기후에너지환경부 보도자료 대체불가 대한민국

보도시점 2026. 11. 4.(수) 12:00 (목요일 조간) 배포 2026. 11. 3.(화)

‘녹조 예측력 향상’ 위한 담수 조류 탄소량 산정기법 개발

- 유해남조류 포함 국내 담수 식물플랑크톤 36종 정밀 분석
- 국내 담수 생태계에 맞는 탄소 산정식 개발해 기존 대비 오차 26~39% 감소

기후에너지환경부 소속 국립환경과학원(원장 김영우)은 녹조 발생 예측력 향상을 위해 국내 담수 식물플랑크톤 36종을 대상으로 탄소량을 정밀 분석하고, 생물 특성을 반영한 분류군별 탄소 산정식을 국내 최초로 개발했다고 밝혔다.

그동안 학계와 현장 연구에서는 국내 담수 생태계의 환경 및 조류 특성과 차이가 있는 해양 생물 자료를 바탕으로 국외에서 개발된 탄소 산정식*을 활용해 왔다. 이로 인해 유해남조류 등 녹조를 구성하는 주요 식물플랑크톤의 탄소 생물량을 산정하는 과정에서 상당한 오차가 발생했다.

* 해양 식물플랑크톤·원생생물 기반 생물체적-탄소량 관계식(Menden-Deuer & Lessard, 2000)

이에 국립환경과학원은 2025년 ‘낙동강 녹조 대발생의 기원 추적 및 기후변화에 따른 발생량 예측 연구’ 사업을 통해 국내 하천 및 호소에 서식하는 주요 식물플랑크톤 36종에 맞는 탄소 산정식을 개발했다.

식물플랑크톤은 세포 크기가 매우 작아 개별 세포의 탄소량을 직접 측정하기 어렵다. 연구진은 디지털 현미경 영상분석과 원소분석기를 활용하여 세포의 생물체적*과 탄소량의 관계를 통계적으로 분석했으며, 그 결과 생물체적만으로 탄소량을 추정할 수 있는 새로운 분류군별 산정식을 도출했다.

* 측정된 세포의 크기(길이, 너비 등)를 바탕으로 계산해 낸 3차원적인 부피

이번에 개발한 산정식은 기존 국외 산정식 대비 탄소량 추정 오차*가 26~39% 감소하는 것으로 확인됐다. 분류군별로는 남조류 35%, 규조류 39%, 기타 조류 26%의 오차 감소율을 보였다.

* 기존식으로 계산된 탄소량이 실제 측정한 탄소량보다 높거나 낮게 나타나는 오차

이번 산정식 개발로 기존 녹조 관측자료에 정밀한 탄소 생물량 정보를 추가할 수 있게 돼 녹조의 발생 규모와 변화를 보다 정확히 예측할 수 있는 기반이 마련된 것으로 평가된다.

김경현 국립환경과학원 물환경연구부장은 “이번 연구는 국내 담수 녹조를 탄소 생물량으로 정량화하는 기술 개발의 성공 사례”라며, “앞으로 현장 검증을 거쳐 기존의 녹조 관측 자료에 탄소량 정보를 추가해 국민이 안심할 수 있는 녹조 감시·예측 체계를 발전시켜 나가겠다”라고 밝혔다.

붙임 1. 전문용어 설명.
2. 담수 식물플랑크톤 산정 원리 및 분류군별 관계식.
3. 식물플랑크톤 종 명단. 끝.

