

불소섭취에 따른 백서 대퇴골의 파절특성에 관한 Acoustic Emission 연구

송근배 · 이영은 · 김혜영 · 이상한*

경북대학교 치과대학 예방치과학교실, 구강악안면외과학교실*

Abstract (J. Kor. Oral Maxillofac. Surg. 2002;28:16-23)

ACOUSTIC EMISSION CHARACTERISTIC OF THE RAT FEMUR AFTER ADMINISTRATION OF SODIUM FLUORIDE

Keun-Bae Song, Young-Eun Lee, Hye-Young Kim, Sang-Han Lee*

Dept. of Preventive Dentistry, Oral and Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Kyungpook National University*

To understand the micro-mechanical changes and the effects of the fluoride on rat's femur after administration of sodium fluoride, the three-point bending test, acoustic emission analysis during the three-point bending test and scanning electron microscopy were performed.

The obtained results were as follows:

1. Bone strength increased in the rats given 1, 5, 10 and 20 ppm of fluoride but, there were no statistical significances ($p>0.05$).
2. With increasing the concentration of fluoride, most AE events released rapidly just before the maximum load and smaller events were recorded than the control group's. The average of cumulative AE event counts until maximum load of the femur in 20 ppm group were significantly small with respect to the control group's ($p<0.05$).
3. Fracture surfaces were well coincide with the results of acoustic emission behavior. Analyses of fracture surfaces indicated that, consistent with its the highest load, rat femur in 20 ppm fluoride group displays the roughest surface.

Key words : Sodium fluoride, Rat femur, Acoustic emission

I. 서 론

인간은 여러 경로를 통하여 불소에 노출되고 있다. 많은 나라에서는 마시는 물에 치아우식증을 예방하기 위하여 불소를 공급하고 있고, 또 불소는 대부분의 치약과 치과용품들의 중요한 구성성분으로 포함되어 있다. 이들 용품들은 불소정제¹⁾, 불소점적제²⁾ 등과 같이 전신순환계로 흡수되는 것과 불소치약³⁾, 불소함유 구강세정제⁴⁾, 불소도포용 겔⁵⁾ 그리고 불소함유 바니쉬⁶⁾ 등과 같이 치아표면에 국소적으로 적용되는 두 종류가 있으며, 대부분의 국소도포용 불소는 삼켜지게 되면 결국 전신적인 순환경로를 통하여 인체 내로 흡수되기도 한다⁸⁾. 인체 내에서 불소의 대사는 혈장의 체내 분포와 배설과 관련되어지는데 대략 흡수된 불소의 50%는 소변으로 배설되고 나머지 50% 정도가 경조직에 축적된다. 또한 불소는 반드시 비가역적으로 결합하는 것이 아니고 골의 정상적인 재형성 과정 동안이나 일상의 불소 노출에

따른 지속적인 변화에 따라서 유리되기도 한다. 연조직에서는 세포내액과 세포외액 사이에서 꾸준한 상태로 분포되어 결과적으로 혈장 내의 불소 농도가 올라가거나 내려감에 따라 세포내액에서는 비례적으로나 또는 평형적인 변화가 일어나게 된다. 인체 내에서 불소배설의 주경로는 신장을 통해서 일어난다⁹⁾.

1945년 초 미국에서 처음으로 시행된 상수도수불소화는 일반 대중들의 치아우식증을 예방하는데 상당한 효과를 가져 왔음¹⁰⁻¹³⁾은 기정사실이며 또한 노인 인구들에 있어서 골절과 골조송증을 예방하는데 있어서도 효과를 가져올 수 있는 가능성이 여러 연구를 통하여 제시되었으며^{14,15)}, 또한 1960년 이후 많은 학자들에 의해 불소와 골다공증의 역학적 조사가 진행되었다. 이러한 연구들의 결과로써 불소는 조골세포를 자극하여 골 형성을 촉진시킬 수 있고, 피질골에서보다 소주골 형성을 증가시키며, 척추골 밀도를 증가시킬 수 있다고 알려져 골조송증의 예방 및 치료제로 이용될 수 있는 근거를 마련하였다^{16,17)}. 그러나 아직까지는 불소가 골의 광물화에 미치는 영향에 대하여서는 명확히 규명되지 못한 관계로 전신적인 골대사 질환의 예방이나 치료제로써 불소의 사용에 대하여서는 이견이 많으며, 또한 아직까지 골대사 기전에 관해서는 완전하게 밝혀진 바가 없다. 불화물 투여에 의한 치아우식증의 예방효과는 다른 부수적인 불소투여 방

이 상 한

700-422, 대구광역시 중구 동인 2가 101

경북대학교 치과대학 구강악안면외과학교실

Sang-Han Lee

Dept. of Oral and Maxillofacial Surgery, College of Dentistry, Kyungpook National University

101, Dongin 2-ga, Jung-gu, Daegu, 700-422, Korea

Tel: 82-53-420-5911, Fax: 82-53-426-5365

E-mail: shalee@knu.ac.kr

* 이 연구는 2000년도 경북대학교병원 의학연구소 연구비의 지원으로 이루어졌음

법들과 마찬가지로 많은 선행학들에 의해 이미 입증된 사실이다. 그러나 우리나라에서의 상수도불소화의 확대실시에 반하여 일부에서 실험적 근거도 없이 상수도수불소화의 전신적인 위해성을 주장하며 일반 대중들에게 잘못된 인식을 심어주고 있다¹⁸⁾.

골의 결정화 정도를 측정할 수 있는 방법 중에서 Acoustic Emission (이하 AE)은 재료 중의 미세균열의 발생이나 소성 변형, 쌍정 변형 등에 의해 발생하는 초음파영역의 탄성파를 재료에 접촉시킨 압전소자를 이용한 AE 변환자를 통해 검출하고 신호 처리시켜 재료의 내부에서 발생하는 변형이나 파괴현상을 실시간으로 관찰하고 평가할 수 있는 비파괴적인 평가법으로 재료의 선별¹⁹⁾, 재료의 수명²⁰⁾, 재료 물성의 연구²¹⁾ 등에 많이 활용되고 있다. 또한 AE signal들은 자연적인 파절이나 손상이 있는 경우 발생되므로²²⁾, 세라믹이나 콤포지트 레진 등과 같은 취성재료의 균열진전에 대한 파괴인성의 평가 그리고 조직이나 인대 손상을 탐지하는데 응용되고 있다²³⁾. 골절과 파절은 골이나 재료가 지탱할 수 없는 과도한 힘을 받게 되면 발생되지만 골절이나 파절이 발생되기 이전에 이미 골이나 재료의 내부에는 수많은 미세균열들이 생성되어 있다. 이러한 미세균열은 골이나 재료의 내부특성에 따라 다양할 수 있으며 또한, 골과 재료의 미세구조나 강도와도 직접적인 연관이 있을 것으로 사료된다. 따라서 골이나 재료가 골절 또는 파절되기 이전까지의 미세균열을 감지할 수 있는 AE를 활용하면 골 내부나 표면의 작은 결함까지 포착하여 골의 강도나 결정력 정도를 파악할 수가 있다. 그러나 지금까지 국내에서는 골 특성을 파악하기 위해 AE를 이용한 실험은 전무하며, 국외에서 일부연구^{24,25)}가 있을 뿐이다.

