

다파장 LED의 동시 자극 인가가 가능한 세포 분화 유도기

최세운*

Cell differentiation control device capable of simultaneous stimulation of multi-wavelength LED

Se-woon Choe*

*Assistant Professor, Department of IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, 39253 Korea

요약

최근 발광다이오드를 이용한 마스크 형식의 피부 관리기에 관한 관심이 증가하고 있으며, 특정 파장의 광학적 자극은 노출 광량 및 파장대, 광선 조사 시간을 조절함으로써, 피부 미백, 여드름 치료, 탄력 및 주름 개선 등과 같은 다양한 효과를 보인다고 알려져 왔다. 특히, 피부 노화 억제, 세포증식 유도, 피부의 염증 완화 등을 목적으로 하는 마스크의 경우 각각 다른 파장의 광원이 사용된다. 본 논문에서는 마이크로컨트롤러를 사용하여 피부재생 마스크에 활발하게 사용되는 발광다이오드 제어시스템을 개발하였다. 단일 또는 복합적으로 피부 섬유아세포에 인가하여, 세포의 증식에 어떠한 효과가 있는지 확인한다. 또한, 세포증식률에 긍정적 효과를 보이는 특정 파장대를 찾아 다양한 자극에 기인한 세포증식 효과를 확인하고, 영상처리를 활용한 정량분석법을 제시하여 그 효과를 평가하였다.

ABSTRACT

Recently, interests in mask-type skin care devices using light-emitting diodes have been increasing and optical stimuli at certain wavelengths have been known to have various therapeutic effects, such as skin whitening, acne treatment, elasticity and wrinkle improvement by controlling the exposure to wavelengths of light and irradiation time. In particular, light sources of different wavelengths are applied in masks for the purpose of suppressing skin aging, inducing cell proliferation, and alleviating skin inflammation. In this paper, we developed a light-emitting diode control system that is actively used in skin regeneration masks using a microcontroller. Optical stimuli with different manners were applied to skin fibroblast cells in a single or complex wavelengths, and then confirmed how they are effective in the cell differentiation. In addition, we found a specific wavelength that has a positive effect on cell proliferation rates, and confirm the effectiveness of cell proliferation by image processing based quantitative analysis.

키워드 : 발광다이오드, 섬유아세포, 세포증식, 다파장광자극

Keywords : Light-emitting diode, Human fibroblast cells, Cell differentiation, Multi-wavelength optical stimulation

Received 13 January 2021 Revised 19 January 2021, Accepted 29 January 2021

* Corresponding Author Se-woon Choe(E-mail:sewoon@kumoh.ac.kr, Tel:+82-54-478-7781)

Assistant Professor, Department of IT Convergence Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, 39253 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.2.221>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

인구의 고령화 및 소셜네트워크를 사용하는 다양한 연령의 사용자가 증가함에 따라 피부관리 기기에 관한 관심이 증가하고 있다[1]. 따라서 연령에 따른 사용자들의 기호를 반영한 다양한 가격대의 피부관리 기기들이 개발되고 있으며, 관련 시장 또한 점차 증가하는 추세이다[1]. 기존의 피부관리 기기들은 대부분 의료용으로 고가이며, 관련 지식을 습득한 전문인력이 수요자를 대상으로 사용하였다. 하지만, 특정 바이러스가 세계적으로 유행하는 요즘, 고가의 대형 피부관리 기기들은 사용자의 편의성 증대를 위해 점차 소형화, 저가화되고 있으며, 관련 서비스를 제공하는 전문 관리업체를 방문하지 않고도 사용이 가능할 만큼 대중성이 증가하고 있다[2].