담당 부서	국립환경과학원 낙동강물환경센터	책임자	센터장	박지형 (053-602-2700)
		담당자	연구관	이혜진 (053-602-2780)
			연구사	류희성 (053-602-2781)

대한민국 정책브리핑

대체불가 대한민국

OPEN 출처표시 공공누리 공공저작물 자유이용허락

붙임 1 전문용어 설명

□ 디지털 현미경 영상분석(Digital Microscopy Image Analysis)

○ 현미경으로 획득한 식물플랑크톤의 디지털 영상을 이미지분석 소프트웨어로 처리하여, 세포의 길이·폭·직경 등 형태 정보를 정밀하게 계측하고, 이를 이용해 세포별 크기를 정량화하는 분석기법

□ 식물플랑크톤(Phytoplankton)

○ 해양과 담수 생태계의 물속에 떠다니며, 빛과 영양염류를 이용해 이산화탄소를 유기물로 전환하는 미세한 생물로, 남조류·규조류·녹조류 등이 포함됨

□ 초분광 원격탐사(Hyperspectral Remote Sensing)

○ 물체가 반사하는 빛을 여러 파장대로 세밀하게 측정하여, 녹조의 분포와 농도 등을 원격으로 파악하는 기술

□ 탄소 생물량(Carbon Biomass)

○ 생물체의 양을 그 생물체에 포함된 탄소의 양으로 나타낸 값

붙임 2 **담수 식물플랑크톤 산정 원리 및 분류군별 관계식**

□ 탄소량 산정 원리

○ 식물플랑크톤은 세포 크기가 매우 작아 개별 세포의 탄소량을 직접 측정하기 어렵다. 이번 연구에서는 디지털 현미경 영상분석으로 세포 크기를 측정해 생물체적(V)을 산출하고, 원소분석기로 측정한 탄소량을 세포밀도로 환산해 세포당 탄소량(C)을 구했다. 이후 두 값의 관계를 통계적으로 분석하여 세포의 생물체적만으로 탄소량을 추정할 수 있는 분류군별 산정식을 개발했다.



대상종 선정 및 순수 분리
* 기준: 시기 및 지점별 우점종 (아우점종)
* 대상: 유해남조류 18종, 규조류 10종
녹조류 8종, 기타조류 1종

성장단계별 배양 및 시료 추출
* 목적: 동일종 간 세포크기에 따른 탄소량 분석
* 단계: Monod growth curve
유도기, 지수성장기, 정체기, 사멸기

탄소현존량 및 생부피 실측
* 방법: 시료 내 세포밀도, 생부피, 탄소현존량 측정
- 세포밀도: SR chamber를 이용하여 세포수 검경
- 생부피: 단일 세포의 기하학 구조를 측정 후 산출
- 탄소현존량: 단일균주가 포함된 시료를 원소분석기로 측정

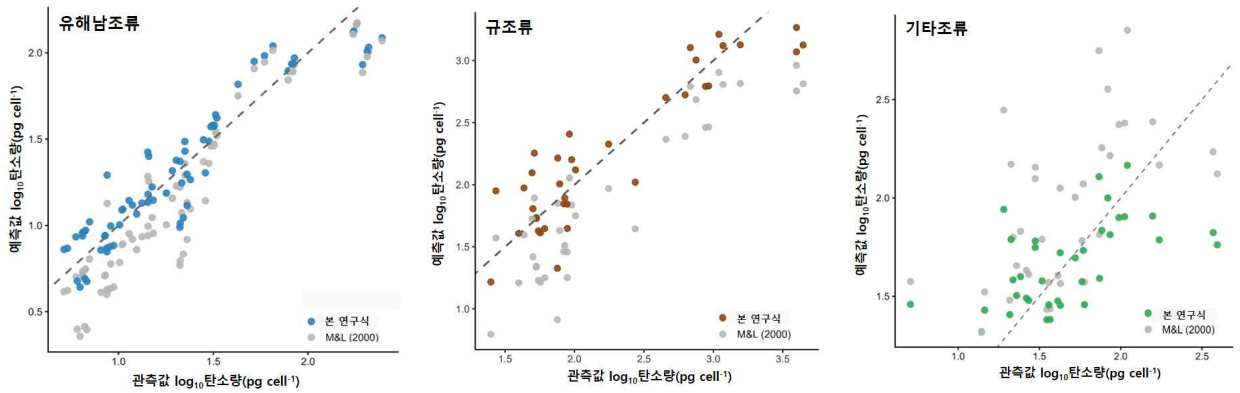
분류군별 탄소량 회귀식 도출
* 세포당 탄소량 (pg C $cell^{-1}$)
세포당 생부피 (μm^3 $cell^{-1}$)
* 분류군별 (유해남조류, 규조류, 녹조류, 기타조류)
단일 생부피-탄소량 회귀식

