

Pulsed Nd:YAG 레이저 조사와 불소화합물 도포가 치아 내산성에 미치는 영향

전남대학교 치과대학 구강내과학 교실

이 안 회 · 기 우 천

목 차

- I. 서 론
- II. 재료 및 방법
- III. 성 적
- IV. 고 찰
- V. 결 론
- 참고문헌
- 영문초록
- 사진부도

I. 서 론

1917년 Einstein¹⁾이 특정 조건하의 매질에 빛을 비추면 똑같은 파장을 지닌 빛이 더 많이 방출된다는 레이저의 기본 원리를 제시한 이후로, 1960년 Maiman²⁾이 적색광을 내는 루비를 이용하여 레이저 발전에 성공함으로써 새로운 빛이 출현하게 되었다.

레이저는 단색성, 지향성, 고휘도성(high brightness) 등의 특성과 강한 에너지를 갖는 집속광으로서 광전과 공학의 발전에 따라, 고체, 기체, 액체 및 반도체 등의 다양한 매질을 사용하게 되었고, 이러한 각각의 레이저는 의학, 통신, 정밀과학, 기초과학, 정밀가공 등 과학기술 분야에 커다란 공헌을 하고 있다.^{3,4)}

의학분야에서는 1962년 안과에서 루비 레이저

광을 최초로 이용한 이후 레이저의 정밀성, 조절성, 지혈성 및 살균성 등의 잇점을 이용하여 여러 임상분야에 사용하고 있다.^{4,5)}

치의학 분야에서는 1964년 Goldman 등⁶⁾이 발치된 치아에 루비 레이저를 조사하여 와동형성의 가능성을 최초로 보여준 이후, Gordon⁷⁾, Kinersly 등⁸⁾은 루비 레이저, Brune⁹⁾, Schein과 Kantola¹⁰⁾는 탄산가스 레이저를 이용하여 와동을 형성하는 실험을 보고하였다. Lobene과 Fine¹¹⁾, Stern 등¹²⁾은 레이저 조사가 치면에 미치는 영향에 대해 연구하였고, Adrian 등¹³⁾, Boehm 등¹⁴⁾, Kato와 Nagasawa¹⁵⁾, Stern 등¹²⁾은 레이저 조사에 따른 치수의 온도변화를 보고한 바 있다.

1965년 Stern과 Sognaes¹⁶⁾가 YAG 레이저를 이용하여 와동을 형성하는 실험을 하던 중 레이저가 조사된 부위에서 내산성이 강화되는 현상을 발견하여 처음으로 레이저에 의한 치아우식증 예방의 가능성을 시사하였다. 그 이후, 루비 레이저¹⁷⁾, 탄산가스 레이저^{18, 23)}, 아르곤 레이저^{24, 25)}, Nd:YAG 레이저^{26, 28)}를 이용한 법랑질과 상아질의 내산성 변화를 보고한 바 있다. 국내에서도 탄산가스 레이저^{29, 30)}와 Nd:YAG 레이저^{31, 32)}를 이용하여 법랑질의 내산성 변화를 연구하였다.

치아우식증을 예방하기 위한 목적으로 사용하는 불화물의 효과를 보다 증대시키기 위하여, 온

도를 증가하거나 화학적 자극을 가하거나 또는 전기적으로 자극을 주는 방법과 같이 다양한 인위적인 방법이 사용되었다. 레이저가 개발된 이후에는 불화물을 각종 레이저와 같이 사용하여 불화물의 치아우식 예방효과를 증가시켰다는 보고가 있다. Goldman과 Kaufman²⁴⁾은 치면에 NaF를 도포한 후 아르곤 레이저를 조사한 결과 불소흡착이 증가하여 치아의 내산성이 증가하였다고 하였고, Tagomori와 Morioka³³⁾는 Nd:YAG 레이저를 조사한 후 APF(acidulated phosphate fluoride)를 도포하였을 때 내산성 및 불소흡착이 대조군에 비해 현저히 증가되었다고 하였다. 또한 Yamamoto와 Sato²⁷⁾는 Ag(NH₃)₂F를 도포한 후 Nd:YAG 레이저를 조사하면 불소흡착이 증가하고 치아표면의 탈회가 감소한다고 보고하였다. 국내에서는 민과 손³¹⁾이 연속파형 Nd:YAG 레이저 조사와 불화석 도포가 치아우식예방에 미치는 영향에 관해 보고하였고, 이³⁰⁾는 APF 도포와 탄산가스 레이저 병용처치시 치아우식증 억제효과에 대해 연구하였다. 모와 양³²⁾은 APF 도포 전후의 Nd:YAG 레이저 조사가 치아 내산성에 미치는 영향에 대해 보고한 바 있다.

그러나 치과용 레이저와 불화물을 이용한 치아우식증 예방에 관한 지금까지의 연구에서 pulsed Nd:YAG 레이저와 수종의 불화물을 대상으로 한 연구는 희소한 편이다. 이에 저자는 pulsed Nd:YAG 레이저와 불소화합물을 함께 사용하는 경우 최적의 치아우식 예방효과를 나타내는 레이저 조사조건과 불소화합물의 종류를 찾아내기 위하여, 여러 조사조건으로 법랑질 표면에 레이저를 조사한 후 각각의 불소화합물을 도포하여 법랑질 표면에서의 불소와 인의 용출량을 측정하고 주사전자현미경으로 법랑질 표면의 변화를 관찰하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재 료

본 실험에서 치아는 우식증이 없는 건전한 소

의 하악 영구전치를 사용하였고, 불화물로는 NaF(Baker Chemical Co., U.S.A.), NH₄F(Shin-yo pure Chemicals Co., Japan), TiF₄(Aldrich Chemical Co., U.S.A.), Elmex gel(amine fluoride, ICN Biomedical Co., Switzerland), APF gel(Aldrich Chemical Co., U.S.A.)을 사용하였다.

2. 방 법

(1) 시편 제작

소의 하악 영구전치 치근부를 제거한 치관부를 증류수로 수세한 후, rubber cup에 300 mesh silicone oxide paste를 묻혀 순면을 세마한 다음 10분간 초음파 세정기로 세척하여 공기중에 건조시켰다. 영구 전치의 순면 평활면을 diamond point bur와 disk를 이용하여 약 5 × 5mm 크기로 절단하여 371개의 시편을 제작하였다. 시편은 레이저와 불화물을 처리하지 않은 대조군과 불화물의 종류에 따른 5개군의 실험군으로 분류하였으며, 실험군은 레이저 조사 조건에 따라 각각 3개의 아군으로 세분하였다. 대조군과 실험 아군은 각각 20개의 시편으로 구성하였다. 주사전자현미경적 관찰을 위하여 각 군당 3개씩의 시편을 준비하였다.

(2) 인공우식병소 형성

제작한 모든 시편을 NaOH를 첨가하여 pH 4.0으로 조절된 0.1M lactic acid에 6% carboxymethyl cellulose를 증류수와 혼합하여 만든 용액에 37°C에서 3일간 처리한 후 증류수로 세척하여 공기 중에서 건조하였다.

(3) 레이저 조사

레이저는 1,064nm의 파장, 최대출력 8W와 최대 100pps의 펄스 반복율을 갖는 pulsed Nd:YAG 레이저(Sunrise Technology Inc., U.S.A.)를 사용하였다^{35,36)}. 실험군을 레이저 조사 조건에 따라 3개군으로 나누어 100mJ, 10pps의 에너지로 각각 10초, 20초, 30초동안 조사범위가 직경 3mm의 원형이 되도록 비접촉법으로 시

편의 법랑질 면에 조사하였다.

(4) 불소도포

레이저가 조사된 시편의 법랑질면에 직경 3mm의 원형 masking tape(3M Co., U.S.A.)를 붙인 다음 nail varnish를 도포하여 건조시킨 후 masking tape을 떼내어 직경 3mm인 원형의 법랑질면만 노출하였다. 레이저 조사 조건에 따라 3개군으로 분류한 시편을 각각 5개 군으로 나누어 용법에 따라 2% NaF, 1.9% NH₄F, 1.6% TiF₄ 용액과 Elmex gel(amine fluoride), APF gel에 10분간 처리하였다.

(5) pH 순환과정

구강내 환경과 유사한 조건을 만들어 주기 위하여 대조군 및 실험군 시편을 하루 3시간 동안 인공우식병소 형성용액과 동일한 탈회용액에 처리하였으며, 탈회용액에 처리하는 이외의 시간에는 인공타액에 보관하였다. 이상의 동일과정을 7일간 반복처리하였다. 인공타액은 0.4gm orthophosphoric acid를 40ml의 증류수에 넣은 용액, 1.5gm KCl을 100ml 증류수에 넣은 용액, 1gm sodium bicarbonate를 100ml 증류수에 넣은 용액 등 3종의 용액을 600ml 증류수와 함께 혼합한 용액을 제조하여, 이 용액과 0.22gm calcium chloride를 100ml 증류수에 넣은 용액을 혼합한 후 60ml의 증류수를 첨가하여 1,000ml의 인공타액을 제조하였으며, 인공타액의 pH는 6.5-6.7로 조절하였다.

