

미세 조류 제거 후의 인 제거 기술



이상협 ●●●

한국과학기술연구원 녹색기술연구소
책임연구원
yisanghyup@kist.re.kr



최재우 ●●●

한국과학기술연구원 녹색기술연구소
선임연구원
plead36@kist.re.kr

1. 서론

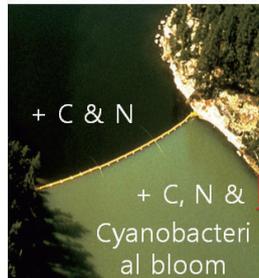
매년 여름 하천에서 녹조는 발생하고 있다. 녹조 현상은 적절한 성장 조건에서 조류(藻類, Algae)가 대량으로 증식하는 현상이다. 필자는 현재의 녹조라는 표현을 녹조(綠藻, Green Algae) 또는 녹조(綠潮, Green Tide)라고 일반화되어 있는 표현보다는 '조류 대량 증식'이 현재의 녹조 문제를 정확히 표현하는 것으로 생각한다.

2012년 4대강 하천 정비 사업이 마무리되면서 녹조 현상은 대한민국의 가장 뜨거운 사회 문제 가운데 하나로 자리 잡게 되었다. 이런 사회적인 논쟁을 최소화하기 위하여 정부를 포함한 다양한 분야에서 다양한 연구 및 기술개발이 진행되어 왔고 현재도

진행되고 있다. 그러나 조류는 성장에 필요한 조건만 맞으면 언제든지 대량으로 증식된다. 일반적으로 조류 성장에 필요한 요소로 적정한 수온(19℃ 이상), 적정한 영양염류(인, 질소), 정체된 수역, 그리고 햇빛으로 알려져 있다. 즉 조류는 여름이 되면 수환경(水環境)에서 자연적으로 발생할 수밖에 없는 자연 현상이다. 문제는 대량으로 증식되는 것이다. 4가지 조건 가운데 인위적으로 조류를 조절할 수 있는 방법은 하천으로의 영양염류 유입을 억제하는 것이다. 특히 조류 대량 증식의 가장 큰 영향을 미치는 영양염류가 인(P)으로 규명되어 있어 인의 하천 유입 차단에 많은 투자가 되고 있다.

인의 하천 유입 경로를 보면 하수처리장으로 대표되는 점오염원(Point Source)과 하천 주위의 자연으로 대표되는 비점오염원(Non Point Source)으로 구분된다. 점오염원 관리를 위한 하수처리장 인 고도 처리가 시행되어 현재 총인 기준으로 0.2mg/L로 설정되어 하수처리장에 다양한 고도 처리 공법이 설치되어 가동 중에 있다. 일본의 대표적인 녹조 문제 대상지인 비파호(琵琶湖)의 경우, 주변 하수처리장의 인 방류수 기준을 0.05mg/L로 관리하고 있다. 비점오염원의 경우에도 다양한 정책과 기술이 적용되고 있다. 그러나 다양한 유입 경로로 인해 효과적인 제거가 어려운 상황이다. 최근 강수량 감소로 인해 댐 저수위가 감소됨에 따라 하천 유량 감소로 인해 정제 수역의 증가로 녹조 문제는 지금보다 심각해 질 것으

Lake 226 in Canada Lake 227 in Canada



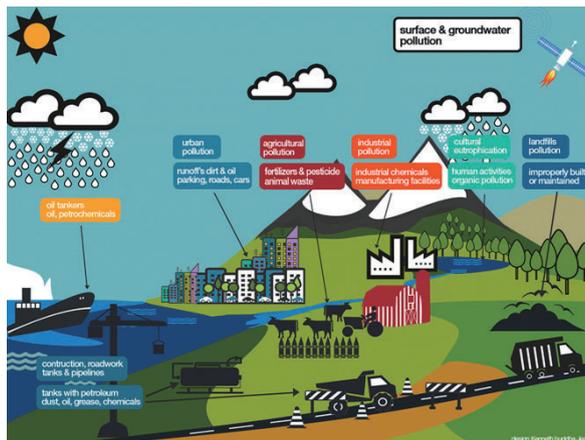
Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment

David W. Schindler*,†, R. F. Hecky*, D. L. Scudlark, M. D. Shenton, R. B. Pedersen, M. J. Stoeckert, K. D. Healy, M. Lynn, and S. E. Johnson



Schindler, DW. 1974. *Science* 184: 897-899. [PNAS 105: 11254-11258, 2008]

그림 1. 인(P) 관리를 통한 조류 대량 증식 관리



<https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ9bu-94275N4tBz6TEzQcj1LRO2URipD9RUwdOvDQSu7Zfw>

그림 2. Surface and Groundwater Pollution by phosphorus

로 예상되고 있다. 녹조 문제는 수돗물에서의 조류 유래 맛, 냄새 물질 문제, 조류 유해 독성 물질의 위험성 등 시민들에게 불편 및 불안을 발생한다. 따라서 자연 현상으로만 생각하고 다루기에는 적절하지 않은 단계라고 생각한다. 따라서 효과적이고 합리적인 기술 적용이 필요하다고 생각한다.

