



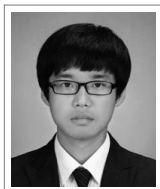
미세조류를 이용한 농촌지역 수질개선방안



남 귀 속 |
한국농어촌공사 농어촌연구원
nguisook@hanmail.net



송 영 희 |
한국농어촌공사 경기도본부
songyh@ekr.or.kr



이 의 행 |
한국농어촌공사 농어촌연구원
end220@ekr.or.kr



배 요 섭 |
한국농어촌공사 새만금개발처
paeyo@ekr.or.kr



김 미 옥 |
한국농어촌공사 농어촌연구원
mickey@ekr.or.kr

1. 서론

조류(藻類, algae)는 분류학상 여러 문(phylum)을 포함하며, 그 형태는 단세포형, 군체형, 사상형, 엽형, 거대한 다세포형으로 다양하고, 크기도 매우 작아 현미경으로 관찰되는 미세조류(microalgae)로부터 미역, 다시마 등의 거대조류(macroalgae)로 구분되며, 지구상에 약 40,000종(species) 이상이 분포하는 것으로 추정되고 있다. 미세조류(microalgae)란 미역, 다시마 등의 거대조류(macroalgae)와 구분하기 위해 사용된 용어이다.

미세조류는 아주 약간의 영양염류만 있어도 대량 번식하여 생산성이 매우 높은 생물공장으로 호소는 물론 정체하천, 하구역, 해역 등에서 녹조 및 적조를 일으키는 유해생물로서 수질관리의 주요 대상이 되고 있으나 최근에는 바이오디젤 등 에너지 생산 원료 뿐만 아니라 이산화탄소를 효과적으로 저장하는 하등 식물체로서 새로이 급부상하고 있다. 특히, 유채 등의 육상식물보다 생산성이 높고, 구조가 단순하여 에너지 추출이 용이한 특징을 가지고 있으며, 이산화탄소 흡수율도 육상식물보다 높으며, 작물생산에 영향을 주는 높은 염도 또는 강 알칼리 등의 극한 환경에서도 성장 가능하다는 장점을 가지고 있다.

최근 레저, 여가활동이 증가하면서 농촌지역의 수질오염과 농업용 저수지의 녹조발생에 대한 국민적 관심과 우려의 인식이 증가하고 있다. 농촌지역의 수질오염의 주요원인은 농촌유역에서의 다양한 농업활동으로 인한 미처리된 생활하수, 축산폐수와 임야, 농경지로부터 발생하는 비점오염물질이며, 2010년

농업용수 수질측정망 조사자료에서도 전체 농업용수 측정망지구의 수질오염 부하량 산정시 46.1%가 토지계의 비점오염원이 원인이 되었고, 수질오염기준을 초과한 시설에서는 축산계가 45.1%로 주요 오염원으로 나타났다.

지금까지는 농촌지역의 비점오염물질을 처리하기 위해 인공습지, 침강지, 접촉산화수로, 식생여과대 등 자연정화기능을 활용한 다양한 공법이 적용되어 왔으며, 장기운영시 운영/유지관리비의 증가, 비교적 낮은 처리효율로 인한 적용한계를 보이고 있는 실정이다.

본고에서 소개하고자하는 미세조류를 이용한 농촌지역 수질개선 방안은 농촌지역의 유휴부지에서 미세조류를 배양하여 농촌 비점오염물질, 특히, 질소와 인을 효율적으로 제거하는 기술로써, 처리효율이 높고, 시스템이 단순하며, 유지관리가 용이할 뿐만 아니라, 미세조류 바이오매스의 자원화, 온실가스 저감 등 지역 환경에 부가적 혜택을 제공할 수 있는 미래 지향적 녹색기술이다.

2. 미세조류를 이용한 농촌지역 수질개선 방안

1) 수질개선 개념 및 방향

농촌지역의 농업활동 결과 농경배수로 인한 비점오염과 가축분뇨의 고농도 처리수, 또한, 분산된 마을의 미처리된 생활하수 등은 다량의 영양염류를 포함하고 있어 수계를 따라 정체수역인 농업용 저수지나 담수호로 유입될 경우 심각한 수준의 적조, 또는 녹조를 유발하여 물고기 폐사 등 경제적, 심리적 피해를 가져올 수 있다.

또한, 적조 및 녹조발생 수역의 수질개선을 위해서는 상당한 수준의 수질개선비용을 지불해야 하기도 하는 경제적 손실이 있을 수 있다. 하지만, 적조와 녹조를 유발하는 수질오염원으로서의 영양염류는 미세조류를 생산하는 아주 훌륭한 영양물질이 될 수 있다.

