

SERI 경영 노트

2012. 11. 8. (제170호)

미래의 자원으로 각광받는 미세조류(藻類)

목차

| | |
|-----------------------|----|
| 1. 주목받는 미세조류 | 1 |
| 2. 미세조류 활용이 확대될 3大 분야 | 3 |
| 3. 시사점 | 11 |

작성 : 조성재 수석연구원 (3780-8068)
sungjae.cho@samsung.com



삼성경제연구소

《 요약 》

최근 오바마 美 대통령이 미세조류로부터 생산한 대체에너지를 언급하는 등 미세조류가 미래의 청정에너지 및 산업소재 자원으로 주목받고 있다. 미세조류는 에너지 및 산업 소재 생산, 온실가스 저감이 가능한 자원으로 잠재력이 크다.

미세조류는 광합성을 하는 수중 단세포 생물로 일반적으로 식물성 플랑크톤이라고 불린다. 현재 미세조류를 산업적으로 활용하기 위한 노력이 미국을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 미국 전역에서 100개 이상의 관련 기업과 연구기관이 활동하고 있으며, 에너지부 등 정부 차원의 지원 역시 활발하다. 또한 엑손모빌, BP, 바스프, 릴라이언스 등 세계 주요 기업들의 기술 확보 노력이 진행되고 있다.

미세조류의 잠재성이 막대한 만큼 향후 다음의 3大 분야를 중심으로 활용이 확대될 전망이다. ① **에너지 분야**: 미세조류는 모든 바이오디젤 생산 작물 중 오일 생산성이 가장 우수하다. 또한 식량자원의 에너지화라는 비판에서 자유로운 생명자원으로, 석유계 디젤과 유사한 물성을 가진 바이오 연료를 생산할 수 있다. ② **화학 분야**: 미세조류는 다양한 유용물질을 생산할 수 있는 장점이 있으며, 현재 식품 분야를 중심으로 산업화되어 있지만, 향후 바이오케미컬 및 바이오플라스틱 분야로 산업화가 확대될 전망이다. 최근 미세조류 관련 기업들은 화학 분야에 대한 연구를 확대하고 있으며, 화장품이나 플라스틱 제품 등을 개발하며 화학 산업으로의 진출 노력을 경주하고 있다. ③ **환경 분야**: 미세조류는 자기 무게 2배 정도의 이산화탄소를 흡수하며, 특정한 토양이나 수질을 가리지 않고 배양이 가능하다. 이에 미세조류 관련 기업들은 미세조류를 이산화탄소 저감 및 공장폐수 정화 사업에 활용하려는 시도를 확대하고 있다.

비록 아직은 미세조류가 석유에 비해 경제성을 확보하지 못한 단계지만, 혁신적인 원가 절감 기술 및 추가 수익 확보 여부에 따라 상업화 시점이 앞당겨질 수 있다. 미세조류는 운송용 석유를 대체할 수 있는 유일한 에너지 자원이자 한국에서도 대량 생산할 수 있는 미래 생물자원이므로 향후 지속적으로 기술 및 산업 동향을 주시할 필요가 있다. 아울러 대체에너지 자원 개발 및 바이오 기반 기술 확보 관점에서 미세조류에 대한 정부 차원의 장기적인 투자가 이루어져야 할 것이다.

1. 주목받는 미세조류(藻類)

□ 미세조류가 미래의 청정에너지 및 소재 자원으로 재조명

- 최근 오바마 美 대통령은 "조류에서 생산한 휘발유, 경유, 제트연료가 운송용 석유 수입량의 17%를 대체할 수 있을 것"이라고 언급¹⁾
- 미세조류는 일반적으로 식물성 플랑크톤이라고 불리는데, 에너지 및 산업소재 생산, 온실가스 저감이 모두 가능한 미래자원

