

충격흡수 특성의 향상을 위한 내고정용 특수 와셔에 관한 연구

김윤영* · 김장수**

=Abstract=

The Use of Special Washers in Bone Plates for Improved Impact-Absorbing Characteristics

Yoon Young Kim*, Jang Soo Kim**

Unlike the usual bone plate and screw fracture fixation, an improved plate fixation method, which can transfer gradually physiological load to bones, is described. The key feature of the present method is to use washers between the plate and the screw. Bio-absorbable materials or non-ferrous materials with good damping characteristics are used to manufacture the washers. The purpose of this paper is to discuss potential advantages of the proposed method, and to show experimentally its improved impact-absorbing characteristics. Vibration experiments are carried out for pig femurs and cow tibias with and without the proposed washers. This experiments show that the washers can drop the first peak value quite substantially in the FRF plots. Although *in-vivo* experiments have not been conducted, the present fixation method appears to be a simple and effective alternative to the presently used method.

Key words : bone plates, washers, impact

서 론

현재 널리 사용되는 내고정 장치는 골절된 뼈를 견고히 고정시켜 주어, 조기에 정상에 가까운 활동을 할 수 있도록 도와준다^{1, 2)}. 이러한 장치는 관절이 굳는 것을 막아주고, 골절의 치유도 촉진시킨다. 그러나, 골절이 완치되어 골절판을 제거하고 나면, 골절판과 접촉한 부위의 뼈가 다시 부러지는 재골절(Refracture) 현상이 종종 나타나게 된다³⁾. 이와 같은 재골절의 원인은 대체로 다음과 같이 설명되고 있다. 골절판의 강도가 뼈에 비해 약 10배 정도 커서

대부분의 생리하중(Physiological Load)이 골절판으로 전달되기 때문에, 골절 부위의 뼈에는 하중이 거의 전달되지 않게 된다. 이와 같이, 뼈가 하중을 받지 못할 경우에는 그곳에 골 흡수 작용이 왕성히 일어나게 되어 뼈에 작은 구멍들이 생기는 현상, 통상적으로 골다공증(Osteoporosis)이라 불리는 현상이 발생한다. 따라서 이러한 현상 때문에 뼈의 강도가 현저히 저하되는데, 이로 말미암아 종종 재골절이 초래되기도 한다⁴⁻⁶⁾.

따라서, 현재와 같은 금속판과 나사만을 이용한 내고정 장치를 사용하는 경우에는 골절판 제거 수술 후에 한동안

* 서울대학교 기계설계학과

* Dept. of Mechanical Design and Production Eng., Seoul National University

** 삼성 전자

** Samsung Electronics

통신저자: 김윤영, (151-741) 서울시 관악구 신림동 산 56-1, Tel. (02) 880-7154, Fax. (02) 883-1513

목발과 같은 보조 기구를 이용하여 재골절을 방지해야 하는 등 여러 가지 문제점이 있었다. 또한, 보행 등의 운동에 의해 발생하는 충격 하중이 전달되는 경우에 있어서, 종래의 내고정 장치로는 이와 같은 충격을 충분히 흡수할 수 없었다. 따라서, 종래의 장치는 충격과에 의한 가골 손상이 일어나게 되어 골절 치유를 어렵게 만들 뿐 아니라, 골절판도 부러지기 쉽다는 문제를 안고 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 저장도판⁷⁻⁹⁾이나 생분해성 재질의 골절판¹⁰⁻¹²⁾, 실리콘고무 삽입판^{13, 14)} 등의 사용이 연구된 바 있다. 그러나, 저장도판의 경우는 뼈에 대한 점진적인 생리하중의 전달이 결여되었고, 충격 흡수 특성이 우수하다고 볼 수 없으므로, 이상적인 내고정물이라고 보기에는 다소 문제가 있으며, 생분해성 골절판의 경우에는 비균일한 소멸 및 수분 흡수에 의한 강도의 저하 등으로 아직 사용에는 문제가 있다. 실리콘고무 삽입판의 경우에는 저장도판과 마찬가지로 점진적인 생리하중의 전달이 결여되어 있고, 실리콘고무 대신 생분해성 재질의 삽입판을 사용한다고 할지라도, 비균일한 소멸과 다량의 소멸로 인한 부작용이 예상된다. 또한 이와 같은 연구에서는 대부분 동물 등에 대한 임상 실험 결과를 주 내용으로 하고 있으며, 관련된 역학적 해석 내지는 실험 등이 별로 다루어지지 않고 있다.

