

## Sterilization Effect by the Nd:YAG Laser pulse

Kyeonghwan Jeong<sup>1</sup>, Dongkyung Jung<sup>1</sup>, Jeongkyu Park<sup>1</sup>, Hyeonwoo Choi<sup>2</sup>, Jeongmin Seo<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Radiological Science, Daegu Health College

<sup>2</sup>Department Biomedical Engineering, Kyungpook National University

<sup>3</sup>Department of Radiological Science, Catholic University of Pusan

Received: September 21, 2020. Revised: October 27, 2020. Accepted: October 31, 2020

### ABSTRACT

The use of medical devices is increasing due to the development of medical technology. Among medical devices, it is often used in the human body for graft and treatment. Therefore, in medical institutions, various sterilization methods according to the type and material of medical devices are applied to prevent infection. Hydrophosphite (HA) materials are the most popular in bone grafts. We would like to present a sterilization method using Q-switch Nd:YAG laser with high output energy among non-ionizing radiation suitable for small medical devices. In this study, sterilization power was most ideally shown at UV wavelengths of 1.5 W, 266 nm, and 10 pulses. Different wavelength bands; infrared and visible light; showed passive sterilization, and ultraviolet A and C showed differences in sterilization according to the pulse. In laser sterilization were differences that found according to the wavelength bands and pulses.

Keyword: Sterilization, Nd:YAG Laser, Non-Radiation

### I . INTRODUCTION

최근 환자 진료 안정성에 알맞은 검사와 치료법들이 개발됨에 따라 의료 환경이 크게 변화하고 있다.<sup>[1]</sup> 이러한 변화에 가장 중점적으로 여겨지는 것은 최소 침습 및 환자 개인 맞춤형 임플란트 치료법들이 허가받아 적용 중이다. 최근 골육종 환자에게 3D 프린팅 된 엉덩이뼈 맞춤형 임플란트를 이식하였다. 그래서 3D 프린팅에 의한 의료기기의 안전관리 방안 마련 연구를 시행하였다.<sup>[2]</sup> 새로운 의료기술 때문에 환자의 치료 및 생존율이 증가하고 있다. 하지만 의료기기의 사용증가로 인해 병원감염 우려도 커지고 있다.<sup>[3]</sup> 최근 의료기기는 맞춤형 제작에 따라 구조적 복잡성과 다양한 형태로 존재한다. 그래서 여러 멸균법이 존재하며, 각각의 장단점이 있다.<sup>[4]</sup>

의료멸균법은 Table 1과 같이 다양하게 존재한

다. 고압증기멸균법이 대표적이며, 의료기기 멸균에 광범위하게 적용되고, 일차적 멸균법으로 의료분야에서 사용된다. 또한 독성이 없고 사용법이 간편하며 경제적이다. 하지만, 열에 민감한 의료기기와 습열의 침투가 어려운 의료기기는 멸균력이 현저히 떨어진다.<sup>[5,6]</sup> 그러므로, 국제표준화기구(ISO; International Organization for Standardization)에서 의료기기 방사선 멸균 선량을 권고하고 있다.<sup>[7]</sup> 감마선 멸균법은 다량 및 다양한 의료기기를 멸균할 수 있다. 하지만, 고 흡수선량(25 kGy)을 조사하기 때문에 방사선사고 방지를 위해 일반적인 시설 및 구조는 불가능하다. 이 때문에 특수한 건축구조물로 이루어져야 한다. 그러므로 감마선은 안전하게 설치된 장소 및 전문 피교육자만 방사선을 조사할 수 있다. 의료기기 품목별 선량이 설정되어 있지만, 의료에서 주목받고 있는 수산화인회석에 관한 흡수선량 수치 제시가 없으며, 환자 맞춤형 뼈 대체

물 임플란트 제작 시 멸균을 위해 방사선 시설 설치하는 사고의 위험성 때문에 어려움이 있다.

Table 1. Comparison of various sterilization methods.

Type	Method	Advantages	Disadvantages
Physical	Radiation	Perfect sterilization	Highest energy
	Autoclave	No chemical residue	High Tem. (121~134°C)
	Laser	High density energy	Low beam size
Chemical	Ethylene oxide	Low Tem. (37~61°C)	Toxicity
	Plasma	Low Tem. (max 50°C)	No use linen, paper

의료기기의 소형화 및 소량화로 알맞은 멸균법이 개발되어야 하며, 최근 레이저를 이용한 멸균 가능성이 보고되고 있다. 다이오드 레이저로 자외선 파장으로 박테리아와 바이러스 멸균에 가능한 보고가 있었으며, 엑시머 레이저를 이용하여 셀룰로오스 기반의 오래된 물품의 멸균 효과 기술을 보고하였다.<sup>18,9)</sup> 레이저는 다른 멸균법보다 인체에 미치는 독성 및 위험성이 적으며, 선행연구 보고에 의하면 단시간 멸균이 가능한 장점이 있다.

