

Shielding Benchmark of Neutron Streaming Experiments Using KATRIN

Young-Sik Cho, Y. O. Lee, J. Chang

Korea Atomic Energy Research Institute, P. O. Box 105, Yuseong, Daejeon, 305-600, yscho@kaeri.re.kr

1. 서론

양성자 가속기와 ADS 등에 대한 관심과 더불어 파쇄 과정과 하전 입자를 포함한 고에너지 입자의 수송과정을 모사할 수 있는 코드의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 현재 이러한 계산을 위해서 LAHET [1]와 MCNPX [2] 등의 Monte Carlo 코드가 주로 사용되고 있는데, 최근에 Discrete ordinates method 를 사용하여 중성자, 광자 및 하전입자의 수송계산을 수행할 수 있는 3D 코드인 KATRIN [3] 이 러시아의 KIAM 에서 개발되어 계산시간의 단축 및 정확도 향상을 위한 최적화 작업이 이루어지고 있다.

본 논문에서는 KATRIN 을 사용하여 영국의 NIMROD 양성자 가속기시설 내에서 행해진 덕트스트리밍 실험 [4] 을 모사하고 그 결과를 실험값과 비교하여 KATRIN 의 스트리밍 계산 적용가능성을 검토해 보았다.

2. 계산 및 결과

NIMROD 실험은 터널을 따라서 설치한 검출기에서 방사화를 측정하는 것으로 이루어져 있다. KATRIN 에서 해석할 방사화 반응물은 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 와 $^{12}\text{C}(n,2n)^{11}\text{C}$ 등 2 가지이다. 이를 모사하기 위하여 먼저 KATRIN 계산을 통하여 터널의 시작점에서의 에너지별 중성자속 분포를 계산하고 이를 토대로 각 방사화 반응에 대한 균정수를 생산한 후 각 균별 중성자속에 곱하여 반응률을 계산하였다. 측정값은 터널의 시작점을 1 로 하여 규격화되어 있으므로 반응률의 절대값은 중요하지 않으며 계산값 역시 같은 방식으로 규격화하여 서로 비교하였다.

2.1 KATRIN 계산

NIMROD 의 계산모형을 그림 1 에 표시하였다.

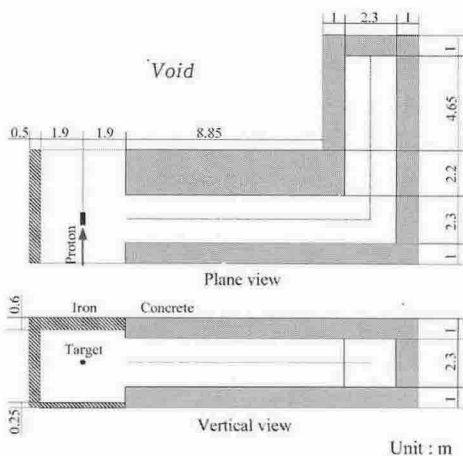


그림 1. NIMROD 계산모형

평면도에서 void 로 표시한 부분으로 들어간 입자는 다시 돌아오거나 통과하여 터널로 오지 않고 소실되는 것으로 가정하였으며 KATRIN 계산에서 이를 근사적으로 모사하기 위하여 이 부분에 밀도가 10 g/cm^3 인 경수가 위치하는 것으로 설정하였다.

에너지가 7GeV 인 양성자빔의 표적인 구리는 지름 1cm, 길이 5cm 의 원통형으로서 터널의 중심선상에 위치해 있고 터널의 내벽은 밀도가

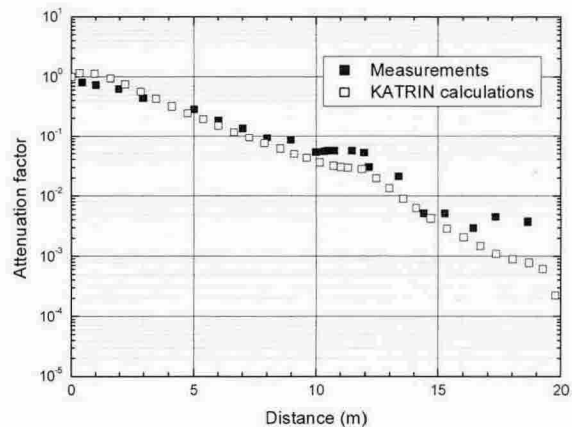


그림 2. $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 반응을 계산결과 및 측정값과의 비교

$2.3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 인 콘크리트이다.