따라서, 본 저자들은 보다 이상적인 내고정 장치로서 기존의 내고정 장치를 보완하여, 골절판과 나사를 결합할 때 그 사이에 다양한 재질(비금속성의 생분해성 재질 등)의 와셔를 삽입하는 방안을 제안하였다*.

생분해성 재질로 된 골절판과는 달리 소량의 생분해성 와셔만을 사용하여도 골다공증 현상 등을 충분히 방지할 수 있으리라 기대되는데, 이는 골절판 고정 초기에는 높은 강도를, 그리고 골절판 고정 후기에는 낮은 강도를 갖도록 와셔의 재질을 선택할 수 있기 때문이다. 물론 이상의 주장들은 생체, 특히 인체에 대한 임상 실험에 의해 확인되어야 할 사항이나, 본 논문에서는 이러한 가능성이 있는 장치를 보고하고, 또한 이 장치가 갖는 우수한 충격 흡수 특성을 실험적으로 보여주는 데 있다.

비록 생분해성 재질이 아니라 하더라도 비금속성 재질의 와셔를 채택하게 되면 충격하중의 전달, 특히 최대치의 크기가 상당히 감소될 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 장치의 임상 실험은 추후 과제로 남겨두고, 본 논문에서는 충격 흡수 능력의 증대에 초점을 맞추어 이를 실험적으로

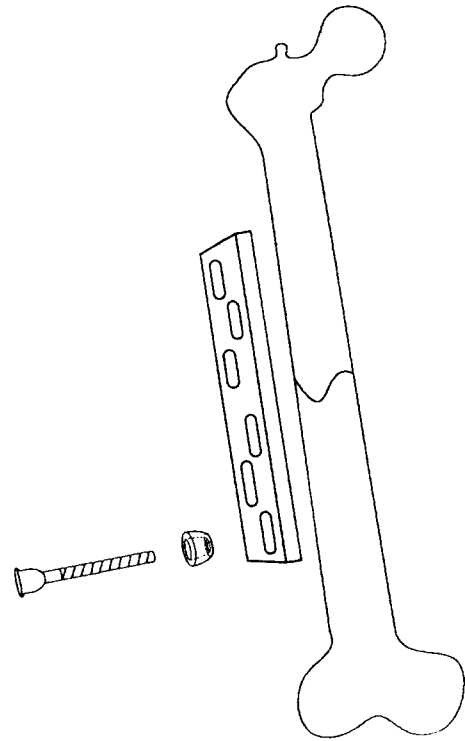


그림 1. 와셔가 삽입된 내고정 장치 개요도

Fig. 1. A schematic sketch of the proposed bone plate and screw fracture fixation with washers

살펴보고자 한다. 실험 방법은 충격 망치와 가속도계를 이용하여 주파수 응답 특성을 살펴보았는데, 골절된 돼지 대퇴골과 소 경골을 기존의 압박 금속판을 이용할 때, 와셔를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우를 비교해 보았다. 실험 결과에 대한 분석과 실험시의 몇 가지 문제점을 아울러 살펴보았다.

와셔가 삽입된 내고정 장치

이상적인 내고정물은 조직 치유의 초기에는 골절부위를 견고히 고정할 수 있도록 충분한 강도와 탄성 및 에너지 흡수 능력을 가지나, 시간이 지남에 따라 이러한 특성들이 소멸해 나가는 특성을 가져야 할 것이다. 이렇게 하여 생리하중이 점진적으로 뼈에 전달되도록 함으로써, 응력차폐 (Stress Shield) 현상으로 인한 골 흡수 작용을 방지할 수 있으며, 재골절의 가능성을 줄일 수 있게 된다.

