

LED 광원에 따른 미세조류 *Scenedesmus obliquus*의 성장 특성

유용진^{1,4}, 김송이^{2,3}, 이건우^{1,3}, 이영복^{1,4}, 김진우^{2,3}, 김호섭^{1,4*}

¹선문대학교 나노과학과, ²선문대학교 식품과학과, ³선문대학교 차세대반도체기술연구소, ⁴씨이비티 (주)

Growth Characteristics of Microalgae *Scenedesmus obliquus* by LED Light Source

Yong Jin Yoo^{1,4}, Song Yi Kim^{2,3}, Geon Woo Lee^{1,3}, Young Bok Lee^{1,4},
Jin Woo Kim^{2,3}, Ho Seob Kim^{1,4*}

¹Department of Physics and Nano-science, Sun Moon University,

²Department of Food Science, Sun Moon University,

³Center for Next-Generation Semiconductor Technology, Sun Moon University, ⁴CEBT Co. Ltd.

요약 미세조류는 광합성을 수행하는 독립영양생물로 배양 환경을 변화시켜 미세조류 유래 유용물질의 축적을 증대시킬 수 있다. 본 연구에서는 미세조류 *S. obliquus*의 세포 성장에 주요 인자인 배지와 광원의 영향을 평가하기 위해 MBBM, Neo 배지와 7가지의 광원을 사용하여 39일 동안 배양하여 세포 성장을 측정하였다. 그 결과 MBBM과 Neo 배지에서 성장한 *S. obliquus*의 경우, Fluorescent light 광원과 Red2 LED (R660) 광원에서 세포 성장이 가장 높게 관찰되었고, Infra Red LED (R741) 광원에서는 세포 성장이 가장 낮게 관찰되었다. 평균 세포 성장률은 MBBM 배지에서 17.7 %, Neo 배지에서 15.4 %의 성장률을 확인하였다. MBBM과 수생식물 생산용 영양소를 포함한 Neo 배지의 건조세포무게(dry cell weight)를 비교하였을 때, Blue LED (B450)를 제외한 LED 광원에서 Neo보다 많은 세포 성장이 높은 것이 확인되었다. 이는, MBBM 배지가 Neo 배지보다 미세조류 세포량 증대에 보다 적합함이 증명되어 향후 미세조류 대량배양을 통한 유용물질 생산에 있어 광원 선정이 중요하다는 것이 확인되었다.

Abstract Microalgae are independent organisms that perform photosynthesis and can alter the culture environment to increase accumulation of useful substances derived from microalgae. In this study, cell growth was measured by incubation for 39 days using MBBM, Neo medium, and seven light sources, which is the main factor affecting cell growth of microalgae *S. obliquus*. In the case of *S. obliquus*, which grew in MBBM and Neo medium, cell growth was highest under fluorescent light sources and Red2 LED (R660) light sources, and cell growth was lowest under Infra Red LED (R741) light sources. The average cell growth rate was 17.7% for MBBM and 15.4% for Neo. Comparing the effects of dry cell weight of Neo medium containing nutrients on the production of aquatic plants, MBBM and dry cell weight of Neo resulted in higher cell growth than Neo medium under all LED light sources except for Blue LED (B450). This proves that MBBM is more suitable for increasing the cell growth of microalgae than Neo medium and confirms that light source selection is important in the production of useful materials through mass cultivation of microalgae in the future.

Keywords : Microalgae, *Scenedesmus obliquus*, LED light, Incubation time, Dry cell weight

본 연구는 중소벤처기업부와 한국산업기술진흥원의 "지역특화산업육성사업(R&D P0004891)"으로 수행된 연구결과입니다.

