

난연성이 향상된 전자선 가교 고분자 복합 방사선 차폐재

서덕봉, 신범식, 김재우, 강필현, 서창의*, 김광주*, 김형원*

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

*국방과학연구소, 대전시 조치원길 462

scodb71@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력 산업이나 방사선 관련 분야의 산업에 있어서 작업자와 작업환경을 유해한 방사선으로부터 보호하기 위해서는 적절한 차폐가 필요하다. 일반적으로 중성자 차폐는 수소원소 함량이 높고 고밀도 폴리에틸렌, 에폭시, 폴리우레탄 등 고분자 수지에 보론이나 리튬, 가돌리늄과 같은 감속된 열중성자를 흡수하기 위한 물질(입자)을 혼합하여 사용할 수 있다. 경우에 따라서는 중성자 핵반응에 의해 생성되는 2차 감마선을 차폐하기 위해 납, 철, 텅스텐과 같은 고밀도 금속입자를 동시에 혼합하여 사용할 수 있다. 그러나 이러한 고분자 기반의 복합재들은 자기소화성이 없어 화재에 매우 취약한 단점이 있다[1-3]. 본 연구에서는 이러한 고분자 복합재 기반의 방사선 차폐재의 난연성을 향상하기 위해 기존에 사용되는 난연제를 사용하지 않고 일반적인 가교제와 전자선 가교를 이용하여 난연성을 자기소화성 이상으로 향상하였고, 동시에 인장강도와 같은 기계적 물성을 향상하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 중성자와 감마선을 동시에 차폐하기 위해 보론화합물(B₂O₃)과 산화납(PbO)을 동시에 함유한 고분자 복합재 기반 차폐재를 제조하였다. 고분자 수지로는 HDPE (High Density Polyethylene)과 EPM (Ethylene Propylene Monomer)를 3:7의 중량비로 사용하였다. 고분자 수지의 혼련 시 추가적으로 고분자 가교를 위해 가교제인 TAC(Triallyl Cyanurate)를 다양한 중량비로 혼련하였고 전자선 가교를 추가적으로 실시하여 비교 평가하였다. 고분자 복합재를 제조하기 위해 고분자 및 방사선 차폐입자를 정량 비율로 투입할 수 있는 이축압출기를 사용하였다. 전자선 가교(정읍방사선연구소에서 실시)는 다양한

선량으로 조사하여 방사선량에 따른 방사선 차폐재의 기계적 물성 및 난연성 영향을 평가하였다.

3. 실험결과

HDPE와 EPM을 3:7의 중량비로 혼련한 고분자 수지를 전자빔 선량에 따라 조사하였을 경우 자기소화성을 나타내는 산소한계지수(LOI: Limit Oxygen Index)를 Fig.1에 나타내었다. 150 kGy의 선량으로 조사한 경우, 조사하지 않은 경우와 비교하여 약 10% 이상의 LOI 향상을 보이고 있으나 자기소화성을 나타내는 기준인 LOI(=21)에는 미치지 못하였다. Fig. 2의 경우는 가교제를 다양한 중량비로 혼련하여 고분자 수지를 제조한 후 전자빔 조사 후에 측정된 LOI 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 가교제를 1 wt% 이상 추가한 경우 LOI가 21 이상으로 측정되어 자기 소화성을 가질 수 있음을 확인하였다.

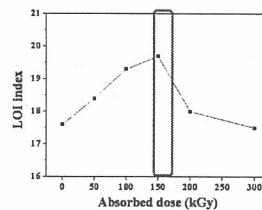


Fig. 1. 고분자 수지(HDPE:EPM=3:7)의 전자빔 조사선량에 따른 LOI 평가그래프.

