

‘세계 물의 날’ 기자회견 자료(2022.03.22.)

# 낙동강 쌀에서도 ‘발암물질·생식 독성’ 녹조 독성 물질 검출

낙동강 배추·무에 이어 쌀에서도 마이크로시스틴 검출  
‘한국인 밥상’에서 프랑스 안전 기관 생식 독성 기준의 최대 20배 넘는 것으로 추산  
국민 먹거리에서 맹독성 물질 검출됐지만, 정부 부처는 대책 없어

/ 일 시 : 2022년 3월 22일(화) 오전 11시

/ 장 소 : 환경운동연합 마당

공동 주최

더불어민주당 양이원영·이수진 의원(비례)  
시민환경연구소·대구환경운동연합·환경운동연합

※ 문의 : 김종원 환경운동연합 활동가(010-6837-1452), 정수근 대구환경운동연합 국장  
(010-2802-0776), 임희자 낙동강네트워크 공동집행위원장(010-8267-6601), 이철재 시민환  
경연구소 4대강 전문위원(010-3237-1650)

※ 코로나 19에 따라 참석자 방역 수칙을 준수해서 진행하며, 온라인(유튜브)으로 중계합니다.

## ■ 기자회견 순서

※ 진행 : 이철재 시민환경연구소 4대강 전문위원

### I. 기자회견 취지 및 인사말

- ..... 양이원영 더불어민주당 국회의원
- ..... 이수진 더불어민주당 국회의원(비례)

### II. 조사 결과 및 시사점

- ..... 곽상수 대구환경운동연합 운영위원장

### III. 현황 브리핑

- ..... 임희자 낙동강네트워크 공동집행위원장
- ..... 정수근 대구환경운동연합 국장

### IV. 기자회견문 낭독

- ..... 안숙희 환경운동연합 국장

### V. 질의응답

## ■ 자료집 순서

I. 분석 결과 및 시사점	.....	2쪽
II. 남세균 독성 물질 : 마이크로시스틴	.....	13쪽
III. 조사(분석) 방법	.....	16쪽
IV. 기자회견문	.....	18쪽
※ 참고 자료	.....	20쪽

# I. 분석 결과 및 시사점

## 1. 개요(요약)

### 1-1. 낙동강 하류 지역 노지 재배 쌀(2개 샘플) 마이크로시스틴 축적 분석

- 1) 2021년 12월 쌀(백미) 샘플 당 10kg씩 직접 농민에게 구입.
- 2) 국립 부경대 식품영양학과 이승준 교수팀이 미국 EPA가 공인한 효소면역측정법<sup>1)</sup>(ELISA kit)으로 분석
- 3) 토탈 마이크로시스틴(Total Microcystins, MCs) 분석
  - (1) 마이크로시스틴 여러 종류를 한번에 측정하는 방식(미국 EPA 기준)
- 4) 마이크로시스틴은 발암성과 간 독성뿐만 아니라 남성 정자 수를 감소시키고 여성 난소에 나쁜 영향을 미치는 생식 독성까지 띠고 있어 프랑스와 미국 캘리포니아 주 정부 등에서 안전 기준을 엄격히 정하고 있음.

### 1-2. 분석 결과

- 1) 낙동강 쌀 샘플 2개에서 마이크로시스틴이 각각 3.18, 2.53 µg/kg 축적 확인
- 2) 지난 2월 분석 결과 낙동강 노지 배추·무에서도 마이크로시스틴 검출
  - (1) 마이크로시스틴 축적 쌀·배추·무를 동시에 섭취한다고 가정하면 프랑스 식품환경노동위생안전청(ANSES)의 생식 독성 기준을 20.81배 초과하는 것으로 추산
  - (2) 같은 방식으로 볼 때, 세계보건기구(WHO) 간 손상 기준의 52.0% 수준
- 3) 국내외 마이크로시스틴 축적 연구 결과를 종합해보면, ‘한국인의 밥상’에 오르는 다른 농수산물 등에서도 마이크로시스틴 축적 가능성이 큼.
- 4) 국민건강 위험 상황에 따라 정부가 신속히 조사할 것과 향후 녹조 관련 위험 거버넌스 구성 등을 촉구했으나 정부는 소극적 태도로 일관하고 있음.
  - (1) 미국에선 녹조 문제 때문에 한 해 30억 달러, 우리 돈 3.6조 원을 쓰고 있음.

1) 한글 용어는 국립환경과학원(2013)에서 인용

(2) 녹조 독성 문제를 방치하는 건 국민건강 안전 책임 회피이자 국가 경제적 손실로 이어질 수 있음.

## 2. 마이크로시스틴 섭취량 계산

### 2-1. 해외 주요 기관 마이크로시스틴 하루 섭취량 기준 및 계산

<표 1> WHO·OEHHA·ANSES 기준에 따른 성인(60kg)·소아(30kg) 하루 섭취량 계산

기관 (연도)	건강 영향	일일 허용량 (µg/kg-day)	성인 (µg)	소아 (µg)
OEHHA (2021)	정자 수 감소	0.0018	0.108	0.054
OEHHA (2012)	간 병변	0.0064	0.384	0.192
ANSES (2019)	정자 수와 질의 감소, 비정상 정자 증가	0.001	0.06	0.03
WHO (2020)	간 손상	0.04	2.4	1.2

출처 : CA EPA OEHHA(2021) 바탕으로 성인(60kg), 소아(30kg) 계산

※ OEHHA : 캘리포니아주 환경보호국(EPA) 환경건강위험평가소 / ANSES : 프랑스 식품환경노동위생안전청 / WHO : 세계보건기구

1) <표 1>은 WHO·OEHHA·ANSES의 마이크로시스틴 일일 허용량 기준에 따라 60kg 성인과 30kg 소아의 일일 섭취량으로 계산한 것임.

