

미세조류에 의한 CO₂ 고정화 연구

Carbon dioxide fixation by microalgae photosynthesis

성기돈(강원대학교 식품공학과), 이진석*, 이준표, 김미선,
박순철(한국에너지 기술연구소)

Abstract

Carbon dioxide fixation by microalgae has several advantages such as no requirements for the pretreatment over physical and/or chemical CO₂ fixation processes. *Chlorella sp.* HA-1, fresh algae, and *Chlorococcum littorale*, marine algae, were used to do CO₂ fixation work. The experimental parameters were light intensity and CO₂ concentration. *Chlorella sp.* HA-1 has the maximum growth rate at 8 Klux and 10% CO₂ concentration. *Chlorococcum littorale* showed the maximum growth at similar conditions. The results indicated the feasibility of the *Chlorella* HA-1 and *Chlorococcum littorale* for mass cultivation using flue gas.

1. 서론

현재 인류는 화석연료를 주 에너지원으로 사용하고 있으나 화석연료는 자원의 유한성과 화석연료의 사용에 따른 환경오염등의 큰 문제점을 안고 있다. 특히 화석연료의 연소과정에서 발생하는 이산화탄소는 지구 온난화 현상의 주범으로 지목되고 있어 대기중 이산화탄소 농도를 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 화석연료의 사용에 따른 문제점을 해결하기 위해 태양에너지를 대체에너지원으로 활용하려는 연구가 수행되고 있다.

미세조류(식물성 플랑크톤)는 태양광을 에너지원으로 사용하여 이산화탄소를 고정화하는 탄소동화기능을 갖고 있으며 이를 통해 생리활성물질(EPA, DHA), 항생물질등과 같은 다양한 유용 물질을 생산한다. 일부 미세조류는 에너지 함량이 높아 연료로 사용가능하여 이산화탄소의 저감과 대체연료의 생산이라는 이중 잇점을 갖는다. 또한 미세조류를 이용한 생물학적 고정화는 전처리 과정이 필요한 물리화학적 CO₂ 고정화 기술과는 달리 산업체 배출가스를 직접 처리할수 있다는 장점이 있다.

앞에 기술한 바와 같이 미세조류를 이용하는 생물학적 CO₂ 고정화는 많은 장점을 갖지만 산업체 배출가스로 부터 CO₂를 직접 고정화하는데 적용하기에는 아직 해결해야할 문제점이 많다. 우선 산업체 배출가스중 CO₂ 평균 농도는 10-15%로 대부분의 미세조류가 활성을 갖는 4-6%에 비해 높다. 또한 배출가스중의 불

순성분인 SO_x , NO_x 등은 미세조류 배양배지의 pH를 떨어뜨리며 그 결과 미세조류의 CO_2 고정화 활성은 크게 저하된다. 발전소 등의 산업체에서 배출되는 가스로부터 이산화탄소를 직접 고정화하는 공정은 대규모로서 옥외에 설치하게 되므로 기상 조건(예: 일사조건과 기온 등)에 따라 미세조류의 대사활동(CO_2 고정화 속도)은 달라진다. 그러므로 산업체 배기가스로부터 CO_2 를 고정화하는데 적합한 미세조류를 개발하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있다[1-5]. 동경대학의 Karube 등과 일본 해양연구소의 Ikemoto 등은 최고 50%-70% 이산화탄소 공급시 성장 가능한 염수성 미세조류종을 분리하였다[1, 5]. Watanabe 등은 20-30%의 이산화탄소에 대해 내성을 갖는 담수성 미세조류 *Chrololella*를 분리하여 동물사료로서의 활용성을 조사하였다[6].

본 연구팀에서는 미세조류를 이용하여 산업체로부터 배출되는 이산화탄소의 고정화 공정을 개발하기 위해 연구 중이다. 여기서는 1단계 연구로 고농도 CO_2 에 대해 내성을 갖는 것으로 보고된 미세조류 중(*Chlorococcum littorale*과 *Chrololella sp.*)에 대해 CO_2 농도, 빛의 세기, 온도 등 운전 변수에 따른 성장 특성을 조사하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1 미세조류 및 배양배지 조성