현재, 상용화되어있는 개인용 피부관리 기기의 사용 목적은 사용자의 연령에 따라 상이하나, 주로 피부의 탄력 및 주름 개선, 미백인 것으로 조사되었다[2]. 고가의 피부관리 기기는 주로 레이저는 사용하는데, 발열 현상에 기인한 건강한 세포조직에 부작용을 일으킬 수 있다는 제한적인 요소를 가지고 있다[3]. 이러한 이유로 레이저보다 발광다이오드(LED; Light-emitting Diode)를 사용하는 장비들이 많은데, 이는 사용 목적에 따라 사용자가 선택할 수 있는 파장의 선택 자유도가 높으며, 전문 관리업체를 사용할 때보다 비교적 저렴한 가격으로 사용할 수 있다는 장점이 있다 [3]. 또한, LED는 레이저보다 다양한 파장에 대한 선택자유도가 높고, 치료 목적에 따라 비교적 저렴한 가격으로 다양한 파장대의 광원을 사용할 수 있다. 예를 들어, 상처를 치료하기 위해서는 주로 689/850nm, 염증 억제에는 30~660nm, 여드름 치료는 420nm, 안면홍조는 560~590nm, 제모는 400~800nm, 흉터 치료는 805~970nm 등과 같이 사용 목적에 따라 다른 파장 대역의 광원을 인가한다면 다양한 효과를 기대할 수 있다 [3-5].

최근 들어, LED를 이용한 비교적 저렴한 피부관리 기기들의 상용화 개발 및 사용자의 목적에 따른 인가 효과를 다양하게 평가하는 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 그 효과는 사용되는 LED의 다양한 노출 파장 및 광량, 노출 시간 등에 따라 피부 세포에 미치는 효과가 다양하다 [3-6]. 피부세포 증식의 활성화를 위해 주로 단일파장의 LED를 사용되며 그 효과를 극대화하기 위한 연구가 이루어지고 있으나, 다양한 파장을 동시에 인가

하는 복합파장을 응용한 활성화에 관한 연구는 미비한 상황이다 [6-7].

따라서 본 논문에서는, 피부재생 마스크에 주로 사용되고 있는 다양한 LED를 단독 또는 복합파장으로 인가할 수 있는 세포 분화 유도 인가 및 분석 시스템을 개발하였다. 다양한 파장의 광자극을 동일한 조건으로 인가할 수 있도록 마이크로컨트롤러를 이용하여 실험 환경을 제어하고, 세포 분화를 유도하는 6-well plate 용 LED 고정장치를 3D 프린터로 출력하여 실험에 사용하였다. 이 고정장치는 일정 시간 간격으로 인가되는 광자극이 제한된 위치에서만 발현 가능할 수 있도록 제어하는 역할을 하여, 정확한 결과를 도출하도록 한다. 이후, 광학 현미경을 통해 얻은 이미지는 영상처리 방식을 이용하여 정량적으로 분석되고, 단일 또는 복합파장의 다양한 조건이 세포증식률에 어떠한 영향을 미치는지 연구한다.

II. 실험 방법

2.1. 세포 배양

개발된 장비의 효과를 확인하기 위해 CCD-986sk 세포(한국 세포주 은행, 대한민국)가 사용되었다. 이 세포를 위한 배지 용액은 Isocove's Modified Dulbecco's Medium과 1%의 Penicillin Streptomycin, 10%의 Fetal Bovine Serum으로 구성되었다. 이 섬유아세포는 37°C의 온도를 유지하며 5%의 이산화탄소를 주입하는 세포 배양기에서 증식시켰으며, 이 세포를 6-well plate에 각각 4×10^4 cells/well로 나누어 분주하고 본 실험을 진행하기 위해 섬유아세포를 자극 인가 실험 시작 전, 24시간 동안 배양하여 준비하였다 [8-9]. 세포는 6-well plate의 약 90%가 채워졌을 때 Phosphate-Buffered Saline을 이용하여 2차례 세척한 후 기타 세포 부유물 등을 제거하였다. 그 후, Trypsin 용액을 6-well plate에 5mL 첨가한 후 세포 배양기에 5분 동안 보관하여 세포를 6-well plate에서 탈착시켰다[10]. Trypsin 용액과 세포가 포함된 현탁액을 원심 분리하여 얻은 세포를 6-well plate 11개에 4×10^4 cells/well로 나누어 분주하고 배양한다. 세포가 6-well plate에 30% 정도 채워졌을 때, 광학 자극을 인가하며 Day1으로 설정한 후 실험을 진행하였다. 본 논문에서 제안한 자극 인가 시스템을 이용하여 매일 20