상기와 같은 성질과 더불어, 이상적인 내고정 장치는 좋은 충격흡수 특성을 가져야 할 것이다. 왜냐하면, 골절치유 초기에 골절 부위에 생기는 가골이(이 가골은 치유가

* 특허 출원중

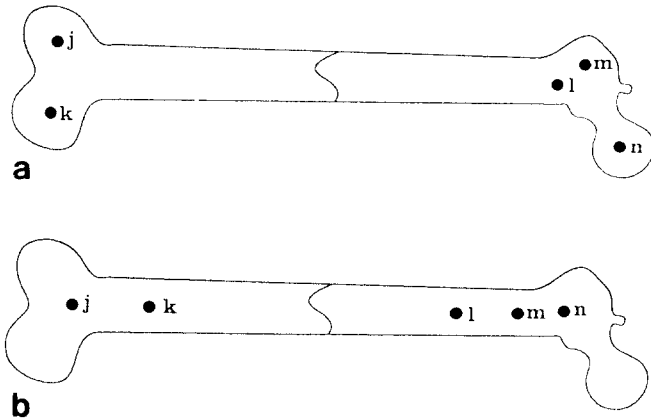


그림 2. (a) 돼지 대퇴골, (b) 소 경골에 대한 충격 실험의 측정 점과 가진점 (j, k: 측정점, l, m, n: 가진점)

Fig. 2. Sensing and actuating point in impact test for (a) pig femur and (b) cow tibias

진전되면서 단단한 뼈로 변한다.) 보행 등의 운동으로 인해 발생하는 충격파(특히, 인장파)에 의하여 파손될 수 있기 때문이다.

이상과 같은 이상적인 내고정물의 성질을 모두 갖출 수 있도록 하기 위하여 그림 1과 같이 와셔를 삽입한 내고정 장치를 제안하였다.

여기에 사용된 금속판은 기존의 역학적 압박 금속판(LCDCP, Limited Contact Dynamic Compression Plate)과 같은 형태이지만, 나사 구멍에 와셔가 삽입될 수 있도록 구멍이 조금 큰 금속판을 사용한다. 나사의 머리끝은, 그림에서 볼 수 있듯이, 와셔를 감싸줄 수 있도록 넓게 제작한다. 와셔를 생분해성 재질로 제작할 경우, 앞에서 언급되었던 이상적인 내고정물의 조건을 모두 갖출 수 있겠지만, 본 논문에서는 와셔의 충격 흡수 특성만을 살펴보고자 하는 바, 인조혈관 재료에 사용되는 폴리우레탄¹⁵⁾, 그리고 실리콘고무 등과 같은 재질로 와셔를 만들어 실험을 수행하였다.

충격 흡수 특성 실험 방법

서론에서 언급하였듯이 제안된 장치의 임상 실험은 추후 시도해 보기로 하고, 본 절에서는 비금속성 재질의 와셔가 삽입된 내고정 장치의 충격 흡수 특성을 살펴보고자 한다. 제안된 내고정 금속판을 제작하여 실험을 수행해야 하나, 제작상의 어려움 때문에 기존의 압박금속판(LCDCP)과 나사를 사용하였다. 기존의 금속판과 제안된