(6) 법랑질내 불소 및 인 농도 측정

3.5ml 원심분리용 관에 0.1N HClO₄ 용액 1ml를 넣고 법랑질 시편을 30초, 1분, 2분씩 3회 연속부식시키고, 매회 부식시 마다 NaOH 20g/l를 첨가하여 pH 5.2로 조절된 TISAB(Total ionic strength adjustment buffer) type II 1ml로 법랑질 시편을 세정하였다³⁷⁾.

2ml의 부식용액 중 1.9ml를 취하여 Ionalyser(Orion Research Inc., Model EA-940, U.S.A.)에 불소이온 전극(Model 9609BN, U.S.A.)을 장착하고 1ppm, 2ppm, 10ppm의 표준 불소용액으로

감응성을 조정한 후 불소이온 농도를 측정하였다. 2ml의 부식용액중 나머지 0.1ml를 취하여 2% ascorbic acid/10% trichloro-acetic acid 용액 1ml에 첨가한 후 이 용액에 1% ammonium molybdate 0.5ml를 첨가하고, 2% arsenite/citrate 1ml를 첨가, 혼합하여 15분이 경과한 다음, UV/Vis Spectrophotometer(Uvikon 860, Kontron Co., Switzerland)를 1ppm, 5ppm, 10ppm의 표준 인 용액으로 감응성을 조절한 후 840nm에서 법랑질내의 인 농도를 측정하였다.

법랑질의 불소농도는 3단계에 의하여 산출하였다. 먼저 법랑질 부식층별 불소농도(F ppm)와 부식층 두께(d μm)를 건전한 법랑질과 인공우식병소의 비중이 2.95g/cm³, 법랑질내 인 함량이 18%라는 가정³⁸⁻⁴⁰⁾하에 아래의 공식⁴¹⁾을 이용하여 계산하였다.

$$F(\text{ppm}) = 10^6 \times (\text{fluoride weight/enamel weight}) \\ = \{(F)/(P)\} \times 0.18 \times 10^6 \\ (F) : F \text{ concentration in the sample} \\ (P) : P \text{ concentration in the sample} \\ d(\mu\text{m}) = \text{enamel weight in } \mu\text{g}/ \\ (\text{비중 } 2.95 \times \text{노출면적 } 7.07\text{mm}^2)$$

법랑질 깊이별 불소농도는 3μm, 5μm, 7μm, 10μm, 14μm 에서 아래의 회귀방정식에 의하여 계산하였다⁴²⁾.

$$Y = a + b \log X, \\ Y : \text{불소농도}, \quad X : \text{법랑질 깊이}$$

(7) 통계처리

이상에서 얻어진 자료를 SAS의 GLM(generalized linear model analysis)과 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검정하였다.

(8) 주사전자현미경학적 관찰

시편의 표면을 주사전자현미경으로 관찰하기 위하여 각 대조군 및 실험 아군에서 시편을 2개씩 선택하였다. 시편의 법랑질 표면에 Au를 피

복하여 주사전자현미경(Jeol, JSM-35C, Japan)으로 25kV에서 1,000배와 3,500배로 관찰하였다.

III. 성 적

1. 법랑질의 인 농도(Table 1, Fig. 1)

법랑질 내에서 용출된 인의 농도는 10J/cm²의 Elmex gel군에서 7.18 μ g/mm²으로 가장 높았으

며, 30J/cm²의 APF gel군에서 1.27 μ g/mm²으로 가장 낮았다. 10J/cm²과 30J/cm²의 Elmex gel군을 제외한 다른 실험군은 대조군에 비하여 인의 용출량이 낮았다(p<0.01).

2. 법랑질내 불소농도

인공우식병소를 형성한 시편에 총 10J/cm²의 에너지로 레이저를 조사한 후 불화물을 도포한

Table 1. The dissolved phosphate concentration in enamel of the control and experimental groups (unit : μ g/mm²)

Group	Energy	10J/cm ²	20J/cm ²	30J/cm ²
Control		4.40 \pm 1.44		
NaF		3.32 \pm 1.40	2.95 \pm 0.84	3.15 \pm 1.69
NH ₄ F		2.74 \pm 1.59	1.65 \pm 1.39	2.33 \pm 1.54
TiF ₄		2.19 \pm 0.79	1.75 \pm 0.61	2.73 \pm 1.36
Elmex gel		7.18 \pm 3.50	2.51 \pm 0.84	4.59 \pm 1.65
APF gel		1.70 \pm 1.01	1.90 \pm 0.74	1.27 \pm 0.93

Values are mean \pm standard deviation

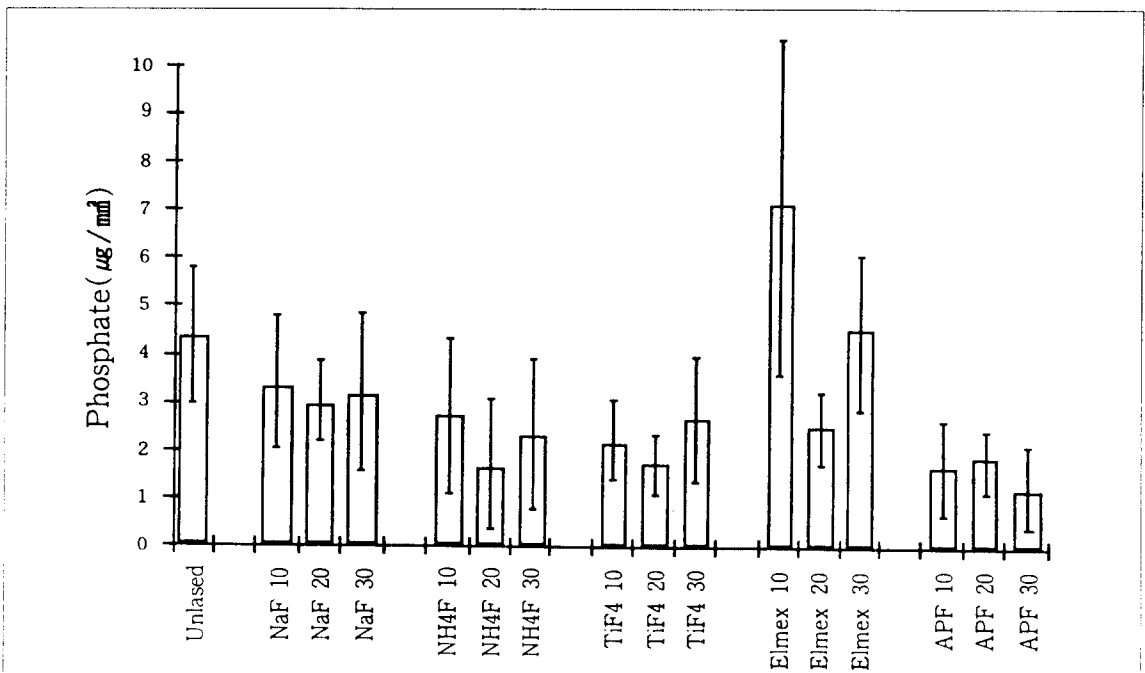


Fig. 1. The dissolved phosphate concentration with laser irradiation and fluoride application.

법랑질에서의 깊이에 따른 불소농도는 Table 2와 같다. 법랑질 깊이별 불소함량은 레이저를 총 10J/cm²의 에너지로 조사하였을 때 APF gel군이 990.7-922.6ppm으로 가장 높았고, NaF군은 762.4-612.7ppm, NH₄F군이 545.6-490.8ppm, Elmex gel군이 530.1-407.6ppm이었으며, TiF₄군이 397.8-305.5ppm으로 가장 낮았으나 대조군의 267.8- 102.2ppm보다는 높았다(p<0.01). 법랑질

표면으로 부터 깊이가 증가할수록 불소함량은 감소하였으나 유의한 변화는 없었다(Fig. 2). 총 20J/cm²의 에너지로 레이저를 조사하여 불화물을 도포한 깊이별 불소함량은 Table 3과 같다. 법랑질 깊이별 불소함량은 레이저를 총 20J/cm²의 에너지로 조사하였을 때 APF gel군에서 1,156.5-928.7ppm으로 가장 높았고, NH₄F군이 1,057.0-541.7ppm, NaF군은 763.7-601.1ppm,

Table 2. Fluoride uptake with total energy density of 10J/cm² laser irradiation and the various fluoride solutions at predetermined enamel depths (unit : ppm)