미세조류를 이용한 수질개선은 미세조류 배양/생산 시설에서 유역으로부터 발생하는 오염물질과 공기



그림 1. 미세 조류의 특성과 활용

중의 이산화탄소, 태양에너지를 이용하여 미세조류를 배양하는 것에서 부터 시작된다. 미세조류 배양시설에서 미세조류는 유입수에 포함된 오염 영양물질(질소, 인)을 흡수하여 대량생산되며, 물속의 영양물질은 거의 대부분 제거되게 된다. 또한, 이 과정에서 상당량의 이산화탄소가 제거되며, 생산된 미세조류는 회수하여 바이오디젤 등으로 자원화하여 재이용할 수 있다(그림 1).

미세조류 배양시설에서 충분한 배양이 이루어지면, 미세조류를 회수하고, 그 후 방류되는 방류수에는 유입수와 달리 상당량의 오염 영양물질이 제거된 청정수로서 수질개선효과를 달성하게 된다.

최근들어 조류의 효율적 이용에 관한 관심이 크게 증가하고 있는 점을 감안하면 미세조류를 이용한 수질개선 기술의 개발 및 도입은 매우 시의적절하다고 사료된다.

2) 미세조류 생산 시설

미세조류 생산시설은 당초 비닐하우스를 이용한 실내 배양시스템을 구상, 설치, 운영하였으나, 비닐하우스의 낮은 광투과율로 인해 추가적으로 빛(형광등)을 공급해야하는 등 에너지 요구도가 증가하였다. 따라서 저에너지형의 기술개발을 위해 태양에너지를 충분히 활용할 수 있는 옥외 수로형의 배양장치를 고안하게 되었다. 옥외수로형 플랜트의 시설면적은 9 m × 17 m이며, 시설용량은 배양조 기준 5 m³(1.3 m × 7.7 m × 0.5 m) × 4조, 2 m³(0.8 m × 5.0 m × 0.5 m) × 5조로 총 30톤 규모이다. 미세조류 생산시설은 크게 전처리조, 원수공급조, 배양조, 농축조, 회수조, 건조장치로 구성되어 있다(그림 2, 3).

배양조는 수심 조절이 용이하게 하기 위해 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m, 0.5 m에 각각 유출구를 설치하였으며, 체류시간 조절을 위해 유량조절용 밸브를 설치하

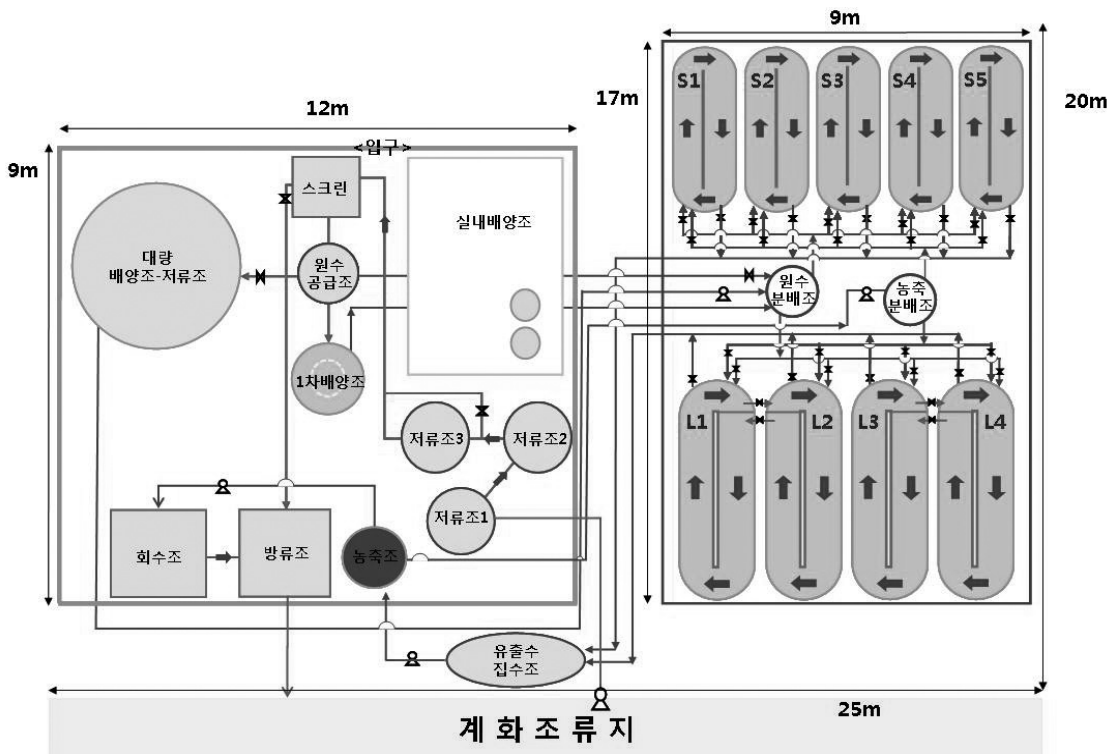


그림 2. 미세조류 바이오매스 생산시설 배치도



그림 3. 미세조류 바이오매스 생산시설 전경

였고, 배양액의 교반을 위해 수중 펌프를 도입하였다.

