

## 全置換股關節失敗例의 代置物除去에 關한 研究 (第一篇 骨시멘트除去를 爲한 定性的考察)

慶熙大學校 醫科大學 整形外科學教室

金 榮 瓏

= Abstract =

### An Investigation on the Mode of Fracture of Cement in Failed Total Hip Prostheses (First Chapter: Qualitative Study to Removal of the Bone Cement)

Young Yong Kim, M.D.

*Dept. of Orthopaedic Surgery, Kyung Hee University, Seoul, Korea*

The reported clinical results following revision of failed cemented hip arthroplasties have varied. The most important aspect of revision surgery, especially in case of removal of well injected femoral cement need not be daunting if certain essential principles are understanding.

The problem is basically that of a tube (cement) fixed within another tube (femur). Otherwise, any attempt to work between the two will cause the instruments to skid off the cement and penetrate the femoral cortex.

Therefore, on the first step to deal with the problem and theoretical ground, we have investigated the mode of fracture in bone cement.

Prior to this study, a comparison of various cement strength been published by A.J.C. Lee, University of Exeter, UK is reviewed for our reference.

As far as cement crack is concerned, there are three modes of fracture, namely, mode I, mode II and mode III. As seen in the Fig. 5, mode I fracture is defined to be the fracture under symmetric loading, which is perpendicular to the crack surface.

Mode II fracture is the fracture under anti-symmetric loading, which is parallel to the crack surface.

In mode III, the loading is perpendicular to both crack surface and the plane of the paper.

On the left is the situation shown when using osteotome to crush the cement Fig. 6. The problem here is of dynamical nature, however, this kind of problem has not been solved yet. Prediction of the direction of propagation is possible by assuming the static nature when the osteotome just gets inside the cement. Small element with distance and angle from the osteotome tip under stress is also shown on the left. Here, the mode of fracture is mode I.  $\partial\theta\theta$  is obtained from fracture mechanics as this, and the direction of crack propagation is given by solving  $\partial\theta\theta = 0$ , i.e., the direction of maximum  $\partial\theta\theta$  which turns out to be  $\theta = 0$ .

When chisel is used, the mode of fracture is the combined mode, i.e., Mode I + Mode II (Fig. 7). In an analogous approach to the previous one,  $\partial\theta\theta$  is obtained, thus, the direction of propagation is given by solving  $\frac{\partial\theta\theta}{\partial\theta} = 0$ , which results in  $\theta = (-)\alpha$ , the half of the included angle of the chisel. Note, however, that the direction of propagation given here is the initial direction of crack propagation.

In practice, the crack often gets curves, however, this phenomena is governed by other factors neglected in this presentation, such as inhomogeneity, state of stress of bone, cement and stem, etc..

Thus, quantitative study is required in addition to solve these phenomenon.

**Key Words :** Revision surgery, Mode of fracture in bone cement.

## I. 서 론

1950년대 인공고관절이 McKee 및 Charnley에 의하여 처음 사용되기 시작된 이래 지금까지 보다 좋은 인공 관절을 위한 연구가 세계 각국에서 끊임없이 진행되어 현재는 그 모델이 30여개를 넘게 되었고 종래의 성 인고관절외과의 적용에 대하여 큰 개혁을 가져왔다. 반면에 많은 합병증 역시 병발되고 있는 실정이다. 미국에서 연간 시술되는 인공고관절의 성적은 약 8만여명 그리고 전세계를 통하여 연간 약 25만명의 환자가 이 수술을 받고 있는 것으로 추산되고있다. 미국의 경우 고관절수술을 받았던 환자중에서 약 800~1600명(1~2%)이 합병증으로 심부간염이 야기되었음이 보고된바 있다<sup>5)</sup>. 그리고 인공고관절 시술후 연륜에 따라서 설계의 결함이 원인되어 기계적인 문제로 혈거위짐 역시 점차적으로 증가되고 있는 실정이다<sup>6)</sup>. 대치물의 고착을 위하여 사용하는 골시멘트의 혈거위짐 그리고 인공관절대(stem)의 파손은 그예이다. Charnley<sup>3)</sup>도 두가지로 대별하여 1. 수술후 간염의 방지 2. 장기간의 안정된 bone cement interface의 유지가 장차 인공고관절시술의 열쇠가 될것이라고 언급 한바 있다. 상술한 파손원인은 재료의 결정구조 및 격차구조의 불균일, 제작시 발생될 수 있는 shrinkage porosity 등에 의한 문제, 시멘트와 stem의 접합불량과 stem의 인체대퇴골 속에서의 불안정한 위치로 인한 집중응력(stress concentration)의 발생, stem의 설계상의 잘못등으로 생각된다. 본 연구에서는 전술한 실패요인으로 인한 파괴현상에 관심을 두고 revision surgery시 골시멘트 제거의 난점을 해결하기 위하여 파괴공학에 의존하여 osteotome 및 chisel 사용시 골시멘트의龜裂方向을 우선 정성분석 수학적으로 처리하여 골시멘트의 제거를 쉽게 함을 목적으로 하였다.

