

미래의 연료와 환경산업을 주도할

광합성 미생물



녹조현상의 원인으로 알려진 미세조류는 주로 여름철 수면에 집적하게 되어 대기에서 수중으로 유입되는 산소를 차단하게 되고 결국 수중의 용존 산소량을 현저히 낮추게 됨으로써 수생생태계를 종종 위협하는 성가시고 해로운 생물 취급을 받는다. 하지만 사실 이 미세조류는 광합성을 통해 대기나 수중의 이산화탄소와 물을 이용해 유기물을 합성하고 산소를 내놓는 광합성 생물로 이산화탄소를 흡수하는 양이 육상식물과 비슷한 수준으로 높기 때문에 지구의 물질 순환에 매우 중요한 역할을 하는 유용한 생물자원이다. 육안으로 관찰이 가능한 김이나 미역과 같은 거대조류(Macroalgae)와 같은 조류(algae)에 속하지만, 이 미세조류(microalgae)는 최소 머리카락 굵기의 10분의 1 정도의 크기로 현미경으로 봐야만 자세한 관찰이 가능할 정도로 크기가 매우 작은 광합성

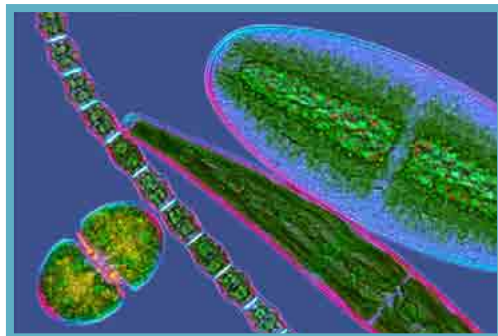


그림 출처

<http://www.epochtimes.com.ua/ru/science/technology-and-discoveries/pobediteli-konkursa-mikrofotografii-olympus-bioscapes-2012-107615.html> (미세조류 현미경 사진)

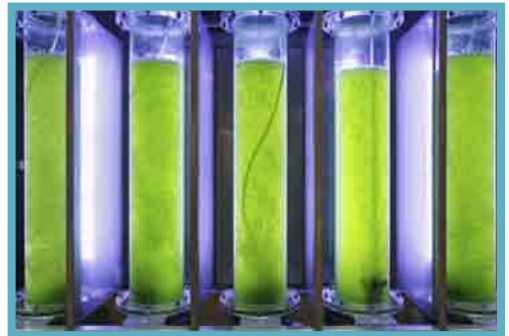


그림 출처

<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/farming-microalgae-biofuel/> (광배양기에서 미세조류를 배양하는 모습)

미생물이다. 보유하고 있는 색소에 따라 녹조류(green algae), 갈조류(brown algae), 홍조류(red algae) 등으로 분류되기도 한다.

최근에는 이 미세조류의 광합성을 통해 합성되는 지질(lipid)이 식물성 바이오디젤(biodiesel)과 성분이 매우 유사할 뿐만 아니라 함유량이 매우 높다는 이유로 새로운 바이오디젤의 원료로 각광을 받으며 세계 각지에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 한 예로, 미국 에너지부(US. DOE)의 지원을 받아 작성된 보고서(2014년)에 따르면, 연간 1에이커(acre, 약 4,046.8 제곱미터)에서 대두와 옥수수를 원료 바이오매스로 사용할 경우 각각 180 그리고 68리터(liter)의 바이오디젤을 생산할 있지만 미세조류를 사용할 경우 1에이커 당 약 9,000리터(liter)의 바이오디젤을 생산할 수 있다고 보고가 되어 학계를 놀라게 했다. 전혀 새로운 사실 같지만, 이미 미세조류 바이오연료 연구는 일찍이 1970년대 석유파동을 겪으면서 미국의 국립재생에너지연구소(NREL)에서부터 약 20년간 활발히 진행된 바 있다. 이 후 세계 경제가 안정화되면서 대체 연료 개발에 대한 관심이 주춤하게 되고 잠시 정체기에 이르게 되었다가 최근 식량문제, 지구온난화 문제, 그리고 에너지 문제가 대두되면서 대체연료, 특히 바이오연료가 다시 주목을 받게 됨으로써 미세조류의 인기가 다시 높아진 것이다. 이를 반영하는 한 예로, 가까운 일본의 경우 도쿄 올림픽이 열리는 2020년까지 5년 이내 항공유인 바이오제트 연료를 주입해 운항을 목표로 하는 『바이오제트·디젤연료제조 실증플랜트』를 진행한다고 밝혀 미국과 영국 등 여러 나라 항공사들의 많은 관심을 받고 있다. 우리나라도 미세조류 기반 바이오연료의 중요성을 인식하고 차세대바이오매스연구단을 출범시켜 자국 기술로 바이오연료를 생산하기 위한 원천기술 개발에 투자하고 있으며 세계 4위의 바이오연료 소재 기술 강국을 달성하기 위해 부단한 노력을 기울이고 있다.