3) 미세조류를 이용한 수질개선 효과

미세조류를 이용한 농촌지역 고농도 오염물질의 수질개선 효과를 평가하기 위해 2011년 5월 ~ 2011년 11월 까지 미세조류 생산 시설을 운영하였다.

연구대상지는 전북 부안군 계화면에 위치한 계화조류지 유입부이며, 실험 대상수는 계화간척지로 알려진 대규모 농경지역으로부터 발생하는 농경배수, 계화 하수처리장 방류수, 부안군 위생처리장 방류수가 유입되고 있는 오염하천수와 계화 하수처리장, 부안군 위생처리장의 협조로 각 처리장의 방류전 처리

수를 직접 취수하여 활용하였다(그림 4).

미세조류를 이용한 수질개선 방안 도출을 위해 오염하천수, 하수처리장 방류수와 위생처리장 방류수를 다양한 혼합비율로 적용하여 배양시설에 유입되는 영양염류 농도에 변화를 주었으며, 영양염류 농도에 따른 배양 특성과 영양염류 제거효과 등을 분석하였다.

실험에 사용한 하수처리장 및 위생처리장 처리수의 평균 TN농도는 각각 8.913 mg/L, 226.9 mg/L, TP 농도는 1.003 mg/L, 1.996 mg/L로 하천수 TN 3.907 mg/L, TP 0.318 mg/L 에 비해 상당히 높은 수준을 보였으며, 일부시기에는 고농도 축산폐수 처리를 염두에 두고 고농도의 TN이 포함된 상태를 재현하기 위해 위생처리장에서 최종 처리 전 비교적 고농도의 중간처리수를 도입하기도 하였다.



그림 4. 계화조류지에 위치한 미세조류 배양시설과 하수/위생처리수의 적용방안

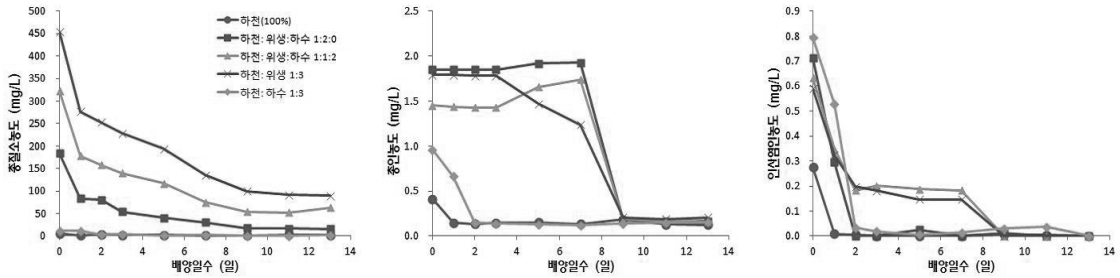


그림 5. 오염수 적용비율 별 시간에 따른 영양염류 농도변화

오염수의 혼합비율에 따라 초기 총질소와, 총인, 인산염인의 농도변화가 확연히 차이가 났고, 배양시간이 경과함에 따라 오염물질의 농도가 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다(그림 5).

고농도의 영양염류가 포함된 위생처리수를 도입한 고농도 조건(하천수:위생:하수 1:1:2)에서는 총질소와 총인의 처리효율이 각각 92.6%, 91.6%로 높게 나타났으며, 하수처리수를 주로 대상으로 한 조건(하천수:하수 1:3)에서는 총질소, 총인의 처리효율은 각각 94.4%, 88.3%, 인산염인(PO_4-P) 100%의 처리효율을 보여 유기영양염의 무기화과정 추가시 거의 모든 영양염류를 처리할 수 있을 것으로 보였다.

연구기간 동안 총질소와 총인의 수질개선 기능을 평가한 결과 총질소의 경우 평균 76.2%, 최대 94.4%, 총인의 경우 평균 81.7%, 최대 91.6%로 수질개선 효율이 상당히 높은 수준을 보였으며, 특히, 무기영양염의 경우 평균 87.6 ~ 100%, 최대 100%로 대부분의 무기영양염이 제거되어 유기영양염의 무기화 공정을 추가한다면 총인과 총질소의 처리효율 역시 100%로 향상될 수 있을 것으로 사료되었다.

