

뼈와 유사한 생체복합재료의 이방성 유효탄성계수에 대한 수치해석

Numerical Analysis of Effective Anisotropic Elastic Constants of Bone-like Composites

*이도륜¹, #범현규²

*D. R. Lee¹, #H. G. Beom(hgbeom@inha.ac.kr)²

¹인하대학교 대학원 기계공학과, ²인하대학교 기계공학과

Key words : Numerical Analysis, Hierarchical Structure, Effective Anisotropic Elastic Constants

1. 서론

뼈는 동물의 보호, 역학적 지지 및 운동을 위해 자연으로부터 만들어진 가장 중요한 생체 조직이다. 일반적으로 뼈의 강도 및 강성과 같은 기계적 성질이 우수한 것으로 여러 논문에 의해 밝혀졌다.^{1,2} 이는 나노 스케일에서 거시적 관점의 뼈 조직까지 계속되는 계층구조(hierarchical structure)에 의한 결과로 밝혀졌다. 뼈의 구조적 우수성이 평가되면서 복합체를 활용한 많은 산업에 응용될 것으로 전망된다. 이러한 관심도로 다양한 측면에서 뼈와 같은 구조를 가지는 물체의 연구가 진행되고 있다. 그 중 가장 기본적인 측면에서 뼈의 이방성 및 등방성 물성해석이 Gao 및 기타 연구자들에 의해 진행되었다.³ 하지만, 뼈는 이방성 특성을 가지고 있으므로 등방성 해석은 적합하지 않으며, 이방성 물성해석의 경우 아직 연구가 부족한 상황이다.

본 연구에서는 뼈와 같은 구조를 가지는 물체의 이방성 유효탄성계수를 단위 구조와 포텐셜 에너지를 사용하여 수치해석적으로 구하는 방법을 제시하고자 한다. 또한, 미네랄의 부피비율, 미네랄의 종횡비, 구성 물체의 탄성계수와 포아성비가 유효탄성계수에 미치는 영향에 대해 평가하고자 한다.

2. 뼈의 계층구조

뼈와 같은 생체구조는 Fig. 1 과 같이 계층구조를 이루고 있다.^{2,3} 그리고 각층에서 미네랄과 같은 강한 재료와 단백질과 같은

연질의 재료가 서로 층을 이루어 쌓여져 있으며, 규칙적으로 반복 배열되어 있다.

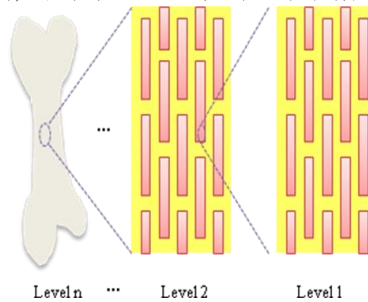


Fig. 1 Hierarchical structure of the bone

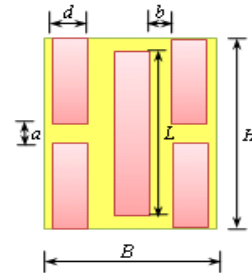


Fig. 2 The arrangement of mineral plates

미네랄의 부피비율은 Fig. 2 에서 정의된 생체구조의 형상인자들을 사용하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\Phi = \frac{Ld}{(L+a)(L+d)} \quad (1)$$

여기서 Φ , L , d , a , b 는 각각 미네랄의 부피비율, 미네랄 판의 길이, 미네랄 판의 폭, 미네랄 판 사이 거리, 미네랄 층간 거리를 의미한다.

3. 생체모방구조의 이방성 유효탄성계수

뼈와 같은 구조를 가진 물체는 3 차원으로 해석할 수 있지만, 미세조직에 비해 충분히 두꺼운 두께를 가지고 있으므로 평면변형문제로 가정하여 해석할 수 있다. 또한, 단위 구조의 반복이므로 단위 구조를 통해서 해석할 수 있다. 한 방향 변형율을 알고, 변형율에 대응하는 응력을 알 수 있다면, 평면응력상태의 경우 원하는 물체에 대한 유효탄성계수를 계산할 수 있다.

복합체의 경우, 변위를 통해 변형율을 일정하게 주더라도 각 면에서 응력이 일정하지 않다. 그러므로 정확한 계산을 위해 포텐셜에너지를 사용하였다.

변위를 일정하게 주어 변형율을 일정하게 만들면, 응력의 적분과 형상적 요소의 수치적 계산만으로 유효탄성계수를 구할 수 있다.

상용유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 Fig. 2 와 같은 단위구조 모델을 만들었다. 요소 타입은 평면변형요소인 CPE8R을 사용하였다. 여기에 표면에서 한방향으로 일정한 변위를 주고 다른 방향으로 변위를 '0' 값을 주어 표면응력을 계산하였다. 수치해석적으로 얻은 응력을 적분하여 뼈와 같은 생체구조의 유효탄성계수를 구하였다.

미네랄 판의 중량비 ρ 와 각각의 재료의 포아성비를 고정시킨 경우의 x 축방향 유효탄성계수 C_{11} 은 미네랄의 부피비율, 프로틴의 탄성계수 E_p , 계층 n 의 변화에 대해 Fig. 3 과 같은 결과를 보였다.

4. 결론

본 연구에서는 뼈와 같은 생체구조의 이방성 유효탄성계수를 포텐셜 에너지를 이용하여 수치해석적으로 구하였다. 뼈와 같은 생체구조에 대한 유효탄성계수의 경우 강한 재료인 미네랄의 부피비율에 비례해 커지는 것을 확인할 수 있었으며, 계층이 증가할수록 감소하는 것이 확인되었다. 본 논문의 방법을 사용하여 구성재료별 탄성계수 및 포아성비, 미네랄의 중량비에 대한 이방성 유효탄성계수의 계산이 가능하며, 복합체 신뢰성 연구의 기초연구에 기여할 수 있다.

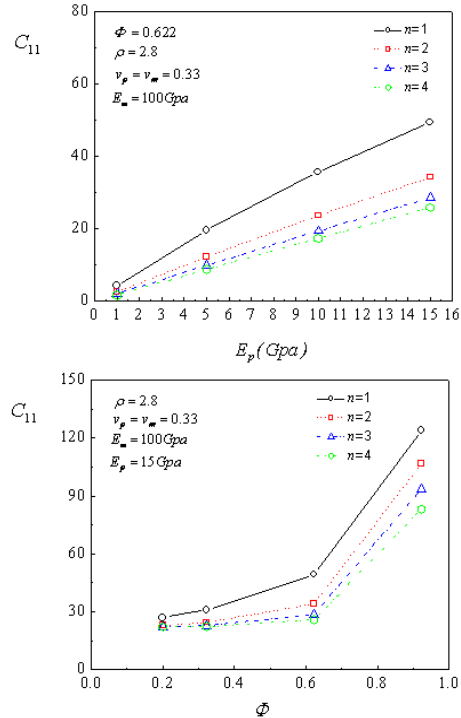


Fig. 3 x direction effective elastic modulus for various constants

후기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0010163).

참고문헌

1. Norman, T. L., Vashishth, D. and Burr, D. B., "Fracture of Human Bone under Tension," *Journal of Biomechanics*, **28**, 309-320, 1995
2. Gao, H., "Application of Fracture Mechanics Concepts to Hierarchical Biomechanics of Bone and Bone-Like Materials," *International Journal of Fracture*, **138**, 101-137, 2006
3. Ji, B. and Gao, H., "Elastic Properties of Nanocomposite Structure of Bone," *Composite Science and Technology*, **66**, 1212-1218, 2006