*Corresponding Author : Ho Seob Kim(Sun Moon Univ.)

email: hskim3@sunmoon.ac.kr

Received July 17, 2020

Revised August 14, 2020

Accepted November 6, 2020

Published November 30, 2020

1. 서론

바이오디젤은 재생 가능하며 환경친화적인 연료로 수송용 연료에 있어 기존의 화석연료를 대체할 재생에너지로 폭넓은 연구가 진행되고 있다[1]. 기존의 바이오디젤은 대두, 유채, 팥콩과 해바라기와 같은 식용작물로부터 생산되었으나 이는 식량자원과 충돌 문제로 인해 이를 대체할 비 식용작물 유래 바이오디젤에 대한 관심이 높아지고 있다. 미세조류는 육상식물에 비해 성장속도가 빠르고 지질 축적량이 높아 기존 작물의 15,300배 이상의 지질 생산성을 가진 비식용 바이오매스로 주목받고 있다. [2-4]. 특히, 미세조류 중에서 *S. obliquus*는 바이오디젤 생산성이 높은 균주로 지질 함량 (% dry cell weight)이 11.0~55.0이며, 바이오매스의 체적 생산성(g/L/day)은 0.004~0.074로 보고되고 있다[5-7].

이러한 1차 대사산물은 세포 성장과 비례하여 증가하는 특성을 가지는데, 미세조류 성장에 영향을 미치는 주요 요인으로 광원의 종류와 광량이 있으며[8] 성장을 촉진하는 LED 광원의 파장대 영역은 400~700 nm로 이는 blue, green과 red의 표현색을 나타내게 된다. LED 광원이 미세조류 생육에 영향을 미치는 것은 광원의 종류에 따른 광량자속 밀도값 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)과 밀접한 관련이 있다고 알려져, 각 파장대 광원의 최적의 조건을 구현하는 것이 미세조류 성장증대를 위해 고려되어야 할 사항이다 [9]. 미세조류를 이용한 폐수처리에 있어 녹조류에 속하는 *Scenedesmus*는 LED 단일파장의 조건보다 청색과 적색 LED 혼합 조건에서 세포 성장과 함께 질소와 인의 소비와 세포 성장이 높은 것으로 보고되고 있다 [10].

본 연구에서는 7가지의 LED 광원을 이용하여 해양 미세조류인 *S. obliquus*의 성장을 2 종류의 배지에 적용하여 세포 성장을 관찰하였다. 7 가지 광원은 white LED (W12), Red+Blue, Red와 Blue 혼합 (RB12), Blue LED (B450), Red1 LED (R640), Red2 LED (R660), Infra Red LED (R741), 형광등 (F.L)이며, 미세조류의 배양 배지는 Modified Bold's Basal Medium (MBBM)와 수중식물 배양을 위한 상업용 배지인 Neo 배지를 이용하였다. 이를 통해, 배양에 필수 요소인 광원과 배지 조성에 따른 *S. obliquus*의 성장을 흡광도 (optical density, O.D.) 측정과 건조세포무게 (dry cell weight)를 통해 비교 분석하였다. 이러한 연구는 LED 광원을 이용한 *S. obliquus*의 유용물질 생산을 위한 미세조류 대량 배양에 있어 유용한 기초정보로 이용될 연구로써 고

농도 배양과 이를 통한 바이오디젤 및 유용물질 산업화에 활용이 가능한 자료로 사료된다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 배양 균주

본 연구에서 배양한 해양시료도서관 (JeJusi, Korea)로부터 미세조류는 *S. obliquus*를 분양받아 사용하였다. 분양받은 미세조류는 MBBM 배지를 이용하여 25 °C 항온배양기에서 형광등을 12시간 명조건과 12시간 암조건으로 조사하여 15일 단위로 계대배양하였다. 이전의 논문에서와 같이 주사 전자 현미경(SEM) 관찰을 위해서, 배양된 *S. obliquus*는 -60 °C로 1차 냉각하고 동결건조기(FDU-1200, Eyela, Japan)에서 -57 °C로 약 2시간 동안 건조하였다. 건조된 샘플을 Au 코팅한 후 EPMA (JEOL JXA-8200 EPMA)에서 가속전압 10 kV, 배율 3,000배에서 관찰하였다. 본 연구에서 사용한 미세조류 *S. obliquus*의 대한 SEM 이미지로 가속전압 10 kV, 배율 3,000배에서 관찰하여 Fig. 1에 나타내었다[11].

