

Effect of Growth Improvement in Photosynthetic Bacteria as a Function of 880 nm Light Emitting Diode Luminosity

Daesik Kim¹, So Young Chang² and Jin Chul Ahn^{2,†}

¹Department of Clinical Laboratory Science, Dongnam Health College,

²Medical Laser and Device Research Center, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

Light Emitting Diode (LED) of 880 nm was used as a function of luminosity in culture of the photosynthetic bacteria including *Rhodobacter* sp.. An array of 880 nm LED was driven with an energy density of 6.0 mW/cm². In processing time, we were able to show that the cell growth were gained of significant changes in the pigment and in the dry weight. And we also showed that photosynthetic bacteria had the reasonable relativity of optical density to dry weight. LED-880 nm is of great significance for the potential use of photo-bioreactor construction.

Key Words: Photosynthetic bacteria, Light emitting diode, Energy density, Cell growth, Luminosity, *Rhodobacter* sp., Bacteria growth

서 론

무기물은 물론 각종 유기물을 영양원으로 이용하여 광합성산물을 생산하는 광합성세균은 고온 및 저온에서도 잘 견디고, 내염성도 강하며 담수상태인 곳에서는 거의 대부분 존재하는 미생물 (Lee, 1971)로 이 세균의 생리화학적, 생태학적 기능에 관한 기초연구를 기반으로 한 농업적 이용에 관한 연구와 미생물 상품개발 연구들이 활발히 진행되어 왔다.

광합성세균은 녹색유황세균 (green sulfur bacteria)과 홍색유황세균 (purple sulfur bacteria), 황색비유황세균 (purple non sulfur bacteria)으로 크게 구별되며 농축수산물 및 폐수처리, 단일단백질 (Sasikala and Ramana, 1995), 향미생물 제재 (Mundt et al., 2003), 치료물질 구성성분 (Suwanto, 1999; Sasaki et al., 2002) 등 유용물질 생산에 광범위하게 이용되고 있다. 특히, 황색비유황세균의 로도박터 종 (*Rhodobacter* species)은 무기물 보다는 유기물을 광합성 반응의 수소공여체로 우선 이용하는 특성이 있어 (Lee, 1971; Cheong et al., 1997) 유기물 폐수의 정화처리 및 양식, 축산사료 첨가제, 유기질 비료의 기능 개선제 분야에서 폭넓게 사용되는 등 농업적 이용 측면에서 연구가 이

미 활발히 진행되고 왔고 (Matsunaga et al., 1991; Halon et al., 1998; Rajasekhar et al., 1999) 또한 비타민 B12, Coenzyme Q10, ALA (aminolevulinic acid), porphyrin과 같은 의약품분야에 이용 가능한 제품들을 생산하고, 식품산업에서 항증강제로 이용되면서 인간면역기능을 위한 식이재료로 이용 가능한 RNA를 생산할 수 있어 고부가가치 상품생산을 위한 재료로도 주목받고 있다 (Ken et al., 2005).

산업에 사용할 광합성세균의 대량 배양의 필요성이 대두되면서, 광원으로 자연 빛을 활용한 미생물 대량 배양에서 야기되었던 시간, 장소 및 계절적 문제점 (Pulz, 2001)을 해결하기 위해 인공배양기를 고안하여 형광등, 삼파장 램프 등의 인공조명 (artificial light)을 새로운 광원으로 대체하여 미생물의 대량생산 및 소량생산이 가능하게 되었다 (Kim, 2002). 광원으로 쓰이는 인공조명의 전기적인 효율 (electrical efficiency), 열소산 (heat dissipation), 신뢰성 (reliability), 내구성 (durability), 수명 (lifetime), 비용 (cost), 스펙트럼 출력 (spectral output)면을 개선하여 보다 효과적인 광합성세균 배양을 위해 Laser diode (LD) 와 Light emitting diode (LED), Vertical cavity surface emitting laser (VCSEL)과 같은 다양한 광원을 이용한 미생물 배양 연구들이 시도되었다 (Bertling et al., 2005).

Rhodobacter sp.를 비롯한 황색비유황세균에 들어 있는 대표적인 광합성 색소인 bacteriochlorophyll (Bchl)은 종류에 따라 a, b, c, d, e, f로 나뉜다. Bchl을 함유하는 chromatopore의 흡수곡선을 살펴봤을 때 여러 파장에서 흡수대를 나타내는데 아세톤이나 에탄올과 같은 유기용

*논문 접수: 2008년 6월 11일

수정재접수: 2008년 6월 23일

†교신저자: 안진철, (우) 330-714 충남 천안시 안서동 산 29번지, 단국대학교 의과대학 329호 (단국대학교 의학레이저연구센터)
Tel: 041-550-1786, e-mail: jcahn@dankook.ac.kr