골시멘트의 mechanical strength는 surgeon의 handling technique에 따라서 큰 영향을 받아 강화될수도 있으며 모든 정형외과의는 implant의 보다 더 긴 수명연장을 위하여 골시멘트의 보존 연장에 기대를 걸게된다.

그러나 실험적으로 중합된 polymethylmetacrylate는 7일~14일후에 그 strength가 最高에 도달되며 약 2년간 보관 비교 관찰한 결과에서는 점차적으로 현저히 弱화되는것으로 알려져 있다. 그러나 臨床的으로는 이와는 달리 시술후 7 $\frac{1}{2}$ ~8년후 환자에서 적출한 골시멘트의 강도측정에서 約 5~10%정도의 강도저하를 인지할 수 있는것으로 보고되어 있으며 (4)형태학상으로는 골시멘트自體의 fatigue한 상태로 설명 되고 있다. 그러나 아직까지 이러한 골시멘트의 fatigue strength에 關한 機

轉은 確고한 理論的 근거가 設立되어 있지 않는 상태이다. 따라서 수술후 infection이 介在되지 않는限 그遠隔成績추적에서 骨시멘트의 fatigue failure라는 用語自體는 臨床的으로는 큰 意義가 없는 것으로 되어있다. Revision을 위하여 骨시멘트를 開는 실험에 앞서 필자가 인용한 A.J.C. Lee<sup>4)</sup>의 실험결과를 Fig. 1에 제시 하였다. 중합후 가장 cement의 strength가 강한 7日後所見에서 各種 骨시멘트의 compression stress의 결과는 別差가 없는것으로 報告 되어 있다. Fig. 2에 제시 한바와 같이 같은조건 (중합후7日)에서 Young's modulus의 결과에서는 若干의 差異점이 發見되었으며 Palacos R 및 simplex P에서 다소 저하현상을 인정할 수 있으나 臨床的으로는 別로 큰 意義가 없는것으로 해석 되고 있다. Fig. 3에서 屈曲에 關한 실험 역시 上述한바와 같은 條件에서 4종류의 骨시멘트를 比較 관찰한 결과는 抗生제가 혼합된 Palacos에서 bending strength가 가장 저하 되어 있음을 알 수 있다. Fig. 4에서 屈曲時의 Young's modulus 역시 항생제가 혼합된 palacos에서 가

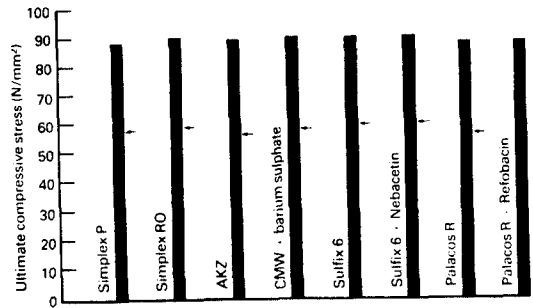


Fig. 1. Ultimate compressive stress of various cements (A.J.C. Lee., Proceeding of a Symposium. Revision Surgery 5-13, 1979).

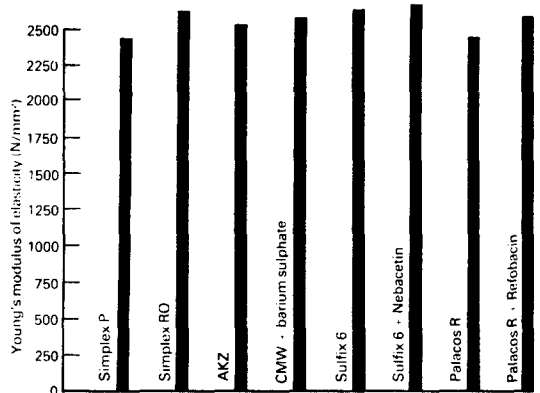


Fig. 2. Young's modulus of elasticity for various cements (A.J.C. Lee., Proceeding of a Symposium. Revision Surgery 5-13, 1979).