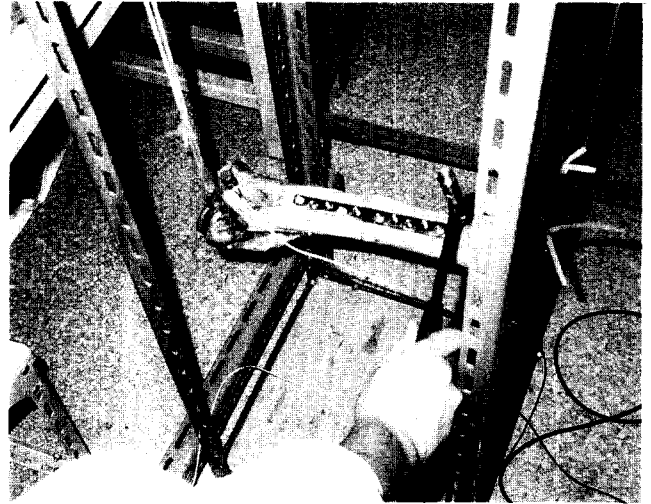


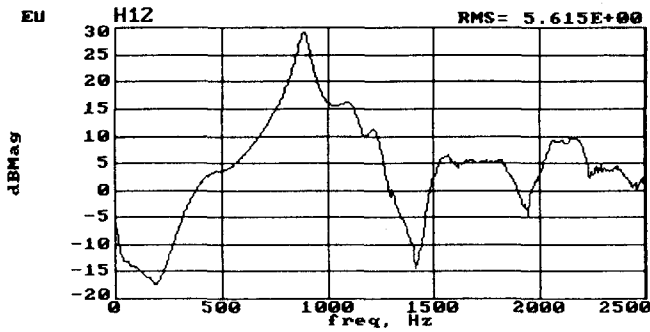
그림 3. 고유 진동 실험 모습

Fig. 3. The actual experimental set-up for vibration analysis

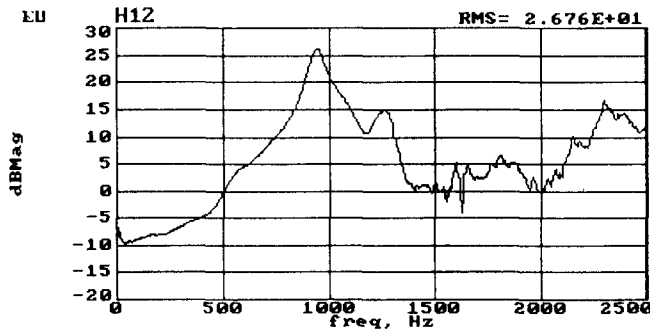
금속판과는 와셔를 끼울 공간의 유무를 제외하고는 서로 동일하여, 와셔의 충격 흡수 특성을 측정함에 있어 중요한 인자가 되지 못하므로, 기존의 상용 골절판을 사용하여도 무방할 것이다. 실험에서는 돼지의 대퇴골과 소의 경골을 사용하였는데, 먼저 돼지의 대퇴골에 대해 실험 방법을 설명하고자 한다.

자연적으로 골절된 돼지 뼈를 구할 수 없었기 때문에 돼지의 대퇴골을 굽힘기계(Bending Machine)를 이용해 골절시킨 후, 현재 상용되는 길이 119mm, 두께 3.8mm, 폭 11mm인 7개의 구멍을 가진 ZIMMER사의 골절판(IQL 1908-06 7H)과 나사를 사용하여, 실제의 수술 방법과 유사하게 골절 부분의 뼈를 고정하였다. 골절 부위의 견고한 접합을 위하여 예변형(Prestrain)을 다소 과도하게 주었다. 와셔의 재질은 폴리에스테르계 섬유질이며, 금속판과 나사 사이에 와셔가 잘 고정되도록 형상을 만들었다. 와셔를 삽입하고 제거할 때 골절 뼈의 접합부에 안정성을 주기 위하여, 한 개의 나사만을 풀고 와셔를 삽입(제거)한 후 다시 조이는 방법으로 모든 와셔를 삽입(제거)하였으며, 나사를 같은 회전력으로 조이기 위해 토크 렌치(Torque Wrench)를 사용하였다.