본 연구는 고출력 조사가 가능한 Q-switch ND:YAG(Nedium YAG laser: NL315, EkSPLA, Lithuania)를 이용하여 pulse별 멸균 가능성을 찾고자 한다. 레이저 멸균은 균 멸균을 나타내어야 하며, 조작이 쉽고 설비가 간편해야 한다. 단시간 및 온도 영향이 없으며, 소규모 장소에 설치가 가능한 Q-switch ND:YAG 레이저로 수산화인회석 재료에 pulse에 따른 표면 멸균을 검증하려고 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

본 연구는 수산화인회석(HA; Hydroxyapatite, Junsei, Japan) 세라믹 재료를 이용하여 HA 디스크를 총 120개를 제작하였다. HA 디스크 표면에 대장균, 충치균을 도포하여 출력 1.5 W, 1 또는 10 pulse를 조사하였다. 멸균 후에 HA 디스크 표면에 세포주(Cellline; MC3T3-E1)의 착상 및 증식 실험을

평가하였다.

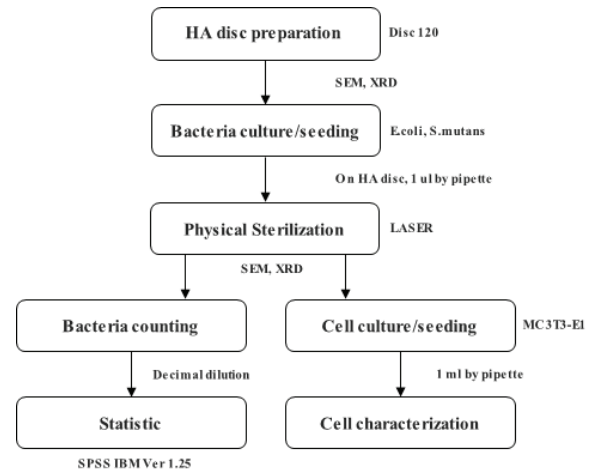


Fig. 1. Flow chart of the entire process.

## 1. 실험 재료

### 1.1 HA 디스크 제작

출발 원료로 HA 원료를 사용하여 표본을 제조하였다. 제조 후 출발 원료를 주사전자현미경(SEM; Scanning Electronic Microscopy, TM303, Hitachi, Japan) 및 X-선 회절 분석기(XRD; X-ray diffractometer, Panalytical)로 검사하였다. 먼저 준비된 파우더의 입자크기를 줄이기 위해 분쇄하였고, 제거를 통하여 일정한 입자크기 분말로 HA 디스크 제조에 사용하였다.

### 1.2 세균 배양

멸균력을 분석하기 위해 사용된 시험 균주는 오염 지표인 대장균(E. coli; Escherichia coli, ATCC 8739)와 치아우식의 원인균인 충치균(S. mutans; Streptococcus mutans, KCTC 3065)을 한국식품정보원(Daejeon, South Korea) 미생물센터에서 공급받았다.

### 1.3 세포 배양

본 실험에 사용된 MC3T3-E1 세포는 10 % fetal bovine serum과 1 % penicillin-streptomycin을 첨가한 minimum essential medium (DMEM, Gibco BRL; Grand Island) 배지를 사용하여 37 °C, 5 % CO<sub>2</sub> 세포 배양기에 48시간 배양하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 세균 도포

제조한 대장균과 충치균을 피펫(Pipet)을 사용하여 HA 디스크 표면 중앙에 각각 1  $\mu$ l씩 직경 약 1 cm로 도포시켰으며, 약 30 min 건조한 후, Nd:YAG 레이저 빛 방출 점에서 10 cm 거리에 고정 후 조사하였다.

### 2.2 레이저

고출력 레이저는 레이저응용기술센터(Daegu, South Korea)에서 Q-switch Nd:YAG 레이저를 이용하며, 고조파 분리기를 이용하여 파장을 266(UV-C), 355(Ultraviolet-A), 532(Visible; green), 1,064(Infrared ray) nm로 분리하여 출력을 1.5 W로 각각 1, 10 pulse로 조사하였다.

