

CIM 기술로 제조한 1-3 형 압전복합체의 물성 평가

Material Properties Evaluation of 1-3 type Piezo-composite Fabricated with CIM Technology

임종인† · 신호용* · 김종호* · 임수진*

J.I. IM, S.Y. SHIN, J.H. KIM and S.J. LIM

Key Words : 1-3 type Piezo-composite, FEM, CIM.

ABSTRACT

Generally the piezo-composites have superior hydrostatic response characteristics than PZT ceramics due to both the stress amplification effect in axial direction and stress reduction effects in radial direction. This paper described material properties of a 1-3 type piezo-composite that fabricated with ceramic injection molding (CIM) technology. The electro-mechanical performances of the composite have been analyzed using FEM and the physical properties of the composite have been measured with the vol. % of the PZT ceramics. Based on the results, the k_t increased rapidly as the vol. % of the PZT ceramics increased up to 30 vol. % and saturated the constant value in the above region. Also the experimental results have good agreement with the simulation values of the composite. Finally we developed the composites having high piezoelectric properties than the PZT ceramics with the CIM technology.

1. 서 론

압전복합체는 PZT 계 압전세라믹에 비해 상대적으로 낮은 음향임피던스 특성을 보유하고 있어 음향신호에 대한 정합성이 우수하고, 광대역화가 가능하여 초음파 송 수신센서용 핵심 재료로 많이 사용되고 있다.

압전복합체는 압전세라믹과 매트릭스 폴리머의 결합 형태에 따라 따라 다양한 구조가 가능하고, Fig. 1 과 같이 폴리머 매트릭스에 PZT 기둥이 선형 배열된 1-3 형 압전복합체는 PZT 계 세라믹에 비하여 두께 방향 전기기계 결합계수가 높고, 낮은 음향임피던스 특성을 갖는다⁽¹⁻⁵⁾.

일반적으로 많이 이용하고 있는 배열(Array) 혹은 가공-충진(Dice and fill) 방식으로 제조할 경우, 복합체의 압전특성이 불균일하고, 대형 사이즈의 복합체를 제조하기 어렵다. 최근 이와 같은

제조상의 단점을 해결하고자 CIM 및 Softmold 법 등 다양한 제조공정에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 CIM 공정을 이용하여 다양한 압전세라믹의 다양한 부피비를 갖는 1-3 형 복합체를 제작하고자 하였다. 또한 CIM 으로 제조한 복합체의 물성을 FEM 해석치와 비교하여 높은 압전특성을 갖는 1-3 형 압전복합체를 개발하고자 하였다.

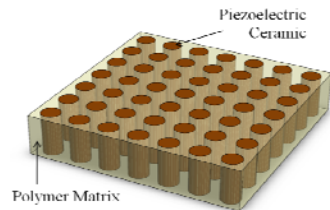


Fig. 1. Structure of a 1-3 type piezo-composite.

2. 2 실험방법

2.1 압전복합체의 특성해석

1-3형 복합체의 압전특성을 해석하기 위하여 Fig. 1에 나타난 복합체 형상을 상용 프로그램

† 교신저자; 임종인, 한국세라믹기술원(KICET)

E-mail : jongin@kicet.re.kr

Tel : 02-3282-2491, Fax : 02-3282-7801

* 한국세라믹기술원(KICET)

인 PZflex (Weidlinger Associates Inc.)로 모델링하고, 다양한 진동모드에 대한 복합체의 임피던스 특성을 분석하였다. 여기에 사용된 압전세라믹은 PZT-5A이고, 매트릭스 폴리머로는 세가지 재료를 사용하였다. 그리고 압전 재료의 부피 비는 5%부터 95%까지 변화시키며 다양한 모드의 FEM해석을 통하여 1-3형 압전복합체의 압전상수를 분석하였다.

2.2 압전복합체의 제작

CIM기술을 이용한 1-3형 압전복합체 제조공정은 Fig. 2.에 나타난 바와 같이, 세라믹 프리폼 제조공정과 1-3형 압전복합체 제조공정으로 나누어 진다.