분씩 6일간 특정 단일 또는 복합파장의 LED를 동시에 조사한 후, 역상 광학 현미경을 통해 세포가 자라고 있는 중심 영역의 brightfield 이미지를 획득하였다[11]. 세포 증식 효과의 비교를 위해 인가한 실험군 (n=10), 자극이 없는 대조군 (n=10)으로 분류한 뒤 실험하였다. 또한, 실험군 표본들의 배지는 자극이 없는 대조군과 동일하게 4일 후 한 번 교체해주어 같은 조건으로 실험하였다.

2.2. D 자극 시스템

광자극 시스템은 기존 LED 피부관리기에서 주로 사용되고 있는 LED 중 Blue(415nm), Red(630nm), InfraRed(850nm)를 사용하였다. 본 자극 시스템에 사용되는 LED (3528, LG Innotek, Korea)는 상용화되어있는 피부관리기와 동일한 광원을 사용하여 구성하였고, 단일 또는 복합 인가가 가능하다[6, 12]. LED는 발현 파장에 따라 상이한 화합물들 AlGaAs (InfraRed), InGaN/GaN (Blue), AlGaInP (Red) 가 사용되었으며, 광자극 시스템은 Atmega 128을 이용하여 제어하였다. 스펙트럼 분석기로 LED 파장을 측정하였을 때, 주파장대역은 Blue (405 ~ 425nm), Red (620 ~ 640nm), InfraRed (840 ~ 860nm)로 나타났다. LED를 이용한 단일/복합 자극 인가는 그림 1과 같이 구성할 수 있다. 섬유아세포가 자라는 6-well plate를 LED 고정장치 상단에 위치하게 한 후, 각각 다른 파장의 LED를 20분간 조사하여 6일간 실험을 진행하였다[13].

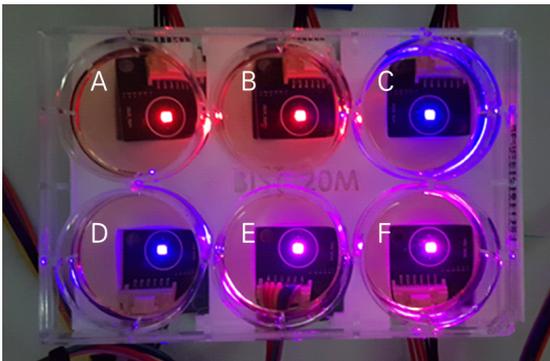


Fig. 1 Image of single/multi-wavelength stimuli induction system using LEDs with different wavelengths (A: Red, B: Red+ InfraRed, C: Blue, D: InfraRed+Blue, E: Red+Blue, F: InfraRed+Red+Blue).

6-well plate용 LED 고정장치는 3D CAD 프로그램 (SolidWorks, Dassault Systems, Solid Works Corporation, USA)을 이용하여 설계 후, 3D 프린터 (Cubicon DP-310F, Cubicon Inc., Korea)를 이용하여 제작하였다. 고정장치는 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene copolymer) 필라멘트를 사용하여 제작하였다[9]. 서로 다른 파장의 단일 또는 복합 LED는 선택적으로 고정장치에 위치시킨 후, 실험의 목적에 따라 독립적으로 사용할 수 있다. 광자극 시스템은 1개의 plate 당 6개의 실험군 (GroupA: Red, GroupB: InfraRed+ Red, GroupC: InfraRed+Blue, GroupD: Blue, GroupE: InfraRed+Red+Blue, GroupF: Red+Blue)으로 나누어 실험하였으며, 단일 또는 복합 광자극 인가가 가능하도록 설계하였다 [6]. LED에서 조사된 광자극은 6-well plate의 투명한 하부를 통해 세포에 인가가 가능하고, 세포가 배양되는 특정 위치에 집중적으로 조사할 수 있도록 하였다. 입력전류 10mA가 각각의 LED로 인가될 때, 파장별 복사 강도는 약 3mW/sr로 유사하다.

