

광생물 반응기 Scale-up 기술 동향

A Current State of the Art for Scale-up of Photobioreactor

*#정상화¹, 김광호²

*#S. H. Jeong¹(shjeong@chosun.ac.kr), G. H. Kim²

¹조선대학교 기계공학과, ²조선대학교 바이오리파이너리센터

Key words : Photobioreactor, Microalgae, Scale-up, Open Ponds, Photoautotrophic

1. 서론

중동의 정정 불안과 화석연료 매장량의 고갈 등으로 인해 유가가 연일 치솟고 있으며, 일본의 후쿠시마 원전쇼크로 인해 원자력발전에 대한 신뢰도 사라져 가고 있다. 또한, 이산화탄소 농도는 390ppm에 달하여 빙하가 녹고, 영구동토층이 얇아지고 있다. 따라서, 화석연료 고갈과 기후변화를 극복할 수 있는 대체에너지 및 청정에너지에 대한 관심이 고조되고 있으며, 전 세계 경기침체를 극복할 수 있는 성장동력으로 신재생에너지가 급부상하고 있다. 한국은 석유 부존자원이 없으며 대부분 수입에 의존하고 있어 국제 유가, 기후 변화, 정치 환경 변화 등에 의해 경제가 크게 영향을 받기 때문에, 국내 기술 및 자원을 이용한 대체 에너지 기술개발 및 자원 확보가 절실한 상황이다.¹

조류는 이산화탄소와 물을 원료로 빛을 이용하여 유기물을 합성하는 독립영양생물(autotroph)이다. 원유의 ‘검은 금’에 비유하여 미세조류 바이오 연료를 ‘녹색 금’이라 부른다. 미세조류는 식품과 경쟁하지 않고, 비경작지를 활용하며, 이산화탄소를 고정하고, 폐수 등 다양한 수원이 사용가능하며, 단위면적당 바이오디젤 생산량이 높은 장점을 가지고 있다. 미국 에너지부에서는 2010년 ‘국가 조류 바이오연료기술 로드맵’을 작성하였고, 2012년에는 원유수입의 17%를 조류연료로 대체할 계획을 발표하였다. 이처럼 바이오연료의 필요성이 강조되고 있으며, 다양한 투자가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 상업화를 위한 미세조류 대량 배양 기술 현황에 대해 고찰하였다.

2. 미세조류 배양 기술

미세조류는 탄소원으로 이산화탄소를, 에너지원으로 일광을 이용하여 성장하는 광독립영양

(photoautotrophic)과 탄소원으로 유기물을 사용하는 중속영양(heterotrophic) 성장을 한다. 배양기의 형태에 따라서는 개방형(open)과 폐쇄형(closed) 배양 시스템으로 구분된다. 미세조류 배양 기법에 따른 특징을 Table 1에 나타내었다. 개방형 반응기는 설치비용이 적으나 오염에 취약하고, 증발로 인해 물 소모량이 높은 반면 폐쇄형 반응기는 투자비용이 많이 들지만, 고농도 배양이 가능하고 제어가 용이하다. 미세조류로부터 바이오 연료를 생산하기 위해서는 미세조류 탐색, 미세조류 대량배양, 수확 및 전환 등 다양한 기술을 필요로 한다.

Table 1 Comparative features of microalgal cultivation approaches(Adapted from reference 2)²


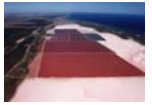




	Advantages	Challenges
Photoautotrophic		
open ponds	- evaporative cooling - lower capital costs	- unstable temperature - difficult monocultures - maxim light exposure
closed PBR	- less loss of water - long-term culture - higher cell densities	- scalability problems - biofilm formation - maximum light exposure
Heterotrophic		
	- easy optimal conditions - easy contamination prevention - high biomass concentrations	- cost and availability of suitable feedstocks

3. 미세조류 배양의 대형화

미세조류를 이용한 CO₂ 고정화, 폐수정화, 바이오연료 생산, 사료, 고부가가치 부산물 생산 등 활용성이 높아지면서 미세조류 배양 시설의 대규모화가 이루어지고 있다. 2008년 바이오연료 생산량은 백만갤런이었고, 2025년에는 백억갤런 이상 증가할 것으로 예측된다.³