따라서 본 실험에서는 다양한 농도 (0, 1, 5, 10 및 20ppm)의 불소를 백서에 투여하고 백서 대퇴골의 파절거동을 AE와 만능압축시험기 등으로 측정하고 파절단면의 양상을 주사전자현미경으로 관찰함으로써 불소의 전신적 투여가 골의 강도와 백서 대퇴골의 결정화에 미치는 영향에 대하여 알아보려고 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구재료

1) 실험동물

생후 4주령의 체중 80~100gm내외의 Sprague-Dawley계 자성백서 30마리를 15주군, 30주군 각각 15마리씩 나누어 각 군 당 체중을 평균 1 gm내외로 균등하게 조정된 다음, 다시 각각 3마리씩 5개의 소군으로 나누었다. 제 1소군은 대조군으로 불소를 첨가하지 않은 3차 증류수를 투여하고, 제 2소군은 1ppm, 제 3소군은 5ppm, 제 4소군은 10ppm 및 제 5소군은 20ppm의 불소용액을 실험 15주 및 30주 동안 식수 대신으로 무제한 공급하였다.

2) 불화물 투여

투여되는 불화물은 1 ppm인 경우 불화나트륨 (Yakuri Pure Chemicals[®], LTD., Osaka, Japan) 2.2mg을 1 l의 3차 증류수에 용해시켜 사용하였다. 투여되는 백서 상용 사료 내의 불소 분석 시

chow 1gm 당 0.1 μ g의 불소가 함유되어 있었으나 사료 내의 불소를 제거할 수 있는 방법이 없고, 무시할 정도의 양이었으며, 사료 내의 불소는 음료수 내의 유리성 불소와는 달리 결합된 형태이므로 체내의 활용도는 10% 미만으로 간주하였다. 또한 백서 1마리 당 하루 소모하는 사료의 양은 거의 유사한 양이 섭취되리라는 전제 하에 투여하는 사료의 양을 무제한 공급하였다.

2. 연구방법

1) 표본채취

실험 15주 및 30주째의 불화물 투여 최종일 각 군별 3마리씩의 백서를 ethyl ether (Showa[®], Japan)로 흡입마취 후 해부하여, 양측 대퇴골을 적출하고 부착된 연조직을 가능한 한 모두 제거하여 3점 굴곡시험 및 AE 측정을 위한 시료로 준비하였다.

2) 3점 굴곡시험 및 AE 측정

희생시킨 직후 적출된 백서의 대퇴골을 사용하여 3점 굴곡시험과 3점 굴곡시험시 발생하는 AE를 함께 측정하였다. 대퇴골 한쪽면을 #1200 silicon carbide paper로 연마하여 그 면에 AE 센서를 부착한 후, 전체 길이의 중앙점을 표시하여 이로부터 양측 1cm씩, 즉 표점간의 거리는 2cm로 정하고 만능압축시험기 (Instron Model 4202, Instron[®], U.S.A.)에 압축 강도 시험용 jig를 설치한 다음 골 시편을 안정되게 위치시켰다. Cross head speed는 분당 1mm, load cell은 1,000kg 및 표점 거리는 20mm로 하여 3점 굴곡시험에 의하여 대퇴골 전체의 굴곡강도를 측정하였으며, 시험 중 발생하는 AE도 동시에 측정하였다. AE 센서는 고감도, 저잡음, 공진형 (공진주파수 180KHz)의 head amp 내장형 (M204, Fuji ceramics[®], Japan)으로 54dB의 증폭율을 나타낸다. AE 센서에서 측정되어 증폭된 신호는 AE 분석기 (NF 9861, NF Instruments, Japan)로 이송되고, AE 분석기인 main amp에 의해 다시 30dB로 증폭된다. AE 분석기에 수록된 AE는 굴곡시험 중 발생한 AE의 진폭분포, AE 에너지, AE 사상수 등으로 처리되어 컴퓨터 (Mac notebook)에 동시에 저장된다. 이상의 AE 측정의 개략도는 Fig. 1과 같다.

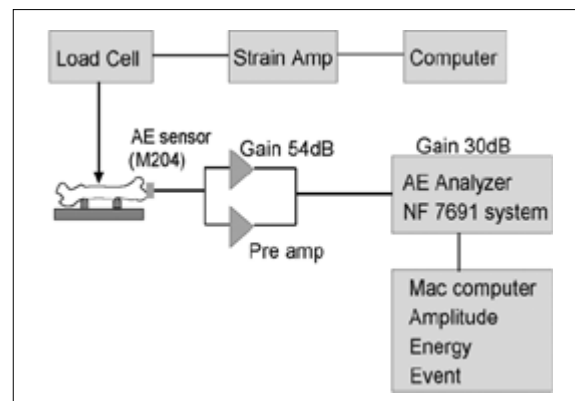


Fig. 1. Block diagram of AE detecting procedure.

3) 주사전자현미경상의 파단면 관찰

굴곡시험에 사용된 대퇴골 시편을 증류수로 수세하고 dry oven에서 완전히 건조시킨 다음 통법에 따라 mounting하여 진공 상태에서 금이온 증착장치 (IB-3, Eiko, Japan)로 180-200 Å 두께의 금으로 피복 시킨 후, 주사전자현미경 (S-2300, Hitachi, LTD., Japan)으로 20kV 상태에서 파단면의 양상을 관찰하였다.

4) 통계분석

각 군별로 수합된 모든 자료들은 SAS 8.01의 일변량분산분석법을 이용하여 투여되는 불소의 농도와 기간에 따른 골의 굴곡강도간의 평균차이 및 누적사상수 사이의 평균차이를 검정하였으며, 각 군간의 평균차이가 통계적으로 유의한 경우에 사후검정법으로 다중비교검정 (Duncan's multiple range test)을 실시하였다.