녹조 제어를 위하여 다양한 기술이 적용되고 있다. 대량으로 증식된 조류를 관리하기 위한 가장 효과적인 방법은 수환경으로부터 수거하는 기술이다.

수거 후 조류를 분리한 후, 처리수는 수환경으로 다시 방류하고 있다. 이 방류수 내에는 조류가 증식할 수 있는 최소 농도 0.03mg/L 이상의 인이 존재하고 있다. 인 방류수 내 인을 효과적으로 제어 한다면 대량 증식 조류 수거와 함께 수환경의 인을 효과적으로 제어 할 수 있는 또 하나의 방법이라고 생각한다. 이에 본고에서는 대량으로 증식된 조류를 수거한 후, 수환경으로 반송되는 방류수 내 인을 처리할 수 있는 기술에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 녹조 제거 방류수의 인 제거 기술 동향

녹조 수거 후 방류수 내 인을 제어하는 기술은 하수처리장 인 고도 처리와 유사한 기술이다. 그리고 녹조 제거 후 공정의 방류수 내 인을 제거한다는 측면에서 점오염원 관리 기술의 하나이다. 현재 0.2mg/L 방류수 수질 기준을 맞추기 위하여 대부분의 하수처리장에 응집-침전 공정이 적용되어 있다. 모든 기술은 적용되는 분야에 따라 기술의 차별

화가 필요하다. 녹조 제거 후 방류수 내 인 처리 기술은 하수처리장의 인 고도 처리 기술과 ‘약품 사용의 제로(Zero)’ ‘인산염(Phosphate) 처리에 높은 효율 확보’ 그리고 ‘저농도에 높은 효과’라는 기술의 차별화가 필요한 분야이다. 이에 적용할 수 있는 기술로 인산염에 대한 흡착, 이온교환 등 약품을 사용하지 않는 기술이 거론될 수 있다. 하수처리장 방류수의 인산염을 선택적으로 처리할 수 있는 기술은 다음과 같은 기술이 있다.(그림 3)

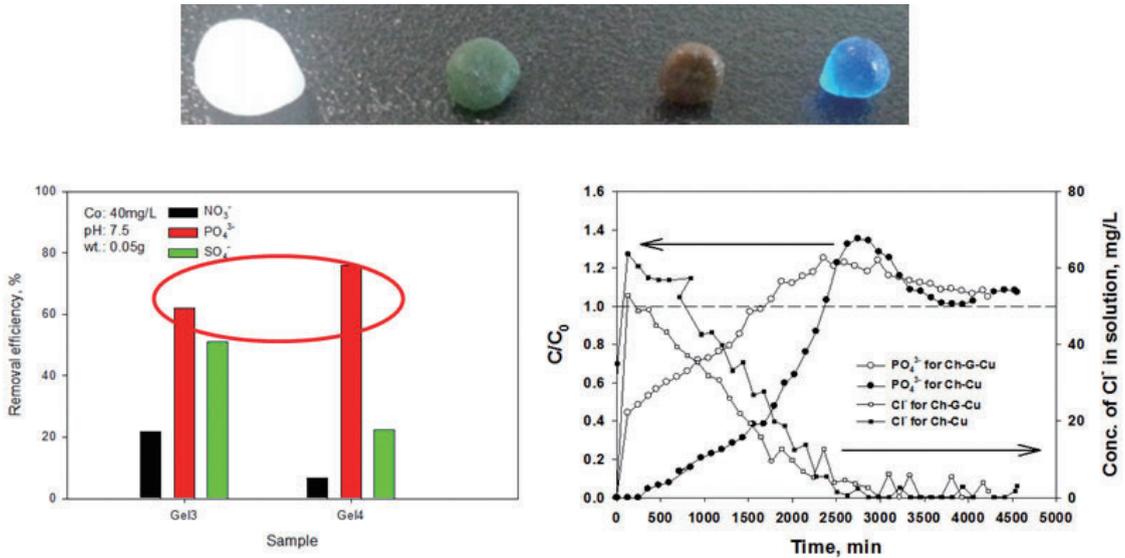


그림 3. 다양한 선택적 인산염 제거 소재 및 처리 결과

해당 기술은 인산염에 대한 높은 선택도 (Selectivity), 높은 흡착능(Adsorption Capacity) 특성 확보가 핵심 기술이다. 그러나 문제는 응집-침전 공정에 비하여 낮은 경제성이다. 올해 강수량의 감소로 인해 하천 수위가 감소되어 녹조 문제가 향후 몇 년 심각할 것으로 많은 사람들이 예상하고 있다. 이에 하수처리장 방류수 기준을 0.2mg/L보다 강화해야 한다는 필요성이 거론되고 있다. 그리고 녹조 현상을 보다 효과적으로 제어하기 위해서는 ‘총인(T-P)제어’보다는 ‘인산염(Phosphate)제어’가

