최종보고서

소하천 유입수 수질 개선을 통한 선제적 녹조예방 사업의 연구

2020.12

충청남도의회
CHUNGCHEONGNAM-DO COUNCIL

제 출 문

충청남도의회 귀중

본 보고서를
「소하천 유입수 수질 개선을 통한 선제적 녹조예방 사업의 연구」 용역의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 12. 10

■ 연구기관 : (사)자치분권연구소

■ 책임연구원 : 김정수 박사

■ 연 구 원 : 이충식 (협)환경안전건강연구소 연구위원
이양규 대림대학교 토목환경공학과 교수

■ 보조연구원 : 서경숙 (협)환경안전건강연구소 부소장
이형근 (사)자치분권연구소 연구지원국장

■ 자문위원 : 김창수 (주)새결 회장
안동권 (주)씨엠스코 물연구소 대표
박 래 (주)가온씨앤이 대표이사
김열연 전 한서대 교수

■ 연구제안 : 충청남도의회 수질개선을 위한 녹조 제거 방안 연구모임

■ 대표의원 : 이계양 의원

■ 연구의원 : 김형도 의원・장승재 의원・지정근 의원

목 차

1. 연구배경 및 목적

1.1 연구배경 ····· 7

1.2 연구목적 ····· 8

2. 연구범위 ····· 8

2.1 공간적 범위: 충청남도 내 ····· 8

2.2 시간적 범위: 2020년 ····· 8

2.3 내용적 범위 ····· 8

3. 도내 소하천 녹조 및 수질상태에 대한 환경 현황 조사 ····· 9

3.1 충남도 소하천 수질상태 환경 현황에 대한 문헌조사 ····· 9

3.2 충남도 소하천 녹조 발생 현황에 대한 문헌조사 ····· 15

4. 기존 인공습지와 소하천용 인공습지의 비교 ····· 22

4.1 인공습지 ····· 22

4.2 인공습지 종류 ····· 23

4.3 하천 연계 인공습지 ····· 26

5. 소하천에 맞는 생태하천 조성방안 ····· 34

5.1 소하천 선행연구 고찰 ····· 34

5.2 소하천 수생태 관리방안 ····· 40

6. 녹조 제거 방안 및 청정호소 유지·관리를 위한 방안 ····· 55

6.1 녹조제거 방안 검토 ····· 55

6.2 청정호소 유지 관리를 위한 방안 ····· 72

7. 소하천 수질개선을 위한 시범사업 ····· 76

7.1 시범사업의 개요 및 수질측정 ····· 76

7.2 시범사업 결과에 대한 수질의 평가와 분석 ····· 89

8. 소하천 수질 개선 및 관리를 위한 기술 제안 ····· 94

9. 소하천 수질개선 및 관리를 위한 기술 적용 로드맵 작성 ····· 98

표 차례

[표 1] 금강수계 하천 현황 ····· 11
[표 2] 충청남도 수질Ⅱ등급 초과 하천 현황 ····· 14
[표 3] 충청남도 수질 Ⅳ등급 초과 저수지 현황 ····· 14
[표 4] 수계별 오염원 현황 ····· 15
[표 5] 수계별 오염부하량 현황 ····· 16
[표 6] 수계별 발생 및 배출부하밀도 ····· 18
[표 7] 인공습지 처리효율 ····· 26
[표 8] 기존 인공습지와 소하천 인공습지 비교 ····· 33
[표 9] 수생태계 보호를 위한 소하천 관리 및 정비의 문제점 ····· 39
[표 10] 수생태 건강성 평가 등급 및 평가요소 ····· 51
[표 11] 물리·화학적 방법 특징 ····· 66
[표 12] 생물학적 처리방식의 특징 ····· 67
[표 13] 수생식물의 수질정화 적용성 ····· 68
[표 14] 생활환경, 미생물, 생태독성 검사항목 ····· 83
[표 15] 건강상 유해영향 무기물질 검사항목 ····· 83
[표 16] 수질검사 일정표 ····· 84
[표 17] 생활환경기준(하천) 수질검사 계획 ····· 85
[표 18] 중금속 수질검사 계획 ····· 85
[표 19] 생태독성 검사 계획 ····· 85
[표 20] 하천 수질 등급 기준표1 ····· 86
[표 21] 하천 수질 등급 기준표2 ····· 86
[표 22] 수질정화설비 유입수/배출수 수질 측정 결과표 ····· 89
[표 23] 시범사업 하천(B-소하천)의 수질 측정 결과표 ····· 90
[표 24] B-소하천,수질정화로 인한 무기물질(중금속)잔류 측정 결과표 ····· 90
[표 25] B-소하천,수질정화로 인한 생태독성 실험 결과표 ····· 90
[표 26] 사업지(합덕읍) 월간 강우량 ····· 93

[표 27] 소하천 수질개선 모니터링 로드맵 ····· 99
[표 28] 소하천 기술적용 평가 방법 ····· 101

그림 차례

[그림 1] 충청남도·세종특별자치시 행정구역 및 금강유역 수계도 ····· 10
[그림 2] 금강유역 하천 모식도 ····· 12
[그림 3] 금강수계 국가하천측정망 지점도 ····· 13
[그림 4] 충청남도 오염원 현황 ····· 15
[그림 5] 충청남도 폐수발생량 및 폐수방류량 ····· 16
[그림 6] 충청남도 오염부하량 현황 ····· 17
[그림 7] 총 BOD 발생 및 배출부하밀도 ····· 18
[그림 8] 충청남도 하천별 수생태계 건강성 등급도 ····· 19
[그림 90] 승천천 유역 현황도 ····· 20
[그림 10] 충남도 하천 수질분석 결과 수질개선 우선순위 설정 ····· 21
[그림 11] 인공습지의 구성요소 ····· 22
[그림 12] 인공습지 기본 종류 ····· 23
[그림 13] 반자연형 습지 조성 사례 ····· 24
[그림 14] 고효율 인공습지 사례 ····· 24
[그림 15] 서울우유 거창공장 습지 생태공원 ····· 25
[그림 16] 신휴 저수지 인공습지 ····· 25
[그림 17] 인공습지 처리 흐름도 ····· 26
[그림 18] 오산천 인공습지 ····· 27
[그림 19] 오산천 수변식생 생태하천 복원사업 전후 비교 ····· 28
[그림 20] 회인천 인공습지 ····· 29
[그림 21] 화성 마도산단 폐수 고도처리 인공습지 ····· 30
[그림 22] 풀무원 춘천공장 폐수 고도처리 인공습지 ····· 30
[그림 23] 안내천 인공습지 ····· 32
[그림 24] 소하천의 역할 개념도 ····· 34
[그림 25] 하천 네트워크 유역에서 수변지대의 생태적 중요성 ····· 35
[그림 26] 콘크리트 옹벽 및 블록 직강화 정비사례 ····· 36
[그림 27] 하천 크기와 구조 및 기능 특성 간의 연속체 개념 ····· 37
[그림 28] 당왕 소하천 정비사업 사례 ····· 41
[그림 29] 이동 소하천 현장 사진 ····· 42

[그림 30] 상가 소하천 ····· 43
[그림 31] 봉황 소하천 ····· 44
[그림 32] 고랭지 밭 인근의 소하천 및 수변의 현황 ····· 45
[그림 33] 소하천 수변관리를 통한 수생태계 보호 방안의 예 ····· 46
[그림 34] 북한강 소하천 유역 DEM지도 ····· 48
[그림 35] 소하천 수질 분석 결과 ····· 49
[그림 36] 환경조건요인에 기초한 소하천 오염등급 ····· 49
[그림 37] 군집분석을 통한 유형분류 결과 예시 ····· 50
[그림 38] 우리나라 수생태 건강성 평가체계 ····· 52
[그림 39] DMRT의 적응관리를 위한 활동 ····· 54
[그림 40] 조종천 녹조발생 사례(2001년) ····· 57
[그림 41] 녹조류 수중 흡입장치 흡입과 수처리제 처리를 통한 수질개선 방안 예시 ····· 60
[그림 42] 농업용저수지의 총인 농도와 수온이 Chl-a증가에 미치는 영향 ····· 62
[그림 43] 녹조현상에 관련된 여러 가지 요인들 ····· 64
[그림 44] 수생식물을 이용한 정화기법 오산천 사례 ····· 69
[그림 45] 조류번성과 관련된 요인 및 상호작용의 형태 ····· 71
[그림 46] 농업용 저수지 녹조 발생 모습 ····· 72
[그림 47] 녹조 원인 남조류 ····· 72
[그림 48] 호소 생태계의 먹이망과 구조 ····· 73
[그림 49] 농업용수 수질측정망 지구의 녹조발생 현황 ····· 74
[그림 50] 국내 녹조 관리기술 특허출원 현황 ····· 75
[그림 51] 시범사업 위치 ····· 76
[그림 52] 연구사업 대상 지역 소하천 유입 오염원 분포 ····· 77
[그림 53] 소하천 수질정화설비의 처리 절차 ····· 78
[그림 54] 수질검사 채수지점 ····· 79
[그림 55] 상류지역 오염원 ····· 79
[그림 56] 현장 시범사업 추진 절차 ····· 80
[그림 57] 현장 시범사업 운영 조직도 ····· 81
[그림 58] 소하천(석우천) 유입수 수질개선을 통한 녹조예방 사업 연구시설 ····· 81
[그림 59] 소하천(석우천) 유입수(왼쪽)와 처리수(오른쪽) 비교 ····· 82
[그림 60] 현장 시범사업 현장조사 ····· 82

[그림 61] 항목별 수질분석 결과 ····· 91
[그림 62] 항목별 수질분석 결과 ····· 92
[그림 63] 소하천 수질정화설비 설치 현장 ····· 95
[그림 64] 소하천 유기물 여과 및 회수장치 ····· 95
[그림 65] 회수된 농축수 ····· 96
[그림 66] 최종 농축 유기물 ····· 97
[그림 67] 수처리 지점 개념도 ····· 99
[그림 68] 기술적용 원리 ····· 100
[그림 69] 소하천 수질개선 모니터링 ····· 101

1. 연구목적 및 배경

1.1 연구배경

가. 하천 및 호소의 수질 악화와 녹조 발생 증가

인구집중화 따른 도시 생활하수와 각종쓰레기, 산업단지에서 배출되는 공장폐수, 축산 및 농경지의 퇴비와 비료 등은 질소와 인을 포함한 오염된 각종 오염물질은 하천이나 호수로 유입되어 물속 영양물질이 풍부해져 부영양화가 일어나고, 지구온난화로 인한 수온상승은 조류의 대량증식을 촉진시켜 녹조현상을 발생하게 된다. 우리나라에서도 매년 지역에 특정하지 않고 대다수의 강이나 하천은 녹조발생 악화로 매년 사회적 문제로 대두되고 있다. 이제 금수강산은 옛말이 되었고 도의회 차원에서 소하천 수질 오염원 차단을 위한 연구를 통해 소규모 하천에 적합한 생태하천 조성방안 연구와 수질오염원을 선제적으로 차단하는 녹조예방 정책 방안을 제시하고 이를 조례 제정을 통해 도민의 삶의 질을 향상시키는 적극행정이 요구되고 있음.

나. 중앙정부의 오염하천 개선사업 한계

정부는 “통합· 집중형 오염하천 개선사업” 일환으로 전국의 오염하천을 선정하여 매년 수천억원을 지원하여 수질오염 개선에 많은 노력을 하고 있으나, 여전히 수질악화나 녹조발생을 근본적으로 해소하지 못하고 있는 현실인 점을 고려할 때 녹조예방은 중앙정부의 힘만으로는 쉽게 해결할 수 없는 것이다. 따라서 지방정부에서는 관리 사각지대나 다름이 없는 불특정 다수의 소하천 오염원 차단과 수질처리를 적극적으로 실천하여 하천과 호수오염을 예방하는 행정은 매우 중요한 요소이다.

다. 소하천의 수질 악화 주된 오염원에 대한 선제적 개선 필요

충남도는 최근 3년(2017년~2019년) 903개 저수지, 63개소 담수호에서 녹조가 발생한 일수가 총 4,099일에 이를 정도이다. 특히 농어촌 지역에 위치한 소하천의 특성상 오염원의 양은 적고 오염의 정도는 높은 것이 특징인 점을 고려할 때, 소하천에 맞는 소규모 수질정화설비를 이용한 수질악화의 주된 오염원을 선제적으로 대응하는 개선시책은 부영양화 요인을 원천 차단이 가능할 뿐만 아니라 경제성 있는 대책으로

중·장기적 로드맵 마련이 시급한 취지이다.

1.2 연구목적

정부의 대규모 수질개선 사업의 실효성을 향상시키기 위해서는 다수의 소하천에서 유입되는 오염원 관리는 녹조예방을 위한 시작으로 본 연구를 통해서 소하천 수질정화의 현실적 정책을 마련과 호소 및 하천의 수질오염의 발원지나 다름이 없는 소하천 오염원을 선제적으로 개선하여 하천의 수질개선 효과뿐만 아니라 최종 호소로 유입될 수 있도록 하는 선순환 구조의 체계적인 수질개선 사업으로 소하천에 특화된 수질개선기술을 발굴하고 소하천에 적합한 생태하천 조성 모델을 연구하여 정책 제언을 하고자 함.

2. 연구범위

2.1 공간적 범위: 충청남도 내

2.2 시간적 범위: 2020년

2.3 내용적 범위

○ 소하천 녹조 및 수질 개선 방안

○ 소규모 하천에 맞는 생태하천 조성 방안 및 정책 제시

○ 녹조 제거 및 청정호소 유지를 위한 유지관리 방안

3. 도내 소하천 녹조 및 수질상태에 대한 환경 현황 조사

3.1 충남도 소하천 수질상태 환경 현황에 대한 문헌조사

○ 영양염류 유입에 따른 하천 영향

- 하천이란 지표면에 내린 빗물 등이 모여 흐르는 물길로서, 하천구역과 하천의 기능을 보전하고 효용을 증진하며 홍수피해를 줄이기 위하여 설치하는 하천시설을 포함한다.
- 물 속에 함유된 BOD, COD, TOC등과 같은 유기물과 T-N, T-P와 같은 영양염류들은 하천에 과량으로 존재할 경우 수생동물 및 식물들의 서식환경을 저해 할 뿐만 아니라 하천 생태계의 변화를 초래하게 된다. 이처럼 하천 관리에 있어서 유기물과 염양염류 등은 수질오염의 지표로서 매우 중요하다. 수질오염물질들은 사람이 활용 가능한 수질농도로 개선하여야 하며, 생태적으로 적합한 수질농도를 유지하여야 한다.
- 하천수질에 영향을 미치는 오염부하를 저감시킬 수 있는 시설을 설치·운영하지 않고서는 하천수질 향상을 기대하기 어려운 실정이다. 따라서 점오염원, 비점오염원에 대한 조사결과에 따라 충분히 고려된 대책을 수립한 후 대책을 실행해야 할 것이다.

○ 4대강 사업으로 인한 금강유역 영향

- 4대강살리기 사업의 일환으로 금강유역에 3개의 기능보를 설치하였다. 금강의 3개의 기능보는 하천수의 체류시간이 늘어남에 따라 오염원 유입의 차단이 무엇보다 중요한 요소가 되고 있다. 누적되는 오염부하량을 저감시키기 위해서는 금강 본류로 유입되는 지류, 지천의 수질을 건전하게 확보해야 할 것이다.
- 금강은 충청남도 뿐만 아니라 대전광역시, 충청북도, 전라북도의 건전한 물환경을 제공하고 있다.

○ 충청남도 유역 일반현황

- 충청남도는 8개 시, 7개 군으로 구성되어 있으며, 총면적 8,204.5㎢로 전국(100,266㎢)의 약 8.2%를 차지하고 있다.
- 금북정맥과 금남정맥을 따라서 대각선 방향인 남서, 남동에서 북서방향으로 표고와 경사가 높게 나타나며, 특히 금산군 지역의 표고 및 경사가 높은 것으로 나타났다.
- 표고 및 경사 분석 결과, 표고 100m 이하 지역이 충청남도 전체 면적의 약 65.7%로 대표적인 저지대를 형성하고 있으며, 개발잠재성이 높은 경사 5°이하의 토지는 충청남도의 약 53.3%이며, 경사 20° 이상의 개발불가지는 약 8.0%이다.
- 충청남도는 한반도 중부 내륙에 위치하고 있어 전형적인 대륙성 기후를 나타내며, 특히 겨울에는 강한 북서풍을 막을만한 지형적 장애물이 적어 위도상의 동해안에 비해 춥고, 서북부 해안지대는 적설량이 많은 것이 특징이다.

○ 금강유역 현황

- 금강유역은 한반도 중서부에 위치하며, 충청남도와 세종시가 38.7%, 충청북도가 34.1%를 차지하며, 전라북도 18.7%, 경상북도 2.8%, 경기도 0.25%, 경상남도 0.01%순으로 차지하고 있다.
- 금강유역의 토지이용상태는 산림면적이 6,088㎢로 전체 유역면적의 61.42%를 차지하며, 다음으로 농경지(논, 밭)와 시가지가 각각 2,800㎢(28.3%)와 429㎢(4.3%)을 점유하고 있다.



[그림 1] 충청남도·세종특별자치시 행정구역 및 금강유역 수계도
※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025)

- 금강에는 대청호 상류지역에 위치한 금산군의 중심부를 통과하는 금산천과 봉황천이 유입되며, 금산군 동부지역의 남에서 북으로 산악지형 하천특성을 나타내는 사행형태를 띠며 흐르고 있다.
- 세종시 지역은 주요 지류하천인 미호천이 유입되며 세종보가 위치하고 있다. 특히, 미호천이 유입되는 합강지역은 하천 양안에 습지가 넓게 분포하고 있어 생태적으로

중요한 곳이다.

- 공주시는 금강이 관통하여 흐르고 있으며, 공주보를 포함하고 있다. 양안에 산림과 도로가 분포하고 제외지가 협소한 특성을 보이고 있으나, 신공주대교 하류지역은 토사퇴적으로 형성된 넓은 면적의 하중도가 분포
- 청양군 지역은 차령산맥의 여맥이 동북에서 서남으로 뻗어 서북부와 동남부로 나뉘어져 있으며m 금강의 좌안에는 공주시와 부여군이 위치하고 있고 말단부에는 백제보가 위치하고 있다.
- 금강은 부여군의 중앙부를 관통하고 있으며, 금강정비사업 이전부터 금강 하굿둑으로 인한 역류 영향으로 수심이 깊고 유속이 낮아 유사의 퇴적이 시작되는 구간이다.
- 부여군 하류지역은 논산시를 관통하여 흐르고 있는 논산천이 유입되는 구간으로 금강하굿둑에 의한 하구호의 전형적인 특성이 나타난다.
- 금강의 최하류 구간인 금강하구호는 충남의 논산시, 서천군, 부여군과 전북의 익산시 및 군산시가 연접하며, 호소 형태의 특성을 보이고 있다. 수심은 약 4~8m를 유지하고 있고, 하상면의 고도는 평균 해수면 이하로 유지되고 있어 하굿둑건설 전에는 해수의 유입이 이루어졌던 지역이다.
- 금강유역 수계의 구성은 금강 및 미호천이 주요 하천이다. 금강수계로는 국가하천이 7개소, 지방하천이 461개소로 총 468개소의 법정하천이 있으며, 미호천은 국가하천이 1개소, 지방하천이 54개소로 총 55개소의 법정하천이 있다. 하천등급별 연장을 보면 국가하천구간이 전체 하천 연장의 12.9%를 차지하며, 지방하천이 전체 전체 연장의 87.1%를 차지하고 있어 전체 하천연장 대부분이 지방하천인 것으로 나타났다.

<표 2> 금강수계 하천 현황

구분	유역면적 (km^2)	간선유로연장 (km)	하천등급	하천개소수 (개)	하천연장 (km)
금강	9,912	398	합계	468	3,789.59
			국가	7	4,81.50
			지방	461	3,258.09
미호천	1,855	89	합계	55	616.09
			국가	1	59.13
			지방	54	576.96

※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025)

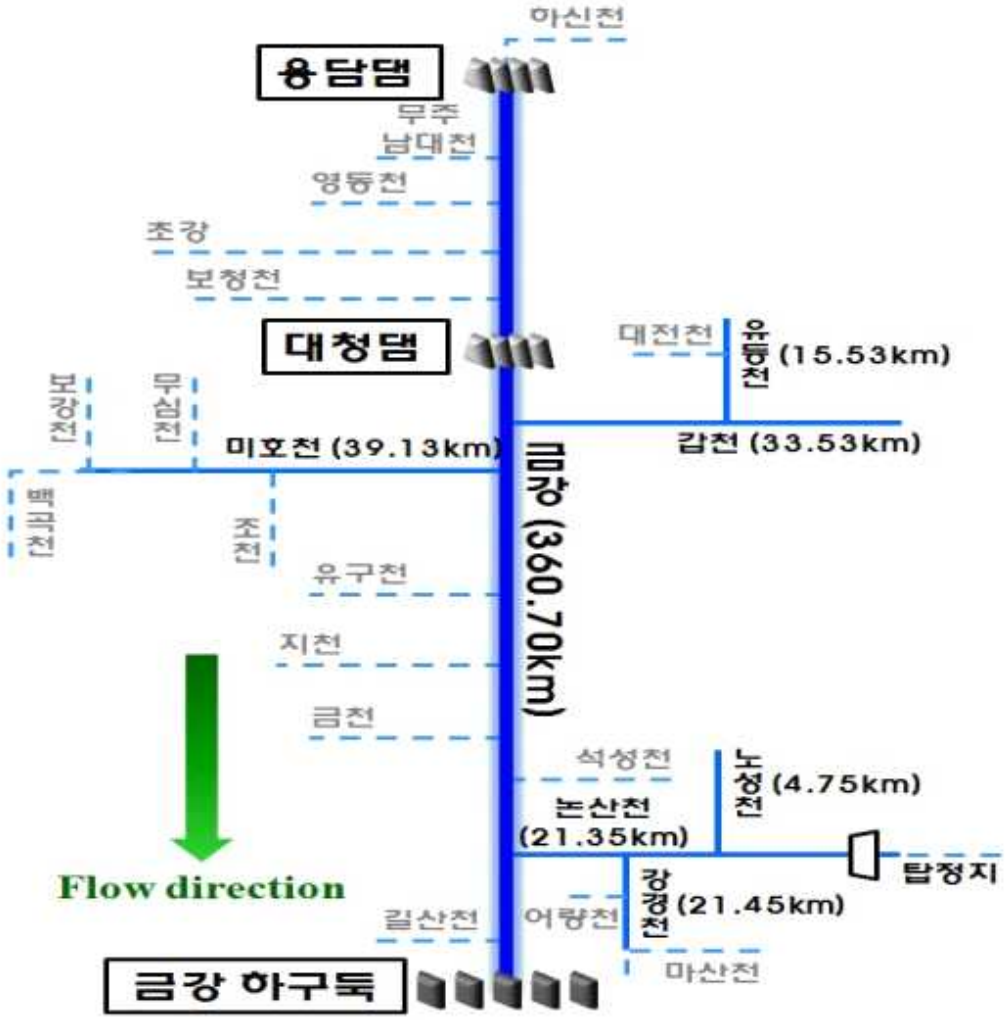
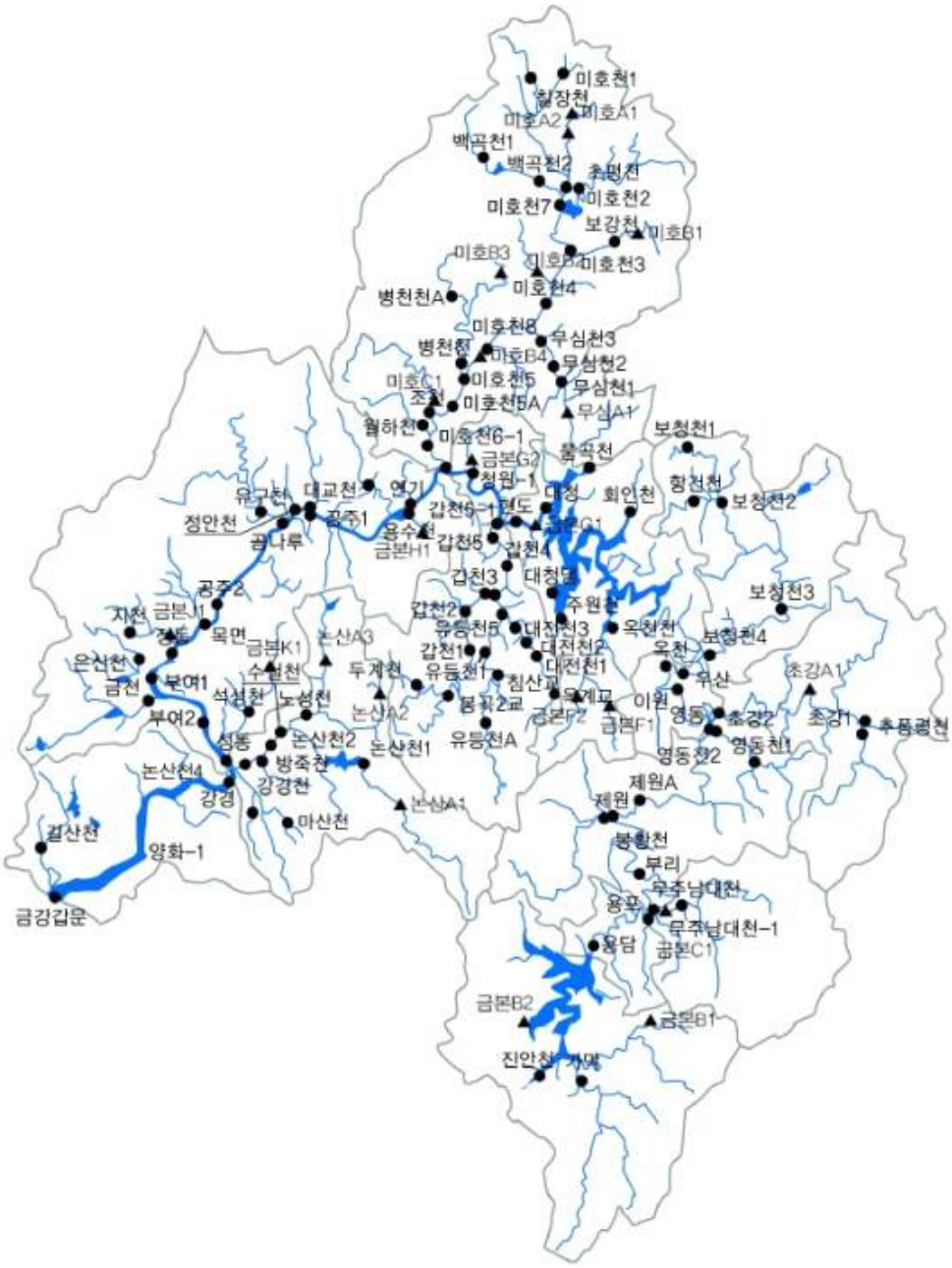


표 시	구 분	개소수	연장(km)
	국가하천	7	481.50
	지방하천	461	3,258.09
합 계		468	3,739.59

[그림 2] 금강유역 하천 모식도
※자료: 제1차 충청남도 물 종합관리 중장기 계획(2016~2025)



[그림 3] 금강수계 국가하천측정망 지점도

※자료: 금강정비사업 이후 수환경모니터링 <2차년도 보고서> (2013)

○ 하천 수질분석 현황은 다음과 같다.

- 금강수계에 위치한 하천들의 수질이 대부분 양호한 수준을 보인 반면, 삽교호수계, 서해 및 안성천수계에 위치한 하천들은 대체적으로 수질이 높은 경향을 보였다.

<표 3> 충청남도 수질Ⅱ등급 초과 하천 현황

수계	Ⅱ등급 초과 하천명
금강수계	금산천, 논산천, 용두천, 길산천, 석성천, 어량천, 강경천 등
삽교호수계	원성천, 도고천, 무한천, 삽교천, 남원천, 매곡천, 오목천, 곡교천, 천안천, 온천천 등
서해 및 안성천수계	대천천, 판교천, 상지천, 서원천, 둔당천, 금리천, 태안천, 와룡천, 당진천, 청지천, 광천천, 홍인천, 입장천, 신언천, 아산천, 둔포천, 성환천 등

※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025)

- 충남도 주요하천 오염원인 분석 결과 가장 큰 원인으로 생활하수가 약 70%를 차지했고, 그 외 축산폐수와 분뇨, 비점오염원에 의한 오염이 하천 수질에 영향을 미치는 것으로 나타났다(충남연구원, 2017).
- 충남 주요하천의 수질 개선을 위한 우선순위로 1순위에는 생활하수 영향이 큰 하천으로 천안천, 청지천, 온천천, 2순위인 축산폐수 영향이 큰 하천은 둔포천, 금리천, 성환천, 3순위인 복합적인 영향이 큰 하천으로 아산천, 매곡천, 홍인천을 선정(충남연구원, 2017)

○ 호소 및 저수지 수질분석 현황을 살펴보면 충청남도의 담수호에 설정된 수질측정망 8개소 중 COD 평균 수질이 호소수질Ⅳ등급을 만족하는 담수호는 총 2개소로 나타났으며, 간월호, 부남호, 금강하구언, 대호, 삽교호, 예당지는 Ⅳ등급(8mg/L)을 초과하는 것으로 조사되었다.

- 전체 농업용저수지 수질측정망 중 금강수계의 농업용저수지 수질은 대부분 양호한 수준을 보인 반면. 삽교호수계, 서해 및 안성천수계의 저수지들은 대체적으로 수질이 나쁜 경향을 보였다.
- 농업용저수지 101개소 중 50개소가 수질환경기준 Ⅳ등급(8mg/L)을 초과하는 것으로 나타났다.

<표 4> 충청남도 수질 Ⅳ등급 초과 저수지 현황(※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025))

수계	Ⅳ등급 초과 저수지명
금강수계	계룡, 반산, 복심, 옥산, 동부, 산턱골, 정안, 대정, 경천, 축동
삽교호수계	가혜, 봉림, 송악, 홍양, 마산, 월랑, 냉정, 순성, 죽산, 오봉, 도고
서해 및 안성천수계	귓소골, 가곡, 주항, 풍전, 성암, 진죽, 정죽, 중왕, 옥서, 석문, 인평, 장곡, 수룡, 잠홍, 공리, 신창, 도내, 승언2, 전대, 초대, 신구, 성내, 입장, 상성, 봉재, 양전, 풍년, 업성, 신휴

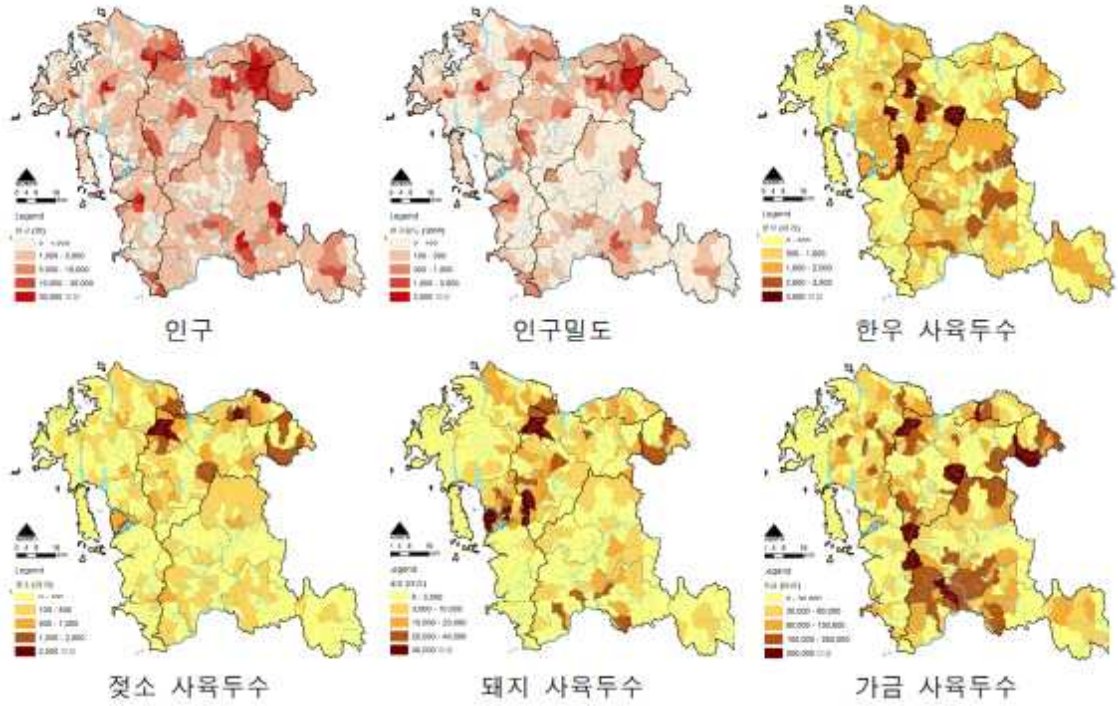
3.2 충남도 소하천 녹조 발생 현황에 대한 문헌조사

○충남도 오염원 현황은 다음과 같다.

