

# 왕겨 소각로 배연가스 이용을 위한 미세조류 배양 조건 확립<sup>†</sup>

## Microalgal Culture Conditions for Utilization of Flue Gas from Rice Husk Incinerator

박 승 제*	조 성 호**	이 진 석***	정 용 섭**
정회원			
S. J. Park	S. H. Cho	J. S. Lee	Y. S. Jeong

### ABSTRACT

This study was performed to investigate the optimum microalgal culture conditions using flask culture and to find the feasibility of using the flue gas of the rice husk incinerator for cultivating the microalgae.

The optimum initial pH of media was 4.5 for the microalgae culture, and the intermittently illuminated culture was more effective than the continuous illuminated culture. Thus, the balance between photosynthesis and formative metabolism must be considered thoroughly to cultivate microalgal cells. The optimum CO<sub>2</sub> concentrations were in the range of 7 to 10%, and the optimum temperature was about 35°C in both the daytime and the nighttime for the culture. When flue gas of the rice husk incinerator was applied to the microalgae culture using stirred photobioreactor, the dry cell weight was 0.026 g dry biomass/hr · ℓ. The results obtained in experiments indicated that the flue gas was effective for microalgae culture without any limitations.

**주요용어(Key Words):** 배연가스(Flue gas), 미세조류(Microalgae), 배양(Culture)

### 1. 서 론

조류는 민물이나 바닷물에서 서식하는 수중 미생물로 플랑크톤, 자유 부유조 및 고착종이 있다. 조류는 다른 광합성 식물처럼 핵 및 엽록체로 구성되어 있으며, 엽록체에는 클로로필과 카로티노이드 색소가 있다. 세포질은 선택적 투과도를 가지는 원형질막으로 싸여 있으며, 세포는 편모를 가져 운동성을

가진 것도 있다. 조류는 일반적으로 남조류인 *Chroococcus*, *Chlorella*, *Scenedesmus* 등과 같이 무성생식이 주류이나 유성생식을 하는 것도 많이 있다.

미세조류는 태양광을 에너지원으로 이용하여 이산화탄소를 고정화하는 탄소동화능력 및 오염된 물속에서 부영양화의 주원인인 질소와 인을 제거하는 뛰어난 능력이 있음이 밝혀졌었다(Berman et al., 1991; Hong and Lee, 1993; Kim and Park, 1993). 미

<sup>†</sup> 본 연구는 농림특정연구의 지원에 의하여 수행되었음.

\* 전북대학교 농과대학 농업기계공학과(농업과학기술연구소)

\*\* 전북대학교 농과대학 응용생물공학부(농업과학기술연구소)

\*\*\* 한국에너지기술연구소 바이오매스연구실

세조류의 대규모 배양 방법과 바이오매스 및 그 구성 성분인 지방 등의 실제적인 이용을 위한 연구는 2차 세계대전시 독일에서 처음으로 고려되었는데, 그 목적은 녹조류인 *Chlorella*를 대규모로 배양해 식품에 이용하기 위해서였다(Becker, 1994). 그 이후에 식품으로서의 이용 가능성을 위한 연구는 높은 조류 생산 비용, 사회적 수용 문제, 안전성(위생) 문제로 인해 침체되었다(Myers, 1953). 그러나 최근에는 수소, 탄화수소, 바이오연료(메탄, 알코올), 다당류, 지방, 단백질, 카로티노이드, 색소, 비타민, 스테롤, 효소, 항생제, 의약치료제 및 기타 유용한 화합물들이 조류에 의해 생산 가능함이 알려져 생명공학분야에서 잠재성이 있는 미생물로 많은 과학자들의 관심의 대상이 되고 있다(권과 김, 1993; 김, 1995).

호주 서부지역 Hutt Lagoond의 Western Biotechnology 회사는 실험실 규모와 개방배양조(50ha)에서 해양 미세조류인 *Dunaliella salina*로 이용하여 베타카로틴 생산 및 상업적 공정을 개발하였다(Borowitzka, 1991). 오늘날 카로틴이 풍부한 *Dunaliella*에 대한 상업적 생산 설비들은 이스라엘, 미국, 호주, 스페인 및 중국에서 운영되고 있다(Ami et al, 1991). 또한 미국, 일본 및 이스라엘에서 미세조류를 이용하여 화력발전소에서 방출되는 이산화탄소를 회수하고, 미세조류를 대량 배양하여 증류를 생산하려는 연구를 활발히 수행하고 있다.