매 추출을 사용하지 않은 미생물 부유액 상태에서 805 nm와 875 nm의 장파장 쪽에서도 흡수극대를 나타내는 것으로 보고된 바 있으며 (Kim and Kim, 1981) *Chromatium tepidum*과 같은 균종에서는 917, 855, 800 nm에서 흡수극대가 나타나는 것으로 보고되었다 (Tsunenori et al., 1986). 이와 같이 황색비유황세균이 적외선 (Infra red) 파장 빛 부분에서 흡수극대를 나타내며 광합성을 하는 것에 착안하여 본 실험에서는 스펙트럼 분포 (Spectral distribution)가 840~920 nm의 특성을 나타내고 있는 880 nm LED를 광원으로 사용했을 때 광합성세균의 성장증진효과를 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

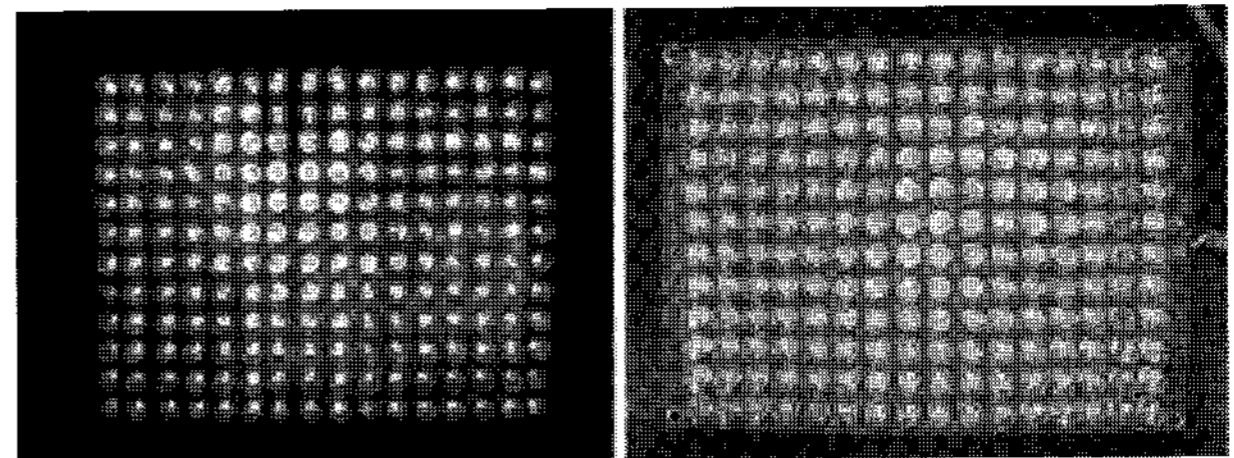
1. 균주 및 배양배지

본 실험에 사용된 균주는 *Rhodobacter sphaeroides* 및 *Rhodobacter capsulata*로 유일환경산업에서 판매중인 홍균-PSB를 사용하였으며, 제품 구입배지에서 계대 배양하여 사용하였다. 기본배지 조성은 증류수 liter 당 KH_2PO_4 0.33 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.33 g, NaCl 0.33 g, NH_4Cl 0.5 g, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.05 g, Sodium succinate 1.0 g, Yeast extract 0.02 g, Trace salt solution 1 mL, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.02% solution 0.5 mL, pH 7.0이다. Trace salt solution 조성은 증류수 liter 당 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 10 mg, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 3.0 mg, H_3BO_3 30 mg, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 20 mg, $\text{NaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2.0 mg, Na_2MoO_4 3.0 mg이다.

배지를 조성하여 고압습윤멸균 후 파이렉스 캡 배양 튜브 (Pyrex tube, Culutre, 25×150, Screw cap with Rubber Liner)에 접종하여 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 배양하였다.

2. 광원장치

본 연구에 사용된 광원은 880 nm LED (Photron Co., PI-3A521)로 스펙트럼 분포 840~920 nm 사이의 빛의 강도 (Luminous intensity)를 나타내고 있으며 에너지의 세기는 6.0 mW/cm^2 로 공급하였다. 실험대조군으로 삼파장 램프 (형광등)와 630 nm LED (U-Jin LED Co., LTD, ULP-H5R1101 A)를 사용하였다. 880 nm LED와 630 nm LED의 경우 12×16개의 LED (에너지 세기 6 mW/cm^2) 판넬을 제작하고, 높이 14 cm의 기둥을 세워 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 항온기에 장착하여 사용하였다 (Fig. 1). 삼파장 램프의 경우 2,025 Lux를 유지한 항온기를 사용하였다.



(A) 630 nm LED

(B) 880 nm LED

Fig. 1. 630 nm LED and 880 nm LED panel array. They had the same energy density (6 mW/cm^2) but their colors were different. The 630 nm LED was reddish and the 880 nm LED was no colored.

