어 있으며, γ 선인 경우의 (1)방법과 마찬가지로 계산할 수 있다. 중성자에서는 차폐체중에서 생기는 2차 γ 선의 기여에 대한 평가가 필요하며, 전실효선량 투과율에는 이것도 포함되어 있지만, 각각의 선량을 개별의 투과율을 이용하여 계산할 수 있도록 되어 있다.

²⁵²Cf, ²⁴¹Am-Be에서는 선원으로부터의 1차 γ 선의 기여도 크다. 이것들의 실효선량률상수와 투과율도 주어져 있다. 구매뉴얼에서는 이들 중성자원의 계산은 번잡하였지만, 신매뉴얼에서는 간편하게 할 수 있도록 배려하고 있다.

3.4 가속기

4MeV에서 25MeV까지의 전자선가속기의 차폐에 필요한 데이터가 제시되고 있다. 구매뉴얼에는 1/10가층만을 이용하여 차폐를 계산하였지만, 선량의 감약을 더욱 정도 좋게 나타내기 위하여, 두께 0에 외삽한 값(F_0)를 도입하여, 차폐체 두께가 t일때의 투과를 F를 1/10가층을 T로 하여, $F = F_0(1/10)^{VT}$ 로 계산할 수 있게 되었다.

3.5 차폐계산데이터의 도출

신매뉴얼의 차폐계산데이터는 주로 사카모도(坂本)의 문헌에서 인용하고 있다.



표 1 각종 선원에 대하여 신매뉴얼에서 데이터가 있는 차폐재

차 폐 재 (밀도/g/cm ³)	광자 및 β선 제동복사선	중성자	전자선가속기로부터의 제동 방사
철(7.86)	○	○	○
납(11.34)	○	○	○
콘크리트(2.10)	○	○	○
물(1.0)	○	○	
폴리에틸렌(0.93)		○	
중콘크리트(3.715)		○	

단색γ선의 계산에는 직접적분법과 다군모델을 조합한 코드 BERMUDA¹⁾에 PHOTX²⁾광자단면적을 이용하고 있다. β핵종으로부터의 제동방사선은 BETABREM코드를³⁾, 중성자의 계산에는 1차원 Sn계산코드인 ANISN-JR⁴⁾과 평가가 끝난 핵데이터 JENDL 32⁵⁾를 이용하고 있다.

전자선가속기의 차폐데이터에 대해서는, 구매 뉴얼에서는 주로 측정치를 근거로한 1/10가층이 제시되고 있었지만, 신매뉴얼에는 광자·전자의 몬테카를로 코드인 EGS 4⁶⁾를 이용한 계산으로 차폐데이터를 구하고 있다.

신매뉴얼에서 차폐데이터가 주어진 선원과 차폐재의 조합을 표 1에 0으로 표시하였다.

4. 신매뉴얼의 특징

4.1 콘크리트 밀도

구매 뉴얼에는 보통콘크리트의 밀도는 2.30g/cm³로 하고 있는데, 요즘의 건축재료로서 이 값을 확보하는 데는 코스트가 높아져 곤란한 현실을 감안하여, 신매뉴얼에서는 약간 안전측면에서 2.10g/cm³로 하였다. 따라서, 예를 들면 ⁶⁰Co을 1m의 콘크리트로 차폐한 경우, 신매뉴얼의 데이터를 이용하면 선량률은 구매뉴얼을 이용한

계산과 비교하면 약 3배 높아진다.

새롭게 시설을 설치할 때에, 콘크리트 밀도에 관한 데이터가 없을 때는 신매뉴얼의 수치를 그대로 사용하게 된다. 그러나 실제로는 밀도는 2.10g/cm³보다도 높은 경우가 많기 때문에, 그것을 막기 위해서는 건설시에 콘크리트밀도를 측정하여 차폐계산시에 이용하는 것이 필요하다.

4.2 미로계산식

광자의 스트리핑(streaming)에 관하여 구매 뉴얼에서 제시하고 있는 방식은 별로 간편하지 않다. 신매뉴얼에는 독일공업규격(DIN)에 기재되어 있는 방법을 소개하고 있다. 이것은 미로의 길이와 단면적만을 사용하여 계산할 수 있는 매우 간편한 방법이다. 또 DIN방법은 미로의 높이(H)와 폭(W)의 비(H/W)가 2를 초과하지 않는 범위에서 적용할 수 있다고 되어 있지만, 2를 초과하는 경우에 적용해도 과도하게 안전측의 값을 줄 뿐이고, 특별한 문제는 없다.