미세조류를 배양하는데 적합한 대규모 생물반응기를 만드는 선결 조건은 효과적이고, 다루기 쉬워야 하며, 견고하고 가격이 싸야 한다. 배양기의 크기 및 모양은 지역조건, 천연물질의 종류 및 바이오매스의 이용 목적에 따라 결정되어야 하며, 특별한 생화학합물을 생산하기 위한 미세조류 배양을 위해서는 정교한 폐쇄반응기가 고려되어야 하고, 단백질 물질이나 세포 구성성분의 생산을 위해서는 다른 공정들과 경쟁하기 위해 저가의 개방형 배양기가 고려되어야만 한다(성 등, 1995). 대량 배양장치에는 초기 투자비가 낮고 유지 관리가 용이하나 부지 면적을 크

게 차지하며 생산성( $20 \text{ g}/\ell \cdot \text{m}^2$ )이 매우 낮은 개방형 탱크반응기와 초기 투자비 및 관리비가 높으나 이산화탄소 흡수 효율이 높으며 모든 배양 조건의 최적화를 할 수 있고 빛의 활용 효율과 생산성( $80 \text{ g}/\ell \cdot \text{m}^2$ )이 매우 높은 밀폐형 반응기가 있다. 밀폐형 반응기의 종류에는 밀폐형 관형반응기(tubular reactor), 수직형 탑반응기(tower plant), 원통형 생물반응기(cylindrical bioreactor) 및 광섬유반응기가 있다. 밀폐형 반응기의 장점은 오염을 방지할 수 있으며, 밤에도 온도 조절이 용이하며, 증발에 의한 물의 손실의 방지가 가능하고 특히 광섬유반응기는 거의 모든 조건의 최적화가 가능하다. 그러나 밀폐형 반응기는 투자비용이 높다는 단점이 있으며 특히 광섬유반응기는 초기 투자비용이 너무 높아 대형 배양시스템에는 적합하지 않은 것으로 판명되었다(Myers, 1953; 이, 1994).

본 연구는 왕겨 조각로의 배연가스를 이용하여 미세조류를 배양하기 위한 기초연구로서 삼각 플라스크를 이용한 배양 시스템을 제작하고 광주기, 배지의 산도, 배양온도, 배양공기의 이산화탄소 농도 등의 요인에 대하여 *Chlorella sp.*의 최대수율을 얻기 위한 최적 배양조건 확립과 회분식 광생물반응기에서 광을 조사하여 미세조류 배양 및 바이오매스의 수율을 평가하였으며 왕겨 조각로 배연가스의 미세조류 배양에의 활용 가능성을 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 균주 및 배양배지

사용된 균주로서는 한국에너지기술연구소에서 제공한 *Chlorella sp.*를 사용하였으며, 미세조류 배양을 위해 M4N 배지를 사용하였다. 세포 계대 배양은 3주동안 200rpm, 25°C, 1,000 럭스에서 실시하였으며 MBM 배지를 이용하였다. 각 배지의 조성은 표 1과 같다(Watanabe et al., 1992).

Table 1 Elements of M4N and MBM

Element	M4N (g/l)	MBM (g/l)
KNO <sub>3</sub>	5	0.2
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	2.5	0.075
MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	0.002175	0.0025
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.000222	0.000222
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.000079	0.000079
FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.003	0.002
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.00286	0.00286
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.0000247	0.0000247
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.2	0.175
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	—	0.075
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	—	0.01
NaCl	—	0.025

나. 배양시스템

미세조류 배양을 위하여 삼각 플라스크를 이용하여 제작한 장치는 그림 1과 같다. 광원으로는 20W 형광등 20개를 이용했으며, 광도는 5.5 klux이었다. 암막과 광원을 이용하여 광주기를 낮 12시간 및 밤 12시간으로 인위적으로 조절하였다. 온도는 온도조절기를 이용하여 온도의 요인 실험에서는 25℃ ~ 40℃, 그 외의 모든 실험에서 배양온도를 35℃로 조절하였다. 배양조로서 500 ml 삼각 플라스크에 배지(배양액) 225 ml를 넣어 멸균 후 사용하였다. 배지의 초기 pH는 초기 pH 요인 실험을 제외한 모든 실험에서 4.5로 하였으며 삼각 플라스크 배양 시스템에서의 초기 접종량은 모두 약 0.05 g dry biomass/ℓ이었다. 배양액은 자석교반기를 사용하여 교반을 했으며, 이산화탄소의 농도는 순도 99% 이상의 고압 이산화탄소와 공기를 각각의 유량조절기를 이용하여 부피비로 혼합하여 조절하였다.

pH 제어 실험과 왕겨 소각로 배연가스 적용 실험을 위한 회분식 광생물 반응기로서는 발효조(한국발

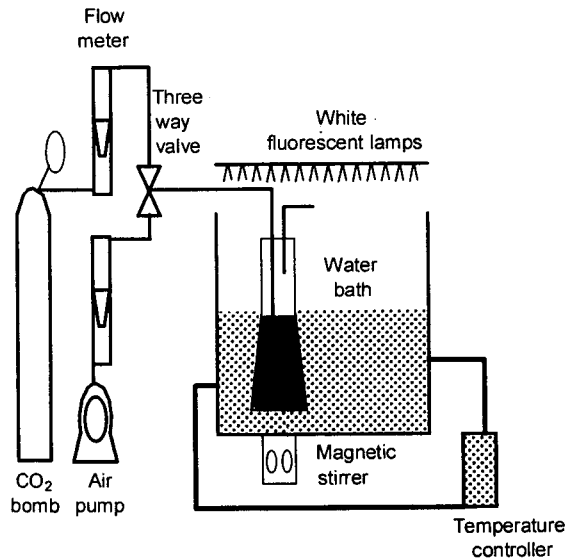


Fig. 1 Schematic diagram of microalgal culture apparatus.