### 2.3 세포

레이저 빛이 조사된 디스크에 MC3T3-E1 세포를 24 웰플레이트에  $2 \times 10^6$  cell/cm<sup>2</sup> 개의 세포 수가 되도록 디스크 위에 분주한 후 72시간 배양하였다.

## 3. 측정 방법

### 3.1 세균 생존율 측정법

레이저 빛이 조사된 디스크를 생리식염수 1 ml에 희석 후 추정, 확정, 완전시험을 행하고 십진희석법으로 검체 1 ml의 대장균과 충치균을 측정하였다.

### 3.2 세포 생존율 측정법

HA 디스크에 세포를 심어 핵과 세포골격을 관찰하기 위하여 DAPI 염색과 F-actin 형광염색을 시행하였다. 배지를 제거한 뒤 멸균 증류수로 3회 세척 후 3.7 % formaldehyde 1 ml로 15 min 동안 세포를 고정하였다. 고정된 세포는 PBS로 3회 반복하여 세척하고 0.2 % Triton X-100(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO) 1 ml를 이용하여 10 min 처리하였다. 처리 후 멸균 증류수로 3회 반복하여 세척하고, actin 염색을 염색하기 위해 FITC-phalloidin(Sigma-Aldrich) 500  $\mu$ l를 넣고 상온에서 20 min 동안 빛을 차단하여 반응시킨 후 멸균증류수로 3회 반복 세척하고 DNA 염색을 위해 DAPI(Sigma-Aldrich) 1 ml에 10

min 처리 후 형광현미경(Leica-B500)으로 200배 관찰하였다. 관찰 후 HA 디스크를 임의로 9구역으로 나뉘어 영상으로 저장하였다. DAPI 영상에서 Image J(Ver. 1.52a) 프로그램을 이용하여 세포의 수를 측정하였다.

### 3.3 SEM & XRD

레이저 조사 전후 HA 표면 및 미세구조 변화를 알아보기 위해 SEM을 이용하여 관찰하였다. HA 디스크를 에탄올로 탈수시킨 후 시료는 임계점 온도 등에서 건조 시켰으며, 전도성의 Ion sputter에서 관전압 15 kVp, 120 sec 동안 코팅 후 관찰하였다. 레이저 빛 조사 전후 디스크를 정량 및 정성분석을 위해 XRD로 측정하여 회절 패턴을 얻었다. CuK $\alpha$ =1.5419로 20-60°까지 분당 5°의 속도로 측정하였고, 관전압 40 kVp, 관전류 30 mA로 하였다. 패턴 분석 및 상분율을 분석하기 위해 X'Pert Highscore 프로그램을 사용하였다.

### 3.4 통계

멸균 후 균의 생존과 세포의 생존을 비교 분석하기 위해 SPSS(IBM Ver. 1.25, USA) 프로그램을 사용하였다. 통계 방법은 두 모집단 간의 중심위치를 비교하기 위해 비모수 검정법에서 Mann-Whitney-Wilcoxon 순위 합 검정법으로 수치화시켰다. 연속이며 분포가 같은 두 집단의 독립적인 모집단을 확률표본으로 각각 추출하였다(p<0.05).

## III. RESULT

레이저 1.5 W, 1 pulse 조사 후 대장균 멸균력은 Table 2에서 나타나듯이 자외선 파장 266, 355 nm에서 대장균 생존을 나타내지 못하였다. 가시광선 파장 532 nm는 대조군과 차이를 보이지 않았다. 적외선 파장 1,064 nm는 대조군과 조금 차이는 있으나, 멸균을 위한 수치 차이를 보이지 못하였다. Table 3 비모수 검정 방법에서 파장 266, 355 nm는 근사유의확률(양측)이 0.006으로 유의한 의미를 나타내었으며, 파장 532, 1,064 nm는 근사유의확률(양측)이 각각 0.697, 0.154로 의미상 차이가 없었다.

Table 2. Comparison of survived E. coli depending on the 1 pulse of wavelength.

	Sample Number						Mean ± SE
	1	2	3	4	5	6	
Co*	-	-	-	-	-	-	$1.5 \times 10^3 \pm 152$
266 <sup>a</sup>	<10 <sup>b</sup>	40	<10	<10	<10	<10	<10 ± <10
E.coli	355	<10	<10	<10	<10	<10	<10 ± <10
532	1,600	2,200	490	460	2,600	740	$1.3 \times 10^3 \pm 376$
1,064	990	2,100	1,100	980	940	1,200	$1.2 \times 10^3 \pm 180$

Values are mean ± standard Error(n=6)  
\* : Control  
a : Colony forming unit/ml, b : Wavelength(nm)

Table 3. Test statistic of E. coli depending on the 1 pulse of wavelength.