3. 균주의 성장 및 균체량

본 연구에 사용된 광합성세균은 혐기성 조건을 필요로 하므로 모든 광합성세균 배양은 혐기적인 조건하에서 이루어 졌으며, 시간에 따른 균체의 성장 정도는 균체가 분비하는 색소의 변화양상을 육안으로 관찰하고, 배양액의 일정량을 취하여 분광광도계 (Spectrophotometer, Optizen 2120 UV)를 이용하여 600 nm에서 흡광도를 측정하여 양상 정도를 파악하였다. 균체량 측정을 위해 시간별로 배양된 균체액을 5,000 rpm에서 15분간 원심분리 (Hanil Science Co., Ltd, Combi-514R, Rotor No. 6)한 후 상등액을 제거하고 침전물을 배지 1 mL에 부유시켜 초고속 원심분리기를 이용하여 11,000 rpm에서 2분 동안 재차 원심분리 (Hanil Science Co., Ltd, Micro-12)하여 얻은 침전물을 진공동결건조기 (Hanil Science Co., Ltd, Ecospin 3180C)로 -86°C , 1,800 rpm에서 over-night시켜 건조 균체량을 측정하였다.

결 과

1. 880 nm LED의 균체성장효과

본 연구에서 실험한 LED 효과를 비교하기 위해 880 nm LED 및 630 nm LED의 에너지 세기를 6.0 mW/cm^2 로 고정하고, 삼파장 램프는 2,025 Lux 조건에서 24 h, 48 h 및 72 h 동안 $30 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 배양된 광합성세균의 시간별 성장 정도를 흡광도를 이용하여 확인한 결과는 Fig. 2와 같다. 접종 24시간 후 OD_{600} 에서 측정한 흡광도는 각각 1.0, 0.8 및 0.7로에서 측정값이 별 차이를 나타나지 않았고, 접종 48시간 후 측정한 흡광도는 각각 3.3, 2.3 및 1.6로 나타났으며, 접종 72시간 후 측정값은 각각 4.9, 3.9 및 3.2로 대조군에 비해서 880 nm LED 처리 배양균이 높은 흡광도수치를 보이고 있음을 확인하였다 (Fig. 2).