2.3. 영상획득 및 분석

영상 분석을 위해 섬유아세포는 매일 자극인가 전후로 6일 동안 역상 광학 현미경(Inverted fluorescent microscope, IX73, Olympus, Japan)을 이용하여 그림 2-(A)와 같이 촬영하였다. 6-well plate의 커버에 미리 표시해둔 점을 기준으로 같은 위치에서 획득하였고, 그 위치를 현미경을 통해 확인하였다[14]. 역상 광학 현미경을 사용하여 획득된 세포 이미지들은 MATLAB (MathWorks, Natick, MA, USA)을 사용하여, 그림 2-(B)와 같이 각각의 면적을 정량적으로 분석하여 세포의 외각을 붉은색으로 표시하였다[15]. 간략하게 요약하자면, 역상 광학 현미경을 통해 얻어진 RGB 이미지를 brightfield로 변환 후, 영상처리 툴을 활용하여 배경을 제거하였다[16]. 이후 개별 세포는 이진화 이미지로 변환되며, 잡음 제거, 주파수 변환 및 필터링 등과 같은 분석법을 이용하여 개별 세포의 면적을 정량 분석하였다. 광학 자극 인가 후 그 전날 획득된 세포 면적과 비교하여 차감한 후 그 증가분을 세포의 밀도 차이로 계산하여 비교하였다 [17-18].

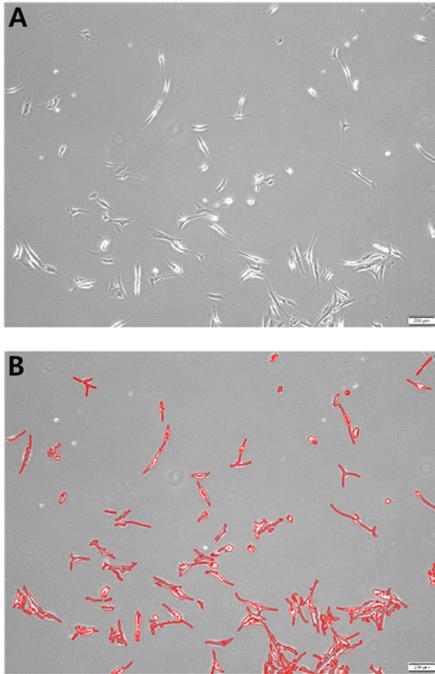


Fig. 2 Representative images of (A) an acquired brightfield image from the inverted optical microscopy and (B) cell boundary traced image. The boundary is marked by the red solid line.

III. 실험결과

단일 또는 복합파장의 LED 자극을 인가한 실험군 (GroupA ~ GroupF, n=10 per group)과 광자극을 인가하지 않았으나 같은 조건으로 실험을 진행한 대조군 (Control, n=10)의 대표 이미지는 그림 3과 같다[18].

실험군과 대조군에 광자극을 매일 20분씩 인가한 후, 역상 광학 현미경을 통해 6일 동안 그룹별 (GroupA: Red, GroupB: InfraRed+Red, GroupC: InfraRed+Blue, GroupD: Blue, GroupE: InfraRed+Red+Blue, GroupF: Red+Blue)로 획득되었으며, 인가 후 선택된 날짜 (Day1, Day3, Day5, Day6)와 인가 자극을 기준으로 비교하였다. 대표 이미지는 각각의 그룹별 얻어진 세포의 이미지를 상기에 기술한 영상처리 방법을 이용하여 세포의 영역을 붉은 선으로 표시하였다.

Group	Day			
	Day1	Day3	Day5	Day6
GroupA (R)				
GroupB (IR+R)				
GroupC (IR+B)				
GroupD (B)				
GroupE (IR+R+B)				
GroupF (R+B)				
Control				

Fig. 3 Representative images of each group from Day0 to Day6 (GroupA: Red, GroupB: InfraRed+Red, GroupC: InfraRed+Blue, GroupD: Blue, GroupE: InfraRed+Red+Blue, GroupF: Red+Blue). The Cell boundary traced images by the red solid line.