Mann-Whitney Test		
Wavelength(nm)	Result	P-value
266, 355	-2.761	0.006
532	-0.389	0.697
1,064	-1.426	0.154

P<0.05

각 파장에 따른 대장균 생존율은 Fig. 2에 나타내고 있다. 파장 266, 355 nm은 99.9999 % 멸균되었다. 가시광선 파장 532 nm은 10.1111 %로 멸균율이 가장 낮았다. 적외선 파장 1,604 nm는 18.7778 % 멸균하였다.

레이저 1.5 W, 1 pulse 조사 후 충치균 멸균력은 Table 4에서 나타나듯이 자외선 파장 266 nm에서 충치균 생존을 나타내지 못하였다. 파장 355, 1,064 nm는 대조군과 차이를 조금 나타내었지만, 세균의 수가 많이 존재하였다. 그리고 파장 532 nm는 355, 1,064 nm보다 생존 수가 높았다. Table 5 비모수 검정 방법에서 파장 266 nm는 근사유의확률(양측)이 0.015로 유의한 의미를 나타내었으며, 파장 355,

532, 1,064 nm는 근사유의확률(양측)이 각각 0.038, 0.291, 0.037로 의미상 차이가 없었다.

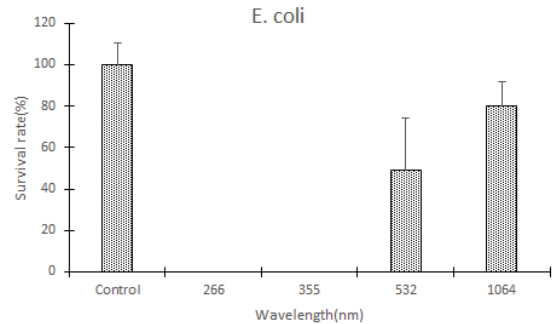


Fig. 2. Survival rate of E. coli with 1 pulse according to laser wavelength.

Table 4. Comparison of survived S. mutans depending on the 1 pulse of wavelength.

	Sample Number						Mean ± SE	
	1	2	3	4	5	6		
Co*	-	-	-	-	-	-	$4.6 \times 10^3 \pm 833$	
266 <sup>a</sup>	<10 <sup>b</sup>	140	100	<10	<10	<10	$40 \times 10^3 \pm 25$	
S.mutans	355	3,500	1,200	2,200	2,300	2,800	2,000	$2.3 \times 10^3 \pm 315$
532	4,200	2,100	4,200	5,500	3,700	2,400	$3.6 \times 10^3 \pm 516$	
1,064	1,700	2,700	3,500	2,900	2,600	2,700	$2.6 \times 10^3 \pm 237$	

Values are mean ± standard Error(n=6)  
\* : Control  
a : Colony forming unit/ml, b : Wavelength(nm)

Table 5. Test statistic of S. mutans depending on the 1 pulse of wavelength.

Mann-Whitney Test		
Wavelength(nm)	Result	P-value
266	-2.438	0.015
355	-2.074	0.038
532	-1.055	0.291
1,064	-2.083	0.037

P<0.05

각 파장에 따른 총치균 생존율은 Fig. 3에 나타나고 있다. 파장 266 nm는 99.1429 % 멸균하였으며, 파장 355 nm는 50 %가 생존하였다. 가시광선 파장 532 nm는 21.0714 %, 적외선 파장 1,604 nm는 42.50 % 멸균하였다.

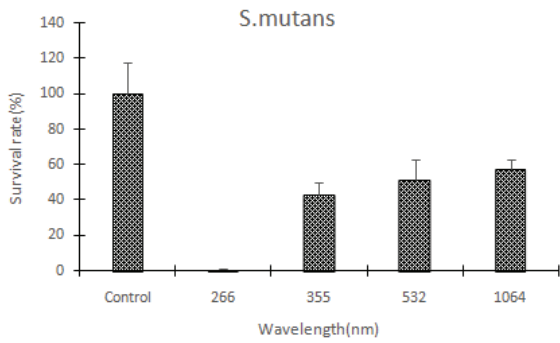


Fig. 3. Survival rate of S. mutans with 1 pulse according to laser wavelength.

Table 6. Comparison of survived E. coli depending on the 10 pulse of wavelength.