(1) (예시) OEHHA 정자 수 감소 일일 허용량  $0.0018 \mu\text{g}/\text{kg} \times 60\text{kg}(\text{성인})$   
 $= 0.108 \mu\text{g}$

### 2-2. 곡류 하루 평균 섭취량<sup>2)</sup>

1) 2019년 곡류 및 그 제품 하루 평균 섭취량 269.92 g(최대 313.24 g)

(1) 녹조로 키운 곡류의 경우 모두 검출될 수 있다는 점과 명확한 산정을

2) 한국보건산업진흥원의 2019년 국민영양통계 자료  
<https://www.khidi.or.kr/kps/dhraStat/result1?menuId=MENU01651&gubun=age1&year=2019> (최근 검색일 2022.03.19)

위해 성인은 하루 300 g, 소아는 150 g 섭취로 가정함.

### 2-3. 쌀 취식에 따른 마이크로시스틴(MCs) 일일 섭취량

<표 2> 금회 결과에 따른 성인(60kg), 소아(30kg) 일일 마이크로시스틴(MCs) 섭취량 계산

구분(검출량)	대상	계산식	일일 섭취량 (µg)
샘플 1 : 쌀(백미) 3.18 µg/kg	성인(60kg)	(100g 당 MCs 농도) 0.318 × 3식	0.954
	소아(30kg)	(50g 당 MCs 농도) 0.159 × 3식	0.477
샘플 2 : 쌀(백미) 2.53 µg/kg	성인(60kg)	(100g 당 MCs 농도) 0.253 × 3식	0.759
	소아(30kg)	(50g 당 MCs 농도) 0.1265 × 3식	0.3795

- 1) (샘플 1) 마이크로시스틴 검출된 쌀(3.18 µg/kg)을 성인(60kg)은 하루 300 g, 소아(30kg)는 150 g 취식한다고 가정하면 하루 섭취량은 성인과 소아 각각 0.954, 0.477 µg임.
- 2) (샘플 2) 마이크로시스틴 검출된 쌀(2.53 µg/kg)을 같은 방법으로 정리하면 성인과 소아의 하루 섭취량은 각각 0.759, 0.3795 µg임.

### 2-4. 쌀의 마이크로시스틴 섭취량과 OEHHA·ANSES 기준 비교

- 1) 이번 분석 결과에 따른 성인과 소아 하루 섭취량을 OEHHA와 ANSES이 제시하는 간 병변 및 생식 독성 기준에 적용하면 다음과 같이 추산할 수 있음.
  - (1) 간 병변의 경우 OEHHA 기준에서 샘플1은 2.48배, 샘플 2는 1.97배 초과한 것으로 분석됨.
  - (2) 생식 독성의 경우 OEHHA 기준에서 샘플1은 8.83배, 샘플2는 7.02배 초과한 것으로 분석됨.
  - (3) ANSES 생식 독성 기준으로 볼 때 각각 15.9배, 12.65배 초과한 것으로 분석됨.

<표 3> 금회 분석 결과와 OEHHA·ANSES 하루 섭취량 기준 비교

금회 분석 결과			OEHHA 기준		ANSES 기준
구분 (검출량 µg/kg)	대상	하루 섭취량 (µg)	간 병변 0.0064 µg/kg-day	생식 독성 0.0018 µg/kg-day	생식 독성 0.001 µg/kg-day
			성인(60kg) 0.384 소아(30kg) 0.192 (µg)	성인(60kg) 0.108 소아(30kg) 0.054 (µg)	성인(60kg) 0.06 소아(30kg) 0.03 (µg)
샘플1 (3.18)	성인 (60kg)	0.954	2.48배 초과	8.83배 초과	15.9배 초과
	소아 (30kg)	0.477			
샘플2 (2.53)	성인 (60kg)	0.759	1.97배 초과	7.02배 초과	12.65배 초과
	소아 (30kg)	0.3795			

2) WHO 간 손상 기준으로 볼 때 샘플1은 기준치의 38.5%, 샘플2는 33.1% 수준임.

#### 2-5. 쌀·배추·무 마이크로시스틴 섭취량과 OEHHA·ANSES 기준 비교

- 1) (전차 결과 발표 2022.02.08.) 낙동강 중·하류 지역 노지 재배 무·배추 (2021년 11월과 12월 5kg, 15kg 구매)에서 각각 1.85 µg/kg, 1.1 µg/kg의 마이크로시스틴이 검출됐음.
- 2) 2019년 채소류 하루 평균 섭취량은 274.17 g(최대 346.83 g)<sup>3)</sup>
  - (1) 채소류 중 배추, 무는 김치 등 밑반찬 주재료라는 점을 고려해 배추, 무를 합해 하루 섭취량 평균의 30~40% 수준과 명확한 산정을 위해 성인은 하루 100g, 소아는 하루 50g 섭취로 가정함.
  - (2) 그에 따라 하루 섭취량은 성인(60kg)과 소아(30kg) 각각 0.295, 0.147 µg임.
- 3) 마이크로시스틴 축적 쌀·무·배추 동시 섭취 가정

3) 한국보건산업진흥원의 2019년 국민영양통계 자료  
<https://www.khidi.or.kr/kps/dhraStat/result1?menuId=MENU01651&gubun=age1&year=2019> (최근 검색일 2022.03.19)

- (1) 마이크로시스틴이 축적된 쌀·무·배추가 모두 낙동강 권역이며, 전국으로 유통된다는 점에서 한국인의 밥상에 이들이 동시에 오를 수 있다는 가정이 가능함.
- (2) 성인(60kg)이 샘플1(3.18 µg/kg 마이크로시스틴 축적 쌀)을 먹었을 때 하루 섭취량은 0.954 µg이며, 마이크로시스틴 2.95 µg/kg 축적 배추·무를 먹었을 때 하루 섭취량은 0.295µm. 이를 한 번에 섭취하면 하루 1.249 µg을 섭취하게 됨. 소아(30kg)는 절반인 0.6245 µg을 섭취하게 됨.