효주식회사의 KF-2.5L)을 이용하였으며, 내경 33cm인 등근 형태의 40W 형광등 8개를 발효조의 용기 외부에 적층 설치하여 배양 시스템의 광원으로 이용하였다. 발효조 용기 외부 표면에서의 광도는 10 klux이었다. 발효조에 부착된 조절기에 의해 발효 온도, rpm, 기체유속 및 pH를 조절하였다. 그리고 플라스크 배양과 같은 방법에 의해 이산화탄소 강화공기의 농도를 조절하였다. 접종량은 전체 배양 부피비의 10%(v/v)로 했으며, 약 0.23 (g dry biomass/ℓ)이었다.

다. 분석 방법

균체의 건조중량을 측정하기 위해 배양액을 원심 분리관에 적당량 취하여 4,000rpm에서 25분간 원심 분리한다. 상등액을 제거한 후, 가용성 물질을 제거하기 위해 증류수를 가하여 혼합하여 준다. 다시 원심 분리하여 상등액을 제거한 다음, 균체를 105℃로 유지된 건조기에서 항량이 될 때까지 건조하여 데시게이터에서 냉각한 후 무게를 측정했다. 흡광도 측

정은 배양액을 적당히 희석한 후, 660 nm에서 분광광도계(Spectronic 21D, USA)를 이용하여 측정했으며, 흡광도와 건조질량 사이의 상관관계를 구하고 흡광도를 측정함으로써 건조질량을 환산하였다. pH는 폐하측정기(Orion model 720A)를 이용하여 측정하였으며, CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>의 분석은 가스분석기(VAK12, France)로 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 배지의 초기 pH

삼각 플라스크 배양 실험에서의 배지의 초기 pH의 영향을 그림 2에 나타내었다. pH 4.5와 pH 6 사이에서는 미세조류가 잘 성장함을 알 수 있지만, pH 3에서 성장이 완전히 저해받는 것을, pH 7.5에서는 약간 성장이 둔화되는 것을 보여주고 있다. 초기 pH가 4.5일 때 156시간 배양 후 최종 pH는 7 범위에 있었

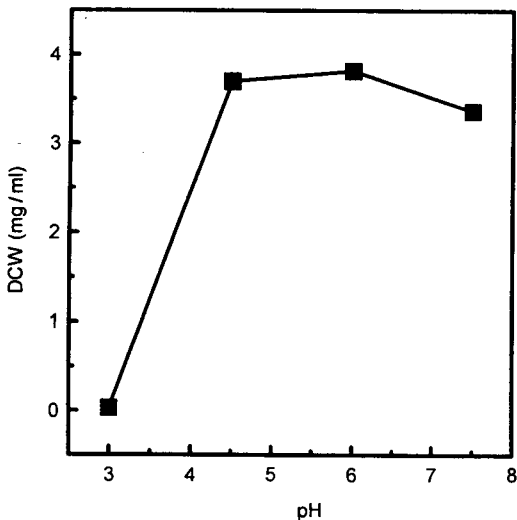


Fig. 2 Effect of initial pH of media on microalgal growth (dry cell weight) [Temp.; 30°C, Intensity of light; 5.5 klux, CO<sub>2</sub> conc.; 7%, Flow rate of CO<sub>2</sub> enriched air; 500 ml/min (2 vvm)].

다. 배지의 pH는 이산화탄소에 의해 영향을 받므로 알려져 있으므로(이산화탄소가 용해되어 산도가 올라감) 고농도 이산화탄소를 이용하여 미세조류를 배양할 때는 pH 조절이 필요할 것으로 생각되며 일반적으로 미생물들에게는 산성이 유리하므로 pH 조절을 하지 않는 배양에서 배지의 초기 pH는 4.5가 유리함을 알 수 있다.

회분식 광생물 반응기에서 pH를 조절한 경우와 조절하지 않은 경우의 미세조류 배양 결과를 그림 3에 나타내었다. pH를 조절한 경우의 미세조류 배양액은 전배양 시간동안 0.5 N HCl과 2 N NaOH를 이용하여 pH 6.5~7.0으로 조절이 가능하였다. 또한 pH를 조절하지 않은 경우는 초기 pH 5.8에서 계속 조금씩 증가하여 배양 마지막 시간에서 pH 8.1로 변

