

요 약 문

I. 제 목

“ 조류반응기를 이용한 배가스 중 CO₂ 제거 기술 개발 ”

II. 연구의 배경 및 목표

미세조류를 이용하는 생물학적 photoautotrophic CO₂ 고정화는 많은 장점을 갖고 있지만 산업체 배출가스로부터 CO₂ 를 직접 고정화에 적용하고자 할 때, 산업체 배출가스 중 높은 CO₂ 농도(10~20%), 불순물인 SO_x, NO_x, 높은 온도 등 등은 미세조류 배양계의 pH 를 떨어뜨리며 그 결과 미세조류에 의한 CO₂ 고정화 활성을 크게 저하시킨다. 발전소의 배출가스와 같은 고농도의 CO₂ 에서 생장이 가능하며 광합성 효율이 높고, 배가스 중에 포함된 SO_x, NO_x 에 대한 내성이 있으며, 생산률이 높은 미세조류 및 이를 이용한 CO₂ 고정화 기술의 개발이 요구된다.

III. 연구수행 방법 및 전략

본 과제에서는 *Scenedesmus* 와 *Chlorella* 의 녹조류 2 종, *Microcystis aeruginosa* 및 *ichthyoblabe* 의 남조류 2 종의 조류주를 대상으로 10~25% CO₂ 조건에 성장적응시켰으며, 고농도 배양 및 탄소고정 능력 향상을 위하여 F/D operation 에 의한 배지교체 및 질소원 유가식 배양을 실시하였다, 한편 배가스 중의 성장 저해요소인 NO_x 에 대한 적응성과 제거연구를 위하여 150 ppm NO 가스를 주입하면서 조류 성장 특성과 공급속도의 영향을 고찰하였다.

IV. 연구 결과 및 고찰

- 배지교체를 수행하는 5% CO₂ 조건에서 가장 성장이 활발하고 CO₂ 고정능이 양호한 조류는 남조류인 *M. ichthyoblabe* 였으며 녹조류 중에서는 *Chlorella* 보다 *Scenedesmus* 가 우수한 결과를 보여주었다.
- 배지교체 시점으로는 대수성장기 말이나 정체기 초기, 다시 말해서 세포의 노령화가 너무 많이 진행되지 않은 활발한 활성을 갖는 상태에서 이루어지는 것이 바람직하였다.
- 5% CO₂ 조건에 비하여 10% CO₂ 조건에서의 CO₂ 고정 속도는 76~94% 정도로 6~24% 정도 저하되었고, 15% CO₂ 조건에서는 70~88%로 약 12~30% 저하되었다. 5% CO₂ 조건에서 저하율이 가장 적은 조류는 *M. aeruginosa* 였고 10% 조건에서 가장 낮은 저하율을 보인 조류는 *Chlorella* 였다.

- 4 가지 조류 모두 15%의 높은 CO₂ 농도 환경에서 대수증식기의 성장속도가 작다 하더라도 낮은 성장속도의 대수증식기 기간이 오래 지속되면서 최종 세포 농도는 5% 표준상태의 값과 유사하게 도달하는 것으로 보아 다소 적응이 지연되기는 하지만 성공적으로 고농도 CO₂ 환경에 잘 적응한 것으로 판단된다.
- 배양기간 동안 질산성 이온의 농도를 15~20 ppm 으로 유지해 줌으로써 탄소고정 속도를 녹조류 2 종에 대해서는 56.1 - 56.6%, 남조류 2 종에 대해서는 68.2 - 68.8% 향상시킬 수 있었다.
- 질산성 질소원을 유가식(fed-batch)으로 간헐적으로 공급함으로써 세포 일부가 포함된 배지를 교체해 주는 대신 새로운 영양분을 제한농도 이상으로 유지 공급해줄 수 있고, 결과적으로 탄소소정이 활발하게 진행되고 있는 대수증식기의 기간을 연장할 수 있었다.
- 배양초기 세포 농도가 낮을때에는 NO_x 의 공급이 조류에게 심한 성장저해 현상을 가져오지만, 세포농도가 어느 수준 이상(대수증식기) 도달한 후에 NO_x 를 공급함으로써 이를 극복할 수 있다.
- 대수증식기에 접어들어 NO_x 를 공급하더라도 NO_x 공급으로 인하여 조류에 따라 성장이 어느정도 저해될 수도 있으며 촉진될 수도 있다. 150 ppm NO_x 공급시 본 연구에 사용한 녹조류 *Scenedesmus* 의 경우에는 탄소고정능이 약 30% 감소하였으며 남조류인 *M. aeruginosa* 의 경우에는 약 15% 정도 증가하는 결과를 보였다.

