

인공근육형 유전성 탄성체-점토 구동기의 생체모사환경에서 응용가능성 평가

Evaluation of applicability of dielectric elastomer-clay composite artificial muscle type actuator in the human-simulated environment

*배지훈¹, #장승환¹, Hassan Mehboob¹, 이한영¹

*J. H. Bae¹, #S. H. Chang(phigs4@cau.ac.kr)¹, Hassan Mehboob¹, H. Y. Lee¹

¹중앙대학교 기계공학부

Key words : Nanoclays, Smart materials, Mechanical properties, Creep

1. 서론

전기활성 고분자 (Electroactive Polymer; EAP)는 전기적 자극에 반응하여 큰 변형률(수%~수백%)을 발생시키고, 반대로 변위를 가하면 순간적인 전압을 발생시키는 스마트 재료이다. 단지 주어진 환경 변화에 수동적으로 건디는 기존의 재료들의 한계를 넘어서 EAP와 같은 스마트 재료는 생물체처럼 능동적으로 환경에 반응한다는 점에서 인공근육(Artificial muscles)이라고 부르기도 하며, 다양한 기계 시스템에서부터 의·공학적 치료기술에 이르기 까지 진화된 요구를 만족시킬 수 있는 대안적 재료로 부각되고 있다. 특히 실리콘과 아크릴 계열의 유전성 탄성중합체(Dielectric elastomer)은 EAP재료 중 활용성과 발전 가능성이 많아 다양한 분야에서 활용하게 연구가 진행되고 있다[1].

고분자에 충전제(Filler)를 첨가한 복합재료는 기계적 또는 전기적 특성 등이 향상된다는 점에서 활발히 연구되고 있다. 다양한 충전제 중에 특히, 중형비가 큰 판상구조의 점토(Clay)를 이용하여 복합재료를 제조하는 경우, 점토와 고분자간 접촉면적이 넓어져 충전효과가 커진다. 따라서 점토를 이용한 고분자 복합재료는 기존 복합재료에 비해 적은 양의 충전제를 사용하여 인성(Toughness)을 저하시키지 않는 동시에 높은 인장강도, 영률, 치수안정성, 그리고 내열성 등을 향상시킨다.

본 연구에서는 실리콘-유기변성점토 복합재료를 이용하여 제작된 센서 혹은 구동기가 생체 내에서 본연의 특성을 잃지 않고 응용목적과 기대를 충족시켜 줄 수 있는지 그 가능성을 미리 점검해보기 위해 유기변성점토의 첨가량(0%, 2%, 5%)에 따른 실리콘-유기변성점토 복합재료를 생체모사환경인

30°C 물속에 최대 4주 동안 노출시켰다. 그 후, 인장과 크리프 시험을 실시하여 실리콘-유기변성점토 복합재료의 기초적인 기계적 특성 변화를 평가하였다.

2. 실험

2.1 재료

액상 실리콘과 경화제 그리고 유기변성점토(Organo-clay montmorillinite; OMMT)를 사용하였다. 그리고 용제 Tetrahydrofuran를 사용했다.

2.2 시편제작

OMMT의 첨가량(0, 2, 5%)에 따라 실리콘-OMMT 복합재료를 용액치윤법을 이용하여 제작하였으며, 그 과정은 다음과 같다. (1)실리콘, OMMT(0, 2, 5%), 그리고 용제를 상온에서 2시간 동안 1000rpm으로 섞어주어 용액을 제조한다. (2)제조한 용액에 경화제 첨가한 후 10분간 섞어준다. (3)ASTM D412-06a에서 제시한 시편형상에 맞게 제작된 시편 금형에 용액을 부어준 후 10시간 동안 상온에서 경화시킨다.

2.3 기계적 물성특성평가

인장시험에 사용된 시편은 수분노출시간(0, 2, 4주)별로 각각 5개씩 사용됐다. 표준실험규격(인장시험: ASTM D412-06a, 크리프시험: ASTM D2990-09)에 따라 만능시험기와 환경챔버를 이용하여 인장 및 크리프시험을 실시하였다. 크리프 시험에서의 하중조건은 수분을 흡수하지 않고 OMMT입자가 첨가되지 않은 시편의 인장시험으로부터 얻은 응력-변형률선도로 부터 1MPa, 1.5MPa, 그리고 2MPa로 결정하여 10,000초 동안 실시하였다.