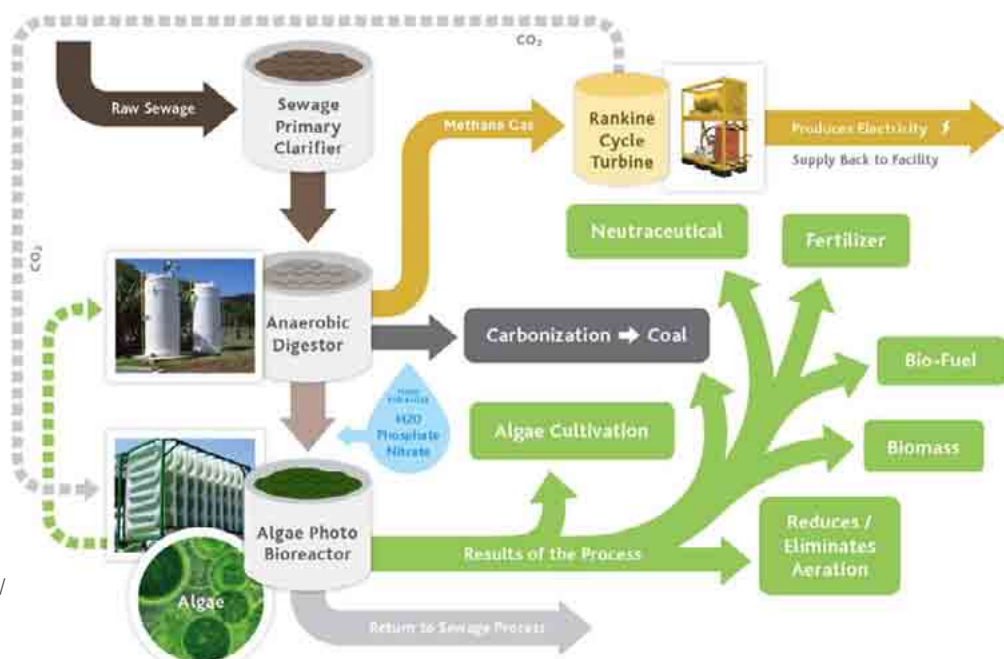


그림 출처

<http://microbes.cae.drexel.edu/research-2> (미세조류 관련 산업 모식도)

또 한 가지 흥미로운 점은 이 미세조류가 바이오연료나 소재뿐만 아니라 폐수처리에도 매우 유용하게 응용될 수 있다는 점이다. 심지어 기존의 여타 수처리 공법에 비해 큰 장점을 가지고 있기 때문에 전 세계적으로도 많은 관심을 받고 있는 실정이다. 현재 하·폐수처리공정으로 가장 많이 선호되고 있는 방법은 활성슬러지 공법(activated sludge process)이다. 주로 영양염류인 질소와 인 성분을 고도 처리하기 위해 설계되어 있고 많은 시설에서 이 공법을 채택하여 운전하고 있지만 사실상 질소와 인을 처리하는 과정은 매우 복잡할 뿐만 아니라 여러 가지 문제점을 내재하고 있다. 한 예로, 수중의 질소오염 물질을 처리하기 위해서는 산소(O₂)가 있는 호기성(aerobic)의 질산화(nitrification)공정과 산소가 없는 무산소(anoxic) 또는 혐기성(anaerobic)조건이 유지되는 탈질공정(denitrification)이 반드시 필요한데, 운전하는 방식이 복잡하고 각각의 단계에서 관련 미생물들의 활성이 반드시 잘 유지되어야 한다는 단점을 가지고 있다. 만약 운전 조건 및 환경이 적절하게 잘 유지되지 않게 되면, 미생물군집의 활성 저해로 인해 오염물질 제거효율이 감소하게 되는 것은 물론, 질산염을 환원시키는 과정에서 많은 양의 이산화탄소(CO₂)와 질소산화물(NO_x)이 발생하게 되어 지구온난화에도 영향을 미칠 수 있다. 이에 반해 미세조류는 광합성을 통해 하·폐수에 존재하는 다양한 형태의 질소와 인을 쉽고 효율적으로 동시에 흡수하여 고정화할 수 있기 때문에 고도 수처리 공정이 매우 단순해짐은 물론 동시에 전력소비량을 현저히(기존의 활성슬러지에 비해 약 60배 이상) 낮출 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이외에도, 이산화탄소(CO₂)를 탄소원으로 이용하여 성장하기 때문에 오히려 이산화탄소의 발생량을 줄일 수 있으면서 C/N비(탄소/질소 비율)가 낮은 폐수에서도 질소를 고정화할 수 있다는 큰 이점이 있다. 또한, 활성슬러지와는 달리 미세조류는 그 자체를 산업에 유용한 바이오매스 원료로 사용할 수 있기 때문에 사회적·경제적 부담을 최소화하면서 동시에 새로운 시장을 개척할 수 있는 잠재력을 가지고 있다.