- 충청남도 전체인구는 2014년말 기준 2,115,548명으로 금강수계 492,000명, 삽교호수계 955,736명, 서해수계 539,722명, 안성천수계 128,090명이 분포하며 삽교호수계에 전체 인구의 약 45.1%가 분포하고 있다.
- 수계별 가축사육두수는 금강수계, 서해수계, 삽교호수계, 안성천수계의 순으로 많은 것으로 나타났다.

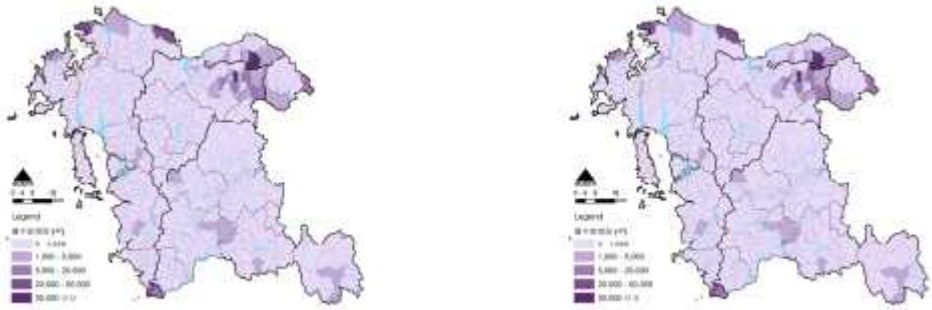
<표 5> 수계별 오염원 현황(※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025)

수계	인구 (명)	가축사육두수(마리)				폐수발생량 (㎥/일)	폐수방류량 (㎥/일)
		젖소	한우	돼지	가금		
금강수계	492,000	16,334	101,871	445,602	10,445,728	41,700	25,385
삽교호수계	955,736	25,902	87,732	589,309	5,809,059	546,659	455,588
서해수계	539,722	19,736	94,486	832,354	6,343,711	193,158	149,581
안성천수계	128,090	12,406	9,445	96,648	2,166,908	124,693	100,795
총합계	2,115,548	74,378	293,534	1,963,913	24,765,406	906,210	731,349



[그림 4] 충청남도 오염원 현황(※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025)

- 충청남도의 폐수배출업소는 총 3,068개소로 금강수계에 전체 폐수배출업소의 약 36%가 분포하였으며, 삽교호수계 26%, 서해수계 23%, 안성천수계 15% 순으로 분포하였다.



[그림 5] 충청남도 폐수발생량 및 폐수방류량

※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025)

○ 충남도 오염부하량 산정 결과를 살펴보면 다음과 같다.

- BOD 기준 총 발생부하량은 충남 전체에서 1,241,745kg/일으로 나타났으며, 총 배출부하량은 충남 전체에서 168,186.0kg/일으로 나타났다.
- 충남 전체에서 BOD 기준 총 점배출부하량은 46,591.6kg/일, 총 비점배출부하량은 121,718.1kg/일으로 배출부하량에서는 비점오염원이 차지하는 비율이 점오염원보다 더 높게 나타났다.

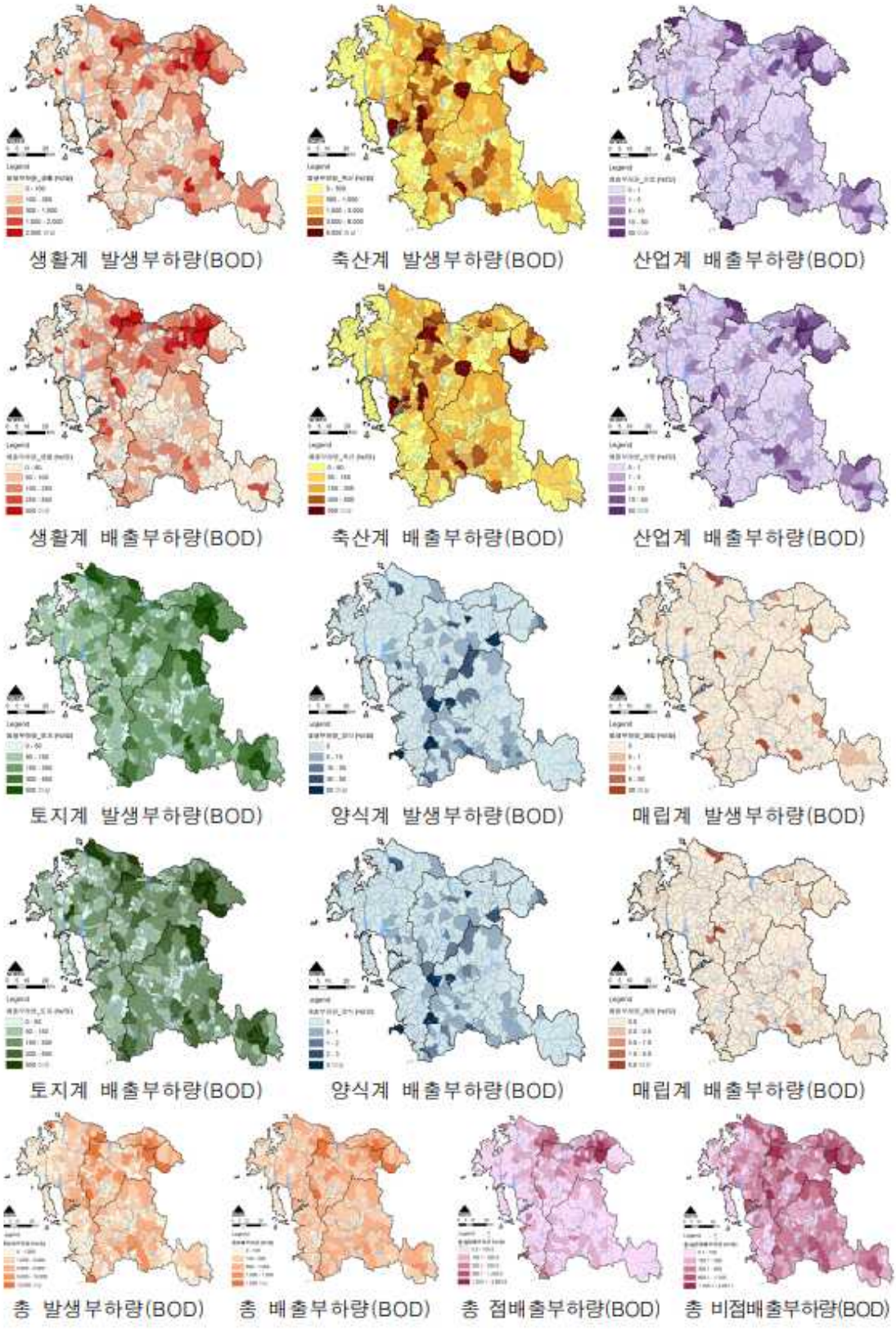
<표 6> 수계별 오염부하량 현황

(단위 : kg/일, (%))

수계	생활계 부하량		축산계 부하량		산업계 부하량		토지계 부하량	
	발생	배출	발생	배출	발생	배출	발생	배출
금강	35,460.5	6,372.5	166,678.5	14,196.6	17,491.0	195.2	23,901.1	24,126.8
삽교호	70,049.3	21,026.9	155,483.0	13,511.7	285,639.2	436.5	17,480.9	17,947.6
서해	42,784.0	13,163.1	184,902.2	16,233.0	61,344.0	1,326.8	24,102.1	25,230.9
안성천	12,368.4	4,289.4	33,746.9	2,962.1	103,082.3	910.1	4,445.0	4,567.1
총합계	160,662.3	44,851.8	540,810.5	46,903.5	467,556.5	2,868.6	69,929.2	71,872.4

수계	양식계 부하량		매립계 부하량		총 부하량			
	발생	배출	발생	배출	발생	배출	점배출	비점배출
금강	667.3	667.3	131.8	2.8	244,330.2	45,561.1	6,311.8	39,249.3
삽교호	321.1	321.1	129.1	8.3	529,102.5	53,252.1	14,426.8	42,339.8
서해	653.2	653.2	878.9	35.7	314,664.5	56,642.8	20,585.8	32,666.3
안성천	1.1	1.1	4.8	0.2	153,648.5	12,730.0	5,267.3	7,462.7
총합계	1,642.7	1,642.7	1,144.6	46.9	1,241,745.8	168,186.0	46,591.6	121,718.1

※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025)



[그림 6] 충청남도 오염부하량 현황

※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025)

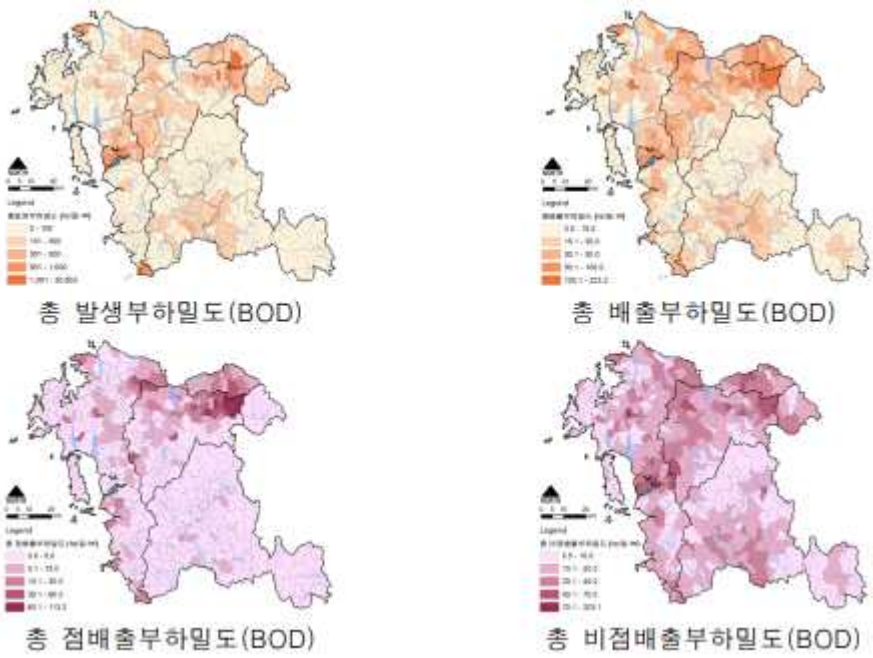
○ 오염부하밀도 산정 결과 충남 전체에서 BOD 기준 총 부하밀도는 151.4kg/일·㎢, 총 배출부하밀도는 20.5kg/일·㎢이며, BOD 기준 총 점배출부하밀도는 5.7kg/일·㎢, 비점배출부하밀도는 14.8kg/일·㎢로 나타났다.

<표 7> 수계별 발생 및 배출부하밀도

(단위 : kg/일·㎢)

수계	발생부하밀도	배출부하밀도	점배출부하밀도	비점배출부하밀도
금강수계	71.4	13.3	1.8	11.5
삽교호수계	111.0	20.0	5.1	14.9
서해수계	322.4	32.4	12.5	19.9
안성천수계	506.7	42.0	17.4	24.6
총합계	151.4	20.5	5.7	14.8

※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025)



[그림 7] 총 BOD 발생 및 배출부하밀도
※자료: 제1차 충청남도 물 총합관리 중장기 계획(2016~2025)

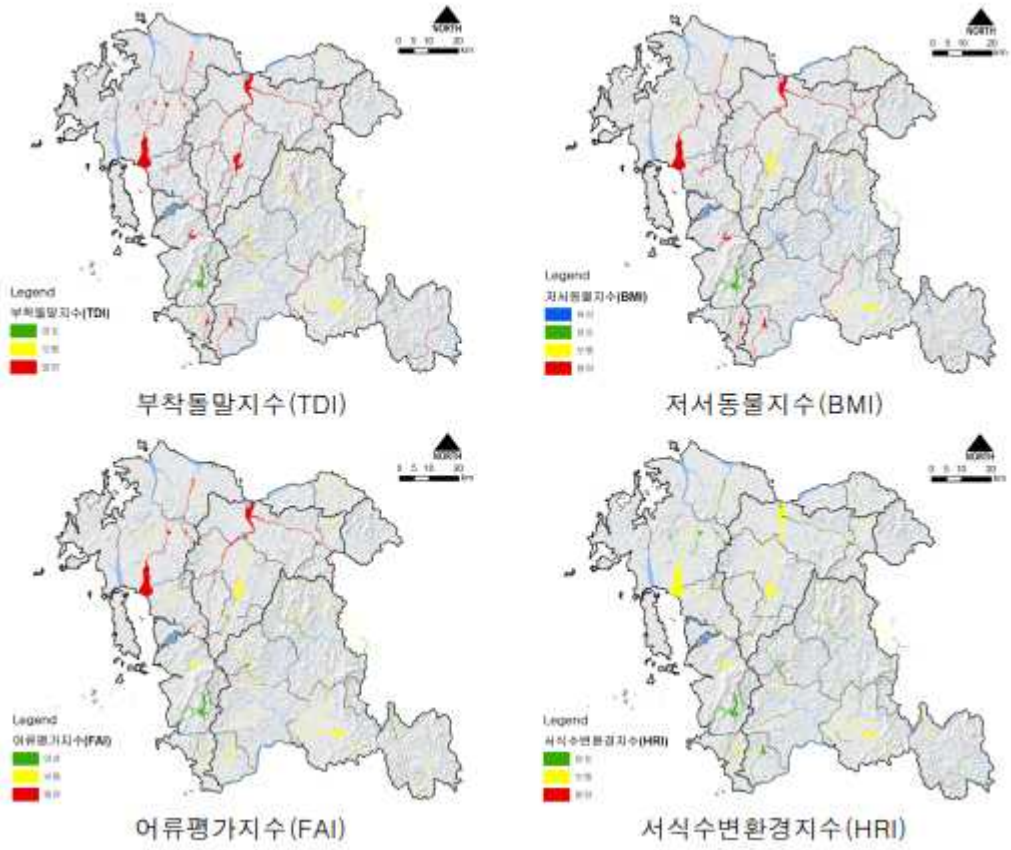
○ 수생태계 건강성 조사 및 평가 결과는 다음과 같다.

- 2014년 충남 유역 부착돌말지수(TDI) 등급은 총 41개 하천 중 최적 0개(0.0%), 양호 4개(9.8%), 보통 11개(26.8%), 불량 26개(63.4%) 하천으로 나타났다.

- 저서동물지수(BMI) 등급은 총 41개 하천 중 최상 4개(9.7%), 양호 7개(17.1%), 보통 13개(31.7%), 불량 17개(41.5%) 하천으로 나타났다.

- 어류평가지수(FAI) 등급은 총 41개 하천 중 최적 0개(0.0%), 양호 7개(17.1%), 보통 26개(63.4%), 불량 8개(19.5%) 하천으로 나타났다.

- 서식수변환경지수(HRI) 등급은 총 41개 하천 중 최적 0개(0.0%), 양호 20개(48.8%) 보통 19개(46.3%), 불량 2개(4.9%) 하천으로 나타났다.



[그림 8] 충청남도 하천별 수생태계 건강성 등급도
※자료: 제1차 충청남도 물 종합관리 중장기 계획(2016~2025)

- 이계양 의원 자료에 따르면 최근 3년간(2017년-2019년) 충남 도내 903개 저수지·63개 담수호에서 4099일간 녹조가 발생.

- 식수를 공급하는 보령호에선 2017년 녹조 발생이 42일

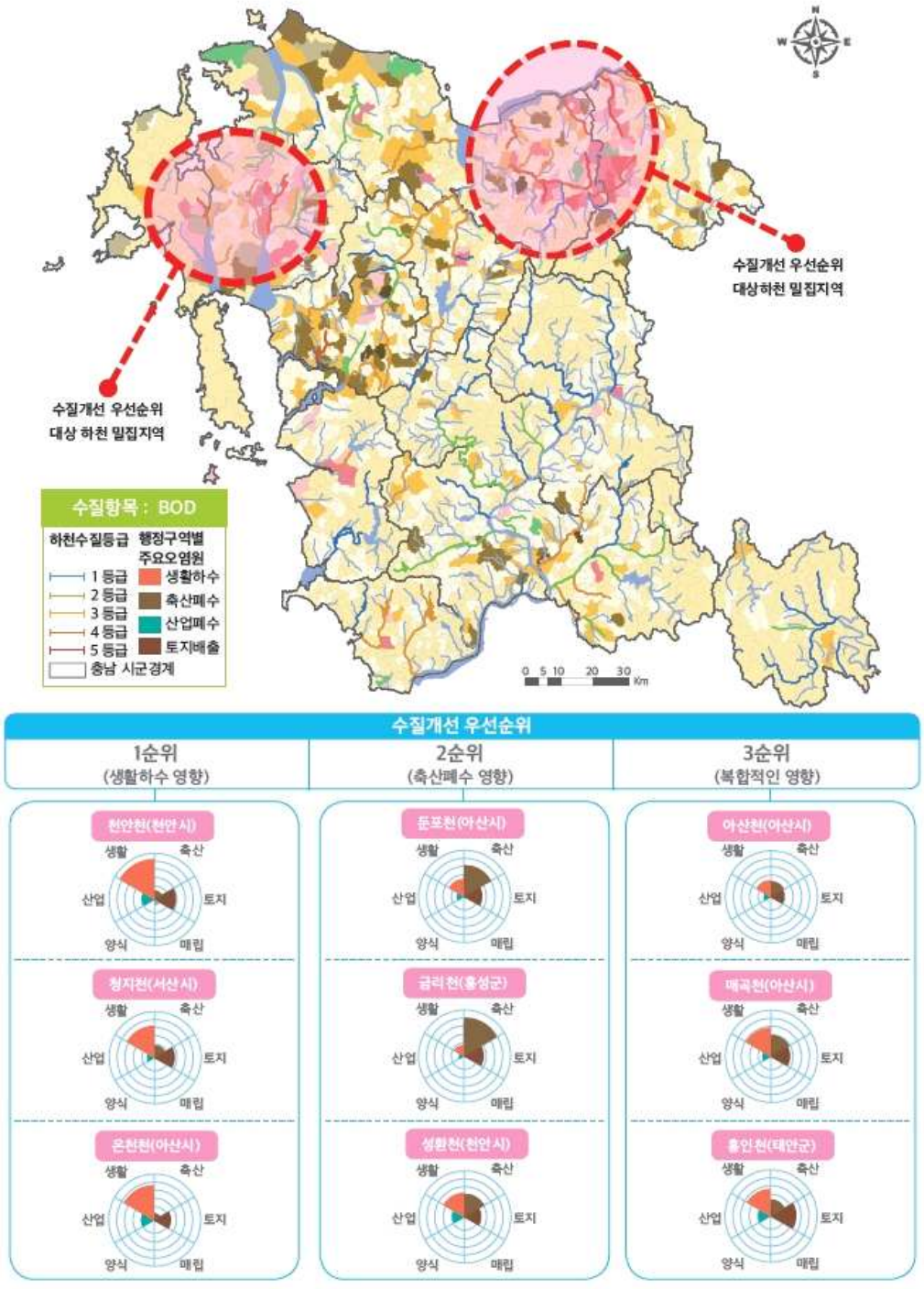
- 대청호의 경우 2017년 119일, 2018년 77일, 2019년 118일 동안 녹조 발생

- 2018년 자체 정수시설을 갖추고 예당저수지 물을 식수로 이용하는 예산읍 지역 상수도에서 20일 이상 녹조로 의심되는 녹색 수돗물

- 충남도는 환경부 주관 '통합 집중형 오염지류 개선 공모사업'에 금강수계 승천천 수질개선 사업 3건이 최종 선정. 사업내용 3건은 가축분뇨 공공처리시설 설치 300억 원, 공공하수처리시설 증설 및 하수관거 정비 187억 원, 비점오염저감사업 108억 원 등 총 사업비 595억 원이 투입됨



[그림 9] 승천천 유역 현황도



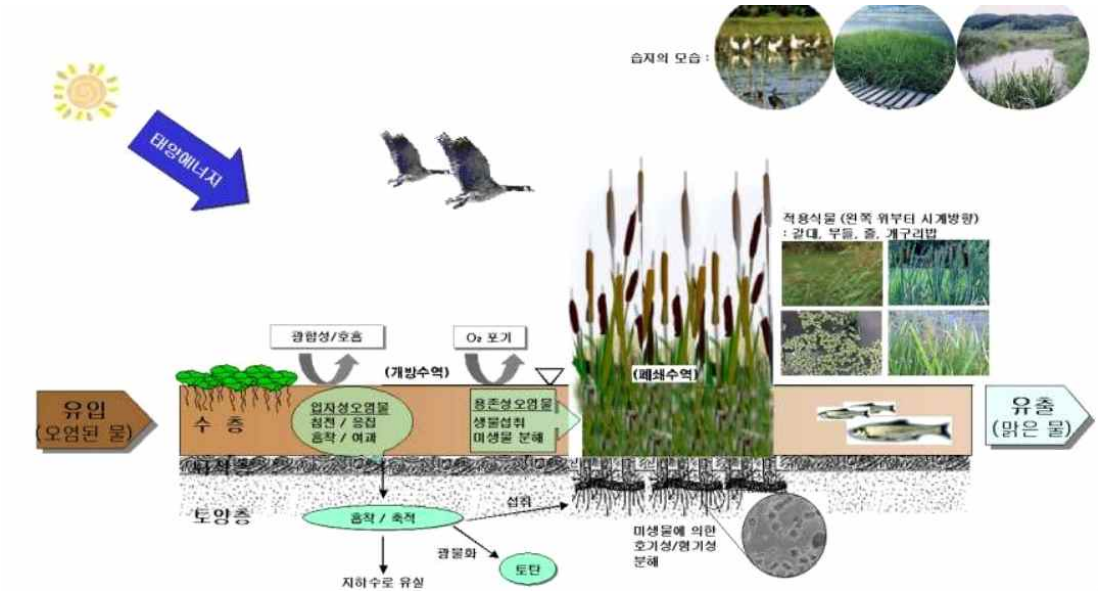
[그림 10] 충남도 하천 수질분석 결과 수질개선 우선순위 설정(충남연구원, 2017)

4. 기존 인공습지와 소하천용 인공습지의 비교

4.1 인공습지

○ 인공습지는 물을 함유하는 일종의 분지 형태로서 물과 토양 등의 기질, 식물로 구성됨. 물, 토양, 동식물과 미생물(동, 식물플랑크톤, 박테리아, 곰팡이 등)과의 생물학적 통합 시스템으로써 이중 세가지 요소인 물, 토양, 식물은 인위적으로 조성되며 미생물과 무척추동물, 기타 야생동식물 등은 자연적인 방법에 의하여 습지생태계를 형성시킴.

- 습지의 물은 식물과 미생물의 생화학적 반응을 할 수 있는 매질의 역할과 미생물군집에게 유기물(오염물질)의 반응공간을 제공하며 생성된 부산물인 가스(산소, 이산화탄소)를 외부로 이동시킴.
- 토양은 식물을 물리적으로 지지하는 역할을 하며, 오염물질을 흡착하고 미생물이 부착하여 서식할 수 있는 표면을 제공하며 수생식물의 생장에 필요한 영양분을 제공함.
- 습지식물은 오염물질 분해기능을 하는 미생물에게 필요한 서식환경을 제공함. 즉, 미생물이 부착할 수 있는 표면을 제공하는 것이 식물의 중요한 기능이 됨. 미생물은 생명유지를 위해 오염물질을 분해하여 영양물질이나 에너지로 변환시켜 활용하여 최종적으로 물과 이산화탄소를 발생함.

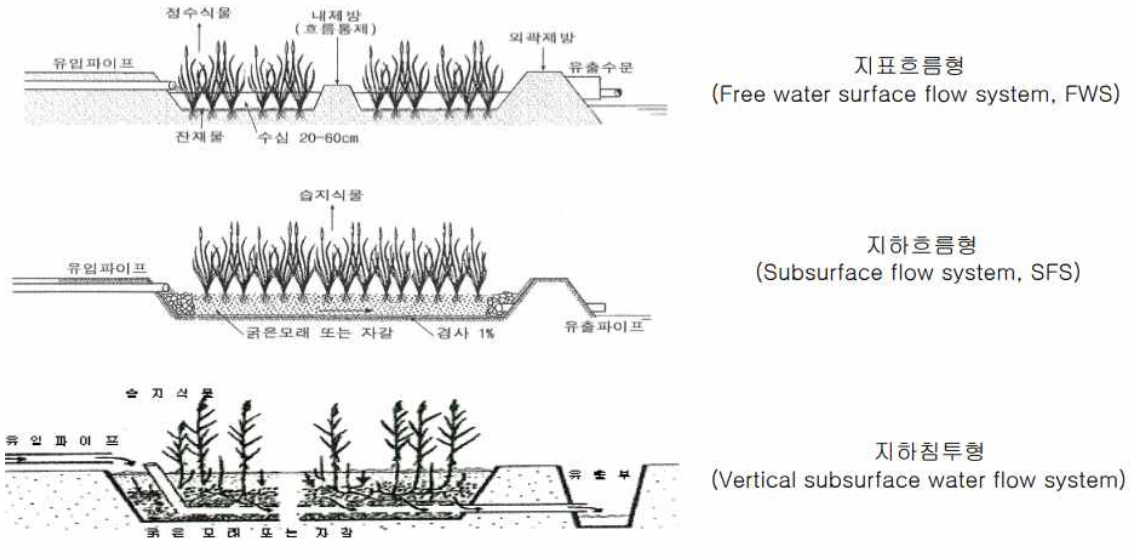


[그림 11] 인공습지의 구성요소

4.2 인공습지 종류

○ 인공습지 흐름형태별 종류 및 처리 특성

- 지표흐름형 습지는 수생식물에 의한 유기물 및 질소, 인 제거하는 방식이다. 적용 식물은 유입수의 농도변화 및 경관을 고려하여 갈대, 노랑꽃창포, 꽃창포, 줄, 부들, 미나리 등을 식재한다.
- 지하흐름형 습지는 자갈층을 이용하여 지하 흐름을 유도하는 방식이다. 수생식물의 오염물 흡수, 자갈층에 의한 여과, 부착미생물에 의한 오염물 분해를 동시에 수행한다.
- 지하침투형 습지는 수생식물 뿌리를 접촉 여재로 이용한 미생물에 의한 유기물 및 질소, 인 제거 방식이다. 입자성 유입 오염물 침가을 통하여 제거하며, 수생식물에 의한 영양염류 흡수 및 제거 등이 이루어진다.



[그림 12] 인공습지 기본 종류

○ 인공습지 유형별 분류

- 자연형 인공습지는 하천 하류만곡부나 저수지 유입부 등지에 자연스럽게 조성된 자연습지에 그 활용도를 높이기 위해 물의 흐름을 일부 변경하여 습지로 유입시키거나, 경관 가치 증진을 향상시키기 위하여 관찰로, 산책로, 조망대 등을 설치하는 등의 활용 사례가 있다.
- 반자연형 인공습지는 습지가 아닌 곳에 수질정화를 목적으로 조성된 인공습지로서 자연습지의 형대를 유사하게 모방하여 조성한 습지를 말한다. 점오염원 처리를 위하여 하수처리장의 후단에 설치되거나 최근에는 비점오염처리용으로 저류지나 유수지를 활용하여 조성되기도 한다. 형태적 특징으로는 자연형 습지와 유사하게 얕은 습지, 깊은 습지, 연못의 조합으로 구성되며, 정체수역이 최소화 되도록 수체의 흐

름을 조정하여 조성된다. 몇 개의 연못이 연속적으로 연결된 완속하천의 형태로 조성되고 수심이 얕은 곳으로 수생식물이 식재되는 형태를 보이고 있다. 대부분의 초창기 인공습지가 이에 해당되며, 조성시 유지관리 및 주민참여 활용도를 높이기 위하여 주변 산책로, 휴식공간 등 공원화와 함께 진행되는 사례가 많다.



[그림 13] 반자연형 습지 조성 사례(남양주시 가운배수펌프장)

- 고효율 인공습지는 수질정화 효율을 극대화하기 위하여 인공습지에 환경공학적 기술을 일부 접목한 인공습지로서, 다양한 형태를 지니고 있으며, 대부분 미생물 보유량을 높이기 위한 접촉 여재의 기능을 부가하고 있다. 침강연못, 지표흐름습지, 지하흐름습지, 접촉여과지 등의 공정을 복합적으로 구성하며 체류시간은 48hr내외로 조성된다. 인위적인 방법으로 습지가 아닌 지역에 습지를 조성하는 것은 반자연형 인공습지와 유사하나, 형태적 차별성이 있고, 비교적 짧은 체류시간으로 높은 제거효율을 나타내므로 반자연형 인공습지와 구별하는 것이 타당하다.



[그림 14] 고효율 인공습지 사례(※자료: 인공습지의 경제적 이익에 관한 연구)

○ 기존 인공습지 사례



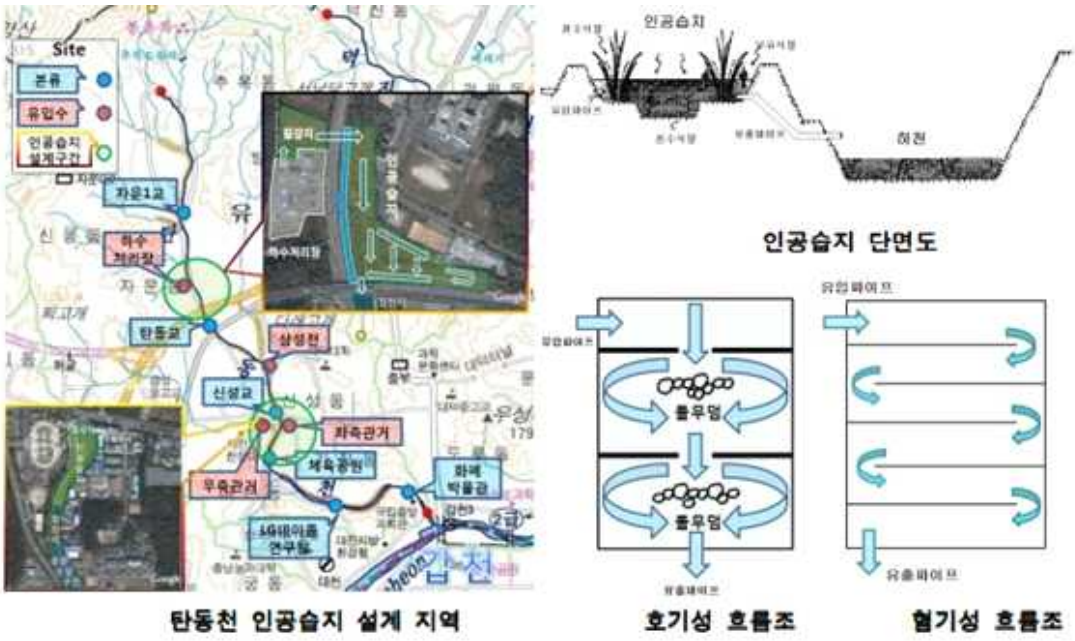
[그림 15] 서울우유 거창공장 습지 생태공원(※자료: 인공습지의 경제적 이익에 관한 연구)



[그림 16] 신휴 저수지 인공습지(※자료: 인공습지의 경제적 이익에 관한 연구)

4.3 하천 연계 인공습지

- 탄동천의 수질을 개선하기 위하여 인공습지를 설계. 인공습지는 탄동천의 주요 점오염원인 하수처리장 부근과 신성교 부근의 탄동천 양변 공지를 이용하여 설계. 침강지와 정화습지로 구성된 셀을 거쳐 침전지로 이동하는 구조를 도입하였음. 정화습지는 호기성 흐름조와 협기성 흐름조로 나누어 설계. 인공습지는 하상면보다 0.5m~1.0m 높이 설계하여 대량 강우시의 홍수에 의한 피해를 줄이고 인공습지의 경사를 조절하여 습지 내 일정한 수심과 유속을 유지할 수 있도록 함. 수질정화효율을 높이기 위해 호기성 정화습지에는 달뿌리풀, 갈대 등 BOD, COD 제거 효율이 높은 식생을 식재하고 혐기성 정화습지에는 줄, 애기부들, 갈대 등 TN, TP 제거효율이 높은 식생으로 식재.



[그림 17] 인공습지 처리 흐름도

인공습지의 기본적인 특성을 기초로 소하천 인공습지의 요구조건 분석을 통하여 소하천 인공습지의 적용 효율 제고 방안을 제시

<표 8> 인공습지 처리효율

	유입유량	면적	인공습지	BOD	COD	T-N	T-P
하수처리장	6,000	42,000	건설 전	8.77	11.13	17.61	1.61
			건설 후	5.11	6.4	10.04	1.11
			처리효율	41%	42%	43%	30%
합류식관거	3,000	13,000	건설 전	14.1	19.03	12.71	1.01
			건설 후	10.2	13.7	9.21	0.86
			처리효율	27%	28%	27%	17%

* 단위: 유량 m^3/day, 면적 m^2,수질 mg/L.

