

## 생체 역학적 분석에 의한 Compression Hip Screw의 디자인 요소에 대한 평가

문수정\*, 이희성, 권순영, 이성재(인제대 의용공학과), 안세영, 이 훈(솔고 바이오 메디컬)

### Mechanical Response of Changes in Design of Compression Hip Screws with Biomechanical Analysis

S. J. Moon\*, H. S. Lee, S. Y. Kwon, S. J. Lee(Biomed. Eng. Dept., IJU),  
S. Y. Ahn, H. Lee(Solco Biomedical Inc.)

#### ABSTRACT

At present, CHS(Compression Hip Screw) is one of the best prosthesis for the intertrochanteric fracture. There is nothing to evaluate the CHS itself with the finite element analysis and mechanical tests. They have same ways of the experimental test of the ASTM standards. The purpose of this study is to evaluate the existing CHS and the new CHS which have transformational design factors with finite element analysis and mechanical tests. The mechanical tests are divided into compression tests and fatigue test for evaluating the failure load, strength and fatigue life. This finite element method is same as the experimental test of the ASTM standards. Under 300N of compression load at the lag screw head. There are less differences between Group I (5H, basic type) and Group II which has 8 screw holes. However, there are lots of big differences between Group I and Group III which is reinforced about thickness of the neck range. Moreover, the comparison of Group III and Group IV shows similar tendency of the comparison of Group I and Group II. The Group IV is reinforced the neck range from Group II. After the experimental tests and the finite element analysis, the most effective design factor of the compression hip screws is the reinforcement of the thickness, even though, there are lots of design factors. Moreover, to unite the lag screw with the plate and to analyze by static analysis, the result of this method can be used with experimental test or instead of it.

**Key Words :** Compression Hip screw (압박 고나사), Compression test (압축 실험), Fatigue test (피로 실험), Finite element analysis (유한 요소 해석), ASTM (미국 표준 실험 기준)

#### 1. 서론

전자간 골절은 고관절 주위의 골절 중 발생 빈도가 높은 것으로 노령층에서 가장 많이 발생하는 상해중 하나이다. 노령층의 환자들은 회복 속도가 느리며 합병증의 위험이 다르므로 골절부를 견고한 고정력을 바탕으로 조기에 거동시켜야 한다[1]. 이를 위해 현재 가장 많이 사용되고 있으며, 견고한 고정력과 골절부의 유지로 압박이 가능한 내 고정물이 압박 고나사 시스템 즉 CHS(Compression Hip Screw)이다. [2]

현재까지 대부분의 압박 고나사에 대한 연구는

고관절 치환 삽입물(Hip-stem)의 연구에 병행되었다. 그리고 압박 고나사 자체의 임상적 성능이나, 재질에 따른 비교 분석에 대한 연구 결과[2, 3]들이 주류를 이루고 있어 압박 고나사 자체의 생체 역학적 연구 결과들은 찾아보기 힘들다.

또한, 최근에 들어 압박 고나사의 neck 부위와 고정 screw hole 주변에서의 파단에 대한 문제들이 임상에서 제기되고 있다. 이로 인해, 제작자들은 압박 고나사의 역학적 강도를 향상시키기 위한 디자인 요소(Design factor)나 강한 재료를 고려하게 되었다. 그중, 새로운 디자인 요소는 근위부의 강화를 위한 side plate의 두께의 증가와 side plate에 작용하는 응

력 집중의 분산을 위한 고정 screw hole 개수의 증가에 따른 side plate의 길이의 증가 등이 있다.

본 연구에서는 ASTM 규격에 의거하여 새로운 디자인 요소들이 압박 고나사의 역학적 강도에 미치는 영향을 역학적 실험과 유한 요소 해석을 이용하여 분석하였으며, 압박 고나사의 강도에 대한 민감도 또한 연구하였다. 그리고 압박 고나사 자체의 생체 역학적 강도에 대해 규명하고, 보다 효과적인 디자인 요소를 제시하고자 함이 본 연구의 목적이다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 디자인 요소에 따른 압박 고나사의 분류

총 16개의 135° 압박 고나사(Solco Biomedical Inc., Korea)가 본 연구에서 시편으로 이용되었다. 모든 시편은 디자인 요소에 따라 각 4개씩 4개의 그룹으로 분류되었다(Table 1, Fig. 1). Group I은 디자인 요소가 적용되지 않은 시편들로서 5개의 screw hole을 가지고 있으며, side plate의 두께가 6mm인 그룹이다. Group II는 side plate의 응력 집중을 분산시키기 위한 디자인 요소가 적용된 시편들로서, 8개의 screw hole을 가지고 있다. Group III는 근위부의 강화를 위해 1°의 tapering angle을 가지고 side plate의 두께가 6mm에서 7.5mm로 증가된 시편들이다. Group IV는 두가지 디자인 요소를 모두 적용시킨 시편들로서, 8개의 screw hole을 가지고 두께가 7.5mm로 증가된 시편들이다.