그림 출처

http://www.nature.com/nature/journal/v474/n7352_supp/full/474S015a.html?message-global=remove
(개방형 연못에서 미세조류를 배양하는 모습)

목적에 따라 미세조류를 배양하는 방식이 무엇보다 중요할 수 있는데, 크게 인공광(artificial light)과 반응기를 활용하는 폐쇄형 광배양기(closed photo-bioreactor)와 자연 연못 형태의 개방형 연못(open pond)으로 분류할 수 있다. 미세조류를 활용하여 하·폐수를 처리하기 위한 목적으로는 개방형 연못 방식이 건설비와 운영비가 상대적으로 저렴하기 때문에 광배양기 방식보다 더 경제적이고 효율적인 것으로 알려져 있다. 하지만, 기존의 개방형 연못방식은 깊이가 깊어 그늘효과(shading-effect)에 의해 빛이 연못의 최하단부까지 투과하기가 어렵고 유속이 느려 미세조류가 가라앉는 문제점들이 있어 최근에는 고속처리연못(High-rate algal pond, HRAP) 시스템을 개발하여 사용하고 있는 추세이다. 이 고속처리연못(HRAP) 시스템은 기존의 개방형 연못에 비해 깊이가 얇고 유속을 조절할 수 있기 때문에 미세조류의 성장속도를 향상시키면서 동시에 영양염류 처리 속도를 높일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 호주와 뉴질랜드에서는 일찍이 연구소와 대학을 중심으로 미세조류를 이용해 고속처리연못(HRAP)에서 하·폐수 및 축산폐수를 처리하는 시스템을 고안하였고, 처리수를 농업용수로 재활용하는 등 실생활에 유용하게 적용을 하고 있다. 미국 메릴랜드주에서는 한발 더 나아가 기존의 고속처리연못(HRAP)에서 문제가 되는 미세조류의 수확 및 분리의 어려움을 해결하기 위해 Algal-Turf Scrubber(ATS)을 개발하고 적용하여 폐수처리와 지방산 생산을 동시에 성공시킨 사례가 보고가 되어 있다. 바이오디젤 생산 관점에서 미세조류 배양을 위해 폐수를 활용하게 된다면 생산 단가의 50% 이상을 절감할 수 있다는 연구보고도 되어 있기 때문에 일석이조인 셈이다.

우리나라에는 아직까지 생소한 분야의 연구처럼 보일 수 있지만 앞서 언급한바와 같이 광합성 미생물인 미세조류의 이점을 잘 활용한다면 하·폐수를 친환경적이고 효율적으로 처리하면서 바이오연료 또는 또 다른 형태의 고부가가치 산물을 생산하는 등 새로운 바이오산업시장을 개척할 수 있다. 미국의 경우 10년에 걸쳐 바이오에너지 및 재생에너지 상용화를 촉진하기 위해 무려 1500억 달러를 투자하겠다고 발표한 바 있으며 우리나라에서도 저탄소 녹색성장을 위한 중점적 추진 전략의 하나로 신재생에너지 산업에 2030년까지 약 110조원을 투자하여 바이오에너지 등 신재생에너지 이용을 11%까지 확대하기로 하였다. 이러한 점들을 미루어 보았을 때, 미세조류를 활용한 이산화탄소 저감과 동시에 하·폐수의 고도처리 기술 의 지속적인 노력은 앞으로 환경바이오 산업을 주도할 수 있는 미래 핵심 기술로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

그림 출처

<https://hub.globalccsinstitute.com/publications/realistic-technology-and-engineering-assessment-algae-biofuel-production/21-current-and-potential-uses-microalgae-biomass>
(개방형 연못에서 미세조류를 배양하는 모습)



글 자원활용기반연구부 류병곤