III. 결 과

1. 3점 굴곡시험

Table 1은 대퇴골 전체 길이의 중앙점을 표시한 후 하중을 가하면서 골이 파절될 때의 굴곡강도를 나타낸 것이다. 불소를 첨가하지 않은 3차 증류수를 15주간 투여한 대조군에서는 8.25kgf, 1ppm 투여군에서는 8.33kgf, 5ppm 투여군에서는 9.64kgf, 10ppm

Table 1. Stress at fracture of rat's femur after administration of sodium fluoride at middle point of femur (kgf)

	15week	30week
0ppm	8.25±1.96	10.51±0.69
1ppm	8.33±0.07	10.82±0.82
5ppm	9.64±1.84	11.15±0.69
10ppm	9.85±0.88	11.33±0.36
20ppm	10.10±0.68	11.66±0.85

Values are mean±SD

There are no statistically significant differences among five groups at each weeks by one-way ANOVA at level 0.05 (F=1.37 and 1.20)

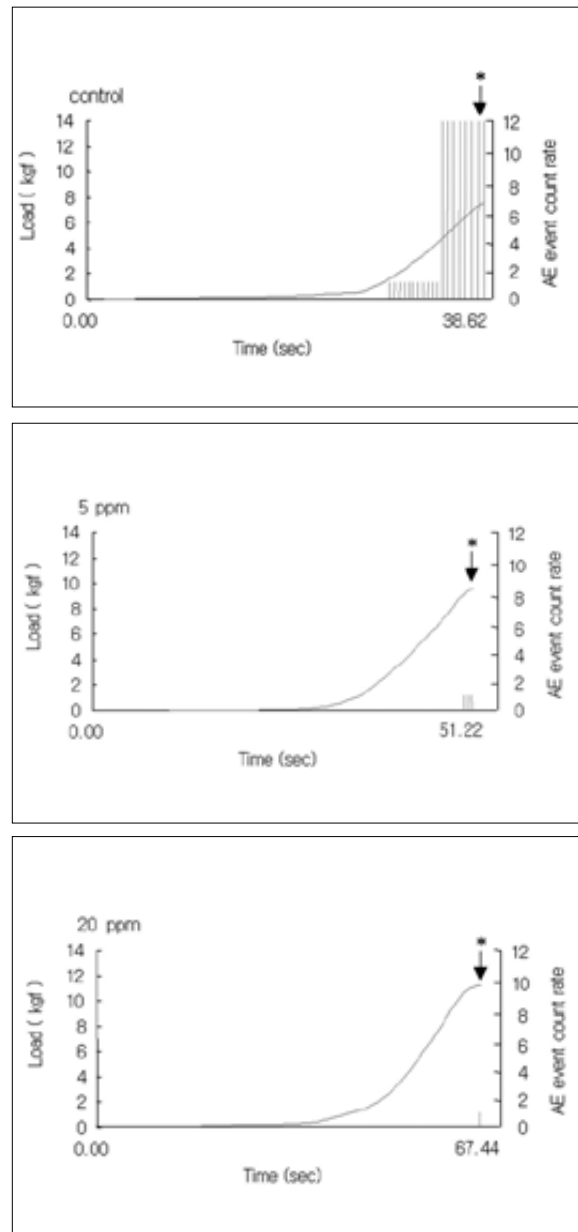
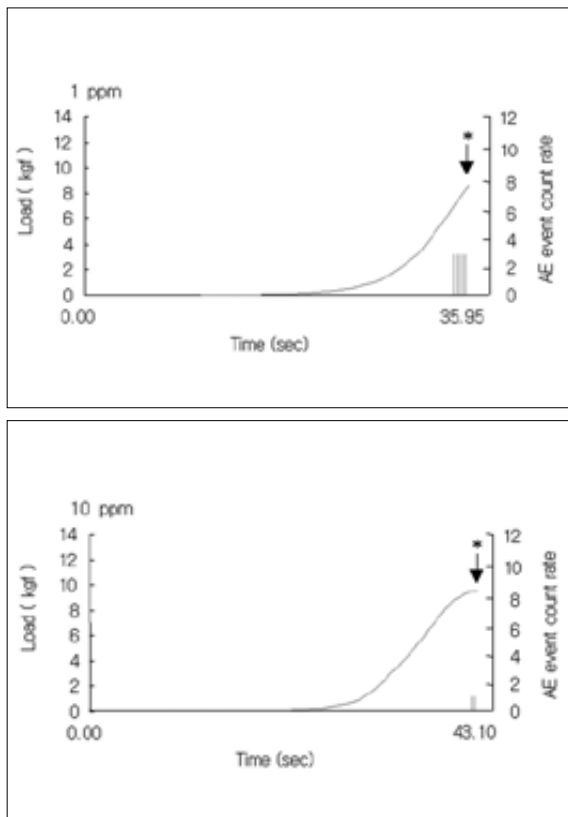


Fig. 2. Representative AE event behavior during the three-point bending test at 15 weeks after administration of sodium fluoride (Each mark on the abscissa indicates one AE event; Maximum load is indicated by an asterisk with an arrow).