<표 4> 쌀·배추·무 마이크로시스틴 하루 섭취량과 OEHHA·ANSES 기준 비교

분석 결과			OEHHA 기준		ANSES 기준
분석 샘플	대상	하루 섭취량 (µg)	간 병변 0.0064 µg/kg-day	생식 독성 0.0018 µg/kg-day	생식 독성 0.001 µg/kg-day
			60kg 성인 0.384 30kg 소아 0.192 (µg)	60kg 성인 0.108 30kg 소아 0.054 (µg)	60kg 성인 0.06 30kg 소아 0.03 (µg)
쌀·배추· 무	성인 (60kg)	1.249	3.25배 초과	11.56배 초과	20.81배 초과
	소아 (30kg)	0.6245			

- (3) 이러한 수치를 OEHHA 간 병변 기준과 비교하면 3.25배 초과하는 것이며, 생식 독성 기준으로 보면 11.56배 초과한 수치임. ANSES 생식 독성 기준으로 보면 20.81배 초과한 수치임.
- (4) WHO 간 손상 기준으로 보면 기준치의 52.0%에 해당함.
- (1) 쌀·배추·무 외 다른 농수산물에서도 마이크로시스틴 축적된다는 해외 연구 결과를 고려하면, 실제 ‘한국인의 밥상’의 마이크로시스틴 농도는 더 높을 수 있음.

### 3. 마이크로시스틴 검출 및 축적 경향성

#### 3-1. (2021.08) 낙동강·금강 고농도 마이크로시스틴 검출

- 1) 2021년 7~8월 낙동강, 금강 주요 지점에서 물을 채수해 분석한 결과 미국 EPA 물놀이 안전 가이드 라인( $8 \mu\text{g/L}$ )의 875배에 이르는 최대  $7,000 \text{ ppb}$ 의 마이크로시스틴이 검출

#### 3-2. (2021.10) 실험 재배 농작물에서 마이크로시스틴 축적 국내 첫 확인

- 1) 낙동강 녹조로 실험 재배한 상추에서  $67.9 \mu\text{g/kg bw/day}$  검출. 상품으로 유통되는  $6 \text{ g}$  상춧잎 한 장에 대략  $0.4074 \mu\text{g}$ ( $1 \text{ g}$ 에  $0.0679 \mu\text{g}$ )이 축적된 꼴로 소아( $30\text{kg}$ )는 3장만 먹어도 먹어도 WHO 기준( $1.2 \mu\text{g}$ ) 초과, 성인( $60\text{kg}$ )은 6장 먹으면 기준( $2.4 \mu\text{g}$ ) 초과
- 2) WHO보다 기준을 강화한 OEHHA와 ANSES의 간 병변, 생식 독성 기준과 비교하면,  $6 \text{ g}$  상춧잎 한 장만 먹어도 기준치 초과
  - (1) ANSES 생식 독성 하루 허용량 기준  $0.001 \mu\text{g/kg-day}$  적용 시  $6 \text{ g}$  상춧잎 한 장에 축적된 마이크로시스틴  $0.4074 \mu\text{g}$ 을  $60\text{kg}$  성인이 먹었을 때 일일 허용량  $0.06 \mu\text{g}$ 의 6.79배에 해당함.

#### 3-3. (2022.02) 금강 노지 재배 쌀, 낙동강 노지 재배 배추·무에서 마이크로시스틴 축적 확인

- (1) 남세균 번성 시기가 지난 11월, 12월에 단 세 종류 농작물을 구매해 분석해도 프랑스 식품환경위생노동안전청(ANSES) 기준을 최대 11배 초과
- (2) 이는 다른 농작물에서도 마이크로시스틴이 검출될 수 있다는 것과 녹조 번성 시기 출하 작물의 경우 더 높게 검출될 수도 있다는 걸 의미함.

### 4. 마이크로시스틴의 유해성 및 생식 독성

#### 4-1. 밥을 지어도 분해되지 않은 마이크로시스틴

- 1) 부경대 이상길 교수는 “마이크로시스틴은 상당히 안정된 물질이라서  $30^\circ\text{C}$  이상에서도 잘 분해되지 않는다. 만약 벼에서 독소를 배출하는 시스



템 없이 축적만 된다면 밥을 지어도 (독소가) 분해되지 않을 수 있다.”라고 지적했음(2021.10.06. 인터뷰).

- 2) 쌀 이외 마이크로시스틴이 축적된 다른 작물을 가열해 조리해도 독성은 분해되지 않고 그대로 인체에 흡수될 수 있음.