단일 또는 복합 자극을 인가한 실험군은 control에 비해 유사하게 증가하는 추세를 보였다. 그룹별로 얻어진 세포 분화의 평균 증가분 비교결과는 표 1과 같이 평균 ± 표준편차로 요약할 수 있다.

Table. 1 The numerical data of the experimental cell growth rate results.

Cell growth rate [%]	Day1	Day3	Day5	Day6
GroupA (IR+R)	1.55±0.24	2.47±0.24	3.39±0.35	4.37±0.15
GroupB (IR+R+B)	1.43±0.25	2.61±0.44	3.38±0.32	4.30±0.57
GroupC (B)	1.23±0.25	2.38±0.48	3.58±0.55	4.65±0.42
GroupD (R+B)	1.65±0.49	2.41±0.49	2.97±0.55	4.07±0.47
GroupE (R)	1.33±0.22	3.32±0.27	5.28±0.42	7.99±0.57
GroupF (IR+R)	1.57±0.31	2.62±0.56	3.76±0.51	4.77±0.40
Control	0.49±0.12	1.13±0.58	1.93±0.52	2.66±0.54

Day0을 기준으로 Day6까지 그룹별 10개의 표본 세포 (n=10)의 brightfield 이미지를 획득한 후, Day0과 비교하여 매일의 평균 증가분을 계산하였다. 표1의 세포

분화 평균 증가분을 이용하여 작성한 그래프는 그림 4에 보였다.

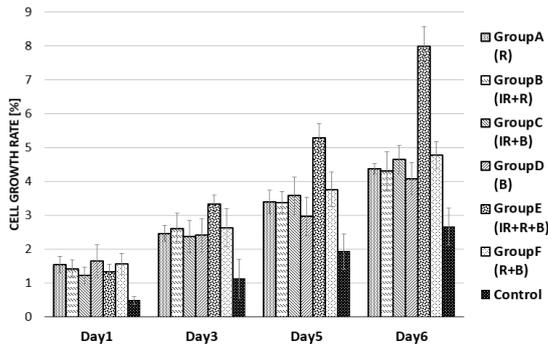


Fig. 4 The experimental results of the cell growth rate when using single or multi-wavelength stimulation of LED. Control group of skin fibroblast cell is represented by black color.

그 결과, 광자극이 주어진 실험군 (GroupA ~ GroupF)의 평균 세포 분화 증가율 (5.02 ± 0.43 [%])은 광자극을 인가하지 않은 대조군 (control, 2.66 ± 0.54 [%])과 비교하였을 때 모두 세포 분화 증가율이 높았다. 그 중, 단일 파장을 인가한 그룹 중에서는 GroupA (Red, 4.37 ± 0.15 [%]) 파장대의 광자극이 가장 높은 세포증식률을 보였으며, 복합파장을 인가한 그룹 중에서는 GroupE (InfraRed+Red+Blue, 7.99 ± 0.57 [%]) 가장 높은 세포증식률을 보였다. 피부관리의 주 광원으로 사용되는 Red와 InfraRed의 복합파장 (GroupB, 4.30 ± 0.57 [%])은 대조군보다는 높은 증가율을 보였으나, 이는 복합파장을 인가한 그룹 중에서는 (GroupB, GroupC, GroupE, GroupF) 가장 저조한 증가율을 보였다. 반면 Blue 파장을 인가한 실험군의 경우, 단일 광자극을 인가하는 경우보다 (GroupD: Blue, 4.07 ± 0.47 [%]), 복수의 파장이 동시에 인가된 복합 광자극 그룹 GroupE (InfraRed+Red+Blue, 7.99 ± 0.57 [%]), GroupF (Red+Blue, 4.77 ± 0.40 [%]), GroupC (InfraRed+Blue, 4.65 ± 0.42 [%])이 단일 광자극 인가그룹보다 높은 세포증식률을 보였다. 따라서, 단일파장을 사용하는 단일 광자극은 (Red 또는 Blue) 복합파장보다 낮은 세포증식률을 보였으며, 복합파장을 동시에 인가하는 복합 광자극은 Blue 파장이 추가되었을 때보다 높은 세포증식률을 보였음이 확인되었다.

