

CO₂ 레이저 광의 조사 조건에 따른 치아의 치수강내 온도 변화
Temperature change in pulp chamber of teeth by CO₂ laser irradiation

엄 효순, 신 상훈, 박 용환, 고 동섭, 김 응
연세 대학교 물리학과

Abstract

CO₂ laser beam was focused by a ZnSe lens onto the center of the occlusal surface of extracted lower molars. K-type thermocouple was contacted with the pulp chamber and the changes of temperature in the during and after the laser irradiation were measured as function of the power of laser beam, the time of laser irradiation and thickness of the sample. An empirical formula for temperature effect was derived from the measured data.

서 론

1963년 Ruby 레이저가 등장한 직후부터 이를 의료분야에 응용하고자 하는 시도가 시작되었다. 치의학 영역에서는 1964년에 Goldman이 발거치아에 대한 Ruby 레이저 조사 실험을 처음 실시하였고 1965년 Sognaes와 Stern이 치아의 에나멜질에 레이저를 조사하면 에나멜질의 내산성이 증가한다는 사실을 밝혀냄으로써, 충치예방에 응용 가능성이 알려져 근년에 이분야에 대한 연구가 활발히 이루어져서 기초적인 연구단계를 거쳐 부분적으로 임상 응용 단계에 들어가고 있다.

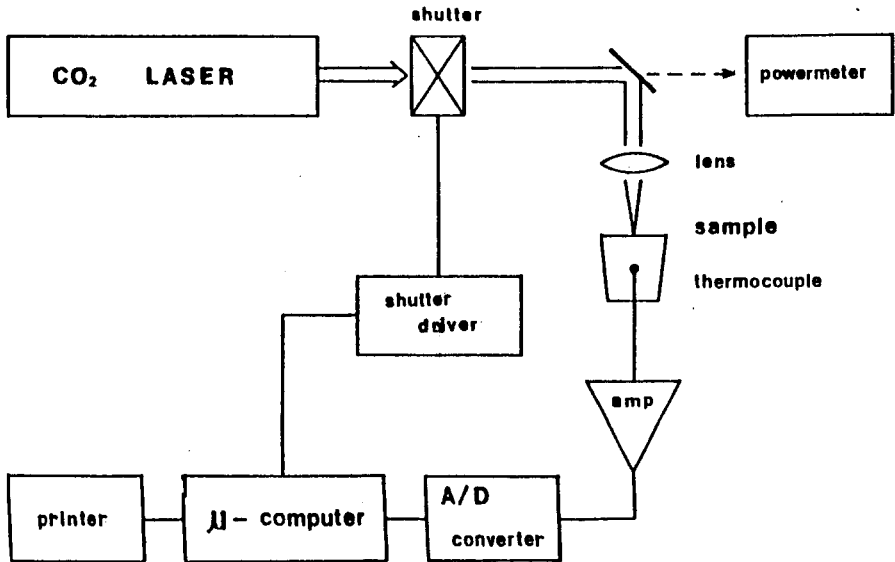
레이저를 치의학 보존치료에 응용하기 위해서는 여러가지 기초 연구, 장비개발, 실용화 연구가 수행되어야 할 것이다. 기초연구에서는 무엇보다도 레이저와 치아조직과의 상호작용에 대한 광범위하고 체계적인 연구가 선

행되어야 할 것이다. 손상된 치아의 어떤부분을 치료할 목적으로 레이저 빔이 치아에 조사되면 그 일부가 치아 표면에서 흡수되어 열에너지로 전환되고, 조사면 근처는 급속히 가열되어 용융, 비등하게 된다. 이 과정에서 열의 전도 현상에 의한 치아 각 부분의 온도 상승으로 인한 천하지 않는 조직의 변화가 발생할 우려가 있다. 따라서 레이저를 치과 치료에 실용화하기 위해서는 온도 상승을 제어할 수 있어야 한다. 그러므로 레이저와 치아와의 상호작용에서 가장 중요한 연구 과제는 레이저 조에 따른 치아 조직내의 온도 분포에 대한 연구라 할 수 있다. 본 연구에서는 레이저와 치아 조직과의 상호 작용에 대한 연구의 일환으로, CO₂ 레이저의 발진 파장인 10.6 μ m의 레이저 빔 조사시에 일어나는 치아의 온도 변화를 조사하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 70 W 급 cw CO₂ 레이저 발진 장치를 제작하고 레이저 빔을 조사시료에 전송하는 집속장치, 광속 monitor 장치, 조사시간 제어장치등을 제작하여 레이저 조사장치를 구성하였다. 그리고 레이저 조사시 일어나는 치아 내부의 온도변화를 시간적으로 추적하는 온도감지 system을 제작하였다. 제작, 구성한 레이저 조사장치 및 온도 추적 장치를 사용하여 여러가지 조사에너지, 조사시간에 대하여 발거치아의 치수강내 온도변화를 체계적으로 측정 분석하였다.

