

세부 디자인 입력변수 선정에 따른 맞춤형 인공고관절의 생체역학적 평가

Mechanical evaluation of design input variable selection using finite element analysis

*김형진¹, 최귀원¹, 한성민¹, 유정훈², 김정성³, 신예진³, 서경우³, 윤인찬¹

*H. J. Kim^{1,2}, K.W. Choi¹, S.M Han¹, J.H. You², J.S Kim³, T.J. Shin³, J.W Suh³, I. C. Youn(iyoun@kist.re.kr)¹

¹ 한국과학기술연구원 ² 연세대학교 기계공학과, ³(주) 코렌텍(Coren_tec)

Key words : Hip implant, Wiring hole, Slotted part, FEM(Finite Element Method), THR(Total Hip Replacement)

1. 서 론

산업의 발전에 의하여 생체 골조직의 손상을 초래하는 재해발생이 급증하고 있고, 또한 의학의 발전에 따른 인간의 평균수명 연장과 경제의 발전에 의해 삶의 질을 추구하는 고령화 시대로 접어들면서 인공 고관절 등의 수요가 급증하고 있다. 또한 여러 가지 관절질환으로 인하여 정상적인 기능이 불가능한 관절의 기능을 회복시키기 위한 방법으로 현재 가장 널리 사용되고 있는 것이 인공 고관절 전치환술이다.[3] 인공 고관절 전치환술의 성공률은 90% 이상의 10년 이상의 성공률을 가지면 성공적인 수술법이라고 간주된다.[4,5] 하지만 평균 수명 이후에는 재수술이 요구되어지고 있는데, 이는 환자에게 신체적, 정신적, 경제적 손실을 유발한다. 재수술의 원인으로는 다양한 것들이 있지만 가장 큰 원인은 인공 고관절의 파단을 들 수 있다. 특히 목 주위의 응력이 많이 발생하여, 부러지거나 깨져서 골 조직에 침투하여 염증을 유발하는 케이스가 많다. 따라서 인공고관절의 설계 시 응력의 분산을 시키기 위한 다양한 방법 중에 세부 디자인을 입력변수로 선정하여 맞춤형 인공고관절을 설계함으로써 인하여, 훨씬 더 안정하고 수명이 길어지는 방법을 제시 할 수 있다.

본 연구의 목적은 인공 고관절 설계 시 입력변수를 설정하여 가장 파단이 많이 발생하는 목 주위의 응력분석을 실시하여, 미치는 영향을 분석하는 데 있고, 비교모델을 통하여 현 모델의 안정성을 확보하는데 있으며, 인공고관절의 Body 하단의 Slotted Part부분을 타사모델과는 다르게 설계하여 이것이 실제 대퇴골 내강에 들어갔을 때에 허용범위를 벗어나는 지를 분석하는 데 있다. 이는 차후에 다양한 인공 고관절의 설계 및 제작을 하는 데에 있어서 기초자료로 사용될 수 있으리라 사료된다.

2. 방 법

2.1 인공 고관절 설계 및 입력변수 설정

임상에서 사용되고 있는 인공 고관절은 규격을 가지고 있으며 각각의 모양은 서로가 유사한 모양을 가지고 있고, 세계적으로 약 300,000명의 환자가 인공고관절을 이용한 시술(THR, Total Hip Replacement)받고 있는 실정이다 하지만 인공고관절의 수명은 약 10년에서 15년 정도로 평균수명이 길어지고 있는 시점에서 재수술의 빈도수가 증가하고 있는 실정이다. 재수술을 하는 다양한 이유가 있지만 그 중에서 인공고관절의 파단이 가장 큰 요인이다. 인공고관절에서 가장 파단이 많이 일어나는 부분은 Neck부분으로서 가장 응력이 많이 발생하는 부분이다. 이때에 발생하는 응력을 분산시키기 위해서 각 인공고관절의 모델의 Body 부분에 Wiring Hole을 설계하여 입력변수로 설정하였다. 그리고 현재 임상에서 사용되고 있는 C-type(주) 코렌텍), P-type(주) 코렌텍)과의 비교를 통하여 P-type with hole에 대한 안정성을 분석하였다.[Fig.1]

또한 추가적으로 다른 입력변수를 설정하였다. Body 끝단에 Slotted Part 부분을 추가하여 인공고관절에 걸리는 응력을 얼마나 분산시키는지 영향을 알아보기 위해 설계하였으며, 응력과 더불어 대퇴골에 삽입될 시에 내강 안에서의 허용범위에서 얼마나 차이를 보이는지에 대한 것도 분석하였다.[Fig.2]