이렇게 고정된 돼지 대퇴골의 양단을 고무줄로 매달아 놓고, 그림 2(a)과 같이 j, k 위치에 가속도계를 붙이고 l, m, n 위치를 충격 망치로 가진 하는 충격 실험을 여러 차례 반복 하였다. 이때 가속도계와 충격 망치에서 얻어진 값들을 FFT(Fast Fourier Transform) 처리하여 주파수 응답 특성을 구하였다. 결과의 신뢰성을 높이기 위해 주파수 응



a



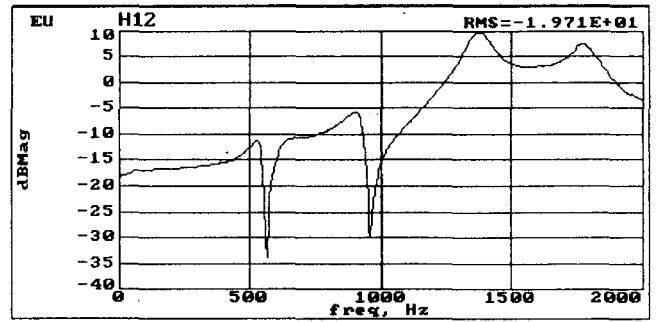
b

그림 4. 돼지 대퇴골의 진동 실험에서 얻은 주파수 응답 함수 곡선. (a) 와셔가 없는 경우 (b) 와셔가 있는 경우
Fig. 4. The frequency response function obtained for pig femurs. (a) without and (b) with washers

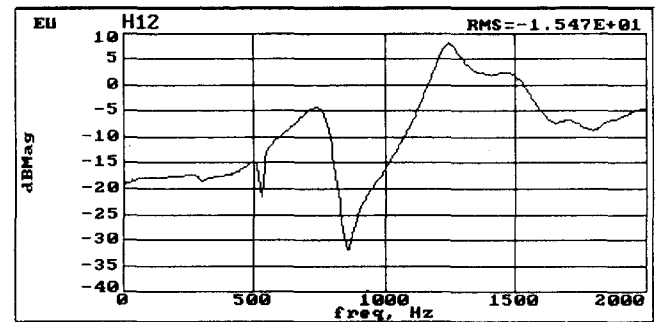
답 함수가 거의 변화하지 않을 때까지 와셔가 있는 경우와 없는 경우에 대해 실험을 수행하여 평균하였다. 얻어진 결과에 대한 분석은 다음 절에 다루고자 한다.

소 뼈(소 경골)에 대해서도 유사한 실험을 수행하였는데, 굽힘 기계로 골절시키는 경우 골절 양상이 실제와 상당히 상이하게 나타날 수 있다고 판단되어 이번에는 의도적으로 2개의 소 경골에 대해 거의 동일한 부위를 톱으로 절단하여, 길이 167mm, 두께 3.8mm, 폭 11mm, 나사 구멍 10개인 ZIMMER사의 골절판(85-0167-10 JM 265A)과 나사를 사용하여, 실제 내고정 장치 고정시 사용되는 동일한 방법으로 골절판을 고정하였다.

이번에 사용된 와셔의 재질은 이미 의학 실험에 사용된 바 있는 실리콘 고무(Silicone Rubber)와 좀더 강도가 큰 우레탄 재질을 사용하여 보았다. 앞의 돼지 대퇴골 실험에서와 같이(그림 2(b)) 골절 뼈의 한쪽 끝에 가속도계를 붙이고, 다른 한쪽 끝을 충격망치로 여러 곳을 때려 보며 주파수 응답 함수를 분석¹⁶⁾하는 실험을 하였다(그림 3). 실험



a



b

그림 5. 소 경골의 진동 실험에서 얻은 주파수 응답 함수 곡선. (a) 와셔가 없는 경우 (b) 와셔가 있는 경우
Fig. 5. The frequency response function obtained for cow tibias (a) without and (b) with washers

은 충격 망치(PCB M/D 086C05)와 가속도계(PCB M/D 353A33)를 이용하였는데 충격 신호에 대해서는 Force Window, 응답신호에 대해서는 Exponential Window를 사용하였다. FFT를 이용한 주파수 응답은 Data Physics(DP420)의 내장형 FFT card를 이용하였다. 두 개의 소 경골에 대하여 위와 같은 실험을 반복 수행하였다.

결과 및 고찰

돼지 대퇴골과 소 경골의 진동 실험 결과는 각각 그림 4와 그림 5에 나타나 있다. 여기서 돼지 대퇴골의 경우에는 그림 2(a)의 1점을 가진하고 j점에서의 주파수 응답 함수 데이터를 평균한 결과이며, 소 경골의 경우에는 그림 2(b)의 j점을 가진하고 n점에서 측정된 주파수 응답 특성 함수 데이터를 평균한 결과이다.