주요 에너지 자원별 특징 비교

| | 미세조류 | 석유 | 석탄 | 천연가스 | 원자력 | 태양광 | 풍력 |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| |  |  |  |  |  |  |  |
| 산업소재 생산 | 가능 | 가능 | 가능 | 가능 | 불가 | 불가 | 불가 |
| 온실가스 배출량 ¹⁾ | 저 | 고 | 고 | 중 | 저 | 저 | 저 |
| 가채 연수 ²⁾ | 무제한 | 54년 ³⁾ | 112년 ³⁾ | 64년 ³⁾ | 79년 ⁴⁾ | 무제한 | 무제한 |
| 경제성 확보시기 | 2020년 ⁵⁾ | 현재 | 현재 | 현재 | 현재 | 2020년 ⁵⁾ | 현재 |

- 주: 1) 온실가스는 생산과 사용 후 폐기 등 전 과정에서 나오는 총 배출량을 고려
 2) 천연가스에 셰일가스와 같은 비전통가스는 불포함
 3) BP (2012). BP Statistical Review of World Energy. 확인매장량 기준
 4) IAEA (2010). Red Book - Uranium: Resources, Production and Demand.
 5) 각종 자료를 토대로 삼성경제연구소 추정

□ 미세조류는 종류가 다양하고 증식 속도가 빠른 특징을 보유했다

- 조류는 크기를 기준으로 김, 미역 등 수십 미터까지 성장하는 거대 조류와 식물성 플랑크톤 등 수 마이크로미터 크기의 단세포 생물인 미세조류로 분류
- 미세조류는 10만 종 이상이 존재²⁾하는데 물, 햇빛, 이산화탄소만 공급해주면 광합성을 하며 무제한 증식이 가능

¹⁾ 2012년 2월 마이애미 대학 강연 중. 운송용 연료 수입의 17%는 석유 5억 배럴에 해당하는 양
²⁾ Carlsson, A. et al. (2007). Micro-and Macro-Algae: Utility for Industrial Applications. EPOBIO.

- 지구 전체 광합성의 절반을 해양 미세조류가 담당³⁾
 - 미세조류는 다양한 환경에서 짧은 시간 동안 대량 생산이 가능하며, 탄수화물, 불포화지방산 등 유용물질이 풍부한 친환경 자원
- 미세조류를 산업에 활용하기 위한 노력을 활발히 전개
- 미국은 정부와 기업 차원의 미세조류 개발 투자가 가장 활발
 - 미국 전역에서는 100개 이상의 미세조류 관련 기업 및 연구기관이 활동 중⁴⁾
 - 美 에너지부는 현재 30여 개의 미세조류 개발 프로젝트에 9,900만 달러의 자금을 지원 중
 - 유럽, 인도, 일본 등은 기업을 중심으로 미세조류에 대한 투자 및 기술개발 노력을 진행
 - 유니레버, BP, 바스프 등의 유럽 기업과 덴소, 히타치플랜트 등 일본 기업들이 미세조류 개발에 참여
 - 주로 에너지, 화학 분야 대기업들이 기술벤처기업과 활발히 협력
 - 2009년 미국의 엑손모빌은 신세텍지노믹스와 함께 미세조류 기반 연료를 개발하는 데 5년간 6억 달러를 투자할 것이라고 발표
 - 인도 릴라이언스는 2012년 1억 1,600만 달러를 투자하여 알게놀과 오로라알게의 지분을 확보

³⁾ Rubio, F. et al. (2003). A Mechanistic Model of Photosynthesis in Microalgae. *Biotechnology and Bioengineering*, 81(4).

⁴⁾ Braff, A. T. (2012). Algal Biofuels and Federal Policy: RFS2 and Other Policy Issues. *Fourth Annual EBI Biofuels Law and Regulation Conference*, April 25. University of Illinois at Urbana-Champaign.