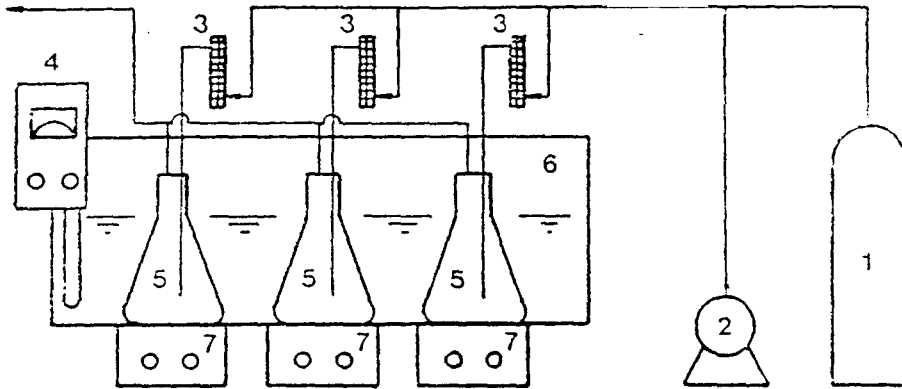
본 연구에 사용된 미세조류는 고농도 이산화탄소에 대해 내성을 갖는 것으로 보고된 담수성 미세조류 *Chrololella sp.*와 염수성 미세조류인 *Chlorococcum littorale*이다. *Chrololella sp.*는 일본 NIES에서 구입하였으며 *Chlorococcum littorale*은 일본 해양연구소의 Dr. Ikemoto로부터 기증받았다. 각 균주에 대한 배양 배지는 문헌에 보고된 대로 준비하였다[5, 6].

2.2 배양 장치

[그림 1]에 나타난 미세조류 배양장치를 아크릴로 제작하였다. 아크릴 수조 내에는 1000ml 삼각플라스크 3개를 장착할 수 있으며 물을 순환시켜 수조내 온도가 20-30°C의 범위에서 조절가능토록 하였고 수조 양면에 형광등을 달아 배양 플라스크의 표면에서 조도가 최대 8 klux가 되도록 하였다. Magnetic stirrer를 사용하여 미세조류 배양 배지의 교반이 되도록 하였다. 실험조건에 따라 순수한 이산화탄소와 공기가 적절한 비율로 공급하였다.

2.3 분석

배양배지중 미세조류 농도는 UV spectrophotometer (HP8452A, Hewlett-Packard Inc)를 사용하여 660nm에서 측정하였다. 미세조류의 무게는 0.45 μ m 멤브레인으로 여과후 80°C에서 24시간 건조하여 무게를 측정하였다.



1. CO₂ cylinder 2. Air pump 3. Flow meter 4. Water circulator
5. 1L flask 6. Water bath 7. Stirrer

Fig. 1. Schematic Diagram of the system for CO₂ fixation by microalgae

3. 실험결과 및 고찰

Chlorella HA-1의 배양조에 쪼이는 빛의 세기를 3, 6, 8 Klux로 조절하여 CO₂ 고정화 실험한 결과를 [그림 2]에 나타냈다. 빛의 세기가 증가함에 따라 HA-1의 성장 속도는 비례증가하였고 빛의 세기가 3 Klux일때 특히 HA-1의 성장 속도가 낮았다. [그림 3]에는 공기중의 CO₂농도를 1, 5, 10%로 조절하여 공급하며 CO₂ 고정화 실험한 결과를 나타냈다. CO₂ 농도가 1%일때 HA-1의 성장이 실질적으로 중단되어 탄소원의 결핍현상이 나타났다. 5%와 10%의 CO₂ 공급시 HA-1의 성장 속도는 각각 0.18g/day-1와 0.23g/day-1로 10%의 CO₂ 공급시 HA-1의 성장 속도가 약 30% 높은 것으로 나타났다.

염수성 미세조류 *Chlorococcum littorale*에 대해 조도와 CO₂ 농도를 변화시키며 CO₂ 고정화 실험한 결과를 [그림 4, 5]에 나타냈다.