	Sample Number						Mean ± SE
	1	2	3	4	5	6	
Co*	-	-	-	-	-	-	$1.5 \times 10^3 \pm 152$
266 <sup>a</sup>	<10 <sup>b</sup>	<10	<10	<10	<10	<10	<10 ± <10
E.coli	355	<10	<10	<10	<10	<10	<10 ± <10
532	1,500	2,600	1,500	670	510	790	$1.2 \times 10^3 \pm 318$
1,064	1,700	2,100	910	830	570	780	$1.1 \times 10^3 \pm 247$

Values are mean ± standard Error(n=6)  
\*: Control  
a : Colony forming unit/ml, b : Wavelength(nm)

Table 7. Test statistic of E. coli depending on the 10 pulse of wavelength.

Mann-Whitney Test		
Wavelength(nm)	Result	P-value
266, 355	-2.761	0.006
532	-1.037	0.300
1,064	-0.907	0.364

P<0.05

레이저 1.5 W, 10 pulse 조사 후 대장균 멸균력은 Table 6에서 나타나듯이 자외선 파장 266, 355 nm는 1 pulse와 같이 대장균 생존을 나타내지 못하였다. 가시광선 파장 532 nm는 대조군과 차이를 보이지 않았다. 적외선 파장 1,064 nm는 대조군과 조금 차이는 있으나, 멸균을 위한 수치 차이를 보이지 못하였다. Table 7 비모수 검정 방법에서 파장 266, 355 nm는 근사유의확률(양측)이 0.006으로 유의한 의미를 나타내었으며, 파장 532, 1,064 nm는 근사유의확률(양측)이 각각 0.300, 0.364로 의미상 차이가 없었다.

각 파장에 따른 대장균 생존율은 Fig. 4에 나타나고 있다. 파장 266, 355 nm는 99.9999 % 멸균되었다. 가시광선 파장 532 nm는 15.8889 %, 적외선 파장 1,604 nm는 23.4444 % 멸균하였다.

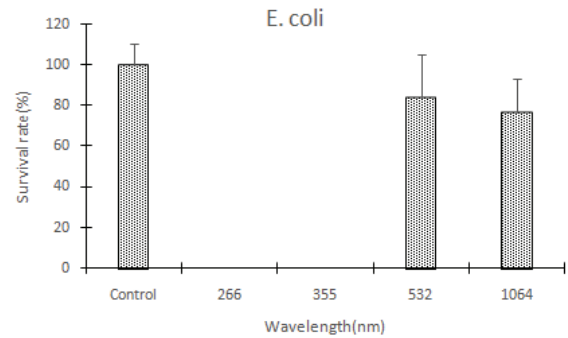


Fig. 4. Survival rate of E. coli with 10 pulse according to laser wavelength.

레이저 1.5 W, 10 pulse 조사 후 총치균 멸균력은 Table 8에서 나타나듯이 자외선 파장 266, 355 nm에서 균 생존을 나타내지 못하였다. 파장 355 nm는 1 pulse보다 총치균 멸균력의 차이를 보였다. 파장 532, 1,064 nm에서는 대조군과 차이를 조금 나타내었지만, 세균의 수가 많이 존재하였다. Table 9 비모수 검정 방법에서 파장 266, 355 nm는 근사유의확률(양측)이 0.005로 유의한 의미를 나타내었으며, 파장 532, 1,064 nm는 근사유의확률(양측)이 각각 0.091, 0.070으로 의미상 차이가 없었다.

Table 8. Comparison of survived *S. mutans* depending on the 10 pulse of wavelength.

	Sample Number						Mean ± SE
	1	2	3	4	5	6	
Co *	-	-	-	-	-	-	$4.6 \times 10^3$ ± 833
266 <sup>a</sup>	<10 <sup>b</sup>	<10	<10	<10	<10	<10	<10 ± <10
<i>S. mutans</i>	355	<10	<10	<10	<10	<10	<10 ± <10
	532	3,200	2,300	3,000	4,400	2,100	$2.9 \times 10^3$ ± 346
	1,064	1,800	1,600	3,100	3,500	2,400	$2.4 \times 10^3$ ± 299

Values are mean ± standard Error(n=6)  
\*: Control  
a : Colony forming unit/ml, b : Wavelength(nm)

Table 9. Test statistic of *S. mutans* depending on the 10 pulse of wavelength.

Mann-Whitney Test		
Wavelength(nm)	Result	P-value
266	-2.777	0.005
355	-2.777	0.005
532	-1.692	0.091
1,604	-1.815	0.070

P<0.05

각 파장에 따른 증치균 생존율은 Fig. 5에 나타나고 있다. 파장 266, 355 nm는 99.9999 % 멸균되었으며, 가시광선 파장 532 nm는 35.8571 %, 적외선 파장 1,604 nm는 47.50 % 멸균하였다.

