

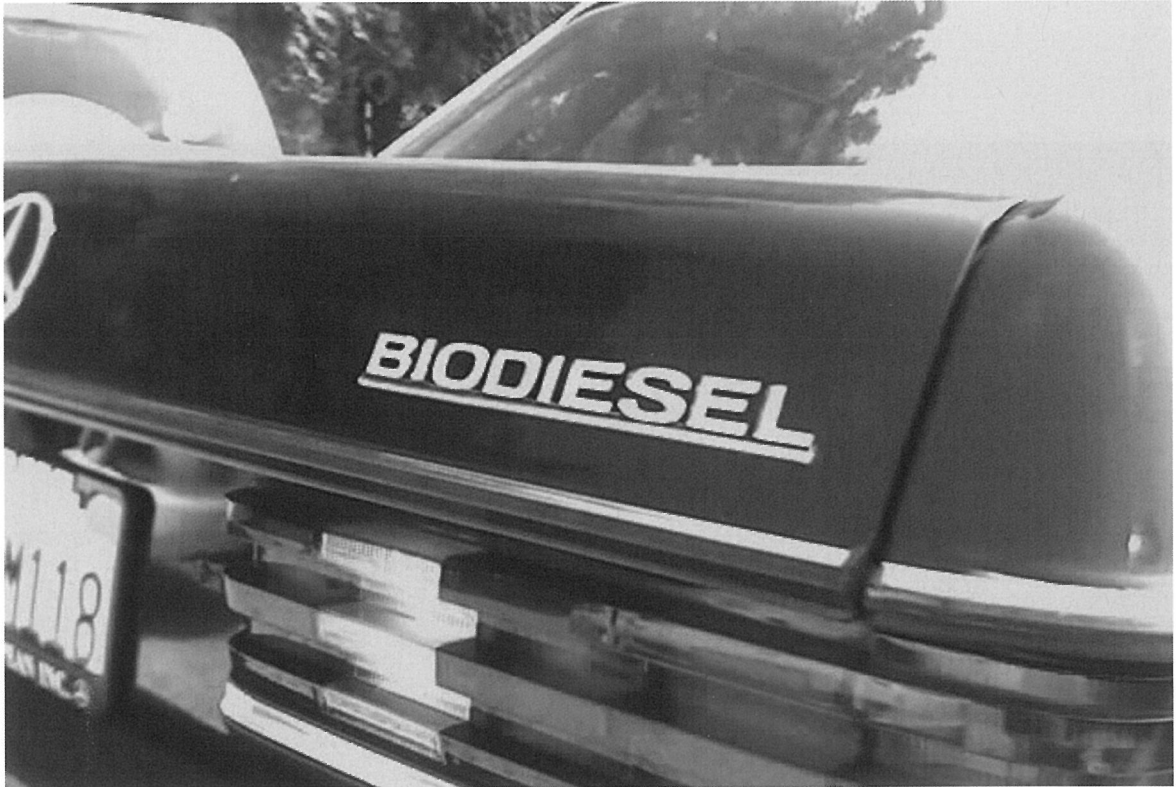
## 바이오연료, 그것이 알고 싶다



우아영

—  
동아사이언스 기자

바이오연료가 다시 각광받고 있다. 지난 겨울 북극 해빙이 사상 최대 수준으로 녹는 등 기후변화가 지속되고 있기 때문이다. 바이오연료란 태양 에너지를 받아 유기물을 합성하는 식물체와 이들을 먹고 사는 미생물과 동물 등의 유기체, 즉 바이오매스에서 만든 연료다. 특히 최근에는 항공기가 배출하는 이산화탄소를 줄여야 한다는 목소리가 커지면서 항공기용 바이오연료에 관심이 쏠리고 있다. 실제로 지난 6월, 미국 항공사 '유나이티드항공'은 쓰레기에서 바이오연료를 생산하는 '펄크럼 바이오에너지' 사에 3000만 달러(한화 약 334억 8900만 원)를 투자하는 계약을 맺었다. 펄크럼 바이오에너지 사는 "우리 회사의 바이오연료를 쓰면 재래식 연료를 쓸 때보다 탄소배출량을 80% 줄일 수 있다"고 주장하고 있다. 2017년 첫 공장을 짓고 2018년부터 본격적으로 항공기용 바이오연료를 생산할 예정이다. 미국 항공사 '보잉' 역시 아랍 에미리트(UAE) 해수에서 자라는 사막식물로부터 바이오연료를 생산하는 데 성공해 식물 시험 재배를 시작한다고 밝혔다.