그림 4와 그림 5에 나타난 결과를 보면, 와셔를 끼운 내고정물의 경우, 처음으로 나타나는 피크 치의 최대 값이

약 2dB~3dB 정도 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 골절판 고정제의 경우 약 900Hz에서 최초의 고유진동이 일어나게 되며, 일반적으로 가장 큰 충격의 전달은 최초의 고유진동에서 발생되므로 이 주파수대의 진폭을 줄이는 것이 매우 중요하다. 이러한 결과는 와셔가 있는 내고정 장치로 고정된 경우가 충격 흡수 특성이 우수하다는 사실을 보여 주는데, 요구 조건에 따라 사용되는 와셔의 크기, 재질을 잘 조정하게 되면, 더욱 개선된 충격 흡수 특성을 갖는 와셔를 찾을 수 있으리라 기대된다.

와셔의 재질이 수지 계열인 본 실험에서는, 와셔가 골절판과 나사 사이에서 윤활제 역할을 하기 때문에, 같은 회전력으로 나사를 돌렸음에도 불구하고, 와셔를 사용한 뼈의 고정이 더 견고하였다. 이러한 사실은 다음과 같은 관찰을 통해 알 수 있다. 즉, 그림 4와 5를 보면 와셔가 있는 내고정물에 대한 첫번째 고유 진동수가 와셔가 없는 경우보다 증가하였고, 데시벨로 표시된 충격 흡수량의 척도인 RMS값을 보면 와셔가 있는 경우가 크게 증가하였다(고유 진동수 및 RMS값을 제어하면서 실험을 수행하여야 보다 정량적인 결과를 얻을 수 있으나 실험 환경의 제약으로 이를 충분히 살펴보기 어려운 문제점이 있었다) 그러나, 이러한 현상이 와셔의 충격 흡수 효과를 사감하는 인자임을 감안하면 와셔의 사용이 충격 흡수 특성 개선에 상당한 효과가 있음을 보여줌을 알 수 있다.

골절판 제작의 어려움 때문에 본 연구에서 제시한 골절판과 나사 대신에 기존의 것을 사용하였으므로, 와셔가 삽입될 공간이 부족하였다. 이 때문에 강도가 낮은 와셔의 경우에는 결합과정에서 와셔가 파손되기도 하여, 부득이 강도가 다소 높은 재질의 와셔를 사용할 수밖에 없었다. 이러한 와셔의 강도 문제와 장기간의 사용으로 오는 피로 파괴 현상을 해결할 수 있는 내고정물과 와셔의 설계가 요구되었다. 생분해성 재질로 와셔를 제작할 경우에는 시간에 따른 내고정물의 강성 저하로 인한 골다공증 예방도 예상될 수 있으므로, 이에 대한 내구성 연구와 진동 실험도 추후 계속되는 연구에 의해 수행되어야 할 것이다.

결 론

기존의 내고정 장치를 사용하여 골절 치유를 했을 때 발생할 수 있는 골다공증 현상과 같은 문제점을 극복 또는 완화할 수 있는 새로운 내고정 장치를 살펴보았다. 이 장치의 특징은 골절판과 와셔 사이에 생분해성 또는 그 밖의 다른 특성이 좋은 재질로 만든 와셔를 삽입하는 것으로서, 본 논문에서의 이 장치의 충격 흡수 특성을 살펴보았다.