Depth	3 μ m	5 μ m	7 μ m	10 μ m	14 μ m
Control	267.8 \pm 44.2	128.4 \pm 54.3	119.8 \pm 49.1	110.8 \pm 44.3	102.2 \pm 41.1
NaF	762.4 \pm 266.5	712.7 \pm 227.1	680.1 \pm 103.4	645.4 \pm 181.1	612.7 \pm 163.9
NH ₄ F	545.5 \pm 137.5	527.4 \pm 193.8	515.4 \pm 178.9	502.8 \pm 172.9	490.8 \pm 182.8
TiF ₄	397.8 \pm 87.2	367.2 \pm 74.6	347.0 \pm 67.2	325.7 \pm 60.5	305.5 \pm 55.7
Elmex gel	530.1 \pm 44.5	509.9 \pm 38.7	488.5 \pm 158.6	468.3 \pm 118.1	407.6 \pm 118.1
APF gel	990.7 \pm 171.3	974.9 \pm 186.1	960.0 \pm 208.6	945.1 \pm 128.1	922.6 \pm 153.1

Values are mean \pm standard deviation

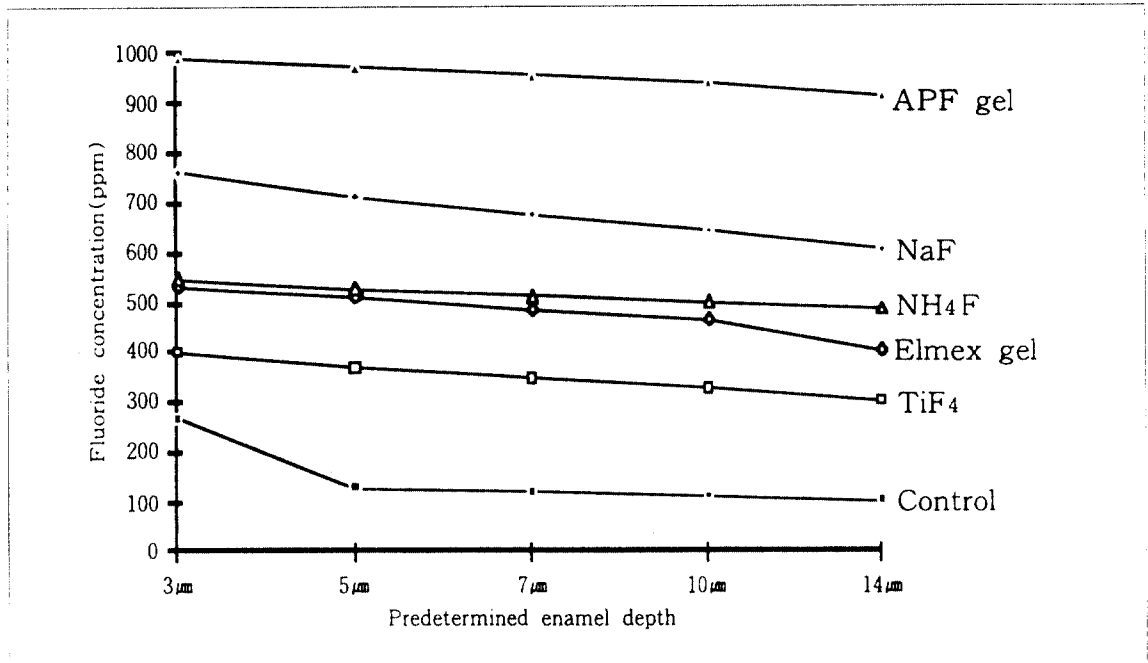


Fig. 2. Fluoride uptake with total energy density of 10J/cm² at predetermined enamel depths.

Elmex gel군이 536.3-459.6ppm, TiF₄군이 296.0-240.5ppm이었으며, 이 중 TiF₄군이 가장 낮았으나 대조군의 267.8-102.2ppm보다는 TiF₄군을 제외하고 모두 높았다(p<0.01). 법랑질 표면으로부터 깊이가 증가할수록 법랑질내 불소함량은 감소하는 경향을 보이며 특히 NH₄F군에서 유의한 감소를 보였다(p<0.01)(Fig. 3). 총 30J/cm²의 에너지로 레이저를 조사하여 불화물을 도포한 깊이별 불소함량은 Table 4와 같다. 법랑질 깊이

별 불소함량은 레이저를 총 30J/cm²의 에너지로 조사하였을 때 APF gel군에서 1,956.4-1,322.9 ppm으로 가장 높았고, NaF군은 1,704.3-1,255.0 ppm, TiF₄군이 1,565.8-459.2ppm, NH₄F군이 824.0-695.3ppm, Elmex gel군이 703.2-644.6 ppm이었으며, 이 중 Elmex gel군이 가장 낮았으나 대조군의 267.8-102.2ppm보다는 모두 높았다(p<0.01). 법랑질 표면으로부터 깊이가 증가할수록 법랑질내 불소함량은 감소하는 경향을 보

Table 3. Fluoride uptake with total energy density of 20J/cm² laser irradiation and the various fluoride solutions at predetermined enamel depths (unit : ppm)

Depth	3μm	5μm	7μm	10μm	14μm
Control	267.8 ± 44.2	128.4 ± 54.3	119.8 ± 49.1	110.8 ± 44.3	102.2 ± 41.1
NaF	763.7 ± 189.2	709.8 ± 143.2	674.3 ± 114.9	636.6 ± 187.5	601.1 ± 165.4
NH ₄ F	1,057.0 ± 225.0	822.3 ± 106.2	675.1 ± 211.1	556.6 ± 276.4	541.7 ± 237.5
TiF ₄	296.0 ± 66.0	273.6 ± 54.8	262.8 ± 50.9	251.3 ± 47.9	240.5 ± 46.0
Elmex gel	536.3 ± 190.8	500.9 ± 128.7	494.2 ± 138.8	476.4 ± 218.1	459.6 ± 199.7
APF gel	1,156.5 ± 230.6	1,111.1 ± 246.0	1,038.6 ± 259.3	988.3 ± 254.2	928.7 ± 264.0

Values are mean ± standard deviation

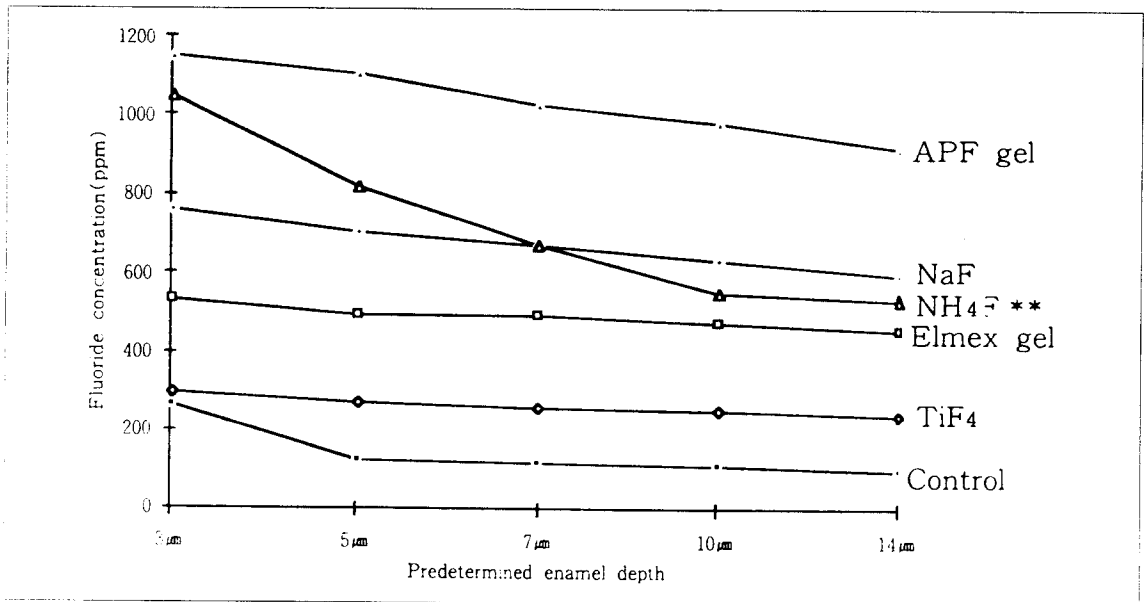


Fig. 3. Fluoride uptake with total energy density of 20J/cm² at predetermined enamel depths. **: p<0.01

Table 4. Fluoride uptake with total energy density of 30J/cm² laser irradiation and the various fluoride solutions at predetermined enamel depths (unit : ppm)

