

## 흉터 치료 촉진 효과를 갖는 치아 케어용 LED 모듈 개발과 광학적특성 분석

### Development of LED Module for Tooth Care with Effect of Promoting Scar Treatment and Analysis of Optical Properties

유균만<sup>1</sup>, 손정현<sup>2</sup>, 조현민<sup>3</sup>, 강소희<sup>3</sup>, 강성수<sup>3</sup>, 박성준<sup>4\*</sup>

Kyun-Man Yoo<sup>1</sup>, Jeong-Hueon Son<sup>2</sup>, Hyun-Min Jo<sup>3</sup>,  
So-Hi Kang<sup>3</sup>, Seong-Soo Kang<sup>3</sup>, Sung-Jun Park<sup>4\*</sup>

#### 〈Abstract〉

In this paper, we analyzed the optical properties of the LED module for dental care, which has the effect of promoting cell regeneration and scar treatment. The LED module is a U-shaped module suitable for the shape of teeth. It is manufactured with an LED module (632 nm) and an LED module (632 nm + 870 nm), analyzes the results of optical properties, sets the irradiation distance, irradiation time, and is effective in healing skin wounds. Evaluation was conducted. It was tested in 6 test groups according to the light irradiation conditions, and light was irradiated to the scar site every other day for 7 days, 1 day and 3 days. As a result, it was confirmed that the effect of scar treatment was the highest when the combined wavelength of 632 nm + 870 nm was irradiated in pulse mode than when the single wavelength was irradiated and the composite wavelength was continuously irradiated. In group C group irradiated with PW Mode: pulse mode (period 36 ms, pulse width 35 ms) using a composite wavelength with LED module (632 nm + 870 nm) than group A without light irradiation, the length of scar reduction was 19 %, the area of the scar was further reduced by 10%, and it was confirmed that it is effective in treating scars in the wound area.

*Keywords : LED Module, Skin wound effectiveness evaluation, Cell regeneration*

1 주저자, 전남대학교 전기공학과  
E-mail: kmptu@gtp.or.kr

2 명신메디칼

3 전남대학교 생체재료개발센터

4\* 교신저자, 전남대학교 전기공학과, 교수  
E-mail: sjpark1@jnu.ac.kr

1 Main Author, Dept. of Electrical Engineering, Chonnam University

2 Myungshin Medical

3 Biomaterial R&BD Center, Chonnam National University

4\* Corresponding Author, Dept. of Electrical Engineering, Chonnam University, Professor

## 1. 서론

최근 국내 피부 환자들은 LED(light emitting diode) 광원을 활용한 의료보조 기기로 가정 내 자가 치료에 치중하는 경향이 높아짐에 따라 LED 광원을 이용한 의료보조기기 제품 시장이 성장하는 추세이다[1,2]. 이러한 이유로 LED 조사용 광의료기기 개발도 많이 이루어졌으나 효과 입증에 어려운 실정이다. LED 광원의 피부 치료는 독성 및 약물 부작용 등의 우려가 적고 LED 파장에 따른 특정 치료 효과를 가질 수 있다[3]. 현재 LED 광원을 이용한 피부마스크, 온열기 등은 많은 업체들이 생산하고 있으나 LED를 이용한 치아보조기기는 치아 미백기 외에 생산되는 제품이 없어 잇몸의 상처 치료 효과를 갖는 치아 케어용 LED 모듈을 개발하고자한다. LED를 이용한 헬스케어용 제품은 LED광원의 광학적특성에 따라 치유 효과가 상이하게 나타나며, 잘못 적용할 경우 오히려 상처의 악화가 진행될 수 있다. LED광원이 치유 효과를 갖기 위해서는 조사 파장, 조사 에너지량, 조사 거리, 조사 시간 등에 따른 정밀 분석이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 치아 케어를 위한 LED 모듈의 광학적특성을 분석하여 치아 내부에 발생 할 수 있는 피부 창상 치유 효과에 대한 유효성을 확인하고자 한다.

