

<技術報告書>

물과 콘크리트에 의한 中性子の 反射效果

閔 德 基 · 魯 聖 基

韓國에너지研究所 大德工學센터

抄 錄

물 또는 콘크리트反射體의 두께 및 콘크리트反射體와 核物質溶液系 사이의 간격에 따라 變하는 有效增倍係數로서의 反射效果를 中性子輸送理論에 기초를 둔 角分割方法의 전산코드 ANISN으로 계산하였다.

그 결과에 따르면 反射體의 두께가 얇을 때, 有效增倍係數를 기준으로 한 물 反射體의 反射效果는 콘크리트에서보다 크지만 그 두께가 커지면 반대현상도 생기는 것 같았다. 한편 核物質溶液系와 콘크리트反射體사이에서 물이 채워져 있고 그 간격변화에 따라 산출한 有效增倍係數値는 처음 급격하게 감소하다가 약 15cm를 지나면서 부터 서서히 감소하는 것 같았다.

假定한 것을 뜻한다.

1. 序 論

核物質 取扱裝置를 다루거나 그것을 콘크리트 구조물 속에다 설치코자 할 때에는 中性子の 反射效果¹⁾를 고려하여 인체나 콘크리트反射體로부터 일정한 거리를 유지할 수 있도록 취급 또는 설치지침을 마련해야 한다. 이때 실험적 또는 이론적인 방법으로 反射效果를 나타내는 한가지 기준, 즉, 有效增倍係數(effective multiplication factor, k_{eff})를 구하고 그 결과를 바탕으로 하여 核物質의 취급 또는 설치지침을 결정하게 된다. 물론 실험적인 방법을 채택하는 것이 바람직 하지만 龐大한 시설과 자금을 필요로 한다는 관점에서 여기서는 이론적인 방법을 택하기로 하였다.

다루코자 하는 核物質溶液系(또는 核物質系)가 有限系임을 고려하여 중성자 수송이론에 바탕을 둔 角分割方法(discrete ordinates method)의 전산코드 ANISN²⁾을 써서 물이나 콘크리트反射體의 두께 및 콘크리트反射體와 핵물질계간의 떨어진 거리에 따라 變하는 有效增倍係數를 산출하였다. 이때 人體 대신 물을 고려대상으로 삼았는데 이것은 구성성분의 약 75%³⁾만이 물로 되어 있으나 核臨界觀點에서의 안전이라는 보수적인 개념 때문에 人體가 100% 물로 구성되어 있다고

2. 計 算

9.0cm×9.0cm×39.6cm 크기의 非均質 核物質系⁴⁾를 均質化한 평판형으로 근사화⁵⁾시키고 물, 콘크리트(여기서는 일반콘크리트)나 空氣層등 反射體의 두께 및 이 核物質系와 콘크리트反射體 사이의 거리(또는 간격)에 따른 K_{eff} 의 변화를 계산하였다. 이때 고려대상 核物質은 질산우라늄과 질산플루토늄의 혼합용액으로 질산의 노르말濃度는 1.8이었으며 용액의 밀도는 1.154 g/cc였다. 그리고 우라늄과 플루토늄의 溶存濃度는 각각 0.0489 및 0.0203g/cc였으며 ²³⁵U의 重量比는 0.66%인 반면에 ²⁴⁰Pu의 重量比는 5.58%였다. 특별히 이런 용액을 연구대상으로 선택한 이유는 없지만 그 배경을 든다면 질산에 용해시킨 액체급속중성자로의 핵연료중에서 이 용액이 가장 적은 臨界質量을 나타내는 것으로 보고되었기 때문이었다.⁶⁾

본 연구에서는 角分割方法의 一次元 전산코드 ANISN을 써서 K_{eff} 를 산출하였는데 이때 중성자에너지스펙트럼(또는 중성자스펙트럼)을 16개 구간으로 나누고 이에 상응하는 핵단면적값을 Hansen-Roach⁷⁾ 자료에서 拔萃하였으며 산란단면적은 P_1 (르잔드르 多項式

의 一次項) 展開項까지의 값을 취하고 공간구간을 고려 대상계의 특성에 따라 나누되 서로 다른 물질의 경계면 근처에서 세분하였으며 角分割數를 16으로 하였다.

