

## 바다에서 디젤을 캔다, 해조류의 가능성

엄 병 환

미국 메인대학(University of Maine) 바이오연구소 연구원(공학박사)



매년 5월초순에는 미국에서 바이오-에너지 관련 학회(Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals)가 에너지 관련 국립연구소인 NREL(National Renewable Energy Laboratory, CO, USA)과 ORNL(Oak Ridge National Laboratory, TN, USA)이 교대로 주관하여 개최한다. 올해는 ORNL 주관으로 재즈의 도시 뉴올리언스에서 5일간 학회가 열렸다. 올해로 벌써 30회를 맞이하였고, 에너지 위기가 하루가 다르게 심각해지는 시점에서 이번 학회는 특별한 의미로 다가왔다. 매년 그러했지만 특히 올해는 전 세계에서 참석한 학교, 연구소 및 기업들이 이번 학회의 역할과 중요성에 큰 기대를 내비쳤다. 다름 아닌 고공행진을 하고 있는 유가 급상승과 지구온난화에 대한 우려 때문일 것이다. 국가별 참석 회원수 중 한국이 무려 50-60명가량 참가하여 주위를 놀라게 하였다. 참석국가 중 최대 회원으로, 한국도 대체에너지 개발에 더 이상 미룰 수 없는 위치에 있음을 반증하는 듯 했다.

석유 전문가들에 의하면 현재 유가 상승율과 중국 경제 성장을 고려한다면 원유수입가격이 연말에는 배럴당 150달러까지 가뿐하게 오를 것으로 예상하고 있다. 200달러를 돌파할 가능성도 탄력을 받고 있다. 기름 한 방울 나지 않는 한국으로서는 경제 및 서민생활에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이런 고유가 시대 대응수단으로 바이오 연료 개발에 미국과 유럽뿐 아니라 아시아 각국들도 아주

분주하다. 자동차 연료로 사용되는 바이오 연료는 크게 바이오 디젤과 바이오 에탄올이 있다. 바이오 디젤의 경우 최대 생산국은 유럽공동체와 동남아시아 지역 국가를 꼽을 수 있다. 한편 바이오 에탄올의 경우는 단연 미국과 브라질이다. 독일은 유채에서 추출한 기름으로부터 바이오디젤을 생산하고 있다. 식용이 아닌 연료용으로 4십만 6천 헥타르 규모의 유채를 재배하고 있다. 이 면적으로 약 4십만7천톤 정도의 기름을 생산할 수 있는데 이 중 3십만 톤 정도가 바이오디젤 원료로 사용되고 있다. 아시아국가 중 최고 생산국이며 수출국인 말레이시아는 오는 2010년까지 팜오일을 이용한 바이오디젤 2 천 1백만 톤 생산을 목표로 하고 있다. 이 양은 현재보다 무려 6 배정도 많은 양에 달한다. 그리고 오는 2010년이면 세계최대 바이오 디젤공장이 싱가포르에 건설된다. 연간 8십만 톤 생산능력을 갖추게 될 것으로 전망한다. 바이오 에탄올의 경우는 최대 생산국과 최대 수출국은 각각 미국과 브라질이다. 그 다음으로 중국과 인도가 뒤를 잇고 있다. 현재, 미국은 곡물인 옥수수 그리고 브라질은 사탕수수를 이용해 바이오에탄올을 생산하고 있다. 이 두 나라의 2006년 한해 생산량은 전세계 에탄올의 70%에 달한다(대략 70%에 상응하는 양은 376억7000만 리터). 참고로 우리나라의 작년 휘발유 소비량은 7억 8400만 리터였다. 단순 계산으로 우리가 50년 이상 쓸 수 있는 규모라고 보면 되겠다.

이들 바이오 연료 강국의 공통점은 넓은 땅과 천혜의 기

후조건으로 인해 원료를 아주 손쉽게 재배할 수 있는 환경이 갖춰져 있다는 점이다. 불행히도 우리나라는 이런 조건을 갖추지 못했다. 국토 면적도 작고, 동남아 국가들처럼 열대성 식물을 재배할 수도 없기 때문이다. 그렇다면, 한국은 영영 바이오 연료 강국대열에 올라설 수 없는 것일까? 전혀 그렇지 않다. '해조류(algae)'에서 그 해답을 얻을 수