#### 4-2. (해외 최신 연구 경향) 마이크로시스틴의 생식 독성 문제

- 1) 해외 최신 연구에 따르면, 마이크로시스틴의 생식 독성 문제가 집중적으로 거론되고 있음.
- 2) 미국 오하이오주립대 이지영 교수는 “동물 실험 결과 간 외에 폐, 뇌 그리고 생식기에 영향 미칠 수 있다. 그냥 간에 국한한다는 얘기가 아니다. 간 독성이 가장 큰 문제지만, 적극적으로 보면 간을 넘어서 다른 영향도 생각해봐야 하는 시기다.”라고 지적함. 생식 기관이 마이크로시스틴에 좀 더 민감하게 반응한다는 것이 전문가 지적임.
- 3) 이런 경향에 따라 프랑스 식품환경위생노동안전청(ANSES)은 정자 수 감소(Decline in sperm number), 즉 생식 독성 기준(하루 허용량)을 2019년 0.001  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{day}$ 으로, 미국 캘리포니아주 건강위험평가소(OEHHA)는 2021년 생식 독성 가이드 라인을 0.0018  $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{day}$ 으로 제시했음.
- 4) OEHHA는 생식 독성 등 마이크로시스틴의 불확실성 요인(uncertainty factor), 즉 예측할 수 없는 위험성 증가를 능동적으로 대처하기 위해 먹는 물 기준을 임시로 0.03 ppb로 설정하고 있음. 이는 미국 EPA의 유아(6세) 기준 토탈 마이크로시스틴(MCs) 0.3 ppb보다 10배, 세계보건기구(WHO) 기준 마이크로시스틴-LR 1ppb보다 (단순 비교해) 33.3배 더 엄격하게 설정하는 것임

## 5. 정부 대책 부재

### 5-1. 농작물 마이크로시스틴 검출에 대한 정부 부처 입장<sup>4)</sup>

#### 1) 환경부

---

4) 더불어민주당 이수진 의원(비례) 주최 간담회(2022.02.23.)와 환경부 4대강 조사평가단 관계자 통화, 농림축산식품부 국민신문고 질의·답변 등 종합

- (1) 농작물 문제이기에 환경부가 담당하기 어려움.
- (2) 농림부 또는 식약처 관련 법률(「인체적용제품의 위해성평가에 관한 법률」)에 따라 담당해야 함.
- (3) 국가물관리위원회가 주관해서 환경부, 농림부와 공동으로 논의를 하는 방식도 고려해야 함.

## 2) 농림축산식품부

- (1) 녹조 독소의 경우 농업용수와 농산물에 대한 잔류기준과 시험법이 아직 규정되어 있지 않은 상황. 식약처가 농산물 녹조 독소 잔류실태 조사 예정, 환경부가 녹조 발생 물의 영향 연구 추진 중이라, 농식품부는 관련 연구가 원활히 진행될 수 있도록 적극 협조
- (2) 향후 녹조 독소가 농업용수와 농산물에 대한 유해물질로 규정되고, 잔류기준이 마련될 경우 그 기준에 따라 농산물에 대한 안전성 조사를 추진해 나갈 예정

## 3) 식품의약품안전처

- (1) 농작물 등 전체 식품 마이크로시스틴 검사법은 올 6월까지 시험법 확립할 계획이며, 시험법 제정되면 10월 중 시중 유통 농산물 모니터링 계획
- (2) 수질 개선 먼저하고 그다음에 농림부에서 녹조가 짙어졌을 때 농업용수로 못 쓰게 해야 하는 게 선행되어야 함. 식약처가 시중에서 걸러낸다는 것은 사실상 불가능함.

## 4) 정부 부처 경향성

- (1) 우리 국민 밥상에 맹독성 녹조 독성이 올라온다는 것이 거듭 확인되고 있지만, 정부 부처는 책임 떠넘기기식으로 일관하고 있음.

# 6. 종합 평가

## 6-1. 4대강사업 승계 언급 대통령 당선인

- 1) 윤석열 대통령 당선인과 국민의힘은 대선 기간 ‘4대강 자연성 회복 정책 폐기’, ‘보 해체 반대’ 등 MB 정부 4대강사업 승계 태도를 밝혔음.
- 2) 4대강사업 국내외 평가는 “해서는 안 됐던 사업”

- (1) 국제적 하천 전문가인 독일 카를스루에 대학 한스 베른하르트 교수는 “4대강사업은 자연에 대한 강탈(Rape)”이라며 “독일에서 80년 전에 포기한 사업을 왜 하나?”라고 강하게 비판했음.
- (2) 일본의 이마모토 교토대 교수, 미국 맷 콘돌프 UC버클리대 교수, 헨리 히프라이제 독일연방 자연보호청 하천분석관(박사), 랜돌프 헤스터 미국 버클리대 교수 등은 모두 “4대강 사업은 복원을 가장한 파괴”라고 평가
- (3) 2017년 영국 <가디언>은 4대강사업을 ‘가장 눈길 끄는 자본의 쓰레기’ 중 세 번째로 평가
- (4) “4대강사업은 민주주의를 훼손하지 않으면 할 수 없었던 사업(구도완·김고은, 2013)”이란 평가처럼 4대강사업은 민주주의를 훼손한 사업이었음. 따라서 4대강사업 계승은 상식적이지도, 민주적이지 않음.

#### 6-2. 녹조 독성 심각성 외면 정부

- 1) 4대강사업 공사 후 극심한 녹조 창궐에 따라 ‘녹조라떼’라는 신조어가 만들어진 게 이명박 정부 시절인 2012년 7월임. 만 10년째 되는 올해도 날이 풀리면 보로 강물이 막힌 낙동강 등에선 또다시 녹조라떼가 발생할 것으로 보임.
- 2) 해외 선진국에선 국민건강과 환경 보호를 위해 녹조 독성 연구를 활발히 진행해 왔음. 음용수뿐만 아니라 농수산물 축적 문제, 에어로졸 영향까지 환경 전반에 미치는 영향을 분석하고 대비를 하고 있음. 더욱이 녹조 독소의 불확실성에 따라 관련 기준도 강화하는 추세임.
- 3) 국립 부경대 이승준 교수에 따르면, 미국은 매년 녹조 문제 때문에 30억 달러, 우리 돈 3.6조 원을 쓰고 있음.
- 4) 민간단체가 주도한 낙동강·금강 녹조 독성 조사와 농작물 축적 분석 결과는 뚜렷한 경향성을 보이고 있음. 즉, 강물에 고농도 마이크로시스틴이 있고, 이 물로 농사를 지으면 우리 국민 주식인 쌀을 비롯해 한국인의 밥상에서 녹조 독성이 검출되는 사실이 확인됨. 해외 연구 결과를 보면 과실류·채소류와 어패류에서도 마이크로시스틴이 축적되고 있음.
- 5) 4대강사업에 따른 녹조라떼는 국가에 의해 만들어진 대표적인 ‘생산된 위험(manufactured risk)’이며, 한국인의 밥상 마이크로시스틴은 예견된