3. 結果 및 檢討

反射體의 두께에 따른 有效増倍係數의 算出值를 表 1에 수록하고 그림 1에도 나타내었다. 表 1과 그림 1에는 핵임계 관점에서 볼 때 최악의 기상조건으로 볼 수 있는 976.2mb의 최저대기압과 99%의 최고상대습도⁸⁾ 하에서 공기층의 두께에 따라 변하는 Keff值를 계산하여 제시하였는데 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 그것은 $2.367 \times 10^{-5} K_{eff}/cm$ 의 기울기를 가지고 直線的으로 증가하고 있다.

그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 물 및 콘크리트의 두께가 각각 10 및 25cm 정도일 때 Keff值는 거의 포화상태에 이른다. 그리고 反射體의 두께가 9.5cm 이하일 때 Keff值를 기준으로 한 물의 反射效果는 콘크리트보다 크나 그 이상에서는 오히려 낮다. 이와 비슷한 현상을 Dickinson⁹⁾도 보고한 바 있는데 다음과 같

Table 1. Effective Multiplication Factor as a Function of Reflector Thickness

Reflector Thickness, r(cm)	Keff		
	Water	Concrete	Moist Air
0	0.20294	0.20294	0.20294
5	0.34776	0.31678	0.20306
10	0.36463	0.36696	0.20318
15	0.36596	0.38701	0.20330
20	0.36608	0.39432	0.20342
30	0.36610	0.39769	0.20365

이 그 까닭을 풀이할 수도 있을 것이다. 즉, 反射體의 두께가 얇을 때에는 물에 의한 減速中性子の 散亂率이 콘크리트에서보다 커서 Keff가 크나 그 두께가 증가하여 9.5cm 이상이 되면 深層散亂된 中性子が 물에서보다 콘크리트에서 덜 흡수되기 때문에 反對現象이 나타나는 것으로 볼 수 있다. 이상의 논의를 뒷받침하기 위하여 反射體의 두께에 따른 中성자스펙트럼의 변화를 계산하고 그 결과의 일부를 表 2에 수록하였으며 그림 2 및 3에도 도시하였다. 表 2에는 에너지群別 구간 및

