

## 불소 및 레이저가 우치범랑질의 인공우식병소에 미치는 영향

전북대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치의학연구소  
김재곤 · 백병주 · 주 훈 · 윤현두

Abstract

### Effect of Fluoride and Laser on Artificial Caries-like Lesion Formation in Bovine Enamel

Jae-Gon Kim, D.D.S. Ph.D., Byeong-Ju Baik, D.D.S., Ph.D.,  
Hoon Ju, D.D.S., Ph.D., Hyun-Du Yun, D.D.S., M.S.D.

*Department of Pediatric Dentistry and Institute of Dental Science  
School of Dentistry, Chonbuk National University*

The purpose of this study was to examine the morphological characteristics and combined effects of fluoride application and laser irradiation on artificial caries-like lesion formation in bovine enamel.

Enamel specimens were divided into five experiment group and placed in no-treatment(group C), APF application alone(group F), laser irradiation alone(group L), APF application before laser irradiation (group FL), and APF application after laser irradiation(group LF) on artificial caries-like lesion. Sound enamel was used as a control group.

The ultrastructural changes and physical effects of the fluorided and lased enamel has been investigated by using SEM, enamel solubility and microhardness test as well as distributions of calcium, phosphorus and fluoride in internal enamel by using EPMA.

The following results were obtained.

1. In the all experiment groups, the amounts of dissolved calcium of enamel surfaces significantly decreased according to increasing exposure time of acid solution than control group( $P < 0.001$ ). Group L showed higher than that group FL and LF in 30 and 60min( $P < 0.05$ ).
2. The microhardness values of enamel surface in the control group was highest than that in the other experiment groups. Group F, L, FL and LF were significantly increased than group C( $P < 0.001$ ).
3. The enamel surface treated with APF produced deposites of numerous small globules and lased enamel showed a cracker-like appearance with microcrack and small pore. Numerous deposites were infiltrated in the fissured portion of enamel treated with APF after laser irradiation.

4. In the case of APF application alone, the elevation of the fluoride profile can be seen within 5 $\mu$ m of the outermost layer and a similar profile observed in the specimen treated with APF before laser irradiation. However, the specimen treated with APF after laser Irradiation showed a large elevation within 10 $\mu$ m of the outermost layer of the enamel.
5. The higher Ca/P ratios were observed in 10 $\mu$ m depth of lased and fluorided enamel when compared to the sound and carious enamel.

The fluoride content decreased rapidly with distance from enamel surface, in the group F, fluoride concentration was significantly higher than that in the group C, L, FL, LF and control group according to increasing enamel depth( $P < 0.05$ ).

## I. 서 론

소아 및 청소년기에 자주 발생하는 치아우식증의 예방을 위한 많은 연구가 진행된 바, 근래 치아경조직에 대한 레이저의 효과에 관한 관심이 대두되면서 레이저조사가 법랑질의 탈회에 대한 저항성을 증가시킨다는 많은 연구결과들은 이미 항우식효과가 입증되어 널리 사용되고 있는 불소제제와 함께 우식예방을 위한 치과용 레이저의 광범위한 활용 가능성을 제시하여 주고 있다.

초기의 치과용 레이저는 치아경조직에 발생된 우식 이환부위를 제거, 와동을 형성할 목적으로 도입되어 루비레이저, CO<sub>2</sub> 레이저, 아르곤 레이저, Nd:YAG 레이저 및 Er-YAG 레이저 등에 이르기 까지 다양한 유형의 레이저가 개발되었으며, 현재 우식예방을 위하여 CO<sub>2</sub> 레이저와 Nd: YAG 레이저가 가장 널리 사용되고 있으나, 적용시 레이저의 유형, 시술양식, 에너지 출력 및 안전성 등을 고려하여 적절하게 선택되어야 할 것이다.<sup>1-5)</sup>

레이저의 항우식효과에 대한 연구로서 Stern 등<sup>6)</sup>이 루비레이저를 법랑질에 조사시 산의 탈회에 대한 저항성의 증가를 보고한 이래, Nelson 등<sup>7)</sup>은 레이저조사에 따른 법랑질표면의 융합에 의한 미세소공들의 폐쇄, 법랑소주의 구조변화로 인한 용해도 감소, 그리고 법랑질의 무기질의 변화에 의한 과도 감소 등이

법랑질의 내산성을 증가시키는 주요인이라고 언급하였다. Ferreira 등<sup>8)</sup>, Palamara 등<sup>9)</sup>은 법랑질결정의 크기 증가 및 Prismatic structure의 소실을 우식병소 감소의 원인으로 설명하였으며, 이 후 많은 연구자들에 의하여 법랑질의 내산성 증가와 함께 법랑질표면의 손상을 최소화하고자 하는 노력이 지속되고 있다.

한편 우식예방제로서 임상에서 광범위하게 사용되고 있는 불소제제를 레이저조사와 함께 병용하여 탈회법랑질에 대한 항우식효과를 극대화하고자 하는 연구에 관심이 증가된 바, Goodman 등<sup>10)</sup>은 아르곤레이저 조사와 함께 염화불소제의 사용시 법랑질내로 불소침투가 증가되어 산에 대한 용해성이 감소됨을 보고하였고, Yamamoto 등<sup>11)</sup>은 pulsed Nd:YAG 레이저를 Ag(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F와 병용함으로써 불소침투 증가 및 법랑질 탈회가 감소된다고 하였으며, Tagomori 등<sup>12)</sup>은 pulsed Nd:YAG 레이저와 NaF 및 APF용액을 사용하여 법랑질의 내산성을 평가한 결과 비록 제한적이긴 하지만 레이저조사가 우식예방을 위하여 활용가능한 방법임을 언급하였다.

그러나 불소 및 레이저조사의 병용에 따른 법랑질표면의 미세변화, 법랑질의 내산성 증가 및 탈회법랑질에 대한 재석회화 효과 등의 작용기전에 관한 명확한 규명과 함께 보다 효율적으로 임상활용을 하기 위한 다양한 in vitro 및 in vivo 자료의 부족 등에 관한 연구가 계

속되어야 할 것이다.

이에 저자는 인공우식병소가 형성된 우치의 법랑질에 불소도포 및 레이저조사를 단독 또는 병용하는 방법을 선택하여 법랑질표면의 내산성 및 미세경도를 측정하고 미세구조의 변화를 주사전자현미경으로 관찰하였으며, 법랑질내부의 원소의 분포 및 불소침투정도를 E PMA를 통하여 분석함으로써 불소 및 레이저의 병용에 따른 법랑질 표면 및 내부의 항우식효과를 비교, 평가한 결과를 보고하는 바이다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

#### 1) 법랑질 시편

본 실험의 시편제작을 위하여 변색이나 미세파괴 없이 건전한 한우의 중절치를 이용하였으며, 가능한 발거 즉시 사용함을 원칙으로 하였다. 수집된 우치의 법랑질 표면의 이물질을 제거하고, 균일한 법랑질 표면의 시편을 제작하기 위하여 불소를 함유하지 않은 Pumice 사용 후 carborundum paper (#320-600)로 연마하여 최외층 법랑질 100 $\mu$ m정도가 삭제되도록 하였으며, nail varnish를 사용하여 불소 및 레이저가 적용될 모든 시편의 법랑질에 약 3x3mm 노출면을 형성하였다.

#### 2) 인공우식병소의 형성

법랑질에 인공우식병소를 형성하기 위하여 사용된 인공우식액은 Lactic acid gel system으로서 0.1 M lactic acid(Sigma Chem. Co.)와 6wt% hydroxyethyl cellulose(HEC, Aldrich Chem. Co.)로 구성되었으며, 5% NaOH로 pH meter를 사용하여 pH 4.0으로 조절하였다. 또한 37 $^{\circ}$ C 항온조에서 5일간 매일 우식액을 교환하였으며, 이 후 증류수를 사용하여 세척, 실내건조하였다.

#### 3) 불소도포 및 레이저조사

우식병소가 형성된 법랑질 시편에 불소 및 레이저를 단독 또는 병용함에 따라 인공우식병소형성 후 아무런 처치를 시행하지 않은 우식병소군, 불소도포군, 레이저조사군, 불소도포 후 레이저조사군, 레이저조사 후 불소도포군 등 5종의 실험군으로 구성하였으며, 대조군으로서 건전한 정상법랑질시편을 사용하였다(Table 1).

