

사용후핵연료 수송저장용기 개발 차폐체 성능평가

전중선, 추주영, 이상현, 이상철, 장미숙, 한병섭

(주)에네시스, 대전시 유성구 구암동 328번지

nunkijs@gmail.com

1. 서론

사용후핵연료 수송용기 개발과제의 경우, 사용후핵연료 수송용기의 구조적 특성에 주안점을 두고 있으며 적극적인 소재개발은 미약하였다. 또한 해외 선진국들이 기술선점을 위해 광범위한 국내 특허 출원으로 수송저장용기 국산화에 상당부분 제약이 있다. 수송저장용기 차폐체 신소재 개발을 통하여 사용후핵연료 운반관련 법규에 적합한 차폐체 제작, 차폐체의 성능향상, 선진국의 특허 회피 및 수출 상품성 확보가 요구된다. 특허 회피 물질 선정에 대한 선행특허 조사를 수행한 특허 분석 결과, 붕소화합물과 에폭시 수지를 기반으로 차폐물성을 변형하여 새로운 형태의 고분자 복합 차폐체를 제작하였다. 차폐체의 열적/구조적 건전성 및 차폐평가를 수행하여 새로운 형태의 고분자 차폐체가 수송용기의 차폐체로 적합한지 타당성을 확인하였다.

2. 본론

2.1 차폐체 물질선정

중성자 흡수제를 포함한 금속/금속합금 차폐체는 사용후핵연료에서 방출되는 방사선 차폐 뿐만 아니라 수송저장 용기의 구조재 역할을 동시에 수행할 수 있는 장점이 있으나 금속 용융 및 구조 등을 실험실에서 실시하기에는 어려움이 따르므로 실험실에서 실험하기 용이한 차폐체로서 고분자 물질을 선정하였다. 또한 고분자 물질은 분자 구조에 수소원자수 밀도가 높으며, 사용후핵연료에서 방출되는 고속중성자는 거의 같은 질량의 수소원자와의 충돌에 의하여 에너지가 흡수되면서 효과적으로 감속되기 때문에 수소원자수밀도가 높은 고분자 물질이 차폐체에 적합하다. 가공성 및 전도율 등의 우수한 물성을 가지는 구리금속을 첨가제로 사용하여 제작한 차폐체의 차폐율과 물리적 성능을 평가하였고 복합 차폐체의 특장점을 확인하였다.

2.2 차폐체 제작

시편의 차폐능 및 다양한 물성 분석을 위하여 가로, 세로 10*10 cm의 성형틀에 첨가금속을 두께별로 배치하였고 시편 제작시간을 최소화하고 균질하게 제작하기 위해 에폭시와 첨가제를 고르게 혼합하고 경화제를 마지막 단계에서 혼합하였다. 에폭시 배합물을 성형틀에 천천히 첨가하여 첨가금속의 기포발생을 최소화시켜 에폭시 배합물을 혼합하였으며 기포발생량을 최소화하기 위해 상온에서 1시간 방치하여 1차 경화하였고 오븐에서 40℃, 3시간 정도 가열하여 2차 경화하였다. 첨가금속의 크기에 따라 시편 두께별로(1, 2, 3 cm) 3가지 세트로 제작하였다.

2.3 차폐체 특성시험

2.3.1. 에폭시 차폐체 열안전성 평가

열안전성 평가는 온도변화에 따른 시료의 무게변화를 측정하여 분석하는 방법인 열중량분석기(Thermogravimetric analysis, TGA)로 평가한다. TGA에 의한 온도-무게 변화량의 곡선으로부터 시료의 열변화 상태를 알고 정성 및 정량 분석을 가능하게 한다.

Mettler-Toledo 모델의 TGA 기기를 사용하여 분석하였으며, 비활성 가스인 질소 분위기에서 온도를 상온에서 700℃까지 분당 10℃로 승온시킨다.

Table 1. Mass change temperature for thermal stability evaluation.