Depth	3 μ m	5 μ m	7 μ m	10 μ m	14 μ m
Control	267.8 \pm 44.2	128.4 \pm 54.3	119.8 \pm 49.1	110.8 \pm 44.3	102.2 \pm 41.1
NaF	1,704.3 \pm 216.0	1,555.4 \pm 283.8	1,457.2 \pm 238.0	1,353.2 \pm 280.6	1,255.0 \pm 242.6
NH ₄ F	824.0 \pm 431.5	741.4 \pm 360.5	753.2 \pm 322.2	723.4 \pm 292.5	695.3 \pm 278.0
TiF ₄	1,565.8 \pm 759.6	1,189.8 \pm 712.4	942.3 \pm 564.3	679.7 \pm 436.9	459.2 \pm 335.2
Elmex gel	703.2 \pm 242.0	684.4 \pm 251.8	671.4 \pm 265.9	657.6 \pm 295.5	644.6 \pm 278.0
APF gel	1,956.4 \pm 582.5	1,746.3 \pm 603.4	1,607.9 \pm 518.8	1,467.1 \pm 568.6	1,322.9 \pm 721.5

Values are mean \pm standard deviation

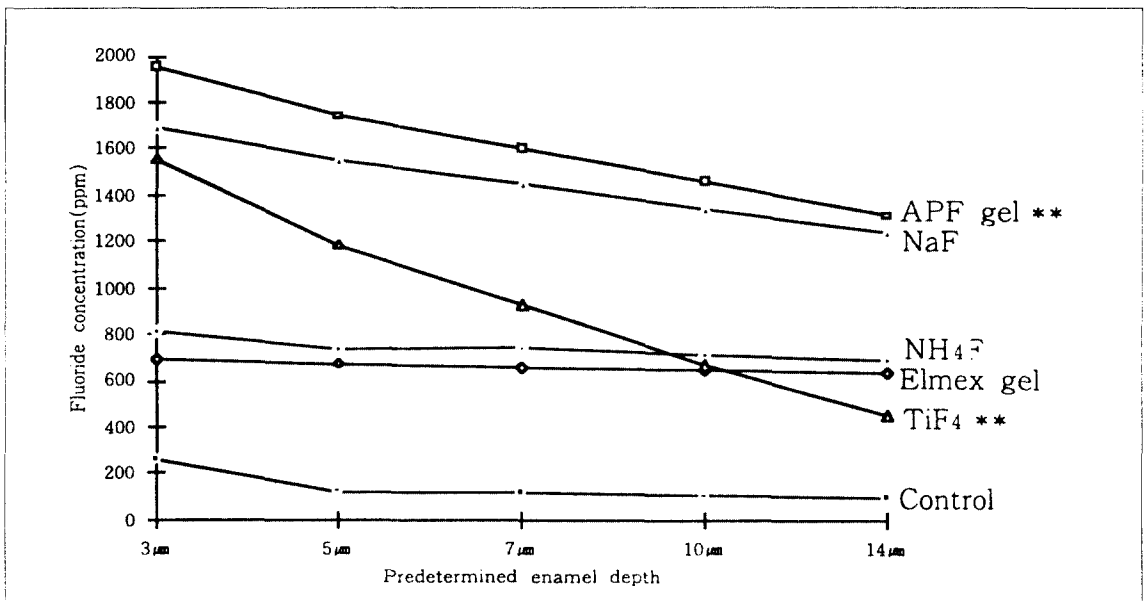


Fig. 4. Fluoride uptake with total energy density of 30J/cm² at predetermined enamel depths.
** : p<0.01

이며 특히 APF gel군과 TiF₄군에서 유의한 감소를 보였다(p<0.01)(Fig. 4).

3. 주사전자현미경학적 소견

대조군과 각 실험군의 시편 표면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 대조군의 법랑질 표면은 전체적으로 무구조한 상을 보인 건전한 법랑질 표면에 비해 부식되어 있는 양상을 보였다

(Photo. 1, 2).

NaF군에서 10J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 많은 입자들이 부착되어 있고(Photo. 3), 20J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면에서는 결정성으로 일체화된 구조를 관찰할 수 있으며(Photo. 4), 30J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 균열이 관찰되었다(Photo. 5).

NH₄F군에서 10J/cm²의 레이저를 조사한 법랑

질 표면은 함몰과 함께 구형의 입자들이 표면에 침착되어 있고(Photo. 6), 20J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 결정화된 입자가 부착된 것을 관찰할 수 있으며(Photo. 7), 30J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 불규칙한 면을 이루고 있다(Photo. 8).

TiF₄군에서 10J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 피막형성과 함께 불규칙한 입자들이 뭉친 덩어리가 침착되어 있고(Photo. 9), 20J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 NH₄F군과 유사한 결정화된 입자가 부착된 것을 관찰할 수 있으며(Photo. 10), 30J/cm²의 에너지를 조사한 법랑질 표면은 균열과 함께 갈라진 형태의 불규칙한 입자들이 산재되어 있었다(Photo. 11).

Elmex gel군에서 10J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 레이저 조사에 의한 것으로 보이는 함몰부 이외의 표면 변화는 보이지 않으며 소수의 입자만 산재되어 있었다(Photo. 12). 20J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 균열과 함께 소수의 입자들이 부착되어 있으며(Photo. 13). 30J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 심한 산부식 표면을 보이며 입자모양의 구조는 드물게 존재하였다(Photo. 14).

APF gel군에서 10J/cm²와 20J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 작은 입자들이 산재되어 있고(Photo. 15, 16), 30J/cm²의 레이저를 조사한 법랑질 표면은 균열과 함께 결정화된 변화가 관찰되었다(Photo. 17).

IV. 고 찰

1960년 Maiman이 루비 레이저를 개발한 이후 레이저는 짧은 시간 동안 큰 발전을 이루면서 우리 주위에 많은 변화를 가져오게 하였다^{2,3,35,43}. 치의학 분야에서도 레이저의 이용이 가능하게 되었고^{4,20,44}, 앞으로는 치과의 기본장비로 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

치과영역에서 사용 가능한 레이저로는 탄산가스 레이저, 아르곤 레이저, 반도체 레이저, Er:YAG 레이저, Nd:YAG 레이저 등이 있다. 이 중 Nd:YAG 레이저는 조작이 간편하며 수분에

흡수되지 않고 흑색에 친화성이 있으며 조직내 심부침투성과 조직내 확산성과 같은 특징을 갖는다^{31,35,36}. 본 연구에 사용한 pulsed Nd:YAG 레이저는 탄산가스 레이저나 Argon 레이저에 비하여 광열작용이 크다는 단점 때문에 지금까지 연조직 시술에 주로 사용하고 있으나^{35,36,45} 레이저 조사시 발생하는 열을 적절히 조절할 경우 치아 경조직에도 적용할 수 있는 것으로 알려져 최근에는 경조직에 대한 연구도 활발하게 이루어지고 있다.

레이저 조사에 의한 치수조직의 열작용에 대한 연구에서 Boham 등¹⁴은 탄산가스 레이저 에너지가 10J/cm² 증가할 때 치수온도는 1.4°C 정도 상승한다고 하였고, Kato와 Nagasawa¹⁵는 10W로 1초간 조사시 6.7°C 상승한다고 하였다. 또한 Goldman 등⁴⁶은 루비레이저를 사용하여 4,000J/cm²의 에너지로 조사시 10°C 정도 온도 상승하였다고 보고하였다. 통상적으로 치수는 16-55°C의 온도저항 한계를 갖는다⁴⁷.

또한 레이저에 의한 치면손상에 대해서 Kantola¹⁸는 에너지 밀도가 20J/cm² 이상일 때 균열이 발생한다고 하였고, Borggreven 등⁴⁸은 탄산가스 레이저를 10J/cm² 조사시에는 균열이 발생하지 않았다고 하였으며, Tomita⁴⁹는 탄산가스 레이저의 에너지가 15J/cm² 이상일 때 균열이 나타난다고 하였다. Tagomori와 Morioka³³는 30J/cm² 이상으로 pulsed Nd:YAG 레이저를 조사하면 법랑질 표면 최초 5μm 내에서 융합과 미세한 균열이 생긴다고 보고하였다. 반면, Stern 등¹²은 pulsed 탄산가스 레이저 사용시 50J/cm² 이상의 에너지에서, 모와 양³²도 pulsed Nd:YAG 레이저 사용시 50J/cm²에서 치면의 균일한 융합 및 미세한 균열을 보고하였다. 민과 손³¹은 연속형 Nd:YAG 레이저의 50-60J/cm²에서, 이³⁰도 탄산가스 레이저 사용시 40J/cm²에서 치면의 균열 및 파괴를 관찰하였다고 하였다. 따라서 본 실험에서는 치면의 파괴와 열에 의한 치수의 손상을 최소화하기 위해 여러 보고들의 중용점인 30J/cm² 이하의 에너지를 사용하였다.