Table 1. Design specification of CHSs

CHS Group	I	II	III	IV
No. of screw holes	5	8	5	8
Plate length(mm)	121.1	141.1	121.1	141.1
Tapering angle( $\theta$ )	0°	0°	1°	1°

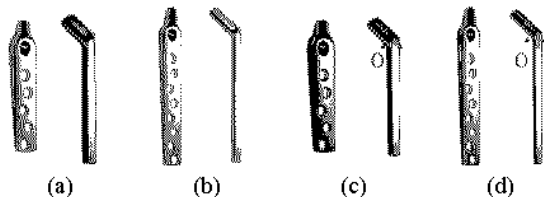


Fig. 1 Design variables, plate length and tapering angle,  $\theta$  : (a) Group I, (b) Group II, (c) Group III, (d) Group IV

모든 시편의 lag screw의 재질은 Titanium 합금인 Ti6Al4v이며 길이는 80mm이고, side plate는 의료용 순수 Titanium Grade 2인 제품을 이용하였다.

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 실험 장치

기존의 ASTM에 따른 Cam의 형태는 Roller와 Cam 사이에서 발생하는 마찰력에 의한 수직 하중의 손실이 따른다. 또한 구름 방식의 Cam은 압박 고나사의 bending 반경에 따른 정확한 수직 하중의 부여가 불가능하다(Fig. 2(a)). 이에 따라, 압박 고나사에 보다 정확한 수직 하중을 적용시키기 위해 Ball 타입의 Cam과 Rail 베어링을 이용하여 새로운 디자인의 Jig를 제작하였다[4](Fig. 2(b)). 각각의 시편과 Jig는 만능 시험기(MTS 858, MTS system Corp., MN, USA)에 장착하여 실험을 실행하였다.

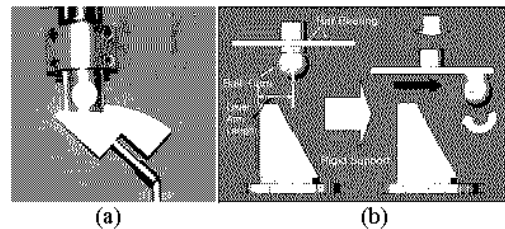


Fig. 2 Jig for experimental tests of the CHSs : (a) Basic type of Cam, (b) Schematic diagram of the special jig

### 2.2.2 압축 실험 (Compression Test)

디자인 요소들이 압박 고나사의 failure load와 bending strength에 미치는 영향을 분석하기 위해 compression test를 우선적으로 실행하였다. ASTM F384-00[5]에 의거하여 displacement control 방식으로 0.17mm/sec의 속도로 압축 하중을 적용하였으며, 최대 변위를 60mm로 하였다. Failure load는 압박 고나사의 Lever arm length의 0.2% offset을 통하여 구하였고, bending strength는 failure load와 lever arm length를 통해 계산하였다(Fig. 3). 또한 모든 실험의 결과는 ANOVA test를 통해 각 그룹간의 디자인 요소에 따른 sensitivity를 평가하였다.

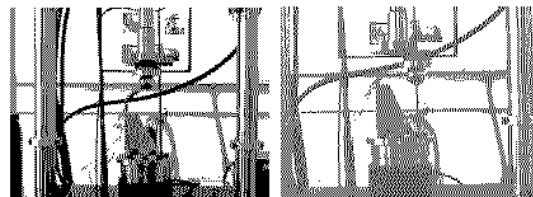


Fig. 3 Experimental test of the CHSs with a special jig

### 2.2.3 피로 실험 (Fatigue Test)

Compression test를 통하여 구해진 failure load를 바탕으로 하여 압박 고나사의 fatigue life와 fatigue strength를 측정하기 위해 load control 방식으로 fatigue test를 실시하였다. Compression test에서 구해

진 failure load의 50%의 피로 하중을 가하였다. 그리고 Loading frequency는 5Hz이며, 1,000,000cycle씩 실행하였다. 또한 데이터는 초당 20개씩 획득하였다.

## 2.3 유한 요소 분석

### 2.3.1 압박 고나사의 모델링

모든 모델은 범용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS(Swan Analysis Corp., USA)를 이용하여 8절점 육면체 요소로 구성하였다. Lag screw의 재질은 Titanium 합금인 Ti6Al4V이고, side plate의 재질은 의료용 순수 Titanium grade2이므로 각각의 부위에 그에 따른 물성치를 부여하였다(Table 2, Fig 4). 해석을 통하여 임상에서 제거되는 취약부위인 neck과 screw hole 부위에서의 peak von-Mises stress를 살펴보았다.