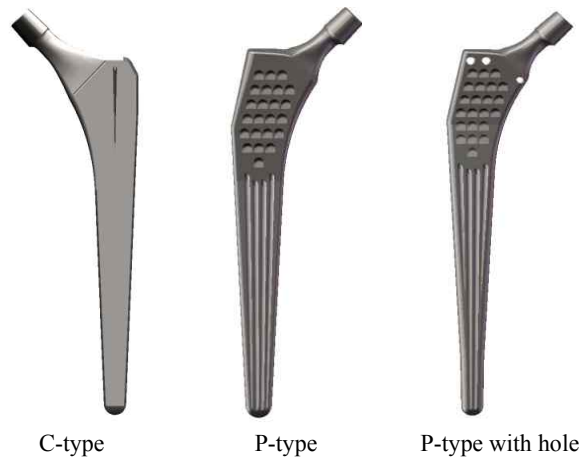


Fig. 1. Design of each model

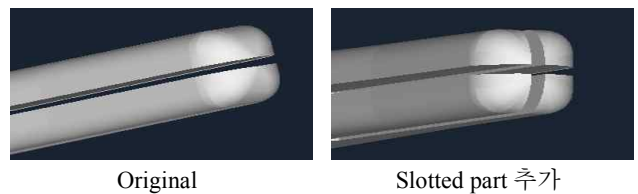


Fig. 2. Design of Slotted part

2.2 유한요소 모델링

인공고관절 모델은 기본적인 형상 모델에 Wiring Hole과 Slotted part를 입력변수로 설정하여 CAD 프로그램인 Solidworks를 이용하여 설계하였다. 완성된 3차원 모델들은 상용 유한요소(Finite element)모델링 패키지인 하이퍼메쉬(Hypermesh 6.0)의 볼륨 테트라 메쉬 방법을 이용하여 선형 4절점 4면체 요소망으로 유한요소 모델링을 구성한 후, 상용 유한요소 해석 프로그램인 아바쿠스(ABAQUS 6.6)를 이용하여 정적해석을 수행하였다. [2]인공고관절 모델의 물성치는 Bernhard Weisse의 논문을 참고하였다[1](Table 1). 또한 힘과 구속조건은 ISO 7206-4, 8 / ASTM F1612 [Fig 2]의 관련규격을 따랐으며 이 규격은 임플란트의 정적해석을 하기 위한 조건이다. hip에 가해지는 힘은 인공관절 헤드에 AP방향(Anterior-Posterior)으로 55°, ML방향(Medial-Lateral)으로 81°의 벡터방향으로 7.5KN으로 적용하였다. 크기는 인공고관절의 항복응력인 900MPa를 넘지 않으면서 최대한의 영향을 미칠 수 있는 하중으로 정의하였다. 각 모델은 isotropic하고, 서로간의 접촉면 조건은 마찰계수가 0.3으로 가정하였다.

Slotted part의 해석 시에도 Table 1과 같은 물성치를 적용하였으며 하중은 임의의 강체를 설계하여 그 위에 하중을 부여하여 그때에 발생하는 인공고관절의 변위를 분석하였다.

Table 1 Material properties used in the FE models

Part	Material	Elastic modulus(MPa)	Poisson's ratio
Ball Head	Al203	380,000	0.245
Stem	TiAl6v4	210,000	0.3

3. 결 과

인공고관절의 입력 변수인 Wiring Hole과 Slotted part에 따른 영향을 평가하기 위하여 현재 임상에서 사용되고 있는 (주)코렌텍의 C-type, P-type모델과 P-type with hole의 모델을 비교하였으며, body 하단 부분에 Slotted part를 추가하여 Origin 모델과의 비교를 통하여 인공고관절에 미치는 응력분석을 하였다. P-type의 Wiring hole의 유무에 따른 응력 분포를 분석하였을 때 입력 설계 변수인 hole를 가지고 있는 P-type with hole 모델이 P-type 모델에 비하여 목 주위 응력이 약 10%정도 낮은 결과가 나왔다. 즉, hole이 존재함으로써 인하여 인공고관절에서 가장 약한 부위인 목 주위에서의 응력이 분산되는 결과를 볼 수 있다. 또한 임상에서 사용되고 있으며, 이미 물리학적 안정성 시험을 통과한 C-type을 비교하였을 때에 약 14%정도의 낮은 응력을 보였으며 위의 데이터를 종합한 결과 hole이 입력 설계변수로 설정됨에 따라 인공고관절의 목 주위의 응력이 분산되는 결과를 보인다.[Fig 3]