주요 기업별 미세조류 관련 투자 및 개발 동향

| 기관명 | 국가 | 연도 | 협력 회사 | 주요 내용 |
|--------|----|------|---------|-----------------------------|
| 엑손모빌 | 미국 | 2009 | 신세텍지노믹스 | 바이오 연료 개발 (5년간 6억 달러 투자) |
| BP | 영국 | 2009 | 마텍 | 바이오 연료 개발 |
| 바스프 | 독일 | 2010 | 솔릭스 | 정밀화학 제품 개발 |
| 유니레버 | 영국 | 2010 | 솔라자임 | 비누, 위생용품 개발 |
| 히타치플랜트 | 일본 | 2010 | 유글레나 | 미세조류 기반 항공유 개발 |
| 몬산토 | 미국 | 2011 | 사파이어에너지 | 유용한 미세조류 유전자 발굴 |

자료: 각 사 홈페이지 및 언론 보도자료

2. 미세조류 활용이 확대될 3대 분야

① 에너지 분야: 바이오 연료 생산

□ 미세조류는 바이오디젤 작물 중에서 생산성이 가장 우수

- 미세조류는 매일 수 배로 증식하여 1일 단위로 재배가 가능⁵⁾
 - 반면, 대두, 유채, 해바라기, 오일팜 등은 재배 주기가 4~8개월
- 미세조류는 단위 무게당 지방 함량치도 높아 연간 오일 생산량이 대두의 100배 이상
 - 미세조류는 일반적으로 20% 이상의 지방을 함유하고 있으며, 보트리오크커스 종의 일부는 전체의 75%가 지방 성분으로 구성⁶⁾

주요 작물별 연간 오일생산성 비교(리터/ha)

| 작물 | 옥수수 | 대두 | 자트로파 | 카놀라 | 오일팜 | 미세조류(잠재) |
|-------------|-----|-----|------|-----|-------|--------------------|
| 디젤 오일생산성 | 172 | 636 | 741 | 974 | 5,366 | 58,700~ 136,900 |

주: 미세조류는 오일 함량을 30~70%로 가정하여 추산

자료: Mata, T. et al. (2010). Microalgae for Biodiesel Production and Other Application: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1).

⁵⁾ 클로렐라는 최적화된 조건에서 하루 4배 증식이 가능
(선클로렐라 홈페이지 <<http://www.sunchlorella.com/health/library.html>>)
⁶⁾ Chisti, Y. (2007). Biodiesel from Microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3).

□ 미세조류는 식량자원의 에너지화라는 비판에서 자유로운 유일한 바이오매스⁷⁾

- 현재 바이오 연료 생산에 옥수수, 사탕수수, 콩 등 식용작물을 사용함에 따라 곡물가격 폭등 문제가 발생해 사회적 이슈로 대두
 - 2012년 8월, 유엔은 최근 곡물가격 폭등의 원인 중 하나로 옥수수 기반 에탄올을 지목하고, 미국에 에탄올 의무생산 정책을 중단하도록 촉구
- 미세조류는 비식용이며, (해)수면을 이용하기 때문에 경작지 침해도 無
 - 식물줄기 등 2세대 바이오매스도 비식용이나, 대량재배를 위해서는 곡물 경작지 점유가 불가피

바이오매스의 세대별 분류 및 비교

| 세대 | 주요 작물 | 특징 |
|-----|---------------------------|--|
| 1세대 | 옥수수, 사탕수수, 콩 등 (식용 자원) | 곡물가격 상승 등의 부작용을 초래, 곡물가격 폭등 시 바이오 연료 사업 수익성 악화 |
| 2세대 | 식물 줄기, 목재 등 (비식용 자원) | 줄기 성분인 셀룰로오스를 분해하는 데 고비용 소요, 넓은 경작면적 및 높은 수집비용 필요 |
| 3세대 | 미세조류, 해조류 등 (비식용 자원) | 대량생산 기술 및 경제성 확보 미흡 |