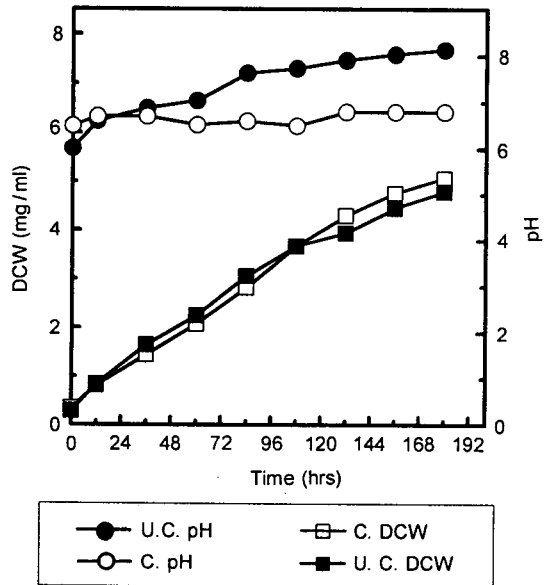


Fig. 3 Comparison of the growth curves between pH controlled and pH uncontrolled at stirred photobioreactor (U.C. : uncontrolled, C : controlled) [Temp.; 30°C, Intensity of light; 10 klux, CO<sub>2</sub> conc.; 7%, Flow rate of CO<sub>2</sub> enriched air; 500 ml/min(0.5 vvm). Mixing speed; 200 rpm].

화하였다. 그림에서 미세조류 성장은 배양초기에 pH를 조절한 경우가 pH를 조절하지 않은 경우에 비해 약간 떨어지는 것으로 나타나고 있다. 배양초기의 pH가 두 경우 모두 미세조류 성장에 영향을 주지 않는 범위에 있으므로, 미생물의 성장이 같아야 하나 미생물의 성장 특성상 있을 수 있는 실험오차로 판단된다. 그러나 배양시간이 84시간이 지난 후부터는 pH를 조절하지 않은 경우의 배지 pH가 7.5 이상으로 상승하여 미세조류의 성장에 영향을 미쳐 성장이 둔화되는 것을 알 수 있다. 이상으로 판단할 때 pH를 조절한 경우가 초기에 미세조류 성장이 약간 좋지 않았음에도 불구하고, 배양 후기에 pH를 조절하지 않은 경우보다 미세조류의 성장이 좋으므로 전체적으로 좋은 것을 알 수 있다. 그러므로 배양기에서 장시간 미세조류를 배양할 때는 pH를 조절하여 배양하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

#### 나. 광 주기

그림 4는 광주기에 관한 실험을 4일간 실시한 결과이다. 12시간 간격으로 주기적으로 광을 공급한 경우, 광이 공급되는 기간에만 성장이 이루어지고, 광이 공급되지 않은 경우에는 거의 성장을 보이지 않는 것을 알 수 있다. 그리고 12시간 주기로 광이 공급된 경우가 24시간 연속적으로 광을 공급한 경우보다 더 좋은 성장을 보임을 알 수 있다. 그림에서 24시간 광을 공급한 경우에는 꾸준히 성장을 하지만 3일이 경과한 후에는 12시간 주기로 광을 공급한 경우보다 수율이 낮은 것을 알 수 있는데 이러한 현상을 볼 때, 12시간 주기로 광을 공급하는 것이 더 효과적임을 알 수 있고, 따라서 광주기도 미생물 성장에 중요한 영향을 주는 인자인 것으로 판단된다.

#### 다. 이산화탄소 농도

그림 5는 CO<sub>2</sub>가 7%로 강화된 공기의 유속에 관한

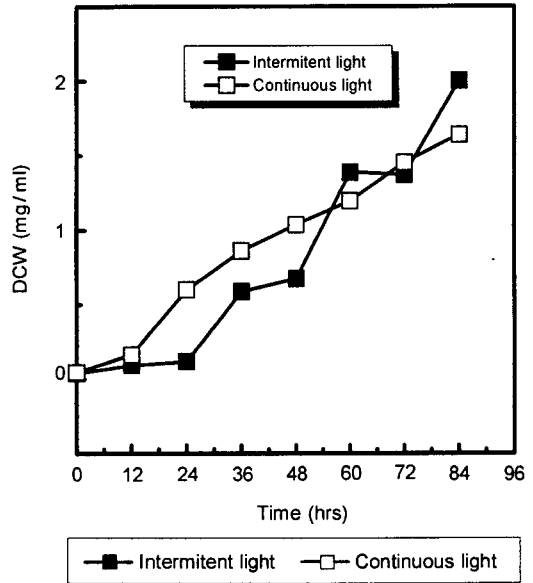


Fig. 4 Comparison of the growth curve between intermittent and continuous illumination

[Temp.; 30°C, Intensity of light; 5.5 klux, CO<sub>2</sub> conc.; 7%, Flow rate of CO<sub>2</sub> enriched air; 500 ml/min (2 vvm). Initial pH of medium; 4.5].