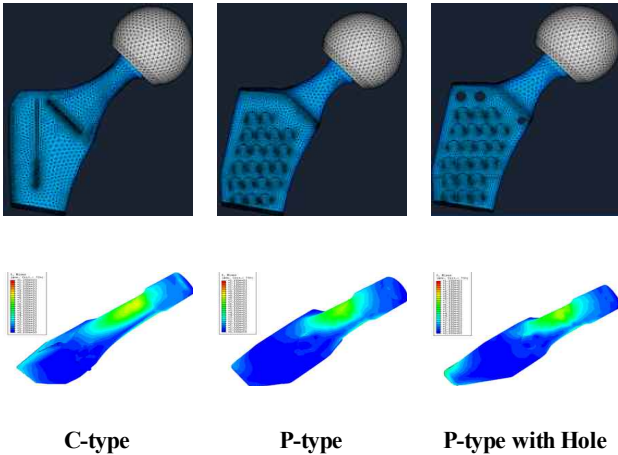


Fig. 3 Analysis each type model

Slotted part의 안정성 분석 결과 인공고관절에 걸리는 최대응력은 실제 Ti-6A-4V의 항복응력보다 약 50MPa의 작은 값을 나타내고 있으며 이때 최대변위를 보았을 때 약 12.6mm의 결과를 볼 수 있었다. 실제 인공고관절이 대퇴골에 삽입될 시에 내강 안에서의 허용변위가 13mm인데 이보다 작은 값을 보였기 때문에 Slotted Part의 입력설계변수가 들어갈지라도 안정성 범위 안에 드는 결과를 볼 수 있었다.[Fig.4]

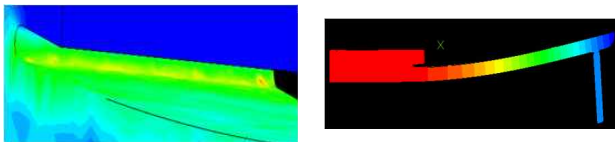


Fig. 4 Analysis stress & displacement

4. 토 의

본 연구에서는 인공관절 전치환술(THR)시에 들어가는 인공관절에 Wiring Hole이라는 형상 설계 변수를 선정하여 임플란트의 응력분산에 얼마나 영향을 미치는지 평가하기 위해 ISO 규격에 따른 유한요소해석(FEM, Finite Element Method)를 이용, 시뮬레이션을 통하여 이때 발생하는 목 주위의 응력을 분석 하였다. 인공관절에 형상설계 변수인 Wiring Hole이 있음(P-type with hole)으로 인하여 목 주위에 걸리는 응력이 임상에서 사용되고 있는 타입의 모델(C-type)보다 약 14%정도의 낮은 평균 응력 값이 나오면서 더욱 더 안전한 모델을 입증할 수 있다. 다른

인공 고관절 모델에서도 이런 입력 변수를 설정하여 적용시킨다면, 인공관절 전치환술시 더욱 안정되고 오래 쓸 수 있는 방법이 될 것이다. 하지만 본 연구에서는 단지 (주) 코렌텍의 제품만을 이용하여 분석을 한 단점이 있다. 즉, 대조군의 개수가 적다고 사료되어지며, 타 회사의 여러 가지 제품과 비교를 하면서 본 모델과 형상 설계 변수가 들어가 있는 다른 모델들을 분석하면서 Wiring Hole에 대한 설계 형상 변수의 우위 검증이 필요하다고 생각된다. 또한 Slotted part의 응력분석과 Displacement를 관찰한 결과 실제 내강 안에서 인공고관절이 움직일 수 있는 허용범위인 13mm보다 작은 값을 보여줘서 입력 변수가 존재함에도 불구하고 안정성 검증을 확인할 수 있었다. 다만 그 값의 차이가 크지 않기 때문에 안정성 검증을 확실히 했다고 말할 수는 없지만, 조금 더 많은 연구가 진행된다면, 인공고관절 설계에 있어 많은 도움을 주리라 사료된다.

후기

* 본 논문은 2009년도 산업자원부지정 핵심연구개발사업 실버의료기기 핵심기술개발 연구비에 의하여 연구되었음

참고문헌

- Bernhard Weisse, Marcel Zahner: Improvement if the reliability of ceramic hip joint implants, Journal of Biomechanics 36, pp. 1633-1639, 2003
- A.Ramos, J.A. Simoes, Tetrahedral versus hexahedral finite elements in numerical modelling of the proximal femur, Medical Engineering & Physics, vol 28, no. 9, pp. 916-924, 2005
- Jeffrey N Katz, "Total joint replacement in osteoarthritis", Best Practice & Research Clinical Rheumatology, Vol.20, pp.145-153
- Lucas, G.L., Cooke, F.W. and Friis E.A.,: A Primer of Biomechanics, Springer, 1999
- M.K.Lee: The Development of Design system for the customized hip implant in Total hip replacement, 2006