○ 오산천 인공습지 조성 사례

- 오산천은 총 길이 4.19km로 생태하천 조성을 위해 2010년 환경부, 경기도, 오산시, 용인시, 화성시, 평택시, 농어촌공사, LH공사, 삼성전자(주) 등 관련 기관이 MOU를 맺고 2010년 10월 궐동천 복원사업(200억원)이 확정됐고, 총에산 575억 4,600만원을 투입하여 오산천 생태하천 복원사업을 시행했다.

- 오산시는 오산천에 유입되는 대호천과 가장천에 수질정화용 식재를 생식수로 조성하고 장치형 시설 설치, 인공습지 조성, 소규모 인공식물섬 설치, 자연형 보 및 여울을 설치하였다. 대호천의 경우 대부분 시가지로 구성돼 일부 오수가 유입되고 있어 하천수가 매우 불량해 하수관거 정비가 시급한 문제도 해결과제로 도출되어 장치형 시설을 설치하여 문제해결을 시도하였다.

- 호안정비와 식생수 조성은 자연스러운 하천경관 형성이 가능하고, 하천 생물서식지 제공 및 환경부 예산 지원이 가능하다는 장점이 있는 반면 호안경사가 급해 식생호안 도입방안이 다양하지 못하고 제한적이며, 강우시 하천내 식재 및 시설물 유실 우려 등 단점이 있다. 장치형 시설 설치는 원활한 유지 관리 시 처리효율이 높고, 환경부 예산 지원이 가능하다는 점이며 단점으로는 부지 확보 어려움, 유지관리 미흡 시 효율이 낮고 공사비가 다른 안에 비해 높다는 단점이 있다.



[그림 18] 오산천 인공습지 ©김정수

- 인공습지 조성은 인공으로 습지를 조성해 물을 통과케 해 정화시키는 작용을 한다. 여기에는 노랑꽃창포를 심고 물밑에는 담채를 설치한다. 자연친화적 시설로 수질정화 및 생물서식처를 제공하며 오산천 자전거 도로와 연계해 주민 친수공간으로 활용이 가능하고, 수질정화 및 홍수저감 기능과 환경부 예산지원이 가능하지만, 대규모 부지확보가 필요하며 부지 편입 시 민원발생 우려 및 타인에 비해 공ㅅ비가 높다는 점이 검토되었다. 여울은 고정 말뚝을 박아 자연석과 통나무 등을 설치해 생물서식처를 제공하는 한편 폭기효과를 가져올 수 있는 점 등 장점이 있기에 혼합설치가 요구되었다.

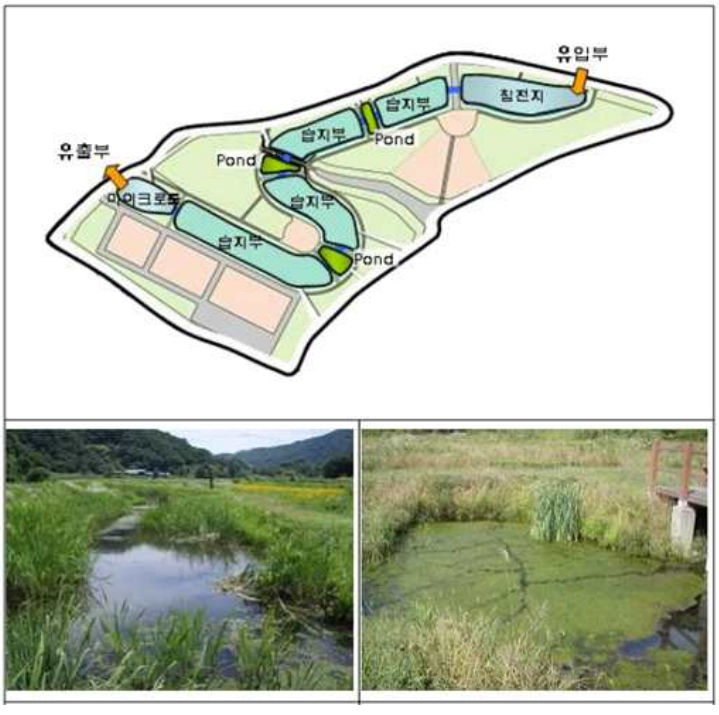


[그림 19] 오산천 수변식생 생태하천 복원사업 전후 비교

○ 회인천 인공습지

회인천 인공습지는 회인천 하류에 위치하고 있다. 전체 면적은 17,890㎡로 인공습지 지구와 생태학습 및 야이 레크레이션 활동을 할 수 있는 야생생태관찰지구, 야생이벤트지구 등 관련 서비스를 포함하며 이 가운데 습지면적은 약 5,015㎡로 35%에 달한다. 회인천 유역의 주요 오염원은 생활하수, 축산폐수와 토지이용에 의한 비점오염원으로 2004년의 경우 축산폐수가 전체 오염부하량(BOD, TN, TP)의 58~86%에 달하는 등 가장 주요한 오염원으로 조사되었다. 향후 회북면 신대리 일대에 하수처리장이 계획될 경우 하수처리장에서 방류되는 방류수를 2차 처리할 수 있도록 설계되었으며, 회인천 인공습지의 설계체류시간은 19시간이다. 회인천 습지는 침강저류지, 습지구간, 침전지로 처리계통 시스템이 구성된다. 회인천 인공습지로 유입된 유입수는 노랑어리연꽃, 마름, 세모고랭이 등이 식재된 침강저류지를 통과하여 3개소의 정화습지를 순차적으로 경유한다. 회인천 유역에서 서식하는 것으로 조사된 식물종은 갈대, 물억새, 개여뀌 등이므로 이를 고려하여 갈대, 고마리, 달뿌리풀, 애기부들, 줄 등의 정수식물을 정화습지에 식재하였으며 수심이 얕은 지역은 수서곤충과 어류의 서식처 기능을 할 수 있도록 하였다.

인공습지 내 수위는 유입부에서 침전지까지 5cm씩 수위차를 두어 체류시간 및 흐름이 정상적으로 이루어질 수 있도록 하였으며 유입수질, 수량특성 및 기타 운영관리 상황에 따라 수시로 수위를 변경할 수 있도록 습지의 단위구조 사이에 stop-log weir가 설치되었다.



[그림 20] 회인천 인공습지※자료: 댐유역 인공습지의 효율적 운영관리방안 수립연구(2009)



[그림 21] 화성 마도산단 폐수 고도처리 인공습지



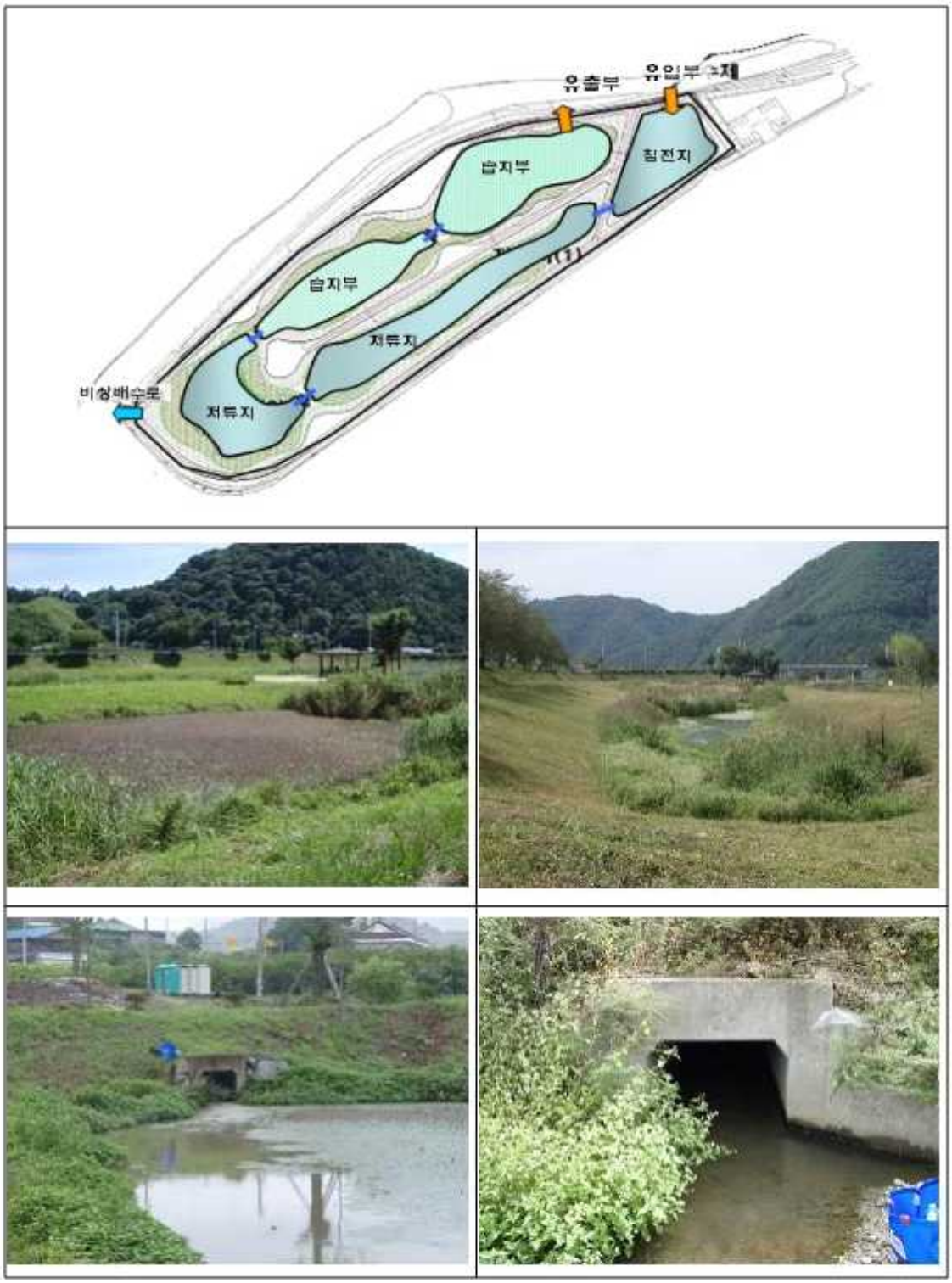
[그림 22] 풀무원 춘천공장 폐수 고도처리 인공습지

○ 안내천 인공습지

안내천 인공습지는 안내천 하천수와 마을오수처리장에서 발생하는 180㎥/day의 방류수를 합류하여 처리하도록 계획되었으며, 하천유량을 기준으로 평상시와 강우시로 나누어 3,000~30,000㎥/day까지 처리할 수 있다. 안내천 인공습지의 전체 시설면적은 약 22,500㎡로 이 가운데 습지구간이 차지하는 면적은 12,580㎡에 달한다. 마을 오수처리장의 방류수는 맨홀에서 차집하여 관로를 통하여 자연유하방식으로 침강지 내부의 지점으로 유입된다. 유입수의 협잡물을 제거하기 위하여 유입구 내부에 스크린을 설치하였다. 하천수와 처리장 배출수에 포함된 부유물 및 고형물 등을 제거하기 위하여 침강지를 설치하였으며, 주변 경관과의 조화를 고려하여 침강지는 자연침강 방식의 연못 형태로 조성되었다.

저류지와 습지는 각각 2개소로 구성되는데 수량에 따라 갈수기, 저수기, 평수기, 풍수기별로 가변적인 운영이 가능하도록 1차 저류지의 일부에는 저수기 및 갈수기에도 물이 유통되도록 하고, 2차 저류지와 1차 습지는 평수기 이상의 수위에서만 물흐름이 있도록 설계되었다. 설계조건보다 많은 양의 유입수가 들어올 경우에는 비상여수로를 통해 배출되도록 하였다. 1차 습지로부터 배출되는 처리수는 하천수의 역류와 홍수기의 침수를 방지하기 위하여 2차 습지를 거쳐 안내천으로 방류된다. 유출구는 습지 내부의 수위를 조절하는 시설 없이 하천수위에 연동하여 습지의 물 흐름을 조절하도록 계획되었다.

습지구간에는 수질정화능력이 우수한 수생식물을 각 수심별 사면에 적절하게 배치하여 정화효과를 높였으며, 저류지의 하단부에는 미나리 중심으로 식재하여 마을 주민들이 이용할 수 있도록 하고, 장체에 의한 수질 악화를 방지할 수 있도록 사면 및 상단부에는 3~4종의 수생식물을 식재하였다. 저류지와 습지를 연결하는 각 유로의 사면에는 자갈층과 모래층으로 구성된 수로를 조성하여 다공질 재료에 의한 오염물질 분해 및 영양물질의 제거기능을 높이도록 설계되었다. 최소한의 수생식물을 식재하고 자연적인 유입에 의한 식물서식을 유도하여 식물의 뿌리를 통한 수중산소 공급과 동물의 서식이 가능한 생태학습장 역할을 할 수 있도록 배려하였다. 주요 식재식물은 물억새, 갈대, 미나리, 고마리, 애기부들, 창포, 갯버들 등이다.



[그림 23] 안내천 인공습지

※자료: 댐유역 인공습지의 효율적 운영관리방안 수립연구(2009)

○ 기존 인공습지와 소하천 인공습지의 비교분석

- 인공습지 유입수는 기존 인공습지의 경우 습지 고도를 고려하여 습지 상부의 관로를 통하여 습지 내부로 자연유하되는 특성을 보이는 반면 소하천 인공습지는 하수처리장에서 배출되는 유속에 의하여 영향을 받는 특성을 보이고 있다.
- 체류시간을 비교해보면 기존 인공습지는 길게 흐르는 특성을 보이는 반면 소하천 인공습지는 체류시간이 짧게 나타나는 특성이 있다. 인공습지에 의한 오염물질의 제거효율은 습지의 구조와 형태, 처리수의 종류와 농도 및 부하량, 체류시간, 수심, 식재식물의 종류, 토양환경 등에 의해 영향을 받는다.
- 침식은 기존 인공습지는 유속이 느려서 발생이 되지 않지만 소하천 인공습지는 유량이 크고 유속이 빨라 침식이 발생되는 특성을 보이고 있다.
- 오염부하량 특성을 보면 기존 인공습지는 낮은 반면 소하천 인공습지는 높은 차이를 보이고 있다.
- 처리량을 살펴보면 기존 인공습지는 소량인 반면 소하천 인공습지는 다량의 오염물질을 처리하는 특성을 지니고 있다.
- 처리속도를 살펴보면 기존 인공습지에서 처리속도가 느리며 소하천 인공습지에서는 빠르다.

<표 9> 기존 인공습지와 소하천 인공습지 비교

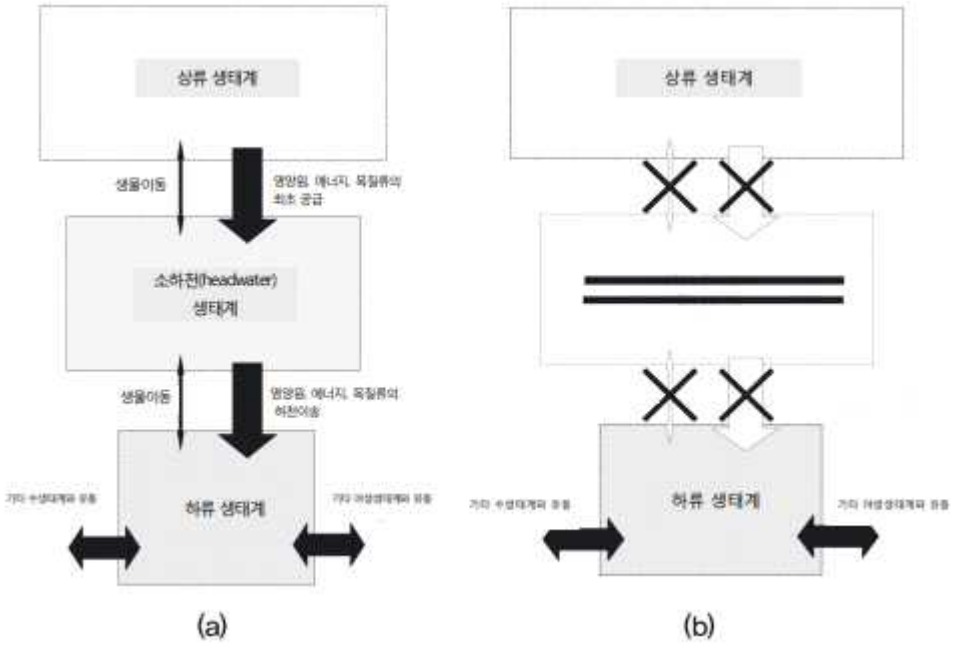
항목	기존 인공습지	소하천 인공습지
유입수	자연유하	인공유하
체류시간	길다	짧다
침식	없음	발생
오염원부하량	낮음	높음
처리량	소량	대량
처리속도	느림	빠름

5. 소하천에 맞는 생태하천 조성방안 및 정책방안 제시

5.1 소하천 선행연구 고찰

○ 자연환경에서 소하천의 역할 및 특성

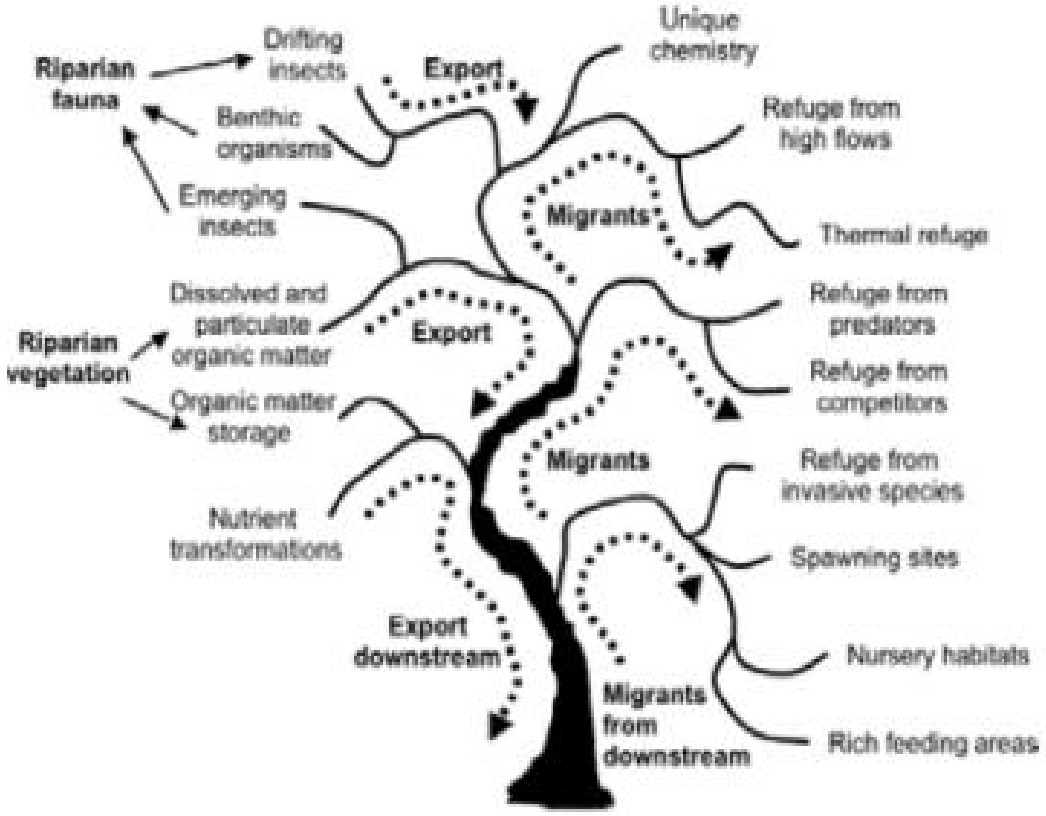
- 소하천은 유역의 하천망에서 큰 부분을 차지하고 있으며 하천의 크기에 따라 다르지만 수생태계의 생존을 위한 다양한 영양원의 제공처 역할을 함. 하류 하천 조건에 미치는 소하천의 여러 가지 물환경 인자는 수질, 수리·수문, 하천생태 등의 범주에서 세분류 할 수 있으며, 수생태계에 미치는 각 인자의 영향의 규명은 전체 하천 생태계 역속성 보호를 위해 필수적임.
- 우리나라 소하천은 경작지나 주거지역, 위락시설 조성 등의 소하천 주변의 토지이용이 고도화되고 이에 따른 과다한 용수의 이용 및 미처리된 오수가 유입되어 하천수의 고갈과 수질오염이 발생하고 있음.
- 소하천 유역의 수문학적 연결은 (지하)유수 흐름방향과 지형조건에 따라 이득하천과 손실하천으로 변천하고 지체시간에 따라 제어됨.



[그림 24] 소하천의 역할 개념도(a: 건강한 소하천, b: 훼손된 소하천)
※자료: 수생태계 보호를 위한 소하천 관리방안(2008)

- 소하천은 상류지역에서 이동되는 물질을 전달하는 매개체이며 이 통로의 단절은 유역 전체 또는 지역적인 생태계 훼손 및 단절을 유발할 수 있음. 소하천 수계로 유입되는 수질오염은 상류지역의 표토 교란이나 식생의 제거 등에 따라 의존되는 사례가

빈번함. 수질오염으로 인한 수생태계의 훼손은 도시화나 농업개발 등 인간의 활동에 따라 발생되는 높은 오염부하량의 결과이므로 소하천으로 시작되는 오염원 유출관리는 하류 하천의 수생태계 보호를 위해서도 매우 필요함. 소하천 주변은 크기면에서 작지만 풍부한 종의 생물에게 서식처를 제공해 줌.



[그림 25] 하천 네트워크 유역에서 수변지대의 생태적 중요성
※자료: 수생태계 보호를 위한 소하천 관리방안(2008)

○ 소하천의 특성은 다음과 같음. 소하천은 수계의 상류부에 위치하는 경우가 많고 길이와 폭이 매우 작기 때문에 위치하고 있는 지역의 자연적인 특성에 더 큰 영향을 받음. 매년 홍수시마다 파제, 월류 등에 의한 하천의 범람으로 인한 침수피해, 급류에 의한 각종 소하천 시설물의 유실, 토석류로 인한 농경지의 매몰, 소하천 인근의 식생대 파괴 및 동식물 서식지 파괴 등 각종 피해를 입고 있음. 비홍수기에도 가뭄 등 자연적인 요인 외에도 농업용수 확보를 위한 보, 저수지 등 저류시설에 의한 하류로의 하천수의 차단, 지하수의 무분별한 이용 등으로 인하여 건천화된 소하천이 많음. 이에 따라 수변 생태 및 경관, 하천 수질 등에 큰 변화를 초래하고 있는 실정임.

○ 소하천 관리의 문제점

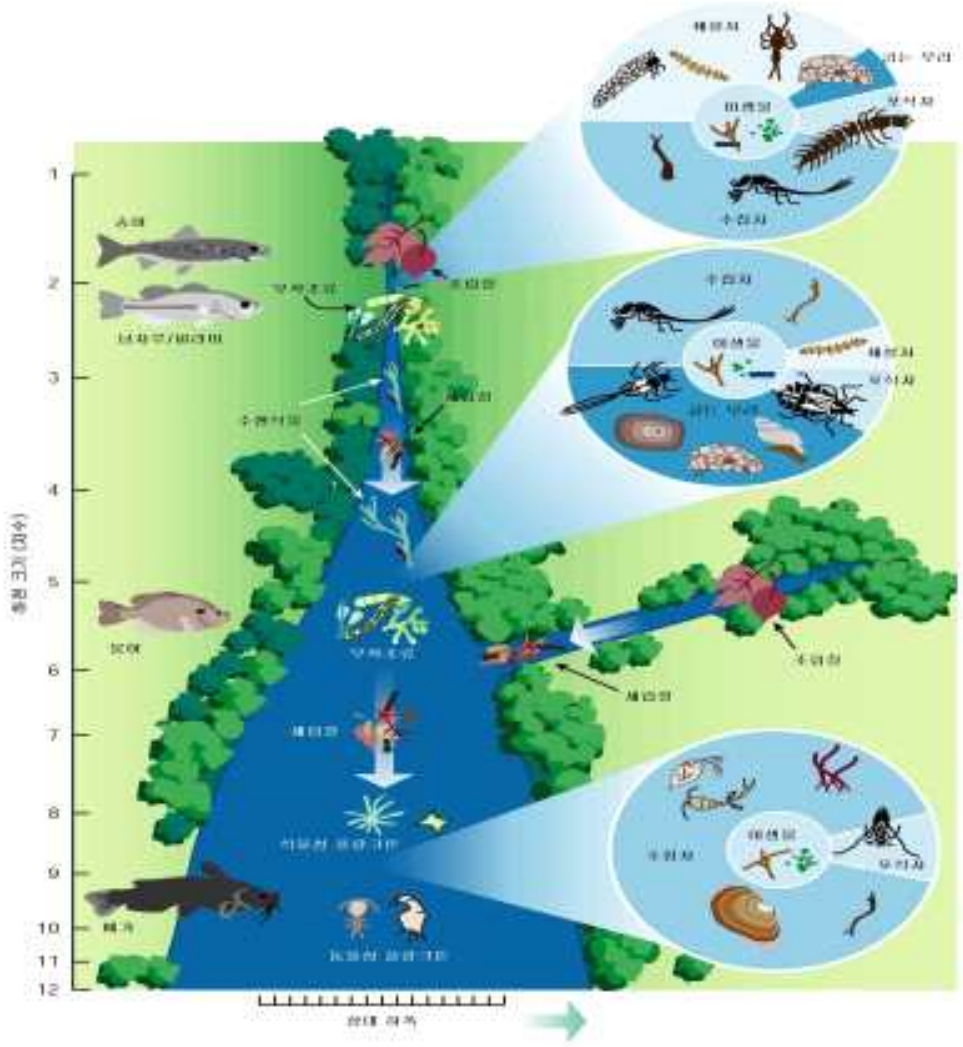
- 치수·이수 중심의 소하천 정비에 따른 생태적 기능 약화. 소하천을 이수·치수 목적으로 콘크리트 옹벽과 호안블럭 중심으로 정비하여 기존 소하천에 생성·유지되고 있던 수생태계가 파괴되고 서식환경이 훼손되어 더 이상 생태적 회복력을 가지지 못하는 경우가 상당수 소하천에서 지속되고 있다.



[그림 26] 콘크리트 옹벽 및 블록 직강화 정비사례

- 수생태계의 연결고리를 고려하지 않는 소하천관리 시행. 하천의 생태계는 종적·횡적으로 서로 유기적으로 복잡하게 연결되어 있다. 따라서 대부분 상류에 위치한 소하천은 생태계적으로 가장 시초가 되는 지역이며 생태계에 필요한 영양분의 최초 유입지점 역할을 하고 있다. 그러나 현재 우리나라의 경우에는 법에 따라 관리 대상구역이 명확하게 구분되어 있으며 관리주체도 상이하여 전체적인 틀에서 하천생태계의 연속성 또는 연결성을 유지해줄 수 있는 관리 시스템이 부재한 상태이다. 특히 재해 및 피해예방 중심으로 하천관리가 이루어짐에 따라 재해 발생 및 피해정도에 따라 임시적인 관리가 이루어지고 있어 수생태계의 총체적 연결성이 다소 부족한 상태로 운영되고 있다.

- 소하천의 건천화. 전형적인 소하천의 경우 강우 시를 제외하고 많은 부분 물이 흐르지 않는 현상이 발생하는 것이 특징이나 최근에는 그 빈도가 증가하여 대부분의 도시 및 농촌의 소하천의 경우 강우 시 물길의 역할만 수행하는 경우가 다반사이다. 이런 소하천의 건천화 원인은 도시화 또는 개발에 따른 소하천 유입수가 차집관로 등을 통해 정화후 하류하천 방류, 소하천 정비에 따른 재해에방 차원의 무분별한 하천개수가 증가, 직강화 및 콘크리트 제방 설치에 따른 유입수 차단 등, 수변 및 유휴지 난개발, 소하천 주변의 지하수 과다 사용, 농촌 소하천 상류지역에 위치한 농업용수용 저수지의 축조에 따른 유지용수 공급감소 등 과거에 비해 유입되는 유량이 크게 줄어들어 건천화가 심화되고 있다. 이런 건천화는 수생동물의 사멸 및 서식공간 파괴, 물의 자정능력을 떨어뜨리고 강우 시 침식을 가속화시켜 쉽게 유출되어 하류지역에 대한 피해를 유발하고 있다.



[그림 27] 하천 크기와 구조 및 기능 특성 간의 연속체 개념 ※자료: 수생태계 보호를 위한 소하천 관리방안(2008)

- 소하천을 고려하지 않은 하천관리 체계 및 제도. 소하천의 관리가 하천 특성, 지역 특성, 수생 생태, 수해 이력 등을 고려하지 않고 관리되고 있다. 따라서 관리주체가 다르고 여러 기관이 한꺼번에 관리를 하고 있어 관리의 효율성과 소하천의 전반적인 상황이 반영되지 못하기 때문에 소하천에 대한 종합적인 관리가 필요하다.

- 소하천에 대한 생태적 기본자료 및 조사결과 미비. 국가 및 지방하천에 대한 현황 기본자료 및 수생태계 특성에 대한 자료들이 기존에 조사되었고 환경부의 수생태계 건강성 조사 및 평가가 수생태계 측정망을 대상으로 시행되고 있어 이들 하천에 대해서는 관련 정책의 마련과 평가를 시행하고 있다. 그러나 소하천의 경우에는 피해 복구 상황이나 정비 길이 등 이외에 정확한 위치나 현황, 물리적 환경, 수생태계

특성 등 기초적인 자료가 거의 전무한 상태이며 이들에 대한 종합이나 평가가 제대로 시행되지 못하고 있는 실정이다.

- 소하천의 정의와 지정의 모호함. 소하천은 소하천정비법에서 평균 하폭이 2m 이상이고 유로연장이 500m로 정의 되어 관할청에서 관리하도록 되어 있다. 그러나 소하천의 경우에는 폭과 연장과 관계없이 서로 연결되어 흐르는 경우가 대부분이며 한 하천이 많은 지역들을 경계로 흐르기 때문에 법령이나 행정적 관리책임에 의한 구분과 지정은 생태관리의 어려움을 유발하고 하천의 특성을 온전히 반영하지 못하는 모순을 지니게 된다.

- 소하천 생태계 보호 필요성에 대한 인식 부족. 시민의 환경 의식이 향상되어 하천 인근의 생태계에 관심을 많이 가지고 있고 최근 하천 주변 친수공간의 활용도가 매우 높아졌으나 소하천의 경우는 위치상 접근이 좋지 못하고 관리 상태나 공간적으로 협소하여 중요성이 인식되지 못하고 있는 실정이며 소하천에 대한 생태계 관심은 더더욱 낮은 현실적인 한계를 지니고 있다.

- 소하천 정비의 문제점: 물리적 환경. 한경부, 국토해양부 등을 주축으로 자연친화적 하천 정비사업 및 생태하천 복원이 활성화되고 이와 관련된 에[산 지원이 지속적으로 이루어짐에 따라 조기에 성과들이 도출되고 있다. 이런 상황에 발맞춰서 그 동안 소외되었던 소하천도 자연형으로 복원 및 정비를 하는 노력이 시작되었다. 그러나 국가하천 및 지방하천과 다른 특성을 가진 소하천을 기존의 자연형 복원과 동일한 정비 방법을 적용하거나 수생태 복원이나 보호에 대한 배려 부족 등 여러 가지 문제점이 노출되었다. 수생태계 보호관점에서 지금까지 진행된 소하천 관리 및 정비에서 발생되는 문제점을 정리하면 다음과 같다. 수생태계 보호를 위한 소하천 관리 및 정비의 문제점은 크게 제도적, 기술적, 수질·유량유지, 소하천 특성의 차이, 소하천 평가, 소하천 정비개념, 소하천 수환경에 대한 인식 부족 등으로 나눠볼 수 있다. 소하천에서의 수생태계의 건전성 확보를 위해서는 제시된 모든 문제점들에 대해 체계적이고 단계적으로 수행되어야 그 효과를 나타낼 수 있으며 지속적인 투자와 관심 그리고 모니터링 평가와 같은 사후적인 관리방법들이 수행되어야 한다.

- 소하천 정비의 문제점: 인문·사회적 환경. 소하천 수변관리를 통한 수생태 보호방안. 소하천 하류의 정비구간은 직강화, 높은 사면, 획일화된 공법 적용, 콘크리트 제방도로, 그리고 정비 후 토목재료의 미처리 등의 많은 개선점을 가지는 부분과 상대적으로 자연성이 보존되고 미정비 상류 소하천 구간은 확연히 대조적이다. 유적지 지역에서 하천 정비사업으로 하천과 주변경관이 손실된 것은 소하천 정비의 문제점을 단적으로 보여주며, 문화적 측면에서 하천에 고려되지 못하는 한계를 보여주고 있다.