결과였음. 그럼에도 정부는 여전히 적극적인 대책 마련에 미온적임.

#### 6-3. 강을 흐르게 하는 것이 가장 현명한 해결법

- 1) 기후위기가 가속화되는 상황에서 남세균 독성 문제는 앞으로 더욱 크게 발생할 것으로 예상됨. 자연 발생 요인을 억제하기 쉽지 않다면, 우선 인위적으로 발생시킨 요인부터 억제하는 것이 현명한 방법임.
- 2) 현재 발생하고 있는 녹조 독성 문제는 흐르지 못한 강의 비극에서 시작됐음. ‘강은 흐른다’는 강이 지닌 가장 기본적인 고유성이자 자연성임. 이를 회복하는 것만으로도 현재 발생 문제의 상당 부분을 해소할 수 있음. 우리 강을 흐르게 하는 게 현세대와 미래 세대를 위한 선택임.

#### 6-4. 윤석열 당선인 및 인수위 요구 사항

- 1) 4대강 승계 폐기
  - (1) 4대강사업은 민주적이지도, 상식적이지도, 환경적이지도 않음. 국내외 4대강사업에 대한 평가는 이미 ‘실패한 사업’으로 정리가 됐음.
  - (2) 이런 4대강사업을 승계하겠다는 구상은 국민통합이 아닌 불필요한 국민분열만 가중할 것임.
  - (3) 따라서 대한민국의 지속가능성을 위해 4대강사업 승계 발언은 폐기를 선언해야 함.
- 2) 신속하고 광범위한 녹조 독성 추적 조사
  - (1) 이번 국내 농산물 추적 결과는 해외 연구 경향과 일치하고 있음. 낙동강 등 물의 흐름이 막힌 곳에서 고농도 마이크로시스틴이 검출된다는 것은 이 물로 농사짓는 쌀·배추·무 외 농작물(과실류·채소류)과 어패류에서도 녹조 독성이 검출될 가능성이 크다는 걸 의미함.
  - (2) 이는 우리 국민건강과 직결된 문제라는 점에서 신속하고 광범위한 녹조 독성 조사가 진행되어야 함.
  - (3) 녹조 독성 검출 농산물 유통 현황 조사와 녹조 독성 추적 농산물 전량 수거와 피해 대책을 고려해야 함.
- 3) 녹조 위험 거버넌스 구축을 통한 체계적이고 정밀한 조사
  - (1) 녹조 독성은 국민건강과 직결된다는 점에서 한 부처만의 문제가 아님.

지금처럼 부처 간 책임 떠넘기기식으로는 문제 해결이 안 됨

- (2) 따라서 대통령실 또는 국무총리실 주관 녹조 문제 해결을 위한 위험 거버넌스를 구축해야 하며, 민간단체가 반드시 참여해야 함.
- (3) 녹조 위험 거버넌스를 통해 체계적이고 정밀한 조사를 진행하면서, 해외 선진국 사례처럼 기준치를 강화해야 함.

## II . 남세균 독성 물질 : 마이크로시스틴

### 1. 남세균(Cyanobacteria)

#### 1-1. 녹조라떼가 바로 ‘남세균’

- 1) 2012년 7월 낙동강에서 ‘녹조라떼’라는 신조어가 생길 정도로 극심한 ‘독성 남조류(Blue-Green Algae)’ 대규모 발생, 거의 매년 봄부터 가을까지 대규모 녹조라떼 확산
- 2) 학계는 남조류를 하나의 독립된 세균인 남세균(Cyanobacteria)으로 구분  
(1) 광합성을 통해 산소를 생성하는 독특한 세균(bacteria)이며, 진핵생물인 조류(algae)와는 구별(이승준, 2021a)
- 3) 남세균 생성 독성 물질이 시아노톡신(Cyanotoxin), 이번에 검출된 독성 물질은 시아노톡신 종류인 마이크로시스틴(Microcystin)

<그림 1> 남세균 독소의 독성 및 작용

Toxins	Toxicity (LD <sub>50</sub> <sup>a</sup> , µg kg <sup>-1</sup> )	Activity	Genera
<b>Microcystins</b>	50~300	Protein phosphatase 1 and 2A inhibition Potent tumor promoter	<i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Anabaenopsis</i>
<b>Nodularins</b>	50	Protein phosphatase 1 and 2A inhibition Potent tumor promoter	<i>Nodularia</i>
<b>Cylindrospermopsins</b>	2100 (24h) 200 (5~6d)	Necrotic damage in the liver, kidneys, stomach, intestine, and white blood cells Protein synthesis inhibition	<i>Cylindrospermopsis</i>
<b>Anatoxin-a</b>	375	Neuromuscular junction blocking Death by respiratory failure	<i>Anabaena</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Aphanizomenon</i>
<b>Anatoxin-a(s)</b>	20	Salivation, muscle weakness, convulsions Death by respiratory paralysis.	<i>Anabaena</i>
<b>Saxitoxins</b>	8~10	Block sodium channels	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Planktothrix</i>

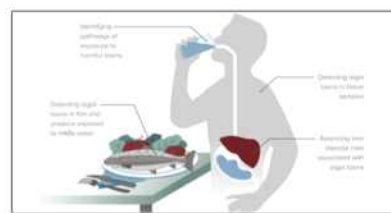
출처 : 박호동. 2016. “시민의 식수 낙동강 녹조 안전한가? 우리의 해결 방안은?”