불소의 적용을 위하여 12,000ppm acidulated phosphate fluoride(APF, 2% NaF, 0.3% Hydrofluoric acid, 0.1M Orthophosphoric acid, pH 3.2)용액을 제작하여 실온에서 5분간 법랑질시편에 도포하였다. 또한 본 실험에 사용된 치과용 레이저 유형은 normal pulsed Nd:YA G laser(American Dental Laser Co.)로서 300  $\mu$ m 직경을 갖는 fiber를 사용하여 법랑질 표

Table 1. Experimental setup used in this study

Code	Procedure and treated condition
S	Sound enamel without artificial caries-like lesion formation
C	Artificial caries-like lesion formation with lactic acid gel system
F	APF application on artificial caries-like lesion
L	Laser irradiation on artificial caries-like lesion
FL	APF application before laser irradiation on artificial caries-like lesion
LF	APF application after laser irradiation on artificial caries-like lesion

속되어야 할 것이다.

이에 저자는 인공우식병소가 형성된 우치의 법랑질에 불소도포 및 레이저조사를 단독 또는 병용하는 방법을 선택하여 법랑질표면의 내산성 및 미세경도를 측정하고 미세구조의 변화를 주사전자현미경으로 관찰하였으며, 법랑질내부의 원소의 분포 및 불소침투정도를 E PMA를 통하여 분석함으로써 불소 및 레이저의 병용에 따른 법랑질 표면 및 내부의 항우식효과를 비교, 평가한 결과를 보고하는 바이다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

#### 1) 법랑질 시편

본 실험의 시편제작을 위하여 변색이나 미세파절이 없이 건전한 한우의 중절치를 이용하였으며, 가능한 발거 즉시 사용함을 원칙으로 하였다. 수집된 우치의 법랑질 표면의 이물질을 제거하고, 균일한 법랑질 표면의 시편을 제작하기 위하여 불소를 함유하지 않은 Pumice 사용 후 carborundum paper (#320-600)로 연마하여 최외층 법랑질 100 $\mu$ m정도가 삭제되도록 하였으며, nail varnish를 사용하여 불소 및 레이저가 적용될 모든 시편의 법랑질에 약 3x3mm 노출면을 형성하였다.

#### 2) 인공우식병소의 형성

법랑질에 인공우식병소를 형성하기 위하여 사용된 인공우식액은 Lactic acid gel system으로서 0.1 M lactic acid(Sigma Chem. Co.)와 6wt% hydroxyethyl cellulose(HEC, Aldrich Chem. Co.)로 구성되었으며, 5% NaOH로 pH meter를 사용하여 pH 4.0으로 조절하였다. 또한 37 $^{\circ}$ C 항온조에서 5일간 매일 우식액을 교환하였으며, 이 후 증류수를 사용하여 세척, 실내건조하였다.

#### 3) 불소도포 및 레이저조사

우식병소가 형성된 법랑질 시편에 불소 및 레이저를 단독 또는 병용함에 따라 인공우식병소형성 후 아무런 처치를 시행하지 않은 우식병소군, 불소도포군, 레이저조사군, 불소도포 후 레이저조사군, 레이저조사 후 불소도포군 등 5종의 실험군으로 구성하였으며, 대조군으로서 건전한 정상법랑질시편을 사용하였다(Table 1).

불소의 적용을 위하여 12,000ppm acidulated phosphate fluoride(APF, 2% NaF, 0.3% Hydrofluoric acid, 0.1M Orthophosphoric acid, pH 3.2)용액을 제작하여 실온에서 5분간 법랑질시편에 도포하였다. 또한 본 실험에 사용된 치과용 레이저 유형은 normal pulsed Nd:YA G laser(American Dental Laser Co.)로서 300  $\mu$ m 직경을 갖는 fiber를 사용하여 법랑질 표

Table 1. Experimental setup used in this study

Code	Procedure and treated condition
S	Sound enamel without artifical caries-like lesion formation
C	Artificial caries-like lesion formation with lactic acid gel system
F	APF application on artificial caries-like lesion
L	Laser irradiation on artificial caries-like lesion
FL	APF application before laser irradiation on artificial caries-like lesion
LF	APF application after laser irradiation on artificial caries-like lesion

면을 먹물로 도포한 후 10pps, 40mJ의 조건으로 시편의 법랑질면에 수직 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 1) 법랑질용해도 측정(Enamel solubility test)

법랑질표면의 내산성을 측정하기 위하여 건전한 정상법랑질에 불소도포 및 레이저조사를 단독 또는 병용한 후 일정면적이 노출된 법랑질시편을 NaOH, pH 4.0으로 완충한 0.1mol/l lactic acid용액 5ml가 담겨진 폴리에틸렌 병에 넣어 실온에서 100회/분 회전하면서 15분, 15분, 30분 그리고 60분 간격으로 산용액을 교환, 15분, 30분, 60분 그리고 120분 등 총 노출시간에 따라 시편을 분류하여 칼슘의 용해량을 측정하였다.

유리된 칼슘원소의 분석을 위하여 고온의 플라즈마에 의해 이온화된 시료로부터 방출되는 빛을 이용하여 미량의 금속원소의 정성 및 정량분석이 가능한 ICP/AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer, Poly 61E, Thermal Jarrell Ash Co.)를 사용하였으며, 각 시편에 대한 3회 반복실험 후 일원배치법에 의해 통계처리를 시행하였다.

### 2) 미세경도 측정(Microhardness test)

인공우식병소를 형성한 후 실험조건에 따른 각 실험군의 법랑질표면의 미세경도변화를 측정하기 위하여 법랑질표면에 Knoop diamond indenter가 부착된 미세경도측정기(Matsuzawa Seiki Ltd., Model MHT-1)를 사용하여 50gm 하중을 10초간 가함으로서 법랑질표면의 압흔의 길이를 각 시편당 3회 반복측정, 다음의 공식을 통하여 Knoop hardness number (KHN)로 환산하였으며, 대조군인 정상법랑질군과 통계적으로 비교하였다.

$$\text{KHN}(\text{Kg/mm}^2) = 14230\text{K/L}^2$$

(K: 적용하중 L: 압흔길이)

### 3) 주사전자현미경(SEM) 관찰

불소도포 및 레이저조사를 시행함에 따른 법랑질표면의 미세구조 및 형태변화를 관찰하고자 처리된 각 군의 법랑질표면을 실내건조시킨 후 금피복을 시행하였으며, 가속전압 10kV, 시편전류 4mA 조건 하에서 주사전자현미경(JEOL, JSM-T330)을 통하여 관찰하였다.

### 4) Electron Probe Microanalysis(EPMA)

불소도포 및 레이저조사를 시행한 각 시편의 법랑질 내부의 원소분포를 통한 재석회화 효과를 비교하기 위하여 법랑질 시편을 조직시편 제작용 레진(Technovit 7200 VLC, Kulzer Co.)에 포매하여 레진블록을 제작하였다. 이 후 레진블록을 고정, 저속다이아몬드 절단기로 법랑질시편의 중앙부를 치측방향으로 절단하여 약 1mm 정도의 절편을 확보한 후 carborundum paper, diamond paste, 그리고 alumina paste로 연마한 시편을 메탄올용액에서 초음파세정, 실내건조 및 탄소피복을 시행하였다.

본 실험에서 각 시편의 법랑질 내부원소 중 칼슘, 인 그리고 불소의 분포양상 및 분포량을 정성 및 정량분석하기 위하여 사용된 EPMA(JEOL, JXA-8900M)의 조건은 가속전압 15kV, 시편전류 $1.49 \times 10^{-7} \text{A}$ 이었다.

각 시편의 정성분석을 위하여 700배 확대한 법랑질종단면 최외층으로부터 내부깊이 200 $\mu\text{m}$ 까지 1 $\mu\text{m}$ 간격, 200points로서 불소침투 깊이의 측정을 위한 선분석(line scanning analysis)을 시행하였고, 법랑질 최표면을 기시점으로 10, 20, 50, 100, 150, 그리고 200 $\mu\text{m}$ 깊이 등 6개의 조사점에서 칼슘, 인 그리고 불소의 정량분석을 점분석(point scanning analysis)을 통하여 측정 후, 그 결과는 일원배치법에 의한 분산분석으로 통계적 유의성을 검정하였다.

## III. 실험 결과

### 1. 법랑질 칼슘용해량 측정

법랑질의 내산성을 평가하기 위하여 노출시

간에 따른 각 군의 법랑질표면에서 용해된 칼슘량을 측정된 결과는 다음과 같다(Fig. 1).