## 2. 시험 시료 및 측정 방법

### 2.1 광학 특성 시료 및 측정 방법

LED 모듈은  $632 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$  와  $870 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$  를 침투파장으로 발광하는 2가지 타입의

LED 패키지를 이용하여 제작되었다. 회로 기판의 재질 또한 인체의 구강에 삽입됨을 고려하여 U자 형태의 배열을 갖도록 설계하였으며, Flexible PCB로 제작되어 구강 내 삽입 되었을 때 사용자의 불편함을 감소시킬 수 있도록 하였다.

그림 1. 은 침투파장이  $632 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$  인 LED 패키지 10개를 병렬로 결선하여 제작되었으며, 시료의 입력정격전류는 DC 200 mA이다. 그림 2 는  $632 \text{ nm}$  LED 패키지 6개,  $870 \text{ nm}$  LED 패키지 4개를 사용하여 파장별로 병렬회로를 구성하여 제작하였으며 두 회로의 전원회로는 분리되어있다. 입력정격전류는  $632 \text{ nm}$  LED 패키지, DC 120 mA와  $870 \text{ nm}$  LED 패키지, DC 400 mA 이다. LED 모듈의 광학특성은 광학적특성평가장비(Neolight G500, ㈜파이맥스)를 이용하여 측정되었으며, 시료 중앙점과 디텍터의 측정거리는  $0.8 \text{ m}$ 이다. 광학적특성평가장비 내 장착된 LED 모듈을 회전시키며 고정된 디텍터로 복사선속( $W_\theta$ ), 침투파장[nm]을 측정하였다. 광원의 회전 조건은  $\gamma$  plane  $2^\circ$  step  $0^\circ \sim 90^\circ$ , C plane  $90^\circ$  step  $0^\circ \sim 360^\circ$  이다. 시료는 회로의 정격 입력전류를 각각 인가하였으며, 에이징 시간은 1 분 이내이다.

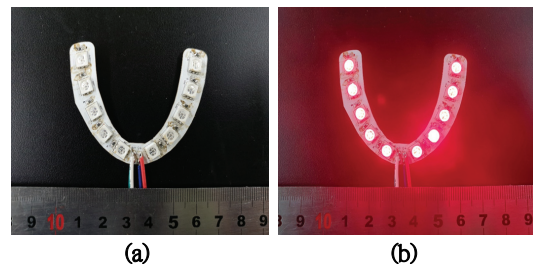


Fig. 1 LED module( $632 \text{ nm}$ ) type and lighting images

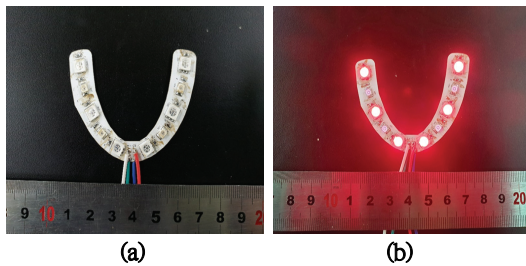


Fig. 2 LED module(632 nm + 870 nm) type and lighting images

Table 1. Specification of Goniophotometer

Equipment name(Model)	Goniophotometer (Neolight G500)
Manufacturer (Nation)	PIMACS(KOREA)
Wavelength range	220~1020 nm
Wavelength accuracy	± 0.3 nm
Radiant power range	$2 \cdot 10^{-8} \sim 200 \text{ W/m}^2$
Test item	Radiant Flux, Spatial Distribution, Vf, If, W, FWHM, Spectrum, XYZ, CIE xy, uv, Lumen, CCT, Wd, CRI, Wavelength purity, Peak wavelength

## 2.2 피부창상 치유 유효성시험 시료 및 방법

### 2.2.1 피부창상 치유 유효성 시험 시료

LED 모듈 조사 파장, 조사 방법과 조사 에너지량[]에 따른 흉터 치료 효과와 시험 재료는 그림 3. 시험용 수컷 쥐(SKH1-hairless, 주식회사 오리엔트바이오호남社, 대한민국, 7주령 30~35g)에 직경 6 mm 원형 절제 창상(Excision model)을 유발하여 그림 4. 의 14 mm 높이 광 조사 가이드 커버로 그림 1, 2 의 LED 모듈을 고정 한 후