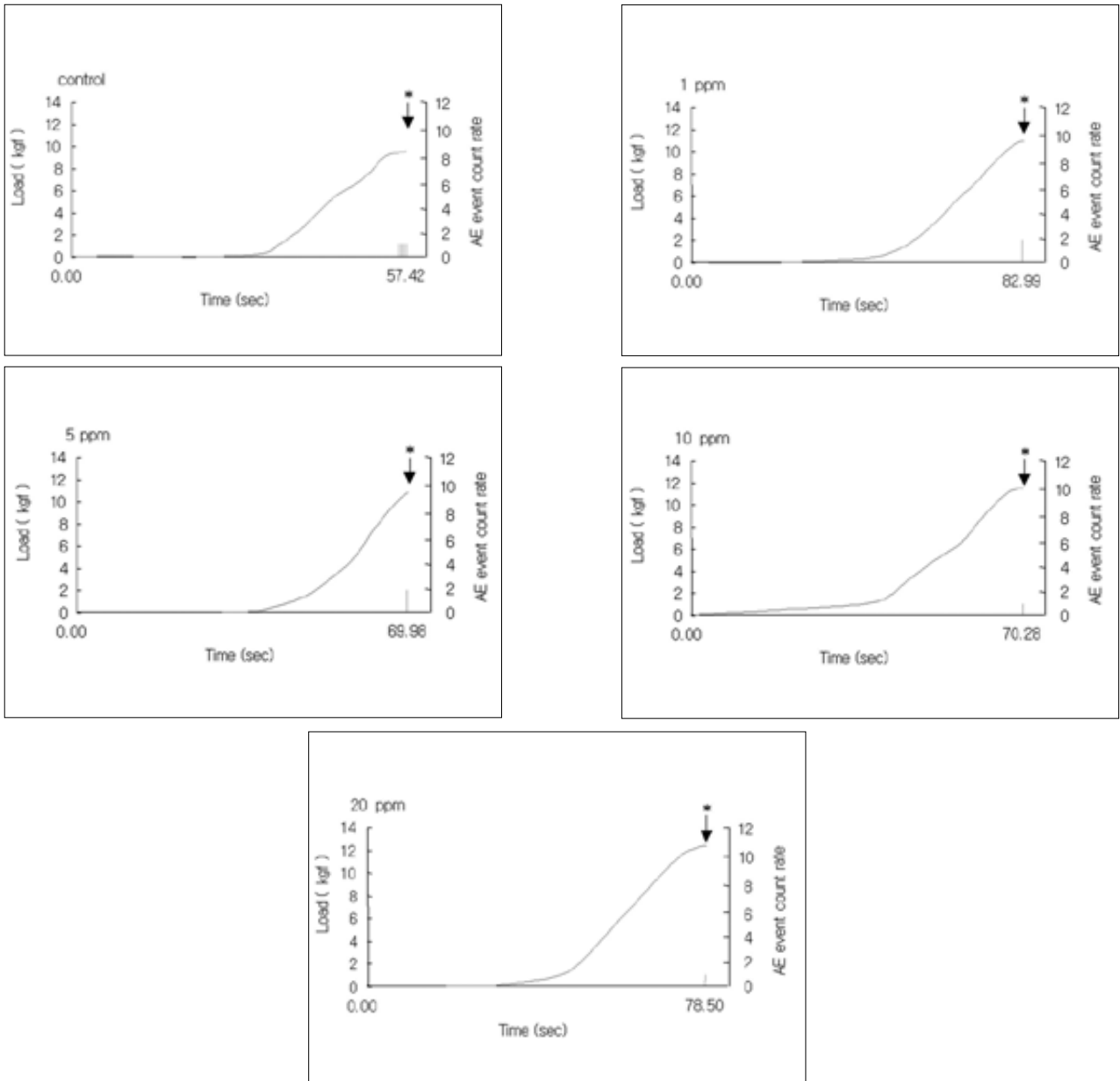


Fig. 3. Representative AE event behavior during the three-point bending test at 30 weeks after administration of sodium fluoride (Each mark on the abscissa indicates one AE event; Maximum load is indicated by an asterisk with an arrow).

투여군에서는 9.85kgf 그리고, 20ppm 투여군에서는 10.10kgf로 굴곡강도가 증가되었으나 군간의 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p>0.05$). 30주 동안 3차 증류수를 투여한 대조군에서는 10.51kgf로 15주 동안 투여한 군에서보다 27.39%가 증가되었고, 1 ppm 투여군은 10.82kgf로 29.89%가 증가되어 가장 현저한 증가를 보였으며, 5ppm 투여군에서는 11.15kgf로 15.66%, 10ppm 투여군에서는 11.33kgf로 15.03% 그리고 20ppm 투여군에서는 11.66kgf로 15.45%의 증가를 보였다. 또한 30주 동안 불화물을 투여한 군들에서도 15주 투여군에서와 마찬가지로 대조군에 비해 투여되는 불소의 양이 많을수록 굴곡강도가 증가되었으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p>0.05$) (Table 1).

2. 굴곡시험중의 AE 발생양상

Fig 2와 3은 굴곡시험의 하중-시간곡선과 이때 발생한 AE의 사상수를 함께 표시하였으며, Fig. 4와 5는 각 군별 평균누적사상수들을 모식하였다. 15주 동안 불소를 첨가하지 않은 3차 증류수를 투여한 대조군에서는 굴곡시험 중 가장 많은 AE가 발생하였으며, 최대 하중값 (7.91kgf)의 40-50%이전부터 조금씩 발생하기 시작하다가 최대 하중값의 83%부터 꾸준하게 AE가 발생하였다. 1ppm 투여군에서 AE 사상수는 대조군과 비교시 훨씬 적은 수가 발생하였으며, 최대 하중값 (8.30kgf)의 80%까지 AE가 없다가 최대 하중값 직전에서 급격하게 AE가 발생하였다. 5ppm을 비롯한 10ppm과 20ppm 투여군에서는 최대 하중값 (각각 9.15, 9.60,

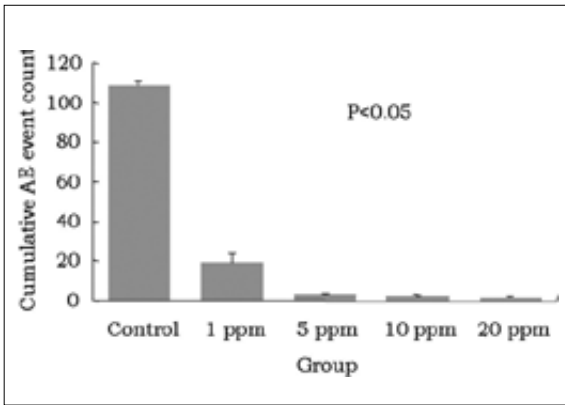


Fig. 4. Comparison of cumulative AE event count among the groups at 15 weeks (Each bar on the top of a column shows a standard deviation).

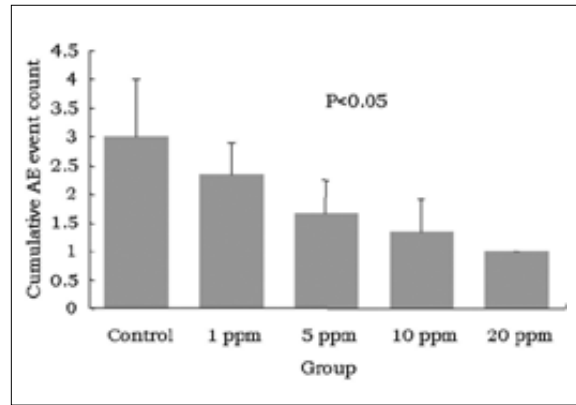


Fig. 5. Comparison of cumulative AE event count among the groups at 30 weeks (Each bar on the top of a column shows a standard deviation).