	5% mass change Temp.(℃)	10% mass change Temp.(℃)
Epoxy	140.0	336.0
Epoxy+B4C	138.7	336.0
E p o x y modified	264.0	341.3

2.3.2. 에폭시 차폐체 차폐 평가

중성자 차폐 평가는 자발핵분열물질 252-Cf

선원을 사용하여 개발한 차폐체에 대해서 성능평가를 하였다. 차폐평가는 한국원자력연구원 방사선/능 계측기교정분야 고정 표준실에 있는 252-Cf 선원과 중성자 선량 당량계 (NRC, NP-2)를 사용하였다. 시험방법은 중성자선원 252-Cf과 중성자 선량 당량계 사이에 개발한 차폐체가 있을 경우(C_i)와 없을 경우(C₀)의 측정 선량율값의 비로 중성자선원에 대한 감쇄율 (C_i/C₀)을 결정하였다.

20mm 시편두께 기준으로 탄화붕소 함유한 에폭시 수지의 감쇄율은 65.7%이고 100% 에폭시 수지제작된 차폐체의 중성자 감쇄율 66.0%이고 탄화붕소 함유한 에폭시 수지 차폐율이 기존 에폭시 수지보다 0.3%로 가량 높았다. 다양한 종류의 차폐체 실험결과를 표 2 및 그림 1와 같이 시료 종류별, 두께별로 일정한 선형의 차폐율을 보인다.

Table 2. Results of neutron shielding experiment.

	Dose rate C ₀ (mSv/h)	Dose rate C _i (mSv/h)	Attenuation rate C _i /C ₀ (%)	Shielding rate (%)
Epoxy	1644.6	1085.2	66.0	34.0
Epoxy+B4C	1644.6	1081.2	65.7	34.3
Epoxy+ L Metal 2cm	1644.6	1062.4	64.6	35.4
Epoxy+ M Metal 2cm	1644.6	1054.3	64.1	35.9
Epoxy+ S Metal 2cm	1644.6	1057.9	64.3	35.7

- 252Cf 중성자 선원과 대상시료 간의 거리 : 10 cm
- 차폐 대상시료와 중성자 선량당량계간의 거리: 40 cm
- 252Cf 중성자 선원과 중성자 계측기간의 거리: 50 cm

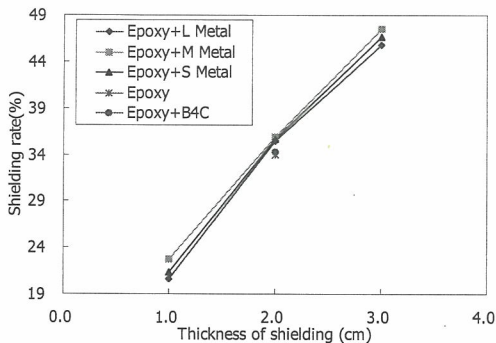


Fig. 1. Shielding evaluation according to metals and thickness of shielding material.

3. 결론

일정한 두께를 갖는 시편간의 차폐율을 비교하여 보았다. 첨가제가 들어가지 않은 기본 에폭시 시편에 비해 첨가제가 들어가 시편이 차폐율이 높았으며 첨가금속 형태에 따라 미세한 차폐율 변화를 확인하였다. 차폐체 재료 밀도(첨가금속의 밀도)에 영향을 받는 것으로 판단된다. 차폐성능으로만 평가하면 첨가금속의 다양한 기공크기에 변화에도 차폐율이 일정하게 나오므로 작업성이 우수한 첨가금속을 선정하여 차폐체를 제작하는 것이 유리하다.

본 연구에서는 중성자 흡수단면적이 커서 중성자 흡수재로 사용빈도가 높은 탄화붕소 및 열안전성 향상 및 재질의 연성 등의 목적으로 첨가금속 함량을 변화하여 에폭시 차폐체를 제조하여 열안전성(TGA), 열전도율, 물리적 특성 및 중성자 차폐 실험을 수행하였다. TGA 분석 결과 제조한 차폐체 시료 모두 초기 무게의 90%에 해당되는 온도가 330℃ 이상으로 열적으로 안정함을 보였고, 중성자 차폐 분석 결과 100% 에폭시로 제작된 차폐체가 감쇄율은 66%였고 그 외 첨가물로 제조된 차폐체의 감쇄율은 64%로 차폐성능이 향상되었다.

4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부 기술혁신사업 중 방사성 폐기물관리기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다. (No. 2010T00100839)

5. 참고문헌

- [1] Korean Journal of materials Research Nuclear, Vol.8, No.5, pp.457-463, 1998.
- [2] Evaluation of Effect of Fuel Assembly Loading Patterns on Thermal and Shielding performance of a spent Fuel Storage/Transportation Cask., PNNL-13583, 2001.