Table 2 Material properties of CHS

Components	Lag screw (Ti6Al4V)	Side plate (Ti Grade2)
Young's Modulus(GPa)	113.8	102
Possion's ratio	0.342	0.34

### 2.3.2 하중 및 구속 조건

구속 조건은 compression test에서 압박 고나사가 jig에 설치되어 있는 상태를 구현하기 위해 첫 번째 screw hole을 제외한 나머지 screw hole에서 고정 screw의 head부분과 접촉되는 면을 구속하였다. 또한 jig와 side plate의 접촉면 그리고 side plate의 지지단과의 접촉면을 구속하였다.(Fig. 4). 하중 조건은 실험 결과와의 validation을 위해 모든 시편의 비례한도 구간 내에 속하는 300N의 수직 하중을 lag screw의 나사산 부분에 적용 하였다. 모든 해석 결과는 실험에서 얻어진 변위값에 의해 validation을 하였다.

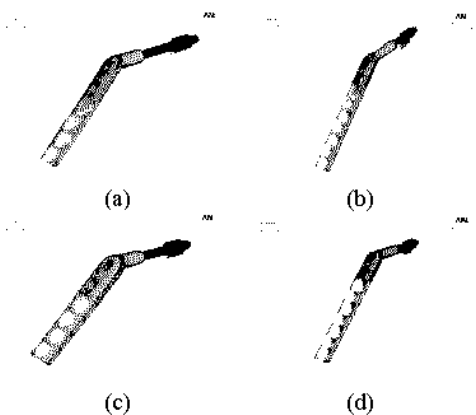


Fig. 4 Loading & Boundary conditions of Finite element models : (a) Group I, (b) Group II, (c) Group III, (d) Group IV

## 3. 결과

### 3.1 실험 결과

#### 3.1.1 Compression Test

Fig. 5에서와 같이 side plate 두께의 증가에 대한 디자인 요소는 failure load와 bending strength에서 약 80%의 증가(Group I : 480N, 27172N-mm vs. Group III : 867N, 49046N-mm)를 보였으며 통계적인 유의성을 보였다( $p < 0.05$ ). 그에 반해 screw hole의 증가(Group I vs. Group II : 458N, 25890N-mm)는 다만 plate의 길이만 증가되었을 뿐 failure load와 bending strength의 감소가 있었으며, 통계적 유의성 또한 보이지 않았다( $p > 0.05$ ). Screw hole의 증가에 따른 영향은 오히려 Group III과 Group IV(750N, 42446N-mm) 사이에서 뚜렷하게 나타났으며, 통계적으로 유의함을 보였다( $p < 0.05$ ).

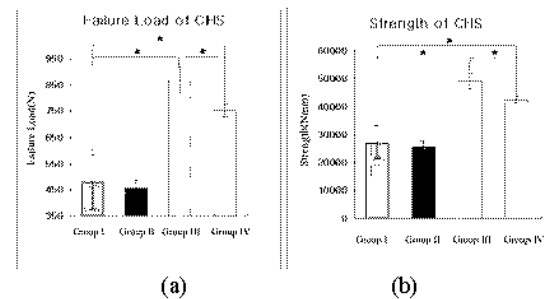


Fig. 5 The results of the compression tests of the CHSs : (a) Failure loads, (b) Strengths(\* :  $p < 0.05$ )

#### 3.1.1 Fatigue Test

Compression test에서 얻어진 각 그룹의 평균 failure load의 50%에 해당하는 fatigue load를 각각의 시편에 적용하였으나, 1,000,000cycle 후에도 압박 고나사에는 형태적 변형 및 crack이 전혀 나타나지 않았다.

### 3.2 유한 요소 분석

#### 3.2.1 Neck 부위에서의 von-Mises stress

Neck 부위에서의 peak von-Mises stress를 분석하였다(Fig. 6). 어떠한 디자인 요소도 적용되지 않은 Group I (175MPa)이 가장 높은 peak von-Mises를 보였고, Group IV(111MPa)가 가장 낮은 값을 보였다. Group II(152MPa)와 Group III(119MPa)는 각각 Group I과 Group IV와 유사한 peak von-Mises stress를 보였다. 또한 barrel과 side plate의 경계부 보다 lag screw hole에서 더 높은 von-Mises stress가 나타났다.