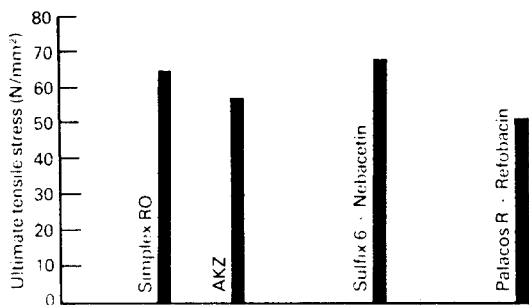


Fig. 3. Ultimate tensile strength (bending) for various cements (A.J.C. Lee., Proceeding of a Symposium. Revision Surgery 5-13, 1979.)

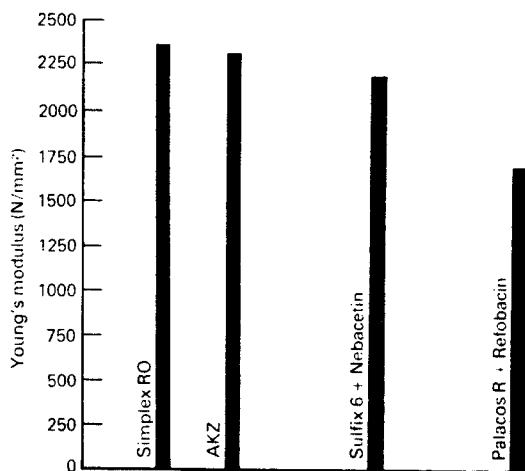


Fig. 4. Young's modulus for bending (A.J.C. Lee., Proceeding of a Symposium. Revision Surgery 5-13, 1979).

장 저하되어 있다.

이상 소개한바와 같이 A.J.C. Lee의 실험결과를 reference 삼아 revision surgery 시 개야할 cement의 strength는 上述報告된 ultimate strength에서 骨시멘트의 fatigue failure를 各各 10%저하 된것으로 인정하고 이론적 고찰을 더해 보았다.

## II. 시멘트 파괴의 이론적 전개

파괴의 형태를 파괴역학에서는 세가지로 分類하고 있다. Fig. 5에서 보는 바 처럼 龜裂面에 垂直이고, 對稱의 荷重下에서의 파괴를 Mode I 이라 하고, 龜裂面에 平行하게 反對稱의 荷重下에서의 破壞를 Mode II라 하고 龜裂面에 垂直이고, 荷重이 종이面に 垂直으로 作用하는 荷重下에서의 破壞를 Mode III 이라 한다. Os-

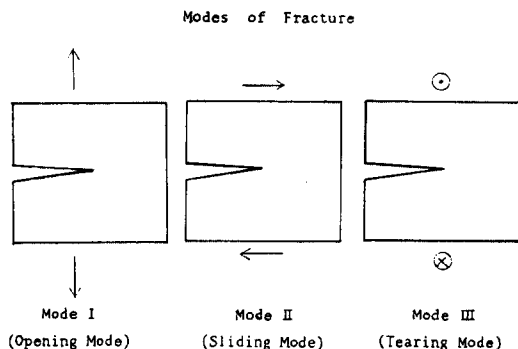


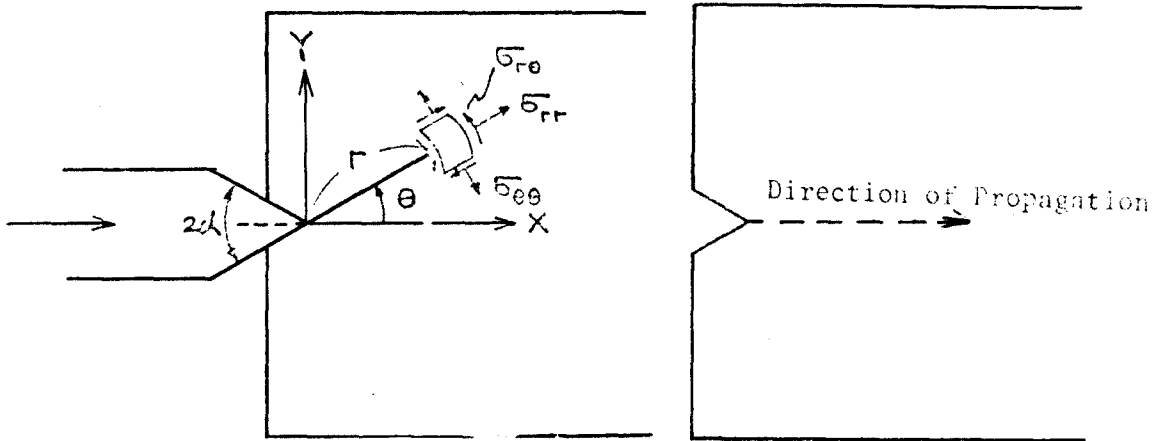
Fig. 5. Modes of fracture in solid materials.