영향을 나타낸 그림이다. 108시간 동안의 배양에서 100 ml/min와 700 ml/min의 범위 내에서 세포 성장이 뚜렷한 차이를 보이지 않으나 500ml/min가 적당한 것으로 판단된다. 100ml/min의 유속에서도 세포성장을 위한 CO<sub>2</sub> 양은 충분히 공급되며, 과잉의 CO<sub>2</sub>는 미생물 성장에 이용되지 못하고 배양기를 이탈하는 것으로 판단된다. 유속은 배양액의 원활한 혼합과 관계가 있으므로 본 연구의 다른 실험조건에서는 500 ml/min을 사용하였다.

그림 6은 108시간 동안 *Chlorella sp.*의 성장에 미치는 공기 중의 CO<sub>2</sub> 농도에 관한 실험을 실시한 결과이다. CO<sub>2</sub> 농도 5%~15% 범위에서 세포성장이 큰 차이를 보이지는 않으나 7%~10% 범위가 적당한 것으로 판단된다. 특히 CO<sub>2</sub> 농도가 상당히 높은 15%

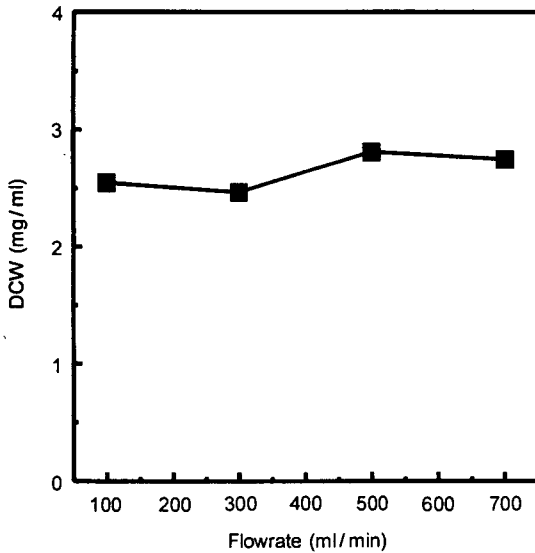


Fig. 5 Effect of flow rate of CO<sub>2</sub> enriched air on growth [Temp.; 30°C, Intensity of light; 5.5 klux, CO<sub>2</sub> conc.; 7%, Initial pH of medium; 4.5].

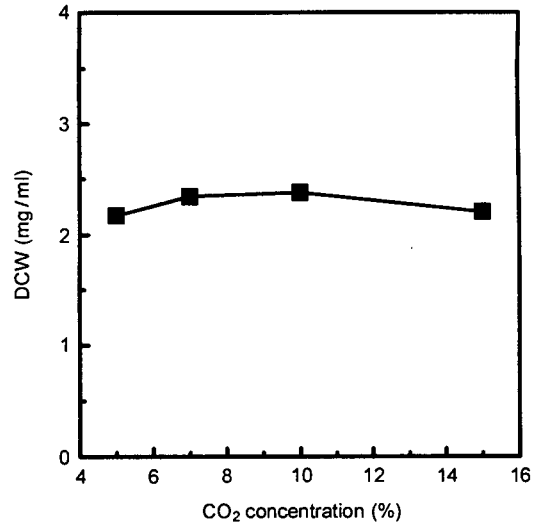


Fig. 6 Effect of CO<sub>2</sub> concentration in air on growth [Temp.; 30°C, Intensity of light; 5.5 klux, Flow rate of CO<sub>2</sub> enriched air; 500 ml/min (2 vvm), Initial pH of medium; 4.5].

에서도 좋은 성장을 보이는 것은 본 실험에 사용된 미세조류가 상당한 CO<sub>2</sub> 고농도에서도 성장할 수 있는 균주이기 때문으로 분석된다(Watanabe et al., 1992).

#### 라. 배양온도

그림 7은 배양온도가 미세조류 배양에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 두 가지의 적절한 CO<sub>2</sub>농도(7%와 10%)에서 108 시간동안 배양을 실시하였는데, 온도는 미세조류 성장에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다. 적정 온도범위는 30°C에서 35°C로 분석되고, 최적온도는 CO<sub>2</sub>농도 7%에서 최종 건조중량이 약 3.3 g/l를 나타낸 35°C 부근으로 판단된다. 또한 25°C 보다 40°C의 높은 온도에서 성장이 더 좋은 결과를 나타낸 것으로 볼 때 본 실험에 사용된 미세조류는 낮은 온도보다는 높은 온도에서 잘 견딜 수 있는 종류로 판단된

다.