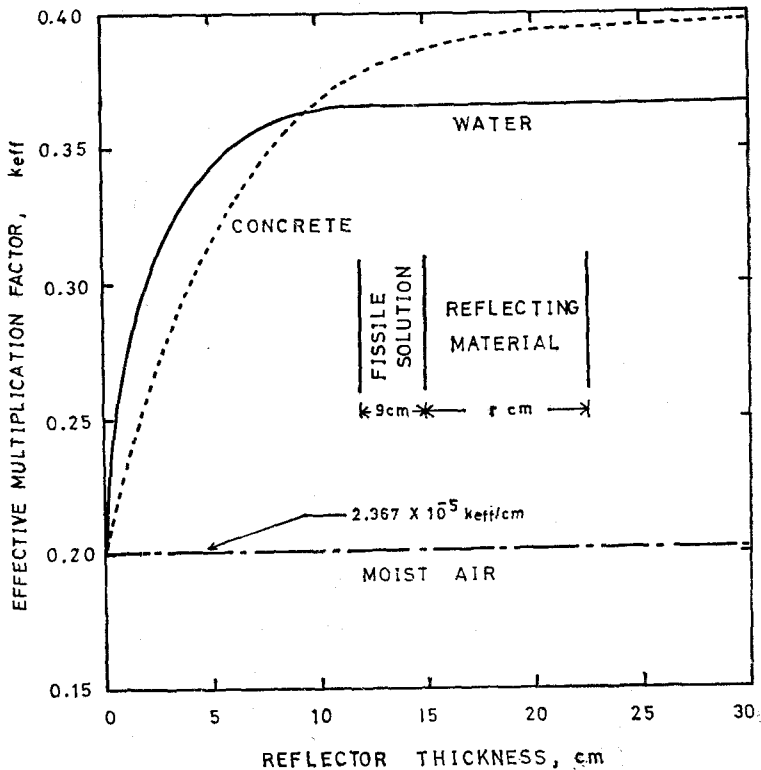


Fig. 1. Effective multiplication factor as a function of reflector thickness.

Table 2. Neutron Energy Spectra in a Fissile Solution System with 5cm and 15cm Thick Reflectors

Energy Group	Energy Range	Lethargy (ΔU)	Neutron Flux/Unit Lethargy			
			5cm Thick Reflector		15cm Thick Reflector	
			Water	Concrete	Water	Concrete
1	3 ~ 15 MeV	1.609	0.93564	1.03763	1.05766	1.31195
2	1.4 ~ 3.0 MeV	0.762	3.58785	4.26050	4.09417	6.07442
3	0.9 ~ 1.4 MeV	0.442	2.93104	3.45683	3.28086	4.70552
4	0.4 ~ 0.9 MeV	0.811	2.24973	2.73139	2.54330	3.92983
5	0.1 ~ 0.4 MeV	1.386	1.33396	1.63902	1.53330	2.53082
6	17 ~ 100 KeV	1.772	0.75375	0.91553	0.87929	1.49957
7	3 ~ 17 KeV	1.735	0.60914	0.72210	0.71938	1.22199
8	0.55 ~ 3.00 KeV	1.696	0.57086	0.66462	0.68183	1.15858
9	100 ~ 550 eV	1.705	0.56226	0.64262	0.67944	1.15046
10	30 ~ 100 eV	1.204	0.55514	0.62617	0.67711	1.14208
11	10 ~ 30 eV	1.099	0.55184	0.61552	0.67852	1.13931
12	3 ~ 10 eV	1.204	0.53629	0.59228	0.66479	1.11345
13	1 ~ 3 eV	1.099	0.53064	0.58029	0.66320	1.10674
14	0.4 ~ 1.0 eV	0.916	0.52995	0.57377	0.66698	1.10443
15	0.1 ~ 0.4 eV	1.386	1.04710	1.08977	1.35154	2.20972
16	Thermal(0.025eV)		16.19340	11.46730	28.91100	25.22060