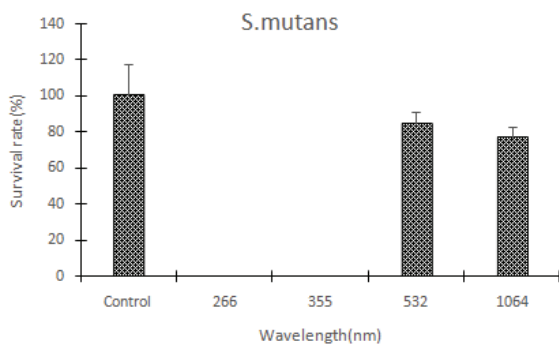
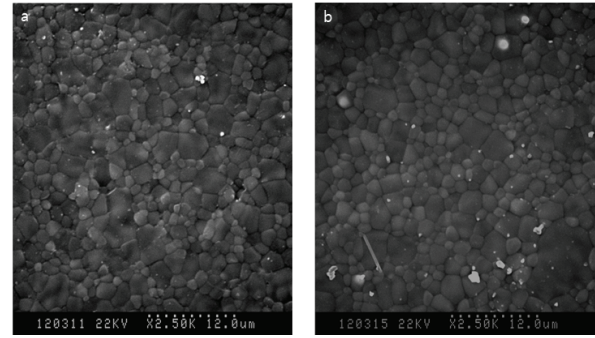


Fig. 5. Survival rate of *S. mutans* with 10 pulse according to laser wavelength.

레이저 파장 266 nm, 10 pulse에서 멸균력을 나타내었으며, HA 디스크 변화 차이를 알아보기 위해 SEM을 실시하였다. 레이저 조사 전 SEM 결과가 Fig. 6a이며, 레이저 조사 후 Fig. 6b 결과이다. SEM 결과에서 나타나듯이 평균 입자의 크기는 2-3 μm이었으며, SEM 결과 조사 전 영상과 비교했을 때 물리적 차이가 없음을 나타내고 있다.



(a) Control (b) 266 nm

Fig. 6. HA SEM(x5)

대조군과 파장 266 nm, 10 pulse 조사 후 XRD 검사를 시행하였다. 그 결과 Fig. 7a는 레이저 빛 조사 전 디스크 HA 특정 피크 상이 관측되었으며, Fig. 7b는 레이저 빛 조사 후에도 다른 상은 발견되지 않았으며, HA가 잘 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 레이저 빛 조사 후에도 화학적 변화가 없음을 알 수 있었다.

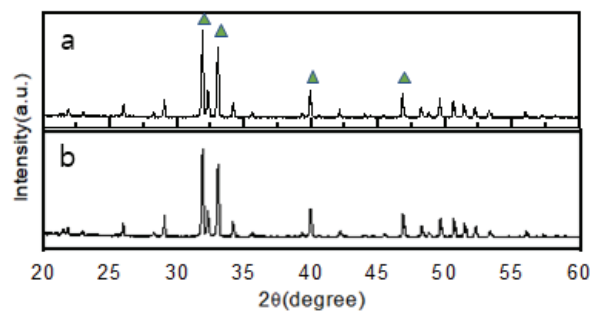


Fig. 7. HA XRD (a: Control, b: 266 nm)

MC3TC-E1 대조군 Fig. 8a와 레이저 파장 조사 후 Fig. 8b의 세포 정착 및 증식이 비슷하였으며, 조사 후에도 세포 구조적 모양은 Fig. 8a과 같이 정상적인 모습을 나타내고 있다.

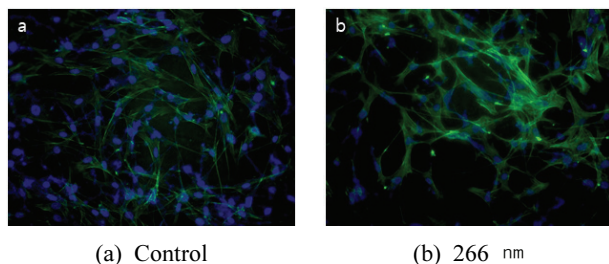


Fig. 8. Fluorescence micrographs of MC3TC-E1.

#### IV. DISCUSSION

19세기부터 위생 관념이 시작되었고, 그 이후 과학의 발전으로 감염의 위험성을 인지하게 되었다.<sup>[10]</sup> 각국에서는 감염예방법을 갖추게 되었으며, 의료기기 멸균 가이드라인은 에너지 절약뿐만 아니라 환경문제 및 관련 종사자의 안전성이 필수적으로 보장하기 위해 Nd:YAG 레이저를 이용하여 멸균력을 비교 평가하였다.