DC 파워서플라이(Yokogawa, GS610)를 이용하여 2가지 전원 인가 방법(CW Mode: Countius mode, PW Mode: pulse mode(period 36 ms, pulse width 35 ms)으로 표 2. 광 조사 조건에 따라 조사 하였다. 이때 원형 절제 창상 부위가 LED 모듈의 절반 영역이므로 그림 4. 의 14 mm 높이 광 조사 가이드 커버를 이용하였으며 광 조사 시 LED 모듈의 조사 에너지량[]은 LED 모듈의 광학적특성분석으로 측정된 총 에너지의 1/2만 이 사용되었다.

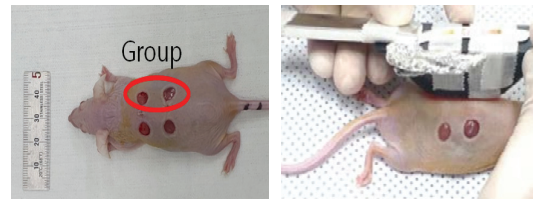


Fig. 3 Test Mouse and Light irradiation



Fig. 4 14mm high light irradiation guide cover

### 2.2.2 피부창상 치유 유효성 시험방법

실험 전 수컷 마우스(SKH1-hairless, (주)오리엔트바이오호남, 대한민국)의 개체별 체중을 측정한 뒤 동물용 진정·진통·근육이완제 Xylazine (Rompun, Bayer korea Ltd., Korea) 10 mg/kg 와 동물용 마취제인 Ketamine (유한케타민 50 주, (주)유한양행, Korea) 100 mg/kg 을 복합하여 복강 내 투여하여 전신 마취하였다. 이후항생처치로 Enrofloxacin (바이트릴 25 주, Bayer korea

Ltd., Korea) 5 mg/kg 을 근육 내 투여하였고, 진통처치로 Tramadol HCl (마리트롤, (주)제일제약, Korea) 20 mg/kg 을 복강 내 투여하였다. 마우스 마취를 유도한 이후 포비돈과 알코올을 사용하여 등을 소독하고 복와위 자세로 보정하고 등쪽 피부에 6 mm biopsy punch 를 이용하여 네 개의 원형 절제창상을 유발하였다. 1일차에 원형 절제 창상부위를 좌우로 구분하여 각 군 별 조사조건에 맞추어 LED 광조사 모듈을 통해 광조사하고 이 때 반대편에 영향이 가지 않도록 광조사 사이드커버를 이용하여 다른 Group에 영향이 가지 않도록 하였다. 3일차와 5일차는 호흡 마취제인 Sevoflurane (세보프란, 하나제약주식회사, Korea) 을 사용하여 마취를 유도한 후 호흡마취기를 통하여 산소와 Sevoflurane 의 농도를 조절하며 마취를 유지하면서 광조사 1일차와 동일한 방법으로 광조사를 실시하였다.

2.2.3 광조사 방법 및 분류

표 2. 에 따라 조사방법, 조사시간, 조사거리를 설정하고 그림 3. 과 같이 수컷 마우스에 마취 후 광조사 시험을 진행하였다. 그림 5. 는 흉터 치료 효과 확인을 위한 시험군 모식도와 조사 방법에

Table 2. Light irradiation conditions

분류	LED 모듈 파장 (조사 방법)	조사 시간	조사 거리
Group A	광 조사 없음	-	-
Group B	870 nm(CW)	600 s	14 mm
Group C	632 nm + 870 nm (PW)	200 s	14 mm
Group D	632 nm + 870 nm (PW)	600 s	14 mm
Group E	632 nm(CW)	200 s	14 mm
Group F	632 nm(CW)	400 s	14 mm

대한 계략도를 나타내었다. A-F까지 그룹을 분류하고 원형 창상을 유발한 첫째 날부터 격일 되는 1일, 3일, 5일에 표 2.의 조건으로 각각 광을 조사 하였으며 시험용 수컷 마우스는 7일째 되는 일에 CO<sub>2</sub> 챔버를 사용하여 희생시켰다.