teotome으로 cement를 깎때의, 그림 Fig. 6에 제시한 바와 같이 실제로, 이러한 경우는 動的인 문제이나, 현재까지 破壞力學에서 이러한 動的인 문제는 解決되어 있지 않으므로 osteotome이 cement 속으로 약간 들어간 경우의 靜的인 문제로 龜裂의 進展方向 予測을 할 수 있다<sup>52)</sup>. 왼편에 osteotome 끝에서 부터 거리  $r$  각  $\theta$ 에 있는 微小面積이 받고 있는 應力狀態를 추측할 수 있다. 이경우 파괴형태는 Mode I 이다. Osteotome端 부근에서  $\sigma_{\theta\theta}$ 는 破壞力學에 의하면 이처럼 주어지는데 龜裂의 進展은  $\sigma_{\theta\theta}$ 가 最大가 되는 방향으로 進行되므로  $\frac{\partial \sigma_{\theta\theta}}{\partial \theta} = 0$ 에 의해서  $\theta = 0$ 임을 알고 그方向이 오른편 그림 (Fig. 6)에 표시되어 있다.

Chisel를 사용하는 경우는 바로전의 osteotome와는 달리 Mode I 과 Mode II 의 결합상태이다. Fig. 7前과 마찬가지로 방법으로  $\frac{\partial \sigma_{\theta\theta}}{\partial \theta}$ 를 구한 후  $\frac{\partial \sigma_{\theta\theta}}{\partial \theta} = 0$ 에 의하여  $\theta = (-)\alpha$ 임을 알수 있는데 이는 龜裂이오른 편에서 보는 바 처럼 약간 아래로 進전함을 알 수 있다. 여기서 進展方向은 初期進전방향이고 실제로 있어서는 勿論 휘어지기도 하나 이는 여러가지 다른 因子들에 의해 支配되므로 이를 予測하기는 매우 어려우며 주지하다시피 여기서 취급한 것은 우선 cement 파괴의 定性的인 方法에 關했으며 有限요소 및 기타 方法을 동원하여 앞으로 定量實驗을 계속할 예정이다.

## III. 요 약

Failed total hip의 Revision surgery 시 堅固히 固着되어 있는 骨시멘트의 제거는 어려운 과제이며 특히 Femoral component에 있어서는 Cortex의 Perforation 등 여러가지 合併症誘發의 直接原因이 될수 있다. 보다 安全한 Cement 제거를 目的으로 近來에 와서는 소위 Sonic bargery, X선투시하의 high speed power drill 및 심지어는 Sargical tool로 Carbon dioxide

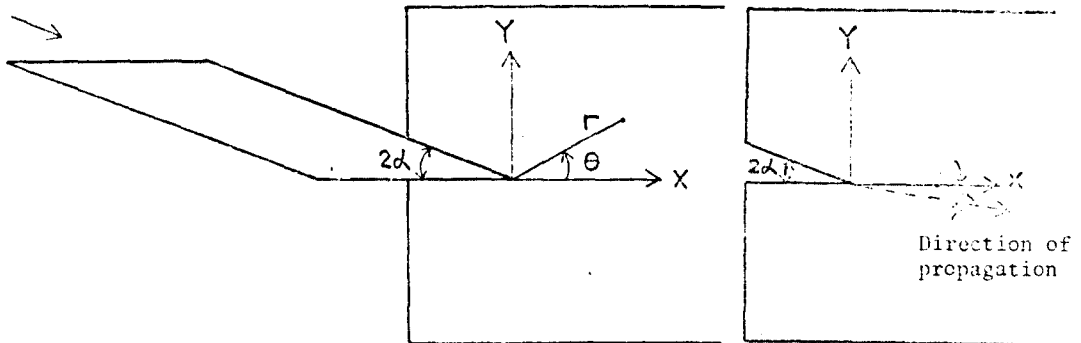


Here, the mode of fracture is Mode I.

