



박정진

지난 7월 17일부터 미국의 세인트루이스에서는 조류를 이용해서 바이오연료(biofuel)를 연구하는 사람들이 한자리에 모였다. '1st International Conference on Algal Biomass, Biofuels & Bioproducts'라는 학회로 17명의 초청연사와 200여건의 구두와 포스터 발표가 있었다. 특히 초청연사 중 한 분이신, 차세대 바이오매스 연구단 단장으로 계시는 KAIST 양지원 교수님은 한국의 바이오연료에 대한 비전과 정책, 그리고 단장직을 맡고 계신 차세대 바이오매스 연구단의 주요 활동에 대해 20여분간 발표를 하셨었다.



본 학회의 부회장을 맡고 계신 Richard Sayre 교수님은 (Donald Danforth Plant Science Center) 이번 발표에서 현재 연구 목표를 40 g-dcw/m²/day 에 35%의 triacylglycerol 함유량으로 잡고 이를 이루기 위한 연구 계획과 그동안의 연구 성과에 대해 발표하셨다.

미세조류는 지금 현재 상업화에 가장 가깝게 접근한 옥수수보다 단위면적당 오일 생산량이 800 배 가량 높은 것으로 알려져 있으며 (<표 1> 참조), 건조중량당 오일 함유량 역시 30% 내외를 보이고 있는 것으로 알려져 있다 (<표 2> 참조).

이번 학회에서는 연구자뿐만 아니라 미국의 바이오 에너지 정책을 주관하는 에너지성 (U.S. Department of Energy, DOE)에서도 발표를 하고, 부스를 따로 설치해서 연구 방향과 성과에 대한 정보를 교환하는 자리를 마련했다. 특히 DOE 에서 근무하는 Valerie Sarisky-Reed 박사의 발표에서는 바이오연료에 대한 기초 연구지원과 함께, 향후 계획중인 실용화 계획을 발표해 눈길을 끌었다(<표 3> 참조). 당분간은 cellulosic ethanol 이 바이오연료의 대부분을 차지하겠지만, 2020 년 부터는 조류를 이용한 연료가 주된 원료가 될 것으로 예상하고 있었다. DOE 에서는 Solazyme 과 Algenol 이라는 회사를 통해 연간 100,000 갤론을 생산할 수 있는 파일럿 설비를 지원하고 있으며, Sapphire Energy 에서는 연간 1,000,000 갤론을 생산 가능한 데모 설비를 지원하고 있는 중이다.

<표 1> 바이오디젤 원료 비교
Comparison of some sources of biodiesel

Crop	Oil yield (L/ha)	Land area needed (M ha) ^a	Percent of existing US cropping area ^a
Corn	172	1540	846
Soybean	446	594	326
Canola	1190	223	122
Jatropha	1892	140	77
Coconut	2689	99	54
Oil palm	5950	45	24
Microalgae ^b	136,900	2	1.1
Microalgae ^c	58,700	4.5	2.5

^a For meeting 50% of all transport fuel needs of the United States.

^b 70% oil (by wt) in biomass.

^c 30% oil (by wt) in biomass.

<표 2> 대표 미세조류의 오일 함유량
Oil content of some microalgae

Microalga	Oil content (% dry wt)
<i>Botryococcus braunii</i>	25–75
<i>Chlorella</i> sp.	28–32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca</i> sp.	16–37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis</i> sp.	25–33
<i>Monallanthus salina</i>	>20
<i>Nannochloris</i> sp.	20–35
<i>Nannochloropsis</i> sp.	31–68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35–54
<i>Nitzschia</i> sp.	45–47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20–30
<i>Schizochytrium</i> sp.	50–77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15–23

출처: Chisti, Y. (2007). "Biodiesel from microalgae." Biotechnology Advances **25**(3): 294-306.

그리고 조류를 이용한 바이오연료 상업화로 유명한 이스라엘의 Ami Ben-Amotz (National Institute of Oceanography Israel, Haifa, Israel) 박사와 Mario Tredici (Università degli Studi di Firenze, Italy) 교수님은 각각 Open Pond 타입과 Closed Photobioreactor 를 선보였다.

<표 3> 재생 가능한 연료 필요량 (단위: 10 억 갤론)

Cellulosic biofuel 과 biomass-based diesel 은 모두 advanced biofuel 에 포함된다.