중성자의 스트리밍에 대해서도 간편한 나카무라 및 필자의 방법을 소개하고 있다. 이것은 실내산란선도 포함한 미로입구에 대한 선량을 평가할 수 있다는 것, 또 미로내의 선량을 미로의 폭과 길이를 이용하여 간편하게 계산할 수 있는



특징이 있다.

4.3 선원평가

비밀봉RI의 저장시설에는, 통상 연간사용수량에 상당하는 방사선원을 놓고 차폐를 평가하는데, 특히 단반감기 핵종의 경우 이것으로는 매우 과대한 차폐가 필요하게 된다. 따라서 신매뉴얼에 제시한 차폐계산때에서는 반감기를 고려한 수치를 사용하고 있다. 또 통상은 폐기시설에도 연간 사용수량에 상당하는 방사선원을 놓지만, 이것에 대해서도 폐기의 설정을 받아들이는 예를 제시하여, 극단적인 과대평가로 되지 않도록 배려하고 있다. 또 신매뉴얼의 참고자료에는 대학의 공동이용시설처럼 매우 다양한핵종을 사용할 수 있도록 허가를 취하면서, 실제의 사용은 극히 그 일부인건과 같은 시설로서의 계산 예도 제시되고 있다.

5. 맺음말


거의 4년동안에 거쳐서 [차폐산매뉴얼책정예 관한 조사위원회]에서 논의하고 작업을 진행시켜 작성된 신매뉴얼이지만, 간행후 발행처 앞으로

보내온 질문을 보면, 불충분한 개소가 몇군데나 있다.

이것은 위원회의 노력부족이 원인이지만, 다망한 본무를 보면서 위원이 할수 있는 것에는 한도가 있다. 일본에서는 이와같은 작업을 유식자의 짬에 의뢰하고 매우 적은 예산으로 끝내는 경향이 있는데, 이것으로는 충분한 것은 바랄수 없다. 구미와 같이 전임직원을 가진 기관에서 작성하는 것이 꼭 필요하다.

이번의 매뉴얼개정은 1cm선량당량에서 실효선량으로 변경에 따라 필요하게 되었지만, 결과적으로 선량값에는 큰 차이는 없고, 디스크 평가의 정도측면에서 생각하면 중대한 의미가 있는 작업이라고 말할 수 있는 것은 아니다. 전번의 법령개정시에도 거론되었지만, 거의 10년마다 변경되는 ICRP의 기본권고를 그대로 통째로 삼겨 법령으로 받아들이는 것은, 국민으로서 매우 큰 손실을 낳는 경우가 있다. 방사선심의회등에서 충분히 다루어 적절히 여과시켜야 할 필요가 있다고 통감하였다.

앞으로, 다음의 권고가 ICRP에서 나오겠지만, 이번보다도 적절한 대응이 요망된다.

〈理化學研究所 安全管理室, 上襄 義明〉 

참 고 문 헌

1. T.Suzuki et al. : "Development of BERMUDA " A rAdiation Transport Code System, Part II, Gamma-Rays Transport Codes", JAERI-M 93-143(1993).
2. D.K.Trubey et al., "Photon Cross Section for ENDF/B-IV", Advanced in Nuclear Computation and Radiation Shielding, American Nuclear Society Topical Meeting(1989).
3. Y. Sakamoto et al., "Calculations of Brems-strahlung Photon Spectrum from rAdioisotopes(II)", Proc. 5th EGS 4 User's Meeting in Japan, KEK Proc. 95-9(1995).
4. K. Koyama et al., "ANISN-JR, A One-Dimensional Discrete Ordinates Code for Neutron and Gamma-Ray Transport Calculations", JAERI-M6954(1977).
5. T. Nakagawa et al., "Japanese Evaluated Nuclear Data Library Version 3 Revision-2 : JENDL-3.2", J. Nucl. Sci. Tech., 32, 1259(1995).
- 6) W.R.Nelson et al., "The EGS 4 Code System", SLAC-265(1985).