Near the osteotome tip,  $\sigma_{\theta\theta}$  is given by  $\sigma_{\theta\theta}(r, \theta) = Cr \lambda_1 - 1 \left\{ \cos[(\lambda_1 + 1)\theta] - \frac{\cos(\lambda_1 + 1)(\pi - \alpha)}{\cos(\lambda_1 - 1)(\pi - \alpha)} \cos(\lambda_1 - 1)\theta \right\}$ , where  $\lambda_1$ , ( $0 < \lambda_1 < 1$ ) is given by  $\sin 2\lambda_1(\pi - \alpha) = -\lambda_1 \sin 2\alpha$ , and C is a constant, which is a function of geometry and loading.

The direction of crack propagation is given by  $\frac{\partial \sigma_{\theta\theta}}{\partial \theta} = 0$ , which gives  $\theta = 0$ .

Fig. 6. Mode of fracture of the cement by osteotome.



Here, the mode of fracture is Mode I + Mode II.

Near the chisel tip,  $\sigma_{\theta\theta}$  is given by  $\sigma_{\theta\theta} = Cr \lambda_1 - 1 \left\{ \sin(\lambda_1 + 1)(\theta + \pi) + D \cos(\lambda_1 + 1)(\theta + \pi) + \frac{1 + \lambda_1}{1 - \lambda_1} \sin(\lambda_1 - 1)(\theta + \pi) - D \cos(\lambda_1 - 1)(\theta + \pi) \right\}$ , where  $\lambda_1$  ( $0 < \lambda_1 < 1$ ) is given by the root of  $\sin 2\lambda_1(\pi - \alpha) = \lambda_1 \sin 2(\pi - \alpha)$ ,

C is a constant depending on the geometry and loading, and D is defined by  $D = \frac{(\lambda_1 - 1) \sin(\lambda_1 + 1)(2\pi - 2\alpha) - (\lambda_1 + 1) \sin(\lambda_1 - 1)(2\pi - 2\alpha)}{(\lambda_1 - 1) \{ \cos(\lambda_1 - 1)(2\pi - 2\alpha) - \cos(\lambda_1 + 1)(2\pi - 2\alpha) \}}$

The direction of crack propagation is given by  $\frac{\partial \sigma_{\theta\theta}}{\partial \theta} = 0$ , which results in  $\theta = (-)\alpha$ .

Fig. 7. Mode of fracture of bone cement by chisel.

laser까지 동원되고 있는 實情이나 上述한 各器具는 그 使用에 있어서 一長一短의 問題점이 介在되므로 現時點에서는 Osteotome 或은 chisel에 依存하여 꾸준히 直視下에서 骨시멘트를 開나가는 方法이 가장 安全하다고 할 수 있다.

파괴공학을 土台로 骨시멘트의 파괴를 定性分析 해진 結果Osteotome을 使用하였을 時는 소위 Mode I (Opening) 형태로 龜裂(Crack)이 進展됨을 알 수 있었으며 Chisel을 사용하였을때 前述한바 와 같이 龜裂(Crack)는 若干 아래로 進진 됨으로 安全한 Cement 製

거가 可能하다. 이때 파괴의 형태는 Mode I 과 Mode II의 결합상태 이다.

以上 파괴대상물(骨시멘트)의 Homogeneity한 상태로 가정하여 定性的인 方法에 끝했으나 正確한 사전 판단을 爲하여서는 有限要素 및 기타方法을 動員한 定量實驗이 要求된다.

本論文 着成에 있어서 協助해주신 한국과학 기술연구원 엄운용 교수께 감사 드립니다.

## REFERENCES

- 1) 김영용, 박변만, 김승우, 박종오, 전치환 인공 고관절의 해석 및 회적설계. 대한의학협회지 제 23권

제 9호 775 1980.

- 2) 엄운용 : *Personal communication-1982*
- 3) Sir John Charnley : *The future of total hip replacement. The Hip. 198-210, 1982.*
- 4) A.J.C. Lee. : *Cement Strength — Relationship with bone-comparison of different available cements. Revision Arthroplasty. Proceeding of a Symposium held at Sheffield University. 5-13, 1979.*
- 5) Paul M. Pellicci., P.D. Wilson et al : *Revision total hip Arthroplasty. Clinical Orthopaedics. 34, Oct. 1982.*
- 6) Mike Wrobluski. : *Wrightington Hospital, Personal communication 1982.*