그림 8은 108시간 동안 밤 기간의 온도가 조류 성장에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 조류는 일반적으로 낮에는 세포성장을 하나 밤에는 거의 세포성장을 하지 않고 세포분할만 하는 것으로 알려져 있다(Burlew, 1953). 전술한 본 실험의 광주기의 결과에서도 밤 기간에는 거의 성장을 하지 않는 동일한 결과가 나타났다(밤과 낮 기간의 온도는 동일한 조건). 그래서 밤 기간 동안의 온도가 세포분할에 영향을 주는지 확인하기 위해 실험을 실시하였다. 낮 기간의 온도는 35°C로 유지하고 밤 온도를 20°C, 25°C, 및 35°C로 유지한 결과 밤 온도도 역시 35°C에서 가장 좋은 성장을 보였다. 따라서 미세조류 배양온도는 낮과 밤 기간 모두 35°C로 유지하는 것이 최적으로 판단된다. 그러나 실용화 시스템과 같은 대규모에서는 야간에도 계속 높은 온도를 유지시키는 것은 에너지 소비가 크기 때문에 경제성을 고려해서 결정을 하여야 할 것이나 25°C 정도는 유지하는 것이 타

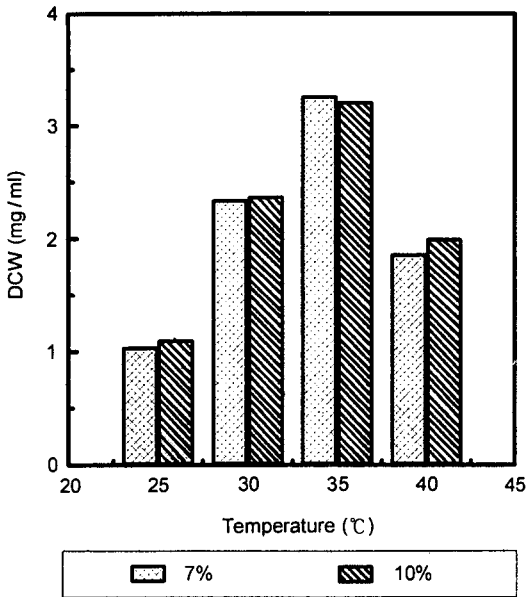


Fig. 7 Effect of temperature for two CO<sub>2</sub> concentrations on growth of microalgae [Intensity of light; 5.5 klux, CO<sub>2</sub> conc.; 7% & 10%, Flow rate of CO<sub>2</sub> enriched air; 500 ml/min (2 vvm), Initial pH of medium; 4.5].

당한 것으로 판단된다.

#### 마. 배연가스의 활용성

왕겨 소각로의 배연가스를 미세조류의 광합성에 필요한 이산화탄소 공급원으로 활용 가능한지를 구명하기 위하여 왕겨 소각로의 배연가스를 압축탱크에 저장하여 미세조류 배양실험에 사용하였다. 왕겨 소각로로부터 배출되는 배연가스는 연소에 필요한 과잉공기량에 따라 그 성분의 농도가 조금씩 차이가 날 수 있다. 배연가스는 Park and Kim(1996)의 연구에서 사용한 파이롯트 규모 왕겨 소각로의 왕겨 공급을 15kg/h, 과잉공기 70~100% 수준에서 포집된 것으로서 이산화탄소 농도는 약 7%인 것과 4.8%인 것이 실험에 사용되었다. 배연가스에 포함된 여타의 대기오염 가스는 CO(500~650PPM), NO(40~47

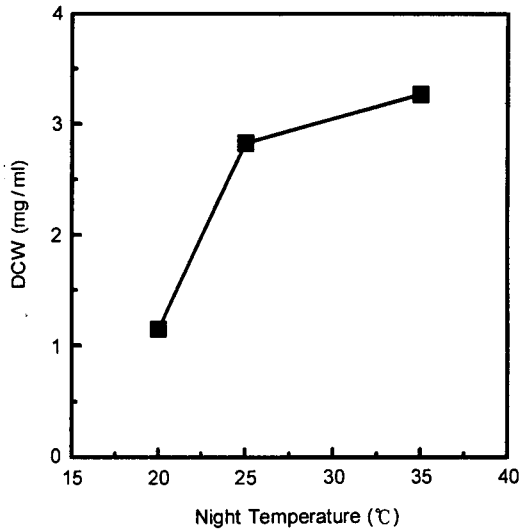


Fig. 8 Effect of night (Dark periods) temperature on growth of microalgae [Daytime Temp.; 35°C, Intensity of light; 5.5 klux, CO<sub>2</sub> conc.; 7%, Flow rate of CO<sub>2</sub> enriched air; 500 ml/min (2 vvm). Initial pH of medium; 4.5].

PPM), NO<sub>2</sub>(50~70PPM), SO<sub>2</sub>(40~52PPM)이다(Park and Kim, 1996).

삼각 플라스크 배양장치에서 왕겨 소각로의 배연가스(CO<sub>2</sub> 농도 7%)와 순수한 CO<sub>2</sub> 강화공기(CO<sub>2</sub> 농도 7%)를 각각 사용하여 배양 최적조건에서 84시간 동안 배양한 결과를 그림 9에 나타내었다. 4반복의 실험결과 그림에서와 같이 순수 CO<sub>2</sub> 강화공기와 배연가스는 모두 미세조류 배양시 별 차이점을 보이지 않았다.