최초 15분동안 산용액에 노출시킨 경우 최대값인  $0.48 \pm 0.05 \text{mg/cm}^2$ 의 칼슘용해량을 보인 정상법랑질군에 비해 불소도포군, 불소도포 후 레이저조사군 그리고 레이저조사 후 불소도포군은 모두 낮은 수치로서 내산성이 있음이 관찰된 반면( $P < 0.01$ ) 레이저조사군은 유사한 결과로서 차이가 없었으며( $P > 0.05$ ), 단독 불소도포군과 레이저조사군에 비해서 불소도포 및 레이저조사를 병용한 실험군 사이에 유의차는 나타나지 않았다( $P > 0.05$ ).

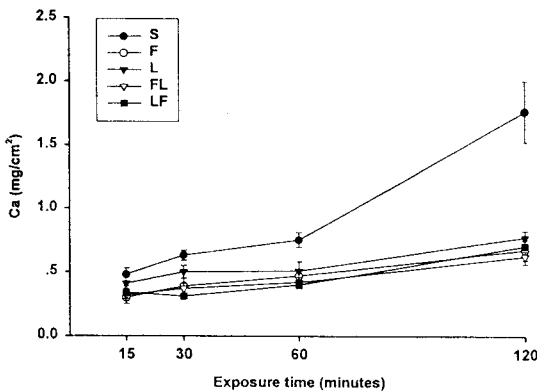


Fig.1.Amount of dissolved calcium of enamel surfaces following treatment with APF application and laser irradiation on the sound enamel. The number of enamel samples for all groups was 5. The data are expressed as means  $\pm$  S.D.

30분, 60분 그리고 120분 등으로 노출시간을 증가시킨 경우 정상법랑질인 대조군에 비하여 불소도포군, 레이저조사군, 불소도포 후 레이저조사군 그리고 레이저조사 후 불소도포군 등 모든 실험군에서 현저히 감소된 수치로서 내산성을 나타냈으며( $P < 0.001$ ), 노출시간이 증가됨에 따라 칼슘용해량도 증가되는 양상이 관찰되었다.

불소도포군은 레이저조사군에 비해 노출시간이 15분 및 30분인 경우 낮은 칼슘용해량을 보였으나( $P < 0.05$ ), 노출시간의 증가시에는 유의한 차이를 나타내지 않았으며( $P > 0.05$ ), 불소도포 및 레이저조사를 병용한 실험군과는 노출시간과 관계없이 유사한 결과를 나타냈다( $P > 0.05$ ). 또한 불소도포 후 레이저조사군과 레이저조사 후 불소도포군간의 노출시간에 따른 칼슘용해량의 차이는 나타나지 않았다( $P > 0.05$ ).

## 2. 미세경도 측정

각 군의 법랑질표면에서 미세경도를 측정된 결과, 대조군인 정상법랑질군의 미세경도치는 최대값인  $295.47 \pm 16(\text{KHN})$ 을 보여 다른 실험군에 비해 현저히 높은 수치로서 통계적 유의차가 존재하였으며( $P < 0.001$ ),  $42.67 \pm 8.27(\text{KHN})$ 의 최저값을 나타낸 탈회를 시행한 우식병소군에 비해 불소도포 및 레이저조사를 단독 또는 병용한 타 실험군에서 현저히 증가된 미

Table 2. Comparison of microhardness numbers of enamel surfaces following treatment with APF application and laser irradiation.

Code	n	Mean and S.D(KHN)
S	15	$295.47 \pm 16.0$
C	15	$42.67 \pm 8.27$
F	15	$139.89 \pm 25.4$
L	15	$73.97 \pm 10.45$
FL	15	$93.63 \pm 9.71$
LF	15	$153.21 \pm 37.15$

세경도치를 나타냄으로서( $P < 0.001$ ) 탈회법랑질에 대한 법랑질의 재강화(rehardening)의 결과가 관찰되었다(Table 2).

불소용액을 적용한 불소도포군은 레이저조사군 및 불소도포 후 레이저 조사군보다 높았으나( $P < 0.001$ ) 레이저조사 후 불소도포군과는 유사한 결과를 보였고( $P > 0.05$ ), 레이저조사군은 불소도포 후 레이저조사군을 제외한 다른 실험군과 유의한 차이를 나타냈으며, 불소도포 후 레이저조사군과 레이저조사 후 불소도포군 사이에도 유의한 차이가 인정되었다( $P < 0.001$ ).

### 3. 주사전자현미경 관찰

각 시편의 법랑질표면의 미세구조 변화를 살펴보기 위한 주사전자현미경 관찰결과, 정상법랑질의 표면은 전체적으로 평활하였으나 시편제작과정에서의 법랑질표면 연마흔적이 관찰되었으며(Fig. 2), 인공우식병소를 형성한 우식법랑질의 경우 전반적으로 미세한 다공성을 가지고 균일하게 부식된 양상을 나타냄으로서 인공우식병소를 형성한 후 불소도포 및 레이저조사에 따른 각 시편의 재석회화효과를 비교하는데 적합한 탈회표면을 나타냈다(Fig. 3).

인공우식병소가 형성된 우식법랑질면에 농도 12,000ppm APF용액을 5분 적용한 시편의 법랑질 표면은 균일하게 부식된 탈회흔적은 사라지고 정상법랑질과 유사하게 한층 경화된 법랑질 표면을 나타냈으며, 매우 작은 크기의 불소화합물로 추정되는 수 많은 과립자들이 경화된 표면에 부착되어 있음으로서 불소적용에 따른 재석회화효과로 인한 탈회표면의 정상법랑질로 반전(reverse)이 관찰되었다(Fig. 4a, 4b). 또한 40mJ의 레이저조사한 법랑질면은 탈회의 흔적이 없이 매끈한 법랑질면에 얇은 깊이의 미세균열과 작은 소공들이 존재하는 균열상(cracker-like appearance)이 나타났다(Fig. 5a, 5b).

우식법랑질 시편에 불소를 도포한 후 레이저조사를 시행한 경우, 불소도포로 형성되었던 불소과립자들이 레이저를 조사함에 따라 형성

된 법랑질면의 미세균열 위에 긴밀하게 융합, 부착되었으나 균열부에 침투된 흔적은 관찰되지 않았다(Fig. 6a, 6b). 또한 레이저조사 후 불소도포를 시행한 시편에서는 무정형의 다수의 불소화합물이 균열상과 작은 소공이 존재하는 법랑질 전 표면에 걸쳐 축적되어 있으며, 일부 균열부 및 소공에 불소화합물이 침투하여 채우고 있는 양상을 나타냈다(Fig. 7a, 7b).

### 3. EPMA

#### 1) 법랑질 정성분석(Line scanning analysis)

법랑질시편 내부중단면의 최표층을 기시점으로 내부 200 $\mu$ m 깊이까지 불소의 침투정도를 평가하기 위하여 불소원소에 대한 선분석을 시행한 결과이다(Fig. 8).

대조군인 정상법랑질과 인공우식병소가 형성된 우식법랑질의 경우 법랑질의 깊이와 관계없이 균일한 크기의 불소분포를 보였고, 불소도포를 시행한 법랑질시편에서는 최표층 5

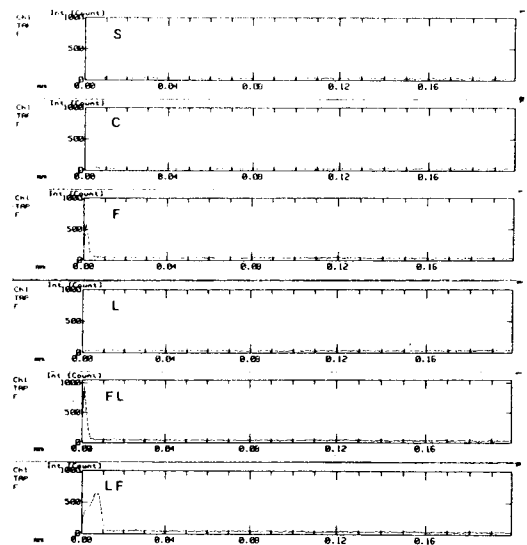


Fig. 8. Fluoride profiles of bovine inner enamels following treatment with F application and laser irradiation on the artificial carious lesion and the control.

μm 이내에서 불소의 현저한 증가분포를 나타냈으나 그 이상의 깊이에서는 대조군과 유사하였으며, 레이저조사만을 시행한 법랑질시편은 내부깊이에 관계없이 대조군과 유사한 분포가 관찰되었다.

불소도포 후 레이저조사를 병용한 법랑질시편의 경우 불소도포시와 유사하게 최표층 5μm 이내의 불소증가를 보였으나, 레이저조사 후 불소도포를 병용한 시편에서는 10μm까지 현저하게 증가된 크기로서 불소침투가 가장 큰 것으로 나타났으며, 그 이상의 깊이에서는 현저히 감소되어 대조군과 유사하였다.