□ 현재 미세조류에서 생산한 바이오 연료가 시험사용을 통과하여 성능이 확인된 단계

- 미세조류에서는 바이오디젤, 바이오항공유, 바이오에탄올 등을 모두 생산 가능하며, 현재는 바이오디젤 및 항공유 개발이 가장 활발
 - 솔라자임, 오리진오일, 심바이오틱, 사파이어에너지 등 대다수 미세조류 관련 기업들이 바이오디젤을 개발, 시험 중

⁷⁾ 에너지원으로 사용할 수 있는 생물자원을 의미

- 미세조류 디젤 및 항공유는 석유계 디젤 및 항공유와 물성이 유사하여 운송용으로 사용

미세조류 연료의 시험사용을 확대 중인 美 해군

- ▷ 美 해군은 2020년까지 전체 연료 소비의 절반을 대체에너지로 충당한다는 계획하에 미세조류 연료의 시험사용을 확대 중
 - 2011년 6월 미세조류로 만든 항공유를 주유한 시호크 헬리콥터의 시험 비행에 성공
 - 사용된 항공유는 솔라자임이 공급
 - 2012년 3월에는 4,000톤급 구축함이 미세조류 디젤로 2,000km를 운행하는 시험에 성공



(자료: 솔라자임 홈페이지 <<http://solazyme.com/>>; 위키피디아)

- 알게놀 등 일부 회사들은 미세조류 기반 바이오에탄올을 개발 중

미세조류에서 바이오에탄올을 생산하는 기업: 알게놀

- ▷ 알게놀은 미세조류의 유전자를 조작하여 조류가 에탄올을 분비하도록 하는 기술을 개발
 - 조류에서 분비된 에탄올은 증발하면서 투명한 필름으로 제작된 지붕을 타고 저장탱크로 이동
 - 현재 年 38만 리터의 에탄올을 생산하는 시설을 건설 중



(자료: 알게놀 홈페이지; 케미컬 테크놀러지 홈페이지)



□ 상업화를 위해서는 기술혁신을 통한 경제성 확보가 필요

- 현재는 설비투자비가 높고, 대량채배 - 수거 - 건조 - 지방성분 추출의 공정효율이 낮아 석유계 대비 경제성이 떨어짐
 - 미세조류 기반 디젤의 가격은 1리터당 2.8~5.3달러⁸⁾ 수준 (최근 미국 석유디젤 가격은 1리터당 1.1달러 수준⁹⁾)

⁸⁾ Haq, Z. (2012). Biofuels Design Cases. US Department of Energy, Office of Biomass Program.

⁹⁾ 2012년 10월 29일 기준 미국 고속도로 가격(US Energy Information Administration)

미세조류 기반 디젤의 생산방식별 투자비 및 가격 비교

| 생산방식 | 초기 투자비 | 디젤 가격 | 장단점 | 형태 |
|---------|--------------|----------|--|---|
| 개방형 연못 | 2억 4,300만 달러 | 2.8달러/리터 | - 투자비가 적고, 규모 확대가 용이 - 단위면적당 생산성이 낮으며, 오염에 취약 |  |
| 광생물 반응기 | 6억 3,700만 달러 | 5.3달러/리터 | - 단위면적당 생산성이 높으며, 배양환경 조절이 용이 - 초기 투자비가 많이 소요되고, 규모 확대가 어려움 |  |

주: 미세조류 기반 디젤은 연간 1,000만 갤런 규모의 디젤 생산을 기준으로 추산

자료: Haq, Z. (2012). Biofuels Design Cases. US Department of Energy, Office of Biomass Program.

