

초음파 처리를 이용한 에폭시 중성자 차폐재 물성향상

김현진, 김재우, 서딕봉, 이준형, 박성한*

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

*(주)엔바이로코리아, 대전시 유성구 용산동 528

skykhj@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력산업을 비롯한 가속기, 의료 및 우주산업은 방사선 차폐효율이 우수하며 동시에 경량이면서 높은 방사선 저항구조를 가지는 재료들을 필요로 하고 있다 [1,2]. 특히 원자력산업에 있어서 사용후핵연료 수송-저장용기, 저장시설 등은 중성자의 효율적인 차폐 및 흡수를 통한 임계조절이 필수적이다. 일반적으로 중성자를 차폐하기 위해서는 수소함량이 높은 물이나 고분자에 열중성자를 흡수할 수 있는 보론화합물 등 중성자흡수단면적이 높은 입자를 혼합하여 사용하고 있다. 특히 사용후핵연료 수송용기같이 물을 사용하기 어려운 환경에서는 고분자 기반의 중성자 차폐재가 사용되고 있는데 근래에는 에폭시 복합재가 특유의 난연성, 기계적 물성으로 인해 주류를 이루고 있다. 이러한 중성자 차폐재의 물성을 결정하는 여러 가지 요인 중에, 에폭시 수지에 혼합되는 보론화합물(B₄C), 납화합물(PbO), 및 난연제 등 입자들의 에폭시 수지와와의 계면에서의 결합 정도는 매우 중요하다 [3]. 본 연구에서는 에폭시 복합재의 물성을 향상하기 위해 초음파를 이용하여 혼합되는 산화납의 표면을 처리하여 에폭시 수지와의 계면접착성을 향상하였다. 또한 산화납의 입도에 따른 에폭시 복합재의 물성을 동일한 조건에서 평가하여 초음파 처리의 유용성을 확인하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 에폭시 수지는 수소 수밀도(number density)가 높은 HBPA(Hydrogenated Bisphenol A, ST-3000) 타입과 일반적으로 많이 쓰이는 BPA(Bisphenol A, YD-127) 타입을 혼련하여 사용하였고, 경화제도 마찬가지로 수소의 함량이 높고 점도가 낮은 폴리아민계열(KH-816)을 사용하였다. 에폭시 수지 ST-3000과 YD-127을 60:40 중량비로, 경화제를 55 phr로 조성하였다. 산화납을 경화제에 주어진 농도로 혼합한 후 초음파 혼

을 직접 혼합물에 침지시켜 20분간 직접적으로 산화납의 표면을 경화제 분자로 반데르발스 결합을 유도하였다. 경화제로 표면처리된 산화납 분말을 에폭시 믹서 (Dispermat, Germany)를 이용하여 65 ~ 70 rpm으로 15분간 혼합하였다. 에폭시 혼합물을 ASTM D-638 규격의 인장시험 몰드에서 60 °C, 20시간 동안 경화하였다. 분말 및 에폭시 복합재 시편들은 각각 XRD, BET, SEM, 및 인장시험기 등을 이용하여 분석하였다.

또한 본 연구에서는 산화납의 입도에 따른 에폭시 복합재의 물성을 비교하기 위해 평균 입도가 ~5 μm인 상용 산화납을 기본 소재로 사용하였고, 물성 비교를 위해 고에너지 볼밀장치를 이용하여 평균 입도가 ~300 nm인 볼밀된 산화납을 제조하였다. 산화납을 공기 1기압에서 600 rpm으로 1시간 동안 볼밀링하였고, 밀링볼은 직경이 5 mm인 stainless steel ball을 사용하였다. 이때 볼과 분말의 비율(BPR)은 10:1로 하였다.

3. 실험결과

Fig.1에 나타낸 SEM 사진에 의하면 (a) initial PbO의 경우 결정성을 가지는 평균 ~5 μm의 크기의 입자상을 보여주고 있으며, 밀링 과정을 통해 (b) Ball milled PbO의 경우, 평균입도가 ~300 nm인 응집된 형태의 분말들이 제조되었다.