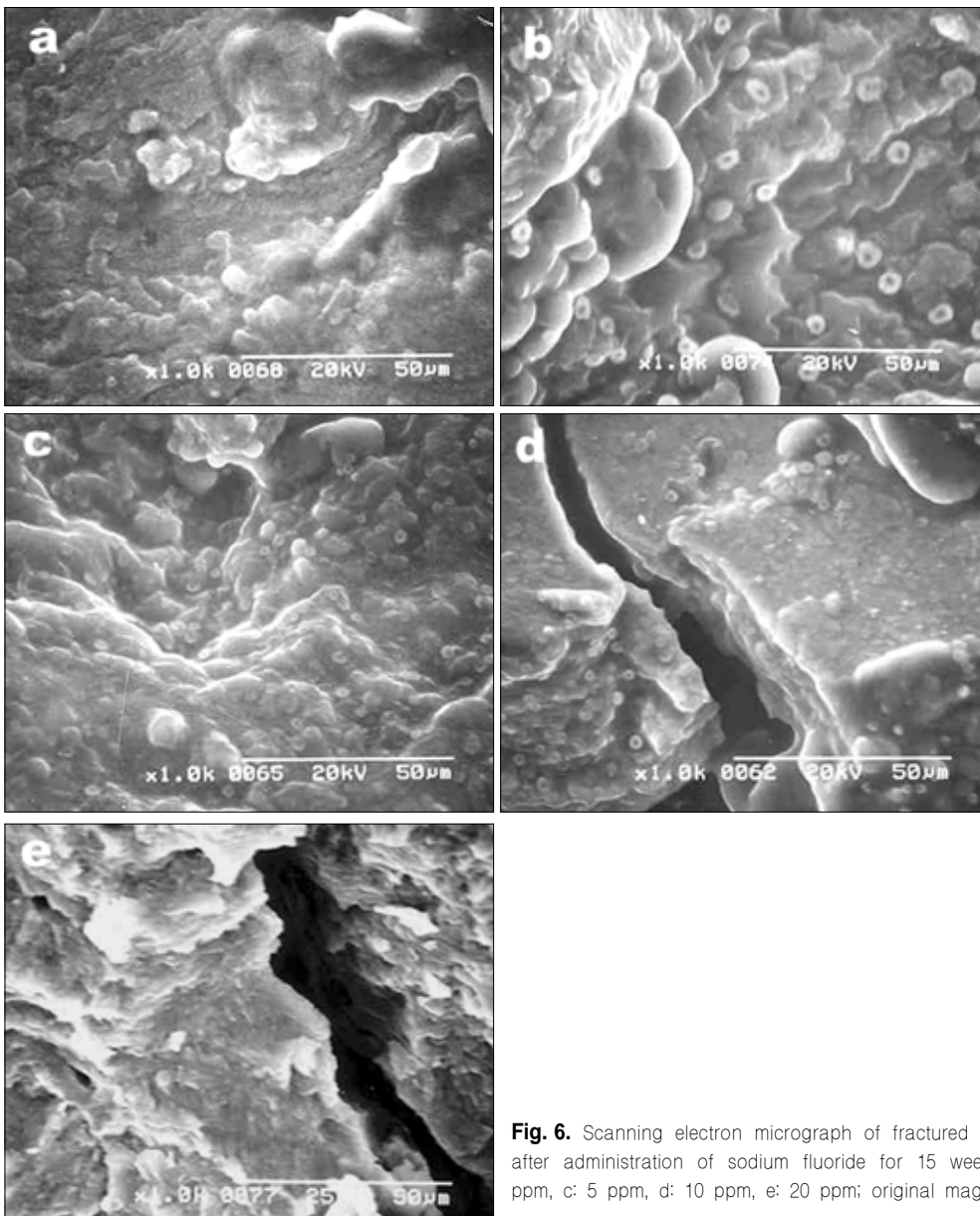


Fig. 6. Scanning electron micrograph of fractured surface at rat femur after administration of sodium fluoride for 15 weeks (a: control, b: 1 ppm, c: 5 ppm, d: 10 ppm, e: 20 ppm; original magnification $\times 10,000$).