배연가스를 이용한 미세조류의 배양 가능성과 생산성을 더 정확히 알기 위하여 정밀한 실험장치인 회분식 광생물반응기에서 CO<sub>2</sub> 농도가 4.8%인 배연가스를 이용하여 미세조류 성장 실험을 수행하였으며 그림 10은 그 결과를 나타낸 것이다. 초기 pH 5.7에서 180시간 후 세포농도는 4.6 (g dry biomass / l) 이었고, 최종 pH는 7.7을 나타내었다. 비성장속도가 0.028 hr<sup>-1</sup>이었고, 생산성은 0.026 (g dry biomass/hr ·

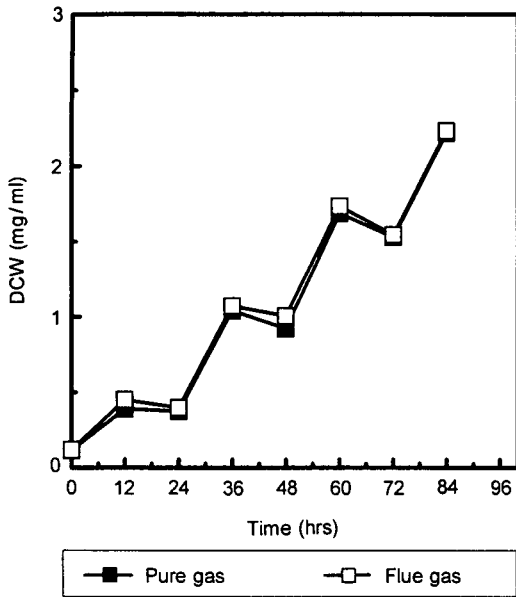


Fig. 9 Comparison of the growth curves between pure CO<sub>2</sub> enriched air and flue gas [Temp.; 35°C, Intensity of light; 5.5 klux, CO<sub>2</sub> conc.; 7%, Flow rate of CO<sub>2</sub> enriched air and flue gas; 500 ml/min (2 vvm), Initial pH of medium; 4.5].

ℓ)이었다. 이러한 결과는 Geoghegan(1953)이 내부 직경이 2.75 inch, 길이 4.5ft인 관형 광생물 반응기에 광을 14 klux 공급하여 *Chlorella vulgaris* var. *viridis*를 배양하여 발표한 0.018 (g dry biomass/hr · ℓ)의 생산성과 비교하여 약 45% 증가한 좋은 결과이다. 또한 Watanabe 등(1995)은 생물반응기에 조사된 광의 효율을 높이기 위하여 생물반응기 부피 당 표면적을 증가시킨 나선형 관형 광생물반응기를 개발하여, *Lyanobacterium Spirulina platensis*를 배양한 결과로서 0.021 (g dry biomass/hr · ℓ) 생산성이 가능하였음을 발표하였다. 상기 결과는 본 연구에서의 생산성과 유사한 값으로 생각된다.

이러한 결과들로 판단해 볼 때 왕겨 소각로의 배연가스는 미세조류 배양에 아무 제한 없이(순수 CO<sub>2</sub> 강화공기와 차이가 없이) 효과적으로 사용할 수 있

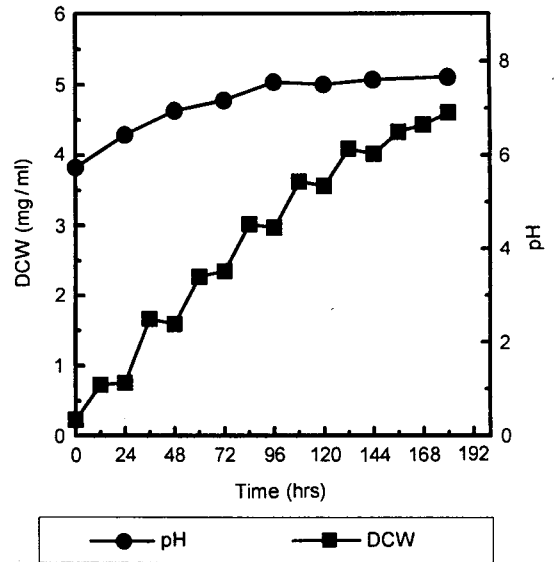


Fig. 10 Culture of *Chlorella* sp. using flue gas at stirred photobioreactor [Temp.; 35°C, Intensity of light; 10 klux, Mixing speed; 200 rpm, Flow rate of flue gas; 500 ml/min (0.5 vvm)].

는 것으로 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 왕겨 소각로의 배연가스를 이용하여 미세조류를 배양하기 위한 기초연구로서 삼각 플라스크를 이용한 배양 시스템을 제작하고 광주기, 배지의 산도, 배양온도, 배양공기의 이산화탄소 농도 등의 요인에 대하여 *Chlorella* sp.의 최대수율을 얻기 위한 최적 배양조건 확립과 회분식 광생물반응기에서 광을 조사하여 미세조류 배양 및 바이오매스의 수율을 평가하였으며, 왕겨 소각로 배연가스를 미세조류 배양에의 활용 가능성을 연구하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 미세조류의 배지 초기 pH는 4.5~6.0 정도가 적당하였으며, 배양시 배지의 pH는 4.5~7 범위로 조절하는 것이 미세조류 성장에 양호한 것으로 분석되



었다.