선행논문에서 다이오드 레이저 자외선 파장 206, 230 nm에 의해 박테리아와 바이러스 멸균과 엑시머 레이저 308 nm, 1 Hz를 이용하여 멸균 효과를 보고하였다.<sup>[8,9]</sup> 두 선행연구에서는 자외선 외의 멸균 실험이 없었기 때문에 높은 에너지에 의해 멸균이 되었을 가능성이 존재하게 되며, 의료기기 대상이 아니었다. 또한, 레이저 장비마다 특성 차이가 있으며 멸균 후 세포의 정상적인 성장의 보고가 없었다. 이 연구에서 레이저 조사 후 266, 355 nm, 10 pulse는 멸균이 99.9999%가 이루어졌으며, 레이저 자외선 외 가시광선, 적외선의 멸균 실험과 멸균 후 디스크의 물성변화를 확인하기 위해 세포주의 정착 및 증식을 분석하였다.

본 연구에서는 최근 의료기술 발전으로 환자맞춤형 임플란트 및 소형 의료기기들이 3D 프린팅으로 제작되어 임상에서 이식을 시행하고 있다.<sup>[11]</sup> 그래서 안전성과 환경문제 논란되지 않으며, HA 표면 멸균법의 다양성을 확보하는 것에 도움을 주기 위해서이다. 레이저의 pulse에 따른 멸균을 비교 분석하여 적절한 pulse 수치를 제시하고자 한다.

#### V. CONCLUSION

본 연구에서는 레이저의 pulse에 따른 대장균, 충치균 멸균력 비교분석을 하고, 세포의 정착 및 증식의 변화 차이를 알아보았다.

레이저 1.5 W, 1 pulse를 HA 디스크에 조사 후 대장균 멸균은 파장 266, 355 nm는 99.9999% 멸균하였다. 자외선 외 파장 532, 1,064 nm는 10.1111, 18.7778%의 균 멸균을 보였다. 1 pulse에서 대장균은 자외선 파장영역에서 충분한 멸균 효과를 나타내었다. 충치균은 파장 266 nm에서 99.1429%, 355 nm는 50%, 532 nm는 21.0714%, 1,064는 42.50%의 멸균을 나타내었다.

레이저 1.5 W, 10 pulse를 HA 디스크에 조사 후 대장균과 충치균 멸균은 파장 266, 355 nm에서 99.9999% 멸균하였다. 532, 1,064 nm에서는 대장균 15.8889%, 23.4444%의 멸균을 보였으며, 충치균은 35.8571%, 47.50%의 멸균을 보였다.

10 pulse가 1 pulse보다 에너지가 높지만 멸균력은 비례하게 나타나지 않았다. 그리고 레이저 자외선 영역은 충치균이 대장균보다 멸균률이 낮아 레이저 감수성이 낮게 나타났지만, 자외선 외 영역에서는 감수성 차이가 달랐다.

본 연구 결과에서 나타나듯이, 레이저 1.5 W, 266 nm, 10 pulse에는 HA 디스크의 살균 효과는 우수하였다. 10 pulse의 조사 시간은 약 1 sec 이하였으며, 방사선 멸균을 위해서는 최소 30 min 이상의 시간이 소요되며, 화학적 멸균은 침투 및 독성의 잔류문제로 하루 이상의 시간이 소요된다.<sup>[12]</sup> 그와 비교해 레이저 멸균은 단시간에 효과를 나타내었다. 또한, 비용 측면에서도 경제적이며 화학멸균법 단점인 화학 잔류물이 존재하지 않기 때문에 레이저 멸균 후 세포의 정착 및 증식이 잘 나타났으며, 의료기기 이용할 때 의료 종사자의 안전성이 보장되어 멸균법 다양성 확보에 도움을 줄 것으로 여겨진다. 레이저 멸균법의 더 나은 안전성과 데이터 축적을 위해 추후 에너지 및 파장에 따른 연구가 더 필요하고 생각된다.