<표 10> 수생태계 보호를 위한 소하천 관리 및 정비의 문제점

문제점 분류	세부내용
제도적 문제점	- 소하천에 대한 치수이수 기능 및 정비 중심으로 제정된 법률 - 하천관리자의 소하천 수생태계 개선이라는 적극적 문제의식 부족 - 관련 부처간의 업무협조 부족: 환경부, 국토부, 행정안전부의 독자적인 사업수행 및 대상하천에 대한 견해 차이 - 소하천의 친환경적 정비를 위해서는 많은 재원이 필요하며 이러한 막대한 재원 마련의 장치가 미비함 - 하천법, 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률, 소하천정비법 간의 연계성 부족 - 관리체계의 단절 및 연계성 부족 - 사후관리방안 마련 및 체계가 미비
기술적 문제점	- 우리나라 자연 특성과 지역특성에 적합한 한국형 소하천하천공법의 개발 연구가 초기단계임. - 소하천에 적합한 복원기술 및 관리 기술 미비 - 수생태계를 보호하고 홍수 피해예방을 동시에 만족시킬 수 있는 기술개발의 어려움 및 적용사례가 부족 - 생태계 자료가 극히 미흡하고 과거 소하천에서 조사한 생태계 자료가 오염 및 개발에 따라서 크게 변화되어 있어서 직접 사용이 불가
수질·유량 유지의 문제점	- 수질오염도가 높은 도시 및 농촌 소하천의 경우 오염에 강한 수종 및 강한 종들이 우점종으로 형성하여 수생태계 다양성 보장이 어려움. - 수질을 개선할 수 있는 여건이 충분하지 못함. - 잦은 건천화 및 유지유량 확보가 어려움.
소하천 특성의 차이	- 우리나라의 소하천은 지역의 특성에 따라 그 경사의 완급이 급격하고 다른 외국에 비해 하상계수가 높고 홍수 시에는 유속이 빠름. - 소하천의 형태(도심, 농경, 산지)에 따라 특성이 매우 다름 - 소하천의 위치(상류, 중류, 하류)에 따라 특성이 매우 다름
소하천 평가의 문제점	- 소하천을 평가할 수 있는 기법 및 기준이 설정되어 있지 않음 - 소하천에 대한 평가 사례가 없음 - 하천수질, 하천형태, 하천생태계를 종합한 평가기준 마련 시급
소하천 정비개념의 차이	- 소하천에 대한 치수, 이수 중심의 하천정비 및 개발에 익숙한 상태이므로 자연식생 상태 및 수생태계 보호보다 말끔하게 정비되는 인위적인 조경상태로 정비되는 것 선호 - 자연성회복의 개념보다는 고가의 석재 등을 사용한 경관 위주 정비 - 수생태계의 종적, 횡적 연계성 고려보다 종적인 신속성을 선호
소하천 수환경에 대한 인식 부족	- 수질 및 수생태계의 양호보다 친수 및 하천 복개를 통한 도로나 주차장 등으로 점용을 선호

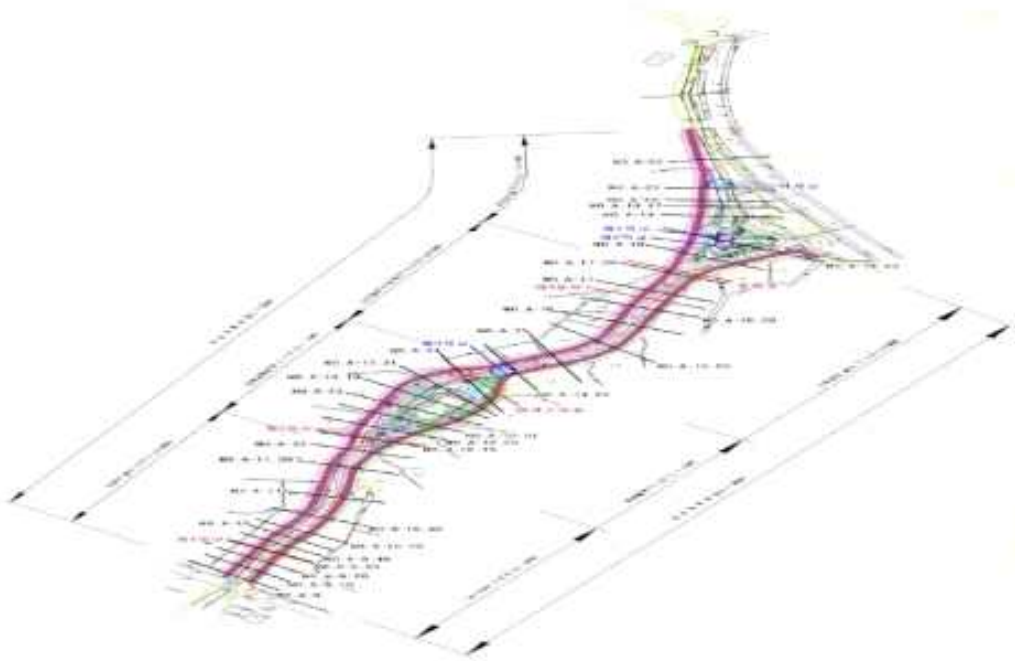
5.2 소하천 수생태 관리방안

○ 소하천 정비 및 정성 평가

- 당왕 소하천. 도시에 인접한 농촌 소하천으로 소하천 양안으로 자전거 도로가 설치되어 있으며 제내지는 경작지와 듬성듬성 주거지들이 형성되어 있다. 식생들이 많이 자라고 있어 하천에 물이 흐르는지 육안으로 파악하기 힘들고 식생관리가 충분히 이루어지지 않아 몇몇 종들이 우점종으로 서식하고 있는 것으로 나타났다. 소하천 정비지역인 중류지역과 하류지역의 경우 친환경 공법들이 적용되고 식생들이 안정적으로 서식하여 물의 투명도는 높은 것으로 나타났으나 정비가 안된 상류지역의 경우 마을에서 오수가 그대로 유입되고 하천 내 물이 인근 농업용수로 사용되고 있어 전체적인 오염원 및 유지유량 관리 차원에서 문제점이 나타나고 있다. 당왕 소하천의 경우 인근 안성시 시민의 친수공간으로 이용되기 위해서 생태학습장과 휴식공간을 위한 공원을 만들어 놓았으나 생태학습장의 경우에는 식생들이 너무 많이 자라서 역할을 제대로 수행하지 못하고 있으며 관찰하기 위해 설치된 시설들도 사용자들이 이용하기 어려울 정도로 관리가 잘 일어지지 않고 있다. 소하천을 따라 이어져 있는 자전거도로의 경우에도 침투서 있는 포장이 아닌 일반 도로포장으로 되어 있어 소하천에 대한 물순환에 대한 고려가 부족한 것으로 파악되었다. 수로사면 안정도 및 수문하적인 상태는 좋은 것으로 조사되었으나 공사 이후에도 식생 및 시설에 대한 관리가 계속적으로 유지되어야 본래 의도대로 자연형 하천의 기능을 유지할 수 있는 것으로 평가되었다. 시설과사용자가 너무 동떨어져 있거나 부분적인 자연형 하천복원은 처음에 의도한 것처럼 기능을 발휘하지 못할수도 있다는 것을 알 수 있었다.



당왕 소하천 현장사진



[그림 28] 당왕 소하천 정비사업 사례

※자료: 수생태계 보호를 위한 소하천 관리방안(2008)

- 이동 소하천. 이동 소하천 유역은 전형적인 농촌 소유역으로 하천변을 따라 도로나 농로가 위치하고 그 양안 제내지는 경작지나 주거지가 형성되어 있었다. 또한, 천변에 두 곳에 축사가 위치하고 있었다. 사업구간의 하류 종점인 문방천 합류지점에 나무들의 식재와 더불어 정자와 오솔길 등 간이공원으르 조성하여 주민들의 휴식처를 제공하고 있었다. 하천의 호안은 환경블록, 자연석 쌓기 등 친환경공법을 적용하여 정비를 하였으며. 안정성 측면에서 홍수에도 안전할 것으로 판단된다. 일부구간에서 호안 경사가 직벽에 가깝게 조성되어 있었으나 전반적으로 적용 호안 공법으로 식생이 안정되게 착상되었다. 도로변 제정을 따라 일부 구간 나무들이 식재되어 사업전과 비교하여 경관이 향상되었음을 볼 수 있었다. 사업전과 비교하여 식생의 수는 확실하게 증가하였으나 식생 종 선택 시 어떤 생태학적인 기준이 적용되었는지 확인되기 어려운 구조적 문제를 지니고 있는 것으로 확인되었다. 하천의 건천화가 진행되었으며, 그 결과 하상에 수로가 보이지 않을 정도로 식생들이 왕성하게 자라고 있었다. 하도를 따라 형성된 식생을 통해 하천의 사행화는 식생으로 확인이 불가한 것으로 보고되었다. 생태적 측면에서 하천의 종적축에서 단절을 초래할 수 있는 낙차공이 설치되지 않은 것은 바람직하다고 볼 수 있는데 복원사업을 통하여 철거되었느지 여부는 확인되지 않았다. 흐름의 다양성, 즉 여울과 소의 존재 여부도 확인이 되지는 않았으나 존재할 것으로 추정된다.



[그림 29] 이동 소하천 현장 사진
※자료: 수생태계 보호를 위한 소하천 관리방안(2008)

- 상가 소하천. 산지에 위치하고 있으며 일반인의 사용이 제한되어 있어 자연의 모습을 지니고 있으나 전체적으로 공사내용과 자연과의 조화가 잘 이루어지지 않아 정비사업의 한계를 보여주고 있다. 경사도가 급하여 다량의 강우시 일순간에 상류의 물이 하류로 내려올 수 있는 구조인데 반하여 홍수터나 저류가 될 수 있는 부분이 미비하였고 기존에 서식하고 있는 식물이 우점종으로 자라고 있는 상황에서 미나리 식재 등 불필요한 식물을 식재하여 현재에는 그 존재를 찾아볼 수 없는 결과를 보여주었다. 또한 몇 개의 재래식 보가 설치되어 있고 수량이 적어 상류지역에서의 유량이 계속적으로 하류까지 흐르지 못하여 어류를 비롯한 수생생물이 서식할 수 있는 여건이 충분하지 않은 것으로 조사되었다. 자연형 하천이 인근 주민들의 이용과 활용에 커다란 역할을 하고 있지 않은 것으로 파악되었다. 소하천의 정비를 이수, 치수, 생태계 보전 및 인근 주민의 이용과 활용을 극대화시킬 수 있는 여건을 만족시켜야만 관리 및 유지가 가능한 것으로 파악되었다.



[그림 30] 상가 소하천
※자료: 수생태계 보호를 위한 소하천 관리방안(2008)

- 봉황 소하천. 농촌 유역의 집락촌을 인접하여 흐르는 소하천으로 상류에서 하류 방향을 기준으로 좌안은 천변도로와 주거지가 형성되었고 우안은 농경지로 이용되고 있었다. 소하천 정비사업은 상류 인접 마을로의 유입 교각 부근에서 시작하여 하류로 집락촌을 끼고 도는 구간에 이루어졌다. 하천의 호안은 일차 제방으로 좌안은 자연석 찰쌓기로 정비된 반면, 좌안 농경지부는 자연식생으로 구성되어 있었다. 주요 사업은 소하천 내 이차 제방을 조성하는데 이루어진 것으로 보이며, 이차 제방의 호안공법은 상류부 양안에서 자연석 쌓기를 적용하였고 하류 일부구간에서는 목재 침수방틀공법을 적용하였다. 하천 사업구간 중하류에 보가 있는데 그 기능을 유지하면서 어류의 이동통로를 조성하는 노력으로 보 직하부를 돌로 경사지게 찰쌓기를 하여 하천수가 월류하도록 일정 부분 개조를 하였다. 사례지역에서는 홍수터에 일부좌안 구간에서 주민들이 텃밭처럼 이용하여 경작을 하는 모습이 보였지만 전반적으로 식생의 상태는 양호하게 활착이 되어 있는 것처럼 보였으며, 특별히 식재를 한 것으로 보이지는 않고 사업 후 자연적으로 식생이 자란 것으로 평가되었다. 하천 수량에는 문제가 없으며 산지로부터 지속적으로 물이 공급되기 때문이다. 하천의 수질 또한 양호하였으며 하류의 보, 상류부 정수 부분에 어류 서식이 확인되었다. 하천의 하상은 자갈 등 입자가 굵은 골재로 이루어져 있어 상류 하천의 특성을 보이고 있다. 군청의 소하천 관계자의 말에 의하면 사업 이후 특별한 관리나 모니터링이 이루어지는 것으로는 평가되지 않았다.



[그림 31] 봉황 소하천
※자료: 수생태계 보호를 위한 소하천 관리방안(2008)

○ 소하천 정비사업의 개선방안

- 소하천 수변관리를 통한 수생태계 보호방안. 수생태계 건강성에 영향을 주는 인자는 수질오염물질, 수중 및 수변 서식환경, 유량 확보 등이며 이러한 다양한 환경인자들의 변화에 영향을 받고 있다. 이러한 원인자들은 상류의 생태환경이나 수중환경 자체의 훼손에도 영향을 받지만, 수변환경에 의해서도 크게 영향을 받기 때문에 장기적이고 지속적인 소하천 수생태계 보호를 위해서 소하천 수변관리가 매우 중요하다. 이러한 수변환경은 하폭이 좁고 저온성 어류보호 등 매우 민감한 서식환경을 가지는 소하천에서 더욱 필요하다. 우리나라에서는 홍수터를 포함한 자연하천의 영역에 무리하게 제방을 높여 안정성이 확보되고 나면 인위적인 간섭이 고도로 진행되어 결국 수변지대의 훼손을 초래하고 있다. 수변서식환경과 수질보호기능을 하는 산림은 전반적으로 감소하는 경향이 있는 것으로 조사되었으며 일부 소하천에서는 산림의 감소가 밭이나 도시화의 증가로 나타나 수생태 건강성을 떨어뜨리는 것으로 이해할 수 있었으므로 친환경 밭 조성이 필요하다. 특히 도심 소하천 주변의 수변은 대규모 토지 피복변화가 일어나므로 수생태계 미치는 영향이 크기 때문에 적절한 관리가 요구된다.

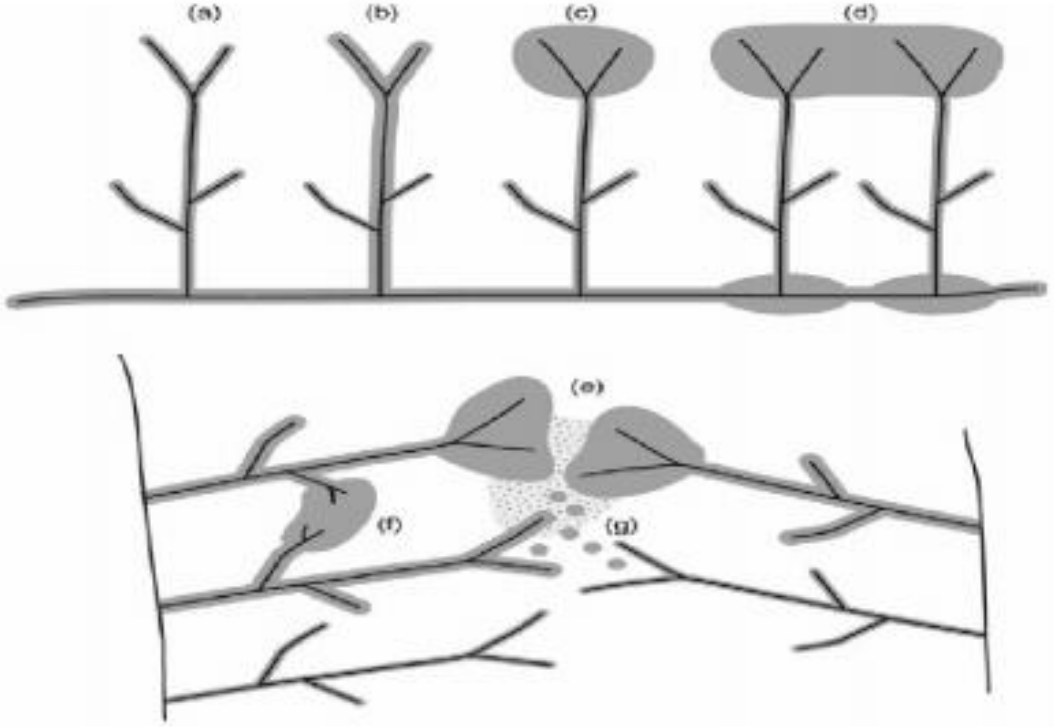


[그림 32] 고랭지 밭 인근의 소하천 및 수변의 현황※자료: 수생태계 보호를 위한 소하천 관리방안(2008)

수생태계 훼손이 심하거나 고유종, 법적 고유종이 관찰되는 소하천들에 대하여 적정 수변관리프로그램을 시범적으로 시행이 필요하다. 수질관리를 위해서는 식생 여과대를 조성하는 것이 저감효과를 가져올 수 있으며 영양염류 제어 등의 수질관리와 곤충류, 양서파충류 및 조류 등에 대한 서식처 제공을 위해서는 수변 산림완충지대를 조성하는 것이 효과적이다.

소하천에서는 본류보다 짧은 길이의 수변을 적용하더라도 상대적으로 큰 생태적 보호효과를 기대할 것으로 평가되고 있다. 수변지대(a)는 협소 완충지대를 통해 수질과 일부 수생 서식처를 보호할 수 있지만 보다 넓은 완충지대(b)는 수변 서식처 조건과 일부 생물을 보호·증대시킬 수 있다. 소하천 상류에서는 수변 보호구역(c)을 통해 고유 동물을 보호하고 (d)와 같이 하류 서식지 보호에도 기여할 수 있다. 소하천 수변지대(e)~(g) 서로 맞닿은 소하천 유역의 수변지대를 통해 생태 연결성을 증대시키고 지

류/하류 수변 서식처를 보호하는 등 소하천 유역 간 공동생태지역 및 이동경로를 연결해 줄 수 있다.



[그림 33] 소하천 수변관리를 통한 수생태계 보호 방안의 예
※자료: 수생태계 보호를 위한 소하천 관리방안(2008)

- 소하천 정비(관리)사업의 개선. 소하천정비사업은 홍수 등과 같은 재해경감 위주의 정비형태로 진행되어 수질 및 수생태계 보호의 관점은 미흡하였다. 소하천은 국토 전 지역에 넓게 펼쳐져 있지만 국가 및 지방하천에 비해 저예산으로 관리되었기에 유지관리가 용이하고 적은 예산이 필요한 콘크리트 호안공법 등이 오랜 기간 시행되어 정비된 소하천이 생태복원의 대상이 되어야 할 실정이다. 소하천 정비사업에 '생태복원 및 보호'라는 목표가 반드시 포함되어야 한다. 최근 시행되고 있는 '하천복원사업'은 궁극적으로 훼손된 하천 수생태의 복원을 목표로 삼는 경우가 대부분이다. 이수와 치수를 넘어서는 중심축의 이동은 하천생태계의 가치에 대한 패러다임 전환 정책과 프로그램으로 전국적인 생태회복에 대한 관심도로 시작되어 현재 하천과 습지복원사업 등 여러 분야에서 진행되고 있다. 소하천 관리방안에도 하류하천에 적용되는 개념과 공정 및 공법들이 적절하게 반영될 필요가 있다. 소하천은 작은 환경변화에도 민감할 수 있으므로 잘 보존된 주변 생태환경이 있을 때에는 큰 하천에서보다 더 충실한 계획과 별도의 생태복원 및 관리의 목표설정이 필요하다.

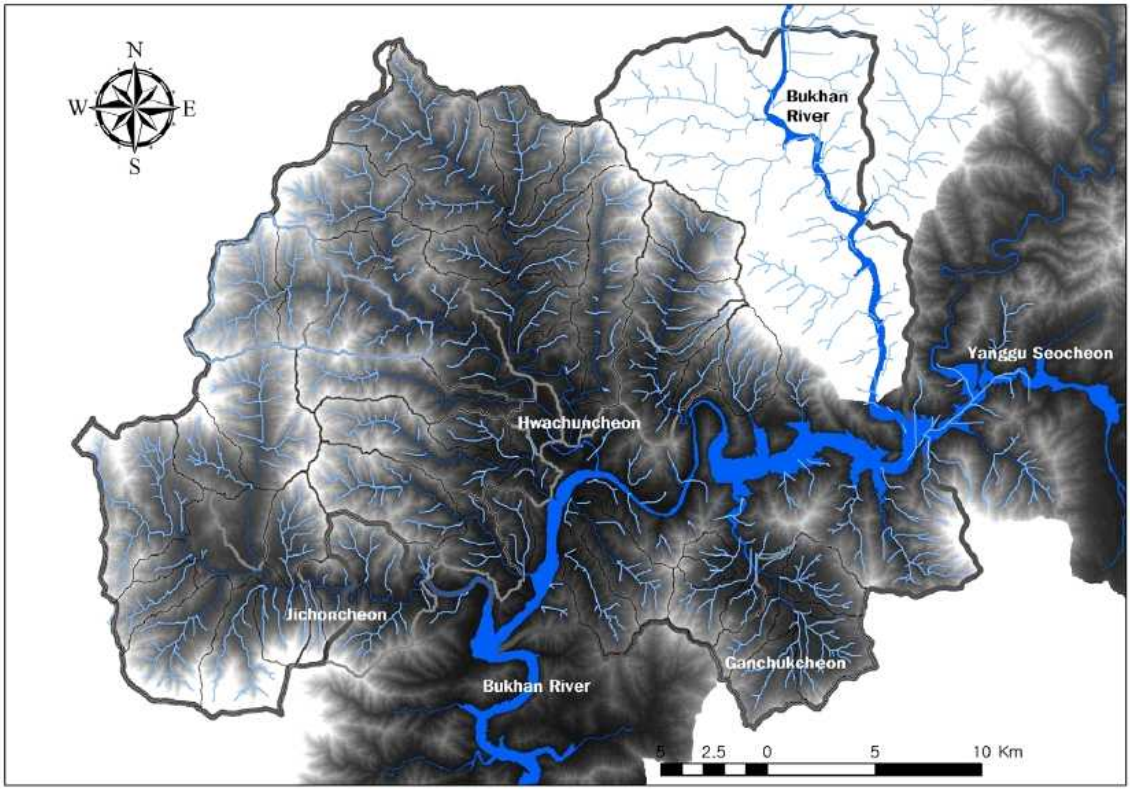
소하천 정비에서 가장 시급하게 개선되어야 할 문제는 소하천이 '정비'의 대상이 아니라 보호하고 개선하는 '관리'의 대상으로 인식하는 개념을 확고하게 수립하는 것이다. 소하천 관리가 수체만을 통제하는 치수사업으로 한정되지 않게 생태복원과 유지관리가 진정한 통수 관수가 되는 효과를 가져다 주는 사실을 인식할 필요가 있다. 이러한 인식의 전환이 필수적으로 요구되고 있다.

- 소하천 관리를 위한 연구개발. 소하천 유량 및 수질환경의 기초자료 확보, 소하천 수질개선을 위한 하수처리시스템과 물순환 연구, 소하천 저수지의 효율적 운영방안 연구, 소하천 수생태 건강성 모니터링의 확대, 주민참여를 통한 소하천 관리정책 유도

○ 소하천 수질개선을 위한 시스템 구축 방안

- 소하천 수질개선 사례. 소하천의 오염도를 파악하는데 가장 기본이 되는 자료는 수질이다. 그러나 대부분 소하천은 수질 상태를 파악할 기초자료가 없거나 매우 부족한 실정이다. 수질 자료가 없는 경우에는 행정구역별 오염부하량을 산출하고 소하천 유역별 점유율에 따라 배분하여 소하천 오염도를 가정하여 추정해 볼 수 있으나 소하천 오염도로 사용하는 것은 매우 부적절하다. 소하천은 기저유량이 적어 미량의 오염물질 유입에도 민감하여 수질이 급격하게 변화하는 특징을 가진다. 수질이 급격하게 변하는 소하천은 오염도 평가에 더 많은 수질 자료를 필요로 한다. 비점오염원의 기여도가 높은 소하천에서 수질변동이 더 크기 때문에 더 많은 조사가 요구된다. 넓은 면적의 유역을 기본단위로 설정하게 되면 수질개선방안은 포괄적인 수준에서 제안될 수 밖에 없으며 제안된 방안의 삭감시설이나 저감사업들의 실효성도 검증하기 어렵다. 북한강과 남한강의 합류점에 위치하는 팔당호 수질은 물환경관리기본계획 및 수질오염총량관리제의 주요 관리 대상이다. 팔당호 수질은 COD, T-N 농도에서 각각 유지 및 증가하는 것으로 관측되고 있다. 주요 원인으로는 팔당호 유역 오염배출량에서 점원이 차지하는 비율이 감소하고 비점원의 상대적 비율이 증가한 것에 주목하고 있다. 또한 총오염배출량이 감소했어도 국지적으로 오염배출량이 증가한 소하천이 있을 수 있으며, 그 소하천은 본류 하천 수질에 기여율이 높을 수 있다. 따라서 팔당호 수질개선에서 비점오염원으로부터 부하량 정량화와 오염 소하천을 선별하여 관리하는 방안에 관심을 두어야 하며 소하천 수질을 개선하지 못하면 본류 하천의 수질개선도 기대하기 어려운 점이 있다. 북한강 상류 유역은 대부분 산지로 급경사 지역이 많고 접경지의 특성상 개발이 제한되며 오염원 입지가 가능한 지역이 많지 않다. 이러한 여건으로 북한강 최상류는 청정 수질을 확보한 유량을 공급하며, 북한강 중하류 구간의 수질 오염도 상승을 완화시키고 팔당호의 수자원 가치를 높이는데 기여해 왔다. 그러나 지난 수년간 몇몇 소하천 일부 구간에 개발이 편중되면서 소하천 수질 악화가 우려되며, 경사가 급한 지역에서는 강우시 오염물질이 빠르게 유출되어 소하천 수질이 급변하는 특성을 지니고

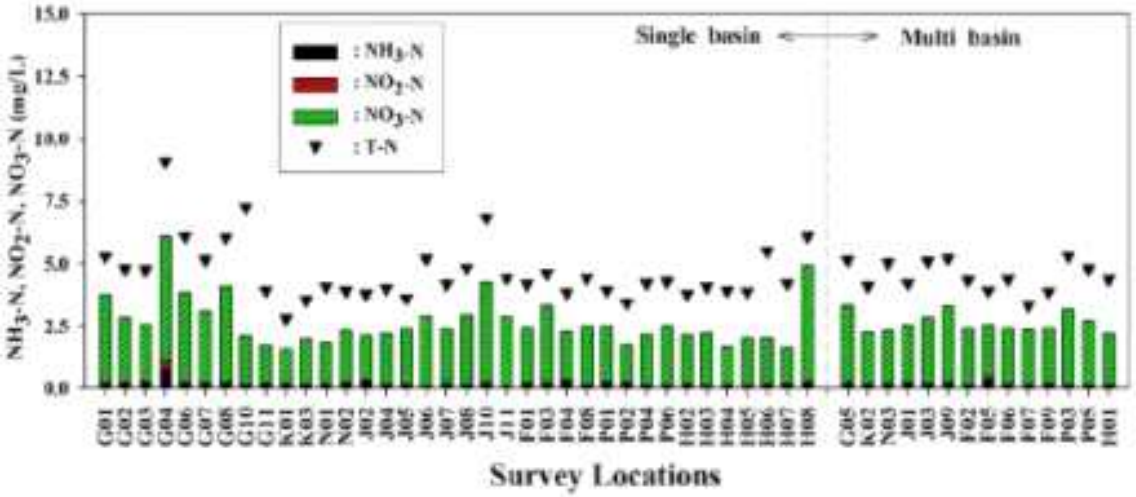
있으나 이 유역의 소하천은 수질자료가 없거나 부족하여 오염현황과 실태조차 파악이 어려운 실정에 있다. 수질개선 방안을 마련하기 위하여 국립지리원의 수치지도로 작성한 수치표고모델(DEM)과 물흐름분석 도구를 이용하였다.



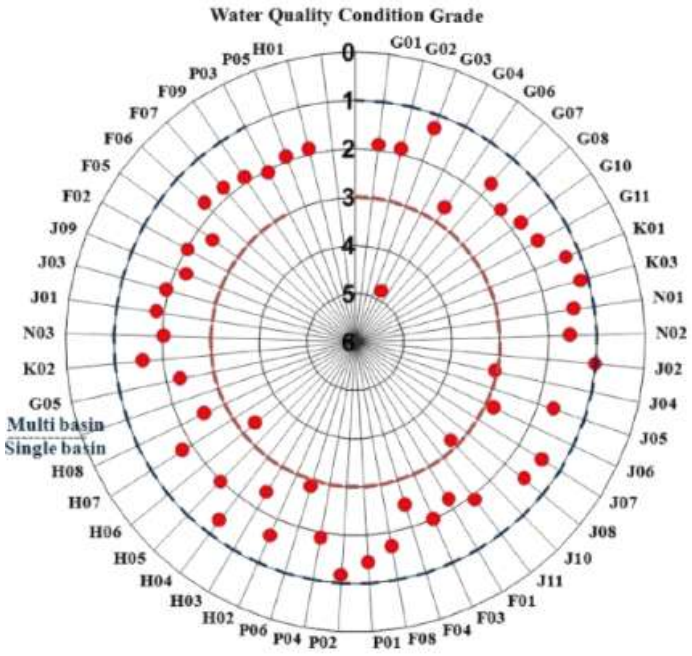
[그림 34]북한강 소하천 유역 DEM지도(※자료: 이용석외, 2016)
]

- 소유역별 오염부하량 산출은 수질오염총량관리기술지침(2014)에 근거하여 오염원 자료를 기초로 동리별 및 오염원별로 구분하여 발생량과 배출량을 산출하는 방식을 사용하여 분석되었다. 수질조사항목은 환경정채기본법의 환경기준(제2조관련)으로써 수질 및 수생태의 생활환경 기준에서 선정하였다. 선정된 조사항목은 수소이온, 용존산소, 전기전도도, 5일 BOD, 부유고형물질, 영양염류로써 총질소와 총인으로 분석항목이 설정되었다. 또한 COD, TOC 항목을 수질조사 항목에 추가하였다. 소하천 수질의 오염등급과 유형화 분석을 위해서는 오염원, 수질 등 환경 여건을 파악할 수 있는 여러 기초 자료들이 필요하다. 여기에 소하천 유역의 사회, 문화, 경제 등 제반 여건은 오염 소하천에 대해 도출된 수질개선방안의 실효성을 검토하는데 중요한 자료가 된다. 오염등급과 유형화분석은 환경여건을 주 인자로 사용하여 분석되었다. 환경 여건 인자는 조사항목들이 지닌 환경적 의미에 따라 설정되었다. 조사항목은 유량, 일반수질 항목별 농도, 오염물질별 배출량 및 배출밀도, 면적당 지하수 이용량 그리고 생물서식처평가지표이다. 하천에서 유량은 수문여건에 관련

된 인자로 오염물질의 농도변화에 관련된다. 수질은 오염물질별로 오염상태를 직접적으로 설명하는 항목이다. 유역에서 발생하고 배출되는 오염물질은 다양하나, 오염부하량 관리를 기바능로 하는 수질오염총량관리제에서는 BOD, T-N, T-P를 대상물질로 부하량을 산정하고 있다. 수질여건과 오염 부하 여건에 관련한 조사항목은 연관성을 고려하여 선정하였다. 생태 여건에는 생물서식처 평가지표 항목을 적용하였고 부하밀도는 각각 환경적 의미가 중복되는 항목들로 0.5의 가중치를 적용하여 오염등급과 유형분석의 균등성을 유지하였다.

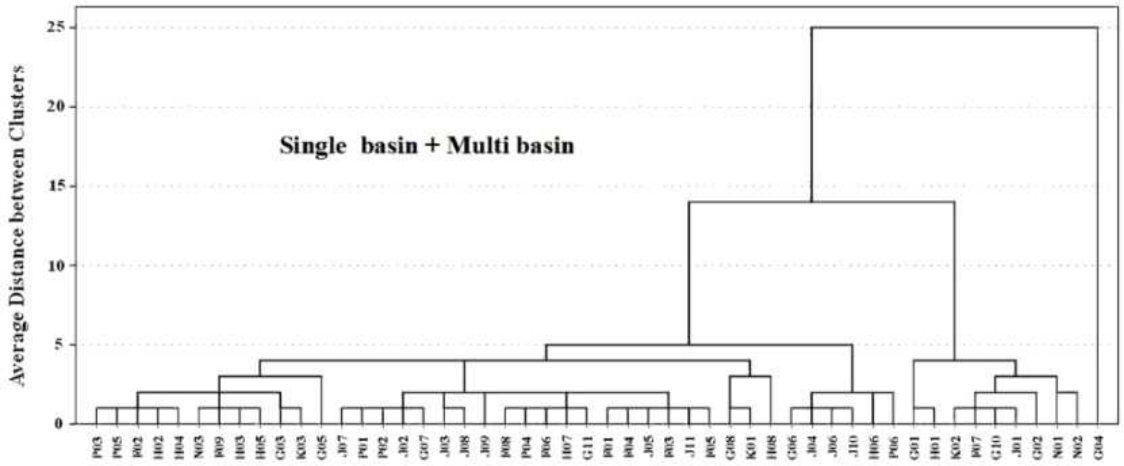


[그림 35] 소하천 수질 분석 결과 (※자료: 이용석외, 2016)



[그림 36] 환경조건요인에 기초한 소하천 오염등급(※자료: 이용석외, 2016)

유형화분석에서는 오염등급 분석에 사용된 환경 여건 인자를 동일하게 사용하여 분석되었으며, 분석조건은 다중유역을 포함하는 조건과 다중유역을 제외하는 조건이다. 두 조건 모두에서 뉴클리드 거리 1에 대한 유형은 20가지로 구분되었다. 유형분석에 사용된 환경여건 인자의 수를 고려하여 유형을 요약하였으며, 단일유역에 대해 뉴클리드 거리 3수준을 적용할 때 6가지 유형으로 구분할 수 있다.