세라믹 프리폼 제조공정은 CIM 기술을 이용하여 PZT 계 세라믹의 기둥 및 기초 배열형상을 미리 제조하는 공정을 의미한다. 이 공정은 사출용 재료인 피드스탁 제조공정, 사출공정, 탈지공정, 소결공정 및 분극공정으로 구성된다. 그리고 PZT 프리폼을 제조하는 사출공정은 충전, 사출, 보압공정 등으로 구성된다.

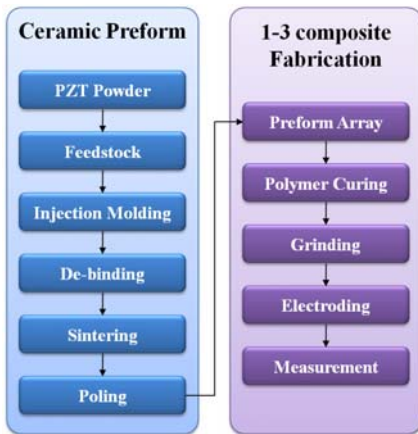


Fig. 2. Manufacturing process of the composite using the CIM.

본 연구에서는 PZT의 다양한 부피 비의 프리폼을 제작하기 위하여 여러 개의 금형을 제작하고, 핫런너 시스템 및 다이렉트 게이트를 적용하여 금형 배부의 압력 구배를 최소화 시켜 프리폼의 변형과 뒤틀림을 제거하였다. 또한 사출된 PZT 프리폼의 바인더 제거하고, 1250℃에서 1시간 열처리하여 소결을 실시하여 복합체용 PZT 프리폼을 제조하였다 (Fig.

3 참조).

Fig. 4는 CIM으로 제조된 PZT 프리폼을 이용하여 제조한 1-3형 압전복합체의 사진을 나타낸 것이다.

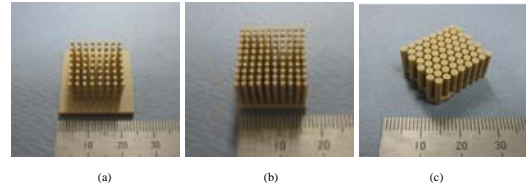


Fig. 3. Photographs of the PZT perform fabricated with the CIM : (a) 20 vol. %, (b) 40 vol. %, and (c) 60 vol. %.

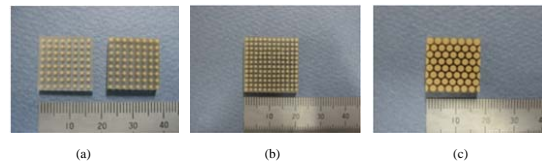


Fig. 4. Photographs of the composite : (a) 20 vol. %, (b) 40 vol. %, and (c) 60 vol. %.

3. 결과 및 고찰

3.1 FEM을 이용한 압전복합체의 물성 분석

본 연구에서 유한요소법으로 1-3형 압전복합체의 압전특성을 분석한 결과를 Fig. 5부터 Fig. 6까지 나타내었다. Fig. 5는 PZT-5A 부피 비의 증가에 따른 두께 진동 모드에 대한 압전복합체의 임피던스 특성을 분석한 것이다. Fig. 6.은 다양한 폴리머 매트릭스에 대한 PZT의 부피 비의 증가에 따른 결과이며, 결과에서 알 수 있듯이 증가함에 따라 복합체의 k_t 는 초기에 급격하게 증가하다가 35 ~40 vol.% 이상의 영역에서는 완만하게 증가하며 일정한 값으로 수렴한다. 그리고 PZT의 부피 비가 60 vol% 이상이 되면, k_t 는 다시 감소하는 경향성을 보이고 있다. 그리고 MP 및 HP 폴리머보다 상대적으로 유연한 SP 폴리머를 사용할 경우, 복합체는 전체적으로 우수한 k_t 특성을 지니고 있는 것으로 분석되었다. 이상의 결과는 Chand⁽⁶⁾이 분석한 결과와도 유사한 결과이다.