4) 미세조류를 이용한 농촌지역 수질개선 방안

농촌지역에서 발생하는 고농도의 점, 비점오염물질을 처리하는 데 가장 큰 문제는 넓은 지역에 분산되어 있어 설치 및 운영비가 높고, 유지관리가 복잡한 기계적, 화학적 처리가 곤란한 점을 들 수 있다. 따라서 농촌지역의 비점오염물질은 비교적 단순한 원리로 처리할 수 있는 생물학적 공법이 우선시 되어야

하는데, 농촌지역의 유휴지 또는 휴경논을 직접 활용할 수 있고, 작물을 재배하는 농민들에게 미세조류 배양은 친숙한 기술로서 유지관리가 쉬운 장점을 가진 미세조류를 이용한 수질개선 기술은 농촌 친화적 생태공학적 기술이라 할 수 있다.

특히, 본 기술은 부락단위로 소규모의 미세조류 생산시설을 설치하여 운영하면서 지역에서 발생하는 축산분뇨, 생활하수, 농경배수 등의 오염물질을 자체적으로 개선하고, 생산된 미세조류는 회수하여 시설재배에 필요한 연료로 활용하거나, 퇴비화, 토양개량제 또는 사료화 하여 농업활동에 재이용할 수 있다. 아울러, 이 과정에서 저감되는 이산화탄소는 농촌지역의 기후변화대응 전략으로 활용할 수도 있다. 이미 선진국에서는 Agro-Park 과 같은 모델로 적용하고 있지만, 우리나라에서도 농촌지역에 적합한 미세조류를 이용한 수질개선 기술 개발이 완성되어 실제 적용된다면, 한국형 자원순환형 농촌마을의 좋은 전형이 될 수 있을 것이다.

4. 결론

미세조류는 그동안 저수지와 담수호, 정제하천에서 녹조를 일으켜 물고기 폐사, 정수비용 증가등 경제적 손실을 발생시키는 등 수질관리에 골칫거리로 대두되어 왔다.

하지만 이제 미세조류가 가진 높은 생산성과 영양염류 흡수능을 역이용하여 수질개선은 물론 더 나아가 바이오 에너지생산, 온실가스 저감효과에 활용함

으로써, 미세조류를 유해조류가 아닌 유용조류로 재조명하기 시작하였다.

미세조류를 이용한 수질개선 기술의 경우 미세조류의 생산성을 높이기 위해 넓은 부지를 요구하고 있으므로 유희부지 비율이 높은 농촌지역에 매우 적합한 기술이라 할 수 있다.

미세조류를 이용한 수질개선 기술은 고농도 질소와 인의 처리에 매우 효과적이므로 농촌지역에 산재한 마을의 축산폐수와 생활하수, 농경배수 소규모 처리에 적극 활용할 수 있을 뿐만 아니라 수질 개선 과정에서 생산되는 바이오매스의 재자원화와 온실가스 저감효과는 농촌지역의 오염총량제, 에너지자립화, 기후변화 대응 등 부가적 편익으로 지역에 환원되는

선순환의 고리를 보여준다.

따라서, 앞서 언급한 바와 같이 농촌지역의 고농도 비점오염물질 처리를 위해 미세조류를 이용한 수질개선 기술을 도입할 경우 농촌환경개선과 기후변화대응, 에너지 자립화 등 지역의 발전에 기여할 수 있는 자원순환형 농촌마을의 좋은 전형이 될 수 있을 것으로 기대한다.

마지막으로, 본 기술은 2009년 기술적 경제적 타당성 분석연구 이후 2010년 10톤, 2011년 30톤 규모의 pilot plant 실험을 통해 현장기술 개발 연구를 진행해 왔으며, 향후 실규모의 완성된 기술개발을 위해 지속적인 노력을 하고자 한다. 🌱

● 참고문헌

1. 오희목. 2001. 미세조류의 산업적 이용. In 이인규, ed. 한국의 조류 생태와 응용. 아카데미서적, p. 248-266.
2. 오희목. 2009. 미세조류를 이용한 이산화탄소 고정 및 바이오디젤 생산. 한국공업화학회. 12(5): 12-20.
3. 농림수산식품부. 2010. 2010 농업용수 수질측정망조사 보고서
4. 농림수산식품부. 2011. 조류를 이용한 바이오매스 생산 및 CO2 저감기술개발 보고서
5. 한국농어촌공사. 2009. 조류를 이용한 인처리기법 타당성 연구 보고서
6. 농림수산식품부. 2009. 새만금 배후지 수질개선대책 연구.