필요하다는 의견도 거론되고 있다. 이와 같은 필요성에 효과적으로 대응하기 위해서는 응집-침전 공정만으로는 한계가 있다고 판단한다. 이로 인해 하천에서의 조류 대량 증식 문제에 효과적으로 대처하기 위해서는 인산염 처리에 가장 큰 걸림돌인 처리 비용 상승 문제도 해결될 것으로 생각한다. 처리 비용 상승 단점이 해결된다면 녹조 제거 후의 인 처리 기술은 녹조 수거 방류수 뿐 만 아니라 하수 처리장 인산염 관리에 효과적으로 적용될 수 있는 기술 후보 가운데 하나이다.

3. 저농도 인산염(Phosphate) 제거 기술

인산염(Phosphate) 제거 기술은 수중에 용존 상태로 존재하는 인산염을 효과적으로 제어하는 기술이다. 현재까지 인을 관리하는 기술은 총인을 관리하는 기술로 인산염을 직접적으로 관리하는 기술은 일반화되어 있지 않다. 인산염 관리의 필요성은 조류가 성장을 위하여 세포내로 흡수하는 형태는 총인 형태가 아니고 인산염 형태이기 때문이다. 인산염의 효과적인 제거를 통하여 조류 대량 증식을 효과적으로 제어하는 것이 본 기술의 특징이다. 본 기술은 하천보다 폐쇄적인 호소에 대량으로 발생한 조류를 효과적으로 수거한 후 호소로 방류하는 방류수내 인산염을 제거하는 기술이다. 지금까지 녹조를 수환경으로부터 수거하는 다양한 기술은 개발되어 있다. 그러나 처리 후 방류수를 처리하는 기술은 경제성, 효율성을 고려했을 때 적정 기술로 판단되지 않았다.

그러나 강수량의 감소로 인한 하천 수량의 감소 등 조류 대량 증식의 요인은 높아지고만 있다. 따라서 효과적인 대안의 하나로 처리 방류수내 인산염을 관리하는 기술이 필요하게 될 것이다. 이에 우선적으로 녹조 수거 후 방류수 내 인산염 고도 처리에 적용 가능한 기술을 개발하였다.

해당 기술의 핵심 기술은 소재 개발 기술이다. 해당 소재는 다양한 수환경내 수질 인자들과 공존 시, 인산염에 높은 선택도 특성을 보유해야 하며 저농도에서 높은 흡착능 특성을 가져야 한다. 이에 인산염과 높은 이온교환능(Ion Exchange Capacity) 특성의 상대 이온(Counter Ion)인 황산염(Sulphate, SO₄²⁻)과 아민(NH₄²⁻)을 고농도로 효과적으로 표면에 담지하는 소재 개발이 핵심 기술이다. 높은 비표면적 확보가 용이한 나노 구조체 기반 소재를 기반 기술을 활용하여 실용화 가능한 소재를 개발하여 녹조 수거 후, 방류수에 적용하였다. (그림 4)

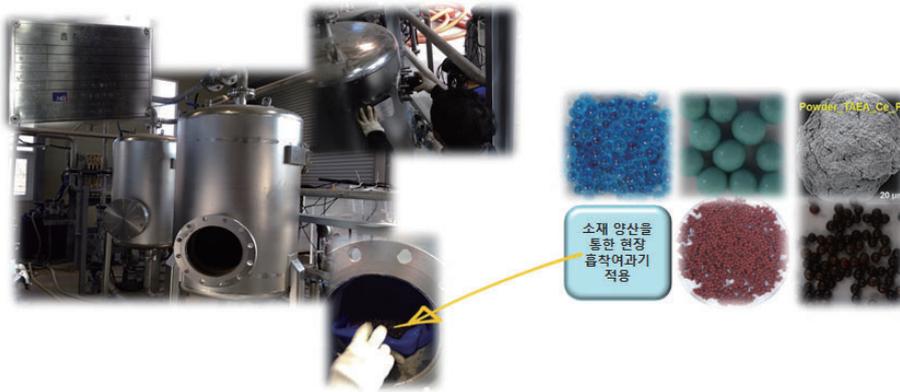


그림 4. 고효율 선택적 영양염류 흡착소재 현장 적용

녹조 수거 공정과 방류수 처리 공정은 그림 5와 같이 나노 미세 기포를 이용한 녹조 제거 기술과 개발 소재를 적용한 반응조로 구성되어 있다.(그림 5)

해당 공정은 수원 서호 저수지를 원수로 사용하였다. 운전 결과 녹조 제거 방류수 내 인산염 농도를 0.03mg/L이하로 저감할 수 있었다. (그림 6) 대량

증식된 조류를 제거 후, 수환경으로 반송하는 대상으로부터 인산염을 제거하는 복합 시스템은 낮은 효율성으로 인해 시도된 바 없다. 이는 녹조 문제 해결을 위한 방법을 모색하면서 시급성보다 효율성, 경제성등을 우선적으로 검토하였기 때문이다.