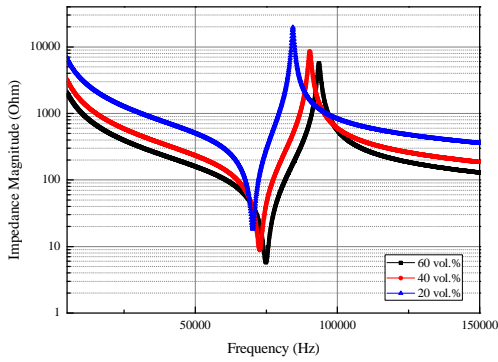


Fig. 5. Simulated electrical impedance characteristics of the composite with the vol. % of the PZT ceramics.

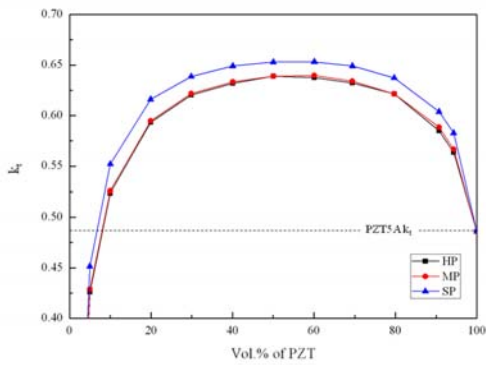


Fig. 6. The simulated k_t characteristics of the composite with the vol. % of the PZT ceramics.

3.2 CIM으로 제조한 압전복합체의 물성

CIM으로 제작된 압전복합체의 물성을 측정 하였으며, 이를 FEM으로 분석한 결과와 비교 하여 Fig. 7부터 Fig. 11까지 나타내었다.

Fig. 7 및 Fig. 8은 PZT 부피비가 증가함에 따라 복합체의 밀도 및 유전율 특성의 변화를 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이, 복합체의 밀도 및 유전율 특성은 PZT 부피비가 가 증가할수록 선형적으로 증가하고, 측정된 결과와 분석한 결과가 유사한 특성을 보이고 있다.

Fig. 9는 CIM으로 제조한 1-3형 압전복합체에 대한 전기적 임피던스 특성을 나타낸 것이고, Fig. 10은 PZT 부피비가 50%인 복합체의 임피던스 특성을 FEM 분석치와 비교하여 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이, PZT 부피비가 40% 및 60%인 두께모드의 경우, 복합체의 공진 및 반공진 주파수는 크게 변화하지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 10에서 알 수 있듯이, CIM으로 제조한 복합체의 임피

던스 특성이 FEM을 이용한 이론적 해석치와 잘 일치하고 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 11은 CIM으로 제조한 복합체의 두께모드 전기-기계 결합계수(k_t)특성을 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이, PZT 부피비가 10%부터 30%까지인 경우, FEM 분석결과가 측정치 보다 높게 나타났고, 40% 이상인 구간에서는 두 경우 모두 동일한 특성을 보이고 있다. 일반적으로 낮은 PZT 부피비 영역의 경우, 복합체 물성은 PZT의 중량비에 많은 영향을 받는 것으로 이론적으로 알려져 있다. 그러므로 측정 시편이 충분한 중량비를 확보하지 못한 것으로 판단되고, 낮은 부피비 영역에서 복합체의 k_t 특성이 FEM의 이론적 분석 결과보다 낮게 나온 것으로 사료된다⁽⁷⁾.

이상의 결과로부터 CIM기술을 이용하여 1-3형 압전복합체를 성공적으로 제조할 수 있었고, FEM의 이론적 분석결과와 비교 분석하여 우수한 압전특성을 보유한 1-3형 압전복합체를 개발할 수 있었다.

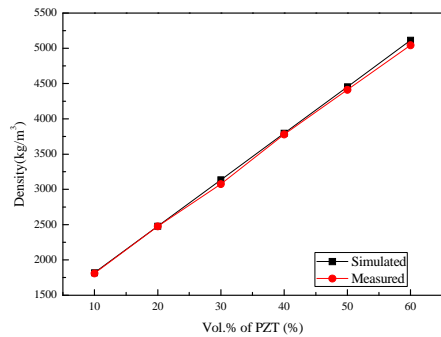


Fig. 7. Density characteristics of the composite with the vol. % of the PZT.