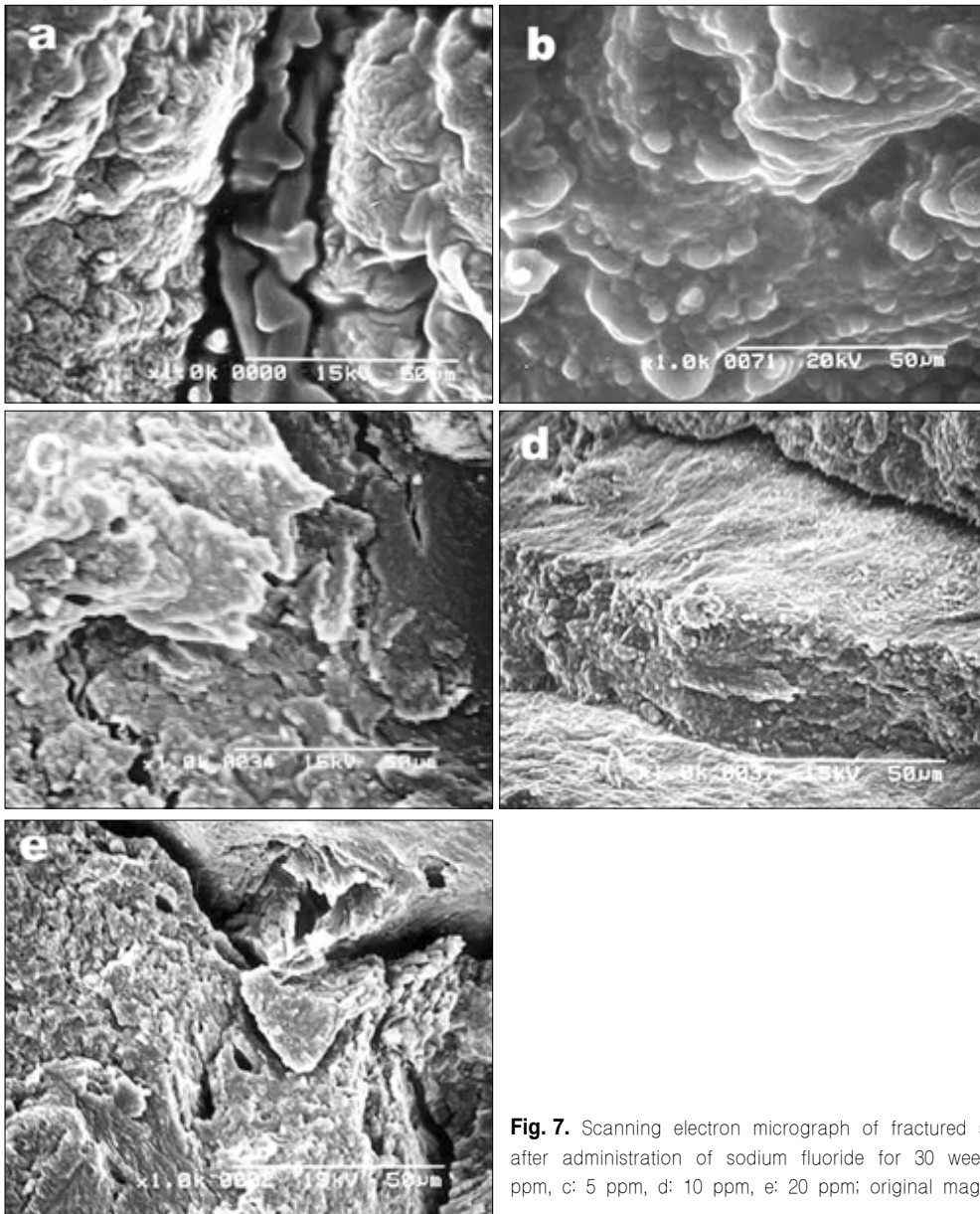


Fig. 7. Scanning electron micrograph of fractured surface at rat femur after administration of sodium fluoride for 30 weeks (a: control, b: 1 ppm, c: 5 ppm, d: 10 ppm, e: 20 ppm; original magnification $\times 10,000$).

10.58kgf)의 90%에 이르러서야 비로소 AE가 발생하였으며, 대조군 및 1ppm군과 비교시 훨씬 더 적은 양의 사상수를 보였다(Fig. 2). 30주 동안 불소를 첨가하지 않은 3차 증류수를 투여한 대조군에서는 15주의 대조군에서와 마찬가지로 불소투여군보다 더 많은 사상수를 보였으나, 15주째의 결과와는 달리 최대 하중값(9.73kgf) 직전에 이르러서야 비로소 AE가 발생하였다. 반면 1ppm, 5ppm, 10ppm 및 20ppm 투여군에서는 최대 하중값(각각 10.35, 10.53, 11.74, 12.57kgf)의 바로 직전에 2개 내지 1개의 사상수를 보여 불소투여량이 증가할수록 더 적은 사상수를 보였다(Fig. 3).

Fig. 4와 5에서 모식된 최대하중 즉 파절 직전까지의 AE 누적사상수의 결과, 대조군과 비교시 불소 처리한 실험 군들에서 유의하게 적게 관찰되었다($p < 0.05$). 실험 15주와 30주째 평균누적사

상수는 각각 대조군은 108.50, 3.00, 1ppm군은 19.00, 2.33, 5ppm군은 3.33, 1.67, 10ppm군은 2.33, 1.33 그리고 20ppm군은 1.67, 1.00으로 불소투여농도가 증가함에 따라 하중이 증가하는 것과 반비례하여 발생하는 사상수가 유의하게 감소됨을 볼 수 있었다($p < 0.05$).

3. 주사전자현미경상의 파단면 양상

Fig. 6과 7은 백서 대퇴골의 굴곡시험후의 주사전자현미경상의 파단면 양상을 보여주고 있다. 15주째 대조군에서는 불소투여군들에 비해 비교적 전체적으로 매끈한 파단면 양상을 띄었으며, 투여된 불소량이 많을수록 훨씬 더 거친 파단면을 나타내었다(Fig. 6a~6e). 30주째 대조군에서는 15주째 대조군과 비교시 더 거

친 파단면 양상을 보였으며, 15주째의 결과와 마찬가지로 불소 투여량이 증가할수록 다소 거친 파단면을 나타내었다(Fig. 7a~7e).

IV. 고 찰

다른 결합조직과는 달리, 골의 강도와 기계적 세기는 유기 성분 내에 calcium phosphate의 침착의 결과이다. 이 고도로 특수화된 결합 조직은 인체의 튼튼한 지지물임과 동시에 대사적 상호관계에 중요한 역할을 한다. 대략, 성숙한 골의 지방을 제외한 건조 무게의 35%는 유기 성분이고 나머지는 무기 성분에 속한다. 유기물질의 약 90%가 교원 섬유질이고 나머지는 비교원 섬유, 지방, 탄수화물에 해당된다. 골의 성분은 성장과 광화 과정에 의해 변화하지만 특정 종에서 성숙 골의 성분은 거의 같게 유지된다. 치밀골의 80~90%는 석회화되어 있는 골 조직이고, 소주골은 그 부피의 15~20% 만이 골 조직이고 나머지는 골수로 채워져 있다. 치밀골은 단단하기 때문에 신체균형을 이루는 지주와 장기 보호 기능이 있고, 소주골은 채액과 접촉하는 넓은 표면적을 가지고 있어서 골내 칼슘대사의 중심이 된다. 골은 교원질과 기질로 구성되고 있고, 그들 사이에 칼슘과 인산의 결정체인 하이드록시아파타이트가 끼어 있다. 기질의 주성분은 당단백과 단백질이다. 이들은 강한 음이온 복합체이기 때문에 이온결합능력이 높아서 칼슘-인 결정체의 포착과 함께 석회화 과정에 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다. 이와 같은 골과 불소와의 관계에 있어서 불소가 골의 광물화에 미치는 영향에 대해서는 명확하게 규명된 바가 없으며 따라서 골소송증의 치료를 위하여 불소를 사용하는 것에 대해서도 찬반의 논란이 계속되고 있다^{4,26)}. 또한 지금까지 국내에서는 상수도불소화에 사용되는 미량의 불소 투여시 골이나 타 신체조직 및 장기에 절대적으로 안전하며 전신적인 위해작용이 없다는 동물실험이나 생체자료들이 그리 많지 않은 실정이다. 따라서 본 실험은 인간이 자연계에서 보통 노출될 수 있는 1~5ppm까지의 불소와 인간이 자연적으로 노출될 수 있는 최대농도인 10~20ppm의 불화나트륨을 투여하여 저농도 및 고농도 불소에 의한 골 조직의 물리적 및 조직학적인 변화를 3점 굴곡시험과 AE 및 주사전자현미경 검경을 통하여 관찰함으로써 상수도불소화의 전신적인 안정성에 대한 기초적인 자료를 마련하고자 하였다.