상업화를 위한 미세조류 대량 배양 시설을 Table 2에 나타내었다. 폐쇄형 반응기는 시설비용이 고가이나, 단위면적당 생산성이 높고, 오염 위험성이 적어 원통형 반응기를 이용한 대형화가 이루어지고 있다. IGV GmbH의 원통형 광생물반응기와 Mera Growth Module이 대표적이다. 초창기에는 원통형 반응기를 수직으로 배열하였으나, 그림자로 인해 발생하는 음영(shading)을 최소화하기 위해 수평으로 배열하고 있다. 미국의 NASA는 바다 혹은 호수에서 비닐백을 이용하여 폐수와 이산화탄소를 공급하여 미세조류를 배양하고, 바이오디젤을 생산하는 OMEGA 프로젝트를 추진 중에 있다. 폐쇄형 반응기의 비용, 기술, 운영상의 제약으로 인해 개방형 반응기의 대형화가 주로 이루어지고 있다. 개방형 반응기 중 수로형 연못(raceway pond)이 구축 및 유지, 보수 비용이 적게 들어 가장 널리 사용되고 있다. 하지만, 대형화가 이루어지면서 개방형 반응기 접종에 필요한 시드(seed)의 양 또한 증가하게 된다. 따라서, 최근에는 폐쇄형 반응기를 중간배양시설로 사용하고, 개방형 반응기를 이용하여 영양분 결핍이나 환경 스트레스 조건에 미세조류를 노출하여 세포내 지질 축적을 유도하는 하이브리드 형태로 대형화가 진행되고 있다.

Table 2 Commercial cultivation systems⁴⁻⁶

Systems	Photograph	Features
Open ponds		- Earthrise Nutritionals - 0.4km ² - <i>Spirulina platensis</i> , 500ton/yr
		- Congnis Nutrition and Health, Australia - 2.5km ² - <i>Dunaliella salina</i>
Closed PBR		- Algaetech Ltd, Israel - <i>Haematococcus</i>
		- EVERIS/VTME - 0.02km ² - <i>Haematococcus</i>
Hybrid system		- Integrated system - Hybrid algae production system
		- Cellana, Hawaii - ALDUO - 0.02km ²

4. 결론

본 논문에서는 상업화 규모의 미세조류 배양 시설 동향을 고찰하였다. 미세조류로부터 바이오 연료를 생산하는 기술은 석유 한 방울 나지 않는 나라일지라도 머지않은 미래에는 제2의 산유국이 될 수 있는 기회를 제공한다. 미국, 독일, 네델란드 등은 오래전부터 미세조류에 대한 연구를 진행하였고, 상업화를 위한 대형화 시설을 갖추어 가고 있다. 우리나라의 경우 주로 개방형 반응기 또는 폐쇄형 반응기에 대한 개별적 연구가 진행되고 있으나, 상업 규모의 대규모 시설을 위해서는 두 시스템이 혼합된 하이브리드형 형태의 배양시설에 대한 연구도 이루어져야 할 것으로 생각된다. 이를 위해서는 우리나라 환경에 가장 적합한 배양 시설을 개발하여야 하고, 종 개발, 배양 조건 최적화, 수확 및 전환 공정에 대한 연구뿐만 아니라 대형화를 위한 공정 설계 및 제어 기술 등의 다양한 기술 융합이 필요하다.

후기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 20103020090020)

참고문헌

1. Park Y. S., Glenn, J., Gorden, T. and Florescu E., "UN Future Report 2025:State of the Future," Kyobo, 2011.
2. U.S. DOE, "National Algal Biofuels Technology Roadmap," 2010.
3. Emerging Markets, "Algae2010:global biofuels, drop-in fuels, biochems markets and forecasts," 2011.
4. FAO, "Algae-based biofuels: A Review fo Challenges and Opportunities for Developing Countries," 3-9, 2009.
5. Pushparaj, B., Pelosi, E., Tredici, M. R., Pinzani, E. and Materassi, R., "An integrated culture system for outdoor production of microalgae and cyanobacteria," Journal of Applied Phycology, **9**, 113-119, 1997.
6. Huntley, M. E. and Redalje, D. E., "CO2 mitigation and renewable oil from photosynthetic microbes: a new appraisal," Mitig. Adapt. Strat. Global Change, **12**, 573-608, 2007.