본 실험에서 실험재료로 사용한 치아는 석회화 정도나 불소함량 등의 차이가 비교적 큰 사람

의 치아보다는 법랑질이 균일하고 구조적인 변이가 적으며 조작이 용이한 소의 치아를 이용하였다. 또한 인공우식병소 형성시 법랑질 부위에 따라 불소함량이 다르게 나타날 수 있고, 탈회정도도 법랑질 성분에 따라 다양할 수 있으므로 인공우식병소를 형성하기 전에 법랑질 표면을 연마하여 이러한 오차를 최소한으로 줄이도록 하였다.

치아우식 예방효과가 비교적 높은 것으로 알려진 불소화합물중 NaF는 법랑질에 도포시 불화칼슘과 불화인회석을 형성한다고 알려졌으며⁵⁰⁾, NH₄F는 법랑질에 다량의 불화칼슘을 형성하고 불화물의 침부침투를 용이하게 하는 것으로 보고되고 있다^{51,52)}. TiF₄는 금속염의 형태로 Ti 이온이 법랑질에 작용하여 법랑질 표면에 TiO₂의 내산성 피막을 형성하는 등 수산화인회석과 복합체를 형성하여 산에 대한 용해도와 구강미생물에 영향을 미치는 것^{53,54)}으로 알려져 있다. APF는 산성의 환경으로 불소가 fluoroapatite 형성시 증성 용액보다 효과적인 것으로 보고되었으며⁵⁵⁾, Elmex gel은 치아우식증 예방 및 상아질 과민증 억제에 효과적인 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 치아우식증 예방효과가 크며, 널리 사용되는 5종류의 불화물을 선택하였다.

레이저와 불화불의 병용시 레이저 조사시기에 대한 연구에서 Tagomori와 Morioka³³⁾, 모와 양³²⁾은 레이저를 조사한 후 APF를 도포한 경우가 APF를 도포한 후 레이저를 조사한 경우보다 치아우식 예방효과가 더욱 크다고 하였다. 본 연구에서도 치아우식 예방효과를 높이기 위해 먼저 레이저를 조사한 후 불화물을 도포하였다.

레이저 조사 에너지양에 따른 내산성의 변화는 대개 치아경조직내 칼슘이나 인 등 무기물의 용출량을 측정하여 연구하였으며, Tagomori와 Morioka³³⁾는 레이저 조사후 APF를 도포한 경우가 APF를 도포한 후 레이저 조사한 경우에 비하여 칼슘과 인의 용출량이 적어 내산성이 높았으며, NaF는 APF보다는 내산성이 좋지 않다고 하였다. Fox 등⁵⁶⁾은 130J/cm² 에너지로 탄산가스 레이저 조사시 산처리를 하여도 비조사군에 비

하여 치아내 무기물(칼슘과 인)의 용출량이 가장 적었다고 하였다. Bahar와 Tagomori⁵⁷⁾는 치면소와와 열구법랑질에서 레이저 조사후 APF를 도포한 경우가 APF만 도포한 경우에 비하여 칼슘과 인의 용출량이 30% 정도 적었으며, 불소의 함량은 많았다고 하였다. Sognaes와 Stern⁵⁸⁾은 10-15J/cm²의 Nd:YAG 레이저 조사시 칼슘의 용출량이 적어 내산성이 우수하였다고 하였고, Yamamoto와 Ooya²⁶⁾는 10-20J/cm²의 에너지에서 내산성을 보인다고 하였으며, Morioka 등⁵⁹⁾은 탄산가스 레이저를 이용한 결과 34J/cm² 이상에서 내산성이 증가되었으나 에너지 밀도가 높을수록 치면에 손상을 가할 수 있다고 하였다. 이³⁰⁾는 초기 인공우식병소에 30J/cm² 이상의 탄산가스 레이저 조사시 내산성이 증가하였으며 40J/cm²과 50J/cm²에서 치아우식증 예방에 효과적이었다고 하였고, 모와 양³²⁾은 40J/cm²과 50J/cm²의 pulsed Nd:YAG 레이저 조사후 APF 도포시 칼슘의 용출량이 가장 적어 치아우식증 예방에 효과적이었다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 30J/cm² 이상의 에너지를 조사하지 않아 타 연구와 비교하기 어려우나 모든 불화물 도포군에서 10J/cm²의 에너지에서도 대조군에 비해 내산성을 보였으며, APF군을 제외한 모든 군에서 20J/cm²의 레이저 조사가 가장 우수한 내산성을 보였다. 그리고 APF군은 30J/cm²에서 가장 큰 내산성을 나타내었다. 이러한 결과는 Tagomori와 Morioka³³⁾, Sognaes와 Stern⁵⁸⁾, Yamamoto와 Ooya²⁶⁾의 보고와 유사한 소견을 보이고 있다.

불소도포후 법랑질 내 불소농도에 대한 연구에서 Mellberg³⁸⁾, Mellberg와 Chomiccki³⁹⁾는 법랑질 표면에 해당하는 첫번째 부식층보다 인공우식 병소의 직하부 탈회층에 해당하는 세번째 또는 네번째 부식층에서 불소함량이 증가하였다고 하였고, 이와 홍³⁴⁾은 법랑질 깊이가 증가할수록 불소농도가 감소한다고 하였다. 본 연구에서는 첫번째 부식층의 불소농도가 가장 높았으며 법랑질 깊이가 증가할수록 불소농도가 감소하여 이와 홍³⁴⁾의 연구결과와 유사하였으나 Mellberg³⁸⁾, Mellberg와 Chomiccki³⁹⁾의 연구결과와는 상

이하였다. 이러한 결과는 Mellberg³⁸⁾, Mellberg와 Chomicki³⁹⁾의 연구방법과는 달리, 본 연구에서는 레이저를 조사하고, 고농도의 불화물을 사용하였으며, 불화물 도포 시간도 10분으로서, 먼저 레이저의 작용으로 법랑질 표면구조가 변하여 불소침착이 활발하게 되었고, 표면 직하부 탈회층으로의 통로 폐쇄로 인해 불소이동이 제한되어 법랑질 표면층의 불소함량이 높은 것으로 생각된다.

불화물을 먼저 도포한후 레이저를 조사한 경우 Goldman과 Kaufman²⁴⁾, Boehm 등⁶⁰⁾, 민과 손³¹⁾ 등이 레이저 조사 에너지 증가에 따라 법랑질 표면의 불소농도가 증가되었다고 보고하였다. 본 연구에서도 레이저 조사 에너지가 10J/cm²에서 30J/cm²로 증가할수록 법랑질 표면의 불소농도가 증가하여 선학들의 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 레이저 조사가 법랑질 표면의 불소침착을 증가시키는 것은 레이저의 열작용으로 불소의 용해도를 증가시키고^{24,31,60)}, 법랑질의 수분, 탄산염 및 무기물을 감소시키면서 표면에 미세공간을 생성하여⁶¹⁾ 이 미세공간에 불소가 많이 침착되기 때문인 것으로 생각된다.

레이저 조사시 법랑질 표면의 균열에 대해 Kantola¹⁸⁾는 조사 에너지가 20J/cm²이상일 때 균열이 발생한다고 하였고, Tomita⁴⁹⁾은 이산화탄소 레이저를 15J/cm²이상의 에너지로 조사할 때 역시 법랑질 표면에 균열이 나타난다고 하였으며, Tagomori와 Morioka³³⁾는 pulsed Nd:YAG를 30J/cm²이상으로 조사할 경우에 법랑질 표면의 최초 5 μ m 내에서 융합과 미세한 균열이 일어난다고 하였다. 그러나 Stern 등¹²⁾, 모와 양³²⁾, 민과 손³¹⁾, 이³⁰⁾는 40J/cm²이상의 에너지에서 치면의 균열과 파괴를 관찰하였다고 하였다. 본 연구에서는 20J/cm²에서 부터 균열을 관찰할 수 있어 Kantola¹⁸⁾, Tomita⁴⁹⁾, Tagomori와 Morioka³³⁾의 연구결과와 일치하였으나, Stern 등¹²⁾, 모와 양³²⁾, 민과 손³¹⁾, 이³⁰⁾의 연구결과와는 차이를 보였다. 이러한 차이는 사용한 레이저의 종류, 출력, 조사 여건이나 처리하는 방법 때문인 것으로 생각된다.