IV. 결론

LED를 이용한 개인용 피부관리기는 Red 또는 InfraRed의 파장을 주광원으로 하여 개발되고 있으며, 단일파장의 인가가 충분히 다양한 효과를 유도한다는 정보를 제공하고 있다. 하지만, LED에서 인가되는 파장의 고유한 특성과 피부관리의 파라미터 (출력에너지, 파장 정보, LED 노출 시간, 광자극 인가 입사각, 복합파장 인가 등)가 고려되지 않은 상황에서의 치료 효과는 예상과 상이할 가능성이 매우 크다. 또한, 복합파장의 동시 인가가 가능한 관리기기 연구 및 개발 현황 역시 단일파장 인가 방식과 비교하였을 때, 개발의 필요성 및 기대효과가 현저하게 낮다고 볼 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 피부 섬유아세포의 증식에 활발하게 사용되고 있는 InfraRed 및 Red 파장 이외의 Blue 파장의 대역을 실험에 추가하여, 복합파장을 동시에 인가가 가능한 광자극 시스템을 개발하여 피부 섬유아세포 증식에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 역상 광학 현미경을 사용하여 얻어진 brightfield 세포 이미지를 Matlab 프로그램을 이용하여 세포 분화 평균 증가분을 비교함으로써 그 효과를 정량적으로 확인할 수 있었다. 또한, 자극이 없는 비교군과 단일 또는 복합 광자극이 인가된 다양한 조합의 실험군의 증가분을 비교하여 복합 광자극이 인가되었을 때 단일 광자극 또는 자극이 없는 대조군에 비하여 피부세포 분화에 긍정적인 효과가 있음을 확인하였다.

이러한 결과를 바탕으로 현재 활발하게 사용되고 있는 특정 파장대의 광학 인가 자극만 가능한 피부관리기 대신, 다양한 파장대의 동시인가가 가능한 피부 관리기기의 연구개발이 필요하다. 또한, 추가로 Yellow와 Green 영역의 발현이 가능한 LED를 이용하여 단일파장이 아닌 복합파장을 인가하였을 때, 단일파장에서 갖는 효과 이외에 다른 효과를 검증해볼 필요가 있을 것으로 판단된다. 추가적으로, 광학 자극뿐만 아니라 피부 섬유아세포에 직접 물리적 자극을 인가할 수 있는 초음파 등과 같은 비침습적인 치료 장비를 융합하여 다양한 주파수와 출력 파형, 출력 전류 및 전압 등을 고려한 융복합 자극기에 관한 연구도 진행되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 비침습 융합 자극 관리기기에 관한 연구와 더불어 자극을 진피층에 가깝게 전달할 수 있는 생화학기법에 관한 연구가 더불어 진행된다면, 효과적인 멀티모달 피

부관리 기기 기술개발에 필요한 기초연구 기반이 될 수 있을 것으로 생각한다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (NRF-2019R1F1 A1062397).