## 2) 법랑질 정량분석(Point scanning analysis)

각 군의 법랑질내부 원소크기를 정량분석하기 위하여 법랑질 최표층으로부터 10μm깊이의 한 점을 기시점으로 내부 20, 50, 100, 150, 200μm부위 등 각 6개 조사점에서의 칼슘, 인 그리고 불소원소의 크기를 측정하고, 이를 통계적으로 분석하였다.

법랑질 내부깊이에 따른 칼슘농도를 분석한 결과, 정상법랑질군은 깊이와 관계없이 일정한 양상을 나타내며 가장 높은 농도크기를 보였으며, 10, 20, 50 그리고 100μm 등의 표층부 조사점에서는 타 실험군과 유의한 차이가 인정

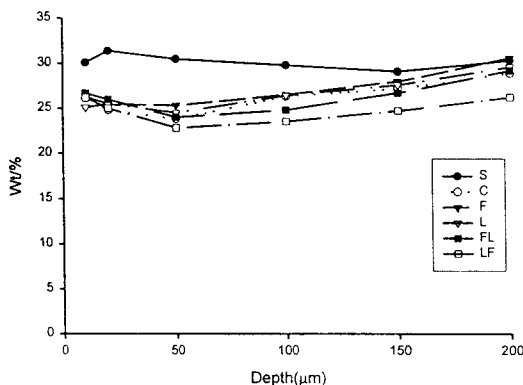


Fig. 9. Calcium concentrations at the inner enamel depth following treatment with F application and laser irradiation on the artificial carious lesion and the control.

되었으나( $P < 0.05$ ), 그 이상의 조사점에서는 레이저조사 후 불소도포군을 제외한 실험군과는 유사한 크기를 나타냈다( $P > 0.05$ ). 또한 모든 실험군은 표층부 10μm 조사점으로부터 감소되다가 50μm를 기점으로 심층부로 갈수록 서서히 증가되는 양상이었다(Fig. 9).

대조군인 정상법랑질의 인의 농도크기는 법랑질의 깊이와 관계없이 전 조사점에서 균일하였고, 표층부로부터 100μm까지의 조사점에서는 다른 실험군보다 높은 농도의 크기를 보였으나( $P < 0.05$ ) 그 이상의 깊이에서 유사한 결과를 나타냈다( $P > 0.05$ ). 10μm 조사점에서는 레이저조사군이 타 실험군보다 낮은 농도를 보였으나( $P < 0.05$ ) 그이상 깊이의 조사점에서는 유사한 크기가 측정되었고, 불소도포군은 타 실험군에 비해 다소 증가된 농도로서 특히 100μm 이상의 조사점에서 레이저조사 후 불소도포군에 비해 유의한 차이를 나타냈다( $P < 0.05$ )(Fig. 10).

각 군의 법랑질내부 조사점에서 측정된 칼슘/인의 무게비를 비교한 결과, 10μm 조사점에서 불소도포 및 레이저조사를 시행한 실험군이 대조군 및 우식병소군에 비하여 다소 증가된 크기로서 칼슘/인 무게비를 나타냄으로서 재석회화효과가 있음이 관찰되었으나, 그 이상의 깊이에서는 유사한 결과를 나타냈다(Table 3).

불소농도 측정시 칼슘과 인의 농도와 현저히 다른 결과를 나타낸 바, 대조군인 정상법랑질군은 법랑질의 내부깊이와 관계없이 모든 조사점에서 일정한 최저수준의 농도치를 보였고, 우식병소군 및 레이저조사군에 비해 유사한 결과를 나타냈으며( $P > 0.05$ ), 불소도포군과 불소도포 및 레이저조사병용군 모두 최표층에서 최대값이 측정되었으나 법랑질 내부깊이가 증가함에 따라 감소되는 양상을 나타냈다(Fig. 11).

법랑질표층 10μm 조사점에서 레이저조사 후 불소도포군이 불소도포군 및 불소도포 후 레이저조사군에 비해 높은 농도크기를 보였으나( $P < 0.05$ ), 그 이상의 조사점에서는 불소도포군이 불소도포 및 레이저조사 병용군 보다 불소



Table 3. Ca/P weight percent ratios according to enamel depth

Group Depth( $\mu\text{m}$ )	S	C	F	L	FL
10	2.01	1.89	2.59	2.34	2.47
20	1.99	1.88	2.05	1.95	1.97
50	1.95	1.86	2.00	1.98	1.99
100	2.08	1.91	1.91	1.97	2.01
150	2.00	1.92	1.98	1.91	1.89
200	1.99	1.93	1.93	1.92	1.93

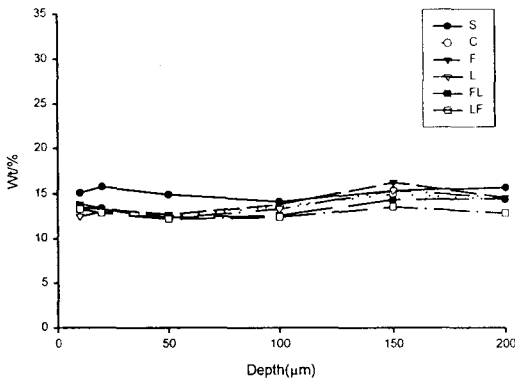


Fig.10. Phosphorus concentrations at the inner enamel depth following treatment with F application and laser irradiation on the artificial carious lesion and the control.

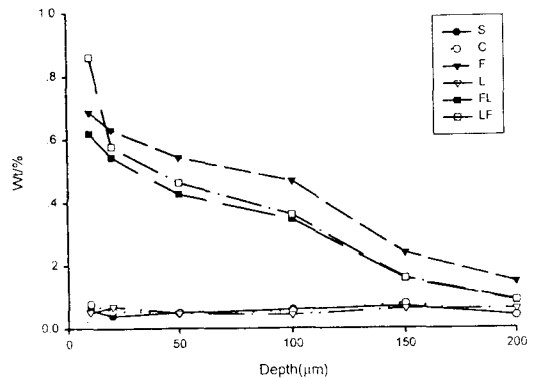


Fig.11. Fluoride concentrations at the inner enamel depth following treatment with F application and laser irradiation on the artificial carious lesion and the control.

농도가 높게 나타났으며( $P < 0.05$ ), 불소도포와 레이저조사를 병용한 실험군사이의 유의한 차이는 관찰되지 않았다( $P > 0.05$ ).

#### IV. 총괄 및 고안

레이저(LASER)란 유도방출에 의한 빛의 증폭이라는 뜻으로서 광전자학의 발달에 따른 다양한 유형의 의료용레이저가 개발되어 그 성능의 향상과 함께 임상의학 및 치의학분야에서 널리 활용되고 있다.

간섭성, 단색성, 지향성 및 고휘도 등의 특징을 갖는 레이저는 정밀성, 지혈성, 살균성 그리고 조직손상의 최소화 등의 임상적 장점을 가짐에 따라 연조직에 대한 외과술 또는 치주치료 등에 활용되고 있으며, 새로운 고출력 레이저의 개발에 따라 치아경조직에 대한 적용역시 활발하게 추진되어 법랑질 및 상아질에서의 초기우식 제거, 법랑질 부식, 상아질에 대한 탈감작, 근관소독 및 성형을 이용한 근관치료, 레이저 치아마취와 함께 법랑질의 내산성증가를 이용한 우식예방 등에 걸쳐 광범위

하게 적용되고 있다.<sup>13-17)</sup>

레이저조사시 우식저항성의 증가에 관한 여러 기전들을 살펴보면, 1) 법랑질 무기질의 탄산염, 수분 및 유기물을 감소시켜 수산화인회석의 결정격자 기질의 감소와 법랑질용해도의 감소를 유발, 2) 무기질내에 *microsieve* 또는 *micropore system*을 형성하여 우식공격시 유리되었던 칼슘, 인 그리고 불소의 재침전(*reprecipitation*)을 일으킴, 3) 단백질변성과 무기질내 *micropores*를 감소시킴으로서 무기질구조의 투과성감소에 따른 법랑질내부로의 산의 침투억제, 4) 치태내 미생물에 영향을 미침, 그리고 5) 레이저 조사시 무기질의 불소, 인산, 칼슘의 흡수증진 등의 다양한 가설로서 언급되고 있다. 그러나 이의 정확한 기전에 대해서는 완전하게 규명되지 않았으며, 일부에서 탈회과정동안 유리되는 무기질의 재침전을 동반하는 *microsieve network*을 형성, 항우식효과를 나타낸다는 가설이 신빙성있게 받아들여지고 있는 실정이다.<sup>18-27)</sup>

레이저조사시 법랑질의 내산성의 증가에 관한 연구에서 Stern과 Sognaes<sup>28)</sup>는 레이저조사시 탈회층의 감소로 인한 내산성 증가현상은 물리적 변화에 의한 법랑질 투과성의 감소에 기인한다고 주장하였고, Lobene 등<sup>29)</sup>의 법랑질결정구조의 변화요인, Gordon 등<sup>30)</sup>의 법랑질용해에 의한 투과성 감소, 그리고 Sato 등<sup>31)</sup>의 법랑질내 유기물의 변화에 의한 산의 통로 감소 등의 결과로서 이를 지지하였으나, Borggreven 등<sup>32)</sup>은 레이저조사 후 이온 및 분자들의 투과도는 감소하지 않고 오히려 증가하며, 물리적 변화가 아닌 화학적 변화에 의한 결과임을 주장하였다.