법랑질 표면의 주사전자현미경 연구에서 NaF

군은 10J/cm²의 에너지 조사시 표면에 많은 입자들이 부착되어 있고, 에너지가 20J/cm²으로 갈수록 표면에 CaF₂로 추정되는 결정성으로 일체화된 구조를 관찰할 수 있으며⁵⁰⁾ 30J/cm²의 에너지 조사시에는 법랑질에 균열이 보이며, 불규칙하고 거친면에 입자가 산재되어 있었다. 이것은 레이저 조사 에너지가 증가함에 따라 표면의 파괴가 심해진 때문인 것으로 생각된다. NH₄F군에서 10J/cm²의 에너지로 레이저를 조사한 법랑질 표면이 함몰과 함께 구형의 입자들이 침착되어 있었는데 이 입자는 Caslavská 등⁶²⁾이 주장한 바와 같이 NH₄⁺의 영향으로 치면에 CaF₂와 유사한 물질이 형성된 것으로 추정된다. APF gel군은 10J/cm²의 에너지로 조사한 법랑질 표면에 작은 입자들이 산재되어 있으며 20J/cm²에서 부터 표면과 입자의 부착이 관찰되며 30J/cm²에서는 법랑질 표면의 균열과 함께 결정화된 표면변화가 관찰되는데 이는 레이저 조사효과와 APF의 산성조건⁵⁵⁾이 같이 작용한 것으로 생각된다. TiF₄ 처리군은 10J/cm²의 에너지를 조사한 법랑질 표면에서 피막형성과 함께 불규칙한 입자들이 뭉쳐 덩어리를 이루고 있는 양상이 관찰되는데 이러한 피막은 Ti, F, P 등으로 구성되어 있을 것으로 생각된다.^{53,54)} Elmex gel군은 20J/cm²의 에너지를 조사한 법랑질 표면이 산부식된 양상을 보이거나 이것은 다른 불화물 처리군과 비교하여 불 때 레이저 조사 때문이라기 보다는 amine fluoride에 의한 효과가 더 많이 작용한 것으로 생각된다.

초기 치아우식증 병소에 대한 다양한 예방법 중에서 법랑질의 내산성을 증가시킨다는 레이저 조사와 수종의 불화물을 병용하여 시행한 본 연구에서는 치아의 고유형태를 크게 손상시키지 않으면서 우수한 치아우식 예방효과를 얻기 위해서는 치과용 pulsed Nd:YAG 레이저의 경우 20J/cm²이하의 에너지로 조사하여야 할 것이며, 불화물은 중성보다는 산성의 조건을 가진 APF가 가장 우수한 효과를 보이는 것으로 생각된다. 레이저 조사와 불화물 도포를 이용한 치아우식증 예방시술시에는 구강내 타액, 온도, 섭취하는 음식물의 성상 등과 같은 인자가 결과에 영향을

미칠 수 있으므로 이와 같은 조건에 더욱 가까운 상태에서 연구가 수행되어야 할 것이며, 보다 다양한 레이저와 불화물을 이용한 연구가 앞으로 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

Pulsed Nd:YAG 레이저 조사와 불화물 국소 도포의 병용시, 초기 법랑질 우식병소의 재석회화 정도를 비교 분석하여 치아우식 예방효과를 증진시키는 가장 적절한 불화물과 레이저 조사 조건을 결정하기 위해, pulsed Nd:YAG 레이저 조사후 불화물의 국소도포를 시행하여 법랑질내의 인과 불소의 농도를 측정하고, 주사전자현미경으로 법랑질 표면변화를 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 법랑질내 인 농도는 $10\text{J}/\text{cm}^2$ 와 $30\text{J}/\text{cm}^2$ 의 에너지에서 Elmex gel을 사용한 경우를 제외하고 모든 군이 대조군에 비하여 낮았다. 이 중 $30\text{J}/\text{cm}^2$ 의 에너지를 조사한 APF gel군이 가장 낮은 인 농도를 보였다.
2. 법랑질내 불소농도는 $30\text{J}/\text{cm}^2$ 의 에너지로 조사한 APF gel군과 NaF군이 가장 높았으며, 각각의 에너지 밀도상에서 APF gel군이 가장 높았다.
3. APF gel군과 NaF군은 레이저의 에너지 밀도가 증가할수록 법랑질내 불소농도가 증가하였다.
4. 법랑질내 불소농도는 모든 군에서 법랑질 깊이가 깊어질수록 감소하는 경향을 보였다.
5. 주사전자현미경상에서 $20\text{J}/\text{cm}^2$ 의 에너지 조사시부터 법랑질의 균열이 나타나기 시작하였다. NH_4F 군은 법랑질 표면에 구상의 입자들이 침착되어 있으며, TiF_4 군은 얇은 피막이 형성되고, 불규칙하게 입자들이 뭉쳐져 있었다. APF gel군과 NaF군은 $10\text{J}/\text{cm}^2$ 의 에너지 조사시 구형과 불규칙한 모양의 입자들이 침착되었으나 $20\text{J}/\text{cm}^2$ 의 에너지 조사시에는 무정형의 결정구조가 관찰되었다.

이상의 결과로 보아 pulsed Nd:YAG 레이저 조사시 총 에너지 밀도를 $20\text{J}/\text{cm}^2$ 이하로 하여 APF gel을 사용하는 경우 치질에 손상없이 우수한 치아우식 예방효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Einstein, A. : Verk Deutsch Phys. Ges. 18:318, 1916. cited from Stern, R.H. and Sognnaes, R.F. : Laser beam effect on dental hard tissues. J. Dent. Res., 43:873, 1964.
2. Maiman, T.H. : Stimulated optical radiation in ruby. Nature 187:493, 1960.
3. 이상수(Caroll, J.M. 원저) : 레이저 이야기, 전파과학사, 현대과학신서 No. 56, pp. 55-106, 1976.
4. 오명, 강문호 : 레이저 응용. 청문각, pp. 67-85, 1984.
5. 김재호, 허원 : 안과영역에서의 레이저광의 응용. 대한의학협회지 27:103-112, 1984.
6. Goldman, L., Hornby, P., Meyer, R., and Goldman, B. : Impact of the laser on dental caries. Nature 203:417, 1964.
7. Gordon, T.E. : Some effects of laser impacts on extracted teeth. J. Dent. Res. 45:372-375, 1966.
8. Kinersly, T., Jarabak, J.P., Phatak, N.M. and DeMent, J. : Laser and teeth. New York Dent. J., 32:56-58, 1966.
9. Brune, D. : Interaction of pulsed carbon dioxide laser beams with teeth in vitro. Scand. J. Dent. Res., 88:301-305, 1980.
10. Scheinin, A., and Kantola, S. : Laser-induced effects on teeth structure. I. Crater production with a CO_2 laser, Acta Odont. Scand., 27:173-179, 1969.
11. Lobene, R.R., and Fine, S., : Interaction of laser radiation with oral hard tissue. J. Protho. Dent., 16:586-597, 1966.
12. Stern, R.H., Vahl, J. and Sognnaes, R.F. : Lased enamel : Ultrastructural observations of pulsed carbon dioxide laser effects. J. Dent. Res., 51:455-460, 1972.
13. Adrian, J.C., Bernier, J.L. and Sprague, W.G. : Laser and the dental pulp, J. Am. Dent. Assoc., 83:113-117, 1971.
14. Boehm, R., et al : Temperatures in human teeth due to laser heating. ASME, 75-WA/Bio-8, 1975.