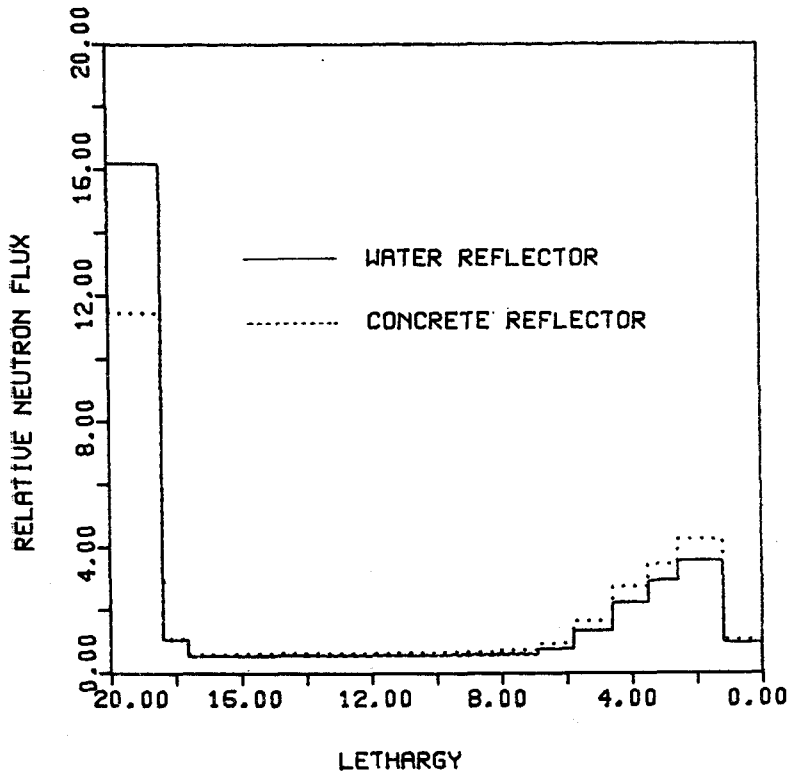


Fig. 2. Neuron energy spectra in a fissile solution system with 5cm thick reflectors

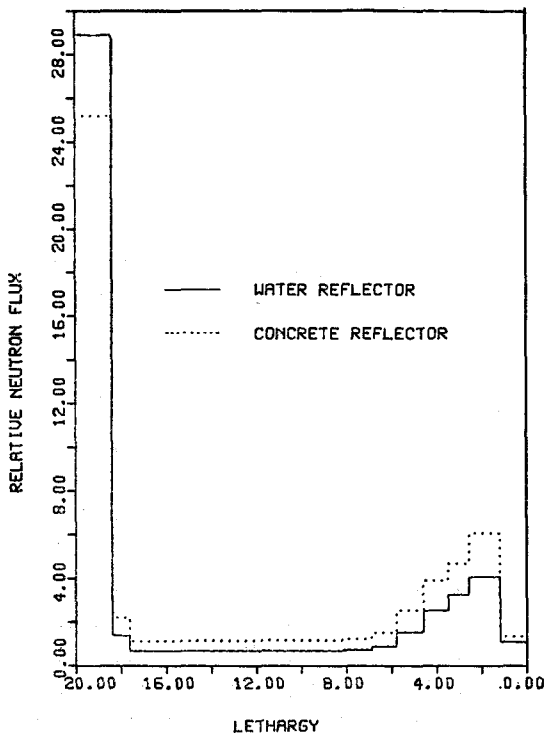


Fig. 3. Neutron energy spectra in a fissile solution system with 15cm thick reflectors

Table 3. Effective Multiplication Factor as a Function of Gap Distance between Fissile Solution System and Concrete Reflector

Gap Distance d(cm)	Keff	
	Medium Filled in Gap	
	Water	Moist Air
0	0.39769	0.39769
1	0.39382	—
2	0.38837	—
3	0.38261	—
5	0.37458	0.35479
10	0.36741	0.35449
15	0.36626	0.35436
20	0.36609	0.35424
30	0.36637	0.35398
40	0.36696	0.35373
70	—	0.35291
100	—	0.35249

— Data are not available.

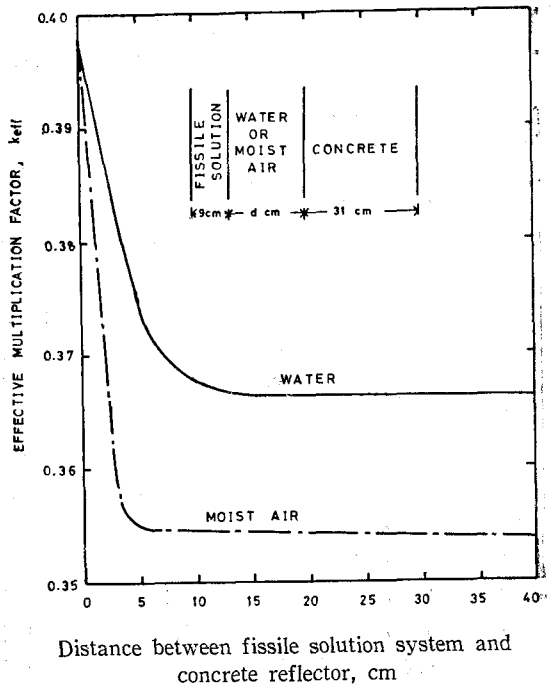


Fig. 4. Effective multiplication factor as a function of gap distance between fissile solution system and concrete reflector