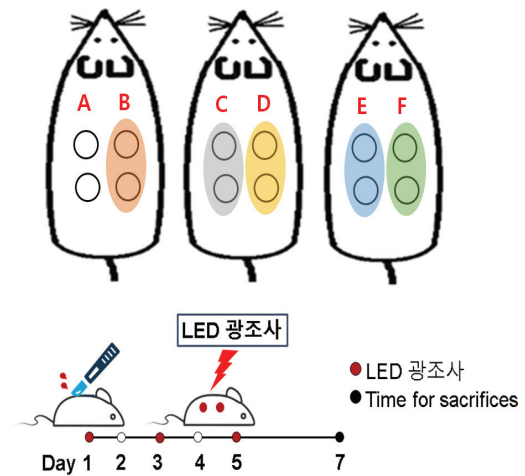


Fig. 5 Test group schematic and light irradiation method schematic

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 LED 모듈 광학 특성

표 3. 에서 LED 모듈 광학적 특성과 LED 모듈의 전원 인가 방법(CW Mode: Countius mode, PW Mode: pulse mode(period 36 ms, pulse width 35 ms), 조사 시간에 따른 조사에너지량을 계산 하였다. 또한 조사된 에너지량은 실제 원형 창상부위에 가해진 에너지량으로 그림 4. 의 14 mm 높이 광 조사 가이드 커버를 이용하였을 때 LED 모듈의 총 에너지에서 1/2로 계산되었다. 단,

계산 된 조사에너지[]는 PW 전원 입력이 시작된 순간부터 조사 마지막 순간까지 항상 같은 복사선속[W]을 방출하는 성능을 갖고 있다는 가정 하에 계산된 값이다. 원형 창상 부위에 조사된 에너지량은 LED 모듈 (632 nm + 870 nm)을 PW 모드로 600 s 동안 조사 하였을 때 56.0 J, CW 모드는 54.4 J로 계산되었다. LED 모듈(632 nm + 870 nm)을 PW 모드로 조사 하면 CW 모드로 조사 하는 에너지량의 97.1 % 수준의 값으로 2.8 % 가량 에너지 조사량이 적은 것으로 확인하였다. 반대로 에너지가 가장 적게 조사된 조건은 LED 모듈(632 nm)를 200 ms 동안 조사하였을 때 10.2 J 이었다.

LED 모듈은 흉터에 조사 될 때 단파장 스펙트럼을 발광하지만, 반치폭(FWHM: full width at half maximum)의 범위에 따라서 632 nm와 870 nm의 파장이 섞여 다른 파장을 발광할 수 있으므로 LED 모듈의 분광분포를 측정하여 확인하였다. 그림 6. 에서는 LED 모듈(632 nm)의 분광분포를 보여주고 있으며, 첨두파장 632 nm에서 반치폭은 20 nm ± 2 nm로 매우 첨두한 파형을 갖고 있다. 반면 870 nm에서 반치폭은 46 nm ± 2 nm 846nm~892 nm에서 반치폭을 갖고있으며 이는