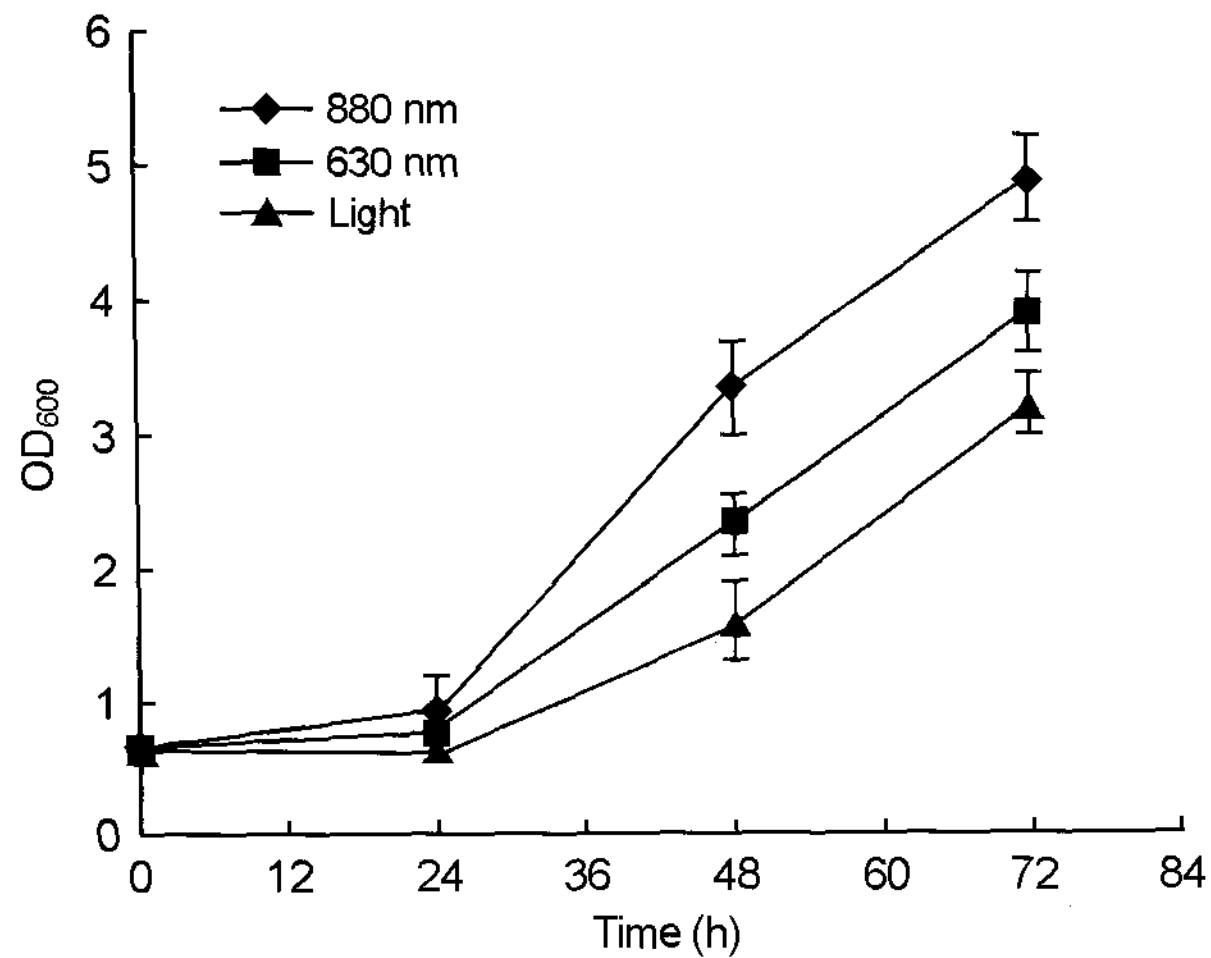


Fig. 2. Effect of cell growth as a function of LED luminosity. 880 nm LED-treated group had a significantly higher absorbance compared to 630 nm LED and light-treated groups.