있다. 해조류의 미끌미끌한 성분 대부분이 탄수화물(carbohydrate)과 오일(지방산·fatty acid)인데, 이 탄수화물과 오일을 이용해서 바이오연료(바이오 에탄올/바이오 디젤)를 생산할 수 있다. 특히 오일을 이용해 만든 바이오디젤의 경우 장점이 아주 많다. 우선 효율성이 월등하다. 현재 바이오디젤 원료로 사용되는 콩기름(soybeans)

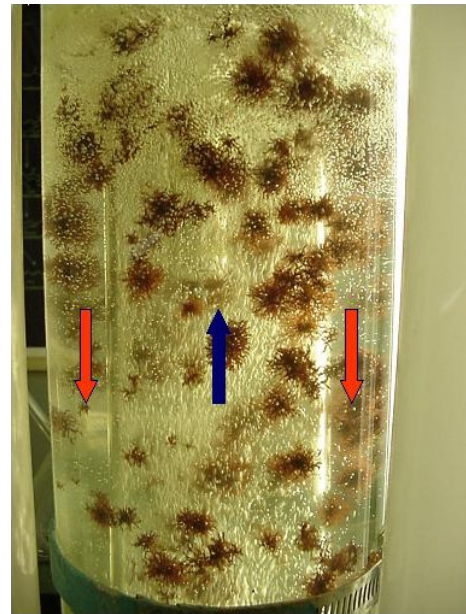
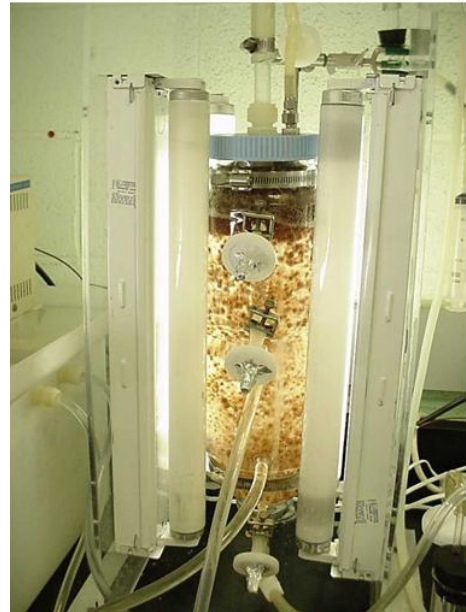
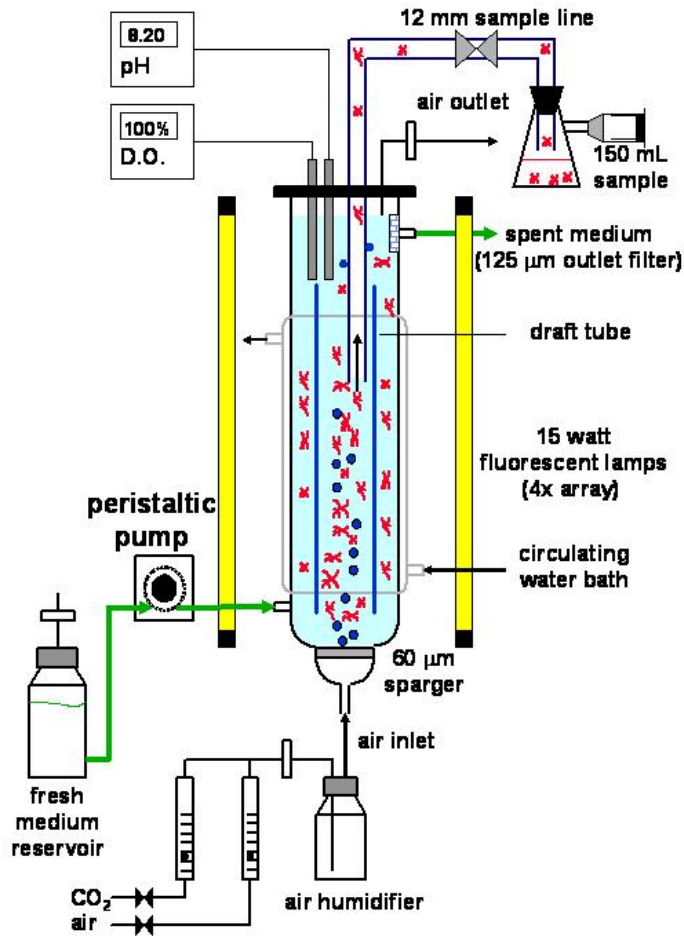


Fig. 1 Culturing of *P. hornemannii* using 3L Perfusion Airlift Photobioreactor.