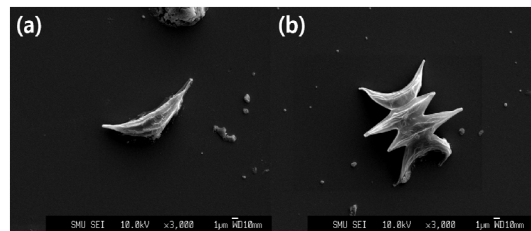


Fig. 1. The SEM images present *S. obliquus* growth[11] (a) Single-cell form (b) Four-cell combination form

2.2 배양용 LED 광원

기존의 보고에 따르면 *S. obliquus*의 성장률, 지질 함량 및 광합성 성능을 측정했을 때, *S. obliquus*는 약 $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 에서 최대 성장률을 나타낸다고 보고되고 있다[12]. 본 연구에서는 광원에 따른 미세조류 성장을 비교하기 위해 각기 다른 파장의 광원을 사용하였으며, 실험에 사용된 광원의 종류와 특성을 Table 1.에 정리하였다.

Table 1. Wavelengths of LED lights

No	Name	Wavelength (nm)		
		Range	1 st peak	2 nd peak
(a)	W12 ¹⁾	400-640	539	455
(b)	RB12 ²⁾	430-680	665	461
(c)	B450 ³⁾	410-490	450	-
(d)	R640 ⁴⁾	560-650	640	-
(e)	R660 ⁵⁾	610-690	660	-
(f)	R741 ⁶⁾	660-780	741	-
(g)	FL ⁷⁾	380-720	549	614

¹⁾ White, ²⁾ Red+Blue(2:1 mix), ³⁾ Blue, ⁴⁾ Red1, ⁵⁾ Red2, ⁶⁾ Infra Red, ⁷⁾ Fluorescent light

Fig. 2는 배양에 사용된 LED를 스펙트로미터(SM245, Spectral products, Korea)로 측정하여 관찰된 스펙트럼을 비교한 그림이다. 아래에 보이는 (a)는 White LED이며, 피크 파장은 539 nm와 455 nm를 가진다. (b)는 Red 2 : Blue 1의 비율인 Red & Blue 혼합 LED이며, 피크 파장은 665 nm와 461 nm이다. (c)는 Blue LED로 피크 파장은 450 nm를 가진다. (d), (e)와 (f)는 Red LED이며, 피크 파장은 각각 640 nm, 660 nm, 741 nm를 가진다. (g)는 Fluorescent light이며, 피크 파장은 549 nm와 614 nm를 가진다. 7가지 광원을 동일 조건 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 로 조정하고 배양에 사용하였다.

2.3 배양 배지

미세조류의 배양을 위하여 Modified Bold's Basal

Medium (MBBM)와 Neo 배지를 사용하였다. MBBM는 16가지 성분으로 구성되어 있으며 배양성분 중에서 NaNO_3 는 전체에서 39.06 %를 차지하고, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, K_2HPO_4 , KH_2PO_4 등은 11.8 %, 이외의 성분은 0.2-4.8 %를 차지하고 있다[11, 13-14].

Neo 배지는 Aquario사 (Namyangju-si, Korea)에서 생산하는 수초재배용 액상 비료로 Neo solution 1, Neo solution 2로 이루어져 있으며 Neo solution 1의 성분 4가지 질소(N), 칼륨(K), 마그네슘(Mg) 그리고 인(P)으로 구성되어 있으며 Neo solution 2는 성분 철(Fe), 붕소(B), 몰리브덴(Mo) 그리고 칼슘(Ca)으로 이뤄져 있다. 그 외 기타 필수 미세 원소, 아미노산 등을 포함하고 있다.