레사지(lethargy)와 중성자전속을 제시하였으며 편의상 그림 2 및 3의 횡축을 레사지로 나타내었는데 레사지가 커질수록 중성자의 에너지가 낮아짐을 뜻한다. 그림 2 및 3의 상호비교로부터 反射體의 두께가 커지면 물보다 콘크리트에서 중성자전속이 현저하게 증가함을 볼 수 있는데 결국 이것이 Keff値의 증가를 초래케 한다고 설명할 수 있을 것이다.

한편 고려대상 핵물질계와 콘크리트反射體사이의 간격에 따라 변하는 Keff値를 계산하였는데 그 결과는 표 3 및 그림 4와 같다. 그림 4에서도 볼 수 있는 바와 같이 핵물질계와 콘크리트反射體사이에 물이 채워진 경우에 있어서 그 간격에 따라 Keff는 처음 급격히 감소하다가 15cm 정도를 지나면서 부터 서서히 감소해 간다. 또 공기만이 있을 경우에는 물이 있을 때 보다 그 간격에 따라 훨씬 급격하게 Keff가 감소하다가 5cm를 지나면서 부터 서서히 감소해 간다. 이상의 결과로 미루어 보면 콘크리트反射體로부터 최소한 15cm 이상 떨어진 공간에 核物質 取扱裝置를 설치하는 것이 핵입제안전이라는 관점에서 바람직한 것으로 믿어진다.

4. 結 論

중성자 수송이론에 바탕을 둔 角分割方法的의 전산코.

드 ANISN을 써서 물 또는 콘크리트反射體의 두께 및 콘크리트反射體와 核物質系 사이의 간격에 따라 變하는 有效増倍係數를 산출하였는데 그 결과를 종합하면 다음과 같다.

反射體의 두께가 얇을 때 有效増倍係數를 기준으로 한 물反射體의 反射効果는 콘크리트에서보다 크지만 그 두께가 두꺼워지면 반대현상도 생긴다. 그리고 콘크리트反射體와 核物質系와의 간격을 최소 15cm 이상 떨어지게 하는 것이 핵임계안전이라는 관점에서 좋다.

參 考 文 獻

- 1) D. Dickinson, Nucl. Technol. **26**, 265(1975).
- 2) W.W. Engle, Jr., K-1693(1967).
- 3) USNBS, "Protection against Neutron Radiation up to 30 Million Electron Volts," USNBS Handbook-63(1957).
- 4) S.G. Ro and D.K. Min, KAERI/RR-285/81(1981).
- 5) N.M. Green and C.W. Craven, Jr., ORNL-TM-2500(1969).
- 6) R.C. Lloyd and E.D. Clayton, Nucl. Sci. Eng. **60**, 143(1976).
- 7) G.E. Hansen and W.H. Roach, LAMS-2543(1961).
- 8) 중앙관상대 대전측후소(1981).

Neutron Reflecting Effects by Water and Concrete

Duck Kee Min, Seung Gy Ro

Daeduk Engineering Center, Korea Advanced Energy Research Institute, Chung-Nam, Korea

Abstract

Neutron reflecting effects in terms of effective multiplication factor have been calculated with varying water or concrete thickness, and gap distance between concrete reflector and a fissile solution system. A numerical calculation of effective multiplication factors has been carried out by using the discrete ordinates method with the help of the computer code, ANISN.

It is revealed that the reflecting effect by thin concrete is lower than that of the identical thickness of water while the effect by thick water is low compared to that of the identical thickness of concrete. It seems that the effective multiplication factors are first decreasing rapidly with gap distance, which is filled with water, between concrete reflector and the fissile solution system, and then decrease slowly over the distance of about 15cm.