또한 법랑질의 투과성보다는 용해도 감소에 의한 내산성 증가원인을 주장한 바, Kantola 등<sup>33)</sup>, Kuroda 등<sup>34)</sup>은 CO<sub>2</sub> 레이저조사시 법랑질의 재결정화로 인한 결정크기의 증가 때문에 용해도가 감소한다고 하였고, Kuroda와 Fowler<sup>35)</sup>는 레이저조사시 수분, 단백질, 탄산염 등의 감소로 인해 용해도가 낮은 결정구조로 변화되어 내산성의 증가를 나타내며, 10-50J/cm<sup>2</sup>의 낮은 에너지 밀도에서 법랑질표면이 용

합된다 하였으나, Nelson 등<sup>36)</sup>은 레이저조사시 변형된 법랑질 결정구조와 함께 표면의 용합역시 관찰됨으로서 법랑질의 투과성 및 용해도 감소가 복합되어 내산성이 증가된다고 언급하였다.

법랑질에 고농도 불소를 적용시키면 우식공격에 대한 *diffusion barrier*로서의 역할, 법랑질의 용해성감소, 불화칼슘과 같은 불소화합물의 생성으로 인한 불소저장고로서의 역할, 법랑질표면으로부터 단백질 및 미생물의 생성억제 등을 유발함으로써 항우식효과를 갖는 것으로 알려진 불소를 레이저조사와 함께 병용하여 레이저에너지에 의한 불소의 치면흡착을 증가시킴으로서 법랑질에 대한 내산성효과를 극대화하고자 하는 노력이 진행되었다.<sup>37-40)</sup>

Boehm 등<sup>41)</sup>은 레이저와 불소를 병용시 레이저의 열효과에 의한 불소흡착의 증가를 보고하였고, Goodman과 Kaufman<sup>42)</sup>은 아르곤레이저 단독조사시는 용해도 차이가 없었으나 불소도포 후 레이저조사시 용해도 감소로 인한 내산성증가를 나타냈으며, 이는 레이저 열효과에 의해 용해도가 낮은 불화인회석이 형성되었기 때문으로 추정하였고, Yamamoto & Sato<sup>11)</sup>는 Nd:YAG 레이저의 단독 사용보다 불소와 병용시 탈회층 감소 및 불소흡착이 증가됨을, Flaitz 등<sup>43)</sup>은 아르곤레이저 단독사용시보다 불소도포를 병용한 경우에서 내산성의 증가를 보고한 바 있다.

본 연구에서는 법랑질의 칼슘용해도를 측정함으로써 레이저조사 및 불소도포의 단독 또는 병용함에 따른 법랑질의 내산성효과를 비교한 결과, 산용액의 노출시간이 증가함에 따라 모든 경우에서 정상법랑질에 비해 낮은 칼슘용해도가 측정됨으로서 레이저 및 불소의 내산성효과가 나타났으며, 단독 레이저조사시보다 불소와의 병용시 내산성 증가의 상승효과를 가져옴으로서 불소와의 병용이 법랑질의 항우식효과를 높히는데 유리한 것으로 나타났다.

법랑질의 초기우식증이 재석회화과정을 통하여 회복가능한 것으로 알려진 이래, 탈회법랑질에 대한 재석회화는 임상적으로 와동형성

을 통한 치질의 손실을 방지할 수 있다는 점에서 매우 중요한 문제이며, 탈회법랑질에 대한 재석회화를 평가하는 방법은 무기질의 소실과 획득정도의 측정을 기본으로 하여 micro radiography, 미세경도 측정법, 주사전자현미경의 관찰, 화학적 분석법, EPMA, X-선 회절 분석법 등의 다양한 정성 및 정량분석법이 사용되어 왔다.<sup>44-49)</sup>

미세경도 측정법은 법랑질표면에 일정압력을 가한 후 압흔의 길이를 산술하여 표면경도의 크기로서 재석회화효과를 평가하는 방법으로, 본 연구에서는 레이저조사시 탈회법랑질의 미세경도가 증가됨으로서 재석회화 효과가 있음이 입증되었고, 낮은 수준의 에너지밀도와 함께 짧은 조사시간으로 인한 법랑질표면의 빠른 melting과 재결정화현상이 나타난 때문으로 추측된다. 레이저와 불소를 병용시 단독으로 레이저를 조사한 경우보다 더욱 효과적이었으나 정상법랑질에 근접한 법랑질 경도의 회복은 나타나지 않았으며, Tagomori 등<sup>50)</sup>이 언급한 바와 같이 레이저조사량이 증가할수록 미세경도가 감소된다는 점을 감안한다면 향후 저밀도에너지, 짧은 조사시간 등 법랑질표면의 미세경도를 증진시킬 수 있는 많은 연구가 필요하다고 사료된다.

레이저를 조사함에 따른 법랑질표면의 형태적 변화에 관한 연구에서, Gordon<sup>30)</sup>은 치면의 흡수에 의한 레이저의 열작용이 주된 변화요인이라고 주장하였고, Adrian 등<sup>51)</sup>은 레이저조사량이 증가할수록 법랑질의 구조변화와 융합이 크게 일어났음을, Matsumoto 등<sup>52)</sup>은 Nd:YAG 레이저조사시 melting과 재결정화로 인한 균열과 소공이 관찰된다고 하였다. 또한 Hess<sup>53)</sup>는 35mJ의 Nd:YAG 레이저를 조사한 결과 법랑질융합과 함께 재결정화로 인한 작은 bubble-like inclusion이 형성되고, 75mJ에서는 수많은 pore와 impact crater가 형성되었음을 보고한 바와 같이 레이저조사시 법랑질표면에서의 미세구조의 변화는 레이저의 유형, 에너지밀도, 출력, 조사시간, 조사면적 등의 다양한 조사조건에 따라 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서 적용된 레이저 조사조건에 따른 법랑질의 주사전자현미경조건은 탈회흔적이 사라지고 융합으로 인한 평활한 법랑질면에 미세균열과 소공들의 존재가 관찰됨으로서 법랑질표면의 재경화현상이 나타났고, 불소도포시 다수의 불소화합물들이 레이저조사로 인하여 형성된 균열부 및 소공으로 침투상을 보였으며, 불소도포 후 레이저조사를 시행한 경우는 균열부에 침투된 흔적은 발견되지 않음으로서 법랑질내부의 불소침투가 용이하도록 레이저조사를 불소도포보다 먼저 시행하는 것이 유리한 조건임을 알 수 있었다.

보다 안정적이고 효과적인 재석회화유도를 위하여 레이저를 불소와 함께 병용하여 법랑질내부의 불소침투를 증가시키려는 시도가 계속되어 Toshio 등<sup>54)</sup>은 레이저와 불소를 병용시 단독 불소도포를 시행한 경우보다 불소 침투능력이 증가되어 그 정도가 약 50 $\mu$ m에 이른다고 하였고, Oho 등<sup>21)</sup>은 레이저조사시 미세공간으로 불소가 침투, 흡착되어 항우식효과를 나타낸다고 주장하였다.

불소의 침투정도를 측정하여 재석회화효과를 분석하기 위한 연구방법으로서 근래 널리 사용되고 있는 EPMA는 시편에 입사전자를 가함에 따라 방출되는 특정 X선을 이용, 원소번호 8번 이상의 금속원소의 정성 및 정량분석이 가능한 방법으로서, Boyde 등<sup>55)</sup>에 의해 법랑질내부의 불소분석을 위하여 EPMA가 처음 도입되었으며, Nelson 등<sup>56)</sup>은 시편의 제작이 비교적 용이하고 비파괴적이며, 불소나 칼슘 등의 분석시 민감하다는 장점을 가지고 있다.