폐지 대퇴골 및 소 경골에 대해 수지 계열의 와셔가 있는 경우와 없는 경우에 대해 진동 실험을 수행하였는데, 이와 같은 와셔를 사용하는 경우 상당히 개선된 충격 흡수 특성을 가질 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 석세일 외, 정형외과학 제4판, 대한정형외과학회, 470-492, 1993.
2. M ller, M. E., Allg wer, M., Schneider, R., Willenegger, H., *Manual of Internal Fixation, third edition*, AO-GROUP, 1-3, 23-30, 1991.
3. Hidaka, S. and Gustilo, R. O. "Refracture of bones of the forearm after plate removal", *J. Bone Jt. Surg.*, Vol. 66-A, 1241-1243, 1984.
4. Uthoff, H. K. and Dubuc, F. L. "Bone structure changes in the dog under rigid internal fixation", *Clin. Orthop. & Relat. Res.*, Vol. 81, 165-170, 1971.
5. Akeson, W. H., Woo, S. L-Y., Rutherford, L., Coutts, R. C., Gonsalves, M. and Amiel, D. "The effects of rigidity of internal fixation plates on long bone remodeling", *Acta Orthop. Scand.*, Vol. 47, 241-249, 1976.
6. Carter, D. R., Vasu, R. "Plate and bone stresses for single and double-plated femoral fractures", *J. Biomech.*, Vol. 14, 55-62, 1981.
7. Woo, S. L-Y., Akeson, W. H., Coutts, R. D., Rutherford, L., Doty, D., Jemmott, G. F. and Amiel, D. "A comparison of cortical bone atrophy secondary to fixation with plates with large differences in bending stiffness" *J. Bone Jt. Surg.*, Vol. 58-A, 190-195, 1976.
8. Tonino, A. J., Davidson, C. L., Klopfer, P. J. and Linclau, L. A. "Protection from stress in bone and its effects", *J. Bone Jt. surg.*, Vol. 58-B, 107-113, 1976.
9. Hutzschenreuter, P., mathys, R., Walk, H. and Brummer, H "Polyacetal plates with a metal core", in *Current concepts of internal fixation of fracture*, Uthoff, H. K., (ed), Berlin, Springer Verlag, 149-155, 1980.
10. Class, L., Burri, C., Kinzl, I., Fitzer, E. and Huttner, W. "Less rigid fixation with carbon fibre-reinforced materials: mechanical characteristics and behavior in vivo", in *Current concepts of internal fixation of fracture*, Uthoff, H. K., (ed), Berlin, Springer Verlag, 156-159, 1980.
11. Corcoran, S. F., Koroluk, J. M., Parsons, J. R., Alexander, H. and Weiss, A. B. "The development of a variable stiffness, absorbable composite bone plate", in *Current concepts of internal fixation of fracture*, Uthoff, H. K., (ed), Berlin, Springer Verlag, 136-145, 1980.
12. Zimmerman, M., Parsons, J. R. and Alexander, H. "The design and analysis of a laminated partially degradable composite bone plate for fracture fixation", *J. Biomed. Mater. Res.*, Vol. 21, 345-361, 1987.
13. Tomita, N. and Kutsuna, T. "Experimental studies on the use

- of a cushioned plate for internal fixation*", Int. Orthop., Vol. 11, 135-139, 1987.
14. Korvick, D. L. "Stress-Protection Osteoporosis: A Comparison of Two Bone Plate Designs", M. S. Washington State University, 1984.
15. 이윤식, 박동국, 민병구, "폴리우레탄 인공혈관을 위한 extracellular matrix 기질상의 내피세포이식", 의공학회지 Vol. 12, No. 3, 1991.
16. Ewins, D. J. "Modal Testing: Theory and Practice", Research Studies Press, 1984.

=국문초록=

본 논문에서는 골절 치료에 사용되고 있는 기존의 금속판과 나사고정 장치를 개선하여, 뼈에 점진적인 생리하중을 가할 수 있도록 고안된 내고정 장치를 살펴보았다. 이 장치는 골절판과 나사를 결합할 때, 그 사이에 생분해성 재질이나 기타 댐핑 특성이 우수한 재질의 와셔를 삽입하는 것을 그 특징으로 한다. 본 논문에서는 주로 이 장치의 충격 흡수 특성을 파악하기 위해, 돼지 대퇴골과 소 경골에 대해 충격 망치를 이용하여 얻은 진동 실험 결과를 보여주며, 특히 와셔의 유무에 따른 충격 흡수 특성을 실험적으로 비교하였다.