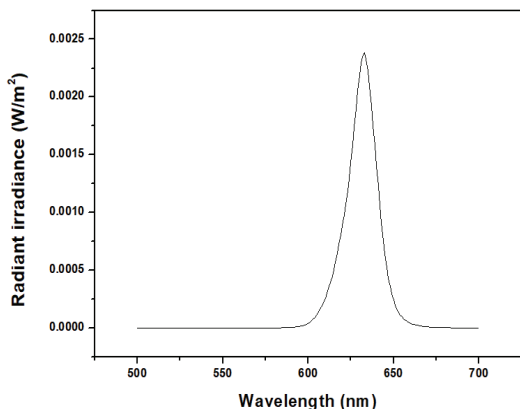


Fig. 6 LED Module(632 nm) spectrum

Table 3. LED Module optical characteristics

분류	LED 모듈 (632 nm)	LED 모듈 (870 nm)	LED 모듈 (632 nm + 870 nm)
첨두파장	632 nm ± 2 nm	870 nm ± 2 nm	632 nm ± 2 nm, 870 nm ± 2 nm
복사선속	102 mW	84.6 mW	187 mW
조사시간	200 s 400 s	600 s	200 s 600 s
조사 에너지 - CW (광 조사 그룹)	10.2 J (E)	20.4 J (F)	25.4 J (B), 18.7 J, 56.0 J
조사에너지 - PW (광 조사 그룹)	-	-	- 18.1 J (C), 54.4 J (D)

632 nm와 비교하여 2배 가량 넓은 반치폭의 광이 조사됨을 의미한다. 그러나 두 파장이 합성되어 첨두파장이 바뀌는 범위가 아님을 확인하였다.

### 3.2 광 조사 치료 효과

창상 유발 후 7일째 육안 사진을 촬영하여 창

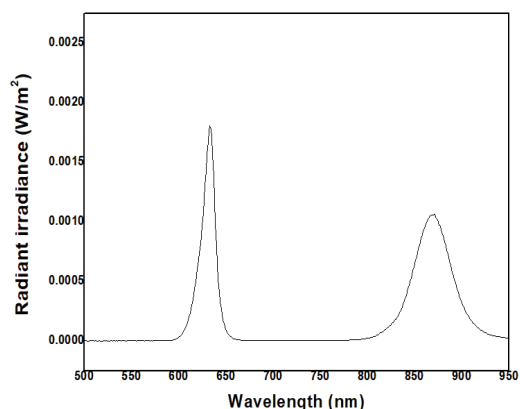


Fig. 7 LED Module(632 nm + 870 nm) spectrum

상부의 육안적 계측을 실시하였다. 각 군별로 육안 사진 촬영 분석 결과 창상 유발 3일, 5일, 7일째에 창상부에서의 가피 형성 및 창상 크기 감소를 관찰하였다. 그림 8. 에서는 원형 창상 부위의 감소를 육안으로 확인한 이미지를 보여주고 있다. 그림 9. 와 그림 10. 은 광 조사에 따른 원형 창상 부위의 길이 및 면적 변화를 확인한 결과이다. 원형 창상 부위의 길이 및 면적 측정에서 가장 많이 감소한 그룹은 C, D 그룹으로 두 그룹으로 모두 LED 모듈(632 nm + 870 nm)을 PW모드로 흉터 부위에 광을 조사한 그룹 군이다.

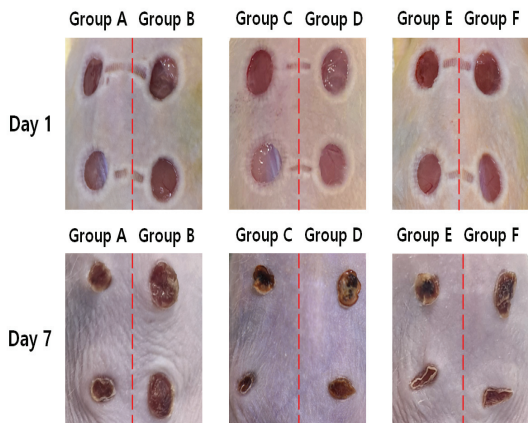


Fig. 8 Effect of light irradiation at the site of circular wound resection

Table 4. Comparison of wound length change

Sample	Wound length[mm]		Changes [%]
	Day 3	Day 7	
A	5.96	5.02	84.2
B	5.85	5.47	93.5
C	5.55	3.62	65.2
D	5.90	4.35	73.7
E	6.06	5.12	84.5
F	6.03	5.43	90.0

