

대퇴골 상해 평가를 위한 유한요소모델 개발

Development of finite element model for femur injury estimation

*김윤배¹, 김형준¹, 채수원²

*Y. B. Kim¹, H. J. Kim¹, S. W. Chae(swchae@korea.ac.kr)²

¹고려대학교 대학원 기계공학과, ²고려대학교 기계공학부

Key words : Lower limb, FE model, Femur fracture, Femur validation

1. 서론

자동차 사고시 안전벨트의 착용과 에어백 장착 차량의 증가로 인해 심각한 부상 확률이 줄어들고 있다. 특히 앞좌석에 탑승한 승객의 중간정도의 상해인 약식상해등급(AIS, abbreviated injury scale) 2+의 하지상해가 다른부위(머리, 목, 가슴)보다 증가하고 있다. 그러나 현재 차량충돌 시뮬레이션에서 사용된 FE더미는 실제 더미를 유한 요소 모델링한 모델로 더미에 각 부분에 가해진 힘과 가속도를 측정하고 이를 이용해 상해를 판단한다. 따라서 정확한 상해를 판단하기 위한 인체 FE모델 개발에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.^[1]

대퇴골의 상해를 평가하는데 있어 대퇴부 내부의 응력과 변형률은 부상을 평가하는 중요한 요소이다. 그러나 인체 내에서 대퇴부 내부의 역학적 상해를 실험을 통하여 측정하는 것은 한계가 있다. 따라서 유한요소를 이용한 하지모델은 대퇴부의 상해를 예측하는 중요한 방법이다. 본 연구에서는 이러한 생체 역학적 지수들을 측정하기 위해 유한요소법을 이용한 하지모델을 사용하였다.

2. 유한요소 모델개발

본 연구에서는 대퇴골 상해 평가를 위해 유한요소 모델은 컴퓨터 단층촬영(CT)영상을 이용하여 구성하였다. 대퇴골의 유한요소 모델은 미국 성인의 평균이 50%ile를 기준으로 모델링 하였다. 발을 제외한 인체의 하지는 5개의 뼈로 이루어진 골격구조와 고관절관절낭(hip joint capsule)과 무릎관절낭(knee joint capsule)으로 이루어져 있으며 이들은 근육과 연조직을 포함하는 살(flesh)로 둘러싸여 있다. 인체 각 요소의 물성값은 기존 연구를 참고하여 table 1 과 같이 적용하였다.^[2,3]

Table 1 Material properties and element

Component	Element type	Young's modulus(MPa)	Poisson's ratio
Cortical bone	Tetrahedral 4-node	11700	0.3
Trabecular bone	Tetrahedral 4-node	344	0.28
Ligament	Shell 4-node	200	0.3

뼈의 강성을 평가하기 위한 모델에서 중요한 요소는 피질골(cortical bone)의 두께이다. 인체의 뼈는 크게 해면골(trabecular bone)과 해면골을 둘러싸고 있는 피질골로 구성되어 있다. 해면골에 비해 강성이 매우 큰 피질골의 두께가 뼈의 강성에 큰 영향을 미친다. 지금까지의 휴먼(human) FE모델은 피질골을 셸(shell)요소를 사용하여 두께를 일괄적으로 적용하였다. 따라서 이번 연구에서는 대퇴골의 피질골의 두께를 부분별로 고려하기 위해 솔리드(solid)요소를 사용하여 최대한 실제와 가깝도록 상세하게 모델링 하였다.

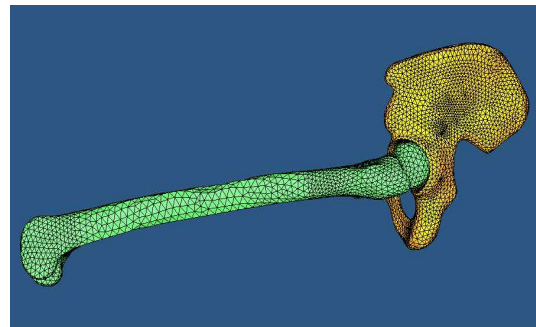


Fig. 1 Femur and pelvis Finite Element model

3. 모델검증

본 연구에서 개발한 대퇴골 모델의 타당성을

검증하기 위해 대퇴골 골절실험을 상용 유한요소 해석프로그램인 LS-DYNA 9.71을 이용하여 모사하였다.

실제 충돌을 재현한 Viano^[4]의 사체실험의 경우 10.1kg의 강체 임팩터(impactor)를 14.16m/s의 속력으로 충돌시켜 대퇴골의 파단위치와 시간을 측정하였다. Fig.2은대퇴골의 파단위치이고 파단시간은 약 1.8ms이다. 이를 재현하기 위해 본 연구에서 개발한 모델을 Fig 3 과 같이 구속한 후 실험에서와 같이 강체 임팩터를 충돌 시키는 시뮬레이션을 수행하였다. 이때 대퇴골의 피질골은 130MPa에서 파단이 나타난다.^[3]



Fig. 2 Lateral view kinematics of the denuded femur for a rigid axial knee impact.^[2]



Fig. 3 Boundary condition in FE model

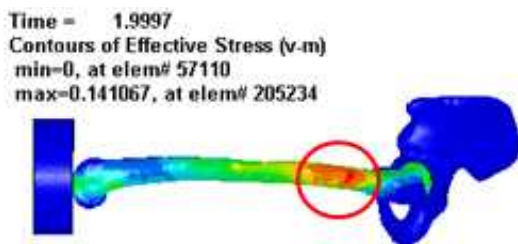


Fig. 4 Simulation results

시뮬레이션 결과 대퇴부의 파단은 전자(trochanter)의 아랫부분에서 이루어지며 이때 응력

은 141Mpa이고, 파단 시간은 약 2ms로 Viano의 사체실험결과와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 충돌 시 대퇴골에 가해지는 응력과 파단 시간을 평가하기 위한 대퇴골의 상세 모델을 개발하고 이를 검증하는 해석을 수행하였다. 기존의 FE모델에 비해 피질골의 두께를 보다 실제적인 형상에 비슷하게 적용하기 위해 솔리드 요소를 사용하여 해석을 수행하였고, 실제 사체실험과 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

대퇴부 상해예측이 가능한 유한요소 모델을 개발하여 실험적으로 측정이 불가능한 인체 내부구조의 응력과 변형을 예측하기 위한 상세 인체모델 개발등에 적용할 수 있을 것으로 본다.

후기

이 논문은 2011년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단(NO.2011-0001151)의 지원을 받아 수행된 연구이다.

참고문헌

1. C. Siverstri and M.H Ray "Development of a finite element model of the knee-thigh-hip of a 50th percentile male including ligaments and muscles" International Journal of Crashworthiness Vol. 14 No.2 pp215-229 2009
2. Philippe Beillas, Paul C. Begeman, King H. Yang, Albert I. King, Pierre-Jean Arnoux, Ho-Sung Knag, Kambiz Kayvantash, Christian Brunet, Claude Cavallero and Priya Prasad "Lower Limb: Advanced FE Model and New Experimental Data" Stapp Car Crash Journal Vol. 45 2001
3. Alan M. Nahum and John W. Melvin "Accidental Injury Biomechanics and prevention" springer ISBN 0-387-98820-3
4. David C. Viano and Richard L. Stalnaker "Mechanism of Femoral Fracture" J. Biomechanics Vol.13 pp.701-715 1980