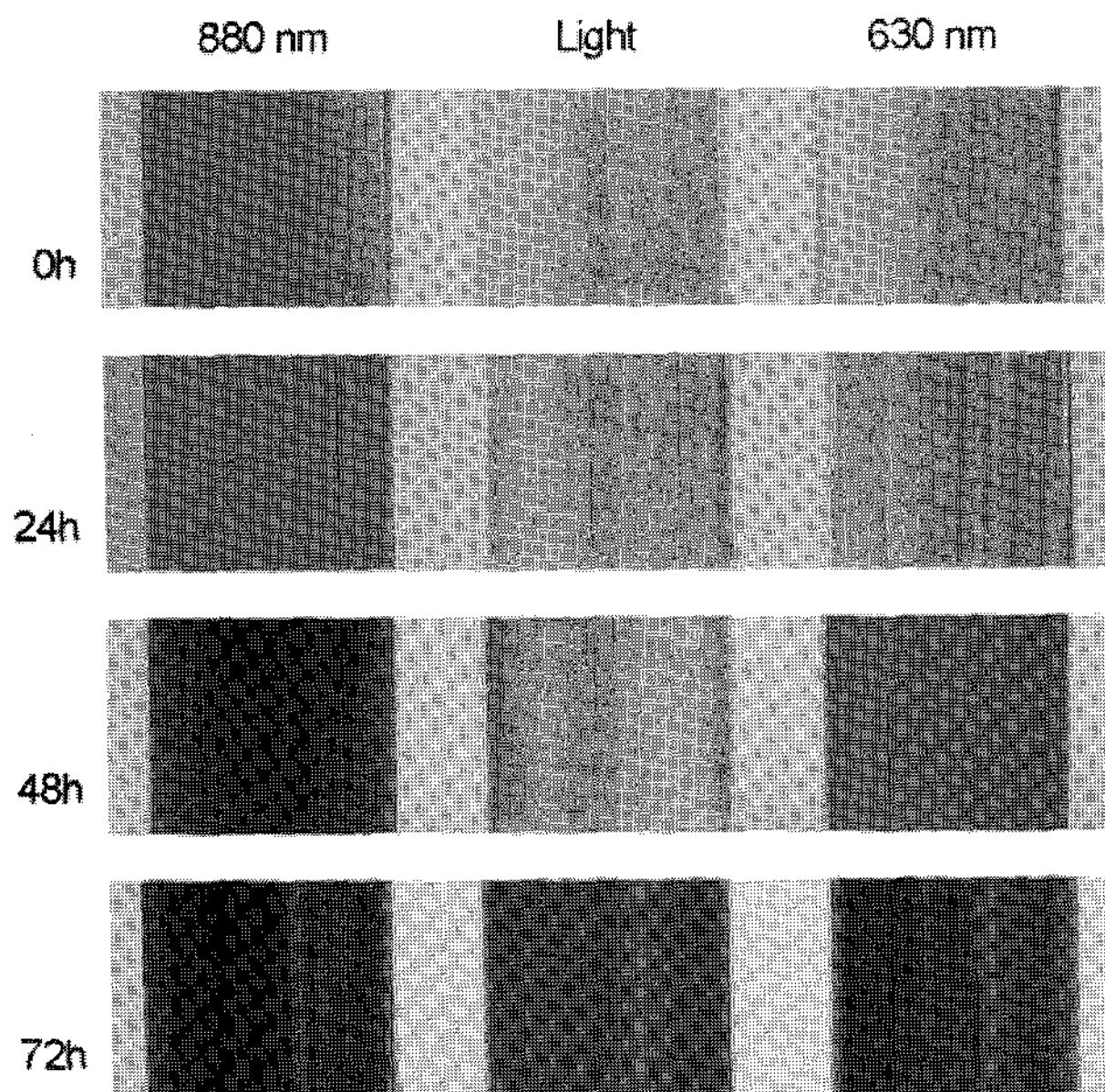


Fig. 3. Pigmented aspect of purple bacteria in culture medium. In processing time, 880 nm LED significantly enhanced the pigment compared to the other light sources.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 880 nm LED를 광원으로 하여 광합성세균을 배양한 경우가 630 nm LED 및 삼파장 램프 경우보다 훨씬 효과적인 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 접종 후 72시간이 되었을 때 실제로 산업 및 농가에서 미생물 대량 및 소량 배양시 접종되는 종균의 흡광도 OD₆₀₀ 4.2보다도 높은 OD₆₀₀ 4.9를 나타낸 반면 대조구로 실험한 630 nm LED와 삼파장 램프의 경우 접종 후 72시간 일 때 흡광도 OD₆₀₀는 각각 3.9, 3.2를 나타냈으며, 접종 후 4~5일이 지난 후에야 OD₆₀₀ 4.2에

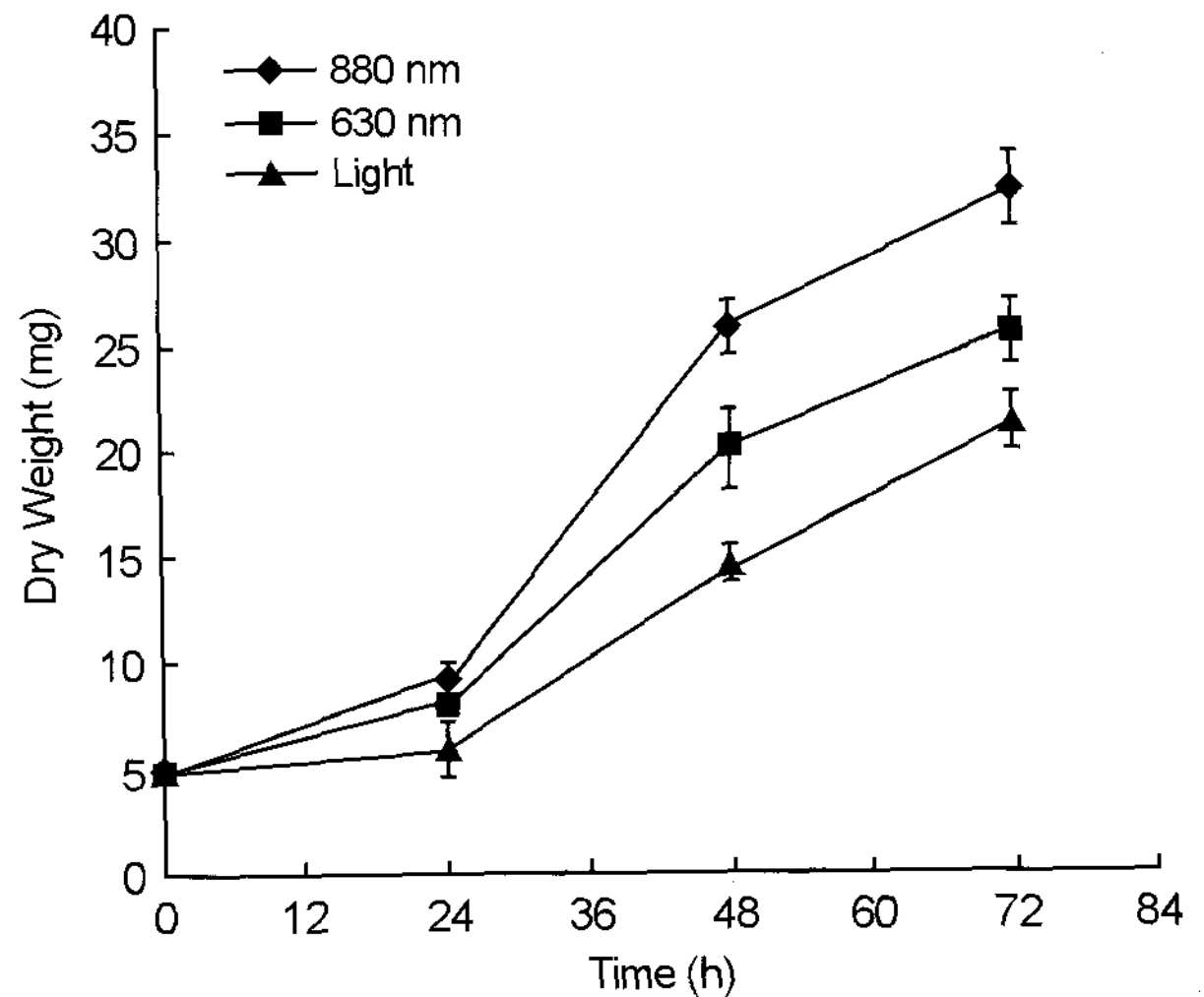


Fig. 4. Dry weight of cell growth as a function of LED luminosity. 880 nm LED-treated group had a significantly higher the amount of dry weight compared to the other groups.