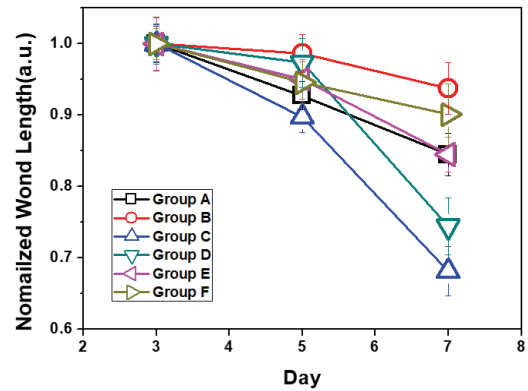


Fig. 9 Comparison of wound length change graph

창상의 장축 길이를 측정하여 각 군별 차이를 비교하였다. 그룹 C (632 nm + 850 nm, 200 s) 군에서 창상부의 길이가 Day 1에  $5.55 \pm 0.17$  mm에서  $3.62 \pm 0.21$  mm로 34.8 % 감소하여 창상 부의 길이가 가장 많이 감소하였으며, 광을 조사하지 않은 그룹 A군은 Day 1에  $5.96 \pm 0.15$  mm에서 Day 7에  $5.02 \pm 0.18$  mm로 15.8 % 감소하였다. 그룹 C군은 그룹 A군과 비교하여 약 2 배 이상의 흉터 감소 효과를 보인 것이다. 그룹 D(632 nm + 850 nm, 600 s)군도 26.3 %의 흉터 치료 감소효과를 보였다. 그 외에 그룹 B, 그룹 E, 그룹 F와 같이 단파장을 광을 조사한 경우 오히려 흉터 길이의 감소가 더딘 것을 확인하

Table 5. Comparison of wound area change

Sample	Wound area[mm <sup>2</sup> ]		Changes [%]
	Day 3	Day 7	
A	18.48	12.87	69.6
B	21.48	17.90	83.3
C	16.65	9.92	59.6
D	15.56	11.10	71.3
E	18.54	13.66	73.7
F	21.02	16.70	79.4

였다.

창상의 감소 면적 또한 그룹 A군이 30.4 % 만 감소한 반면에 그룹 C군이 40.4 %가 감소하여 흉터 면적이 10 % 가량 더 많이 감소한 경향을 확인하였다.

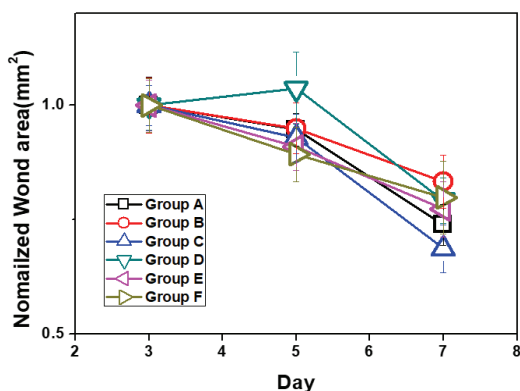


Fig. 10 Changes in the area of the round wound area due to light irradiation

#### 4. 결론

본 논문은 LED 모듈을 이용한 흉터 치료 효과를 분석하고자 피부 창상 유효성 평가를 진행하였으며 인체 조사용 LED 광원은 부위나 용도에 따라 파장을 선정하는 것이 치료 효과를 향상시키는데 효과적이라는 사실은 많은 연구결과에서 이미 입증되었다[4-6]. 따라서 우리는 광조사 조건에 따라 6개의 그룹으로 시험을 진행하고 그 결과를 분석하였다. 결과적으로 피부창상 치유 유효성 검증에서 그룹 B, 그룹 E, 그룹 F를 제외 하고, 광을 조사하지 않은 그룹 A보다 흉터 치료에 효과를 보인 것은 그룹 C와 그룹 D이다. 그룹 C와 D는 LED 모듈(632 nm + 870 nm)을 이용하여 PW 모드로 조사되었다. 그룹 C와 그룹 D는 조사