[그림 37] 군집분석을 통한 유형분류 결과 예시 (※자료: 이용석외, 2016)

회천군 수계에서 북한강 본류에 직유입하는 주요 오염원은 없었으며, 오염원의 대부분은 소하천 유역에 위치하고 배출 오염물질은 지천을 경유하여 북한강에 유입하고 있다. 대상 지역에는 군부대 오염원이 다수 분포하고 있으나, 배출지점 확인 및 부하량 산출이 어려워 소유역별 분석 연구에 반영되지 않은 분석이었다. 이 연구에서 소하천 수질변화 시변화는 단일유역이 다중유역에 비하여 더 큰 폭으로 변화하는 경향을 가지며, 평균값에서는 크게 차이가 없는 것으로 나타났다. 소하천 유량이 적을 때 미량의 오염 배출에도 수질이 민감하게 변화하는 전형적인 특징이다.

화천군 소하천의 수질개선에서는 대체적으로 기저유량 확보가 시급하며 지하수 관리가 중요한 요인 것으로 판단되는 것으로 보고되었다. 수질개선이 시급한 최우선순위 소하천은 환경여건인자로부터 수질개선방안을 제시할 수 있는 것으로 나타났다. 오염등급과 유형화 분석을 연계한 연구로부터 화천군 수계내 소하천의 수질개선을 위해 기저유량 확보가 중요한 소하천, 유역 내 농업지역과 축산지역의 오염 배출량과 배출밀도를 관리해야 할 소하천 등 오염 유형별 개선방안의 우선순위를 선정하였다. 화천군은 유역특성상, 기저유량 확보 방안으로 농업분야에서 물순환체계를 점검하고 개선하는 방안이 제시되었다.

○ 소하천 수생태 건강성 모니터링의 확대 방안

- 수생태 건강성 조사. 하천의 수질환경 이외에 하천내 서식하는 생물(조류, 저서생물, 어류)가 하천환경(서식환경, 수변환경, 수변식생) 등의 요소를 종합적으로 조사함으로써 하천의 생태학적 요소를 총체적으로 평가한다. 종전의 이화학적 수질(BOD, COD, 영양염 등)이 '물의 맑기'만을 표현하는 반면, 수생태계 건강성은 하천의 '동·식물의 건강성'을 표현하는 방법이다. 하천의 수질, 생물상, 하상형태, 식생 등 물리·화학·생물학적 요소를 체계적으로 조사·평가하는 "수생태 건강성 평가 체계"를 구축하여 하천 모니터링 및 평가체계를 선진화 하는 전략이다. 수생태 건강성 조사 및 평가를 통해 수생태계 환경기준의 설정 및 훼손하천의 발굴·복원 등을 추진하는 것이 필요하다. 1980년대부터 유럽, 미국 등의 국가에서는 하천의 생물학적 수질평가를 위한 하천모니터링을 실시 하고 있다. 조사분야는 수생생물과 하천환경으로 구분하며, 수생생물에서는 부착조류, 저서성무척추동물, 어류이며, 하천환경에서는 서식환경, 수변환경, 수변식생 항목이 있다. 수생생물에 대한 조사항목에는 분포종수, 밀도, 지표종, 생물량이며 조사주기는 연 2회 조사하는 것으로 되어 있다. 하천 환경 분야에서 서식환경은 종·횡구조물, 흐름의 다양성, 하천변 폭 등이 포함된다. 수변환경 조사내용에는 하도특성, 저수로·호안공, 제방·호안 재료 등이 있다. 수변식생은 식생다양성, 외래종 우점식생 면적, 종 다양성 등이 있다. 미국 환경청과 유럽 환경청에서 제안하는 수생태 건강성 평가방법에 국내 실정을 반영하여 적용방법을 마련한다. 종 다양성 및 풍부도 등을 고려한 생물상의 건전성과 서식환경의 수준을 계량화하여 수생태의 건강성을 평가한다.

<표 10> 수생태 건강성 평가 등급 및 평가요소

구 분		평 가 등 급	평가요소
수생생물	부착조류	· 유기물지수(DAIpo) · 영양염지수(TDI) : A(최적), B(양호), C(보통), D(악화)	오염민감종,내성종의 풍부도, 조류밀도 등
	저서성 무척추동물	· 한국오수생물지수(KSI) : A(최적), B(양호), C(보통), D(악화)	개체수, 지표가중치 등
	어 류	· 어류생물지수(IBI) : A(최적), B(양호), C(보통), D(악화)	국내종 종수 및 개체수 등
하천환경	서식환경	· I(매우양호), II(양호), III(보통), IV(불량), V(매우불량)	종횡구조물,흐름의 다양성 등
	수변환경	· I(매우양호), II(양호), III(보통), IV(불량), V(매우불량)	하도특성, 저수로·호안공 등
	수변식생	· I(매우양호), II(양호), III(보통), IV(불량), V(매우불량)	종 다양성 등

- 수생태 건강성 평가체계. 수체에서 나타나는 모든 종류의 교란의 정도에 따른 수생생물들의 총체적인 반응을 건강성으로 표현한 것이다.

- 서술적(상태를 설명적으로 표현) 혹은 정량적(지수화된 수치로 표현)으로 등급화(최적, 양호, 보통, 악화 등 4개 등급)하여 수생태의 건강성을 평가한다.

- “생물학적 건강성(Biological health)”이란 교란이 없는 환경에서 다양한 생물들이 최적의 삶을 영위할 수 있는 상태를 의미한다.

- 수생태계에서 “교란”은 수질오염, 생물서식처 훼손, 제방의 침식, 토사유입, 가뭄 및 홍수, 콘크리트화, 직강화, 종횡적 인공구조물 등을 망라하여 서식하는 생물들의 다양하고 건강한 삶을 방해하는 모든 종류의 스트레스 요인들의 총합을 칭한다.



[그림 38] 우리나라 수생태 건강성 평가체계

○ 미국 EPA 유역계획

- EPA(2013)에서는 하천복원과 보호를 위한 유역 측면에서 가이드라인을 제시하고 있다. 유역계획의 목표와 관리전략은 지역적 우선순위와 보전 프로그램, 관련 법률 등에 따라 다양하게 적용되어야 함을 강조하며, 특히 하천복원에서 수질개선을 중점 목표로 하고 있다. EPA에서 제시하는 유역계획은 6단계로 구분할 수 있다.

- 1단계(동반자 구축) 지역사회 현안 문제 및 상호 관심사에 기초한 에비 목표 설정, 모니터링 과정에서 중요한 지표 개발, 효과적인 홍보 및 교육 활동을 위한 이해당사자간 동반자 관계 구축

- 2단계(유역 특성 파악) 효과적인 관리 전략 수립을 위한 유역 특성 및 문제점, 오염원 파악. 이를 위하여 관련된 자료(예: 물리적 특성, 토지이용 및 인구, 수체의 상태, 오염원 파악, 모니터링 자료 등)를 수집하고 자료 분석을 통하여 교란원인이 되는 오염원 및 부하량 등을 파악

- 3단계(목표 및 해결 방안 수립) 유역 특성 파악 결과를 토대로 예비 목표를 수정·보완하고 구체화된 세부목표를 설정. 측정 가능한 대상, 지표, 목표 달성을 위한 핵심 지역에서의 관리 이행 등을 결정.

- 4단계(실행계획 수립) 이행할 수 있는 유역계획 수립.

1) 세부 업무에 대한 업무분담 및 목표에 따른 실행 시간 계획표 설정,
2) 관리 조치에 대한 이행도 파악을 위한 이정표(단기, 중기, 장기로 구분) 수립,
3) 유역목표에 대한 충족도를 평가할 수 기준 개발(예: 수질의 직접적 측정 또는 부하량 감소에 대한 간접적 지표 이용 등),
4) 사전 및 실행 중, 사후모니터링 프로그램 개발,
5)지역주민의 환경 개선 화동을 독려하고 나아가 유역관리 계획의 지속 가능성을 가능하게 하는 자원봉사 및 대중 참여를 위한 교육·홍보 계획 수립,
6)과업에 투입된 요소 및 활동 업무와 개발된 결과, 이행 노력에서 실현된 소득 등 유역계획 프로그램을 평가할 수 있는 체계 구축,
7) 실행계획에 요구되는 기술적 및 재정적 지원 확립, 8) 계획을 점검하고 보완하기 위한 책임 분배 등에 대한 세부적인 계획 수립.

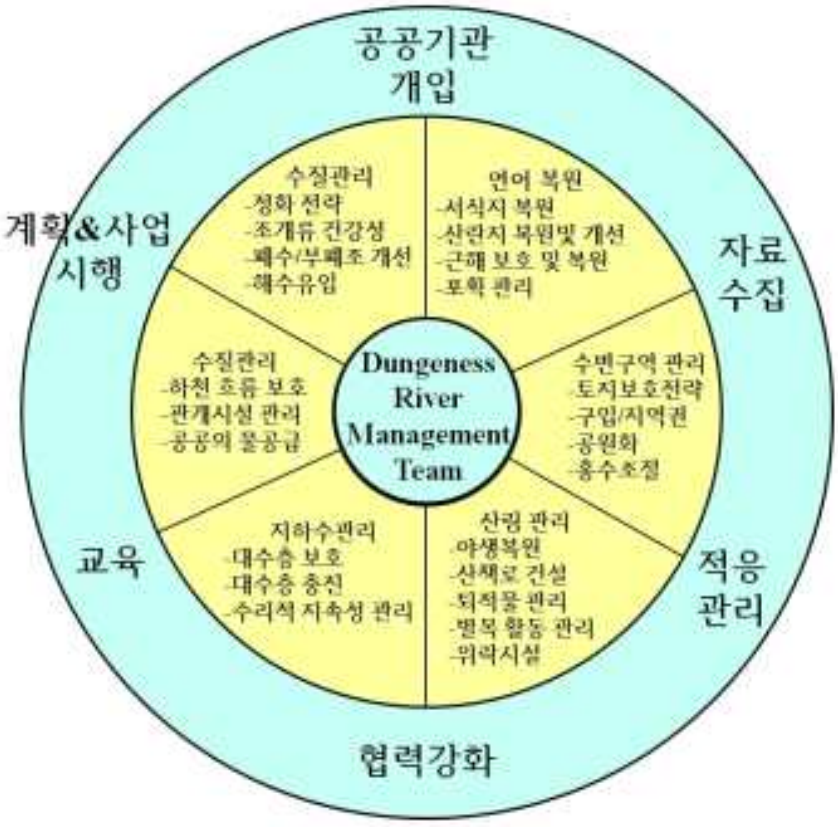
- 5단계(유역계획 실행): 수립된 계획의 직접적인 실행단계. 우선 장기적인 측면에서 성공할 수 있도록 하는 전략 계획으로서 유역계획 및 목표 달성을 위한 세부 업무 목록에 대한 연간 작업 계획을 고려하여 업무계획을 준비. 설정된 관리전략의 실행에서는 다양한 전문성과 기술(프로젝트 관리와 기술적 전문성, 자료분석, 의사교환, 대중활동 등)을 포함한다. 아울러 실행에 대한 효과를 추적하고 평가하기 위한 모

니터링 실시. 이 때 화학적 및 물리적, 생물학적 측정을 통해 모니터링 수행. 이후 자료분석과 결과 도출을 통한 교육·홍보 활동을 실시함으로써 이해당사자와의 공유.

-

- 6단계(업무진행의 측정 및 보완). 계획단계에서 제시된 이행 업무를 주기적으로 검토하고 4단계에서 설정한 기간별 이정표와 결과물을 비교함으로써 이해당사자와의 피드백을 통하여 수정·보완 사항에 대하여 결정한다.

EPA에서는 Dungeness River Management Team(DMRT)을 소개하며 적응관리의 중요성에 대하여 언급하고 있다. 미국 워싱턴주에 위치하는 Dungeness유역에서의 모니터링은 크게 업무에 대한 '실행 모니터링'과 정량적 목표가 달성되었는지에 대한 '효과 모니터링'으로 이루어져 있으며, 이러한 모니터링과 적응 관리는 의사결정과 이행 권한이 있는 정부관계자로 구성된 DMRT가 역할을 담당하는데, DMRT에는 이행 및 효과 모니터링을 감독하고 적응 전략을 수립하기 위한 세 개의 상설 위원회(안건과 연간 업무계획을 준비하는 집행위원회 및 두 기술감독위원회)가 있다. DMRT의 핵심적 활동으로서의 적응관리는 아래와 같다.



[그림 39] DMRT의 적응관리를 위한 활동(※자료: 황순진, 2014)

6. 녹조 제거 방안 및 청정호소 유지·관리를 위한 방안

6.1 녹조제거 방안 검토

○ 조류의 대발생

- 녹조현상의 정의.

녹조현상이란 식물이 성장하는데 필요한 질소와 인과 같은 영양물질이 많이 존재하는 부영양 수역에서 주로 수온이 높은 여름철에 수체가 정체되어 물 흐름이 잔잔한 상태에서, 한 종 또는 소수의 조류가 대량 증식함으로써 물의 색을 녹색으로 물들이는 현상으로 규정할 수 있다. 여기서 녹조란 물색을 변화시키는 원인이 되는 조류군을 의미한다. 녹조현상이란 특정한 조류의 종명을 지칭하는 것은 아니다. 수체의 수면을 녹색으로 만드는 원인 조류는 반드시 일정한 종이 아니며, 다수의 종류가 혼합하여 존재하는 경우가 많지만 대체로 크기가 작은 종들로 이루어지는 경우가 많아 육안으로 구분이 어렵다. 녹조현상이란 최근까지도 가장 흔하게 사용되어왔던 물꽃현상의 일종으로 보는 것이 타당하다. 물꽃현상은 특정수역에서 조류가 대량으로 증식하여 물색을 변화시키는 현상으로 대량 증식하는 조류의 종류에 따라 물색이 달라지기 때문에 녹조현상을 물꽃현상과 동일한 의미로 사용하는 것은 잘못된 표현이다.

- 녹조현상의 주요 원인종 및 특성.

조류는 수중에서 빛을 이용하여 광합성을 하는 1차 생산자를 일컫는 말로서 크게 부유성(식물플랑크톤)과 부착성(부착조류)의 생활형태를 보인다. 조류의 대부분은 크기가 매우 작아 육안으로 개개의 세포를 구별하기는 어려우며 수중에서 육안으로 보이는 것은 이들이 뭉쳐져 있는 상태이기 때문이다. 분류학적으로 조류는 엽록소 또는 광합성 색소를 포함하고 있기 때문에 식물군에 속한다. 조류는 크게 광합성 색소의 차이, 세포내 핵과 세포막의 발달 여부, 운동성의 차이 등의 원인으로 인해 일차적으로 분류되며 매우 다양한 종들로 구성되어 있다. 이들은 광합성에 의해 스스로 필요한 에너지를 만들어 낼 수 있기 때문에 자가영양생물군에 속하며, 이들이 성장하기 위해서는 무기영양염(예 질소, 인, 규소 등)을 필요로 한다. 이를 보통 제한영양염이라 부르며 이들이 과다하게 존재하게 되면 녹조현상으로 발달하게 된다. 녹조현상의 주 원인종인 남조류는 엽록소와 그와 다른 색소를 가지고 있어 광합성을 하지만 세포핵의 발달이 거의 없어 실제 분류학적으로는 세균에 속한다. 그러나 광합성을 하는 특성으로 인해 일반적으로 남조류라고 부른다. 녹조현상은 보편적으로 남조류에 의해 주로 일어나지만 반드시 남조류에 의한 것만은 아니다.

○ 녹조현상의 발생 원인

- 화학적 요인. 녹조현상의 가장 중요하고 직접적인 발생 원인은 수체내 인·질소 등의 영양물질농도의 증가, 즉 부영양화라고 할 수 있다. 조류의 세포조직은 탄소, 산소, 수소, 인, 질소, 황, 칼륨, 마그네슘, 칼슘, 나트륨, 염소의 11종의 원소와 그 이

비타민, 철 등의 미량원소로 구성되어 있다. 이들 중 자연 수체에서 제한되기 쉬운 것은 주로 질소, 인, 탄소를 들 수 있는데 이 중 대기로부터 탄산가스에서 공급되므로 주로 질소와 인이 조류 증식의 주요한 제한 영양염이 된다. 즉, 호수에서는 질소와 인이 부족한 경우가 많은데 깨끗한 호수에서는 인이, 부영양화가 진행된 곳에서는 질소가 증식의 제한요인이 될 수 있다.

- 물리적 요인. 녹조현상은 여름에 호수 표면에서 나타나므로 남조류가 성장하려면 투명한 수역과 강한 빛이 필요하다고 생각하기 쉬운데 남조류가 공기주머니를 이용해 뜰 수 있다는 것은 탁한 수중, 즉 식물플랑크톤이 증가하고 있는 상태에서도 다른 조류보다 광을 흡수하는데 유리함을 의미한다. 반대로 표층은 증식에 적절하지 않을 가능성도 있다. 그러므로 야외에서 증식에 필요한 조건을 고찰하는데에는 남조류의 특성 뿐만 아니라 수심과 수중에서의 빛의 감소, 수온 구배에 따라 결정되는 성충 상태 등이 종합적으로 고려되어야 한다. 식물플랑크톤의 밀도가 증가하면 수중에 빛이 부족하여 단위면적 당 순증가량이 적어지므로 약한 빛에서 광합성이 가능한 조류의 성장에 유리한 조건이 될 수 있다. 녹조현상의 주요 원인 종으로 알려진 *Mycrocystis*가 최적 발생하는 광도에 대해서는 두 가지 가설이 있다. 일반적으로 식물플랑크톤의 광합성 속도는 낮은 광도 영역에서 광도에 비례하여 증가하지만, 어느 정도가 되면 일정하게 되고 더욱 강해지면 오히려 광합성이 저하되는 특징을 나타낸다. 제1설로 남조류는 수면에 많이 분포하는데, 이것은 다른 조류보다 성장에 강한 빛을 요구한다는 사실을 반영하는 설이고 따라서 광저해가 나타나는 광도가 다른 조류보다 높다는 견해이다. 제2설은 남조류의 성장에 특별히 강한 빛이 필요하지는 않으며 다른 조류와 마찬가지로 광저해도 일어난다는 견해이다. 일반적으로 남조류의 배양 실험에 의하면 태양 빛의 5% 정도의 약한 빛에서 잘 자라고, 강한 빛에서는 색소의 분해가 일어나지만, 배양시기나 사용된 광원 특성 등에 따라 자라는 정도가 달라지므로 주의해야 한다.

- 남조류의 세포는 수 ㎛로 매우 작지만 일반적으로 자연상태에서 수천 수만 개의 세포ㅋ 점액성 물질에 싸여 서로 뭉쳐져 군체를 형성하고 있다. 군체의 크기는 수십 ㎛에서 수 밀리미터(㎜)로 크기가 다양하며 수체의 유동에 의해 현탁되어도 다시 모여 군체를 형성하는 특성이 있다. 생태적으로 남조류는 이런 군체를 형성함으로써 그들을 잡아먹는 동물성플랑크톤에 의한 섭식을 피할 수 있다. 즉 대부분의 단세포성 녹조류나 규조류는 동물성플랑크톤에 의해 섭식이 되는 반면 남조류 군체는 동물플랑크톤이 섭식하기에는 크기가 너무 커서 잘 섭식되지 않기 때문에 동물성플랑크톤에 의한 섭식을 피할 수 있고 더욱 더 다른 조류들에 비해 우점하여 증식할 수 있다. 또한 남조류가 내는 독소도 동물성플랑크톤의 섭식을 피하기 위한 기구로서 추정되고 있다. 남조류는 다른 조류에 비해 높은 수온에서 잘 증식하는 특성을 가지고 있으며, 체내에 기포를 가지고 있어 수중에서 부상할 수 있는 특성이 있다.

즉 남조류는 환경에 따라 기포내의 가스의 양을 줄이거나 늘임으로 해서 수체 내에서 수직이동할 수 있어 태양광의 세기에 따라 이동하면서 강한 광에 의한 저해효과를 피할 수 있다.

○ 하천 녹조현상의 특성

- 녹조현상이란 일반적으로 호소와 같은 정체성 수역에서 영양염류의 과다한 유입으로 발생하게 되며, 정체성 수역에서의 녹조현상은 부유성조류(식물플랑크톤)가 문제를 발생시킨다. 하천과 같은 유수시스템에서도 녹조 가능성은 항상 존재한다. 유수시스템에서는 물이 흐르기 때문에 영양염류가 과다하게 유입된다 하여도 유소녁이 빠르면 그것이 조류 성장이 제한을 받게 된다. 유수시스템에서는 부유성 조류들의 성장이 최소화되며 이는 유속이 빠른 수계일수록 더욱 명확하게 나타난다.



[그림 40] 조종천 녹조발생 사례(2001년)(송미영, 2001)

유수시스템에서 조류들이 살아남기 위해서는 이들이 적당한 매질에 붙어 부착성 생활양식을 가져야 한다. 따라서 하천과 같은 유수시스템에서도 일반적으로 부착성조류가 우점하게 된다. 부착성조류들은 부유성조류와 달리 매질에 붙어사는 특성 때문에 대발생하여도 수체 전반에 걸친 수화현상으로 나타나지 않고 서로 달라붙은 군체형 또는 실과 같이 늘어진 사상성 형태로 나타나며 이들이 더욱 성장하면 매질로부터 탈리되어 수표면으로 떠오르거나 바닥으로 가라앉게 된다. 그러나 가라앉은 조류들은 어떤 장벽에 의해 걸리지 않는 한 물의 흐름을 따라 하류로 또는 다른 곳으로 이동할 수 있다. 탈리되어 떠내려간 조류들은 다른 수역으로 유입되어 그 곳의 조류발생에 잠재적인 영향을 미칠 수 있다. 규모가 작은 지천에서 하상의 돌이나 목재와 같은 매질에 붙어 나타나는 부착성 조류의 발달도 부분적으로 녹조현상으로 볼 수 있으나 유속 때문에 같은 오염물질의 농도라 할지라도 호소와 같은 정체성 수역에 비해 상대적으로 물의 투명도가 높게 나타난다. 따라서 주변으로부터 토사와 같은 현탁물질이 크게 유입되지 않는 한 부착조류들은 광합성에 필요한 빛에 제한될 가능성은 적다. 이러한 환경에서 과다한 영양물질의 유입은 부착성 조류들의 빠른 성장을 유발시키며

또한 이들이 과다하게 성장하게 되면 탈리되어 덩어리 형태로 수표면에 둥둥 떠다니게 되어 부유성조류의 수화현상과 같이 보여질 수도 있다. 이러한 현상은 전국적으로 많은 지천에서 발견되며 특히 오폐수가 유입되거나 골프장으로부터 유입수를 받는 지천, 하수처리장 방류수를 받는 지천 등에서 흔히 관찰된다. 크게 발달한 부착성 조류들은 물이 맑은 경우에는 녹색으로 보이나 유입수의 특성에 따라 변색 또는 착색되어 회색, 검은색, 갈색으로 보이기도 한다. 특히 규모가 큰 하천은 전체 시스템이 유속에 의해 지배를 받는다 하여도 하천이 사행함에 따라 일시적으로 유속이 감소하거나 정체되는 수역에서 영양물질이 과다하고 수체가 안정된 조건을 가지게 되어 녹조현상이 나타날 가능성이 크게 높아진다.

- 하천의 녹조현상 관리. 하천에서의 녹조현상은 유수 특성으로 인하여 호소와 비교할 때 원인 조류의 종류나 녹조발생 형태가 다르다. 그러나 이 것은 수계의 특성을 반영한 것이며, 두 경우 모두 녹조발생의 일차적인 원인은 과다한 영양염류의 유입에 있다. 호소에서와 마찬가지로 하천의 녹조현상도 부영양화가 주원인이며 영양물질의 유입을 차단하거나 감소시키는 방안이 일차적으로 고려되어야 한다. 그러나 유속이 조류들이 번식되는 시간보다 짧다면 하천에서의 영양물질은 조류의 성장을 조장시킬 수 있는 시간적 여유를 가지지 못한다는 것이 정체성 수역과 가장 큰 차이점이다. 홍수기와 같이 유량이 많고 유속이 빨라지는 시기 동안에는 규모와 관계없이 하천의 녹조현상은 세척으로 인하여 오히려 감소 또는 제거될 수도 있다. 하천에서 녹조현상을 방지하기 위해서는 외부로부터 영양물질 또는 유기물 등을 포함하는 오염물질의 유입을 감소하거나 또는 제거하는 것이 일차적인 방안이며, 이와 함께 물의 체류시간을 증대시키는 요인들을 가능하면 제거하는 것이 바람직하다. 그러나 후자의 경우에는 하천에서의 유량확보와 관련할 때 현실적으로 쉬우 문제는 아니다. 따라서 이들 보의 원래 기능을 유지하면서 이들이 오염원으로 작용할 수 있는 여지를 제거해야 할 것이다.

- 녹조발생 제도적 대응. 환경부에 의해 제시된 '98년 팔당특별대책에서는 기존 BOD 중심의 수질관리에서 탈피하여 질소·인 관리 등 녹조방지대책의 추진, 사후적 관리에서 예방적 관리 중심, 점오염원에서 비점오염원 관리대책 중점 추진 등 차별화된 수게관리 대책을 수립한 바 있다. 유역관리를 강화하는 수질관리 행정체계 개혁, 과학적인 수질오염 저감, 예방중심 정책기능 강화 등의 수단을 통해 실현될 수 있음을 제안하였다. 이를 달성하기 위한 세부대책을 살펴보면 부영양화 방지대책으로 질소와 인 등 영양염류 유입을 사전에 차단하기 위해 ①질소·인 처리시설 확충, ② 분뇨처리시설 및 축산폐수공공처리시설 등을 포함한 폐수배출시설의 질소·인 기준 강화, ③ 비점오염원에 의한 질소·인 감축 등이 제안되었다. 팔당호 호소내 수질관리 대책의 일환으로 수생생물 재배를 통해 영양염류 제거, 조류·수초제거선 운영 및 조류 제거기법 개발을 통해 발생된 조류를 제거하기 위해 다음과 같은 녹조대책

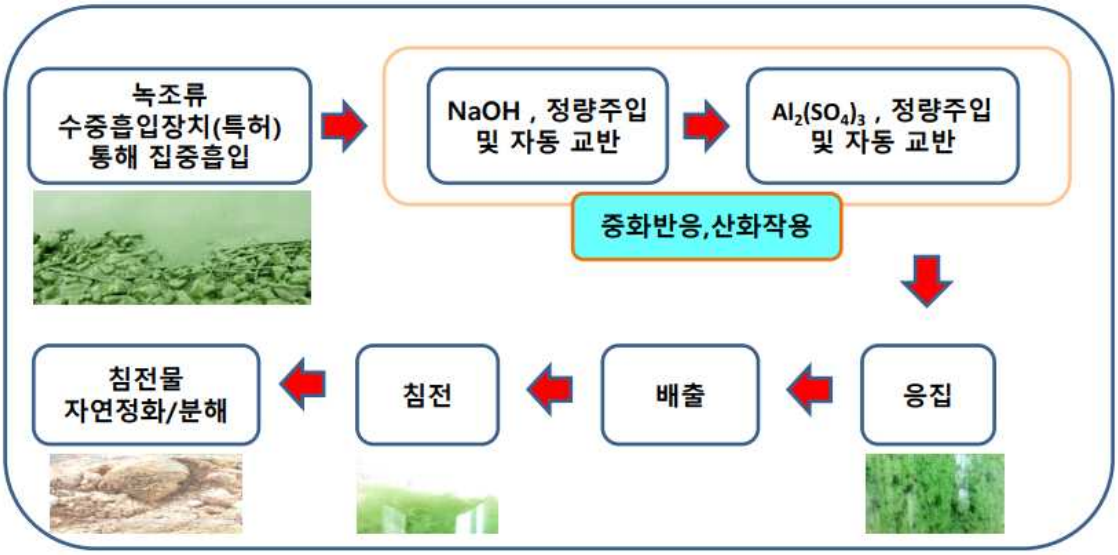
사업이 제안되었다. 제안된 녹조대책 사업은 인공수초섬에 의한 영양염류 저감, 조류제거선을 이용한 조류 제거, 수초 및 쓰레기 관리대책, 팔당호 퇴적물 관리대책, 조류예보제 실시 등이 있다.

- 녹지방지사업 시행상의 문제점. 조류(식물성플랑크톤)의 증식을 유발하는 요인으로는 물의 체류, 영양염류, 빛, 조류세포의 존재, 수온 등을 들 수 있는데 수온은 조절이 어려운 요인이므로 제외하면 주요요인은 4가지라고 할 수 있다. 녹조를 포함한 조류증식을 유발하는 요인들은 수중의 영양염류와 유기물의 양과 밀접한 관계를 가지고 이는 사실상 포괄적으로는 부영양화 현상을 일으키는 모든 원인들과 직접적으로 관계가 있다. 결국 부영양화 관리를 위한 방안들이 조류증식을 제어할 수 있는 방안이 될 수가 있게 된다. 문제는 과학적으로나 현실적으로 이러한 사업들을 차별화할 수 있는 방안이 없는 상황에서 사업으로 시행이 되고 있는 녹지방지사업의 범주 및 내용을 구체화해야 한다는 점이다. 현재 시행되고 있는 녹조방지사업의 가장 중요한 문제점은 사업목표가 명확하지 못하다는 점이다. 그 결과 녹조방지사업에 대한 사업의 성격이 명확하게 규정되어 있지 못하고, 녹조현상의 원인과 관련된 측면과의 연계성을 제대로 설정하지 못하고 있다. 따라서 시군에서 시행하고 있는 녹조방지사업이 제대로 시행되지 못하고 난항을 겪고 있으며 녹조방지사업에 대한 물이용부담금의 지원 역시 사업선정 기준과 유형의 설정에서 객관성을 보여주지 못하고 있는 원인이되고 있다. 녹조방지사업의 일관성과 정책적 효율성을 위해서는 사업의 성격을 규정하는 것이 무엇보다 중요하고 이와 관련하여 녹조방지사업의 기준 및 유형을 설정하여 해당 시군에서 필요한 사업을 선정하고 시행하는데 필요한 가이드라인을 제시하는 것이 가장 시급하다. 과학적으로 조류대발생이란 현상을 ㅎ결하기 위해서는 부영양화나 비점오염원 관리를 포함하는 유역 전반의 수리수문, 오염물질의 거동, 생물상의 조성, 기후조건 등의 다양한 요인들의 상호작용을 감안한 접근을 해야 한다. 선진 외국에서도 유사한 상황으로 녹조현상 자체가 그 발생이 복잡하고 그 범위가 매우 광역적이고 녹조를 제어하거나 방지하기 위한 사업들이 기술적으로 확실한 해결 대안이 없는 문제에 기인한다. 녹조의 원인이 다양하여 쉽게 방지·제어하기 어렵기 때문에 과학적인 측면에서의 연구와 기술적인 적용방식 등에 대한 검토가 상당히 진전이 되어야 해결이 가능해진다. 녹조현상의 원인이 수계의 부영양화 및 그와 관련된 수질 악화이기 때문에 녹조방지사업은 실제로 부영양화 방지사업이나 수질개선사업과 분리하여 생각할수 없다. 녹조발생은 수계 내에서 일어나지만 그 원인은 유역에서의 각종 변화나 수체 내의 조건, 그리고 이 두간지 간의 상호작용 등의 조합된 최종 결과로 나타나는 현상이다. 호소나 하천과 같은 수계 내부의 육수생태학적 현상이 수계 밖에 위치하는 유역에서의 여러 가지 현상과 직접적으로 연관이 있으므로 수체 내의 현상의 원인을 수체 밖으로까지 확장시켜야 한다. 녹조발생이라는 현상에 대한 대책을 마련하고 사업을 시행할 때 관련된 모든 원인이 다뤄져야 하므로 근원적으로 사업의 성격과 특성이 명확하지 못하

게 되는 결과에 봉착하게 된다. 녹조방지대책과 녹조방지사업의 성격은 그 기준과 성격이 제대로 규정되어 있지 못하지만 여러 요인들이 포함되어 있기 때문에 기준과 성격이 제대로 규정되어 있지 않아 기준이 모호하고 일관성이 떨어지는 점도 있다. 이런 현상을 적절히 제어하기 위해서는 어떤 단계 혹은 요인을 조절해야 하는지에 대한 연구가 시작되는 단계이며 구체적인 연구로 들어가면 세부분야의 연구자와 연구실적이 충분하지 못한 상황이다.