v. 향후 추진 방향

- NO_x 제거율 향상 연구
- SO_x 에 의한 저해 극복방안 연구
- 반응기 개선 및 liquid utilization 효율 개선을 통한 탄소고정속도 증진 연구

SUMMARY

I. Title

“ A Study of CO₂ Fixation from Flue Gas Using Photosynthetic Microalga ”

II. Importance and Objectives

CO₂ fixation using photosynthetic microalgae has several advantages over physicochemical technologies. However, real flue gases usually contain high concentration of CO₂, NO_x and SO_x under a high temperature environment. In order to treat emission flue gases directly with microalgae, the microalgal cultivation should be adapted to tolerate such harsh conditions while maintaining a high growth rate and CO₂ fixation rate.

III. Strategy and Methods

We chose 2 green alga (*Scenedesmus* and *Chlorella*) and 2 cyanobacteria (*Microcystis ichthyoblabe* and *Microcystis aeruginosa*) for the acclimation. These algal cells were cultivated to acclimate up to the conditions of 20% CO₂, 100~150 ppm of SO_x and NO_x, and 40°C by gradual exposure to higher stress. In order to utilize the light energy maximally, the reactor design and mixing are important while maintaining a high density cultivation and growth rate.

IV. Results and Discussion

- Cyanobacterium *M. ichthyoblabe* showed the most high rates of growth and CO₂ fixation at 5% CO₂ standard condition. *Scenedesmus* showed a better result than *Chlorella*.
- The timing for medium change to extend the exponential growth was good at the late stage of exponential growth or an early stage of stationary phase. The stage of better metabolic activity was preferred to the old stationary age.
- CO₂ fixation rate at 10% CO₂ condition was reduced by 6–24% compared to 5% standard environment. Cultivation at 15% CO₂ condition showed 12–30% reduction of CO₂ fixation. The decrease of CO₂ fixation rate at 10% was achieved by *M. aeruginosa* among 4 microalga. *Chlorella* showed the smallest reduction of CO₂ fixation power at 15%.
- CO₂ fixation rate at 15% CO₂ condition: *Scenedesmus* 21.7 mg/L/h, *Chlorella* 17.1 mg/L/h, *M. ichthyoblabe* 24.4 mg/L/h, *M. aeruginosa* 21.3 mg/L/h. Cyanobacterium *M. ichthyoblabe* showed the best performance among 4 microalga and *Scenedesmus* was better than *Chlorella* in green algae group.

- Even though 4 microalgae display the lowered growth rate and fixation rate, the exponential growth stages last longer and final cell concentration reached a high value similar to 5% standard environment. Therefore it can be concluded that our microalgae were adapted successfully and able to tolerate the high CO₂ environment up to 15%.
- If nitrate ion is in short and the environment is harsh for microalgae, the number of algae cell does not steadily increase due to the lowering of cell division. Instead, individual cells are gaining weight or getting bigger in size, which looks like an aging society.
- Nitrate fed-batch culture enhanced growth rates 4.4-4.8 fold compared to non-fed batch cultivation. *Scenedesmus* displayed the highest enhancement of CO₂ fixation rate and growth rate based upon absorbance change.

VI. Conclusion and Future Plan

- Completion of adaptation study for the environments of high CO₂ and temperature
- Adaptation of microalgal strains to acidic gas environment of SO_x and NO_x
- CO₂ removal experiments from model real emission flue gases