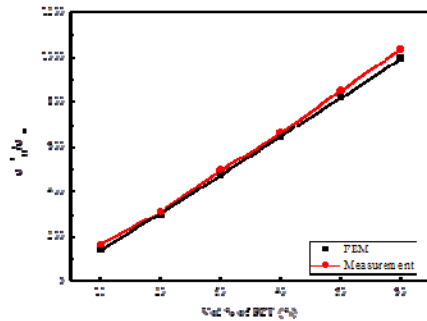


Fig. 8. Dielectric constants characteristics of the composite with the vol. % of the PZT.

4. 결론

본 연구에서 CIM 공정을 이용하여 다양한 PZT 부피비를 갖는 1-3형 압전복합체를 제조하였다. 또한 FEM을 이용하여 복합체의 압전 특성을 이론적으로 해석하고, 그리고 CIM으로 제조한 1-3형 복합체의 압전특성을 FEM의 이론적 분석치와 비교하여 그 타당성을 검증하였다. 그 결과, CIM기술을 이용하여 1-3형 압전복합체를 성공적으로 제조할 수 있었고, FEM의 이론적 분석결과와 비교 분석하여 우수한 압전특성을 보유한 1-3형 압전복합체를 개발할 수 있었다.

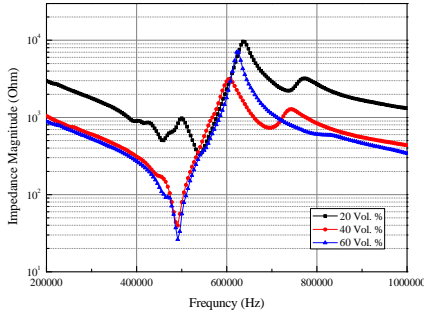


Fig. 9. Measured Z characteristics of the composite with the vol. % of PZT ceramics.

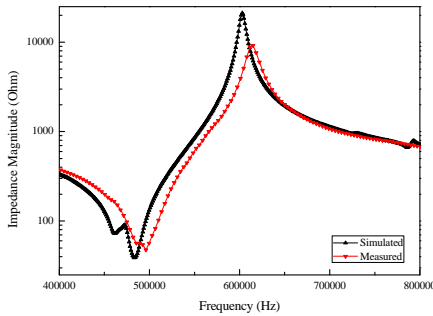


Fig.10. Z characteristics of the composite having the 50 vol.% of PZT ceramics.

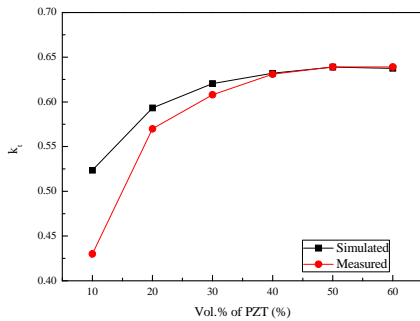


Fig. 11. K_t characteristics of the composite with the vol.% of the PZT.

참고 문헌

- (1) R. E. Newnham, D. P. Skinner, and L. E. Cross, 1978, Connectivity and piezoelectric-pyro-electric composites, *Mat. Res. Bull.*, 13(5), pp. 525-536.
- (2) R.E. Newnham, L.J. Bowen, K.A. Klicker, L.E. Cross, 1980, Composite Piezoelectric Transducers, *Materials in Engineering*, 2(2), pp. 93-106.
- (4) W. A. Smith, 1989, The Role of Piezocomposites in Ultrasound Transducers, *Proc. Ultrasonics Symp.*, 2, pp. 755-766.
- (5) Fiore, D. Gentilman, R. Pham, H. Serwatka, W. McGuire, and P. Bowen, 1996, Recent developments in 1-3 piezocomposite transducer fabrication, *Proc. IEEE Applications of Ferroelectrics Symp.*,1, pp. 531-534.
- (6) H.L.W. Chan and J. Unsworth, 1989, Simple model for piezoelectric ceramic/polymer 1-3 composites used in ultrasonic transducer applications, *IEEE Trans. Ultra. Ferro. Freq. Cntr.* 36(40), pp. 434-441.
- (7) A. Gachagan and G. Hayward, 1998, Improving the bandwidth of 1-3 connectivity composite receivers using mode coupling, *J. Acoust. Soc. Am.*, 130(60), 3344-3352.