사진출처: Dr. Gregory L. Rorrer's Research Lab, Department of Chemical Engineering, Oregon State University, Corvallis, OR, USA.

의 경우 연간 1에이크 (acre)에서 190 ℓ의 오일을 생산할 수 있지만, 해조류는 같은 면적에서 연간 1만 5000 ℓ 리터를 만들어낼 수 있다. 한 컨설턴트 회사 (Five Star Consultant)의 연구 분석에 의하면 현재 미국 내 디젤을 콩(soybean)에서 추출한 바이오 디젤로 대체한다고 가정한다면 미국본토 25개주에 콩을 심어야 하는 반면 해조류로 대체할 경우 메릴랜드(Maryland) 주 크기의 땅만 필요하다는 재미난 결과를 내놓은 바 있다. 특히 해조류는 이산화탄소, 물, 그리고 햇빛만 있으면 사막에서도 양식이 가능하고, 광생물반응기. (Photobioreactor, PBR)를 이용할 경우 1년 내내 생산/수확이 가능하다. 그림 1은 현재 오레곤 주립대에서 실험실 규모의 공기 펌프식 광생물반응기 (Airlift Photobioreactor)를 이용하여 해조류를 재배하는 공정을 보여주는 그림이다. 이 반응기의 특징은 해조류가 빛에 노출될 수 있는 횟수를 증가시키고, 연속적인 영양분 공급이 가능하며, 고농도의 해조류생산을 가능하게 한다. 오레곤 주립대 화공과 Dr. Gregory L. Rorrer 연구팀의 실험결과에 의하면 한 달 후 해조류 (*P. hornemann*)의 농도는 건조기준 10 g/L의 결과를 보였다. 이렇게 생산된 해조류는 원심분리공정을 통해 해조류와 물성분을 분리한 후, 건조, 그리고 오일 추출공정을 거치면 해조류의 식물성 기름을 회수 할 수 있다. 이 식물성 기름을 원료로 해서 트랜스에스테르화 공정(transesterification

process)을 통해 바이오 디젤이 생산되고, 부산물로는 화장품 주원료인 글리세린 (glycerin) 또한 얻을 수 있다. 이처럼 해조류는 현재 동남아시아에서 생산되는 바이오 디젤의 주원료인 팜(palm) 오일 생산방법 (대규모 열대우림지역 훼손) 과는 달리 매우 친환경적이라는 장점이 있다.

해조류의 또 다른 매력은 바로 바이오 레미테이션 (Bioremediation)에서 찾을 수 있다. 현재 미국 애리조나주 (Arizona)에서는 지하수에 오염물질 질산태 질소 (NO<sub>3</sub>-N)제거를 위해 해조류 (*Scenedesmus sp.*)를 이용한 연구가 한창 진행 중이다. 우리나라 농가의 경우도 비료 및 농약사용이 많고 또 가축분뇨로 인한 지하수 오염이 심각한 상태다. 지하수오염의 오염물질은 질산태 질소 (NO<sub>3</sub>-N)가 가장 큰 문제이다. 질산(NO<sub>3</sub>)은 가축분뇨의 분해에 의해 토양에서 생성된다. 질산태 질소는 수용성이므로 토양에서 자유로이 이동하여 지표수로 용탈하게 된다. 축사주변의 오수나 식물체에 필요 이상의 분뇨를 사용하였을 때 빗물에 의해 지하층으로 이동하여 지하수로 내려가게 된다. 지하수에 질산태 질소가 높게 나타나는 것은 단기간에 나타날 수도 있지만 대부분 오랜 기간 동안 가축분뇨의 오염이 누적된 결과이다. 그림 2는 이러한 오염된 지하수 물에서의 해조류 성장과 질산태 질소제거를 나타낸 결과다. 해조류의 흡광도는 6일 후 거의 1이었고, 무려 다섯배 가량 농도가 증가하였다. 질산태 질소의 경우는 거의