2.4 배양 조건 및 방법

S. obliquus 배양을 위한 배양기 온도는 20 ± 1 $^\circ\text{C}$ 로 유지하여 39일간 배양하였다. LED의 광량은 광양자 밀도 측정계 (LI-1500 Light sensor logger, LI-COR, USA)를 이용하여 $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 로 동일 조건으로 조절하였으며, 광주기는 12시간 명조건과 12시간 암조건으로, 외부의 빛을 차단하기 위하여 빛 차단막을 설치하였다. 배양액은 50 ml 튜브 (Falcon Centrifuge Tube, Wisd, Germany)를 이용하여 배양부피 30 mL로 진행하였다. 미세조류의 성장변화를 측정하기 위해 UV/Vis 분광광도기(Optizen 2120 UV, Mecacy Ltd, Korea)를 이용하여 680 nm에서 흡광도 (O.D.)를 측정하여 세

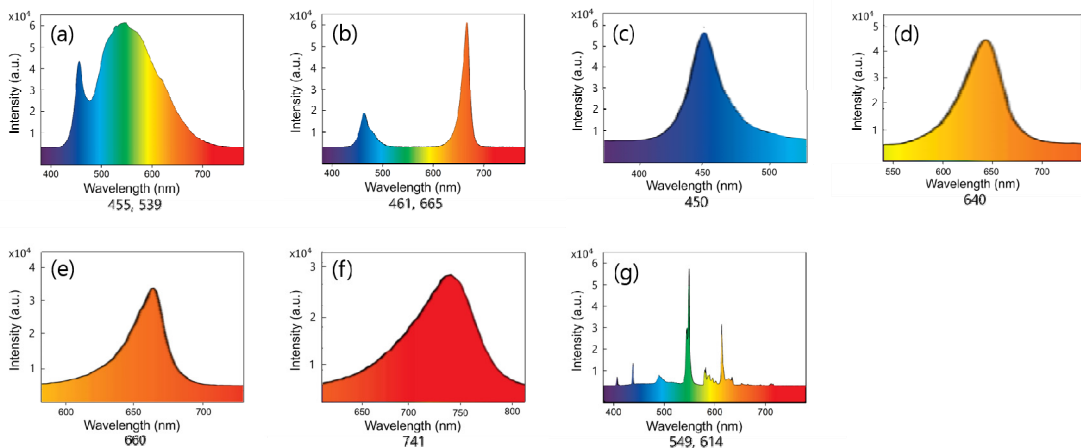


Fig. 2. Emission spectra of LED lights (a) White LED (W12): 455, 539 nm, (b) Red+Blue LED (RB12): 461, 665 nm, (c) Blue LED (B450): 450 nm, (d) Red1 LED (R640): 640 nm, (e) Red2 LED (R660): 660 nm, (f) Infra Red LED (R741): 741 nm, (g) Fluorescent light (FL): 549, 614 nm

포의 성장을 상대적으로 비교하였다. 흡광도값 측정 전 배양한 미세조류의 팔콘 튜브를 회전교반기 (VM-10, Daihan Scientific Co., Ltd, Korea)로 균일한 세포 상태로 혼합하여 흡광도값을 주 2회 측정하였으며, 측정은 각 광원에 따라 3회 반복 측정하여 그 평균값으로 세포의 성장을 비교하였다. 미세조류 배양 후 건조세포무게 (dry cell weight)를 측정하기 위하여 원심분리기 (SIB-05RH, 정 바이오텍, Korea)로 8000 RPM으로 10 분간 세포를 상등액과 분리하고[15] 증류수 5 ml를 분주하여 회전 교반기로 균일하게 혼합 후 칭량 접시에 담아 드라이 오븐에서 60℃에서 24 시간 건조하였다. 이후 분석용 전자저울 (WBA-220, Wisd, Germany)을 이용하여 건조세포무게를 측정하였으며, MBBM 및 Neo 배지 사용에 따른 세포량을 비교하였다.