2. 광조사의 조건은 12 시간씩의 주기적 광조사가 연속적 광조사보다 미세조류 성장에 더 유리하였다.

3. 배양공기의 최적 이산화탄소 농도는 7~10% 범위였으며, 배양공기의 공급량간에는 100~700 ml/min의 실험범위에서 미세조류 성장에 별 차이를 보이지 않았다.

4. 광이 조사되는 주기(낮주기)와 조사되지 않는 주기(밤주기) 모두에서 최적 배양온도는 35℃ 정도로 판단되며 40℃에서도 미세조류의 성장은 양호하였다.

5. 왕겨 소각로의 배연가스는 순수 이산화탄소를 혼합한 배양공기를 이용하였을 때와 별 차이가 없어 미세조류 배양공기(CO<sub>2</sub> 공급원)로서 이용 가능한 것으로 판단되었으며, 이를 이용하여 회분식 광생물반응기에서 180시간 배양하였을 때 성장 건조질량 무게가 0.026 g/h · ℓ 수준으로 매우 양호한 것으로 분석되었다. Geoghegan(1953)이 관형 광생물반응기를 이용하여 *Chlorella vulgaris* var. *viridis*를 배양하여 발표한 0.018 g dry biomass/hr · ℓ의 생산성과 비교하여 약 45% 증가한 좋은 결과이며, 또한 Watanabe 등(1995)이 나선형 관형 광생물반응기로 *Cyanobacterium Spirulina platensis*를 배양하여 0.021 g dry biomass/hr · ℓ의 생산성을 얻은 결과와는 유사한 값이었다.

## 참 고 문 헌

1. 권순찬, 김진상. 1993. 바이오 가스화 균체 단백질 생산을 위한 유기질 폐기물의 미생물 전환 연구. 한국생물공학회지 8(5):438-445.
2. 김상진. 1995. 해양생물공학분야 국내외 연구 현황. 생물화공 9(3):3-17.
3. 성기돈, 안주희, 이준엽, 오상집, 이현용. 1995. 옥외 광배양조에서 광합성 미세조류인 *Spirulina plantensis*의 대량 배양에 관한 동력학적 연구. 한국생물공학회지 10(4):401-405.
4. 이진석. 1994. 미세조류에 의한 CO<sub>2</sub> 고정화 및 대체 연료생산연구 동향. 태양에너지학회 '94년 12월 초록논문집.
5. Ami, B. A., A. Shaish and M. Avron. 1991. The biotechnology of cultivating *dunaliella* for production of carotene rich algae. *Bioresource technology* 38:233-235.
6. Becker, E. W. 1994. *Microalgae*. pp. 1-4 and pp. 66-74. Cambridge University Press.
7. Berman, T., S. Chava, B. Kaplan and D. Wynne. 1991. Dissolved organic substrates as phosphorus & nitrogen sources for axenic batch cultures of freshwater green algae. *Phycologia* 30:339-345.
8. Borowitzka, L. J. 1991. Development of western biotechnology's algal-carotene plant. *Bioresource technology* 38:251-252.
9. Burlew, J. S. 1953. Current status of the large-scale culture of algae, pp. 3-23, (Burlew, J. S. eds). Carnegie Institution of Washington Publication 600, Washington, D.C.
10. Geoghegan, M. J. 1953. Experiments with chlorella at Jealott's hill, pp. 182-189. (Burlew, J. S. eds). Carnegie Institution of Washington Publication 600, Washington, D.C.
11. Hong, Seok-San and Nam-Hyung Lee. 1993. Growth of *spirulina plantensis* in effluents from wastewater treatment plant of pig farm. *Journal of microbiology and biotechnology* 3(1):19-23.
12. Kim, Man-Soo and Moo-Young Pack. 1993. Removal of inorganic nitrogen and phosphorus from cow's liquid manure by batch algal culture. *J. of microbiology & biotechnology* 3(3): 214-216.
13. Myers, J. 1953. The biology of the algae : A brief summary, algal culture. pp. 31-36. (Burlew, J. S.

- eds). Carnegie Institution of Washington Publication 600, Washington, D.C.
14. Park, S. J. and M. H. Kim. 1996. Performance of a pilot-scale rice husk incinerator. International Conference on Agricultural Machinery Engineering Vol 3:906-917.
15. Watanabe, Y., N. Ohmura and H. Saiki. 1992. Isolation and determination of cultural characteristics of microalgae which functions under CO<sub>2</sub> enriched atmosphere. Energy conversion and management 33(5-8): 545-552.
16. Watanabe, Y., J. de la Noüe and D. O. Hall. 1995. Photosynthetic performance of a helical tubular photobioreactor incorporating the Cyanobacterium *Spirulina platensis*. Biotechnology and Bioengineering 47(2):261-269.