□ 분류군별 탄소 산정식

구분	분류군별 탄소 산정식	설명력
유해남조류(18종)	$Carbon = 0.603 \times Volume^{0.792}$	R^2=0.888
규조류(9종)	$Carbon = 0.895 \times Volume^{0.767}$	R^2=0.821
기타조류(9종)	$Carbon = 0.960 \times Volume^{0.615}$	R^2=0.365

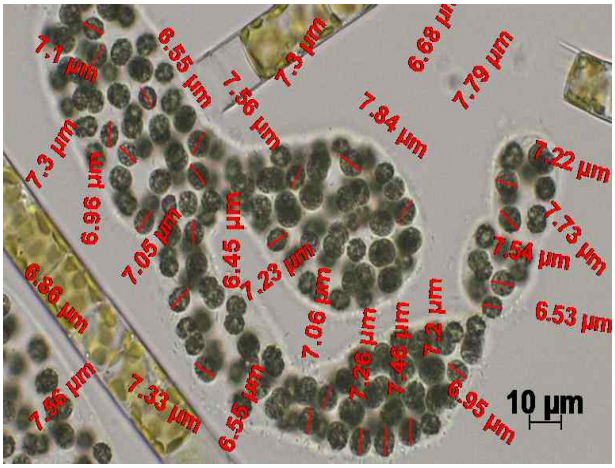
C: 세포당 탄소량(pg C $cell^{-1}$), V: 세포 생물체적(μm^3 $cell^{-1}$)