3. 실험 결과

3.1 MBBM 배지에서 *S. obliquus*의 성장분석

*S. obliquus*가 MBBM 배양 배지에서 39일 동안 파장이 다른 7가지의 LED 광원에서 성장하는 동안 흡광도값을 측정하였다. 39일 배양 동안 최대 성장을 보인 F.L 광원에서 성장한 미세조류의 흡광도값은 0.029에서 0.274로 측정되었다. Infra Red LED (R741) 광원에서는 성장이 매우 느려 최종 0.062의 흡광도값이 관찰되었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 배양 10일까지, Infra Red LED (R741) 광원을 제외한 6가지의 광원에서 *S. obliquus*는 유사한 성장률을 보였고 20일 이후부터 F.L 광원이 다른 LED 광원보다 빠른 성장이 관찰되었다. Infra Red LED (R741) 광원은 성장의 변화가 거의 없는 것을 관찰하였다. 배양 39일의 흡광도값은 F.L 광원에서 0.274, Blue LED (B450) 광원에서 0.231, Red+Blue 혼합 LED (RB12) 광원에서 0.224, White LED (W12) 광원에서 0.22, Red2 LED (R660) 광원에서 0.218, Red1 LED (R640) 광원에서 0.213, Infra Red LED (R741) 광원에서 0.062의 값이 관찰되었다. 최대 흡광도값을 가진 F.L 광원과 최소 흡광도값을 가진 Infra Red LED (R741) 광원은 4.4배의 차이를 갖는 것을 확인하였다.

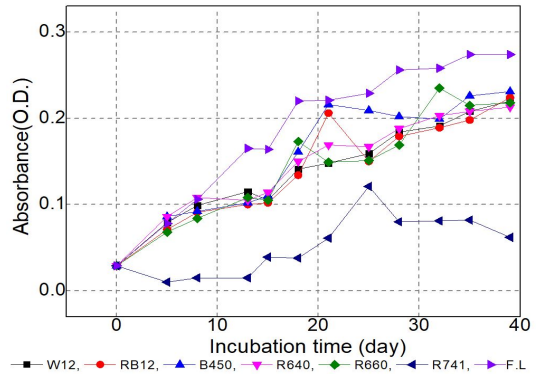


Fig. 3. Average growth curves of 3 times experiment of *S. obliquus* on MBBM culture medium by LED light sources (a) White LED (W12) (b) Red+Blue LED (RB12) (c) Blue LED (B450) (d) Red1 LED (R640) (e) Red2 LED (R660) (f) Infra Red LED (R741) (g) Fluorescent light (F.L)

3.2 Neo 배지에서 *S. obliquus*의 성장분석

미세조류 *S. obliquus*가 Neo 배양 배지에서 39일 동안 7가지의 광원에서 성장하는 동안 흡광도값을 측정하였다. MBBM의 배지보다 전체적으로 낮은 흡광도값이 관찰되었으며, 39일 배양 동안 최대 성장을 보인 Red2 LED (R660) 광원에서 성장한 미세조류의 흡광도값은 0.014에서 0.238로 측정되었다. MBBM 배지에서 성장한 것과 같이 Infra Red LED (R741) 광원에서는 *S. obliquus*의 성장이 매우 느리게 0.055의 흡광도값이 관찰되었다.

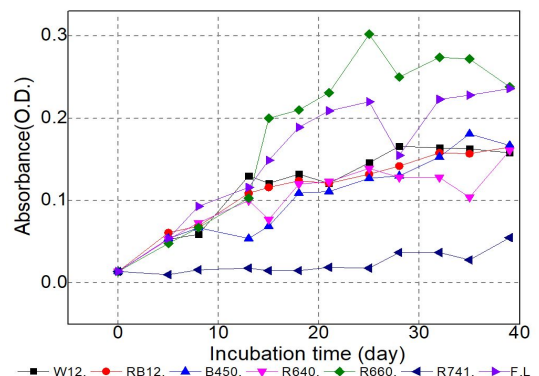


Fig. 4. Average growth curves of 3 times experiment of *S. obliquus* on Neo solution culture medium by LED light sources (a) White LED (W12) (b) Red+Blue LED (RB12) (c) Blue LED (B450) (d) Red1 LED (R640) (e) Red2 LED (R660) (f) Infra Red LED (R741) (g) Fluorescent light (F.L)

Fig. 4에서 보는 바와 같이 배양 10일까지 Infra Red LED 광원을 제외한 6가지의 LED 광원에서 *S. obliquus* 는 유사한 성장률이 관찰되었다. 배양 39일의 흡광도값은 Red2 LED (R660) 광원에서 0.238, F.L 광원에서 0.236, Blue LED (B450) 광원에서 0.167, Red+Blue 혼합 LED (RB12) 광원에서 0.165, Red1 LED (R640) 광원에서 0.161, White LED (W12) 광원에서 0.158, Infra Red LED (R741) 광원에서 0.055의 값이 관찰되었다. 최대 흡광도값을 가진 Red2 LED (R660) 광원과 Infra Red LED (R741) 광원은 4.3배의 차이를 갖는 것을 확인하였다.