시간에서만 차이를 가지는데, 1회에 200 s(조사에너지는 18.1 J)조사한 C 그룹이, 그룹 D는 조사시간 600 s(조사에너지량 54.4 J)로 조사된 그룹 D와 비교하였을 때 약 33 % 밖에 되지 않는 조사에너지량으로 창상부 길이가 더 좋은 효과를 얻었다. 흉터 치료 효과가 광 조사 에너지량에 비례한다면 그룹 D는 그룹 C보다 더 좋은 효과를 보여야 하나 그렇지 않은 것으로 보아 조사 시간에 따른 에너지량이 높다고 치유효과가 높아진다고 할 수 없다. 결론적으로 원형 창상 치유에는 단일 파장 632 nm  $\pm$  2 nm LED 모듈, 870 nm  $\pm$  2 nm LED 모듈을 이용하여 치유하는 것보다 복합 파장 632 nm  $\pm$  2 nm 870 nm  $\pm$  2 nm 을 이용하여 펄스모드로 조사하였을 때 광을 조사하지 않은 그룹 A보다 흉터의 길이 감소는 19 %, 흉터의 면적은 10 %가 더 감소하며 광 조사 군 중에서 가장 높은 치유 효과가 있음을 확인하였다. 선행된 연구 결과에 따르면 짧은 펄스폭의 반복된 PW 모드는 CW 모드보다 더 많은 콜라겐 생성을 자극하는 것으로 나타났다. 이것은 CW 모드보다 PW모드가 특정 조건 하에서 CW 모드 에너지 보다 조직 내로 더 깊숙이 이동할 수 있으며 강력한 펄스의 첫 번째 부분이 상부 조직 층의 모든 발색단 분자를 포착하기에 충분한 광자를 포함할 수 있기 때문이다[7,8]. 피부 창상 유효성 효과는 반응에 대한 기간, 간격, 펄스 폭, 펄스 간격 등의 정확한 펄스 매개 변수 뿐만 아니라 연속파(CW 모드) 대 펄스파(PW 모드)의 영향은 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] Maria Emília de Abreu Chaves, "Effects of low-power light therapy on wound healing:

- LASER x LED”, *n Bras Dermatol*, Vol. 89, No. 4, pp. 616-623 A, 2014
- [2] Mester E, Mester AF, Mester A, “The biomedical effects of laser applications” *Laser Surg Med*, Vol 5, pp. 31-39, 1985.
- [3] Whelan HT, Smits RLJ, Buchman EV, Whelan NT, Turner SG, Margolis DA, Cevenini V, Stinson H, Ignatius R, Martin T, Cwiklinski J, Philippi AF, Graf WR, Hodgson BGL, Kane M, Chen G, Caviness J. Effect of NASA light-emitting diode irradiation on wound healing. *J Clin Laser Med Surg* 2001;19:305-314.
- [4] Min-Joong Moon, Jie-Beom Lee, Jun-Mo Han, In-Seon Yeo, “Analysis of the optical properties of LED for *S. mutans* antifungal effect and mouse fibroblast activity using horizontal irradiance”, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers* Vol. 62, No. 2, pp. 708-708, 2013
- [5] Sterenberg HJ, van Gemert MJ: Photodynamic therapy with pulsed light sources: A theoretical analysis. *Phys Med Biol* 41:835-49, 1996
- [6] Min-Joong Moon, Kyun-Man Yoo, In-Seon Yeo, “Analysis of the Optical Properties of LEDs for Oral Care with *S. mutans* Inhibition and Fibroblast Activation Effects”, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 33, No. 7, pp. 1-12, 2019
- [7] D. Barolet, “Light-Emitting Diodes(LEDs) in dermatology,” *J. Semin. Cutan. Med. and Surg.*, vol. 27, pp. 227-238, 2008.
- [8] Sterenberg HJ, van Gemert MJ: Photodynamic therapy with pulsed light sources: A theoretical analysis. *Phys Med Biol* 41:835-49, 1996.

---

(접수: 2020.07.16. 수정: 2020.07.24. 게재확정: 2020.08.07.)