Wei 등<sup>57)</sup>은 SnF<sub>2</sub> 용액을 적용 후 EPMA를 통하여 20 $\mu$ m 깊이까지 불소침투가 이루어진다고 하였고, Wen 등<sup>58)</sup>은 불소화합물인 과립자가 탈회된 소주관 사이로 45 $\mu$ m까지 침투된다고 하였으며, 윤 등<sup>59)</sup>은 고농도의 APF용액을 24시간도포시 법랑질 내부깊이 30 $\mu$ m까지 불소농도가 현저하게 증가되었음을 보고하였다.

본 연구의 EPMA에 의한 정성 및 정량분석 결과, 레이저조사 후 불소도포를 시행한 경우에서 법랑질 표층부 10 $\mu$ m조사점에서 불소농도

가 현저히 증가되어 단독 불소도포 또는 불소도포 후 레이저조사시보다 불소침투효과가 더 크게 나타났는데, 이는 레이저조사에 의해 형성된 소공 및 균열부 등의 미세공간으로 불소침투가 이루어진 결과로 보인다. 또한 그 이상의 깊이에서는 불소농도가 급속히 감소됨으로서 레이저조사시 형성되는 미세균열의 표층부 10  $\mu\text{m}$  깊이까지는 불소화합물의 침투가 가능하지만 좁고 깊은 기저부까지 완전하게 침투하지 못한 것으로 해석되며, 레이저조사 조건의 차이 및 짧은 불소 적용시간 등의 원인도 영향을 미친 것으로 사료된다.

레이저조사에 따른 법랑질의 미세 구조변화에 관한 많은 연구들이 시행되어 온 바 Carlstrom 등,<sup>60)</sup> Sato 등<sup>61)</sup>은 법랑질에 열을 가하면 60-300°C에서 광학현미경상의 이중굴절의 변화가 나타나고, 유기질의 탈수 및 변성이 초래되는데<sup>62)</sup> 이는 레이저의 열작용에 의한 높은 온도때문으로 무기질의 결정구조의 변화를 야기하게 된다고 하였으며, Fowler 등<sup>63)</sup>은 법랑질표면의 온도증가로 인한  $\alpha$ -tricalcium phosphate와 tetracalcium phosphate의 생성 및 Ca/P 비율의 변화에 따라 용해도가 감소되거나 증가된다고 하였다.

본 연구에서는 레이저조사된 법랑질표면으로부터 10 $\mu\text{m}$  이내에서 정상 및 우식법랑질에 비해 증가된 Ca/P 무게비를 나타냄으로서 레이저의 탈회에 대한 재석회화효과가 있음이 관찰되었는데, 이는 레이저조사시 유기질의 탈수 및 변성으로 인하여 법랑질 10 $\mu\text{m}$  깊이까지 영향을 받고, 용융 법랑질 5 $\mu\text{m}$ 이내에서 정상법랑질의 수산화인회석보다 높은 Ca/P비를 가지는 tetracalcium phosphate의 형성 때문에 탈회에 대한 저항성이 증가된다는 일부의 주장과 일치되었으며, 불소와의 병용시에서도 같은 결과를 나타냈다.

본 연구에서 시행한 법랑질의 용해도측정, 미세경도측정, 주사전자현미경관찰 및 EPMA를 이용한 정성 및 정량분석을 통하여 낮은 에너지 수준의 레이저조사시 법랑질표면의 빠른 용융과 재결정화로 인하여 법랑질의 내산성 및 경도를 증가시키고 탈회법랑질에 대한

재석회화효과를 가짐이 입증되었으며, 불소와의 병용시 미세균열부로의 불소화합물의 침투로 인한 항우식효과가 더욱 증진됨을 알 수 있었다.

따라서 우식예방을 위한 레이저의 활용은 가능하다고 사료되나 향 후 다양한 레이저조사조건에 관한 연구를 통하여 용해성 및 투과성 감소효과를 극대화시키는 방안과 함께 항우식 작용기전에 관한 명확한 규명, 활성화된 in vivo 실험, 레이저조사에 따른 치수반응 및 생체 안정성, 그리고 효율적인 임상활용을 위한 경제성있는 다양한 레이저의 개발 등에 관한 더 많은 연구가 필요하다고 하겠다.

## V. 결 론

법랑질표면에서 불소도포 및 레이저조사가 미치는 항우식효과를 비교하기 위하여, 건전한 한우 중절치의 법랑질 순면을 대상으로 인공우식병소를 형성한 후 불소도포 및 레이저조사를 단독 또는 병용함에 따라 인공우식균, 불소도포군, 레이저조사군, 불소도포 후 레이저조사군 그리고 레이저조사 후 불소도포군 등의 실험군으로 분류한 후 대조군으로서 정상법랑질을 이용하였다. 불소도포 및 레이저조사된 각 군의 법랑질 표면의내산성평가를 위한 법랑질의 용해도측정, 미세경도측정, 주사전자현미경 관찰과 함께 EPMA를 통한 법랑질 내부의 칼슘, 인 그리고 불소원소의 정성 및 정량분석을 시행한 결과, 다음의 결론을 얻었다.

1. 법랑질의 내산성을 평가하기 위한 각 군의 칼슘용해량을 측정한 결과, 산용액의 노출시간이 증가함에 따라 칼슘용해량도 증가되었으며, 정상법랑질군에 비해 모든 실험군에서 현저히 감소된 수치로서 내산성을 나타냈다( $P < 0.001$ ). 또한 불소도포 및 레이저조사를 병용한 실험군은 레이저조사군에 비해 낮은 수치로서 유의한 차이를 보였으나( $P < 0.05$ ) 불소도포군과는 유사한 결과를 나타냈다( $P > 0.05$ ).
2. 정상법랑질군에서 측정된 미세경도는 295.4

7±16(KHN)로서 최대값을 보였고, 우식병 소형성 후 불소도포 및 레이저조사를 단독 또는 병용한 실험군은 우식병소균보다 현저히 증가된 결과를 나타냈다( $P<0.001$ ). 또한 불소도포군은 레이저조사군과 불소도포 후 레이저조사군보다 높았으나, ( $P<0.001$ ) 레이저조사 후 불소도포군과는 유사하였다 ( $P>0.05$ ).

3. 우식병소형성 후 불소도포를 시행한 법랑질 표면의 미세형태는 탈회혼적은 사라지고 불소화합물로 보이는 수 많은 과립자들이 부착되었으며, 레이저조사는 한층 경화된 법랑질표면에 미세균열과 작은 소공들이 존재하는 균열상(Cracker-like appearance)을 나타냈다. 불소도포 후 레이저조사를 시행한 경우 불소과립자들이 긴밀하게 법랑질표면에 부착되었으나 균열부에 침투된 혼적은 없었으며, 레이저조사 후 불소도포 시 다수의 불소화합물이 소공 및 균열부위로 침투된 양상이 관찰되었다.
4. EPMA를 통하여 법랑질내부의 불소분포 양상을 분석한 결과, 불소도포 및 불소도포 후 레이저조사를 시행한 시편에서는 법랑질 최표층으로부터 5 $\mu\text{m}$ 이내에서 현저하게 증가되다가 급격한 감소양상을 나타냈으나, 레이저조사 후 불소도포를 시행한 경우는 표층부 10 $\mu\text{m}$ 까지 증가됨으로서 불소침투 효과가 가장 큰 것으로 관찰되었다.
5. 불소 및 레이저 사용에 따른 법랑질의 칼슘/인 무게비는 10 $\mu\text{m}$  조사점에서 건전 및 우식법랑질보다 다소 증가되었으나 그 이상의 깊이에서는 유사한 결과를 나타냈다. 불소농도 분석시 10 $\mu\text{m}$  조사점을 제외한 모든 조사점에서 불소도포군이 불소도포 및 레이저조사가 병용된 실험군보다 높게 측정되었으며( $P<0.05$ ), 불소도포 및 레이저조사 병용군 사이에 유의한 차이는 나타나지 않았다( $P>0.05$ ).

B: Impact of the laser on dental caries. Nature, 1964;203:417.