실 험

본 실험에 사용한 레이저 조사 장치 및 온도 측정 장치의 개략도는 그림 1과 같다. 열원으로 사용하기 위하여 70 W급 cw CO₂ 레이저를 제작하였다. 제작된 CO₂ 레이저의 beam diameter는 1 cm 이고 레이저 광을 좁은 영역에 집속시키기 위해서 10.6μm 파장에서 투과율이 좋은 ZnSe 렌즈를 사용하여 beam 을 집속시켰다. 집속된 beam size는 약 380μm 였다. 온도를 밀차적으로 검출하는 장치로서 K-type 열전쌍을 사용하였는데 열전쌍에 유도된 기전력은 단위 온도당 μV 정도이므로 증폭 회로를 설계 제작하였다. 또한 레이저 광의 조사시간을 1/5 - 2초 까지 변화시키면서 실험하기 위하여 solenoid shutter driver를 제작하였다. 실험을 위한 sample 로는 성별, 연령에 관계없이 치아 우식증이 없는 발거된 33개의 하악대구치를 치아에 부착된 이물질을 제거하고 치수강 기저부에 직경 4mm 정도의 구멍을 뚫고 치수조직을 제거한후 세척하여 준비하였다. 준비된 치아의 교합면과 치수강까지의 두께

를 재고 각각 K-type 열전쌍을 dentine과 밀착 고정하였다. 준비된 치아의 교합면 중앙이 렌즈 초점에 오도록 설치하고, 열전쌍을 증폭기 입력 단자에 연결한후 냉각수가 교합면에 까지 유출되는 것을 방지하면서 치근에 24°C 물을 계속해서 흘려주어 치근이 항온조에 부착된 효과를 부여했다. CO₂ 레이저를 발진시켜 ZnSe 렌즈로 beam 을 집속시킨 후 powermeter 로 출력을 측정하면서 설정한 값이 되도록 방전 전류를 조절한다. 치아가 열평형이 이루어질때까지 기다렸다가 컴퓨터를 통해 shutter driver 로 시작 신호를 발생 시키면 shutter 가 열리게 된다. 이때 부터 일정 시간 간격마다 ADC 를 통해 증폭기의 출력값 즉 온도값이 컴퓨터에 저장된다. 선택한 조사 시간이 종료됐을 때 shutter는 닫히고 온도측정은 계속된다. 본 실험에서는 총 측정 시간을 70 초와 125 초로 하였으며 총 측정 data 수는 768개가 되므로 약 0.09 및 0.16초 마다 온도를 읽게된다.



< 그림 1 > 레이저 조사 및 온도 측정 장치의 개략도

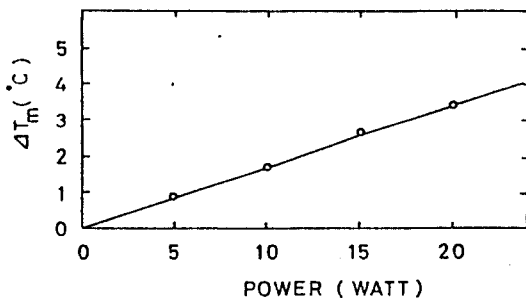
실험 결과 및 고찰

본 실험은 CO₂ 레이저 광을 치아의 교합면 중앙에 조사한 후 치수강의 온도 변화를 조사, 분석하였다. 먼저 열확산 방정식 해법 결과와 같이 치수강의 최대 상승 온도 폭의 크기가 레이저 광의 출력에 선형적으로 비례하는가를 확인하기 위하여 레이저 출력을 5W로부터 20W까지 변화시키면서 최대 상승 온도 (ΔT_m)를 측정하였다. 측정에 사용한 치아의 두께는 3.8 mm, 조사 시간은 1초로 하였다. 본 실험 결과 그림 2와 같이 레이저 출력에 따라 상승 온도 값이 선형적으로 비례한다고 볼 수 있다. 20W, 1초 조사에 대해 본 실험에서는 약 3.5°C 상승했으며, Kato는 같은 조건에서 약 3.25°C 상승했다고 보고 한 바 있어 유사한 결과가 나타났다. 이상의 결과를 바탕으로 비교적 온도 변화가 큰 20W로 레이저 출력을 고정하고 조사 시간에 따른 온도 분포를 측정하였으며, 그림 3과 같은 결과를 얻었다. 본 실험에서는 두께 4.4mm 치아를 사용하여 온도를 측정하였는데 20W, 0.3초 조사에 2°C, 0.6 초 조사에 4°C, 1.1 초 조사에 6°C, 2 초 조사에 10°C 상승했고 조사 시간과 ΔT_m 이 선형적으로 비례하는 것으로 관측하였으며 두께에 따라 비례상수가 다르며, 두꺼울수록 그 값이 작음을 알 수 있었다. 출력과 조사 시간이 동일한 경우에 치아의 두께와 ΔT_m 사이의 관계를 다각도로 조사한 결과 그림 4에서 보는 바와같이 온도상승 시작점은 두께가 4.0 mm일 때 약 5.5초, 4.5mm일 때 약 6초이며, ΔT_m 에 도달하는 시간은 4.0mm가 13초, 4.3mm일 때 약 18초, 4.5mm일 때 약 19초로서 두께가 증가함에 따라 시간 지연이 길어지는 것을 알 수 있었다.