15. Kato, K. and Nagasawa, A. : Basic study on change of temperature of a tooth after CO₂ laser irradiation. *J. Jap. Soc. Laser Med.*, 1:294-299, 1980.
16. Stern, R.H. and Sognnaes, R.F. : Laser effect on dental hard tissue. *J. S. Calif. Dent. Assoc.*, 33:17-19, 1965.
17. Stern, R.J. and Sognnaes, R.F. : Laser effect on in vitro enamel permeability and solubility, *J. Am. Dent. Assoc.* 73:838-848, 1966.
18. Kantola, S. : Laser-induced effects on tooth structure, V. Electron probe microanalysis and polarized light microscopy of dental enamel. *Acta Odont. Scand.* 30:475-484, 1972.
19. Kantola, S., Laine, E. and Tarna, T. : Laser induced effects on tooth structure. *Acta Odont. Scand.*, 31:369-379, 1973.
20. Stern R.H., Eastgate, H., Moutner, W.L. and Morgan, C. : The Laser in dentistry : Potential clinical applications. *Optics and laser technology*, pp. 22-24, 1975.
21. Nammour, S., Renneboog-Squilbin, C. and Nyssen-Behets, C. : Increased resistance to artificial caries-like lesions in dentin treated with CO₂ laser. *Caries Res.*, 26:170-175, 1992.
22. Nelson, D.G.A., Wefel, J.S., Jongeblood, W.L., and Fetherstone, J.D.B. : Morphology, histology and crystallography of human dental enamel treated with pulsed low-energy infrared laser radiation. *Caries Res.*, 21:411-426, 1987.
23. Fox, J.L., Yu, D., Otsuka, M., Higuchi, W.I., Wong, J. and Powell, G.L. : Initial dissolution rate studies on dental enamel after CO₂ laser irradiation. *J. Dent. Res.*, 71:1389-1398, 1992.
24. Goodman, B.D. and Kaufman, J.W. : Effects of an argon laser on the crystalline properties and rate of dissolution in acid of teeth enamel in presence of sodium fluoride, *J. Dent. Res.*, 56:120-127, 1977.
25. Oho, T. and Morioka, T. : Argon laser irradiation increases the acid resistance of human enamel. *J. Dent. Health*, 37:283-288, 1987.
26. Yamamoto, H. and Ooya, K. : Potential of Yttrium-aluminum-garnet laser in caries prevention. *J. Oral Path.*, 3:7-15, 1974.
27. Yamamoto, H. and Sato, K. : Prevention of dental caries by acousto-optically Q-switched Nd-YAG laser irradiation. *J. Dent. Res.* 59:137, 1980.
28. White, A.M., Fagan, M.C. and Goodies, H.E. : Intrapulpal temperatures during pulsed Nd:YAG laser treatment of dentin. *In Vitro. J. Periodont.*, 65:255-259, 1994.
29. 김순주, 이종갑 : 탄산가스레이저 조사가 법랑질의 내산성 변화에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 12:9-20, 1985.
30. 이상호 : 레이저 조사의 치아우식 억제효과에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 18:1-19, 1991.
31. 민신흥, 손동수 : Neodymium : Yttrium-Aluminium-Garnet(Nd : YAG) 레이저 조사가 불화석 국소도포에 미치는 효과에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 13:109-117, 1986.
32. 모현철, 양규호 : Nd-YAG 레이저 조사와 불소도포가 법랑질의 내산성 변화에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한소아치과학회지*, 19:141-150, 1992.
33. Tagomori, S., and Morioka, T. : Combined effects of laser and fluoride on acid resistance of human dental enamel. *Caries Res.*, 23: 225-231, 1989.
34. 이상대, 홍석진 : 국소도포된 불화물의 효과에 관한 X-선 광전자 분석기 및 주사전자현미경적 연구. *대한구강보건의학회지*. 15:217-233, 1991.
35. 박준상, 김기석 ; 레이저 치의학, *덴탈기획*. pp. 5-19, 1995.
36. Pulsed Nd:YAG laser system operator manual. *SunLase Master*. Sunrise Technologies., 1995.
37. McCann, H.G. : The effect of fluoride complex formation on fluoride uptake and retention in human enamel. *Arch. Oral Biol.*, 14:521-531, 1969.
38. Mellberg, J.R. : Penetration of fluoride from sodium monofluoro-phosphate into artificially produced incipient enamel lesions. *Caries Res.*, 14:115-120, 1980.
39. Mellberg, J.R. and Chomicki, W.G. : Effect of soluble calcium on fluoride uptake by enamel from sodium monofluorophosphate. *J. Dent. Res.*, 61:1394-1396, 1982.
40. Uchtmann, H. and Duschner, H. : Electron spectroscopic studies of interactions between superficially applied fluorides and surface enamel. *J. Dent. Res.*, 61:423-428, 1982.
41. Dijkman, A.G. and Arends, J. : Thickness of enamel layers removed by HClO₄ etching. *Caries Res.*, 16: 129-137, 1982.
42. Mellberg, J.R., Ripa, L.W., Leske, G.S., Sanchez, M. and Polanski, R. : The relationship between dental

- caries and tooth enamel fluoride. *Caries Res.*, 19: 385-389, 1985.
43. Goldman, H.J. : OPC method, *Anal. Biochem*, 18:521, 1967
 44. Goldman, L., and Blanney, D.J. : The biomedical aspects of laser. *J. Am. Med. Assoc.* 18:302, 1964.
 45. Varner, R.E., Jarabak, J.P., Phatak, N.M., and Kinnersly, T. : Effect of different colored stains on laser microbeam impact sites on tooth enamel, *J. Dent. Res.*, 46:756, 1967.
 46. Goldman, L., Goldman, B. and Lidu, N.V. : Current laser dentistry. *Laser Surg. Med.*, 6:559-562, 1987.
 47. Grossman, L.I., Oliet, S. and Del Rio, C.E. : *Endodontic Practice*. 11th edition., Lea and Febiger, London, pp 59, 1988.
 48. Borggreven, J.M.P.M., Van Duk, J.W.E. and DRiesens, F.C.M. : Effect of laser irradiation on the permeability of bovine dental enamel. *Arch. Oral Biol.*, 25:831-832, 1980.
 49. Tomita, F. : Chemical state change in human tooth enamel by low energy laser exposure. *Dent. Oral Surg.*, 12:17-20, 1984.
 50. Wei, S.H.Y. : Clinical use of fluorides. Lea and Febiger, London, pp. 25-34, 1985.
 51. Caslavaska, V., Bruevold, F., Vrbic, V. and Moreno, E.C. : Response of human enamel to topical application of ammonium fluoride. *Arch. Oral Biol.*, 16:1173-1180, 1971.
 52. Cron, P. and Caslavaska, V. : Fluoride deposition in enamel from application of sodium, potassium, or ammonium fluoride. *Caries Res.*, 15:459-467, 1981.
 53. Skartveit, L., Tveit, A.B., Klinge, B., Totdal, B. and Selvig, K.A.L. : In vivo uptake and retention of fluoride after a brief application of TiF_4 to dentin. *Acta Odontol. Scand.*, 47:65, 1989.
 54. Wei, S.H.Y., Sooroff, D.M. and Wefel, J.S. : Effects of titanium fluoride on human enamel. *J. Dent. Res.*, 55:426-431, 1976.
 55. Chow, L.C. and Brown, W.E. : Formation of $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ in tooth enamel as an intermediate product in topical fluoride treatment. *J. Dent. Res.*, 54:65-76, 1975.
 56. Fox, J.L., Yu, D., Otsuka, M., Higuchi, W.I., Wong, J. and Powell, G. : Combined effects of laser irradiation and chemical inhibitors on the dissolution of dental enamel. *Caries Res.*, 26:333-339, 1992.
 57. Bahar, A. and Tagomori, S. : The effect of normal pulsed Nd:YAG laser irradiation on pits and fissures in human teeth. *Caries Res.*, 28:460-467, 1994.
 58. Sognnaes, R.F. and Stern, R.H. : Laser inhibition of dental caries suggested by first tests in vivo. *J. Am. Dent. Assoc.* 85:1087-1090, 1972.
 59. Morioka, T., Morita, E., and Suzuki, K. : An increment of acid-resistance of dental enamel with the irradiation of various types of laser beam(1st report). *J. Jap. Soc. Laser Med.*, 3:605-612, 1982.
 60. Boehm, R., Baechler, T., Webster, J. and Janke, S. : Laser processes in preventive dentistry. *Opt. Eng.*, 16:493-496, 1977.
 61. Morioka, T., Morita, E., and Suzuki, K. : An increment of acid-resistance of dental enamel with the irradiation of various types of laser beam(1st report). *J. Jap. Soc. Laser Med.*, 3:605-612, 1982.
 62. Caslavaska, V., Moreno, E.C., and Brudevold, F. : Determination of the calcium fluoride formed from in vitro exposure of human enamel to fluoride solutions. *Arch. Oral Biol.*, 20:333-339, 1975.

ABSTRACT

Effects of Pulsed Nd:YAG Laser Irradiation and Fluoride Compound Application on Acid Resistance of Bovine Teeth

An-Hee Lee, D.D.S., M.S.D., **Woo-Cheon Kee**, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Oral Medicine, College of Dentistry, Chonnam National University

This study was designed to determine the most effective concentration of fluoride and levels of laser irradiation for the remineralization of decayed teeth. After irradiation with a pulsed Nd:YAG laser and the topical application of fluoride, phosphate and fluoride concentration in enamel were measured. And then the changes on surface enamel using an scanning electron microscope were observed.

Samples by extracting healthy, permanent, mandibular bovine teeth with no caries were obtained. Among them 371 healthy samples were selected and artificial carious lesions were made. 20 samples were assigned to each experimental group.

After irradiations with a pulsed Nd:YAG laser with total energy densities of $10\text{J}/\text{cm}^2$, $20\text{J}/\text{cm}^2$ and $30\text{J}/\text{cm}^2$ for each group. On the teeth, 2% NaF, 1.9% NH_4F , 1.6% TiF_4 , Elmex gel(amine fluoride) and 1.23% APF gel were applied. After pH circulatory procedures, concentrations of fluoride with an Ionalyzer (Orion Research, Model 901, U.S.A.) and phosphates with a UV/Vis spectrophotometer (Uvikon 860, Kontron Co., Switzerland) were measured. By etching the teeth in layers and measuring fluoride concentrations, a profile of fluoride penetration according to depth could be developed. And also the changes on the surface of the enamel using an electron scanning microscope were observed.