- 미국에서 미세조류 기반 디젤이 석유디젤 대비 경제성을 확보하는 시기는 2020년경으로 예상되며, 온실가스 규제정책과 유가에 따라 사업의 경제성 확보시기는 유동적

- 美 에너지부는 최근 2020년까지 1리터당 가격을 1.5달러 수준으로 낮추는 기술개발 계획안을 제시¹⁰⁾

② 화학 분야: 바이오케미컬, 바이오플라스틱 등 유용물질 생산

□ 미세조류는 종 다양성이 높은 단세포 생물로, 다양한 물질의 생산이 가능

- 종에 따라 지방, 탄수화물, 단백질의 구성비 차이가 크며, 세포 내에 다양한 유용물질을 함유
 - 클로렐라는 단백질이 50% 이상인 반면, 스피이로자이라는 20% 미만¹¹⁾
 - 미세조류는 베타카로틴, 토코페롤 등 항산화물질, 각종 아미노산, 오메가-3 불포화지방산과 같은 영양 성분들을 함유

¹⁰⁾ Davis, R. (2012). Algal Biofuel Pathway Baseline Costs. US Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory.

¹¹⁾ Singh, J. et al. (2010). Commercial Potential of Microalgae for Biofuels Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9).

- 미세조류 유전자를 조작하여 천연상태에서는 없거나 소량으로 생산되는 물질을 대량 생산할 수 있도록 개량하는 것도 가능
 - 파이코바이오로직스는 미세조류 유전자를 조작하여 백신이나 항체로 사용할 수 있는 유용 단백질을 생산하는 데 성공¹²⁾

□ 미세조류는 1960년대 클로렐라의 대량 생산 이후 식품 분야를 중심으로 산업화

- 단백질 함량이 높은 미세조류인 클로렐라, 스피룰리나 등을 활용해 각종 아미노산, 항산화물질, 지방산을 보충하는 건강기능식품이 상용화
 - 미세조류에서 생산한 오메가-3 제품은 물고기에서 추출한 제품 대비 중금속 오염 가능성이 낮고 식물성 제품이라는 점이 매력
- 미세조류에서 색소와 염료를 추출하거나 어류양식용 사료를 생산

대표적인 조류 활용 분야 및 제품

| 분야 | 식품 | 사료 / 비료 | 화학제품 |
|------|------------------|------------------|-------------|
| 대표제품 | 클로렐라, DHA, 오메가-3 | 새우/어패류/치어 양식용 사료 | 색소, 염료, 보존제 |

자료: U.S. Department of Energy (2010). National Algal Biofuels Technology Roadmap.

□ 최근 바이오케미컬과 바이오플라스틱으로 미세조류 활용 분야가 확대

- 현재 미세조류를 이용한 바이오케미컬과 바이오플라스틱 제품이 출시되는 단계
 - 세레플라스트는 2009년 미세조류 성분을 35%까지 사용한 조류 플라스틱 제품을 출시

¹²⁾ Surzycki, R. et al. (2009). Factors Effecting Expression of Vaccines in Microalgae. *Biologicals*, 37(3).

- 미세조류는 자기 무게의 1.8~2.2배나 되는 이산화탄소를 흡수¹⁴⁾
 - 육상 식물 대비 10~50배 높은 이산화탄소 흡수 효율성을 보유¹⁵⁾
 - 미세조류 기반 연료가 연소할 때 발생하는 이산화탄소는 미세조류가 성장하면서 흡수했던 것이므로 미세조류는 탄소중립성¹⁶⁾을 확보
- 미세조류는 특정한 토양이나 수질을 가리지 않고 배양이 가능하여 폐수처리 용도로도 최적의 대안 중 하나
- 물과 햇빛만 있으면 황무지나 간척지 등 어디서나 재배 가능하며, 염분이 많은 물이나 공장 폐수에서도 배양 가능
 - 폐수 속의 질소나 인과 같은 영양 성분을 흡수하며 성장
 - 카드뮴, 납, 수은과 같은 중금속을 흡착, 제거¹⁷⁾하는 한편, 특정 종의 경우 방사능 물질을 흡수하는 것으로 보고¹⁸⁾

폐수로 미세조류를 생산하는 나사(NASA) 오메가 프로젝트

- ▷ 나사는 2008년부터 특수 제작된 비닐팩에 미세조류와 폐수를 담아 바다에서 대량 배양하는 오메가 프로젝트를 진행 중
 - 현재 美 샌프란시스코 인근 해안에서 연구 중이며, 항공유를 생산하는 것이 목표



(자료: NASA 홈페이지 <<http://www.nasa.gov/centers/ames/research/OMEGA/index.html>>)

¹⁴⁾ Santana, G. et al. (2009). Growing Green: An In-Depth Look at the emerging Algae Industry. Greener Dawn Research.