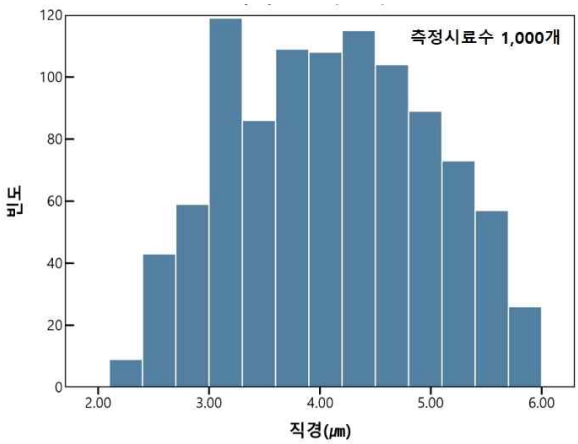
□ 기존 탄소 산정식과 담수 맞춤형 산정식 성능 비교



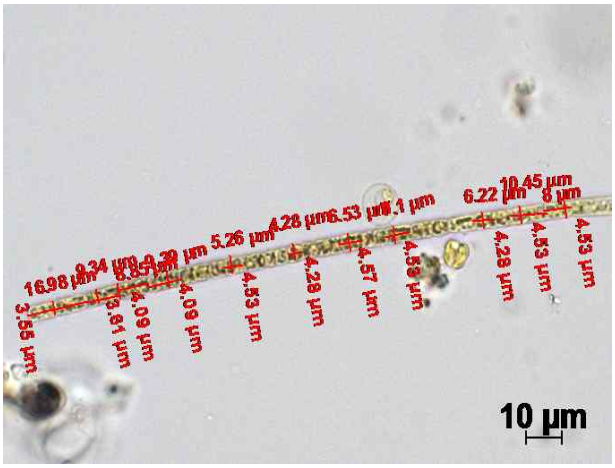
□ 디지털 현미경 영상분석을 이용한 유해남조류 실측 과정

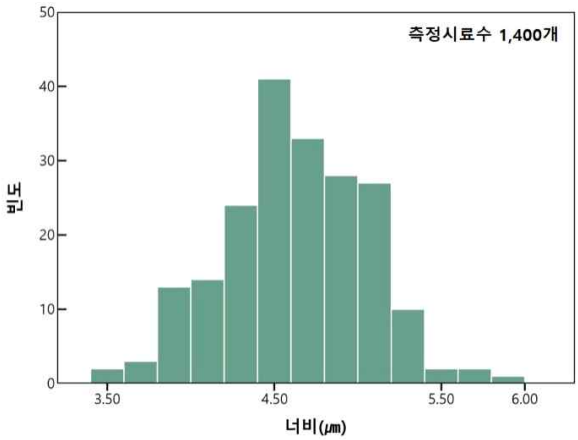
마이크로시스티스(*Microcystis*)





아파니조메논(*Aphanizomenon*)





붙임 3 식물플랑크톤 종 명단

분류군	종명	분류군	종명
남조류 (18종)	마이크로시스티스 애루지노사 (*Microcystis aeruginosa*)	규조류 (9종)	아스테리오넬라 폴모사 (*Asterionella formosa*)
	마이크로시스티스 플로스아쿼 (*Microcystis flos-aquae*)		아울라코세이라 디스탄스 (*Aulacoseira distans*)
	마이크로시스티스 이치오블라베 (*Microcystis ichthyoblabe*)		아울라코세이라 그라뉼라타 (*Aulacoseira granulata*)
	마이크로시스티스 비리디스 (*Microcystis viridis*)		아울라코세이라 암비구아 (*Aulacoseira ambigua* f. *spiralis*)
	마이크로시스티스 웨젠베르기 (*Microcystis wesenbergii*)		사이클로델라 메네기히니아나 (*Cyclotella meneghiniana*)
	아파니조메논 플로스-아쿼 (*Aphanizomenon flos-aquae*)		멜로시라 베리언스 (*Melosira varians*)
	아파니조메논 그라실레 (*Aphanizomenon gracile*)		니치아 팔레아 (*Nitzschia palea*)
	쿠스피도트릭스 이사첸코이 (*Cuspidothrix issatschenkoi*)		니치아 프루티코사 (*Nitzschia fruticosa*)
	실린드로스펄몹시스 라시보르스키 (*Cylindrospermopsis raciborskii*)		시네드라 델리카티시마 (*Synedra delicatissima* var. *angustissima*)
	돌리코스펄멈 아피네 (*Dolichospermum affine*)	기타 조류 (9종)	유도리나 엘레강스 (*Eudorina elegans*)
	돌리코스펄멈 설시날레 (*Dolichospermum circinale*)		유도리나 유니코카 (*Eudorina uniccoca*)
	돌리코스펄멈 크라섬 (*Dolichospermum crassum*)		데스모데스무스 커뮤니스 (*Desmodesmus communis*)
	돌리코스펄멈 플로스-아쿼 (*Dolichospermum flos-aquae*)		세네데스무스 아르쿠아투스 (*Scenedesmus arcuatus*)
	돌리코스펄멈 플랑크토니쿰 (*Dolichospermum planctonicum*)		크루시제이나 리우터보르니 (*Crucigenia lauterbornii*)
	돌리코스펄멈 스미시 (*Dolichospermum smithii*)		페디아스트럼 심플렉스 (*Pediastrum simplex*)
	돌리코스펄멈 비귀에리 (*Dolichospermum viguieri*)		고니움 소시알레 (*Gonium sociale*)
	플랑크토트릭스 아가디 (*Planktothrix agardhii*)		고니움 펙토랄레 (*Gonium pectorale*)
	스페로스펄몹시스 아파니조메노이데스 (*Sphaerospermopsis aphanizomenoides*)		크립토모나스 오바타 (*Cryptomonas ovata*)