2. Kinersly T et. al.: Laser effects on tissue and materials related to dentistry. J Am Dent Assoc 1965;70:593-603.
3. Lobene RR, Bhussry BR, Fine S: Interaction of carbon dioxide laser radiation with enamel and dentin. J Dent Res 1968;47:311-317.
4. Tooya Y: Acousto-optically Q-switched Nd:YAG laser effect on resistance of human deciduous enamel to demineralization in vitro and in vivo. Jpn. J Oral Biol 1982;24:442-452.
5. Hoke JA, Burkes EJ, Gomes ED, Wolbarsht ML: Er:YAG laser effects on dental tissues. J Laser Appl 1990;2:61-65.
6. Stern RH, Sognnaes RF: Laser effect on dental hard tissue. JS Calif Dent Assoc 1965;33:17-19.
7. Nelson DGA, Wefel JS, Jongebloed WL, Featherstone JDB: Morphology, histology and crystallography of human dental enamel treated with pulsed low-energy infrared laser radiation. Caries Res 1987;21:411-421.
8. Ferreira JM, Palmara J, Phakey PP, Rachinger WA, Orams HJ: Effects of continuous wave CO<sub>2</sub> laser on the ultrastructure of human dental enamel. Arch Oral Biol 1989;34:551-562.
9. Palmara J, Phakey PP, Orams HJ, Rachinger WA: The effect on the ultrastructure of dental enamel of excimer-dye, argon-ion and CO<sub>2</sub> lasers. Scanning Microsc 1992;6:1061-1071.
10. Goodman BD, Kaufan HW: Effects of an argon laser on the crystalline properties and rate of dissolution in acid of tooth enamel in the presence of sodium fluoride. J Dent Res 1977;56:1201-1207.
11. Yamamoto H, Sato K: Prevention of de-

## References

1. Goldman L, Hornby P, Meyer R, Goldman

- ntal caries by Nd:YAG laser irradiation. *J Dent Res* 1980;59:2171-2177.
12. Tagomori S, Suzuki K, Morioka T: Combined effects of laser and fluoride on acid resistance of human enamel. *J JSL M* 1984;1:261-262.
  13. Mainman TH: Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 1960 ; 187 : 493-494.
  14. Stern RH, Sognaes RF: Laser beam effect on dental hard tissues. *J Dent Res* 1964;43:873-876.
  15. Featherstone JDB, Nelson DGA: Laser effects on dental hard tissues. *Adv Dent Res* 1987;1:221-226.
  16. Frenzen M, Koort HJ: Lasers in dentistry: new possibilities with advancing laser technology? *Int Dent J* 1990;40:323-332.
  17. Miserendino LJ, Pick RM: Lasers in Dentistry. Quintessence Pub Co. 1995.
  18. Nelson DG, Jongebloed WL, Featherstone JDB: Laser irradiation of human dental enamel and dentin. *NZ Dent J* 1986;82:74-77.
  19. Hicks MJ, Flaitz CM, Westerman GH, Berg JH, Blankenau RJ, Powell GL: Caries-like lesion initiation and progression in sound enamel following argon laser irradiation : an in vitro study. *ASDCJ Dent Child* 1993;60:201-206.
  20. Nelson DGA, Shariati M, Glena R, Shields CP, Featherstone JDB : Effect of pulsed low energy infraed laser irradiation on artificial caries-like lesion formation. *Caries Res* 1986;20:289-299.
  21. Oho T, Morioka T: A possible mechanism of acquired acid resistance of human dental enamel by laser irradiation. *Caries Res* 1990;24:86-92.
  22. Tagomori S, Morioka T: Combined effects of laser and fluoride on acid resistance of human dental enamel. *Caries Res* 1989 ; 23:225-31.
  23. Fox JL, Yu D, Otsuka M, Higuchi WI, Wong J, Powell G: Combined effects of laser irradiation and chemical inhibitors on the dissolution of dental enamel. *Caries Res* 1992;26:333-339.
  24. Fox JL, Yu D, Otsuka M, Higuchi WI, Wong J, Powell G: Initial dissolution rate studies on dental enamel after CO<sub>2</sub> laser irradiation. *J Dent Res* 1992;71:1389-1398.
  25. Featherstone JDB, Nelson DGA : Laser effects on dental hard tissues. *Adv Dent Res* 1987;1:21-26.
  26. Westerman GH, Hicks MJ, Flaitz CM, Blankenau RJ, Powell G, Berg JH : Argon laser irradiation in root surface caries: an in vitro study. *J Am Dent Assoc* 1994;125:401-407.
  27. Westerman GH, Flaitz CM, Hicks MJ, Berg JH, Blankenau RJ, Powell G: Argon laser irradiation and fluoride treatment in root surface caries in vitro. *J Dent Res* 1994;73:178.
  28. Stern RH, Sognaes RF: Laser inhibition of dental caries suggested by first tests in vivo. *J Am Dent Assoc* 1972;85:1087-1090.
  29. Lobene RR, Fine S : Interaction of laser radiation with oral hard tissue. *J Pros Dent* 1966 ; 16 : 586-597.
  30. Gordon TE: Single surface cutting of normal tooth by ruby laser. *J Am Dent Assoc* 1967 ; 74 : 398-402.
  31. Sato K: relation between acid dissolution and histological alteration of heated tooth enamel. *Caries Res* 1983 ; 17 : 490-495.
  32. Borggreven JMPM, van Dijk JWE, Driessens FCM: Short communications: Effect of laser irradiation on the permeability of bovine dental enamel. *Arch Oral Biol* 1980 ; 25 : 831-832.
  33. Kantola S, Laine E, Tarna T: Laser-induced effects on tooth structure. X-ray

- diffraction study of dental enamel exposed to a CO<sub>2</sub> laser. *Acta Odont Scand* 1973 ; 31 : 369-379.
34. Kuroda S, Nakahara H : Morphological changes in laser-irradiated extracted teeth. *J Dent Res* : Abstract 719,1981.
  35. Kuroda S, Fowler BO : Compositional, structural and phase changes in in vitro laser-irradiated human tooth enamel. *Calcif Tissue Int* 1984 ; 36 : 361-369.
  36. Nelson DGA, Wefel JS, Jongebloed WL: Morphology and histology and crystallography of human dental enamel treated with pulsed low-energy infra-red laser irradiation. *Caries Res* 1987 ; 21 : 411-426.
  37. ten Cate JM: In vitro studies on the effects of fluoride on de- and remineralization. *J Dent Res* 69(Spec Iss) 1990 ; 69 : 614-619.
  38. Rolla G: Topical application of fluorides on teeth. New concepts of mechanisms of interaction. *J Clin Periodontol* 1993 ; 20 : 105-108.
  39. Clarkson BH, Wefel JS, Silverstone LM: Redistribution of enamel fluoride during white spot lesion formation: an in vitro study on human dental enamel. *Caries Res* 1981 ; 15 : 158-165.
  40. Hicks MJ, Flaitz CM, Silverstone LM : Fluoride uptake in vitro of sound enamel and caries-like lesions of enamel from fluoride solutions of relatively low concentration. *J Pedod* 1986 ; 11 : 47-61.
  41. Boehm R, Rich J, Websster J, Janke S: Thermal stress effects and surface cracking associated with laser use on human teeth. *J Biomech Eng* 1977 ; 99 :189-194.
  42. Goodman BD, Kaufman HW : Effects of an argon laser on the crystalline properties and rate of dissolution in acid of tooth enamel in the presence of sodium fluoride. *J Dent Res* 1977 ; 56 :1201-1207.
  43. Flaitz C, Jicks J, Westerman GH, Berg J H, Blankenau RJ, Powell GL: Argon laser irradiation and acidulated phosphate fluoride treatment in caries-like lesion formation in enamel : an in vitro study. *Pediatr Dent* 1995 ; 17 : 31-35.
  44. Arends J, ten Bosch JJ: Demineralization and remineralization evaluation techniques. *J Dent Res* 71 : 924-928, 1992.
  45. Herkstroter FM, Noordman J, ten Bosch JJ : WIM : Its use to measure mineral changes in curved and thick samples. *Caries Res* 1990 ; 23 : 342-345.
  46. Featherstone J, ten Cate J, Shariati M, Arends J : Comparison of artificial caries-like lesions by quantitative microradiography and microhardness profiles. *Caries Res* 1983 ; 17 : 385-391.
  47. Zero DT, Rahbek L, Fu J, Proskin HM, Featherstone J : Comparison of the iodide permeability test, the surface microhardness test, and the mineral distribution of bovine enamel following acid challenge. *Caries Res* 1990 ; 24 : 181-188.
  48. Silverstone LM: The structure of carious enamel, including the early lesion. *Oral Sci Rev* 1973 ; 4 : 100-160.
  49. Chu JS, Fox JL, Higuchi WI, Nash WP: Electron probe micro-analysis for subsurface demineralization and remineralization of dental enamel. *J Dent Res* 1989 ; 68 : 26-31.
  50. Tagomori S, Iwase T : Ultrastructural change of enamel exposed to normal pulsed Nd:YAG laser. *Caries Res* 1995 ; 29 : 513-520.
  51. Adrian JC, Berner JL, Sprague WG: Laser and dental pulp. *JADA* 1971 ; 383 : 113-117.
  52. Matsumoto K : Therapy of dental pulp and laser irradiation. *J Dent Med(Japan)* 1987 ; 25 : 489-497.