KATRIN 계산에 필요한 단면적자료는 20 MeV 이하는 CONSYST [5] 를, 20 MeV 이상은 SADCO [6] 코드를 사용하여 생산하였다. 반응을 계산에 필요한 균정수는 JENDL-3.3 고에너지 핵자료를 이용하여 생산하였다.

2.2 계산결과 및 비교

그림 2 에 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 반응에 대한 계산결과를 측정값과 비교하여 도시하였다. 거리는 터널의 시작점에서 터널을 따라서 측정한 누적거리이다. 왼쪽으로 꺾어지는 지점에 해당하는 거리는 11 m 이다. KATRIN 계산결과와 측정값은 터널 중단부를 제외하고는 전반적으로 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

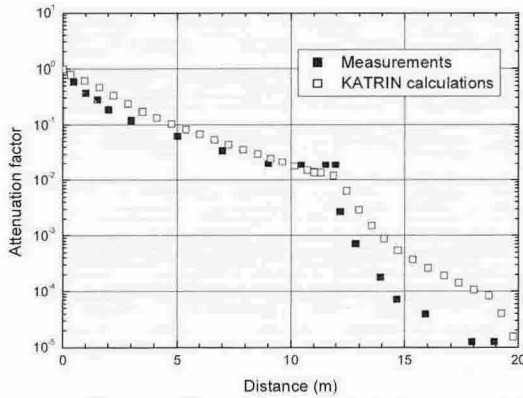


그림 3. $^{12}\text{C}(n,2n)^{11}\text{C}$ 반응을 계산결과 및 측정값과의 비교

그림 3 에는 $^{12}\text{C}(n,2n)^{11}\text{C}$ 반응에 대한 계산결과를 측정값과 비교하여 나타내었다. 이 반응에서는 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$ 반응과 달리 20 MeV 이상의 중성자속 분포가 중요한 역할을 담당하는데 터널 시작 위치로부터 11 m까지는 그림 2 와 마찬가지로 측정값과 잘 일치하는 결과를 보여주지만 터널이 꺾어지는 부분인 11 m 이상에서 차이가 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 고에너지 중성자가 void 영역의 모서리 부분을 통과하거나 터널 외벽에 위치한 void 부분에서 산란되어 나오는 중성자가 $^{12}\text{C}(n,2n)^{11}\text{C}$ 반응에 민감하게 반응한 결과로 추론된다. 따라서 importance 가 0 인 영역을 효과적으로 다루기 위한 새로운 모형이 필요하며 이를 위한 개선작업이 진행 중이다.

3. 결론

KATRIN 코드를 이용하여 NIMROD 양성자 가속기시설 내에서 행해진 덤트스트리밍 실험을 모사하고 그 결과를 측정값과 비교해 보았다.

KATRIN 계산결과를 두 측정결과와 비교해 본 결과 터널 굴곡부 이전까지는 잘 일치하지만 굴곡부 이후부터는 거리가 멀수록 반응에 그 차이가 조금씩 커지는 추세를 보여주고 있다. 그 차이는 1 order 이내이며 이러한 차이가 측정의 오류나 계산모형의 부정확성에서 기인할 수 있으므로 계산모형을 보다 정밀화하는 한편 다른 실험결과를 입수한 후 적절한 계산모형을 선정하여 KATRIN 계산을 확대 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] R. E. Prael and D. G. Madland, "The LAHET Code System with LAHET2.8," LA-UR-00-2140, 2000.
- [2] "MCNPX User's Manual, Version 2.4.0," LA-CP-02-408, 2002.
- [3] A. M. Voloschenko and V. P. Kryuchkov, "KATRIN-1.5: Three-dimensional Discrete Ordinates Neutron, Photon and Charged Particle Transport Code," KIAM, Moscow (To be published).
- [4] Stevenson, G. R., et al., Health Physics, Vol.24, 87, 1973.
- [5] I. G. N. Manturov, M. N. Nikolaev and A. M. Tsyboulia, "CONSYST/ABBN Data Code System," IPPE Report No. 9865, Obninsk, 1998.
- [6] I. D. V. Gorbalkov and V. P. Kryuchkov, "SADCO-2: A Modular Code System for Generating Coupled Nuclear Data Libraries to Provide High-Energy Particle Transport Calculation by Multigroup Methods," Nucl. Instr. & Meth. in Phys. Res., Vol.A372, p.297, 1996.