References

- [1] U. D. Cho, "Designing of Complex Miniature Skin Care System," *Journal of Industrial Design*, vol. 4, no. 4, pp. 19-29, Dec. 2010.
- [2] J. H. Ji, "A Study on the Use of Beauty Equipments among Adult Women and Preferences," *Journal Of The Korean Society of Design Culture*, vol. 24, no. 4, pp. 407- 417, Dec. 2018.
- [3] S. J. Kim and Y. W. Lee, "Experimental Study on LED Irradiating Effects on Human Cell with the Change of the Energy and Wavelengths," *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 14, no. 1, pp. 79-84, Jan. 2016.
- [4] P. Papageorgiou, A. Katsambas, and A. Chu, "Phototherapy with blue (415 nm) and red (660 nm) light in the treatment of acne vulgaris," *British Journal of Dermatology*, vol. 142, pp. 973-978, May. 2000.
- [5] S. Lee, C. You, and M. Park, "Blue and Red Light Combination LED Phototherapy for Acne Vulgaris in Patients with Skin Phototype IV," *Lasers in Surgery and Medicine*, vol. 39, pp. 180-188, Feb. 2007.
- [6] D. An, M. Kim, and S. Choe, "Optical and ultrasonic stimulation system to control fibroblast cell proliferation," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 69, no. 12, pp. 1977-1982, Dec. 2020.
- [7] J. Ha, M. Kwon, S. Kim, M. Jeong, B. Hwang, and H. Lee, "Enhancement of Skin-Whitening and UV-Protective Effects of Centella asiatica L.Urban by Utrasonification Process," *Korean Journal of Medicinal Crop Science*, vol. 18, no. 2, pp. 79-85, Apr. 2010.
- [8] S. Lee, C. You, and M. Park, "Blue and Red Light Combination LED Phototherapy for Acne Vulgaris in Patients with Skin Phototype IV," *Lasers in Surgery and Medicine*, vol. 39, pp. 180-188, Feb. 2007.
- [9] S. Choe, K. Park, C. W. Park, J. Ryu, and H. Choi, "Combinational light emitting diode-high frequency focused ultrasound treatment for HeLa cell," *Computer Assisted Surgery*, vol. 22, no. 1, pp. 79-85, Sep. 2017.
- [10] S. Choe and H. Choi, "Suppression technique of HeLa cells proliferation using ultrasonic power amplifiers integrated with a series-diode linearizer," *Sensors*, vol. 18, no. 12, 4248, Dec. 2018.
- [11] H. Choi and S. Choe, "Acoustic stimulation by shunt-diode pre-linearizer using very high frequency piezoelectric transducer for cancer therapeutics," *Sensors*, vol. 19, no. 2, 357, Jan. 2019.
- [12] K. Cho, J. Seo, G. Heo, and S. Choe, "An alternative approach to detecting cancer cells by multi-directional fluorescence detection system using cost-effective LED and photodiode," *Sensors*, vol. 19, no. 10, 2301, May 2019.
- [13] H. Choi, J. Ryu, K. Lim, T. Choe, and M. Leem, "Effect of High Frequency and Ultrasound Therapy on Skin pigmentation and Wrinkle," *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*, vol. 6, no. 3, pp. 11-19, Aug. 2008.
- [14] K. Cho and S. Choe, "Development of low cost module for proliferation control of cancer cells using LED and its therapeutic effects," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 9, pp. 1237-1242, Sep. 2018.
- [15] K. Cho and S. Choe, "Basic study on proliferation control of cancer cells using combined ultrasound and LED therapeutic module," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 8, pp. 1107-1113, Aug. 2018.
- [16] H. Choi, S. Choe, and J. Ryu, "A marco lens-based optical system design for phototherapeutic instrumentation," *Sensors*, vol. 19, no. 24, pp. 5427, Dec. 2019.
- [17] H. Choi, J. Ryu, and S. Choe, "A novel therapeutic instrument using an ultrasound light-emitting diode with an adjustable telephoto lens for suppression of tumor cell proliferation," *Measurement*, vol. 147, pp. 106865, Dec. 2019.
- [18] S. Choe, D. S. Terman, A. E. Rivers, J. Rivera, R. Lottenberg, and B. S. Sorg, "Drug-loaded sickle cells programmed ex vivo for delayed hemolysis target hypoxic tumor microvessels and augment tumor drug delivery," *Journal of Controlled Release*, vol. 171, pp. 184-192. Oct. 2014.



최세운(Se-woon Choe)

2001년 홍익대학교 전자전기공학부 공학사

2004년 University of Florida, Department of Electrical and Computer Engineering, MS

2008년 University of Florida, Department of Biomedical Engineering, MS

2011년 University of Florida, Department of Biomedical Engineering, PhD

현재: 금오공과대학교 메디컬IT융합공학과/IT융합공학과 조교수

※관심분야: 의광학, 생체 진단/치료기기, 생체신호 처리, 의용임베디드 시스템