¹⁵⁾ Khan, S. et al. (2009). Prospects of Biodiesel Production from Microalgae in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9).

¹⁶⁾ 화석 연료는 수백만 년 동안 땅 속에 갇혀 있던 탄소를 대기 중 이산화탄소로 배출하는 반면, 조류는 대기 중 이산화탄소를 흡수해 성장하고 연소 시 재배출하기 때문에 대기의 탄소량에 변화가 없음

¹⁷⁾ Travieso, L. et al. (1999). Heavy Metal Removal by Microalgae. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 62(2).

¹⁸⁾ Krejci, M. et al. (2011). Selective Sequestration of Strontium in Desmid Green Algae by Biogenic Co-precipitation with Barite. *ChemSusChem*, 4(4).

- 향후 미세조류를 이용한 탄소 포집 또는 폐수 정화사업이 확대될 전망
 - 고농도의 이산화탄소가 발생하는 발전소나 폐수를 다량 배출하는 공장 인근에 미세조류 배양설비 설치를 확대 중
 - 블루마블에너지는 공장 폐수에서 조류를 배양해 폐수를 정화하고, 이 조류를 이용해 보일러용 펠릿을 생산하는 조류 배양 설비를 2011년부터 가동 중

발전소의 이산화탄소로 미세조류를 생산하는 기업: 심바이오틱

- ▷ 이스라엘의 미세조류 기업인 심바이오틱은 2006년 세계 최초로 발전소에서 배출되는 이산화탄소를 배양 설비에 직접 연결하여 미세조류를 생산
 - 이스라엘 전기(IEC)의 석탄화력발전소와 협력하여 1,600m² 정도 크기의 개방형 연못에서 다양한 미세조류의 배양조건을 테스트



- ▷ 2009년 발전 회사인 중국 귀디양(國電)과 합작사를 설립하였으며, 12ha 규모의 대형 미세조류 배양시설을 구축
 - 인근 평라이 발전소로부터 이산화탄소를 제공받음

(자료: 심바이오틱 홈페이지 <<http://www.seambiotic.com/>>)

- 발전소나 공장의 이산화탄소 및 폐수를 활용하여 배양하는 경우 환경오염을 줄이고 바이오디젤을 생산하는 일석이조의 효과 기대
 - 미세조류로 폐수를 처리하면 폐수처리 수익이 발생하여 미세조류 기반 바이오디젤 생산비용의 18~20%가 개선¹⁹⁾
- 현재는 미세조류를 통해 이산화탄소나 부영양화를 제거하는 수준이나, 향후 중금속 제거나 방사능 오염지역 정화를 위해서도 활용할 전망

¹⁹⁾ Lundquist, T. et al. (2010). A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel Production. Energy Biosciences Institute.