## Reference

- [1] J. O. Hwang, D. Y. Lee, "Adaptive Situation of the wireless communication technology for the Medical Science Environment", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 19, No. 9, pp. 2100-2106, 2015.  
<http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.9.2100>
- [2] S. H. Park, J. H. Park, H. j. Lee, et al, "Current Status of Biomedical Applications using 3D Printing Technology", *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 31, No. 12, pp. 1067-1076, 2014.  
<http://dx.doi.org/10.7736/KSPE.2014.31.12.1067>
- [3] J. H. Park, J. Y. Byun, J. M. Yang, et al, "Trends of the Bacterial Skin Infections of Dermatology Outpatients in 1996, 2001 and 2006", *Korean Journal Dermatol*, Vol. 47, No. 6, pp. 690-695, 2009.
- [4] KCDC, "Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities." Korea Center for Disease control & prevention, 2014.
- [5] Loreley, Raul, Delgado, "Effect of sterilization on the properties of CDHA-OCP-b-TCP biomaterial", *MATERIALS RESEARCH-IBERO-AMERICAN JOURNAL OF MATERIALS*. Vol. 10 No. 1, pp. 15-20, 2007.  
<https://doi.org/10.1590/S1516-14392007000100005>
- [6] E. K. K. Baldin, C. F. Malfatti, V. Rodoi, R. N. Brandalise, "Effect of Sterilization on the Properties of a Bioactive Hybrid Coating Containing Hydroxyapatite", *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2019, pp. 1-13, 2019.  
<https://doi.org/10.1155/2019/8593193>
- [7] ISO, "Part-2: Establishing the Sterilization Dose", 11137-2, 2013.
- [8] E. A. Boardman, L. S. W. Huang, J. J. Robson-Hemmings, et. al. "Deep ultraviolet(UVC) laser for sterilisation and fluorescence applications", *J. Sharp Tech*, Vol. 104, pp. 33-35, 2012.
- [9] Fabio Belloni, Vincenzo Nassisi, Pietro Alifano, et al. "The Effects of UV Laser Radiation as Sterilizer for Cultural Heritage", *Macromolecular Symposia*, Vol. 238, No. 1, pp. 52-56, 2006.  
<https://doi.org/10.1002/masy.200650608>
- [10] Y. H. Kim, "The Process of Formation of the Public Hygiene Concept in Modern Japan: A focus on the reports from the patrolling regions", *The Journal of Korea Association Of Japanology*, Vol. 102, pp. 165-182, 2015.  
<https://doi.org/10.15532/kaja.2015.02.102.165>
- [11] S. H. Lee, "A Study on safety management plan for 3D-Printed Medical Device", Kor. Ministry of Food&Drug Safety, 2015.
- [12] Seymour S. Block, "Disinfection, Sterilization, and Preservation", Lippincott Williams & Wilkins, ISBN 0683307401, 2001.



## Nd:YAG 레이저 펄스에 따른 멸균효과

정경환<sup>1</sup>, 정동경<sup>1</sup>, 박정규<sup>1</sup>, 최현우<sup>2</sup>, 서정민<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup>대구보건대학교 방사선과

<sup>2</sup>경북대학교 의용생체공학과

<sup>3</sup>부산가톨릭대학교 방사선학과

### 요 약

의료기술 발전으로 인해 의료기기 사용이 증가하는 추세이다. 의료기기 중 이식 및 치료를 위해 인체 내에 사용되는 경우가 많다. 그러므로 의료기관에서는 감염 예방을 위해 의료기기 형태와 재질에 따른 멸균 방법들이 다양하게 적용되고 있다. 뼈 이식에서 수산화인화석 재료가 가장 많이 보급되어 있다. 소형 의료기기에 알맞은 비전리방사선 중 고출력에너지를 가진 Q-switch Nd:YAG 레이저를 이용한 멸균법을 제시하고자 한다. 대장균과 충치균을 수산화인화석 디스크에 오염시켜, 출력1.5 W, 파장은 각각 자외선(266, 355 nm), 가시광선(532 nm), 적외선(1,064 nm), 1과 10 펄스를 각각 조사하였다. 본 연구에서 자외선 파장인 1.5 W, 266 nm, 10 pulse에서 멸균력을 가장 이상적으로 보여주었다. 다른 파장대인 적외선, 가시광선은 소극적 멸균력을 보였으며, 자외선 A와 자외선 C는 펄스에 따라 멸균 차이를 보였다. 레이저 멸균에서 파장 및 펄스에 따라 멸균 차이를 알 수 있었다.

중심단어: 멸균, Nd:YAG 레이저, 비전리방사선

### 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	정경환	대구보건대학교 방사선과	겸임
	정동경	대구보건대학교 방사선과	교수
(공동저자)	박정규	대구보건대학교 방사선과	교수
	최현우	경북대학교 의용생체공학과	박사
(교신저자)	서정민	부산가톨릭대학교 방사선학과	교수