백서 골의 물리적인 특성을 비교하고자 실시한 만능시험기에 의한 대퇴골 전체의 굴곡강도 시험에서는 대조군에 비해 1, 5, 10 및 20ppm 투여군에서 투여되는 불소농도가 증가할수록, 투여시간이 길수록 굴곡강도가 증가됨을 볼 수 있었다. 굴곡강도가 증가한다는 것은 골이 파절에 대해 저항할 수 있는 능력이 증가한다고 볼 때 불소투여가 골 파절에 대해 효과적임을 입증하는 증거가 된다고 사료되며, 이러한 결과는 최와 송²⁷⁾, 사공과 송²⁸⁾, 이등²⁹⁾ 그리고 송 등³⁰⁾의 결과와 유사하다. AE 발생양상을 살펴본 결과, 대조군에서는 최대하중의 40~50%이전부터 발생하기 시작하였으며 불소투여농도가 높을수록 최대하중 직전에 이르러서야 비로소 AE가 발생하였다. 또한, 15주보다 30주로 갈수록 즉,

투여기간이 길어질수록 더 골이 강해짐에 따라 AE가 거의 없었으며, 누적사상수도 감소하였다. AE 발생원은 두 가지로 나눌 수 있는데 우선 하나는 하중에 대해 골 내에서 이미 존재하는 기공들의 합체와 이들 합체된 큰 기공들이 서로 연결되면서 생기는 미세균열의 진전에 의해 AE가 발생하는 것이며, 다른 하나는 하중이 가해졌을 때 골 내의 약한 부위에서의 미세균열의 발생과 이들의 합체로 인한 AE 발생을 생각할 수 있다^{22,31)}. 본 실험 결과, 불소투여량이 증가할수록 골의 굴곡강도가 더 높아지고 본 실험 결과 불소투여량이 증가할수록 골의 굴곡강도가 더 높아지고 불소투여군들이 대조군에 비해 AE 발생수가 더 적게 나타난 것을 미루어 볼 때 골 내의 약한 부위가 불소투여군들에서 대조군에 비해 상대적으로 더 적게 분포되어 있음을 알 수 있다. 즉 강도가 약한 경우는 하중이 가해졌을 때 초기부터 골의 약한 부위에서 미세균열들이 형성되고, 이 결과 AE가 많이 발생되었다고 볼 수 있다. 이러한 결과들은 Zioupos 등²⁵⁾의 골에서 발생하는 대부분의 AE가 미세균열과 관련되어 있음을 증명한 보고에 의해 뒷받침된다. 또한 본 실험에서는 투여되는 불소량이 많을수록 최대하중 근처에서 AE가 발생했으며, 이는 더 약한 시료에서 AE가 낮은 하중에서 더 일찍 발생한다고 보고한 Fischer 등³²⁾의 연구결과와도 상응한다. 또한 Fig. 4와 5에서 볼 수 있듯이, 20ppm으로 갈수록 누적사상수가 더 적게 나타나, 이는 osteopenic trabecular bone과 같은 손상을 가진 더 약한 골에서 누적사상수가 더 많았음을 보고한 Hasagawa 등³³⁾의 결과와 유사하다. 따라서, 미세균열의 형성은 강도에 의존되는 것으로 생각되며, 나아가 불소투여가 골의 결정화에 영향을 미쳐 골강도를 증가시킬 수 있는 자료가 될 수 있으리라 사료된다. 한편, 이러한 결과는 주사전자현미경 관찰 결과에서 다시 한번 확인할 수 있었다. 일반적으로 재료가 파절될 때 에너지가 많이 소비될수록 파절에 대한 저항이 높게 된다고 알려져 있으며²¹⁾, 에너지가 많이 소비된 결과는 표면에너지가 커져 파단면이 거칠게 나타난다. 본 실험의 주사전자현미경 관찰 결과에서도 불소투여량이 높은 군일수록 골의 강도가 증가됨으로써 더 거친 파단면을 보였으며, 불소투여량이 낮은 군에서는 골 강도가 약화되어 파절 시 매끈한 파단면을 보여주고 있다. 이는 낮은 강도에서는 골이 파절하는데 에너지가 적게 소비되었고, 높은 강도에서는 그만큼 에너지가 많이 소비되어 거친 파면 양상을 보인 것으로 설명될 수 있다. 따라서 본 실험의 자료들을 종합해볼 때, 상수도 불소화의 적정농도인 1ppm을 비롯하여 최대 20ppm의 불소투여는 장기적으로 볼 때 백서 골의 굴곡강도를 증진시켜 줄 수 있음을 일부현상을 통해 확인할 수 있었다. 그러나 본 실험의 제한성으로는 이러한 harmful effect는 인체를 대상으로 시행할 수가 없어 실험동물을 대상으로 행해야 하므로 본 실험의 결과가 반드시 인체 내에서도 똑같이 적용될 수 없는 점과 백서 대퇴골을 채취하여 시료로 사용하는 경우 백서 개체간의 성장 차이에 의한 대퇴골의 내, 외경의 차이나 골경화 정도 즉 성장의 정도가 제각기 다르기 때문에 본 실험에 사용된 AE의 결과만으로 반드시 골경화 정도를 모두 파악할 수 없다는 한계점을 가질 수 있는 것으로 생각되며, 어떤 농도가 골 성장 또는 적정 결정화에 가장 최상의 효과를 나타

낼 수 있는지를 절대적으로 비교하기는 힘들 것이라 사료되어, 이에 관하여서는 좀더 장기적이고 다양한 방법을 통해 접근할 수 있는 지속적인 연구가 이루어져야 하겠다.

V. 결 론

불화나트륨의 전신적인 투여가 백서 골의 기계적, 조직학적인 특성에 미치는 영향을 알아보고자 0, 1, 5, 10 및 20ppm의 불소를 15주 및 30주간 투여한 다음 백서 대퇴골을 채취하여 대퇴골 전체의 골극강도를 만능압축시험기로 측정하고, 동시에 골극시험 중 발생하는 AE를 측정하여 그 파단면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과는 다음과 같다.

1. 15주 및 30주 동안 불소투여시 대퇴골 전체의 골극강도는 대조군에 비해 1, 5, 10 및 20ppm 투여군에서 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다 ($p>0.05$).
2. 불소투여농도가 높을수록, 투여기간이 길어질수록 최대하중 직전에 이르러서야 비로소 AE가 발생하였으며, AE 발생수도 적었다. 평균누적사상수를 계산해본 결과도 역시, 불소투여농도가 높을수록 유의하게 감소하는 경향을 보였다 ($p<0.05$).
3. 파단면 관찰 결과도 AE 발생양상과 잘 일치하여, 15주와 30주째 모두 투여되는 불소의 농도가 높아질수록 더 거친 파단면 양상을 보였으며 또한, 투여기간이 길어질수록 즉 골극강도가 더 강할수록 더 거친 파단면 양상을 보였다.