	CELLULOSIC BIOFUEL REQUIREMENT	BIOMASS-BASED DIESEL REQUIREMENT	ADVANCED BIOFUEL REQUIREMENT	TOTAL RENEWABLE FUEL REQUIREMENT
2009	N/A	0.5	0.6	11.1
2010	0.1	0.65	0.95	12.95
2011	0.25	0.80	1.35	13.95
2012	0.5	1.0	2.0	15.2
2013	1.0	a	2.75	16.55
2014	1.75	a	3.75	18.15
2015	3.0	a	5.5	20.5
2016	4.25	a	7.25	22.25
2017	5.5	a	9.0	24.0
2018	7.0	a	11.0	26.0
2019	8.5	a	13.0	28.0
2020	10.5	a	15.0	30.0
2021	13.5	a	18.0	33.0
2022	16.0	a	21.0	36.0
2023	b	b	b	b

^a To be determined by EPA through a future rulemaking, but no less than 1.0 billion gallons.

^b To be determined by EPA through a future rulemaking.

현재까지 알려진 반응기의 장단점을 <표 4>에 정리해 보았다.

<표 4> 미세조류 배양기 종류에 따른 장점과 단점

반응기 종류		장점	단점
Photoautotrophic Cultivation	Closed Photobioreactor	Open pond 보다 물사용량이 적다 장기간 배양 유지에 적합하다 배양되는 세포 밀도를 높일 수 있다	시설 증설이 어렵다 온도 조절 비용이 발생한다 배양시 생기는 바이오필름 제거가 필요하다 광조절이 필요하다
	Open Ponds	온도 유지가 필요없다 초기 투자 비용이 적게 든다	밤낮 또는 계절에 따른 온도와 습도 변화가 생긴다 우점종 배양 유지가 어렵다

			광조절이 필요하다
Heterotrophic Cultivation	생산과 오염 예방을 위한 최적 조건을 유지하기 용이하다 배양을 위해 값싼 lignocellulosic sugar 를 사용할 수 있다 바이오매스 농도를 높이기 용이하다		탄소원 공급을 위한 비용이 발생한다 Lignocellulosic sugar 를 이용하는 다른 바이오연료 기술과 경쟁관계이다

본 학회의 참여 인원은 350 명 정도로, 국제학회 치고는 규모가 작았으나 서로의 관심사가 유사하고 미세조류 연구를 하게 되면 논문으로나마 필연적으로 보게 되는 연구자를 직접 만나 그동안 궁금해 했거나, 지금 진행중인 연구에 대해 이야기 할 수 있어서 좋았다. 그리고 학회를 기반으로 'Algal Research'라는 저널을 만들었다고 하니 (출판사: Elsevier) 미세조류를 연구하고 있는 사람이라면 한번 노려봐도 좋을 것 같다.

참조 문헌 및 웹사이트

<http://www.algalbbb.com/>

<http://www.biomass.re.kr/>

- 1 Chisti, Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* **25**, 294-306, doi:10.1016/j.biotechadv.2007.02.001 (2007).
- 2 Griffiths, M. & Harrison, S. Lipid productivity as a key characteristic for choosing algal species for biodiesel production. *Journal of Applied Phycology* **21**, 493-507, doi:10.1007/s10811-008-9392-7 (2009).
- 3 Niehaus, T. D. *et al.* Identification of unique mechanisms for triterpene biosynthesis in *Botryococcus braunii*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, doi:10.1073/pnas.1106222108 (2011).
- 4 Senousy, H. H., Beakes, G. W. & Hack, E. PHYLOGENETIC PLACEMENT OF BOTRYOCOCCUS BRAUNII (TREBOUXIOPHYCEAE) AND BOTRYOCOCCUS SUDETICUS ISOLATE UTEX 2629 (CHLOROPHYCEAE)1. *Journal of Phycology* **40**, 412-423, doi:10.1046/j.1529-8817.2004.03173.x (2004).
- 5 Vazquez-Duhalt, R. & Greppin, H. Growth and production of cell constituents in batch cultures of *botryococcus sudeticus*. *Phytochemistry* **26**, 885-889, doi:10.1016/s0031-9422(00)82311-0 (1987).
- 6 Zhou, W. *et al.* Local bioprospecting for high-lipid producing microalgal strains to be grown on concentrated municipal wastewater for biofuel production. *Bioresource Technology* **102**, 6909-6919, doi:10.1016/j.biortech.2011.04.038 (2011).
- 7 Zhu, X.-G., Long, S. P. & Ort, D. R. Improving Photosynthetic Efficiency for Greater Yield. *Annual Review of Plant Biology* **61**, 235-261, doi:doi:10.1146/annurev-arplant-042809-112206 (2010).