3.3 39일 배양 후 *S. obliquus*의 성장분석

MBBM, Neo 배지에서 7가지의 LED 광원에서 39일 배양 후 측정된 O.D.값을 비교한 그래프를 Fig. 5에 나타내었다.

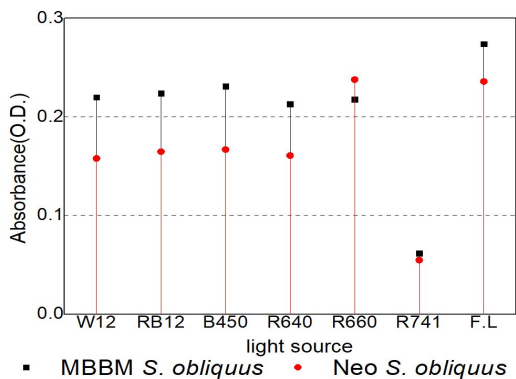


Fig. 5. Comparison of O.D. value increases after 39 days of incubation in MBBM and Neo medium

Neo 배지의 Red2 LED (R660), Infra Red LED

(R741)을 제외하고 MBBM의 O.D.값이 더 증가한 것을 확인하였다. 같은 색의 LED 광원 일지라도 파장이 다른 성장의 차이가 발생하는 것이 확인되었으며, 660 nm의 Red LED가 640 nm, 741 nm의 Red LED보다 *S. obliquus*의 성장에 도움을 주는 것을 확인하였다.

3.4 건조세포무게(dry cell weight) 분석

배양된 미세조류는 원심분리 후 24시간 건조 시킨 후 dry cell weight을 3번씩 측정하여 평균값을 구하였다. Table 2.는 *S. obliquus*의 MBBM, Neo 배지에서 성장한 미세조류의 O.D.값과 dry cell weight을 mg/L 단위로 측정해 비교하였다.

Fig. 6은 30 mL 배지에서 39일 동안 배양 후 성장한 세포를 건조하여 얻은 건조세포무게(mg/L)를 표현한 그래프이다. 흡광도값 및 건조세포무게는 각 시료를 3회 반복 측정하여 평균값을 나타낸 값이다. Blue LED (B450) 광원을 제외하고 MBBM이 Neo 배지보다 많은 건조세포무게를 가지는 것으로 관찰되었다.

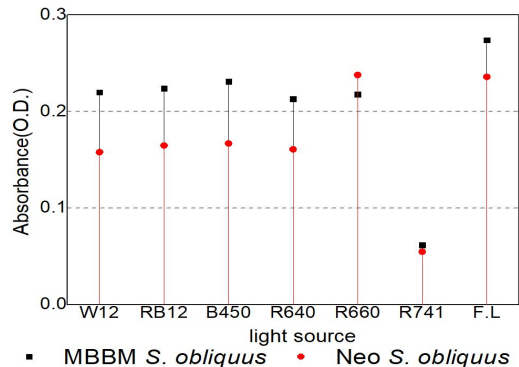


Fig. 6. Compare MBBM culture medium with Neo dry cell weight(mg/L)

Table 2. Comparison of absorbance(O.D.) and dry cell weight of *S. obliquus* grown during 39 days in MBBM, Neo medium.

No	Name	MBBM		Neo	
		Absorbance (O.D.)	Dry cell weight (mg/L)	Absorbance (O.D.)	Dry cell weight (mg/L)
(a)	W12	0.22	317	0.158	57
(b)	RB12	0.224	337	0.165	43
(c)	B450	0.231	107	0.167	167
(d)	R640	0.213	347	0.161	117
(e)	R660	0.218	257	0.238	40
(f)	R741	0.062	30	0.055	17
(g)	F.L	0.274	140	0.236	133