3. 결과

3.1 수분흡수에 따른 실리콘-OMMT 복합재료의 기계적 특성

OMMT의 첨가로 인해 실리콘-OMMT 복합재료의 영률과 인장강도가 향상됐고 OMMT 첨가량이 증가할수록 취성이 강해졌다. 수분노출 시간이 증가할수록 영률(변형률 5-10%구간)은 증가하지만 (Fig. 1) 강도와 변형률은 감소되었다. 판상 구조를 갖고 있는 OMMT를 이용하여 복합재료를 제조하는 경우, 삽입형 또는 박리형구조의 분산 상태를 전제로 OMMT와 고분자간 접촉면적이 넓어져 충전 효과가 기존 복합재료에 비해 훨씬 커진다[2]. 또한 OMMT 층 사이에 고분자 사슬이 삽입되어 서로 간의 상호작용 즉, 전기음성도가 큰 실리콘의 산소(O) 원자와 OMMT의 메틸(Methyl)그룹간의 결합으로 인해 실리콘-OMMT 복합재료의 영률과 인장강도를 증가시켰다. 반면 OMMT첨가로 인해 복합재료의 변형률은 감소하였다. 복합재료 내 점도입자로 인한 고분자 사슬의 움직임이 제한되면 기계적 물성을 향상시킨다.

수분흡수량이 증가함에 따라 OMMT첨가 유무에 상관없이 시편의 강도와 변형률이 감소했다. 이는 수분이 고분자 기지 내의 미세균열 혹은 빈 공간 같은 결점의 악화, 불균일한 응력전달, 그리고 그에 따른 응력집중현상을 발생시켰기 때문이며[3], 특히, 복합재료의 경우 인장하중이 작용할 때 수분흡수로 인해 실리콘-OMMT계면의 물성저하가 발생했기 때문이라고 판단된다.

3.2 생체모사환경에서 실리콘-OMMT 복합재료의 크리프 특성

수분노출 시간에 관계없이 복합재료 내 OMMT 첨가량이 많을수록 크리프 변형률이 작았다. 앞에서 언급했듯이, 소량의 OMMT의 첨가에도 불구하고 복합재료의 기계적 특성, 특히 영률이 향상되어 외부응력에 의한 변형의 저항력이 강해졌기 때문이다.

4. 결론

인장시험 결과 OMMT입자 첨가로 인해 복합재료의 영률과 인장강도가 향상됐고 첨가량에 비례하여 취성이 강해졌다. 수분노출시간에 따라 실리콘-OMMT 복합재료의 영률은 증가한 반면, 인장강도와 변형률은 감소하였다.

크리프시험 결과, 수분노출 시간에 상관없이 복합재료내 OMMT 첨가량이 많을수록 크리프 변형률이 작았다. 실리콘-OMMT0%와 2%의 경우에 크리프 한도는 1~1.5MPa이고 실리콘-OMMT5% 복합재료의 크리프 한도는 1.5~2MPa 범위에서 갖는다고 판단된다. 이는 실리콘-OMMT 센서 혹은 구동기의 내구성과 신뢰성향상을 위한 설계에 도움이 될 것이다.

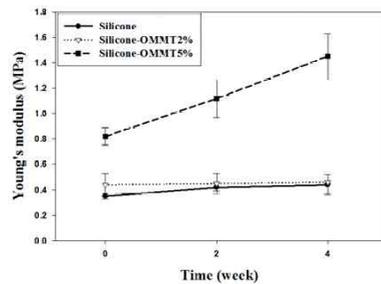


Fig. 1 Tensile test results according to water exposure time; Young's modulus (strain from 5 to 10%)

후기

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 한국연구재단에서 부여한 과제번호 : 2012R1A1A2041883)

참고문헌

1. Ron P, Roy K, Qibing P, and Jose J. "High-speed electrically actuated elastomers with strain greater than 100%", Science Magazine, **287**, 836-839, 2000.
2. LeBaron PC, Wang Z, and Pinnavaia TJ. "Polymer-layered silicate nanocomposites: an overview", Appl Clay Sci, **15**, 11-29, 1999.
3. Ladhari A, Ben Daly H, Belhadjalah H, Cole KC, and Denault J. "Investigation of water absorption in clay-reinforced polypropylene nanocomposites", Polym Degrad Stabil, **95**, 429-439, 2010.