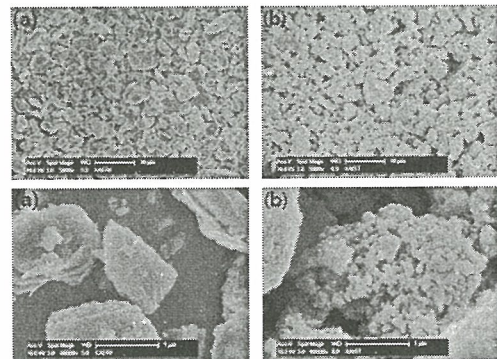


Fig. 1. SEM images (a) initial PbO (b) Ball milled PbO.

Fig. 2는 밀링 전후의 PbO 분말의 XRD 스펙트럼을 보여주고 있다. 밀링 전후로 스펙트럼이 변화하였는데 초기 PbO 분말의 Rhombohedral 결정구조가 밀링 후 Tetragonal 결정구조로 변화한 것을 알 수 있다. 또한 밀링 후 피크의 FWHM (Full Width Half Maximum)이 넓어진 것을 알 수 있는데 이는 밀링이 결과로 입자의 크기가 작아졌기 때문인 것으로 판단된다.

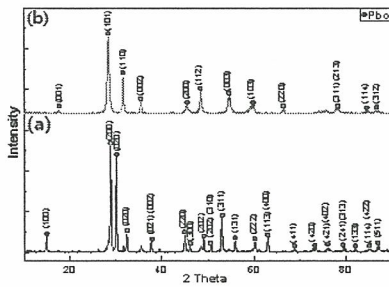


Fig. 2. XRD spectrums of (a) initial PbO (b) ball milled PbO.

Table 1은 산화납이 10 wt% 포함된 에폭시-PbO 복합재의 인장시험 결과를 보여주고 있다. 초음파 처리 후 복합재의 인장강도는 ~10%, 연신율은 ~50% 이상 향상된 것을 알 수 있다. 이는 경화제에 혼합된 PbO 분말들이 초음파 처리를 통해 표면처리가 되어 에폭시 수지와와의 계면접착성이 증가한 결과로 판단된다.

Table 1. Tensile test of 10 wt% PbO dispersed epoxy composites.

w/o ultrasonic treatment	인장강도 (Mpa)	연신율 (%)
평균	41.989	13.840
표준편차	1.291	0.504
w/ ultrasonic treatment	인장강도 (Mpa)	연신율 (%)
평균값	45.989	20.838
표준편차	0.973	2.573

Table 2는 산화납이 10 wt% 포함된 에폭시-PbO 복합재의 압축시험 결과를 보여주고 있다. 초음파 처리 후 복합재의 압축강도는 ~40%, 연신율은 ~6% 이상 향상된 것을 알 수 있다. 인장강도의 경우와 마찬가지로 경화제에 혼합된 PbO 분말들이 초음파 처리를 통해 표면처리가 되어 에

폭시 수지와와의 계면접착성이 증가한 결과로 판단된다.

Table 2. Compression yields test of 10 wt% PbO dispersed epoxy composites.

w/o ultrasonic treatment	압축강도 (Mpa)	압축율 (%)
평균	108.592	56.677
표준편차	3.865	2.565
w/ ultrasonic treatment	압축강도 (Mpa)	압축율 (%)
평균	154.670	59.269
표준편차	2.382	0.766

3. 결론

본 연구에서는 에폭시 복합재 기반의 증성사 차폐재 제조에 있어서, 방사선 차폐입자인 PbO를 경화제에 혼합한 후 직접 초음파 처리를 통해 에폭시 복합재 내 입자의 계면 접착성을 향상시켜 결과적으로 에폭시 복합재의 인장강도 및 압축강도와 같은 기계적 물성을 향상할 수 있음을 확인하였다. PbO의 표면이 경화제 분자로 표면처리된 것은 화학적 결합보다는 반데르발스 결합의 결과로 인식되고 있다 [3]. PbO의 입도와 초음파 표면처리에 따른 물성도 동일한 과정으로 향상되었다.

4. 감사의 글

본 연구는 지경부 방사성폐기물관리기술개발사업의 재정적 지원으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] A. El-sayed Abdo et al. Radiat. Phys, Chem., 66, pp.185, 2003.
 [2] V. Harish et al., J. Appl. Polym. Sci. 117, pp.3623, 2010.
 [3] J. Jeon et al., J. Nucl. Mater., 416, pp293, 2011.