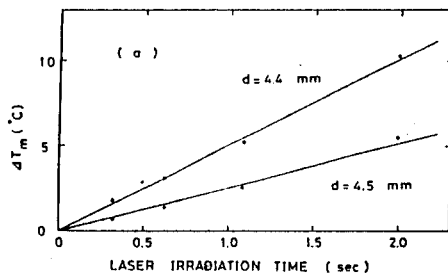
본 실험의 결과를 종합하면 그림 5에서 알 수 있듯이 ΔT_m 은 레이저 광의 출력과 조사 시간에 비례하고 두께에 대해서는 지수적으로 감소하게 된다. 따라서 ΔT_m 에 대해서 다음과 같은 실험식을 세울 수 있다.

$$\Delta T_m = \alpha P \Delta \tau \exp(-\beta d)$$

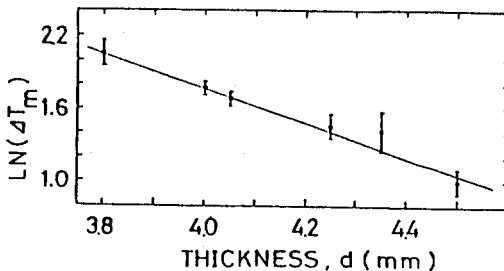
여기서 P는 조사 빔의 power(W), $\Delta \tau$ 는 조사시간(sec), d는 치아의 두께(mm)이고 α , β 는 상수이다. 본 실험 조건에서는 $\alpha = 90$ (K/W.S), $\beta = 1.5$ (mm)로 정해졌다.



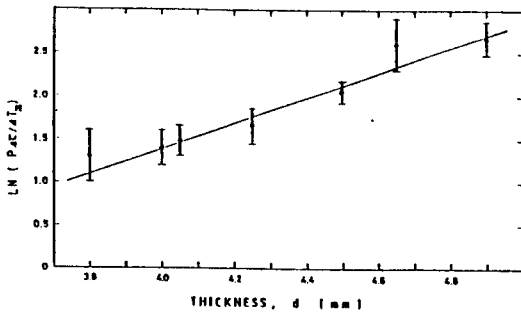
< 그림 2 > CO₂ 레이저 광 출력에 따른 ΔT_m 값



< 그림 3 > 레이저 광 조사 시간에 따른 온도 분포 곡선



< 그림 4 > 치아두께에 따른 ΔT_m 의 시간에 대한 변화



< 그림 5 > 치아두께에 따른 $\ln\left(\frac{P \Delta T}{dT_m}\right)$ 의 값

결 론

레이저를 치아 보존 치료에 응용하기 위해서는 치수강의 온도 상승을 허용 온도 범위내에 제한하여 레이저 조사에 의한 치아조직의 파괴를 극소화 하여야 한다. 따라서 치아조직의 레이저 흡수에 의한 온도상승 효과에 대한 기초적인 실험과 레이저 조사에서 오는 치아조직의 변화에 대한 기초적인 data가 필요하게 된다. 본 연구에서는 10.6μm 의 레이저 광을 사용하여 레이저 조사에 따른 치수강에서의 온도 상승을 여러가지 조사 조건에 대하여 실험적으로 측정하여 실험식을 얻었다. 이 실험식은 레이저 조사에 의한 온도 상승효과를 추정하는데 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. L. Goldman et al., Effect of laser impact on teeth, JADA 70, 601 (1965).
2. M.L. Wolbarsht, Laser application and biology, Volume 1 (Plenum Press, New York - London, 1971) pp. 97-124.
3. M.L. Wolbarsht, Laser application and biology, Volume 2 (Plenum Press, New York - London, 1974) pp. 361-388.
4. R. F. Sognaes and R.H. Stern, J.S.C.S.D.A. 33, 328 (1965).
5. M. Braden, Phys. Technol. 16, 59 (1985).

6. H. S. Carslaw and J. C. Jaeger, Conduction of Heat in Solids, 2nd ed. (Oxford Univ. Press, Oxford, 1958).
7. I.S. Sokolnikoff and R.M. Redheffer, Mathematics of Physics and Modern Engineering, (McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, 1958).
8. K. Kato and A. Nagasawa, The Journal of Japan Society for Laser Medicine 1, 294 (1980).