53. Hess JA: Scanning electron microscopic study of laser induced morphologic changes of a coated enamel surface. *Lasers in Surg Med* 1990 ; 10 : 459-462.
54. Toshio M, Shoko T, Yuko I: An incremental effect of acid resistance and remineralization on incipient caries of enamel with laser irradiation. *日本laser 齒學研究會誌* 1991 ; 2 : 1-9.
55. Boyde A, Switsur VR, Fearnhead RW: Application of the scanning electron-probe X-ray microanalyser to dental tissues. *J Ultrastruct Res* 1961 ; 5 : 201-207.
56. Nelson DGA, Coote GE, Vickridhe IC, Suckling G : Proton microprobe determination of fluorine profiles in the enamel and dentin of erupting incisors from sheep given low and high daily doses of fluoride. *Archs Oral Biol* 1989;34:419-429.
57. Wei SHY, Forbes WC : Electron microprobe investigations of stannous fluoride reactions with enamel surfaces. *J Dent Res* 1974;53:51-56.
58. Wen HB, Cui FZ, Chen XQ, Wang Q, Li HD : Structure of artificial enamel lesions after topical applications of high-concentration sodium fluoride solution in vitro. *Caries Res* 1995 ; 29 : 122-129.
59. 윤현두, 김재곤, 백병주: 불소농도가 인공우식병소의 재석회화에 미치는 영향. *대한소아치과학회지* 1995 ; 23(1) : 238-260.
60. Carlstrom D, Glas JE, Angman B: Studies on the ultrastructure of dental enamel. *J Ultrastruct Res* 1963 ; 8 : 24-29.
61. Sato K: Relation between acid dissolution and histological alteration of heated tooth enamel. *Caries Res* 1983 ; 17 : 490-495.
62. Arwill T, Myrberg N, Soremark P: Penetration of radioactive isotopes through enamel and dentin. I. Diffusion of Na in fresh and coagulated dental tissues. *J Dent Res* 1965 ; 44 : 1299-1303.
63. Fowler BO, Kuroda S: Changes in heated and in laser irradiated human tooth enamel and their probable effects on solubility. *Calcif Tissue Int* 1986;38:197-208.



논문 사진부도 1

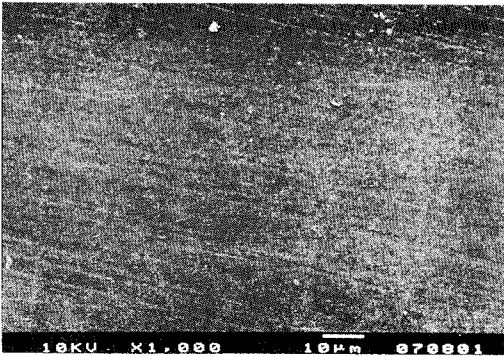


Fig. 2

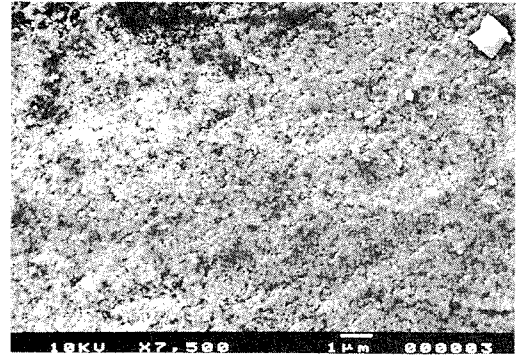


Fig. 3

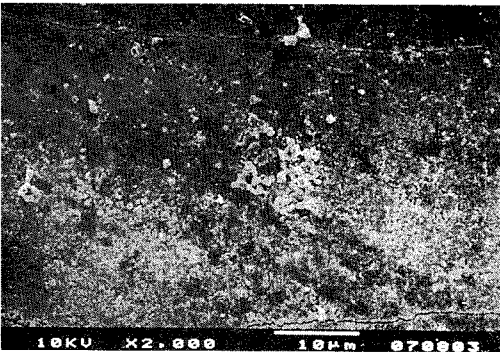


Fig. 4a

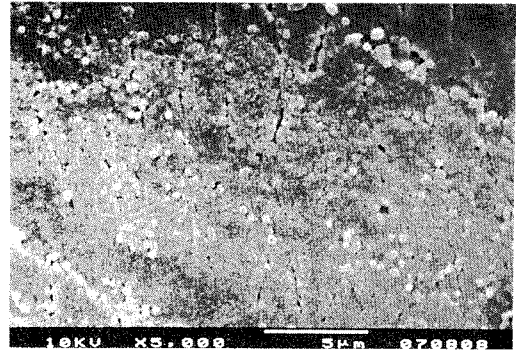


Fig. 4b

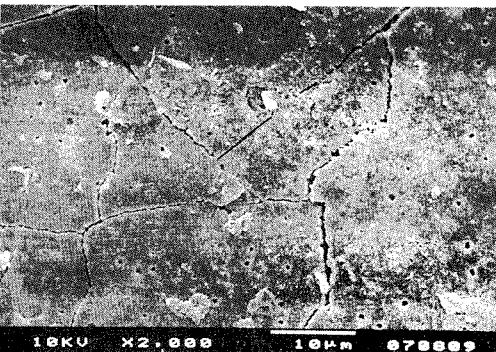


Fig. 5a

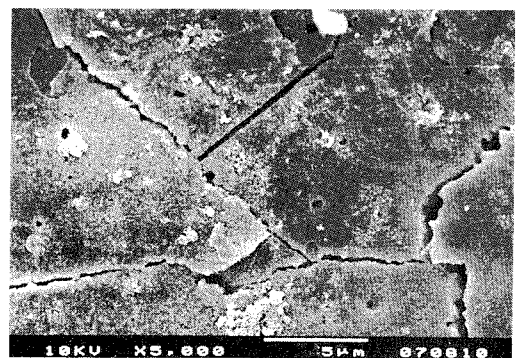


Fig. 5b

논문 사진부도 2

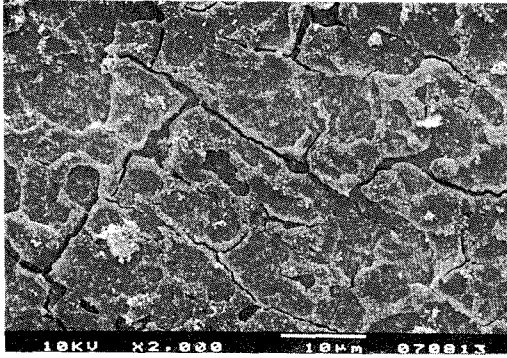


Fig. 6a

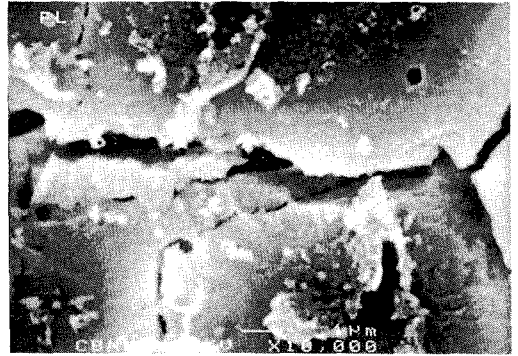


Fig. 6b

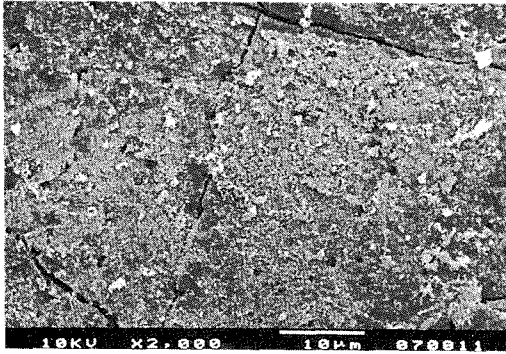


Fig. 7a

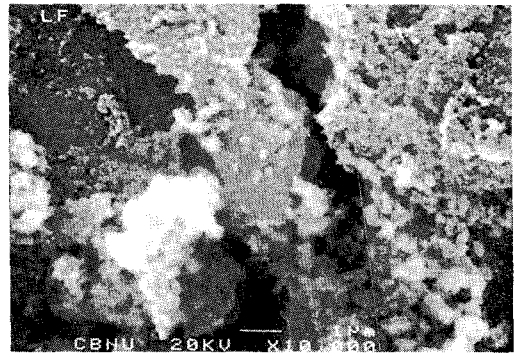


Fig. 7b