## 1-2. 남세균 독성(Cyanotoxin)의 인체 유입 경로

- 1) 남세균 독성은 음용만이 아니라 피부접촉, 레크레이션 활동과 강 주변에서 공기 중 미세먼지와 같은 액체 미립자(에어로졸) 형태로 인체 유입
- 2) 미국에서는 5km까지 에어로졸 영향 사례 분석, 남세균 면적이 1% 증가하면 비알코올성 간질환이 0.3% 증가 연구(<뉴스타파>, 2021).
- 3) 먹거리를 통한 인체 유입
  - (1) 중국 윈난성 텐츠 호(Dian Lake)의 토탈 마이크로시스틴(MCs) 함유량( $\mu\text{g/L}$ )이 120 / 600 / 3,000일 때 벼 모종(Seedling)에 2.94 / 5.12 / 5.40의 MCs 축적(Chen et al. 2004, Prieto et al. 2011)<sup>5)</sup>, 연구 결과 뿌리채소, 잎채소 등에도 축적
  - (2) 2016년 국립환경과학원, ‘국내 붕어 남세균 독성 축적 확인’(김기범, 2016), 2017년 낙동강 하류 지점 강준치, 송어, 농어 내장에서 마이크로시스틴 검출(안대훈, 2017) 등 국내뿐 아니라 해외 연구 사례 다수
  - (3) 미꾸라지와 같이 통으로 갈아서 먹는 작은 물고기의 경우 위험성이 더 높을 수 있음(2022.02.04. 오하이오주립대 이지영 교수 인터뷰)

<그림 2> 남세균 독성(Cyanotoxin) 인체 유입 경로

## Cyanotoxin의 유입경로



Way of exposure	Kind of exposure
Skin contact	Toxic scum or mat material Raw water containing toxic blooms or free toxins Treated water containing toxic blooms or free toxins
Drinking water	Accidental ingestion of toxic scum Raw water containing toxic blooms or free toxins Treated water containing toxic blooms or free toxins
Inhalation	Toxins during water-sports, showering or work practices
Food consumption	Shellfish or finfish if containing toxins Plant products if containing toxins
Haemodialysis	Using water containing free toxins



출처 : 이승준. 2021b. “남세균 대발생(녹조)이 환경 및 건강에 미치는 영향”

5) Jiyoung Lee·Seungjun Lee·Xuewen Jiang(2017)에서 재인용

## 2. 마이크로시스틴(Microcystin) 인체 영향<sup>6)</sup>

### 2-1. 남세균 생성 생물독소

- 1) 단백질 인산가수분해 효소의 억제를 유발하며, 세포 골격 변화, 산화적 스트레스 및 세포자멸사를 초래.
- 2) 간에 미치는 효과 : 간 비대, 만성 염증, 간세포 괴사
- 3) 폐에 미치는 효과 : 폐포 격벽이 두꺼워짐, 세포연접의 붕괴, 폐포 붕괴
- 4) 혈청에 미치는 영향 : 아미노전이효소 증가, 전체 단백질 감소
- 5) 신경계에 미치는 영향 : 인지 장애, 기억 관련 뇌 영역 염증
- 6) 생식 및 발달 효과 : 정자 수와 운동성의 감소, 비정상적인 정자 형태학, 고환의 조직학적 병변, 고환 위축, 혈청 호르몬 농도의 변화, 난소에 대한 부정적인 영향
- 7) 발암성 : 국제암연구기관(IARC, 2010)은 쥐에서 종양 전의 병변 촉진을 보여준 연구를 바탕으로 마이크로시스틴-LR을 “인간에게 발암 가능성이 있는 물질”로 분류

## 3. 건강 영향에 대한 일일 허용량 기관별 차이 의미

### 4-1. 작물의 재배 방법 및 시기, 식품 가공, 섭취량, 요리법 등을 고려하여 가이드 라인은 각 국가별 차이가 있을 수밖에 없음.

- 1) 현재까지 진행된 연구 결과를 이용하여 가이드 라인 설정
- 2) WHO, 프랑스, 미국 EPA 등 이런 부분들을 고려하여 가이드 라인을 설정하였지만, 미국의 경우 주별 가이드 라인이 별도로 존재하기도 함.
- 3) 캘리포니아주는 최신 간 독성 연구와 생식 관련 연구를 바탕으로 미국 연방 정부 가이드 라인보다 더 민감하게 기준을 제시하고 있음.
- 4) 캘리포니아주 EPA는 마이크로시스틴 불확실 요인(uncertainty factor), 즉 예측할 수 없는 위험 요인에 능동적으로 대응하기 위해 더 낮은 가이드 라인 제시(오하이오주립대 이지영 교수, 2022.02.03. 인터뷰)

---

6) 주요 내용은 캘리포니아주 EPA OEHHA 보고서에서 인용(CA EPA OEHHA, 2021)



### Ⅲ. 조사(분석) 방법

#### 1. 작물 내 마이크로시스틴 조사(분석) 방법

##### 1-1. 샘플

- 1) 낙동강 하류 지역 2곳에서 백미 10kg씩 구매(2021년 12월)