## 솔 빛듯 만드는 바이오에탄올

현재 쓰고 있는 바이오연료에는 크게 바이오에탄올과 바이오디젤이 있다. 바이오에탄올은 사탕수수 같은 당질계 작물과 옥수수 같은 전분계 작물로부터 만든다. 산소가 없는 환경에서 작물의 포도당을 미생물로 발효해 에탄올을 얻은 뒤, 증류 과정을 거쳐 순도를 높인다. 술을 빚는 것과 비슷한 셈이다. 바이오디젤은 야자처럼 기름이 많은 작물에서 식물성 기름을 추출한 뒤, 알코올과 화학적으로 반응시켜서 만든다. 이 과정을 거치면 긴 지방산 고리를 가진 혼합물이 되는데, 원재료인 식물성 기름과 달리 경유와 비슷한 연소 특성을 갖게 된다. 바이오에탄올과 바이오디젤은 각각 휘발유와 경유에 혼합돼 자동차용 연료로 쓰이고 있다.

바이오연료는 작물을 이용해 만들기 때문에 태웠을 때 배출되는 가스 안에 오염물질이 적다. 이 밖에도 바이오연료는 지구상에 매우 흔한 유기체를 이용해 만들기 때문에 고갈될 염려가 없고, 액체 형태로 태양광이나 풍력 등 다른 재생에너지와 달리 저장하기 쉽다는 장점이 있다. 자동차 엔진에 그대로 쓸 수

있을 뿐만 아니라 활용 범위가 넓은 것도 장점이다. 우리나라는 경유의 2%를 의무적으로 바이오디젤을 섞도록 하고 있는데, 그 비율을 2017년까지 2.5%, 2020년까지 3.0%로 늘릴 계획이다. 바이오에탄올은 아직 보급되지 않고 있다.

하지만 바이오에탄올과 바이오디젤 같은 소위 1세대 바이오연료에는 큰 문제점이 있다. 옥수수 같은 식용 작물을 원료로 쓰기 때문에 곡물 가격을 높인다는 점이다. 예컨대, 스포츠 실용차량(SUV)의 연료 탱크를 한가득 채우는 데 성인 1명이 1년간 먹는 양의 옥수수가 필요하다. 전세계 수억 명의 자동차 소유주와 수십억 명의 배고픈 사람들이 작물을 두고 경쟁해야 하는 상황이라는 얘기다. 유기체가 자라는 과정과 바이오연료 생산 과정을 고려했을 때 과연 이산화탄소 감축 효과가 실제로 있는지에 대한 의문도 꾸준히 제기되고 있다. 바이오연료의 원료에 따른 온실가스 배출량을 비교한 한 연구에 따르면, 옥수수로 바이오에탄올을 만들 때 석탄을 활용했다면 오히려 기술력에 비해 이산화탄소가 3% 더 많이 발생하는 것으로 나타났다.



▲아자 등의 식물성 기름으로부터 만드는 바이오디젤

### 1세대 단점 보완해 나무와 해조류 이용한 차세대 바이오연료

최근에는 이 같은 단점을 보완해 사람이 식량으로 먹지 않는 기타 유기체로부터 만드는 차세대 바이오연료가 각광받고 있다. 풀이나 나무 같은 목질계 원료를 이용한 2세대 바이오연료가 대표적이다. 식물 세포벽의 주성분인 셀룰로스로부터 당을 추출한 뒤 이를 미생물로 발효시켜 만든다. 산소가 부족한 환경에서 원료를 고온으로 가열해 분해하는 열화학적인 방법으로도 만들 수 있다. 섭씨 500도 내외에서 바이오오일, 섭씨 800도 이상에서 합성 가스가 만들어지는데, 이렇게 만들어진 중간 물질들을 촉매를 이용해 개질하거나 화학적으로 합성하면 바이오연료로 전환할 수 있다. 목질계 원료로 만든 2세대 바이오연료는 옥수수로 만든 바이오에탄올에 비해 이산화탄소 저감률이 86%까지 증가한다고 보고됐다.