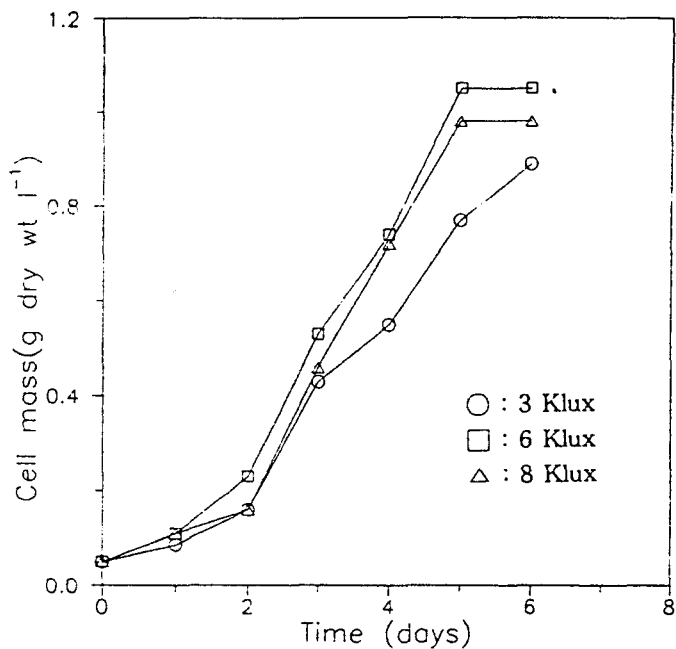


Figure 2. Effect of light intensities on the growth rate of *Chlorella* sp. HA-1. The cultures were bubbled with air containing 10% CO₂ and maintained at 26°C.

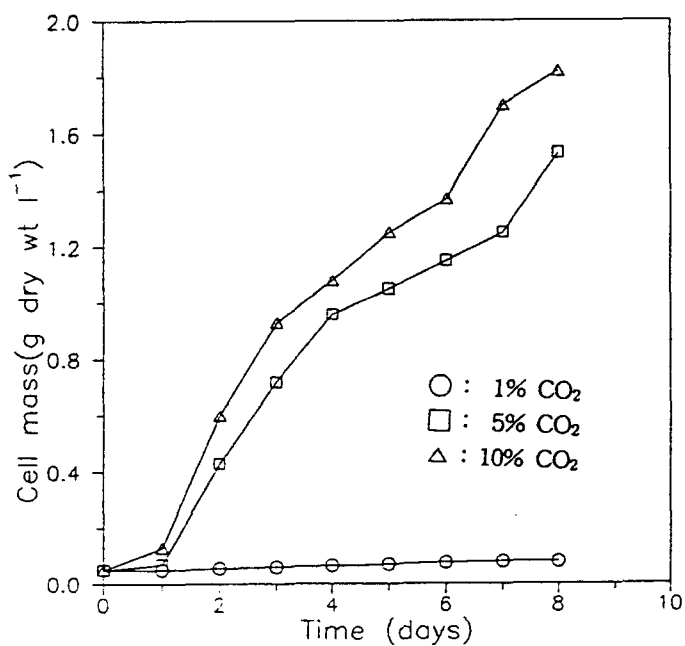


Figure 3. Effect of CO₂ concentrations on the growth rate of *Chlorella* sp. HA-1. The light intensity was 6 Klux and the culturing temperature was 26°C.

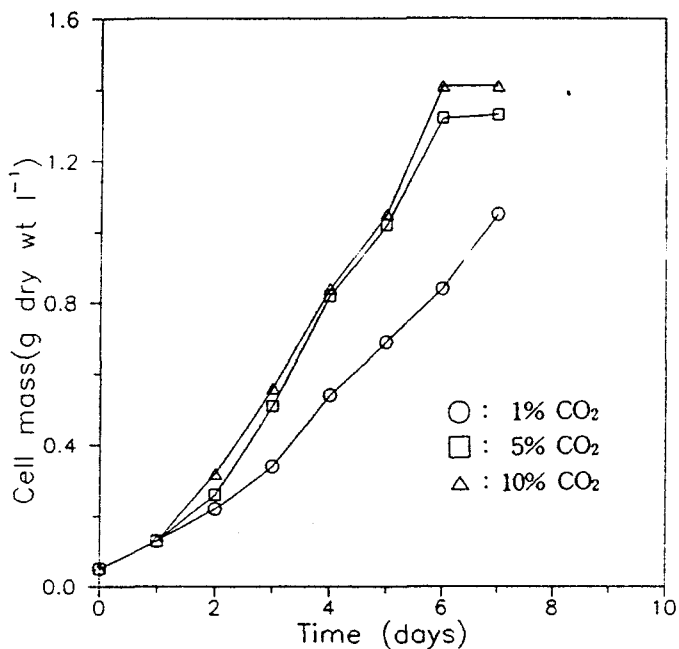


Figure 4. Effect of CO₂ concentrations containing in air on the growth rate of *Chlorococcum littorale*. The experiment was carried out at 26°C and a light intensity of 6 Klux.