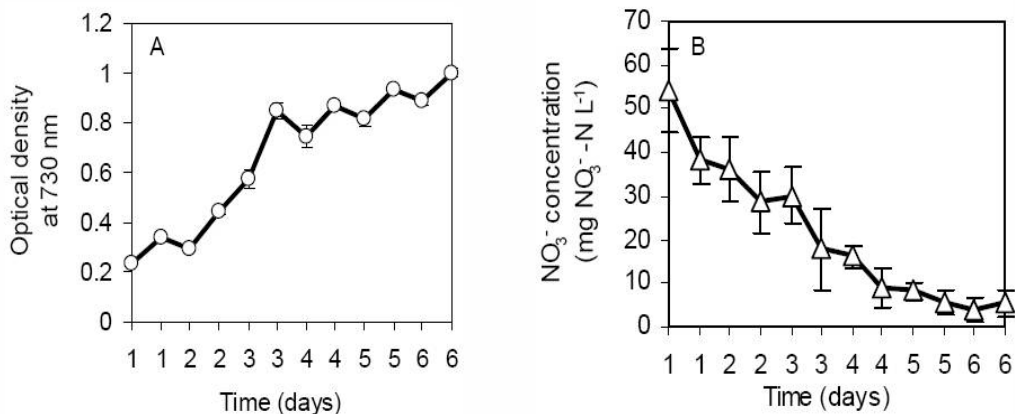


Fig. 2 Growth (A) and nitrate removal (B) of *Scenedesmus sp.* Grown in outdoor column photobioreactor fed with groundwater.

그림출처: Report for 2005AZ90B: An Outdoor Multi-Stage, Continuous-Flow Photobioreactor for Bioremediation of Nitrate-Contaminated Groundwater.

10배가량 감소 하였다. 따라서, 해조류를 통해 에너지문제와 환경문제를 동시에 해결 할 수 있을 것으로 보인다. 특히 해조류 성장속도는 민물보다 바닷물에서 훨씬 뛰어나기 때문에 3면이 바다인 한국으로서는 더욱 매력적인 원료가 아닐 수 없다.

미국은 작년 초부터 강력한 에너지 및 환경정책을 내놓았다. 2020년부터 미국에서 생산되고 수입되는 차는 갤런 당 35마일(리터당 15 Km)의 연비 조건을 갖추는 것으로 이는 현행 연료 효율기준인 갤런 당 25마일 (리터당 10 km) 보다 무려 40 % 이상의 효율성을 요구하는 것이다. 그리고 화석연료사용 축소와 대기오염 감소를 위해 자동차용 바이오 연료의 의무 사용량도 2022년까지 3백60억 (약 1360 억 리터) 갤런까지 늘려야 한다. 이 중 60% 가량인 2백10억 갤런 (약 795억 리터)은 곡물이 아닌 바이오매스를 이용해서 생산해야 할 것으로 보인다. 현재의 원료인 옥수수과 콩으로는 이를 도저히 감당하기 힘든 실정이다. 이 때문에 미국에선 옥수수와 콩을 대신할 원료로 목재(木材) 뿐만 아니라 해조류를 이용한 바이오 연료 개발에 큰 관심을 기울이고 있다. MIT공대, 콜로라도 주립대, 그리고 아

리조나 주립대를 비롯한 대학연구소와 정부연구소 그리고 관련 기업 (Solazyme, GreenFuel Technologies, Solix, and Livefuels)등에서는 해조류(microalgae)를 이용한 바이오 디젤 생산 개발 완료단계에 들어갔거나 상용화 개발을 진행 중이다. 페트로 썬 바이오 연료(Petro-Sun Biofuels Refining) 회사는 올해 삼사분기부터 쿨리지 (Coolidge, AZ) 인근에 해조류를 이용해 연간 3천만 갤런 규모의 바이오 디젤을 생산할 수 있는 공장을 착공 할 계획이다. 하지만 바이오 에탄올의 경우는 바이오 디젤 생산공정과 비교할 때 상당히 공정이 복잡하고, 연료의 효율성 등 기술 수준을 고려한다면 아직 시작단계이다. 따라서 해조류를 이용한 바이오 에탄올을 상용화하기까지는 시일이 다소 걸릴 전망이다. 한국이 지금부터라도 국가전략 차원에서 해조류 연구개발에 적극적인 자세로 대응한다면 독자적인 기술 확보와 시장 선점의 기회가 충분히 열려 있다고 판단된다. 매일 유가가 사상 최고치 기록을 갈아치우고 있다. 기름 한 방울 나지 않는 한국으로서는 바이오 에너지에서 돌파구를 찾아야 하며, 우리의 환경과 조건에서 해조류는 가능성과 잠재력이 높다고 판단된다.