##### 1-2. MC 추출 방법

- 1) 쌀을 믹서기에 간다.
  - 2) 10g의 쌀에 100% MeOH의 50 ml을 넣어 30분 대기  
(STD, NOD 1ppm\_10ul)
  - 3) Homogenizing 600 RPM에서 2분, 이후 sonication 30분.
  - 4) 50 ml 코니칼 튜브에 넣어 centrifuge하고 상층액만 사용
  - 5) 감압 농축
  - 6) 농축 후 1 ml의 물로 린싱하여 회수
  - 7) 회수물 spin down 시킨 후 상층액 사용
  - 8) HLB 카트리지가 프리컨디셔닝을 위해 20 ml의 100% MeOH, 20 ml의 DIW를 1 ml/min으로 흘려주고, 샘플 주입. 다음 찌꺼기를 washing 해 주기 위해서 20 ml의 10% MeOH을 흘려준 뒤, 20 ml의 80% MeOH로 용출한다.
  - 9) 질소 농축. (질소농축기에 DIW로 채워준 뒤, 질소농축기 on, 질소가스의 상밸브 열고(10 mpa), 질소압력1, 온도 60°C, 시간 55분 설정)
  - 10) 질소농축물을 1 ml의 물에 녹인 후 Centrifuge 5분 max 돌리고, 상층액만 따서 0.22 um 필터지로 필터링 이후 분석
- ※ 조사방법 요약 : 10 g의 샘플을 50% 메탄올을 넣고 균질화를 한다. 원심분리 후 상층액을 추출하여 필터링하고 농축한다. 농축된 샘플은 필터과정 및 질소 농축하여 농축물을 만든다. (아래 참고문헌 참조)

##### 1-3. MC 측정

- 1) ELISA 방법으로 MC 농도 측정 (LC-MS/MS로 일부 샘플 확인)
- 2) LC 기기 및 조건: UPLC: ACQUITY UPLC (Waters), 질량분석기:

Waters Xevo TQ MS; A1 MeOH( 0.1% formic acid), B1 water  
(0.1% formic acid)

Time (min)	Flow (ml/min)	%A	%B
1.50	0.300	25	75
3.00	0.300	90	10
5.00	0.300	90	10
5.20	0.300	25	75
7.00	0.300	25	75

#### 1-4. 측정 결과

1) 쌀에서 3.18 µg/kg, 2.53 µg/kg 검출

#### 1-5. 참고문헌

- Chen, J., Han, F. X., Wang, F., Zhang, H., & Shi, Z. (2012). Accumulation and phytotoxicity of microcystin-LR in rice (*Oryza sativa*). *Ecotoxicology and environmental safety*, 76, 193-199.
- Crush, J. R., Briggs, L. R., Sprosen, J. M., & Nichols, S. N. (2008). Effect of irrigation with lake water containing microcystins on microcystin content and growth of ryegrass, clover, rape, and lettuce. *Environmental Toxicology: An International Journal*, 23(2), 246-252.
- Manubolu, M., Lee, J., Riedl, K. M., Kua, Z. X., Collart, L. P., & Ludsin, S. A. (2018). Optimization of extraction methods for quantification of microcystin-LR and microcystin-RR in fish, vegetable, and soil matrices using UPLC-MS/MS. *Harmful Algae*, 76, 47-57

#### IV. 기자회견문

### 녹조 독성 공포, 우리 국민 일상이 위협이다. 낙동강 보 즉각 개방하라!

낙동강 하류 노지 쌀에서도 녹조 독성인 마이크로시스틴이 검출됐다. 1kg당 3.18 µg의 마이크로시스틴이 검출됐다. 성인이 하루에 300 g의 쌀을 먹는다고 가정하면 하루에 0.945 µg의 마이크로시스틴을 섭취하게 되고 이는 프랑스의 생식 독성 기준의 15.9배를 초과하는 수치다. 앞서 우리가 발표한 낙동강 배추·무 검출 마이크로시스틴까지 합쳐서 계산하면 프랑스 생식 독성 기준의 20.81배가 넘는다.

두렵다. 우리가 먹는 주식인 쌀에서 녹조 독성이 검출되고, 우리 김치의 주재료인 무와 배추에서도 녹조 독성이 검출되는 이 사태를 어떻게 봐야 할 것인가. 우리의 식탁이 위험한 것이고 우리의 일상이 위협에 빠진 것이다. 마이크로시스틴은 독성 물질의 대표적인 청산가리의 100배나 되는 맹독이고, 발암물질이다. 간과 폐, 혈청, 신경에 이어 생식 독성까지 띠고 있는 아주 위험한 물질이다. 이 위험천만한 독이 우리가 일상적으로 먹는 쌀과 김치에 포함되어 있다는 것이다.

이미 이렇게 생산된 쌀과 무와 배추는 전국으로 유통되었다. 전국의 가정에서, 식당에서 녹조 독성이 들어있는 밥과 김치를 먹고 있다. 이를 어떻게 할 것인가? 사태가 이 지경에 빠지도록 국가는 무엇을 하고 있었던 말인가?

녹조 문제는 한두 해 문제가 아니다. 이명박 정부 시절인 지난 2012년 4대강 보가 만들어지고 물을 가두기 시작한 바로 그해부터 지금까지 반복되고 있는 문제다. 녹조 독성은 맹독으로 농산물에 축적되고 있다는 경고도 있었다. 그런데도 정부는 국내에서 확인된 적이 없다는 이유로 녹조 독성을 대수롭지 않게 취급했다. 게다가 지난 2월 국내 농산물에서 녹조 독성 검출 결과를 발표한 이후에도 정부 대책은 여전히 미온적이다. 도대체 이해할 수가 없다. 국민 안전이 달린 문제다. 우리가 매일 먹는 주식이 독으로 오염돼 있다. 그런데도 정부가 이 심각한 사태에 대해서 적극적인 대책 마련에 나서지 않는 것을 도대체 어떻게 이해해야 한단 말인가?