도달함을 알 수 있었다.

Fig. 2에서 보여주는 결과는 통상적으로 배양되는 광합성세균의 배양기간이 5~10일 임을 감안하면 대조구로 쓰인 광원들의 효능이 떨어 진다기 보다는 880 nm LED가 bacteriochlorophyll을 가진 광합성세균의 광합성 작용을 촉진시킴으로써 단시간에 효과적인 생장이 가능하게 할 수 있었음으로 사료된다. 또한 시간에 따른 균체의 성장 정도는 균체가 분비하는 색소의 변화양상을 육안으로 관찰하였는데 *Rhodobacter* 종을 포함한 황색비유황세균의 색소가 자색을 나타내는 특성대로 본 연구에서 실험한 균주도 시간에 따른 흡광도에 비례해서 색을 나타냈다 (Fig. 3).

2. 건조 균체량

880 nm LED 광원을 이용하여 시간에 따른 미생물 배양액의 균체량을 알아보기 위해 접종 후 24 h, 48 h 및 72 h 동안 배양된 균체액을 원심분리 후 진공동결건조시켜 얻은 건조 균체량을 측정하여 대조구와 비교하였다 (Fig. 4). 접종 24시간 후 측정된 건조 균체량은 각각 9.0 mg, 8.0 mg 및 5.9 mg으로 흡광도와 마찬가지로 많은 차이를 나타나지 않았고, 접종 48시간 후 측정된 건조 균체량은 각각 25.7 mg, 20.0 mg 및 14.6 mg였으며, 접종 72시간 후 건조 균체량은 각각 32.3 mg, 25.5 mg 및 21.2 mg로 880 nm LED에서 배양된 균체가 접종 48시간 이후 부터는 가장 많은 건조 균체량을 나타냄을 확인하였다 (Fig. 4).

Fig. 4에서 보는 바와 같이 880 nm LED를 광원으로 이용하여 배양한 광합성세균의 건조 균체량이 630 nm LED 및 삼파장 램프 경우보다 많음을 알 수 있다. 접종 후 72시간 동안 배양한 건조 균체량을 비교한 결과 880 nm LED 처리군의 경우가 630 nm LED에 비해 26% 정도, 삼파장 램프에 비해 52% 정도 높은 균체량을 나타내었다. 이 결과는 Fig. 2의 흡광도 측정치와 마찬가지로 양상을 보였으며, 본 실험결과로부터 880 nm LED 처리 배양액의 흡광도와 배양액의 건조 균체량에 상관성이 있음을 확인할 수 있다.

고 찰

자연환경에 광범위하게 서식하고 있는 광합성세균은 균의 생리, 생태적 특성을 이용하여 하수나 생활폐수의 정화, 유기물이 오염되어 침전된 진흙의 생물적 환경정화 등 유기물 폐수처리 공정 등에 적용시켜 왔고 (Ken et al., 2005), 어류양식, 축산사료 첨가제, 유기질 비료의 기능 개선제 분야 (Nah et al., 1997)에서 폭넓게 사용되는 등 농업적 이용에 관한 연구와 단일단백질 (Sasikala and Ramana, 1995), 향미생물 제재 (Mundt et al., 2003), 치료물질 구성성분 (Suwanto, 1999; Sasaki et al., 2002) 등의 유용 물질을 생산하는 미생물 상품개발 연구들이 활발히 진행되어 왔다.

황색비유황세균의 로도박터 종 (*Rhodobacter species*)은 무기물 보다는 유기물을 광합성반응의 수소공여체로 우선 이용하는 특성이 있어 (Lee, 1971; Cheong et al., 1997) 유기물 폐수의 정화처리 및 농업적 이용 측면에서 연구가 이미 활발히 진행되고 왔다 (Matsunaga et al., 1991; Halon et al., 1998; Rajasekhar et al., 1999). *Rhodobacter spheroids*의 경우 비타민 B₁₂, Coenzyme Q10, ALA (amino-levulinic acid), porphyrin과 같은 의약품분야에 이용 가능한 고부가가치 물질들을 생산할 수 있음이 보고되고 있고, *Rhodovulum sp.* PS88의 경우 식품산업에서 향증강제로 이용되고, 인간면역기능을 위한 식이재료로 이용 가능한 RNA 및 drug delivery system (DDS)에 적용할 수 있는 ESP와 같은 물질들을 생산할 수 있어 고부가가치 여러 가지 산업의 상품재료로 주목받고 있으며 활발히 연구개발 중에 있다 (Ken et al., 2005).