최근에는 면적이 제한된 땅을 벗어나 드넓은 바다를 활용하자는 인식이 확산되면서 조류를 원료로 하는 3세대 바이오연료

가 떠올랐다. 조류는 공기 중이나 물속의 이산화탄소와 물, 햇빛을 이용해 유기물을 합성하고 산소를 내놓는 광합성 생물로, 미역, 김 같은 거대 해조류와 단세포로 이뤄진 녹조류 등의 미세조류로 나뉜다. 특히 미세조류는 단위 면적당 기름 생산량이 아자나무의 10배 이상으로, 미래 에너지 수요를 감당할 유망한 자원으로 평가 받고 있다. 실제 미국 연구진의 연구 결과 미세조류 1에이커(4050m<sup>2</sup>)에서 만들 수 있는 바이오디젤은 약 2500갤런(9460L)으로, 같은 면적의 콩(180L)이나 옥수수(68L)에서 생산되는 양보다 훨씬 많은 것으로 나타났다. 연구진은 미국, 중국, 브라질, 캐나다 등의 불모지에서 미세조류를 키워 바이오연료를 생산한다면 이 국가들의 전체 연료 소비량의 30%를 충당할 수 있다고 추정했다.

미세조류로부터 바이오디젤을 만들 때도 오일 추출과 알코올 반응 과정을 거친다. 미세조류의 다양한 생체 구성성분 가운

데 지질이 바이오디젤의 원료가 된다. 클로로포름과 메탄올이 혼합된 유기용매를 미세조류에 첨가하면 지질 성분이 클로로포름과 함께 분리된다. 이렇게 추출한 미세조류 오일을 알코올과 화학적으로 반응시키면 바이오디젤을 얻을 수 있다.

미세조류는 곡물이나 풀, 나무 등과 달리 항상 일정량을 확보하기 어렵기 때문에 인위적으로 배양하는 기술이 중요한데, 주로 연구되는 태양 광배양 기술의 효율이 아직 높지 않아 상용화에는 시간이 더 걸릴 전망이다.



▲조류의 지질을 분리해 알코올과 화학적으로 반응시켜서 만드는 바이오디젤

### 가장 큰 문제는 경제성 확보

무한한 잠재력에도 불구하고 바이오연료는 아직 널리 쓰이지 못하고 있다. 비싼 가격이 가장 큰 걸림돌이다. 이미 상용화된 1세대 바이오연료도 아직 기존 화석연료에 비해 비싸다. 2세대 바이오연료는 원료 식물의 2차 세포벽에 존재하는 리그닌을 분해하는 전처리 과정에 비용이 많이 든다. 목질계 원료를 30년간 연구해 온 미국 연구진이 상용화가 가능한 최소 요건을 만족하는 전처리 기술을 최근에야 개발했을 정도다.

이를 해결하기 위해 최근에는 생산 과정을 단순화해서 가격을 낮추려고 시도 중이다. 예컨대, 목질계 원료를 이용할 때 필요한 미생물 촉매를 맞춤형으로 개발하는 연구가 이뤄지고 있다. 지금까지는 목질계 원료를 분해하기 위한 효소 생산과 에탄올 발효를 하는 데 각각 다른 균주가 필요했다. 최신 기술을 이용해 효소 생산과 에탄올 발효에 관여하는 유전자를 한 미생물에 모두 도입하면 전처리된 목질계 원료에서 한 번에 에탄올을 생산할 수 있다.◆