○ 기존 녹조제거 방안에 대한 타당성 검토 기준 설정

- 물 속의 입자구성: 물은 광물질, 유기물질, 미생물 등의 요인으로 탁도와 색도가 유발되며 특히 박테리아, 조류, 플랑크톤과 같은 미생물로 인해 녹조가 발생되고 있으며 이러한 입자는 크기에 따라서 용해성물질, 콜로이드물질, 현탁성물질로 구분됨. 오염된 수질이나 녹조는 쉽게 침전되지 않는 콜로이드 또는 현탁성물질로 쉽게 침전되지 않으며 질량에 비하여 표면적이 커 질량에 의한 중력의 영향보다 표면현상이 거동을 제어함. 또한 입자 표면에 전하를 띠고 있어 정전기적 반발력에 의하여 입자들이 상호 응집되지 못하고 안정화를 이루고 있음. 이와 같이 콜로이드 입자가 전하를 띠고 있는 원인은 불활성물질들이 매질내 음이온의 선태걱 흡착에 의해 음전하를 띠거나 단백질이나 미생물의 물질은 아미노기의 이온화에 의해 입자표면에 전하를 얻게 됨. 콜로이드 입자를 응결시키려면 입자표면의 반대전하를 가진 응집제를 가하여 표면전하를 중화시켜야 함.



[그림 41] 녹조류 수중 흡입장치 흡입과 수처리제 처리를 통한 수질개선 방안 예시

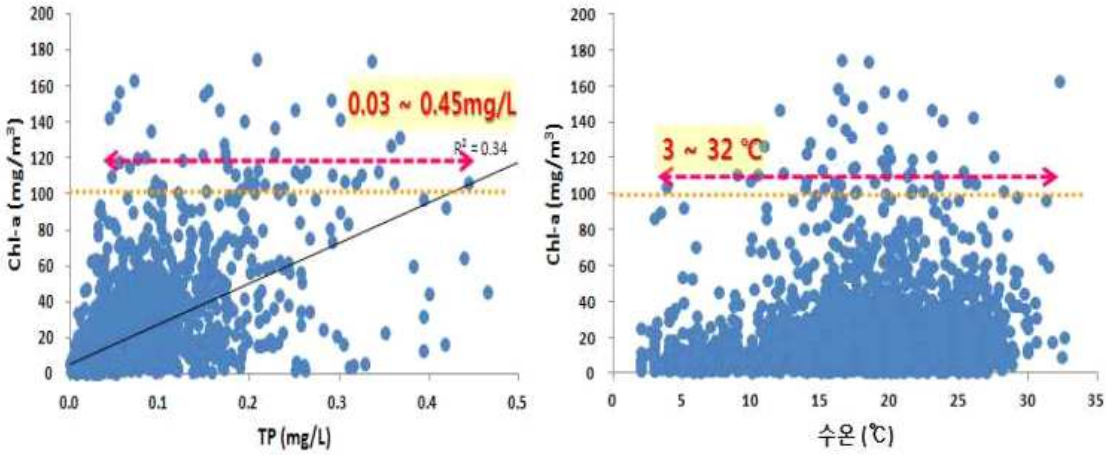
- 수산화나트륨(NaOH): 수용액에서 염기물질인 수산화나트륨(NaOH)은 수산화이온(OH^-)과 양이온으로 이온화되어 작은 입자들이 지니고 있는 전기, 전하를 중화시킴으로써 안정성을 파괴시켜 불안정화 된 입자들을 서로 엉키게 되는 응결을 유도하

고 미세 플럭을 형성하도록 함.

- 폴리염화알루미늄(PAC) 또는 황산알루미늄(Aluminum Sulfate): 수용액에서 산성 물질인 폴리염화알루미늄(PAC)이나 황산알류미늄(Aluminum Sulfate)은 수소 이온(H^+)과 음이온으로 이온화되고 응결작용에 의해 형성된 미세한 플럭의 완전한 침강을 위해서 가교에 의한 Large Floc으로 만들어 응집과 침전을 유도함. 1차 공정에서 NaOH를 투입하여 염기성으로 된 수용액은 완전한 중화반응을 통해 배출수 pH를 중성으로 환원시켜 단순한 화학적 처리 방식과는 달리 수생태계에 아무런 영향을 미치지 않음.

○ 녹조제거 방안 타당성 검토 기준 자문회의

- 녹조발생 원인: 녹조발생 원인은 녹조 원인 식물플랑크톤이 성장하기에 좋은 조건으로 높은 영양염류(질소, 인), 햇빛(긴 일조시간), 긴 체류시간, 적정 수온 등을 들 수 있음. 이 가운데 햇빛, 수온, 강우에 의존하는 체류시간 등의 원인은 인간의 힘으로 어찌할 수 없는 것들임. 그러나 높은 영양염류는 인간 활동으로 인한 점, 비점오염원의 결과로 수질개선 노력을 통해 저감할 수 있는 영역에 해당됨. 총인관리에는 비용대비 처리한계가 있으며, 녹조가 발생가능한 인의 농도 역시 우리가 기대하는 수준보다 훨씬 낮다는 사실은 매우 비관적임. 우리나라에서 가장 빈번하게 녹조를 발생시키는 Mycrocystis, Anabaena, Oscillatoria, Aphanizomenon 속의 남조류는 질소, 인이 매우 낮은 열악한 성장조건에서도 우점하여 대발생할 수 있는 전략을 이미 가지고 있기 때문임. 농업용 저수지의 녹조발생 특성을 분석한 결과 녹조발생 수준인 Chl-a 100mg/㎥ 이상의 녹조발생 수준을 보이는 총인농도는 0.03~0.45mg/L으로 호소 수질환경 기준 중 농업용수 수질기준인 Ⅳ등급의 총인농도 0.1mg/L보다도 훨씬 낮은 0.03mg/L농도에서조차 녹조가 발생하는 것으로 나타났음. 이러한 결과는 총인 농도 관리만으로는 녹조발생을 방지할 수 없음을 시사하고 있음. 기후변화는 온난화와 극단화를 유발하여 동절기 결빙일 수 감소, 가뭄으로 인한 일사량 및 체류시간 증가 등 녹조 발생에 더 좋은 조건을 제공하게 될 것임. 농업용 저수지에서 녹조발생의 수온변화를 보면 3~32℃로 3℃의 낮은 온도에서도 발생 가능하였음.



[그림 42] 농업용저수지의 총인 농도와 수온이 Chl-a증가에 미치는 영향

○ **기존 녹조제거 방안에 대한 검토**

- **사업성격의 불명확성.** 녹조방지사업은 근원적으로 부영양화 방지사업 및 수질개선사업에 포함되며, 이로 인해 중복되는 사업이 될 수 있으며 이 때문에 녹조방지사업의 성격이 모호해질 수밖에 없는 문제를 안고 있다. 호소관리학적 관점에서는 녹조현상에 대한 처리기술 또는 관리방안을 직접적으로 조류발생을 유도할 수 있는 원인인 영양염류의 처리(미처리오폐수유입방지, 인의 고도처리, 수계 내의 인처리, 퇴적물 처리, 심층배수)와 녹조 발생시 처리(희석 또는 씻어냄, 생물학적 조절, 살조제 투여)에 초점을 맞추고 있다. 녹조방지사업의 또 다른 문제는 일반적인 부영양화 관련 사업이나 영양염류 제어 방식들에 의한 제어는 호소와 같이 폐쇄적인 특성을 가진 수체에서는 효과적일 수 있으나 하천과 같이 체류시간이 짧고 개방적인 수체에서는 그 효용성이 의심스럽다는 점이다. 시군을 대상으로 하는 녹조방지사업을 전제 조건으로 감안하는 경우 영양염류의 수체내 처리보다는 유입전 제어방안이 보다 합리적인 녹조방지사업의 대상이 되게 된다.

- **사업의 선정기준 모호.** 녹조현상에 대한 원인이 다양하고 이들이 매우 복잡하게 상호 연결되어 작용하기 때문에 국가적인 녹조방지대책이나 상수원지역에서 시행하고 있는 녹조방지사업의 선정기준이 모호할 수 밖에 없는 문제점을 안고 있다. 특히 자자체에서 시행하고 있는 녹조방지사업은 정부에서 시행하고 있는 녹조방지대책의 성격과 상이하며, 일관된 원칙 하에서 선정되었다고 보기 어렵다. 2001년 충청북도에서 승인받아 녹조방지사업의 일환으로 시행되고 있는 인공식물섬 조성, 수변식생 도입, 하천자동보 설치 등은 궁극적으로는 녹조방지 측면과 관계가 있으나 직접적인 관련성은 희박하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 앞서 논의된 바와 같이 녹조방지 사업의 근본적인 정책 결정 방향의 설정이 절실하다. 대안으로 녹조현상을 사전에 예방할 수 있거나 발생을 유발하는 물질의 저감에 기여도가 높은 사업을 우선적으로 지원하고, 이와 같거나 유사한 기여도를 갖는 사람이라면 지역의 특성

을 반영한 사업을 우선 선정, 지원하는 것이 타당하다고 볼 수 있다.

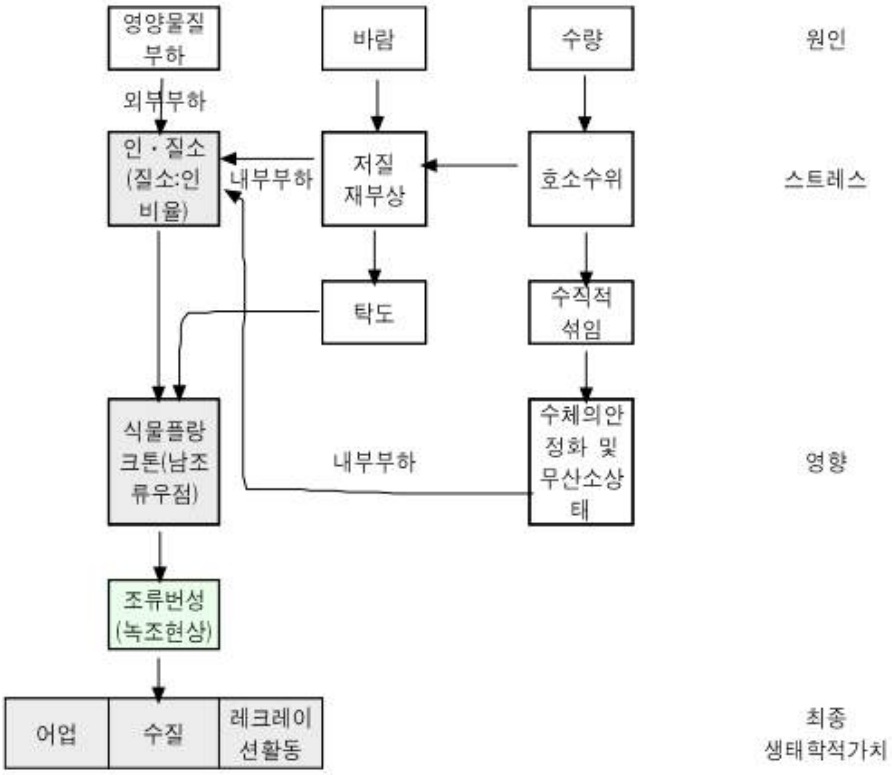
- **타 수질개선사업과의 차별성 부족.** 녹조현상의 원인은 ① 수계에 식물성장을 위한 영양물질의 과다한 유입, ② 수계내 유기물 축적, ③ 심층 산소의 부족으로 인한 영양물질 내부 부하가 직접적인 원인인 것으로 좁혀질 수 있다. 수계에서 조류가 이용할 수 있는 영양물질의 과다 유입은 수계의 부영양화를 유발하고 조류가 과다한 영양물질을 이용하여 대발생을 일으키게 되므로, 녹조발생은 수계의 부영양화에 직접적으로 기인한다. 녹조방지사업은 광의의 의미에서 수질개선사업 및 부영양화 방지사업과 어쩔 수 없이 중복되지 않을 수 없다. 수질은 수중의 모든 물질을 다 포함하는 것이며, 또한 수계의 부영양화가 반드시 무기영양염류에 의해서만 진행되는 것은 아니기 때문이다. 실제로 녹조현상은 어떤 형태로든 수질 악화와 부영양화와 관련되기 때문에 이들 사업간의 명확한 차별성을 도출한다는 것이 매우 어렵다. 녹조방지사업은 녹조발생을 예방하는 측면 뿐만 아니라 녹조 발생 시 대책도 포함하여야 하기 때문에 다른 수질개선사업과 녹조방지사업의 차별성에 대한 원칙과 기준이 필요하며, 이러한 가이드라인에 따라 해당 지자체에서 녹조방지를 위해 시행할 수 있는 사업의 유형과 기준을 설정할 있도록 도와주는 정책 설정이 필요하다.

- **녹조현상의 원인규명 및 저감을 위한 기초 연구사업의 부족**. 녹조현상의 원인이 되는 질소 및 인의 기원과 수중에서 이들의 역동적 작용에 대한 기초 육수생태학적 연구는 절대 부족하며, 발생된 조류를 효율적으로 처리하는 기술 개발도 미흡한 실정이다. 환경기초시설의 오폐수처리 방류수는 갈수기의 하천 유지수량 확보에 중요한 요인으로 작용한 반면, 하천에 대한 질소·인의 오염원으로 작용할 수 있는 가능성도 크다. 하수처리가 새로운 오염원으로 작용하는 가능성에 대한 인식이 아직 부족할 뿐만 아니라 처리수가 인근 하천과 호소 수질 및 녹조발생에 미치는 영향에 대한 이해도 역시 제대로 파악되지 못한 실정에 있다. 점오염원 외에도 비점오염원은 우리나라와 같은 강우가 계절적으로 편중된 지역에서 수계 오염에 중요한 원인이 되고 있다. 비점오염원은 녹조현상의 직접적인 원인이 되는 질소·인과 같은 영양물질뿐만 아니라 홍수시에 유기물과 토사를 대량 수계로 흘러 들어옴에 따라 녹조발생의 잠재성을 높이는 결과로도 작용할 수 있기 때문에 앞으로 반드시 고려되어야 하는 오염원이다.

○ **녹조제거 방안 제시**

- **녹조방지사업의 성격 및 원칙의 설정**. 녹조방지사업은 녹조발생에 직접적으로 관련되는 원인을 예방하거나 해결하고 녹조발생 시 처리를 위해 필요한 행위를 모두 포함하는 사업으로의 규정이 타당하다. 녹조발생 예방사업, 녹조발생 원인물질 처리, 발생 시 녹조제어 사업으로 구분할 수 있다. 녹조발생의 직접적인 원인이 되는 영양염류의 유입 방지 및 유입 전 처리에 관한 제반 사업은 부영양화 방지사업과 중

복되지만, 녹지방지사업의 범주에 포함되는 것을 원칙으로 하되 필요시 부영양화방지사업에서 다룰 수 있는 융통성을 부여하는 것이 적절할 것이다. 녹조현상이 수계의 부영양화와 직접 관련되지만 녹조방지사업을 부영양화 사업과 차별화할 수 있는 근거는 아래 그림에서 설명이 될 수 있는데 녹조발생을 유도하는 여러 가지 요인간의 인과관계가 설명되지만, 직접적인 녹조현상의 원인은 영양물질의 부하임을 보여준다. 환경부의 용역사업 결과에 따르면 팔당상수원유역 전체 오염량 중 비점오염원의 기여도는 발생량 기준으로 20%(배출량 기준 44%) 수준으로 점오염원의 문제가 해결되는 정도만큼 상수원의 근본적인 수질개선을 어렵게 하는 주요 요인으로 대두되고 있어 앞으로 중점관리 대상 사업으로 부각되고 있다. 비점오염원 물질들 중에서 조류에 직접 이용되어 녹조현상을 유발하는 요인은 질소·인이며 이중에서도 무기이온성 질소와 인이 주 원인이다. 유기형태의 질소와 인은 조류에게 직접 이용되지 않으며 반드시 무기형태로 바뀐 후에야 이용되므로 이용의 속도와 정도가 달라 녹조발생에 미치는 영향이 다르다. 조류성장을 제한하는 영양염은 최종적으로 하나의 영양염이 제한하게 되나 일반적으로 자연 상태에서 조류가 필요로 하는 여러 가지 영양염들이 일정한 비율로 상호작용을 한다. 녹조발생의 주요 원인군인 남조류의 성장을 제한하는 영양염은 질소와 인이므로 수중에서 이들의 분자량 비율이 중요하게 작용할 수 있다.



[그림 43] 녹조현상에 관련된 여러 가지 요인들(송미영, 2001)

- 녹조현상은 부영양화현상과 그 원인 측면에서 중복될 수 있으나, 실제로 작용하는 영양염은 질소·인 그 중에서도 무기성 질소와 인에 일차적으로 국한되므로 녹조현상의 예방적 차원에서는 무엇보다 조류에게 직접 이용되는 무기성 질소와 인의 저감 및 처리에 초점을 맞추어야하고, 그 다음으로 유기물질이 무기성 인으로 변환될 수 있는 잠재력을 저감하거나 제거하는 측면(심층무산소대 제거, 심층수배제, 저니층 제거 등)이 고려되어야 한다. 문제는 질소·인의 오염기여도에 대한 파악이 시작되고 있는 상황에서 이들 물질의 수체 내 존재 형태에 따른 현황의 파악은 기초적인 연구사업 등이 상당히 진전되어야 가능하다는 것이다.

○ **녹조현상 원인물질의 수체내 처리**

- **물리·화학적 방법**. ① 준설. 하천과 호수에서 가장 일반적인 수질개선 방법으로 알려져 있는 준설은 많은 양의 유기물 및 영양염류를 포함하고 있는 저질을 제거하는 방법으로 하천에서의 준설은 그 효과에 대한 논란이 계속되고 있다. 호소에서의 준설은 수질개선 대책으로 가장 효과적인 것으로 나타날 만큼 그 효과가 입증된 방법으로 저질의 준설을 통해 저수층의 용존산소를 회복하고 수심의 유지·확보에도 효과적이다. 호소 퇴적물 내 용출 가능성이 있는 인은 수중 농도의 최고 50배까지 나타나는 경우가 있으며 이러한 퇴적물을 5~15cm 정도 제거하는 것이 효과적이다. 준설토의 처리나 시간 경과에 따른 저니가 퇴적 가능성이 있어 근본처리대책은 될 수 없고 저서생물에 대한 영향과 준설 또는 준설 직후 저질 표면의 교란에 의한 수질 악화가 우려되기도 하며 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. ② 피복. 피복은 호소내 영양염류 억제법으로 화학적으로 안정한 물질을 피복하여 저질로부터 영양염류의 용출을 제어하는 방법이다. 피복에는 모래, 토양, 점토 및 플라스틱 등을 사용하는데, 준설보다 비용적인 측면에서 다소 유리하지만 피복재에 따른 피복 두께의 정화 효과를 검증할 필요가 있고 피복재에 유해물질이 포함되어 있는 경우 2차 오염 가능성과 피복재 투입에 의한 이·치수 용량 감소 등의 문제가 있는 것으로 보고되고 있다. ③ 응집·침전처리. 응집·침전처리는 고도처리에서 철염 또는 알루미늄염 등의 응집제를 첨가하여 부유성 유기물질 처리와 무기성 인을 불용성 인산화합물로 침전·제거하는 방법이다. 유기성질소가 응집제의 투여에 따른 침강성 증대로 제거되는 경우도 있으나 일반적으로 질소의 제거효율은 극리 미미한 것으로 알려져 있다. 하천에 적용하는 경우는 유입하천의 인 부하가 높은 경우에 적용하며 별도의 반응시설과 발생하는 슬러지 처리 등 유지관리가 요구되어진다. 호소에서는 수심이 다소 깊고 면적이 작으며 저니의 부상이나 이동이 적은 경우에 적용 가능한 반면 별도의 유지관리가 요구되지는 않는다. 이 방법은 응집제 투여 직후에 즉각적인 인의 감소를 유도할 수 있어 단기간에 적용하기에는 유리할 수 있으나 꾸준한 응집제의 투여가 수반되어지지 않는다면 그 효과가 길지 않은 것으로 알려져 있다. ④ 희석. 하천에서는 영양염류가 적은 물을 도수하거나 복류수를 사용하고, 호소에서는 댐이나 하천의 저층수를 방류함으로서 영양염류의 농도를 희석시키고 체류시간을

단축하는 효과를 나타낼 수 있는 방법으로 조류가 다량 발생한 지역에서는 조류의 희석 효과도 기대할 수 있다. ⑤ 폭기. 하천에서의 폭기는 하천 스스로의 정화작용 즉, 자정작용을 촉진하기 위해 실시하며 시설 설치가 간단하고 하천 상하층간 혼합·희석 효과를 기대할 수도 있으나 오염이 심하게 진행된 하천에서는 그 효과를 기대할 수 없다. 결빙기에 사용하기 불가능하여 사용 실적이 적고 수질개선 효과가 불확실한 측면이 단점이다. 호소에서의 폭기는 수심이 깊은 호수에서 발생되는 성층현상에 의한 심수층의 산소 고갈을 저감하기 위하여 사용되는 방법으로 폭기 방법에 따라 심층, 전층 폭기의 2가지로 구분할 수 있다. 전층 폭기는 심수층의 산소 전달 외에도 식물플랑크톤의 억제, 물의 이용 교란을 통한 남조류의 증식억제효과가 있는 것으로 알려져 있다.

<표 11> 물리·화학적 방법 특징

구 분	원 리	장 단 점	처리효율(%)			사 례
			BOD	TN	TP	
준설	다량의 영양염류가 포함되어 있는 저질층 제거	◦저질의 영양염류 용출에 의한 수질 기여도가 큰 경우 효과적 ◦시간경과에 따른 재퇴적 우려 ◦많은 비용이 소요됨	-	-	-	◦팔당호 시험 준설 ◦Gioraltar호 (미국) ◦추방호(일본)
피복	저질층의 피복으로 영양염류 용출 억제	◦저질의 영양염류 용출에 의한 수질 기여도가 큰 경우 효과적 ◦시간경과에 따른 재퇴적 우려 ◦피복재질에 따른 2차 오염 우려	-	-	-	-
응집·침전	응집제를 이용 수중의 용존성 무기인을 불용성 인산화합물로 침전·제거	◦빠르고 검증된 정화효과 ◦침전슬러지 처분이 요구됨	40~60	-	90	◦Medical호 (미국) ◦Lang호 (스웨덴)
희석 및 체류시간 단축	영양염류가 적은 물의 도입을 통한 희석효과 및 체류시간 단축을 통한 플래쉬 효과	◦인공호소에 효과적 ◦하천 및 댐의 수문학적 관리와 병행해야 함	-	-	-	◦Snake호 (미국) ◦Green호 (미국)
폭기	폭기에 의한 저층의 용존산소 회복에 따른 저질의 영양염류 용출 억제	◦저질의 인용출 부하가 큰 경우 효과가 뛰어남 ◦운영 관리비용이 큼 ◦저니 부상에 의한 탁도 증가 우려	-	-	-	◦중랑천 ◦시화호 ◦Brunnsviken호(스웨덴)

※자료: 도시지역 비점오염원 관리방안 연구, 1997; 하천 및 호소의 정화방안, 국립환경과학원, 2000

- 생물학적 방법. ① 접촉산화법. 접촉제의 표면에 오염물질이 부착하여 접촉제에 부착 성장학 있는 미생물에 의해 정화되는 공법으로 접촉제는 미생물 부착이 쉽고 표

면적이 크며 공극률이 높은 재질을 주로 사용한다. 자갈, 끈, 폐타이어 등이 접촉제로 사용되는데 접촉재재질과 하천 환경의 영향에 따라 처리 효율이 매우 유동적이다. 서실 투자비가 저렴하며 처리 효율이 여러 연구 결과를 통해 검증된 반면 유입수의 오염부하가 큰 경우 적용성이 떨어진다. ②산화지. 조류를 부유상태로 수면에서 성장시켜 조류에 의한 광합성과 공기 중의 산소로 호기성 상태를 유지하여 오염물질을 처리하는 공법이다. 일반적으로 수질 정화에 이용할 수 있는 조류로는 수중에 부유하는 미세 조류인 식물성 플랑크톤류, 얇은 피막 형태로 돌이나 수생식물 등에 부착하여 성장하는 피막상 부착조류 및 수십cm 단위의 사상체 군체를 형성하는 사실상 조류가 있다. 수심, 저류시간, 수온 등에 따라 제거효율이 유동적이며 일반적으로 수심을 1.5m 이하로 유지하여야 산화지를 호기성으로 유지할 수 있다.

<표 12> 생물학적 처리방식의 특징

구분	원리	장단점	처리효율			사례
			BOD	TN	TP	
접촉산화	접촉제의 표면에 부착된 미생물에 의한 오염물질 처리	◦별도의 설비가 없음 ◦유지관리 용이 ◦넓은 부지 소요 ◦동절기 제거효율 저하	10~79	5~95	1~60	충남 마산저수지, 탄천, 군포시 당정천 외 다수
산화지	조류의 영양염류 흡수 등을 이용한 처리	◦계절에 따른 부하변동에 강함 ◦주기적인 제거가 요구됨	-	40~60	50~70	안익성 등 실험결과

※ 자료: 한강수변구역관리 기본계획 및 설계용역, 환경부, 2001, 소하천 정화기술에 대한 연구, 대한환경공학회 ’96추계학술연구발표회, 호기성 고속 산화지 영양염류 제거, 대한환경공학회 ‘98추계학술연구발표회

- 생물을 이용한 영양염류 제거기술. 녹조발생을 억제하기 위해서는 영양염류의 양을 제어하는 것이 효과적인데, 이를 위해 최근 시도되고 있는 방법은 수생식물을 이용하는 방법이다. 호소나 하천의 정체수역으로 유입하는 오염물질을 수생식물에 의해 흡수·제거하는 것이 기본적인 원리이고 수생식물의 차광효광 의한 조류발생 억제도 부가적인 효과이다.

<표 13> 수생식물의 수질정화 적용성

구분	항목	정수식물				부엽식물		침수식물		부수식물		
		갈대	줄	애기부들	미나리	마름	연꽃	새우가래	검정말	좀개구리밥	생이가래	부레옥잠
유기물 제거능	근대발달도	○	○	○	○	△	△	X	X	△	△	○
	산소결핍도	△	△	△	X	○	○	○	○	○	○	X
	잔사생물부착도	○	○	○	○	△	△	△	△	X	X	△
영양염류 제거능	생체량	○	○	○	△	△	△	△	△	X	X	○
	질소 · 인 함량	X	X	X	△	△	△	○	○	○	○	○
	증식속도	X	X	X	△	△	X	X	X	○	○	○
재배	지하경	X	X	X	○	△	X	△	△	○	○	○
	내한성	△	△	△	○	△	△	△	△	○	△	X
수반	생육수심	△	△	△	○	X	X	X	X	○	○	○
운반	수분함량	○	△	△	△	△	△	X	X	X	X	X
재이용	사료,비료전환도	○	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○

주) ○: 양호, △: 보통, ×: 불량

※ 자료: 환경부 인터넷 자료(2001)

- 수생식물을 이용한 정화기법을 도입하는 경우에는 다음과 같은 고려사항을 염두에 두어야 한다. 도입하는 수질정화 식물의 종류에 따라 오염물질의 흡수·제거기능과 재배관리, 수집, 운반 용이성 및 재이용성이 다르며, 정화방식으로서의 장·단점이 달라 처리대상, 처리장소의 조건에 맞게 적용을 충분히 고려해야 한다. 미나리, 부레옥잠, 생이가래 등 부엽 및 침수식물이 주로 활용되어 왔고 갈대, 주울, 부들 등의 정수식물을 이용한 정화시설은 상대적으로 미흡하다는 점을 감안해야 한다. 이들 식물을 식재하는 방식이나 관리방식이 적절해야 가을이나 겨울에 이들 식물이 순환되는 과정에서 수체에 영양물질을 증가시키게 되는 역부과 현상을 조절할 수 있다.



[그림 44] 수생식물을 이용한 정화기법 오산천 사례 ©김정수

○ **녹조발생 시 제어방안**

- 살조제 처리. 수도용 저수지에서 사용되어 온 방법인 살조제 처리는 황산동을 이용하는 경우가 일반적이었는데, 과망간산칼륨을 이용한 경우 살조력 외에도 남조류에 필요한 철을 산화하고 남조류에 이용되지 않는 형태로 저질에 침전되어 증식을 억제한다는 보고가 있다. 수심이 유사한 정도의 하천의 경우 황산동의 단순한 살포보다는 살포와 함께 폭기를 하는 것이 살조효과를 높일 수 있다고 알려져 있다.
- 황토흙 살포. 황토의 콜로이드 입자가 조류를 응집·침전하는 방법으로 조류가 발생된 지역에 살포하여 직접 침전·제거하거나 차광 효과에 의해 조류의 발생을 억제할 수 있다. 국내에서 구입이 용이하며 해양 적조 발생 시 그 효과가 입증된 방법이다.

- 부상분리법. 부유물질에 작은 기포를 부착시켜 비중을 작게 하여 물의 표면에 정지시켜 물로부터 분리하는 방법으로 물보다 더 무거운 밀도를 가진 오염물질도 부상시킬 수 있어 응집제를 살포하여 부상분리에 의해 제거하는 방식이 주로 사용된다. 처리시간이 짧으며 미량인 유기 오염물질의 제거에 효과적인 것으로 알려져 있다.

○ **사업시 고려사항**

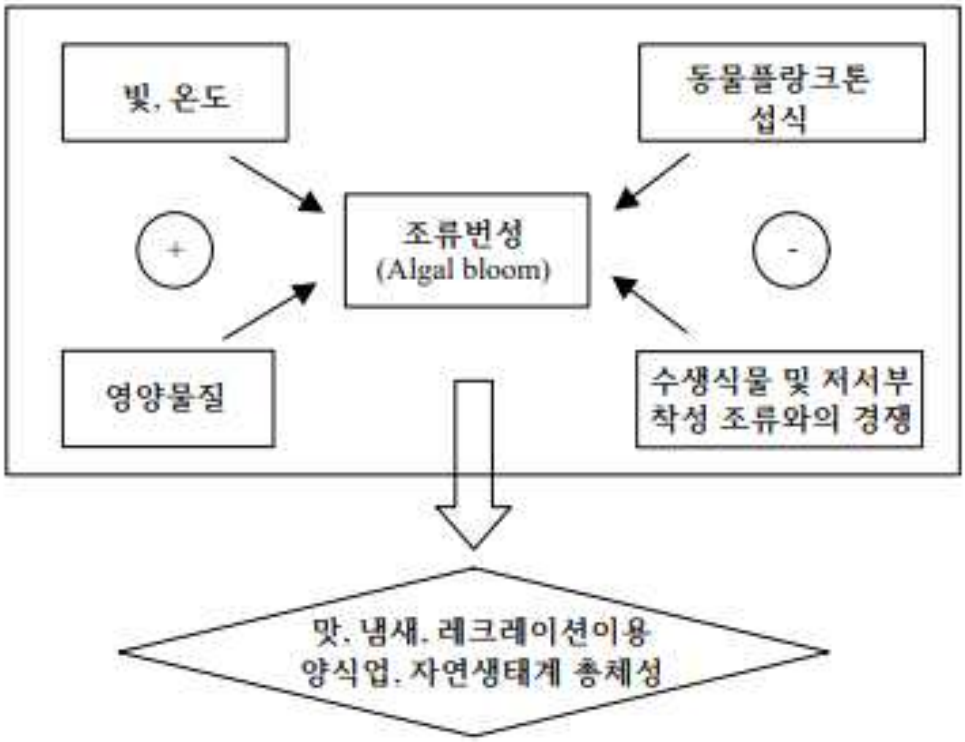
- 첫째, 호소나 하천은 유입되는 하천이나 지천들을 포함하여 긴 거리를 흐르거나 포괄적인 유역에 걸쳐 일어나는 현상을 받아들이는 복잡한 구조와 역학관계를 가진 생태계이다. 이러한 생태계 내에서 각종 영양물질과 생물 그리고 물리적인 환경조건 들 간의 상호작용의 결과 나타나는 녹조현상은 결과적으로 종합적이고 체계적인 수질관리를 의미하며 이는 현실적으로 해결하기 어려운 문제이다. 녹조현상을 포함하는 부영양화 정도를 정확하게 판단하기 위해서는 판단의 근거가 되는 ① 녹조의 종류, ② 유역형태 및 특성, ③ 유입 하천의 수리수문 및 수질 특성 등이 세부적으로 확보되어야 하는데 다각적인 협력과 연구가 필요하다.

- 둘째, 하수의 고도처리는 질소와 인 등의 저감효과가 있어 장기적으로 수질개선 및 녹조방지에 가장 튼 영향을 줄 수 있으나 기존의 1차 처리에 필요한 시설도 확충을 제대로 하지 못하고 있는 상황에서 고도처리에 소요되는 비용과 비용 대비 저감 효과 간에 효용성 문제도 심도 있는 연구가 필요한 분야이다. 이러한 문제는 오염관리가 전제되지 않는 상황에서 1차 처리시설과 고도처리의 확충이 수반된다 해도 결과적으로 질소와 인의 총량이 저감되지 않는 경우 더욱 심각해진다고 볼 수 있다.