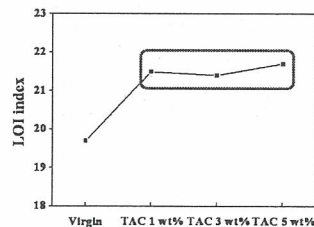


Fig. 2. 150 kGy 전자빔 조사된 고분자 수지(HDPE:EPM=3:7)의 TAC 가교제에 따른 LOI 평가그래프.

이러한 고분자 수지의 제조 조건을 바탕으로 Table 1과 같이 감마선 차폐를 위한 PbO와 열중성자 흡수를 위한 B₂O₃를 다양한 중량비로 혼합하여 고분자 복합재를 제조하였다.

Table 1. 고분자 복합재 제조조건.

Sample	TAC (wt%)	PbO (wt%)	B ₂ O ₃ (wt%)	LOI (%)	E beam
A	0	0	0	19.0	150 kGy 전자빔 가교
B		2.5	2.5	19.1	
C		5.0	5.0	18.7	
D		7.5	7.5	19.5	
E		7.5	0	19.4	
F		15.0	0	20.7	
G	1	0	0	21.2	
H		0	7.5	22.1	
I		0	15.0	20.9	

Fig. 3과 Fig.4는 상기 표에 따라 제조된 고분자 복합재의 LOI를 평가한 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 TAC가 첨가되지 않은 경우에는 모든 조건에서 자기소화성을 가지지 못하는 것으로 평가되었으나, TAC를 추가한 경우 자기소화성을 가질 수 있는 것으로 평가되어 전자빔과 가교제를 이용하여 추가적인 난연제 없이 자기소화성을 보유하고 있는 방사선 차폐재의 제조가 가능한 것으로 판단된다.

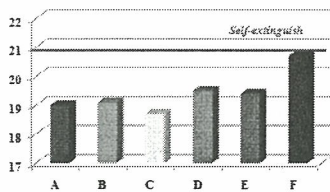


Fig. 3. TAC 가교제가 없이 전자선 가교만을 이용하여 제조된 방사선 차폐재의 LOI 평가 그래프.

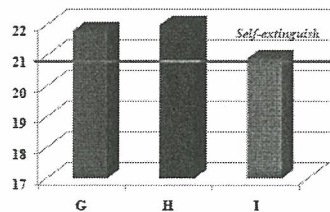


Fig. 4. TAC 가교제와 전자빔 경화(150 kGy)를 동시에 사용한 방사선 차폐재의 LOI 평가 그래프.

상기의 다양한 조건에서 제조된 방사선 차폐재의 인장강도를 Fig. 5에 나타내었다. 그래프에서

알 수 있듯이 차폐재의 전자선 가교를 통해 TAC 가교제가 추가된 경우와 추가되지 않은 모두의 경우에서 인장강도가 크게 향상됨을 알 수 있다.

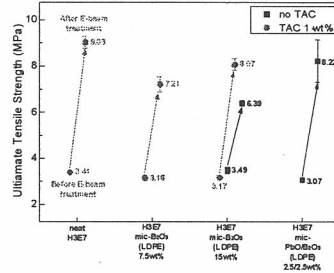


Fig. 5. 전자빔 조사에 따른 차폐재의 기계적 물성향상 그래프.

4. 결론

본 연구를 통해 추가적으로 난연제를 사용하지 않고 소량의 가교제와 전자빔 조사를 통해 자기소화성 이상의 난연성을 가지는 방사선 차폐재의 제조가 가능함을 확인하였다.

5. 감사의 글

본 연구는 방위사업청에서 주관하는 국방핵심응용기술 사업(ADD contract No. UC080023GD)의 지원으로 수행되었습니다.

6. 참고문헌

[1] Fabienne Samyn et al., European Polymer Journal, 44, pp.1631-1641, 2008.
 [2] Fabienne Samyn et. at., Polymer Degradation and Stability, 93, pp.2019-2024, 2008.
 [3] S. Bourbigot et al., Flammability Handbook, Munich: Hanser Verlag, p.3, 2003.