광합성세균의 산업적 대량 배양의 필요성이 대두되면서 기존 자연광만을 이용한 미생물 배양에서 야기되는 여러 문제점들 (Pulz, 2001)을 해결하기 위한 방편으로

인공조명을 새로운 광원으로 대체하여 미생물의 대량생산 및 소량생산이 가능하게 되었다 (Kim, 2002). 전기적인 효율, 열소산, 신뢰성, 내구성, 수명, 비용, 스펙트럼 출력면 등을 개선한 고효율 광합성세균 배양을 위한 인공광원으로 LD, LED, VCSEL 등의 빛 소자를 적용한 연구들이 진행되었고, 성과들이 보고되었다 (Bertling et al., 2005).

Magnesium porphyrin 화합물인 bacteriochlorophyll (Bchl)은 홍색비유황세균의 대표적인 광합성 색소로 Bchl을 함유하는 chromatopore의 흡수곡선을 살펴봤을 때 여러 파장에서 흡수대를 나타내는데 아세톤으로 추출한 이나에탄올과 같은 유기용매 추출을 사용하지 않은 미생물 부유액 상태에서 805 nm와 875 nm의 장파장 쪽에서도 흡수극대를 나타내는 것으로 보고된 바 있으며 (Kim and Kim, 1981), *Chromatium tepidum* 균종의 경우 chromatopore의 흡수곡선이 917, 855, 800 nm에서 흡수극대가 나타나는 것으로 보고되었고 (Tsunenori et al., 1986), *Rb. capsulatus* 37B4 균종의 경우 860 nm에서 흡수극대가 나타나는 것으로 보고되었다 (Bertling, 2005). 이와 같이 황색비유황세균이 적외선 파장 빛 부분에서 흡수극대를 나타내며 광합성을 하는 것에 착안하여 880 nm LED를 이용한 광합성세균의 성장증진효과를 확인한 본 실험에서는 880 nm LED가 부착된 배양기를 사용하여 광합성 미생물을 배양했을 때 기존에 통상적으로 5~10일 정도이던 배양시간을 2배 정도 단축시키는 결과를 확인할 수 있었다. Hans 등이 660 nm LED가 장착된 광합성세균용 bioreactor를 고안하여 클로렐라 배양 실험을 실시하였을 때 열소비 손실이 적어 에너지 효율면에서 효과가 있다는 보고를 한 바 있어 (Hans et al., 1996) 고가의 레이저 다이오드 (LD)나 비교적 짧은 수명의 형광등 보다는 LED 광원의 이용이 경제적 측면에서 보다 효과적임을 알 수 있었다. 기존 논문에서는 특정 광원을 이용한 광합성세균 배양 실험보다는 5,000 Lux 이상의 형광등을 이용한 홍색비유황세균의 배양법이나 (Kim and Lee, 2000), 3,000 Lux 정도의 형광등을 광원으로 이용하여 ALA를 생산하는 *Rhodobacter capsulatus*의 배양특성 (Cheong et al., 1997)을 연구하는 등의 세균 자체에 관심을 가진 연구들이 많아 880 nm LED를 이용한 다른 연구결과들과 비교할 수 없었다. 또한, 실험군으로 사용되었던 적색광을 나타내는 630 nm LED를 실험에 사용된 에너지 세기인 6 mW/cm²로 하였을 때의 빛의 밝기를 조도계로 측정했을 때 약 8,000 Lux 정도의 밝기를 나타내었고, 똑같은 조건으로 적외선

과장을 나타내는 880 nm LED의 경우 약 25 Lux의 빛의 밝기를 나타내었는데, 본 실험결과에서는 두 실험군 모두 대조군인 2,025 Lux의 형광등보다 미생물 생육기간을 단축시킴을 알 수 있었으며, 두 실험군이 같은 에너지 세기를 나타내지만 조도측정 시 빛의 밝기가 현저하게 적게 나타나는 880 nm LED를 광원으로 사용한 실험군이 미생물 생육기간이 훨씬 효과적으로 단축되는 것을 확인하였는데 이는 빛의 밝기가 빛의 세기가 비례하지는 않는 것으로 사료되며 마찬가지로 880 nm LED를 이용한 다른 연구결과들과 비교할 수 없었지만 저비용, 고효율 면에서 LED 광원의 가치는 확인할 수 있었다.

농업적 이용 측면의 한 일환으로 유기재배농가에서 화학적 유기질 비료를 대신하여 생물학 비료로 광합성세균이 광범위하게 사용되고 있고 그 효능의 탁월함 또한 보고되고 있지만 (Nah et al., 1997), 기존의 통상 5~10일 정도 소요되던 미생물 배양시간은 실수요자들의 경제적 부담일 수밖에 없다고 사료되어 수행한 본 실험은 880 nm LED를 광원으로 사용하여 단시간에 효과적으로 고농도 광합성세균을 배양할 수 있음을 확인할 수 있었다.