- 셋째, 일반적인 수계의 수질정화의 목적 중 녹조방지사업과 관련이 있는 항목은 질소와 인 등의 영양염류인데, 하천의 경우 이들 항목은 달성해야 할 환경기준의 대상이 아니다. 단지 하천수가 취수원으로 사용되는 경우 이용수 수질의 확보 측면에서 이취미 등의 발생을 유도하느냐가 주요한 관심 대상이 될 뿐이다. 게다가 수질항목에 따라 그 정화방식이 다르고 효율도 제각각인데 조류발생과 직접적인 관련이 있으며 부영향화의 주요 원인으로 간주되고 있는 영양염류의 제거는 미생물이나 수생식물 등의 활동에 의해 영양염류를 흡수, 동화, 산화, 분해하는 생물학적 방법과 응집, 응결작용에 의해 인을 제거하는 물리, 화학적 방법이 있다.

- 넷째, 조류의 대발생은 직접적인 원인으로는 영양염류의 증가, 다음으로 이들의 증가를 유발하는 유기물의 증가이며 결과적으로 유역내 모든 물질의 동적 변화와 불가분의 관계에 있어 외국에서도 구체적인 녹조방지사업 보다는 유역관리 측면의 접근을 주로 하고 있다.

- 다섯째, 기초적인 시설의 설치 등에 주력하되 축산분뇨와 비료 등의 비점오염원 관리에도 노력을 기울여야 한다. 비점오염원으로부터 질소·인의 유출은 연간 수차례 폭우 시에 집중되어 나타나며 갈수기에는 거의 유출되지 않는 것이 일반적이므로 유역으로부터의 토양 침식과 유출을 억제하는 종합적 토지관리가 전제되어야 한다.



[그림 45] 조류번성과 관련된 요인 및 상호작용의 형태(송미영, 2001)

(+는 증가형태이며, -는 감소작용을 의미)

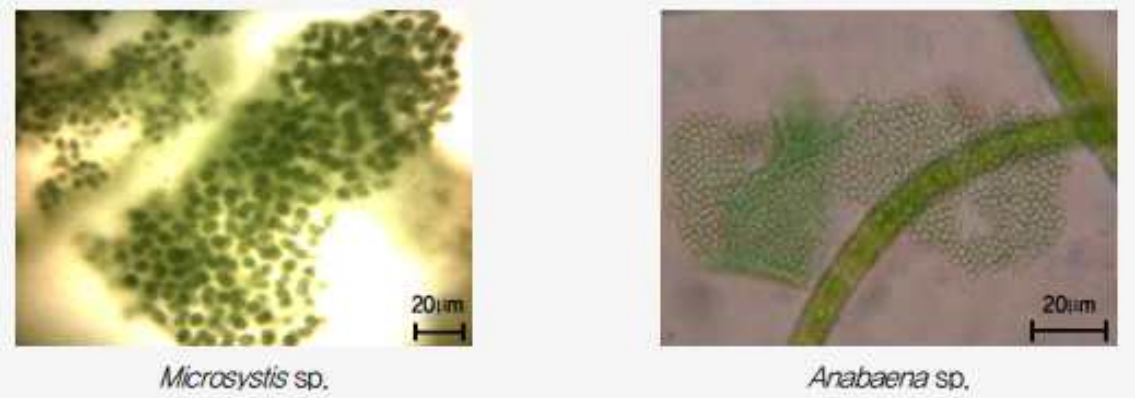
6.2 청정호소 유지 관리를 위한 방안

- 호소 녹조 관리 방안. 농업용 저수지와 같이 물이 정체된 수역에서 물 속의 영양분(질소, 인)을 이용하여 식물플랑크톤이 단시간에 급격히 증가하여 초록물감을 뿌려 놓은 긋 물색이 변화하는 현상이 발생한다. 그 원인은 원시 식물인 식물플랑크톤이며 대표적 물 속의 생산자이다. 수온, 햇빛, 영양분 등의 환경조건이 적절할 경우 폭발적으로 증식할 수 있으며, 특히 남조류는 독성을 가진 광합성 세균으로 열악한 조건에서도 대량 발생할 수 있는 능력을 가지고 있다.



[그림 46] 농업용 저수지 녹조 발생 모습(※자료: 남귀숙, 2013)

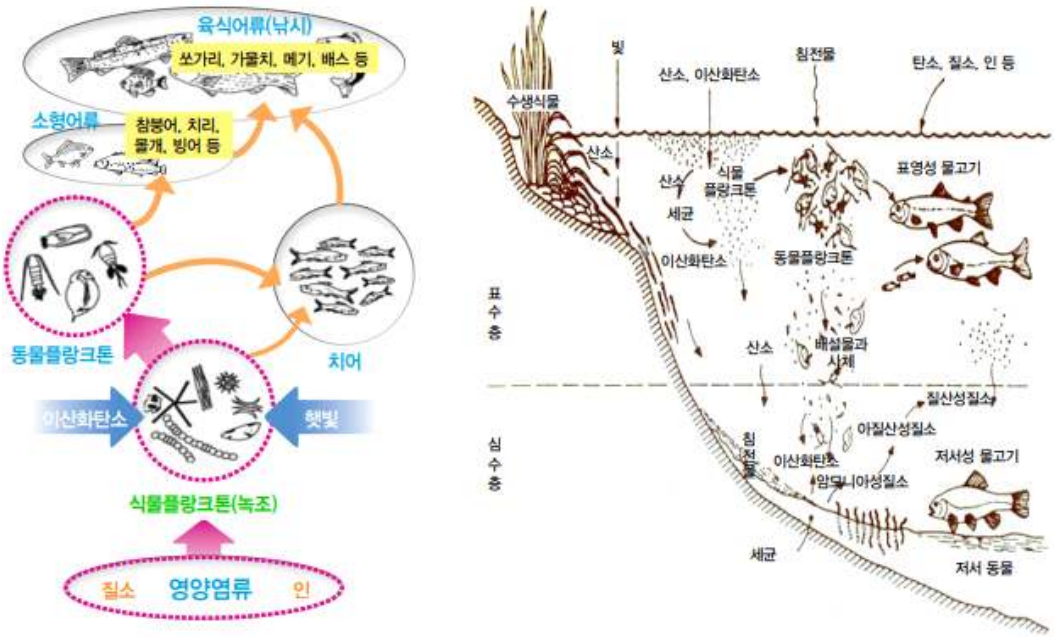
- 녹조를 유발하는 생물은 식물플랑크톤이라는 원시식물로 남조류, 녹조류 등이 있으며, 우리나라에서 가장 빈번하게 녹조를 발생시키는 종은 남조류에 속하는 *Microcytis, Anabaena, Oscillatoria, Aphanizomenon* 속의 종들이다. 봄철의 경우 겨우 내 유입된 오염물질과 관개기 써래질한 농경배수가, 가을철의 경우 강우기 동안 유입된 오염물질과 호소 내 수생식물의 사멸과 분해에 따른 영양염류 유출 등이 원인이며, 봄, 가을 모두 긴 일조시간과 높은 일사량, 체류시간 증가 등이 녹조 발생에 더욱 좋은 조건을 제공한다.



[그림 47] 녹조 원인 남조류(※자료: 남귀숙, 2013)

○ **녹조발생 수역의 호소생태계 특성**

- 저수지, 담수호, 댐호 등 호소는 단순한 이화학적 수체가 아니라, 수많은 생명체가 먹고 먹히며 평형을 유지해 가는 복잡 다양한 시스템이다.
- 녹조가 발생하는 호소생태계를 보면, 생산자(녹조생물)의 기능이 지나치게 과장되어 있으며, 이들을 포식하는 1차 소비자의 생태적 기능이 정상적으로 운용되지 않는 것을 관찰할 수 있다. 실제 녹조발생수역에서 동물플랑크톤 분포특성을 보면, 유기물이나 세균을 섭식하는 윤충류가 전체 플랑크톤의 97%를 차지하고, 식물플랑크톤을 포식하는 지각류는 2%에 불과한 것으로 나타났다.
- 녹조가 발생하지 않는 깨끗한 호소에서는 이들 먹이관계가 동적 평형을 이루어 정상적인 물질순환이 이루어지며, 모든 생명체들이 각자의 역할을 충실히 이행하여 건강한 호소생태계를 이루고 있다.
- 장기간의 오염상태와 생산자와 과자 성장이 호소생태계 먹이망을 비정상적으로 왜곡시키고, 생태계 물질 순환이 균형을 잃어 녹조발생이 더욱 심화되는 악순환을 유도하게 된다.
- 녹조 문제를 해결하기 위해서는 생태기능 회복과 생태관리가 해답으로 제시되고 있다. 생태기능이란 저수지와 담수호, 댐호, 하천의 보구간 등 호소생태계는 영양염류인 무기물, 생산자, 소비자, 분해자 등에 해당되는 다양한 생물들이 각각 생태적 지위(ecological niche)를 가지며, 복잡하고 다양한 동적 평형의 항상성을 유지하고자 하는 기능을 생태기능이라 한다. 각 생태 기능 구성원들이 생태기능을 원활히 수행할 경우 위협요소가 다소 발생하더라도 정상적인 상태를 유지할 수 있느 완충능력을 가진다. 녹조발생 수역의 생태계 생태기능을 회복하여 정상화시킨다면 녹조발생을 효과적으로 줄일 수 있다.

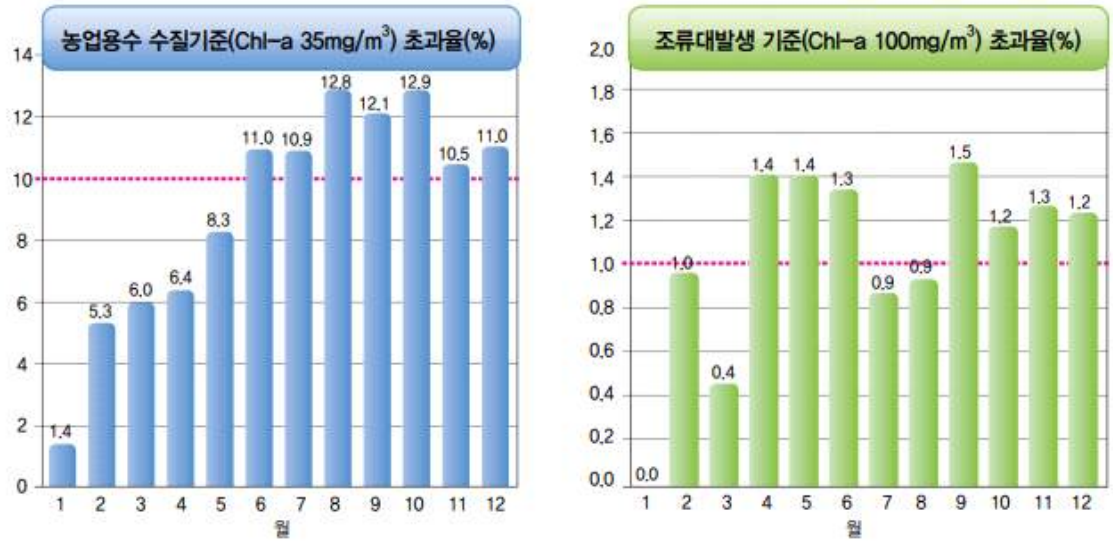


[그림 48] 호소 생태계의 먹이망과 구조

- 녹조 발생 정도를 나타내는 단위에는 2가지가 있다. 식물플랑크톤의 엽록소 a 양을 측정하는 엽록소 a 항목(Chl-a, mg/㎥)과 남조류와 같은 유해조류의 개체수를 직접 계수하여 나타내는 식물플랑크톤 현존량(cells/ml)이 있다. 환경정책기본법에서는 호소 수질환경 기준으로 엽록소 a 농도를 등급별 기준으로 정하고 있으며, 조류경보제나 적조 발생 기준 등에는 엽록소 a 농도와 남조류 또는 적조 원인조류의 현존량을 함께 관리하고 있다. 농업용수 관리 기준은 환경정책기본법의 호소수질환경기준 Ⅳ등급으로 엽록소 a 농도 35 mg/㎥ 이하이다.

- 녹조발생 현황. 주요 농업용수인 수질측정망 시설(825개소)의 농업용수 수질기준인 엽록소 a(Chl-a) 35 mg/㎥ 초과율은 6월 이후 평균 10%를 상회하고 있으며, 녹조발생 기준인 Chl-a 100 mg/㎥ 초과율은 1% 내외를 보이고 있다. 녹조는 아래 그림과 같이 2월말 해빙과 함께 발생하기 시작하여 관개기인 6월까지 지속적인 농경배수 유입으로 녹조발생이 증가한 이후, 6월 말부터 8월까지의 강우기에 일부 주춤한 후 9월 이후 다시 증가하여 결빙기까지 지속되는 양상을 보이고 있다.

- 농업용수원에서 녹조가 문제가 되는 시기는 봄철 관개기와 가뭄이 겹치는 4~6월, 강우기 이후 가을철인 9~10월이다.



[그림 49] 농업용수 수질측정망 지구의 녹조발생 현황 (※자료: 남귀숙, 2013)

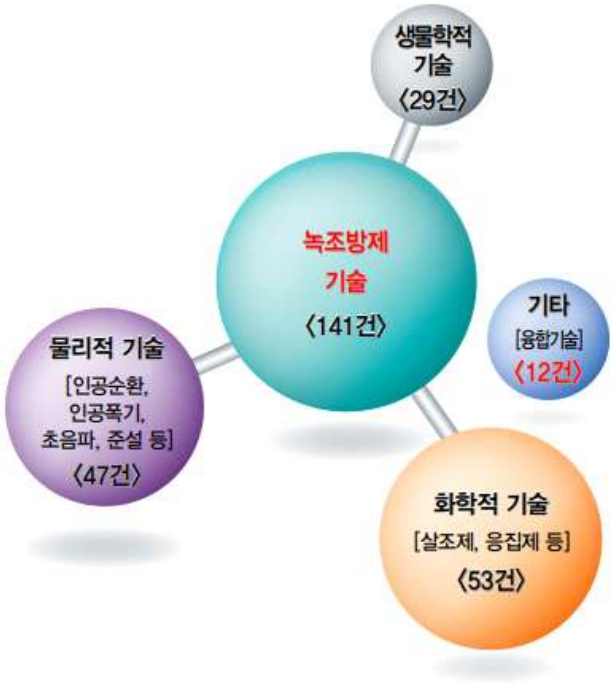
○ **녹조관리 기술**

- 녹조관리란 저수지와 댐, 정체 하천구간 등 녹조발생이 우려되거나 발생 빈도가 높은 수역을 대상으로 녹조발생을 사전 예방하는 예방관리와 녹조 발생 이후 발생된 녹조를 단시간에 효과적으로 제거하는 방제관리 등 녹조발생 피해를 최소화 하기 위한 다양한 대책의 적용을 말한다.

- 녹조관리 기술. 지금까지 국내에서 개발되어 산업재산권을 가진 녹조관리기술은 총 141건으로 화학적 기술이 가장 많았고, 물리적 기술, 생물학적 기술 순으로 물리화학적 기술이 전체의 72%로 대부분을 차지하고 있다.

- 녹조관리기술을 2가지로 구분할 수 있다. 녹조 발생 시점을 기준으로 사전 예방 기술과 사후 방제 기술로 구분할 수 있다. 사전예방기술로는 물리적 기술 일부(인공순환, 인공폭기, 준설)와 생물학적 기술(천적, 식물, 살조 미생물 등) 등이 해당된다. 사후 방제 기술로는 화학적 기술과 물리화학적 기술 등이 해당된다.

- 녹조관리 기술은 신속한 제어능력(신속성), 지속적인 효과(지효성), 생태안전성, 경제성 등이 확보되어야 하며, 피해 최소화를 위해 사후방제보다 사전 예방관리가 우선시 되어야 한다.



녹조방제 기술분야	종 류	특허 출원수
생물학적 제어방법	식물	9
	천적미생물	2
	어패류	1
	살조세균/곰팡이/바이러스	12
	생물막/슬러지	5
	총계	**29**
물리적인 제어방법	차양	2
	심층폭기와 강제순환	16
	초음파/충격파, 오존/자외선	10
	저온수/심층수 살포	2
	여과	2
	전기분해	12
	원심분리	1
	기계적 수거	2
	총계	**47**
화학적 제어방법	생물유래 추출물 살포	5
	방제장치	4
	화공약품 살포	11
	응집/부상/흡착제 살포	33
	총계	**53**
기타	물리, 화학 복합제어법	10
	생물, 화학 복합제어법	2
	총계	**12**

[그림 50] 국내 녹조 관리기술 특허출원 현황(※자료: 남귀숙, 2013)

7.소하천 수질개선을 위한 시범사업

7.1 시범사업의 개요 및 수질측정

가. 시범사업 목적

○ 본 연구는 충남 당진시 합덕읍 석우리에 위치한 석우천 상류에 소하천 수질정화설비를 설치하여 유입수의 수질과 정화 후 수질을 주기적으로 검사하여 수질의 개선상태를 분석하고 축적한 데이터를 활용하여 충남도 소하천의 수질관리 방안 수립하여 소하천 수질정화 관련한 조례 제.개정과 충남도 소하천 수질관리 정책 등에 제언하고자 한다. 연구기간 동안의 수질검사는 연구의 객관성과 중요도를 감안하여 충남도의회 연구모임에서 직접 주관하여 수행함으로서 연구 결과의 신뢰성을 담보한다.

나. 사업내용

1)사업위치 및 개요

(1)사업위치



[그림 51] 시범사업 위치(충남 당진시 합덕읍 석우리 702-5 일원)

(2)사업대상지 사전조사

사업대상지 위치는 [그림 55]와 같이 축사가 밀집된 지역으로 축산폐수 등이 다량으로 발생되어 석우천과 삽교천을 통해 최종적으로 삽교호로 유입된다. 이와 같은 고농도의 유기물질은 궁극적으로 삽교호의 수질악화와 녹조유발의 주된 요인으로 작용된다.



[그림 52] 연구사업 대상 지역 소하천 유입 오염원 분포

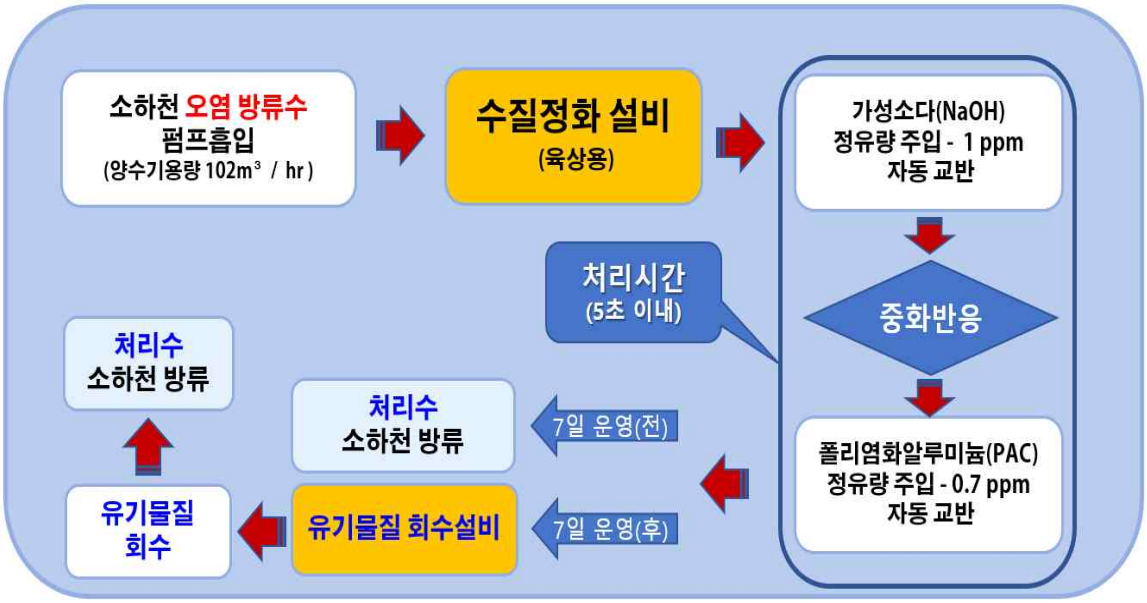
[그림 54] 연구사업의 수질검사 위치에서 보면 A,B,C 3개 소하천으로 구성되어 석우리교차로 부근에서 모두 합류되는 형태이다. 본 연구 사업은 B-소하천을 연구의 대상으로 정하고 수질정화처리 시설을 설치한다. 선제적으로 수질 정화한 후 하천으로 흘려보낸 이후 B-소하천의 수질 개선상태를 비교 확인한다.

2)소하천 수질정화설비의 기술 원리

(1) 녹조(유기물)제거 및 회수장치 메커니즘

석우천은 축산 폐수가 상시적으로 배출되어 흐르는 소하천으로 수량을 1일 1500톤 정도로 예상하고 약480톤(시간당 약60톤 x 8시간)을 처리한다.
유입수는 양수기를 이용하여 하천의 흐르는 물을 펌핑하여 수질정화장치로 공급, 1차로 가성소다를 1ppm을 정량 주입하여 pH를 강알칼리로 순간 변환하여 교반장치를 통과시켜 유기물을 미세 콜로이드 전하로 응결 유도한다.

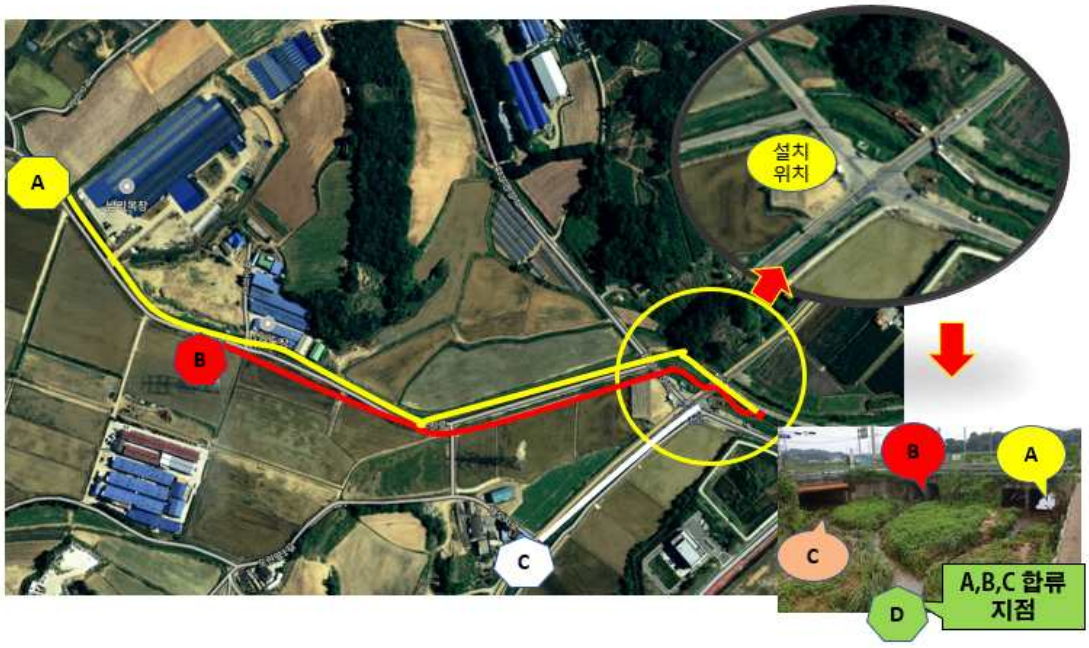
2차로 조류제거물질로 등록된 폴리염화알루미늄(PAC) 응집제를 0.4ppm 정도를 정량 주입하여 중화반응 후 강알칼리를 다시 중성(pH7.0~8.0) 으로 환원시켜 유기물을 응집처리 한다. 응집된 유기물은 여과기에서 모두 여과되고 회수장치를 통해서 회수된 유기물은 전량 회수하여 유기질비료로 재활용 된다. 여과된 처리수는 소하천으로 배출되며 유입에서 배출까지는 약 5초 이내로 연속공정으로 자동처리된다.



[그림 53] 소하천 수질정화설비의 처리 절차

다. 수질검사 계획

1) 위치



[그림 54] 수질검사 채수지점

2) 현장 설치

○ 오염원 현황

- 상류지역에 돈사와 우사가 혼재하여 분포하고 있어 하천에 대한 오염이 영향을 받는 것으로 나타나고 있음



[그림 55] 상류지역 오염원

○ 시범사업 처리절차

- 현장 시범사업 추진절차는 채수-입수-운반-약품(가성소다)투입-침전(PAC투입)-필터-흡착-배수-하천유입 순으로 설치되어 시범사업을 진행

○ 시범사업 주요시설



[그림 56] 현장 시범사업 추진 절차

- 현장 시범사업은 충청남도의회 이계양 의원의 참여와 함께 두 개의 그룹으로 역할이 나뉘어 진행이 됨.
- 연구용역수행 그룹은 (사)자치분권연구소에서 김정수 박사가 연구책임을 맡아 진행을 하고
- 현장 설비운영은 씨엠스코주식회사 최동우 부사장이 책임을 맡고 조점규 반장이 설비운영을 맡아서 진행이 되었음



[그림 57] 현장 시범사업 운영 조직도



[그림 58] 소하천(석우천) 유입수 수질개선을 통한 녹조예방 사업 연구시설

○ 시범사업 처리 효과

- 정성적인 측면에서 유입수와 처리후 수질을 육안으로 관찰할 수 있도록 현장에 전시



[그림 59] 소하천(석우천) 유입수(왼쪽)와 처리수(오른쪽) 비교

○ 시범사업 현장조사

- 현잠시범사업에 대한 처리현황을 파악하기 위하여 처리수에 대한 하천 유입 현장을 살펴보고 처리효과에 대한 정성적인 평가를 실시



[그림 60] 현장 시범사업 현장조사

3) 수질검사 항목 및 검사 횟수

○ 수질검사 항목은 하천의 생활환경기준 6항목(DO, 탁도, BOD, SS, TOC, T-P), 무기물질에 관한 기준 4항목(납, 구리, 카드뮴, 알루미늄), 미생물에 관한 기준 1항목(총대장균군), 기타 생태독성 검사 1항목으로 한다.

<표 14> 생활환경, 미생물, 생태독성 검사항목

항 목	세부항목	단위	기재방법 (표시자릿수)	시험시작 이전	시험운영 기간	종료후
현장측정	DO	mg/L		1회	5회	1회
	탁도	NTU				
영양염류	T-P (총인)	mg/L				
	BOD	mg/L				
	TOC	mg/L				
	SS	mg/L				
미생물	총대장균수	CFU/mL				
생태독성	• 생태독성				1회	1회
총 : 생활환경 7개 항목 + 미생물 1개 항목 + 생태독성 평가						

※ 검사용 시료는 시험 착수 전 선정하여 동일 장소에서 채수

<표 15> 건강상 유해영향 무기물질 검사항목

항 목	세부항목	단위	기재방법 (표시자릿수)	시험시작 이전	시험운영 기간	종료후
무기물질	납	mg/L		1회	1회	1회
	구리	mg/L				
	카드뮴	mg/L				
	알루미늄	mg/L				
총 4개 항목						

※검사는 연구하천의 인근 영향권 100m 이내에서 1곳을 선정하여 조사 실시

4) 검사의 구체적 방법

수질검사는 <표 16> 수질검사 일정표에 따라 시행한다. 구체적인 사항은 <표 17>, <표 18>,<표 19>의 내용으로 시행하고 「물환경정책법」 수질 및 수생태계 환경기준에서 하천의 건강보호기준과 생활환경기준에 따른다. 부가적으로 무기물질 4개 항목과 생태독성 검사를 추가한다.

검사 수행은 현장측정 항목 탁도, DO는 연구용역사에서 수행하고, 생활환경 기준의 분석항목과 무기물질 및 생태독성에 대한 검사는 충남보건환경연구원에서 수행한다.

<표 16> 수질검사 일정표

측정항목 / 일자	2020-11-01 (일)	2020-11-02 (월)	2020-11-03 (화)	2020-11-04 (수)	2020-11-05 (목)	2020-11-06 (금)	2020-11-07 (토)
경과일수					D-1	**D0**	D+1
1.생활환경기준 7개 항목					**4**	**4**	
2.중금속 4개 항목					**2**	**2**	
3.생태독성							
측정항목 / 일자	2020-11-08 (일)	2020-11-09 (월)	2020-11-10 (화)	2020-11-11 (수)	2020-11-12 (목)	2020-11-13 (금)	2020-11-14 (토)
경과일수	D+2	D+3	D+4	D+5	D+6	D+7	D+8
1.생활환경기준 7개 항목			**2**			**2**	
2.중금속 4개 항목							
3.생태독성			**1**				
측정항목 / 일자	2020-11-15 (일)	2020-11-15 (월)	2020-11-17 (화)	2020-11-18 (수)	2020-11-19 (목)	2020-11-20 (금)	2020-11-21 (토)
경과일수	D+9	D+10	D+11	D+12	D+13	**D+14**	D+15
1.생활환경기준 7개 항목			**2**			**2**	
2.중금속 4개 항목							
3.생태독성							
측정항목 / 일자	2020-11-22 (일)	2020-11-23 (월)	2020-11-24 (화)	2020-11-25 (수)	2020-11-26 (목)	2020-11-27 (금)	2020-11-28 (토)
경과일수	D+16	D+17	D+18	D+19	D+20	D+21	D+22
1.생활환경기준 7개 항목			**4**				
2.중금속 4개 항목			**1**				
3.생태독성			**1**				

주1)생활환경기준 검사항목 : DO, 탁도, BOD, SS, TOC, T-P, 총대장균군 (7개 항목)

주2) 무기물질 검사항목 : 납, 구리, 카드뮴, 알루미늄 (4개 항목)

주3) 생태독성 검사는 B-소하천 합류지점에서 2회 실시

<표 17> 생활환경기준(하천) 수질검사 계획

검사항목 / 위치	① B-소하천 (유입수)	② B-소하천 (배출수)	③ A-소하천 (합류직전)	④ B-소하천 (합류직전)	⑤ C-소하천 (합류직전)	⑥ D-소하천 (A+B+C 합류지점)	검사주기
실험시작 전	-	-	1회	1회	1회	1회	
실험기간 (15일)	5회	5회	-	2회	-	2회	
실험종료 후	-	-	1회	1회	1회	1회	
실험목적	수질정화설비 성능·효과 검증		B(소하천) 수질개선 효과 검증 A, C(소하천)와 비교			파급효과 확인	

<표 18> 중금속 수질검사 계획

검사항목 / 위치	① B(소하천) 유입수	② B(소하천) 배출수	③ A(소하천) 합류직전	④ B(소하천) 합류직전	⑤ C(소하천) 합류직전	⑥ A+B+C 합류지점	검사주기
실험기간	1회	1회		2회			

<표 19> 생태독성 검사 계획

검사항목 / 위치	① B(소하천) 유입수	② B(소하천) 배출수	③ A(소하천) 합류직전	④ B(소하천) 합류직전	⑤ C(소하천) 합류직전	⑥ A+B+C 합류지점	검사주기
실험기간		2회					D +4일 D+18일

5) 생활환경 기준 검사항목

수질검사는 하천 수질관리 항목 중 DO, 탁도, BOD, COD, SS, T-P, 총대장균수 등 생활환경기준 7개 항목으로 하며 <표 20> 하천 수질 등급 기준을 적용

주) DO,탁도 수질검사는 연구용역사의 자체 시험성적서로 대체한다.

<표 20> 하천 수질 등급 기준표 ①

하천 수질 환경 기준

수질 환경 기준

우리나라는 수역별, 항목별로 수질환경기준이 설정되어 있는데 수역별로는 하천, 호소로 구분하고 항목별로는 생활환경기준인 pH, BOD, COD,SS,DO, 대장균군수, 총질소, 총인 등 8개 항목과 사람의 건강보호기준인 Cd, As, CN, Hg, 유기인, Pb, 6가크롬, PCB, 음이온계면활성제등 9개 항목으로 구분하고 있다. 또한 등급별로는 하천·호소에 5개 등급(Ⅰ~Ⅴ)으로 구분하여 각각 기준을 차등설정하여 관리하고 있다.

한편, 환경기준 달성을 위해 하천주변의 오염원 분포, 지형, 수리현황, 수역의 동질성 등을 고려, 전국 195개 하천구간을 대상으로 수질목표등급과 목표달성기간을 설정하여 수질관리 목표로 삼고 관리하고 있으며, 1996년도에는 수질이 약간 개선되어 Ⅰ급수 27개, Ⅱ급수 40개, Ⅲ급수 이하가 128개 구간이었다.