4. 결론

미세조류인 *S. obliquus*를 2종류의 배지(MBBM, Neo)와 파장이 다른 7가지의 LED 광원에서 총 28개의 *S. obliquus*를 39일 동안 배양을 진행하였다. 그 결과 MBBM 배지에서 성장한 *S. obliquus*의 경우 F.L 광원에서 흡광도 0.274로 가장 높게 관찰되었으며, Infra Red LED (R741) 광원에서 흡광도값이 0.062로 가장 낮게 나타났다. Neo 배지에서 성장한 *S. obliquus*의 경우 MBBM 배지와 같이 Red2 LED (R660) 광원에서 흡광도값이 0.238로 가장 높게 관찰되었으며, Infra Red LED (R741) 광원에서 흡광도값이 0.055로 가장 낮게 관찰되었다. MBBM 배지는 17.7 %의 평균 성장률을 가졌으며, Neo 배지는 15.4 %의 평균 성장률을 가지는 것을 확인하였다. MBBM 배지가 평균 성장률이 2.24 % 더 높다는 것을 확인하였다. 각각의 배지(MBBM, Neo)에서 39일 성장시킨 *S. obliquus*를 건조 시켜 건조세포무게를 비교하였을 때, White LED (W12)에서 317, 57 mg/L, Red+Blue 혼합 LED에서 337, 43 mg/L, Blue LED (B450)에서 107, 167 mg/L, Red1 LED (B640)에서 347, 117 mg/L, Red2 LED (B660)에서 257, 40 mg/L, Infra Red LED (R741)에서 30, 17 mg/L, F.L 광원에서 140, 133 mg/L이 관찰되었다. 이는 MBBM을 배지로 사용했을 때, Blue LED (B450)를 제외한 LED 광원에서 Neo 배지보다 높은 세포량 확보가 가능하다는 것이 확인하였다. 이러한 실험 결과는 미세조류의 성장이 LED의 광원과 배지의 선택이 중요하다는 것을 확인하였고, *S. obliquus*의 대량 배양을 위한 기초자료로써 유용하게 이용될 것이다.

References

- [1] P. Kaewkannetra, P. Enmak, and T. Chiu, "The effect of CO₂ and salinity on the cultivation of *Scenedesmus obliquus* for biodiesel production," *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, Vol. 17, No. 3, pp. 591-597, Jun. 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12257-011-0533-5>
- [2] Y. J. Bae, "The Diverse Use of Microalgae and its Potential Contribution to Achieving Sustainable Development in Africa", *Journal of the Korean Association of African Studies*, 2017, Vol. 52, No. 1, pp. 49-86(38 pages)
- [3] Abomohra, A. E. F, W. Jin, R. Tu, S. F. Han, Eid, M, Eladel, H, "Microalgal biomass production as a sustainable feedstock for biodiesel: current status and perspectives.", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 64, pp. 596-606, Oct. 2016
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.056>
- [4] X. Li, H. Y. Hu, J. Yang "Lipid accumulation and nutrient removal properties of a newly isolated freshwater microalga, *Scenedesmus sp.* LX1, growing in secondary effluent", *New Biotechnology*, Vol. 27, Issue 1, pp. 59-63, Feb. 2010
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2009.11.006>
- [5] L. L. Mathieu & J. Xue, "Microalgae (*Scenedesmus obliquus*) dewatering using forward osmosis membrane: Influence of draw solution chemistry" *Algal Research*. Vol. 15. pp.1-8, Apr 2016
DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2016.01.014>
- [6] Mata T. M, Martins A. A, Caetano N. S, "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review", *renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 14, No. 1, pp.217-232 2010
- [7] D. G. Kim, Y. E. Choi, "Microalgae Cultivation Using LED Light", *Korean Chemical Engineering Research*, Vol. 52, No. 1, pp. 8-16, Feb. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.9713/KCER.2014.52.1.8>
- [8] Sforza E ,Urbani S ,Bertucco A . "Evaluation of maintenance energy requirements in the cultivation of *Scenedesmus obliquus*: effect of light intensity and regime" *Journal of applied phycology*, Vol. 27 No. 4 pp. 1453-1462, 2015
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0460-x>
- [9] G. W. Bang, Y. H. Kim "LED for plant growth regulators for the study of Light on the device.", *Journal of Digital Convergence*, vol. 10, no. 7, pp.267-272 Jan 2012
- [10] S. J. Oh, H. K. Kwon, J. Y. Joon, H. S. Yang "Effect of Monochromatic Light Emitting Diode on the Growth of Four Microalgae Species (*Chlorella vulgaris*, *Nitzschia sp.*, *Phaeodactylum tricoratum*, *Skeletonema sp.*)", *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, Vol. 21, No. 1, pp.1-8, Feb 2015
DOI: <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.1.001>
- [11] Y. J. Yoo, G. W. Lee, D. H. Baek, J. W. Kim, Ho S. Kim, "Growth Evaluation of *Scenedesmus Obliquus* Microalgae Using Raman Spectroscopy", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 21, No. 5, pp. 223-229, May 2020
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.5.223>
- [12] S. Eleonora, G. Barbara, D. F. S. Carlos, B. Alberto, "Effects of Light on Cultivation of *Scenedesmus Obliquus* in Batch and Continuous Flat Plate Photobioreactor", *Chemical Engineering Transactions*, Vol. 38, pp. 211-216, 2014
DOI: <https://www.doi.org/10.3303/CET1438036>
- [13] S. J. Joo, H. J. Hwang, S. Zhang, S. J. Hwang, "Effects of light condition in the continuous mass cultivation of microalga *scenedesmus dimorphus*", *Korean Society*