농축수산업 및 수질 정화분야에 880 nm LED가 부착된 광합성세균 배양기를 사용함으로써 미생물 배양에 숙련되지 않은 실수요자들도 오염의 위험부담과 유지비 부담을 줄이면서 품질면에서도 우수한 광합성세균을 효과적으로 배양하여 사용할 수 있을 것으로 사료되며, single cell protein이나 항미생물 제제, drug delivery system에 적용될 수 있는 물질들을 생산하는 광합성세균의 배양에도 880 nm LED를 광원이 사용한다면 산업경제적인 측면에서 많은 효과를 볼 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Bertling K, Hurse TJ, Kappler U, Rakic AD. Lasers-an effective artificial source of radiation for the cultivation of anoxygenic photosynthetic bacteria. *Biotechnol Bioeng.* 2005. 94: 337-345.
- Cheong DY, Choi YM. Isolation and cultural characteristics of δ -aminolevulinic acid producing photosynthetic bacteria. *Agr Chem Biotech.* 1997. 40: 561-566.
- Halon SP, Graham DL, Hogan PJ, Holt RA, Reeve CD, Shaw AL, McEwan AG. Asymmetric reduction of racemic sulfoxides by dimethyl sulfoxide reductases from *Rhodobacter capsulatus*, *Escherichia coli* and *Proteus* species. *Microbiology* 1998. 144: 2247-2253.
- Hans CPM, Hans B, Udo M, Van H, Bernd MAK, Luuc RM, Roger AB. Application of light emitting diodes in bioreactors: flashing light effects and energy economy in algal culture (*Chlorella pyrenoidosa*). *Biotech Bioeng.* 1996. 50: 98-107.
- Ken S, Masanori W, Yoshito S, Akihiro I, Napavarn N. Application of photosynthetic bacteria for medical fields. *J Biosci Bioeng.* 2005. 100: 481-488.
- Kim YU, Kim KS. Studies on the isolation and the application of photosynthetic bacteria. *J Kor Agr Chem Soci.* 1981. 24: 132-138.
- Kim JK, Lee BK. Mass production of *Rhodospseudomonas palustris* as diet for aquaculture. *Aquacul Eng.* 2000. 23: 281-293.
- Lee CG, Palsson BO. High density algal photobioreactors using light emitting diodes. *Biotechnol Bioeng.* 1994. 44: 1161-1167.
- Lee KW. General characters and application of photosynthetic bacteria. *Kor J Microbiol.* 1971. 9: 130-138.
- Matsunaga T, Takeyama H, Sudo H, Oyama N, Ariura S, Takano H, Hirano M, Burgess JG, Sode K, Nakamura N. Glutamate production from CO₂ by marine cyanobacterium *Synechococcus* sp. using a novel biosolar reactor employing light-diffusing optical fibers. *Appl Biochem Biotechnol.* 1991. 28: 157-167.
- Matthijs HCP, Balke H, Van Hes UM, Kroon BMA, Mur LR, Binot RA. Application of light-emitting diodes in bioreactors: Flashing light effects and energy economy in algal culture (*Chlorella pyrenoidosa*). *Biotechnol Bioeng.* 1996. 50: 98-107.
- Mundt S, Kreitlow S, Jansen R. Fatty acids with antibacterial activity from the cyanobacterium *Oscillatoria redekei* HUB 051. *J Appl Phycol.* 2003. 15: 263-267.
- Nah KC, Cho JY, Chung SJ. Effects of compost supplemented with cultured solution of photosynthetic bacteria (*Rhodospseudomonas capsulatus*) on the early growth of plug seedlings of tomato. *Kor J Organic Agr.* 1997. 5: 105-115.
- Pulz O. Photobioreactors: Production systems for phototrophic microorganisms. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2001. 57: 287-293.
- Rajasekhar N, Sasikala C, Ramana CV. Photoproduction of L-tryptophan from indole and glycine by *Rhodobacter sphaeroides* OU5. *Biotechnol Appl Biochem.* 1999. 30: 209-212.
- Sasaki K, Watanabe M, Tanaka T. Biosynthesis, biotechnological production and applications of 5-aminolevulinic acid. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2002. 58: 23-29.
- Sasikala C, Ramana CV. Biotechnological potentials of anoxygenic

phototrophic bacteria. I. Production of single-cell protein, vitamins, ubiquinones, hormones, and enzymes and use in waste treatment. *Adv Appl Microbiol.* 1995. 41: 173-226.

Suwanto A. Genetically engineered *Rhodobacter sphaeroides* for the overproduction of delta-aminolevulinic acid. *Appl Microbiol Biotechnol.* 1999. 51: 794-799.

Tsunenori N, Taisei F, Masahiro H, Michael TM. Organization of intracytoplasmic membranes in a novel thermophilic purple photosynthetic bacterium as revealed by absorption, circular dichroism and emission spectra. *Biochimica et Biophysica Acta.* 1986. 852: 191-197.