구분	등급	이용목적별 적용대상	기준				
			pH	BOD (㎎/ℓ)	SS (㎎/ℓ)	DO (㎎/ℓ)	대장균군수 MPN/100㎖
생활환경	Ⅰ	상수원수 1급 자연환경 보전	6.5-8.5	1이하	25이하	7.5이하	50이하
	Ⅱ	상수원수 2급 수산용수 1급 수계용수	6.5-8.5	3 이하	25 이하	5 이상	1,000 이하
	Ⅲ	상수원수 3급 수산용수 2급 공업용수 1급	6.5-8.5	6 이하	25 이하	5 이상	5,000 이하
	Ⅳ	공업용수 2급 농업용수	6.0-8.5	8 이하	100 이하	2 이상	-
	Ⅴ	공업용수 3급 생활환경보전	6.0-8.5	10 이하	쓰레기 등이 떠 있지 아니할 것	2 이상	-
사람의건강보호	전수역	• 카드뮴(Cd):0.01㎎/ℓ이하 • 비소(As) : 0.05㎎/ℓ 이하 • 시안(CN), 수은(Hg), 유기인 : 검출되어서는 안됨 • 폴리크로리네이티드비페닐(PCB) : 검출되어서는 안됨 • 납(Pb) : 0.1㎎/ℓ 이하 • 6가크롬(Cr+6) : 0.05㎎/ℓ이하 • 음이온계면활성제(ABS) : 0.5㎎/ℓ 이하					

<표 21> 하천 수질 등급 기준표 ②

하천 수질 등급 기준표

등급	이용목적	특징	지표생물	BOD,COD	DO	pH
1급수	상수원급 1급	가장 맑고 깨끗한 물로 냄새가 나지 않으며, 그냥 마실 수 있다. 바닥의 모래알이나 자갈까지 자세히 보임	버들치, 버들개, 가재, 어름치, 갈겨니, 열목어, 금강모치, 산골플라나리아, 강도래, 하루살이류, 옆새우	1이하	7.5이상	6.5~8.5
2급수	상수원급 1급, 수산용수 1급, 수영용수	맑고 냄새가 나지 않는 물로써 그냥 마시지는 못하고 수영이나 목욕을 할 수 있다.	꺽지, 갈겨니, 피라미, 쏘가리, 은어, 다슬기, 날도래유충, 장구애비, 잠자리유충, 소금쟁이, 물장군	3이하	5이상	6.5~8.5
3급수	급수 상수원수 3급, 수산용수 2급, 공업용수 1급	황갈색의 탁한 물이며 바닥에 모래와 자갈이 깔려 있다.	붕어, 잉어, 메기, 우렁이, 뱀장어, 미꾸라지, 거머리, 달팽이, 조개류, 장구애비, 잠자리유충, 소금쟁이, 물장군	6이하	5이상	6.5~8.5
4급수	공업용수 2급, 농업용수	심하게 오염된 물이며 물고기가 살 수 없다.	실지렁이, 나방애벌레, 깔따구, 피벌레, 거머리, 종벌레	8이하	2이상	6.0~8.5
5급수	공업용수 3급	심하게 오염된 물	실지렁이, 나방애벌레, 깔따구, 피벌레	10이하	2이상	6.0~8.5

6) 무기물질 검사항목

연구 수행 중, 중금속 검사는 3회 실시한다. 검사항목은 납, 구리, 카드뮴, 알루미늄이온 4개 항목으로 한다. 특히 알루미늄 검사는 융복합기술인 소하천 수질정화설비에서의 중화반응제로 사용되는 가성소다와 폴리염화알루미늄으로 인한 알루미늄을 잔류 여부를 검사하여 친환경 기술임을 확인

7) 생태독성 검사

연구 수행 중, 생태독성 검사는 2회 실시하며 충남보건환경연구원에서 수행한다. 생태독성 검사는 융복합기술인 소하천 수질정화설비에서 중화반응제로 사용되는 가성소다와 폴리염화알루미늄으로 인한 생태독성 값 확인

라. 수질의 측정

1) 소하천 수질정화설비의 성능확인을 위한 수질 측정

(1) 연구 사업기간에 5회에 걸쳐 소하천 수질정화설비의 유입수(원수)와 배출수(정화수)를 <표 20> 하천 수질 등급 기준 에 따라 수질 측정함

(2) 최종 연구보고서 적용은 평균값으로 함

(3) 수질분석 결과는 일자별 항목별로 원수(처리 전)와 배출수(처리 후)로 구분하여 도표로 작성하고 개선정도는 비율로 표시함

2) 선제적 수질정화로 인한 'B-소하천'의 수질개선 확인 측정

(1) 연구시작일(D0)과 종료일(D+14) 수질검사 결과의 수치를 처리 전/후로 비교를 하여 개선 비율로 표시함

(2) 검증 항목은 DO, BOD, SS, TOC, T-P, 총대장균군으로 구분함

3) 소하천 수질정화설비의 중화반응(화학적처리)으로 인한 무기물질 검출 측정

(1) 소하천 수질정화설비는 융복합기술로서 화학적 중화반응을 이용한 수질개선 방법으로 이때 사용되는 화학물질로 인한 무기물질(중금속) 오염이 있는지 측정함

(2) 검사항목은 납, 구리, 카드뮴, 알루미늄 4개 항목으로 검증함

(3) 알루미늄 이온의 측정은 '먹는물 수질기준'을 적용함

(하천 관리기준 없음, 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙 제2조 적용)

4) 소하천 수질정화설비의 중화반응(화학적처리)으로 인한 생태독성 값 측정

(1) 소하천 수질정화 시설을 가동하고 D+4일차, 연구사업 종료 4일 후 각각 B-소하천 하류(배출구+50m지점)에서 채수하여 생태독성 측정함

(2) 중화반응(화학적처리)으로 인한 생태독성 유무를 측정함

7.2 시범사업 결과에 대한 수질의 평가와 분석

가. 수질의 측정 및 평가

1) 소하천 수질정화설비의 성능확인을 위한 수질측정 및 평가

평가는 시범사업 운영기간 중 5회에 걸쳐 실시하였고 결과값은 <표 22>와 같다.

○ 용존산소 5.2% 증가
○ 생물학적 산소요구량 80.8% 감소
○ 부유물질 72.8% 감소
○ 총유가탄소량 37% 감소
○ 총인 19.1% 감소
○ 총대장균군 97.3% 감소

<표 22> 수질정화설비 유입수/배출수 수질 측정 결과표

	DO (용존산소)				BOD (생물학적 산소요구량)				SS (부유물질)			
	원수	배출수	차이	개선비율	원수	배출수	차이	개선비율	원수	배출수	차이	개선비율
2020.11. 6. (D 0)	9.6	10	0.40	4.2%	2.6	1.6	1.0	38.5%	5.6	2.2	3.400	60.7%
2020.11.10. (D+4)	10.3	10.6	0.30	2.9%	1.8	0.6	1.2	66.7%	14.8	1.6	13.200	89.2%
2020.11.13. (D+7)	10.3	10.4	0.10	1.0%	0.7	0.6	0.1	14.3%	8	5.6	2.400	30.0%
2020.11.17. (D+11)	10.1	10.4	0.30	3.0%	1.3	0.7	0.6	46.2%	3.2	1.6	1.600	50.0%
2020.11.20. (D+14)	9.5	11	1.50	15.8%	18.6	1.3	17.3	93.0%	50.0	11.2	38.800	77.6%
평균	9.96	10.48	0.52	**5.2%**	5.00	0.96	4.0	**80.8%**	16.32	4.44	11.880	**72.8%**

	TOC (총유기탄소량)				T-P (총인)				총대장균군 (CFU/ml)			
	원수	배출수	차이	개선비율	원수	배출수	차이	개선비율	원수	배출수	차이	개선비율
2020.11. 6. (D 0)	4.6	5.4	-0.800	-17.4%	0.113	0.125	-0.012	-10.6%	11,000	27	10,973	99.8%
2020.11.10. (D+4)	5.7	2.7	3.000	52.6%	0.1	0.069	0.031	31.0%	17,000	33	16,967	99.8%
2020.11.13. (D+7)	3.6	5.3	-1.700	-47.2%	0.094	0.12	-0.026	-27.7%	3,900	220	3,680	94.4%
2020.11.17. (D+11)	4.5	3.2	1.300	28.9%	0.082	0.021	0.061	74.4%	13,000	49	12,951	99.6%
2020.11.20. (D+14)	13.8	3.7	10.100	73.2%	0.045	0.016	0.029	64.4%	7,000	490	6,510	93.0%
평균	6.44	4.06	2.380	**37.0%**	0.0868	0.0702	0.0166	**19.1%**	10,380	163.8	10,216	**97.3%**

2) 시범사업 하천(B-소하천)의 수질 측정 및 평가

평가는 시작일과 종료일로 정하고 B-소하천 하류 50m 지점에서 채수하여 유입수와 비교하여 수질정화 전/후 측정값을 <표 23>으로 작성하였다.

○ 용존산소 5.8% 증가
○ 생물학적 산소요구량 89.6% 감소
○ 부유물질 50.4% 감소
○ 총유가탄소량 51.1% 감소
○ 총인 62.0% 감소
○ 총대장균군 77.8% 감소

<표 23> 시범사업 하천(B-소하천)의 수질 측정 결과표

	DO (용존산소)				BOD (생물학적 산소요구량)				SS (부유물질)			
	처리전	처리후	차이	개선비율	처리전	처리후	차이	개선비율	처리전	처리후	차이	개선비율
2020.11. 6. (D 0)	9.6	9.8	0.2	2.1%	2.6	0.7	1.9	73.1%	5.6	14.0	-8.400	-150.0%
2020.11.20. (D+14)	9.5	10.4	0.9	9.5%	18.6	1.5	17.1	91.9%	50.0	13.6	36.400	72.8%
평균	9.55	10.1	0.6	**5.8%**	10.6	1.1	9.5	**89.6%**	27.8	13.8	14	**50.4%**

	TOC (총유기탄소량)				T-P (총인)				총대장균군 (CFU/ml)			
	처리전	처리후	차이	개선비율	처리전	처리후	차이	개선비율	처리전	처리후	차이	개선비율
2020.11. 6. (D 0)	4.6	3.8	0.8	17.4%	0.113	0.045	0.068	60.2%	11,000	490	10,510	95.5%
2020.11.20. (D+14)	13.8	5.2	8.6	62.3%	0.045	0.015	0.03	66.7%	7,000	3,500	3,500	50.0%
평균	9.2	4.5	4.7	**51.1%**	0.079	0.03	0.049	**62.0%**	9,000	1,995	7,005	**77.8%**

3) 수질정화설비의 화학적처리(중화반응)로 인한 잔존 무기물질에 대한 측정 및 평가

평가는 시범사업 운영기간 중인 시작일(D0)과 종료 4일 후(D+18) 2회에 걸쳐 실시하였고 측정값은 <표 24>와 같다.

○ 납, 구리, 카드뮴은 원수나 배출수에서 모두 검출되지 않음

○ 알루미늄 이온은 0.03mg/L ~ 0.05mg/L 검출

<표 24> B-소하천, 수질정화로 인한 무기물질(중금속) 잔류 측정 결과표

(단위 : mg/L)

무기물질 종류	납(Pb)			구리(Cu)			카드뮴(Cd)			알루미늄(Al)		
시험일자 / 구분	유입수	배출수	합류직전	유입수	배출수	합류직전	유입수	배출수	합류직전	유입수	배출수	합류직전
2020.11. 6. (D 0)	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	0.02	0.03	불검출
2020.11.24. (D+18)	-	불검출	-	-	불검출	-	-	불검출	-	-	0.05	-

4) 수질정화설비의 화학적처리(중화반응)로 인한 생태독성 측정 및 평가

평가는 운영기간과 시범운영 종료 후(D+18) 2회 실시하였고 측정값은 <표 25>와 같다.

○소하천 수질정화설비 배출수를 측정하였으나 생태독성 값 TU=0.0으로 확인

○ B-소하천 합류지점에서 측정하였으나 생태독성 갑 TU=0.0으로 확인

<표 25> B-소하천, 수질정화로 인한 생태독성 실험 결과표

생태독성	검사시료 채수 위치	측정결과		
시험일자		단위	측정값	비 고
2020.11. 6. (D 0)	수질정화장치 배출수 (B-소하천)	TU	0.0	충남보건환경연구원
2020.11.24. (D+18)	B-소하천 합류직전	TU	0.0	

나. 수질개선 분석

1) 소하천 수질정화설비의 수질정화 성능에 대한 분석

(1) 소하천 수질정화설비에서 처리되는 유입수/배출수 수질을 측정하여 분석한 결과 환경정책기본법 시행령 제2조의 3항의 하천 수질 등급 기준(생활환경)은 Ⅰ급수~Ⅱ급수로 매우 양호한 것으로 확인

(2) 실험 초기 수질관리는 다소 불안정한 상태이었으나 후반부에는 설비의 안정적인 가동으로 수질의 개선정도 역시 안전화가 되었으며 특히 총인(T-P) 감소율이 당초 장비지원용역사의 설명대로 60~70% 감소하는 것으로 확인

(3) 항목별 개선비율을 차트로 작성 함



[그림 61] 항목별 수질분석결과

2) 선제적 수질정화를 위한 소하천 수질정화설비의 시범운영에 대한 효과분석

(1) 수질정화설비에서 배출되어 본 하천으로 다시 흐르는 하천수를 유입수와 비교 측정한 결과는 TOC를 제외한 나머지 항목에서 Ⅰ급수로 수질개선 효과가 큰 것으로 확인

(2) 총유기탄소량 측정값은 Ⅲ등급 수질을 보였으나 <표 26> 보듯 시범사업 지역에 내린 39mm 강수량으로 인해 B-소하천 유입수 수질이 13.8mg/L로 Ⅵ등급 수질로 악화되었으나 수질정화설비 운영에 따른 효과로 5.2mg/L 까지 저감시켜 수질개선 효율성이 큰 것으로 확인



[그림 62] 항목별 수질분석결과

<표 26> 사업지(합덕읍) 월간 강우량

강우량 조회

일일 강우량 | 월간 강우량 | 연간 강우량 | 2020-11

(단위:mm)

일	당진시청	합덕읍	송악읍	고대면	석문면	대호지면	정미면	면천면	순성면	우강면	신평면	송산면	당진2동	당진1동	평균
10일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17일	3	10	3	3.5	0.5	1	4.5	8.5	7	11	6	2	0	2	4.4
18일	4.5	2	2.5	7.5	3.5	3	7	3	3	3.5	2.5	4	0	4.5	3.6
19일	42.5	27	42	46.5	33	40.5	51.5	43.5	29	33	35	36.5	0	45.5	36.1
20일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21일	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<출처 : 당진시 재난안전대책본부 >

3) 화학적처리를 병행하는 소하천수질정화설비의 처리공법에 대한 분석

시범사업에 적용된 소하천 수질정화설비는 기계장치를 기반으로 한 화학적 처리공법을 병행하는 융복합기술이다. 이는 화학약품으로 응집제를 수체에 직접 살포하는 기존의 기술과 다르게 가성소다와 PAC 최소량(1.4PPM)을 사용하여 중화반응을 일으켜 2차 환경피해 유발 없이 수질개선 효과는 매우 높은 것으로 본 연구를 통해서 확인되었고 화학물질에 사용에 따른 무기물질 잔존 여부와 생태독성에 대한 분석을 하였다.

(1) 무기물질의 잔존 유무 분석

무기물질은 납, 구리, 카드뮴, 알루미늄 4개 항목으로 2회 측정하였으나 알루미늄을 제외한 모든 항목은 '불검출'로 측정되었으며, 알루미늄 이온의 잔존유무에 대한 분석은 '먹는물 수질검사 기준 및 검사 등에 관한 규칙 제2조'에 규정된 0.2mg/L로 판단기준으로 분석하여 측정한 것으로 먹는물 기준치보다 현저히 낮은 0.03mg/L로 검출되어 인체에 무해한 것으로 판단하였다.

(2) 생태독성에 대한 분석

소하천 수질정화설비는 응결과 응집을 유도하는 가성소다와 PAC를 사용하는 것으로 기계장치를 기반으로 한 중화반응 장치이기도 하지만 화학물질을 사용함으로 인해 생태독성 값에 대한 측정을 하였다. 이에 따른 분석결과 생태독성 값 TU=0.0 무독성으로 측정되어 자연친화적인 수질정화 설비로 확인하였다.

8. 소하천 수질 개선 및 관리를 위한 기술 제안

1) 적용기술

정부는 매년 '통합집중형 오염하천 개선사업'에 수천억원의 예산이 투입하며 지난 10여년간 지속적인 노력을 해 왔다. 관련하여 녹조관련 기술도 2014년 기준으로 140여건의 녹조방제 기술이 특허 출원되었다. 이와 같은 많은 노력에도 불구하고 해를 거듭할수록 수질악화와 녹조 대발생은 각종 사회적문제로 대두되고 있다. 충남도 역시 BOD 기준하여 점오염 배출부하량은 일 46,591kg 이고 비점오염 배출부하량은 일 121,718kg 으로 점오염원 보다 비점오염원이 약 3배 정도가 많은 것으로 집계되고 있다는 점에서 본질적인 문제의 해결 방안으로 오염부하량이 큰 소하천의 선제적 수질관리 기술을 발굴 육성해야 할 필요성이 있다.

수질개선과 녹조방제 기술로는 살조제나 응집제를 수면에 분무하는 화학적 기술,인공순환, 폭기장치, 여과, 전기분해와 같은 물리적 기술, 미생물, 식물, 습지조성, 생태공원 등의 생물학적 기술, 그리고 융합기술이 있다. 녹조 관리기술은 녹조발생 시점을 기준으로 사전예방기술과 사후 방제기술로 구분할 수 있으며 본 연구 사업은 사전예방에 중점을 둔 기술로 소하천 수질정화설비를 이용하여 소하천의 수질이 매우 효과적으로 개선됨을 확인하였다.

소하천 유입수의 수질개선에 적합하도록 개발된 소하천 수질정화설비는 오염부하량이 높고 불특정 다수의 비점오염원이 본류 하천 유입전인 소하천에서 선제적으로 차단하여 수질악화나 녹조 예방이 가능하다. 제안기술은 기계장치를 이용한 화학적처리기술로서 화학물질은 수체에 직접 살포되지 않으며 기계장치 내에 1~2ppm 정도의 아주 적은양을 이용하는 중화반응을 장치가 구비되어 있어 2차 환경오염을 유발하지 않음을 시범사업을 통해서 확인되었다. 따라서 소하천의 수질정화에 현존하는 기술 중 가장 효율적이고 실효성이 있는 기술로 판단하고 충남도의 소하천 수질정화나 녹조예방 사업에 적용함에 있어 문제가 없음을 확인한다.
(시범사업에 적용된 소하천 수질정화설비와 소하천 유기물 여과 회수설비의 사진 참조)



[그림 63] 소하천 수질정화설비 설치 현장



[그림 64] 소하천 유기물 여과 및 회수장치

2) 적용조건

본 연구사업의 B-소하천은 축사 밀집지역으로부터 유발되는 축산폐수와 정화되지 않은 생활폐수가 일 1,500여 톤이 석우천을 따라 삽교천으로 합류되어 삽교호로 유입되는 곳이다. 이와 같이 폐수 유발지역에 설치하여 오염원을 선제적으로 정화하는 것은 호수의 수질 개선이나 녹조예방의 있어 가장 중요한 선조치로서 오염부하량이 높은 소하천부터 순차적 적용을 제안한다.

소하천 수질정호설비 1대가 최대 2,400톤의 하천수를 정화할 수 있으며 그 이상의 처리용량은 병렬로 배치하게 될 경우 추가 증설이 가능하다. 기계장치는 하천의 유휴부지를 활용할 수 있어 경제성 측면에서도 강점이 있으며 이동설치가 가능하여 수질 및 녹조 예방을 위한 도내 소하천 수질정화시설로 적합하다 판단하여 도입을 제안한다.

3) 적용비용

소하천수질정화설비는 분리형과 일체형으로 두 가지 모델로 구성되어 있으며 분리형은 수질정화장치와 여과 및 회수장치로 구성되어 있다.

(1) 일체형은 대략 1.5억 원 정도이고 분리형은 약 2억 원 정도로 확인되었다.
(2) 추가적으로 유기물의 처리나 재활용은 별도 협의사항이며 영구설비로 설치할 경우 별도의 간이 건축구조물이 필요하다.

4) 활용방안 제시

본 연구 시범사업에서 14일간 B-소하천 수질정화설비를 운영하며 회수된 농축수는 약 7m^3 이었으며 최종 농축된 유기물 2m^3이다. 이를 유기질 비료로 자원화하는 친환경 생태구조를 만들어 활용하는 방안을 제시한다.



[그림 65] 회수된 농축수





[그림 66] 최종 농축 유기물

5) 타당성 검토 결과 제시

본 연구는 시범사업을 통해서 기술도입의 타당성 검토는 기술적인 측면과 경제적인 측면을 종합적으로 고려하였으며 '소하천 수질정화설비'에 대해 충청남도의 선도적으로 도입 운영과 지방정부의 적극행정에 따른 성공 모델로 구축할 것을 제시한다.

(1) 기술적인 측면

◦ 소하천 수질정화시설로 성능이 우수한 융복합기술

◦ 2차 환경오염을 유발하지 않는 친환경기술

◦ 소하천 수질관리에 혁신적인 제품으로 유지관리 용이

(2) 경제적인 측면

◦ 오염부하량저감 초기대응으로 대규모 수질개선, 녹조방지를 위한 예산절감

◦ 대규모 하수처리시설 설치 불가피한 지역에 설치가능

◦ 기존의 생태습지 연계 시 기대효과 상승

9. 소하천 수질개선 및 관리를 위한 기술 적용 로드맵 작성

1) 충청남도 물 관련 조례 검토

○ 충청남도 물관리 기본조례

- 조례의 목적은 충청남도 수자원의 안정적 확보와 수생태계의 보전·관리 및 풍·수해와 가뭄에 효율적으로 대비하는 등 지속 가능한 물순환체계를 확립함으로써 주민의 물복지 향상에 기여하기 위하여 물관리에 필요한 기본적인 사항을 정함을 목적으로 한다.

- 제2조(정의)에 10호에 다음과 같은 용어를 추가하는 것이 필요.

10. “수처리”란 오염되어 있는 원수를 사용목적에 적합하도록 오염물질을 제거하며 처리하는 것을 말한다.

- 제5조(기본계획의 수립) 제2항에 기본계획에는 다음 각호에 관한 사항이 포함되어야 한다. 13호에 다음과 같은 내용을 추가한다.

13. 소하천 수처리를 통한 유역단위 수질관리 전략을 포함한 ;수처리계획‘

○ 충청남도 생태하천복원사업 지원에 관한 조례

- 조례의 목적은 수질오염 및 생물서식환경이 훼손된 하천의 복원사업을 지원하는데 필요한 사항을 정함을 목적으로 한다.
- 제6조(위원회 설치 및 역할) ②위원회는 다음 각 호의 사항을 심의·자문한다.

4.「충청남도 물관리 기본조례」제5조 제2항 13호에 따른 수처리계획의 수립 및 변경

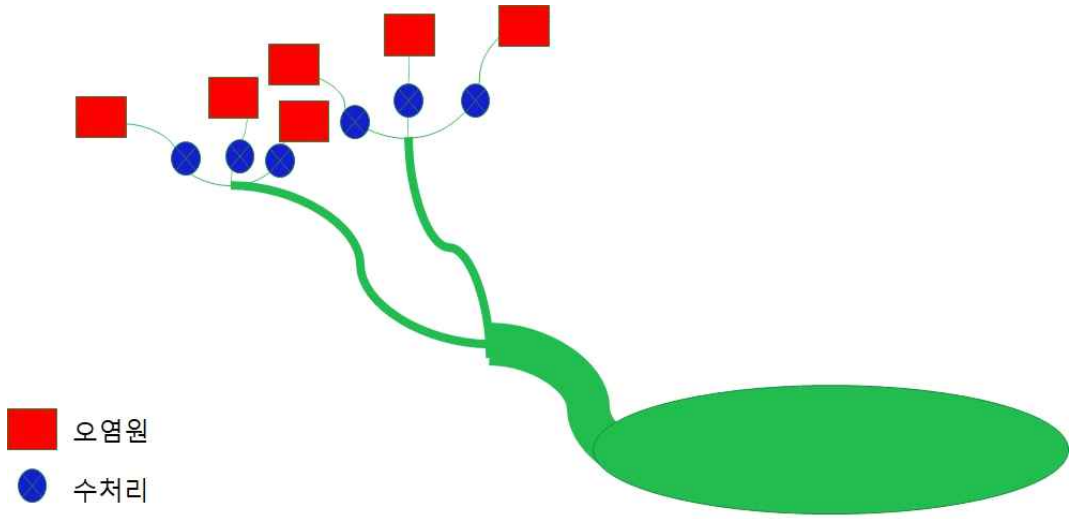
2) 조례 개정을 통한 기술 적용 로드맵

(1) 기술적용 대상지역 선정

○ 기술적용 대상지역 선정
- 「충청남도 물관리 기본조례」 개정을 통하여 기본계획을 수립할 때 대상지역이 포함될 수 있도록 반영하는 것이 필요
- 대상지역 관련해서는 오염도 기준으로 1순위 지역을 우선적으로 선정하여 진행하는 것을 계획을 수립하여 진행
- 수처리 지점은 아래 그림과 같이 오염원 하류 소하천에 집중함으로써 오염이 하류 지역에 집중되지 않도록 처리하는 원칙을 정하여 진행하는 것이 필요

<표 27> 소하천 수질개선 모니터링 로드맵

	2021	2022	2023	2024	2025
기술적용	1순위 대상지역		2순위 대상지역		3순위 대상지역
기술 모니터링	1순위 대상지역		2순위 대상지역		3순위 대상지역
기술 적용결과 평가		1순위 대상지역		2순위 대상지역	3순위 대상지역

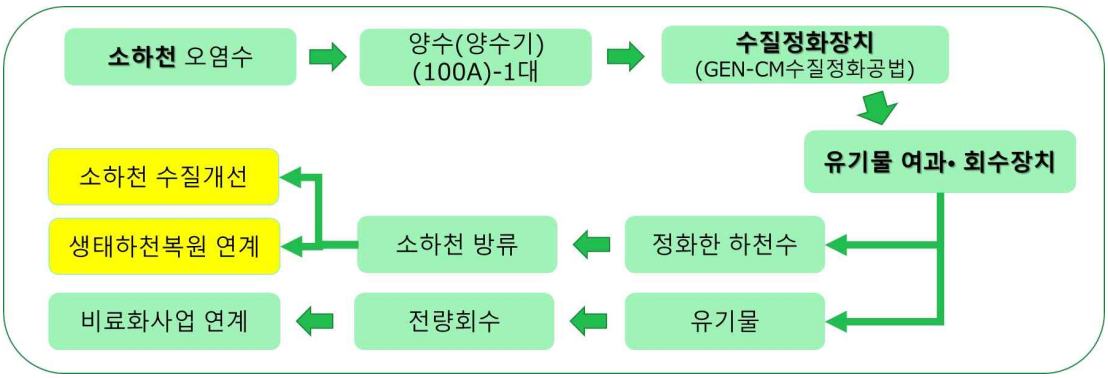


[그림 67] 수처리 지점 개념도

(2)기술적용 및 활용방안 제시

○ 기술적용 원리

- 소하천 수질개선 시범사업 결과를 통하여 검증된 방법으로 기술적용
- 소하천의 오염수를 실시간으로 처리하고 상류지역에서 오염물질을 선제적으로 제거함으로써 중하류지역에 대한 오염부담을 경감시켜 유역단위 수생태계계건강성 확보
- 화학적방법, 물리적 방법이 융합된 방법을 결합함으로써 수처리 효과를 극대화하여 수처리사업의 실효성을 확보
- 양수, 배수, 수처리에 필요한 에너지원을 지자체 차원에서 공급하는 지원체계를 구축하는 것이 필요
- 소하천 수처리방법을 적용하는 목적이 수질개선과 생태하천 복원 등과 연계될 수 있도록 하는 것이 필요
- 생태하천복원 사업은 물관리기본계획에 포함하여 생태하천 복원으로 하천생태계를 전환하는데 활용



[그림 68] 기술적용 원리

○ 기술의 활용방안 제시

◦ 소하천 수처리방법에 있어 적용하는 목적이 수질개선과 생태하천 복원 등과 연계될 수 있도록 하는 방안

◦ 생태하천복원 사업은 물관리기본계획에 포함하여 생태하천 복원으로 하천 생태계를 전환하는데 활용하는 방안

◦ 기존 생태하천(습지) 사업의 실질적인 수질개선 효과를 위해 경제성 있는 연계정책으로 추진하는 방안

◦ 기존 단순 화학적처리의 한계를 신기술 적용 등 소하천 상류 유입수에 선제적 정책으로 적극행정에 따른 성과도출 방안

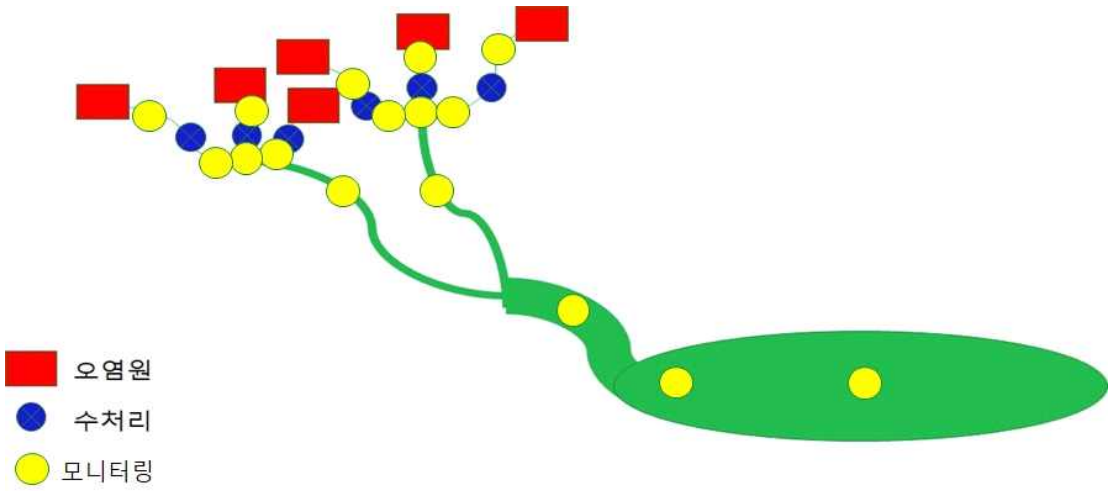
◦ 기계장치와 화학적처리(중화반응)의 연속복합처리의 무독성에 대한 검증으로 기존 화학적처리의 대안기술로 소하천 수질개선 사업에 활용하는 방안

◦ 충남도, 소하천 수질개선을 위한 창의적 정책수립 및 선도적 성공 모델 구축

(3)모니터링 방법 보완사항

○ 수처리 모니터링 지점

- 소하천 수질개선 모니터링 지점을 선정하는 원칙은 다음과 같다.
- 오염원 하류에 수처리 지점 전과 후에 수질을 측정하여 처리효과에 대한 결과를 지속적으로 모니터링 하는 것이 1차적으로 중요하고, 2차적으로 중하천 수질 개선 효과를 모니터링 하는 것이 필요하며, 3차적으로 대하천과 호소 등에 대한 영향을 모니터링하는 것이 필요.
- 모니터링 항목은 녹조 관련 검증항목을 지속적으로 측정함으로써 기존과 다른 측면을 확인하고 추가적인 전략을 마련할 수 있도록 하는 것이 필요



[그림 69] 소하천 수질개선 모니터링

(4) 기술적용평가

○ 소하천 기술적용평가

소하천 기술적용 평가는 단순히 소하천에 한정되지 않고 중하천, 대하천으로 확장하여 평가하는 것이 필요

<표 28> 소하천 기술적용 평가 방법

하천구분	평가방법	비고
소하천	수처리 지점 상류, 하류 비교분석	처리 전•후 통계분석
중하천	도달시점을 고려한 수질 변화	시기별 수질변화
대하천	도달시점 이후 수질 변화	시기별 수질변화

참고문헌

김익재·한대호. 2008. 수생태계 보호를 위한 소하천 관리 방안. 한국환경정책·평가연구원

남귀숙. 2013. 녹조! 손상된 생태 기능 회복으로 해결 - 천적생물을 이용한 녹조제어 기술 개발. RRI포커스. 제14호

박선구외. 2007. 인공습지의 경제적 이익에 관한 연구

송미영. 2001. 녹조제어 사례에 기초한 녹조방지사업의 적용방안. 경기개발연구원

송인석. 2014. 국내외 녹조제어 기술 현황. Konetic Report 2014-11호

이용석·전만식·김문숙. 2016. 오염등급과 유형화 분석의 연계에 의한 북한강 최북단 유역 소하천의 수질개선방안 연구. 한국물환경학회지, 제32권(3), pp:281-290

충청남도. 2016. 제1차 충청남도 물 통합관리 중장기 계획(수정·보완)(2016~2025)

충청남도·세종시·충남발전연구원. 2013. 금강정비사업 이후 수환경모니터링 <2차년도 보고서>

한국수자원공사. 2009. 댐유역 인공습지의 효율적 운영관리 방안 수립 연구

황순진. 2014. 지속 가능한 생태하천복원사업을 위한 사후관리 및 평가체계 구축 연구