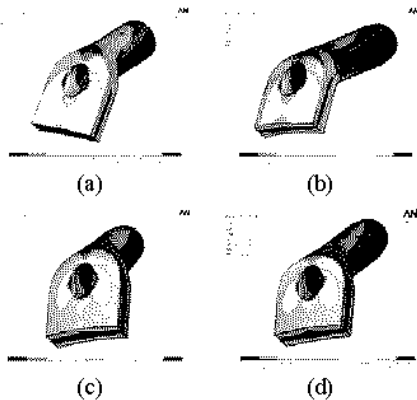


Fig. 6 Peak von-Mises stresses at the neck ranges of CHSs : (a) Group I, (b) Group II, (c) Group III, (d) Group IV

### 3.2.2 각 screw hole에서의 von-Mises stress

Side plate의 근위부에서부터 screw hole의 번호를 1번으로 하여 각 screw hole에 번호를 부여하여 peak von-Mises stress를 살펴보았다(Fig. 7). Group IV를 제외한 모든 그룹에서 1번 hole에서 가장 높은 peak von-Mises stress가 나타났다. Group I이 가장 높은 259MPa를 보였으며, hole의 개수를 증가시킨 Group II는 그보다 조금 감소한 233MPa를 보였다. Side plate의 두께가 증가된 Group III는 Group I보다 110Mpa 정도 감소된 150MPa를 보였으며, Group IV는 Group III와 거의 유사한 111MPa를 보였다.

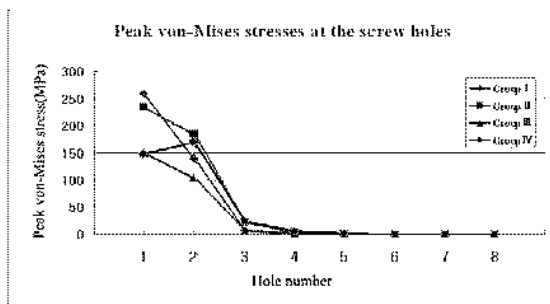


Fig. 7 Peak von-Mises stresses of the screw holes

## 4. 결론

본 연구에서 실험 및 유한 요소 해석을 통해 Tapering angle을 가지고 side plate의 두께를 강화하는 것이 hole의 개수를 증가시켜 side plate의 길이를 늘이는 것보다 훨씬 압박 고나사의 강도를 높이고, 응력 집중을 분산시키는 데 효과적이라는 것을 보여 주었다. 오히려 screw hole의 개수의 증가는 side plate가 bending에 약하게 할 수도 있음을 제시하였다. 또한 fatigue test의 결과에서 파단이 일어나지 않음은 완벽한 시술 상태에서는 모든 시편에 파단이

일어나지 않음을 제시한다. 그러나 디자인 요소와 압박 고나사의 강화의 관계를 보다 명확히 하기 위해서는 failure load의 75% 하중에서의 fatigue test가 필요하다고 사료된다.

그리고 ASTM에 의거하여 제작된 jig를 사용하였으나, 실제 bending이 일어나는 부위는 골절부를 지지하는 neck 부위가 아니라 첫 번째 screw hole 부위였다. 이는 유한 요소 해석 결과에서도 neck부위보다 구속되지 않은 첫 번째 screw hole에서 더욱 높은 peak von-Mises stress를 나타냄으로 확인 할 수 있었다. 또한 첫 번째와 두 번째 screw hole의 부위가 side plate에 작용하는 응력의 대부분을 지지함을 보였다. 이는 ASTM에 따른 side plate의 고정과 임상적 시술 형태의 차이에 의해 발생하는 것으로 사료된다. 그리고 디자인 요소의 임상적 효과를 예상하기 위해 압박 고나사를 이용한 동물 시편 실험 및 골절 모델의 구현을 통한 분석 또한 필요하다고 사료된다.

## 후기

※ 통신 저자 : 이성재, (621-749) 경남 김해시 어방동 607번지 인제대학교 의용공학과

E-mail : sjl@bse.inje.ac.kr

Tel. (055) 320-3452, Fax. (055) 327-3292

## 참고문헌

1. Y. W. Won, et al., "Finite Element Analysis for Micromotion of Femoral Stem and Stress Concentration of Femur after Removal of DHS System", 대한 고관절 학회지, Vol. 11, pp. 104-110, 1999
2. K. S. Lee, et al., "Biomechanical Study about Difference between Stainless Steel and Titanium Dynamic Hip Screws in Peritrochanteric Fractures of the Femur", J. of Korean Orthop. Assoc., Vol. 32, pp.929-936, 1997
3. Weng-Pin Chen, et al., "Selection of fixations devices in proximal femur rotational osteotomy : clinical complications and finite element analysis", J. of Clinical Biomechanics, Vol. 12. 003, 2004
4. Moor Douglas C, et al., "Hip Screw Augmentation with an In Situ-Setting Calcium Phosphate Cement : An In Vitro Biomechanical Analysis", J. of Orthopedic Trauma, Vol. 11(8), pp. 577-583
5. Standard Specifications and Test Methods for Metallic Angled Orthopedic Fracture Fixation Devices : Annual Book of ASTM standards, Vol. 13. 01, Designation : F384-00