3. 시사점

- 미세조류 활용산업 확대를 위해서는 기술 및 비즈니스 모델 혁신이 필요
 - 현재는 경제성이 미흡한 단계인데, 기술 혁신으로 원가 절감에 성공한다면 2020년경 상업화할 것으로 예상
 - 미세조류의 배양, 수거, 건조, 추출, 화학전환 등 공정별로 생산성 높은 균주 개발, 수거 및 건조 설비 개선 등 기술혁신이 필요
 - 개별 공정 단계를 줄이거나, 연속공정화하는 생산기술 개발 연구를 강화
 - 환경오염 처리와 연계하는 등 비즈니스 모델 혁신을 통해서도 미세조류 산업의 상용화 시점을 단축 가능
 - 발전소에서 배출되는 이산화탄소 처리, 미세조류 부산물을 활용한 화학제품 출시 등을 통해 경제성을 강화
 - 기술 혁신으로 가격 하락이 가속화될 가능성이 있으므로 기술 동향을 주시
 - 옥수수 기반 바이오에탄올은 생산비용을 절감함으로써 2001년 1리터당 2.4달러에 달하던 가격이 2011년 0.7달러 수준으로 10년 동안 71% 하락²⁰⁾
- 미세조류는 한국에서도 대량 생산할 수 있는 조건을 갖춘 미래 생물자원
 - 미세조류 대규모 배양이 가능한 지역은 연평균 기온이 15℃ 이상, 근처에 도시나 축산 시설이 있어 영양분 유입이 풍부한 곳, 해발고도가 낮은 평지, 저렴한 부지비용과 같은 조건이 확보되어야 함

²⁰⁾ Davis, R. (2012). Algal Biofuel Pathway Baseline Costs. US Department of Energy, National Renewable Energy Laboratory.

- 국제 조사 결과, 한국의 서해안 지역이 대규모 미세조류 배양이 가능한 입지로 평가²¹⁾
 - 해수면을 활용할 수 있고 좁은 면적에서 대량 생산이 가능한 미세조류는 국토 면적이 좁은 한국의 실정에도 적합
 - 옥수수나 목질계 작물 같은 1, 2세대 바이오매스 자원은 대규모 경작면적이 필요하기 때문에 국내 산업으로는 육성하기 어려움
- 대체에너지 개발 및 바이오 기반 기술 확보 관점에서 미세조류 분야에 대한 정부 차원의 장기적인 투자가 필요
- 정부 차원에서 중장기 R&D 및 실증사업을 통해 기술 개발과 기업육성 노력을 지속할 필요
 - 미세조류 탐색 및 개량을 위한 유전자 조작 기술을 비롯하여 대량 생산 및 수거, 건조, 추출 등 단계별 공정기술 확보를 지원
 - 석유화학, 발전, 제철 등 임해 산업공단이 발달한 한국의 특성을 반영해 해양 미세조류 배양을 이용한 탄소배출 저감, 폐수 처리 등 실증사업도 추진할 필요
 - 기업들은 국내외 기술 기업과의 협력사업 추진을 고려할 필요
 - 다우(알게놀), 쉘(HR 바이오석유), 세브런(솔라자임) 등 다수의 글로벌 기업들은 미세조류 전문기업과 협력해 사업을 추진 중

²¹⁾ Harmelen, T. et al. (2006). Microalgae Biofixation Processes: Applications and Potential Contributions to GHG Mitigation Options. TNO Built Environment and Geosciences.

국내 미세조류 개발 동향

- ▷ 국토해양부는 미세조류 바이오디젤 분야에 2019년까지 총 490억 원을 지원할 계획이며, 2012년 10월 조류배양 실증플랜트를 인천 영흥도에 준공
 - 해상에서 반투과막을 이용하여 해양 미세조류를 배양할 계획

- ▷ 한국해양연구원은 2011년 롯데건설, 애경유화, 호남석유화학과 공동연구 계약을 체결하고, 미세조류 바이오디젤 등 유용물질 개발을 추진
 - 2013년까지 10ha 규모의 바이오 연료 생산단지를 조성하는 것이 목표
 - 미세조류 배양액으로부터 바이오 연료, 기능성 물질 등을 생산할 계획

(자료: 국토해양부 (2012. 10. 29.). "해양 미세조류로 바이오디젤의 가능성을 키운다". 보도자료.; 한국해양과학기술원 (2011. 6. 21.). "해양연, 미세조류 바이오연료 공동연구협력 착수". 보도자료.)