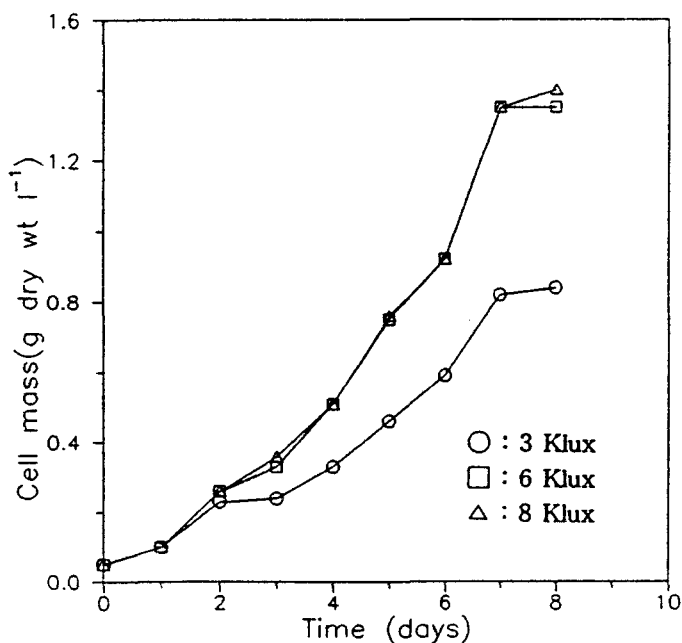


Figure 5. The effect of light intensities on the growth rate of *Chlorococcum littorale*. The CO₂ concentration and the temperature was 10% and 26°C respectively.

4. 결론

1. *Chlorella* sp. HA-1과 *Chlorococcum littorale*은 10% CO₂ 공급시 각각 최대 성장 속도 0.23g/l-day, 0.152g/l-day를 가져 산업체로 부터 배출되는 배기 가스로 부터 직접 CO₂를 고정화하는데 사용 가능할 것으로 나타났다.
2. *Chlorella* sp. HA-1은 빛의 세기가 6Klux일때 가장 높은 성장 속도를 가졌으나 *Chlorococcum littorale*은 8Klux에서 가장 높은 성장속도를 나타냈다.

감사

본 연구는 과기처 특정 연구사업으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Hamagata, N., Takeuchi, T., Fukuju, Y., Barnes, D. J., and Karube, I., 1993, "Tolerance of Microalgae to High CO₂ and high temperature", *Phytochem.*, vol. 31, p3345.
2. Negoro, M., Shioji, N., Ikuta, Y., Makita, T., and Uchiami, M., 1992, "Growth Characteristics of Microalgae in High Concentration CO₂ Gas, Effects of Culture Medium Trace Components, and Impurities Thereon", *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 34/35, p681.
3. Hamasaki, A., Shioji, N., Ikuta, Y., Hukuda, Y., Makita, T., Hirayama, K., Matuzaki, H., Tukamoto, T., and Sasaki, S., 1994, "Carbon Dioxide Fixation by Microalgal Photosynthesis Using Actual Flue Gas From a Power Plant", *Appl. Biochem. Biotechnol.*, vol. 45/46, p799.
4. Laws, E. D., Berning, J. L., 1991, "A Study of the Energetics and Economics of Microalgal Mass Culture with the Marine Chlorophyte *Tetraselmis suecica*: Implications for Use of Power Plant Stack Gases", *Biotech. Bioeng.*, vol. 37, p936.
5. Chihara, M., Nakayama, T., Inouye, I., and Kodama, M., 1994, "*Chlorococcum littorale*, a New Marine Green Cocoid Alga(Chlorococcales, Chlorophyceae)", *Arch. Protistenkd.*, vol. 144, p227.
6. Watanabe, Y., Ohmura, N., and Saiki, H., 1992, "Isolation and Determination of Cultural Characteristics of Microalgae Which Functions under CO₂ Enriched Atmosphere", *Energy Convers. Mgmt.*, vol. 33(5-8), p545.