The comparative analysis yielded the following results ;

1. Phosphate concentration was low in all groups compared with the control group except for teeth treated Elmex gel, irradiated with $10\text{J}/\text{cm}^2$ and $30\text{J}/\text{cm}^2$ energy densities. Teeth treated with APF gel and $30\text{J}/\text{cm}^2$ irradiation had the lowest phosphate concentration.
2. Among all groups, fluoride concentrations in tooth enamel were highest in APF gel and NaF groups irradiated at $30\text{J}/\text{cm}^2$. The APF gel group had the highest fluoride concentrations across all energy densities.
3. In the APF gel group, and the NaF group, the greater the energy density of the laser, the higher the fluoride concentrations in the enamel.
4. In all groups, the concentration of fluoride in the enamel by depth tended to decrease with depth.
5. Under the scanning electron microscope, under the condition of irradiation with $20\text{J}/\text{cm}^2$, enamel crack was detected for the first time. In the NH_4F group, spherical deposits were found on the surface of the enamel, and in the TiF_4 group the surface of enamel was covered with an irregular, thin membranous mass in places. In the APF gel and NaF groups irradiated with $10\text{J}/\text{cm}^2$, spherical and irregular particles covered the teeth. When these groups were irradiated at $20\text{J}/\text{cm}^2$, they were covered with amorphous crystals.

These results suggest that one could obtain more effective anticariogenic effects without damage to teeth when less than $20\text{J}/\text{cm}^2$ energy densities and APF gel are used.

Explanation of Photographs

- Photo 1.** A scanning electron microscopic photograph of sound enamel surface untreated and unlased. ($\times 1,000$)
- Photo 2.** A scanning electron microscopic photograph of artificial carious enamel surface untreated and unlased. ($\times 1,000$)
- Photo 3.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $10\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with NaF. ($\times 3,500$)
- Photo 4.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $20\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with NaF. ($\times 1,000$)
- Photo 5.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $30\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with NaF. ($\times 1,000$)
- Photo 6.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $10\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with NH_4F . ($\times 3,500$)
- Photo 7.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $20\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with NH_4F . ($\times 1,000$)
- Photo 8.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $30\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with NH_4F . ($\times 1,000$)
- Photo 9.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $10\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with TiF_4 . ($\times 3,500$)
- Photo 10.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $20\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with TiF_4 . ($\times 1,000$)
- Photo 11.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $30\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with TiF_4 . ($\times 1,000$)
- Photo 12.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $10\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with Elmex gel. ($\times 1,000$)
- Photo 13.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $20\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with Elmex gel. ($\times 1,000$)
- Photo 14.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $30\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with Elmex gel. ($\times 1,000$)
- Photo 15.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $10\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with APF gel. ($\times 3,500$)
- Photo 16.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $20\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with APF gel. ($\times 1,000$)
- Photo 17.** A scanning electron microscopic photograph of enamel surface after laser irradiation of $30\text{J}/\text{cm}^2$ and treatment with APF gel. ($\times 1,000$)

논문사진부도①

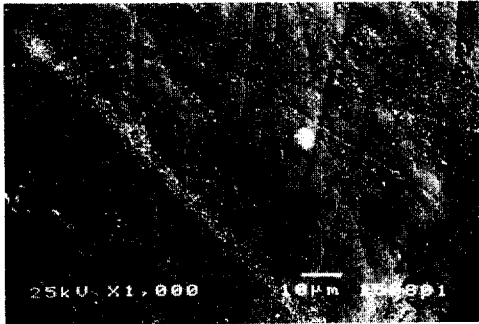


Photo 1



Photo 2

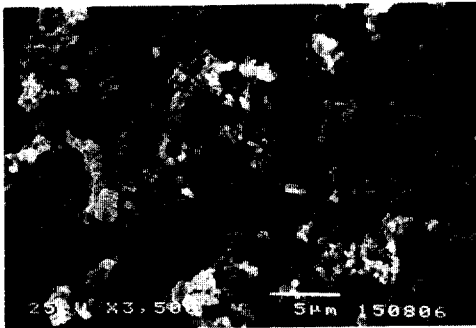


Photo 3



Photo 4

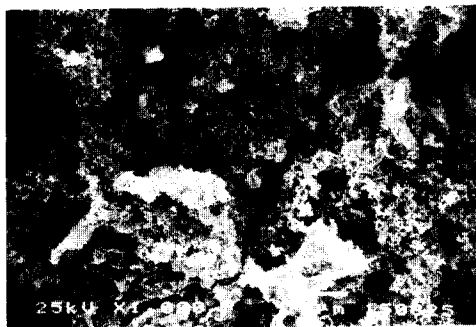


Photo 5

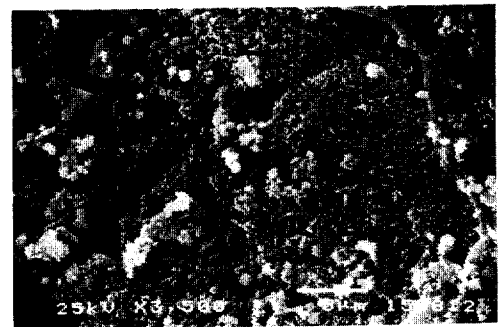


Photo 6

논문사진부도②

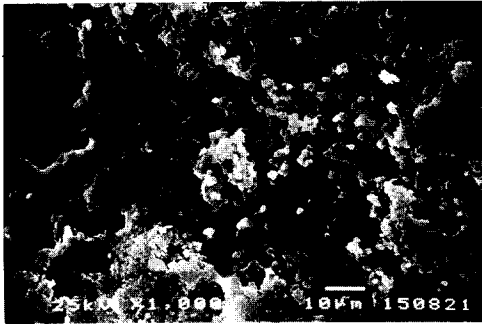


Photo 7

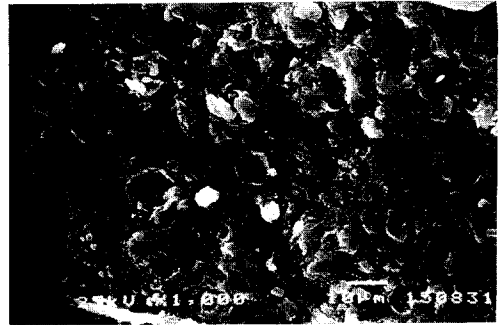


Photo 8



Photo 9

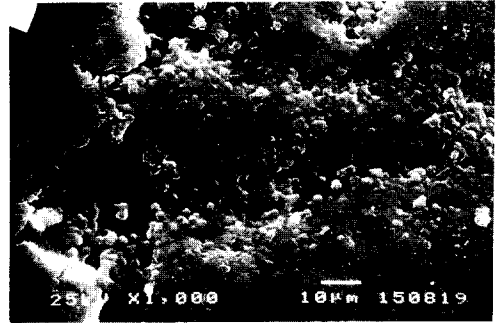


Photo 10



Photo 11

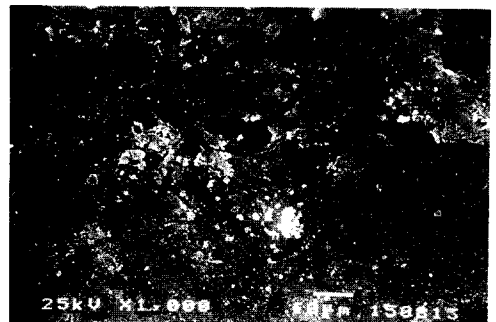


Photo 12

논문사진부도③



Photo 13

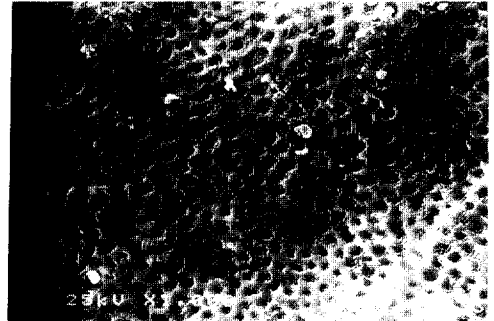


Photo 14

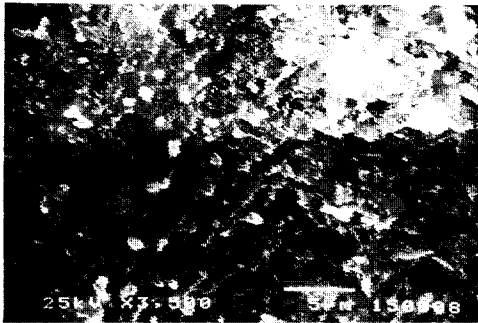


Photo 15



Photo 16

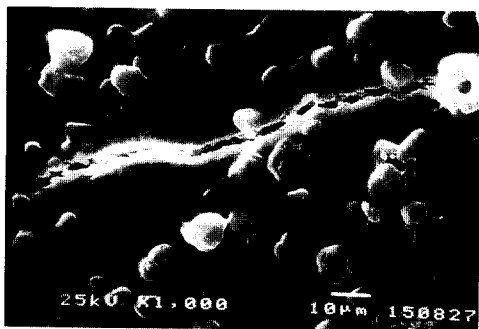


Photo 17