이상의 실험 결과로 미루어볼 때, 불소투여로 인한 강도 측정과 AE 발생양상 및 주사전자현미경 파단면 양상을 통해, 상수도 불소화의 적정농도인 1ppm을 비롯하여 최대 20ppm까지의 불소투여는 장기적으로 볼 때 골의 결정화에 영향을 미쳐 백서 골의 강도를 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. Lin YT, Tsai CL : Comparative anti-caries effects of tablet and liquid fluorides in cleft children. J Clin Dent 11(4):104-106, 2000.
2. Rantala EV : Caries incidence in 7-9-year-old children after fissure sealing and topical fluoride therapy in Finland. Community Dent Oral Epidemiol 7(4):213-217, 1979.
3. Tanzer JM, Pellegrino J, Buch RM, Fares HM : Caries inhibition in rats by a sodium fluoride, tripolyphosphate toothpaste with whitening and anti-tartar properties. J Clin Dent 12(4):108-111, 2001.
4. Zimmer S : Caries-preventive effects of fluoride products when used in conjunction with fluoride dentifrice. Caries Res 35(1):18-21, 2001.
5. Horwitz J, Machtei EE, Peled M, Laufer D : Amine fluoride/stannous fluoride and chlorhexidine mouthwashes as adjuncts to surgical periodontal therapy: a comparative study. J Periodontol 71(10):1601-1606, 2000.
6. Guimaraes AR, Modesto A, Vieira AR : Formation of alkali-soluble fluoride on the surface of human dental enamel after treatment with fluoridated gels: influence of the pH variation and of the treatment time. J Clin Pediatr Dent 24(4):303-307, 2000.
7. Autio-Gold JT, Courts F : Assessing the effect of fluoride varnish on early enamel carious lesions in the primary dentition. J Am Dent Assoc 132(9):1247-1253, 2001.

8. Whitford GM : The physiological and toxicological characteristics of fluoride. J Dent Res 69(Spec):539-549, 1990.
9. Heifetz SB, Horowitz HS : The amounts of fluoride in current fluoride therapies : safety considerations for children. ASDC J Dent Child 51(4):257-269, 1984.
10. Murray JJ : Efficacy of preventive agents for dental caries, systemic fluorides : water fluoridation. Caries Res 27(1):2-8, 1993.
11. Newbrun E : Effectiveness of water fluoridation. J Public Health Dent 49(5):279-289, 1989.
12. Selwitz RH : Strategies for improving methods of assessing fluoride accumulation in body fluids and tissues. Adv Dent Res 8(1):111-112, 1994.
13. Horowitz HS : Appropriate uses of fluoride considerations for the '90s. Introductory paper. J Public Health Dent 51(1):20-22, 1991.
14. Frachella JC : Fluoride and bone mineralization: an important issue in dentistry. ASDC J Dent Child 51(6):417-421, 1984.
15. Gruber HE, Baylink DJ : The effects of fluoride on bone. Clin Orthop 267:264-277, 1991.
16. Turner CH, Hasegawa K, Zhang W, Wilson M, Li Y, Dunipace AJ : Fluoride reduces bone strength in older rats. J Dent Res 74(8):1475-1481, 1995.
17. Narita N, Kato K, Nakagaki H, Ohno N, Kameyama Y, Weatherell JA : Distribution of fluoride concentration in the rat's bone. Calcif Tissue Int 46(3):200-204, 1990.
18. 녹색평론사 : 가장 큰 속임수-수돗물불소화, 녹색평론 46호, 삼광인쇄사, 1999, P.94-111.
19. Holcomb D, Costin L : Detecting damage surfaces in brittle materials using AE. Transactions of the ASME 53:536-544, 1986.
20. Fowler T : Experience with AE monitoring of chemical process industry vessels, Progress in Acoustic Emission III, The Japanese Society of NDI, 1986, P.150-162.
21. Kim KH, Park JH, Imai Y, Kishi T : Microfracture mechanisms of dental resin composites containing spherically-shaped filler particles. J Dent Res 73(2):499-504, 1994.
22. Kohn DH : Acoustic emission and nondestructive evaluation of biomaterials and tissues. Crit Rev Biomed Eng 23(3-4):221-306, 1995.
23. Azangwe G, Fraser K, Mathias KJ, Siddiqui AM : In vitro monitoring of rabbit anterior cruciate ligament damage by acoustic emission. Med Eng Phys 22(4):279-283, 2000.
24. Suzuki M, Sakakida F, Yamashita T, et al : Acoustic emission characteristics of the epiphyseal plate under tensile loading, Progress in Acoustic Emission III, The Japanese Society of NDI, 1986, P.257-262.
25. Zioupos P, Currey JD, Sedman AJ : An examination of the micromechanics of failure of bone and antler by acoustic emission tests and Laser Scanning Confocal Microscopy. Med Eng Phys 16(3):203-212, 1994.
26. Kleerekoper M, Mendlovic DB : Sodium fluoride therapy of postmenopausal osteoporosis. Endocr Rev 14(3):312-323, 1993.
27. 최성진, 송근배 : 불화나트륨 투여에 의한 백서경조직 미세경도 및 골극강도 변화. 대한구강보건학회지 21(1):117-130, 1997.
28. 사공역, 송근배 : 불화나트륨 투여에 의한 백서 골의 특성적 변화. 대한구강보건학회지 21(3):433-444, 1997.
29. 이수경, 송근배, 장현중 : 불화물에 의한 백서 대퇴골의 강도 및 조직형태학적인 변화. 대한구강악안면외과학회지 26(4):363-368, 2000.
30. 송근배, 장병건, 정성화, 김혜영, 이영은 : 불화우유 투여에 의한 백서 대퇴골의 특성변화. 대한구강보건학회지 25(3):273-286, 2001.
31. Vashishth D, Tanner KE, Bonfield W : Contribution, development and morphology of microcracking in cortical bone during crack propagation. J Biomech 33(9):1169-1174, 2000.
32. Fischer RA, Arms SW, Pope MH, Seligson D : Analysis of the effect of using two different strain rates on the acoustic emission in bone. J Biomech 19(2):119-127, 1986.
33. Hasegawa K, Takahashi H, Koga Y, et al : Failure characteristics of osteoporotic vertebral bodies monitored by acoustic emission. Spine 18(15):2314-2320, 1993.