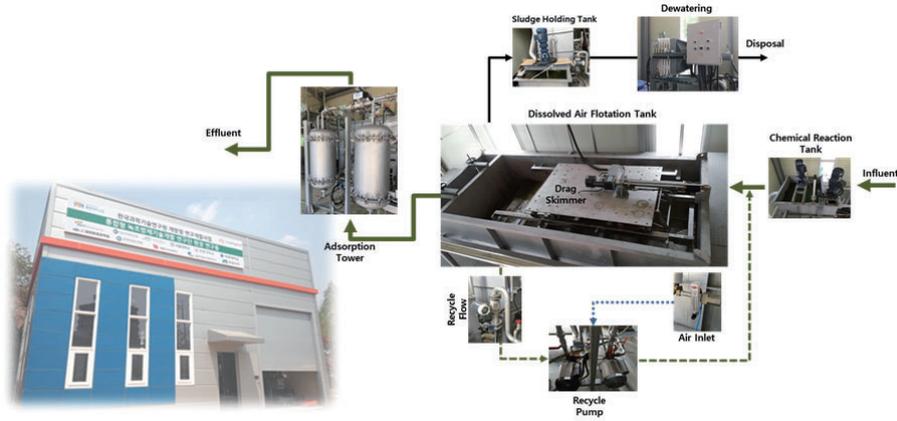


그림 5. 수원시 서호생태수자원센터 내 pilot plant 및 공정

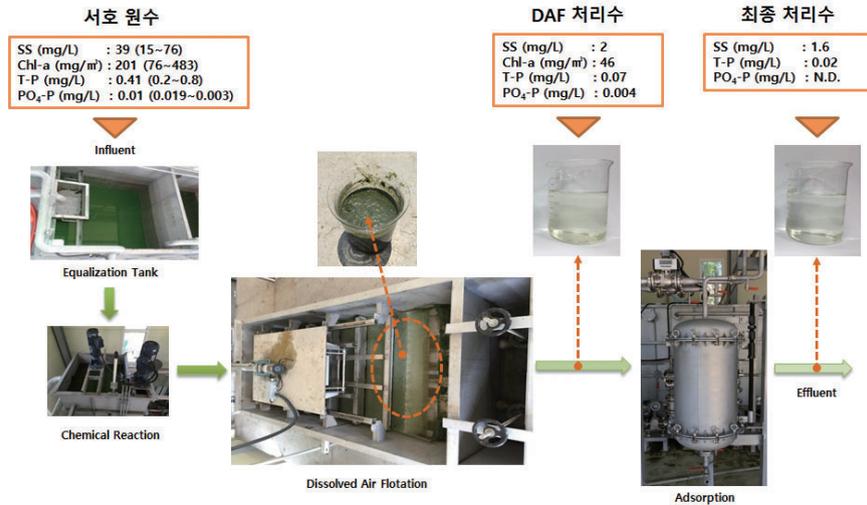


그림 6. Pilot plant 운전 단계별 처리수질

4. 맺음말

조류 대량 증식에 인위적으로 적용할 수 있는 적정 기술은 하천으로 인 유입을 최소화 하는 것이다. 그리고 인 관리도 총인에서 인산염 관리로 전환하는 것에 대한 검토도 필요한 시점이다. 즉, 인을 포괄적으로 관리하는 개념에서 조류 성장을 억제할 수 있는 구체적, 세부적인 개념의 관리 방향이 필요한 것이다. 그리고 조류가 대량으로 증식한 경우의 적정 기술은 고속으로 수거하는 기술이며 해당 기술의 효

율을 보다 향상하기 위한 반송수내 인을 효과적으로 관리하는 기술은 매우 효과적이라고 생각한다. 녹조 문제는 자연 현상임에도 불구하고 어느 시점부터는 일정 시기에 많은 국력을 소모하는 논쟁 주제로 되었다. 이런 국력 소모를 최소화하기 위해서는 경제성과 함께 시급성, 필요성도 동등한 수준에서 검토되어야 할 시점이라고 생각한다. 그리고 인위적으로 관리 가능한 조류 성장 인자인 인을 효과적으로 관리할 수 있는 방법의 다양성을 고려한 기술 개발이 적극적으로 진행되어야 할 것으로 생각한다.