정부는 당장 실태조사에 들어가야 한다. 낙동강 강물로 생산된 쌀과 무와 배추가 도대체 얼마나 되고 어떻게 유통되었는지를 조사해야 한다. 그리고 그 위험성을 국민에게 상세히 알려야 한다. 그리고 하루빨리 녹조 문제를 해결해야 한다. 녹조 문제 해결은 어렵지 않다. 낙동강 보의 수문을 열면 된다. 낙동강을 흐르는 강으로 만들어주면 된다. 흐르는 강에서는 녹조가 생기지 않는다. 그것은 이미 수문을 연 금강에서, 영산강에서 혹은 보가 없는 다른 강에서 이미 증명이 된 사실

이다. 그러므로 하루속히 낙동강 보의 수문을 열어야 한다. 그러기 위해서는 취양수장의 구조를 빨리 개선해야 한다. 낙동강과 한강의 지지체와 농어촌공사가 소유한 취양수장의 개선에 9천억원의 예산이 소요된다고 한다. 빨리 예산을 투입해서 하루빨리 취양수장의 구조를 개선해 낙동강을 흐르는 강으로 만들어줄 때만이 낙동강 녹조 문제가 해결된다.

녹조 문제가 해결되면 녹조 독성으로 인한 농산물 안전성 문제 또한 사라지게 된다. 그러나 이 문제는 정부가 발 벗고 나서야 한다. 곧 모내기철이 시작된다. 올해도 녹조 물로 농사를 지을 수밖에 없다면 올 가을 또 녹조 독성이 든 농산물을 생산할 수밖에 없다. 이 고리를 끊기 위해서라도 낙동강 보의 수문을 하루빨리 열어야 한다. 만약 정부가 이 심각한 사태에 대해서 제대로 대책을 마련하지 않는다면 녹조 독성으로 오염된 농산물의 폐기 요구와 불매운동 등 국민적 저항에 부딪힐 수밖에 없다.

윤석열 당선인은 후보 시절 4대강 재자연화 정책 폐기를 공약했다. 4대강 보를 유지한 채 지금과 같이 4대강을 관리하겠다는 것인데 그렇다면 녹조 문제는 어떻게 해결할 것인지 묻지 않을 수 없다.

녹조 문제는 4대강 보를 유지하는 한 풀 수가 없다. 4대강의 자연성을 되살릴 때만이 녹조 문제는 해결이 된다. 그러므로 4대강 재자연화는 녹조 문제 해결의 필수 선행조건이다. 4대강 보의 수문을 활짝 열어야 한다. 그래야 4대강이 되살아난다. 4대강이 건강해진다. 그러면 녹조 문제도 해결되고 4대강은 우리에게 건강한 식수와 농업용수를 공급할 것이다.

국민의 일상이 지금 위험에 처해 있다. 정부는 비상한 위기의식을 가지고 녹조 문제 해결에 즉각 나설 것을 촉구한다. 국민의 명령이다. 국가가 나서서 녹조 문제를 해결하라! 녹조 독의 공포로 국민의 일상이 위험하다. 낙동강 보 즉각 개방하라!!

2022.03.22.

더불어민주당 양이원영·이수진 의원(비례)

시민환경연구소·대구환경운동연합·환경운동연합

## 참고 자료

- 구도완·김고운. 2013. “4대강 사업 반대 운동 사례연구” 한국환경사회학회 2013 춘계학술대회  
국립환경과학원. 2013. “생물기원 독성 화학물질에 대한 생태위해성평가 연구”
- 김기범. 2016. “‘붕어에 남조류 독성물질’ 첫 확인” <경향신문>. 2016.08.11.  
뉴스타파. 2021. “녹색강의 습격” 2021.07.02.
- 다카하시 토루. 2017. “녹조와 하천재생 - 이사하야만과 4대강” 서울환경운동연합 「2017 한  
강시민대학 특별강연」 자료집  
<https://blog.naver.com/seoulkfem/221048804166> (최근 검색일. 2022.02.06.)
- 박호동. 2016. “시민의 식수 낙동강 녹조 안전한가? 우리의 해결 방안은?(PPT)” 부산 먹는  
물 정책과 녹조문제 토론회(2016.11.11.)
- 안대훈. 2017. “낙동강 바닥 퇴적층서 간질환 유발 독소 검출” <경남신문>. 2017.05.28.
- 우영탁. 2021. “또 녹조 부작용 연구용역... 환경부 4대강 트라우마?” <서울경제>.  
2021.10.11.
- 이승준. 2021a. “강 뒤덮은 녹조, 시아노박테리아에 대해” 「함께 사는 길」 2021년 10월 호  
----- 2021b. “남세균 대발생(녹조)이 환경 및 건강에 미치는 영향”(PPT) 환경운동연합 간  
담회(2021.06.10.)
- 환경운동연합. 2011. “한국 4대강사업은 복원을 가장한 파괴” 환경운동연합 보도자료.  
2011.10.13
- CA EPA OEHHA. 2021. 「RECOMMENDATION FOR INTERIM NOTIFICATION LEVELS  
FOR SAXITOXINS, MICROCYSTINS AND CYLINDROSPERMOPSIN」
- Jiyoung Lee·Seungjun Lee·Xuewen Jiang. 2017. “Cyanobacterial Toxins in Freshwater  
and Food: Important Sources of Exposure to Humans”