of Water and Wastewater, Vol. 29, No. 3, pp. 319-323, Jun 2015.

DOI: <https://doi.org/10.11001/jksww.2015.29.3.319>

[14] S. J. Joo, S. Zhang, K. J. Choi, S. M. Lee, S. J. Hwang, "Effects of sodium bicarbonate as an inorganic carbon source on the growth of *scenedesmus dimorphus*.", *Journal of Korean Society of Wastewater*, Vol. 28, No. 5, pp.555-560, Oct 2014

DOI: <http://dx.doi.org/10.11001/jksww.2014.28.5.555>

[15] S. Y. Kim, S. J. Jung, H. S. Kim, D. H. Gam, and J. W. Kim, "Optimization of extraction conditions for astaxanthin from *haematococcus pluvialis*", *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal*, Vol. 34, No. 4, pp.346-351 Dec 2019

DOI: <http://dx.doi.org/10.7841/ksbbj.2019.34.4.346>

유 용 진(Yong-Jin Yoo)

[준회원]



- 2016년 2월 : 선문대학교 공과대학 정보디스플레이학과 (학사)
- 2018년 8월 ~ 현재 : 선문대학교 일반대학원 나노과학과 (석사과정)

<관심분야>
ICT, 바이오

김 송 이(Song-Yi Kim)

[준회원]



- 2019년 2월 : 선문대학교 건강보 건대학 식품과학과 (학사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 선문대학교 일반대학원 응용생물과학과 (석사)

<관심분야>
발효, 바이오

이 건 우(Geon Woo Lee)

[준회원]



- 2019년 8월 : 선문대학교 공과대학 정보디스플레이학과 (학사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 선문대학교 일반대학원 나노과학과 (석사과정)

<관심분야>
ICT, 반도체, 바이오

이 영 복(Young-Bok Lee)

[준회원]



- 2014년 2월 : 선문대학교 나노과학과 (석사)
- 2014년 2월 ~ 현재 : 선문대학교 나노과학과 (박사)

<관심분야>
ICT, 바이오

김 진 우(Jin-Woo Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 인하대학교 생물공학 (공학석사)
- 2000년 5월 : Colorado State Univ.(美) 화학공학과 (공학석사)
- 2004년 10 : McGill Univ. (캐) Biosystems Engineering (박사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 식품과학과 교수

<관심분야>
생물, 바이오

김 호 섭(Ho Seob Kim)

[정회원]



- 1992년 5월 : 인하대학교 물리학과 (학사)
- 1992년 5월 : 미국 미주리주립대학교 물리학과 (박사)
- 1992년 5월 ~ 1997년 10월 : 미국 IBM T. J. Watson 연구소 연구원
- 1992년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 디스플레이반도체공학과 교수

<관심분야>

반도체기술, 스마트팜