

발 간 등 록 번 호

11-1543000-001603-10

농업용수 수질개선사업 사후모니터링 보고서

2016. 12



농림축산식품부



한국농어촌공사

요 약 문

I. 조사개요

□ 목 적

- 수질개선시설의 적정 운영상태 점검 및 정화효율 검증을 통해 효율적 운영방안과 설계 개선방안 도출

□ 대상지구

- 준공 4년차 이상 10지구

감돈지구(전남 무안, 운영 13년차)	홍동지구(충남 홍성, 운영 7년차)
개천지구(경북 의성, 운영 7년차)	가산지구(경남 밀양, 운영 6년차)
월천지구(전남 함평, 운영 5년차)	궁산지구(전북 고창, 운영 5년차)
설성지구(경기 이천, 운영 4년차)	둔전지구(전남 진도, 운영 4년차)
성암지구(충남 서산, 운영 4년차)	대승지구(경북 영천, 운영 4년차)

□ 조사내용

- 조사방법
 - 수질조사 : 수질개선대책시설 유입수와 유출수 농도, 유량을 측정하여 정화효율 검증
 - 퇴적물조사 : 인공습지와 침강지 대표지점에 대한 오염정도 및 유지관리 방안 모색
- 수질조사
 - 조사지점 : 인공습지, 침강지 유입·유출부 각 1곳
 - 조사빈도 : 5회/년(강우조사 1회 이상 포함)
 - 조사항목 : 수온, pH, EC, DO, SS, BOD, COD, TOC, TN, TP, Chl-a, 유량
- 퇴적물조사
 - 조사지점 : 인공습지 및 침강지 대표지점 1곳(운영 5년차 이상 6개 시설)
 - 조사빈도 : 1회/년
 - 조사항목 : T-N, T-P, 유기물, 강열감량, pH, 전기전도도, 유효인산, 입도분석
- 정화효율산정 : $((\text{유입부하량} - \text{유출부하량}) / \text{유입부하량}) \times 100(\%)$

II. '11 ~ '16년 모니터링 결과

운영연차	지구명	정화효율 및 특징
13년차	감 돈	<ul style="list-style-type: none"> - 지표흐름습지 : TOC -16.1%, TN 40.6%, TP 31.1% - 침 강 지 : TOC 23.2%, TN 45.7%, TP 67.3% ⇒ 습지의 경우 '15년 고도화 사업(습지표토제거 및 식생정비사업 등) 이후 정화식물 활착 및 성장 부진으로 여과침전에 의한 유기물의 정화효율이 낮게 나타남. 침강지는 양호한 정화효율을 보임
7년차	홍 동	<ul style="list-style-type: none"> - 지표흐름습지 : TOC -42.0%, TN 66.4%, TP -184.6% - 고효율습지 : TOC 5.6%, TN 15.0%, TP 28.4% - 침 강 지 : TOC 39.8%, TN 74.1%, TP 85.2% ⇒ 준공 7년차로 지표흐름습지는 유입토사 및 고사체 축적 등으로 정화효율이 낮게 나타남. '16년 수질개선시설 고도화사업(침강지와 습지 퇴적토 제거, 습지 구획화, 고효율습지 정비 등)을 시행하였으며, 추후 개선시설의 효율 향상이 기대됨
	개 천	<ul style="list-style-type: none"> - 지표흐름습지 : TOC -18.0%, TN 28.4%, TP 4.5% - 침 강 지 : TOC 5.7%, TN 30.4%, TP 37.3% ⇒ '15년부터 이어진 가뭄 및 집중호우로 유입량 부족과 고농도 비점 오염물질 일시유입 등 수질개선시설의 정상 운영 곤란. 또한 습지내 식생의 과밀성장과 사멸에 따른 2차 오염으로 유기물의 정화효율이 낮게 나타남
6년차	가 산	<ul style="list-style-type: none"> - 지표흐름습지 : TOC -31.5%, TN 33.8%, TP 8.0% - 침 강 지 : TOC 35.8%, TN 40.4%, TP 70.0% ⇒ 유입수 부족으로 습지내 체류시간이 길어지고 내부 부하량 증가, 식물체 고사 등으로 유기물의 정화효율이 낮게 나타남
5년차	월 천	<ul style="list-style-type: none"> - 지표흐름습지 : TOC -59.9%, TN 65.7%, TP 69.3% - 침 강 지 : TOC -5.6%, TN 0.3%, TP -11.1% ⇒ '15년 보식, 16년 식생활착을 위해 취입보 미운영으로 습지가 정상 운영되지 않았고, 침강지내 내부생산량 증가로 정화효율이 낮게 나타남. 그러나 '16년 시설보수 및 식생활착이 완료됨에 따라 '17년부터는 정화효과가 향상될 것으로 예상됨 ⇒ 침강지의 경우 폭이 좁은 형태로 빠른 유속으로 인해 오염물질의 침전제거 효과가 낮은 것으로 조사됨
	궁 산	<ul style="list-style-type: none"> - 지표흐름습지 : (1호) TOC 0.3%, TN 47.7%, TP 74.0% <li style="padding-left: 20px;">(2호) TOC -23.9%, TN 48.6%, TP -17.8% - 침 강 지 : (1호) TOC -40.2%, TN 8.9%, TP -33.5% <li style="padding-left: 20px;">(2호) TOC 0.8%, TN 22.4%, TP 57.5%

운영연차	지구명	정화효율 및 특징
		⇒ '15년부터 이어진 가뭄으로 습지 유입수량 부족 및 체류시간 증가로 습지 효율 감소, 침강지 횡단면 부족으로 유속증가, 재부유 등으로 정화효율이 일부 낮게 나타남
4년차	설 성	<ul style="list-style-type: none"> - 지표흐름습지 : (1호) TOC 8.8%, TN 44.9%, TP 1.9% - 침 강 지 : (1호) TOC -0.5%, TN 18.8%, TP 47.3% ⇒ '14년부터 이어진 가뭄으로 인공습지 및 침강지로의 유입수가 거의 없어 체류시간 증가 및 습지내 정화식물 고사 등으로 유기물 정화효율이 상대적으로 낮게 나타남
	둔 전	<ul style="list-style-type: none"> - 지표흐름습지 : TOC 1.1%, TN 75.2%, TP 63.5% - 침 강 지 : TOC -31.5%, TN 77.8%, TP -302.0% ⇒ 유입하천의 수질이 양호하여, 습지에 의한 정화효율이 상대적으로 낮게 나타남
	성 압	<ul style="list-style-type: none"> - 지표흐름습지 : TOC -27.0%, TN 38.7%, TP 28.7% - 지하흐름습지 : TOC 7.1%, TN 12.6%, TP -3.5% - 침 강 지 : TOC 8.1%, TN 0.1%, TP 3.1% ⇒ 수년간 지속되고 있는 충남지역 가뭄으로 습지내 안정적인 유입수 공급이 이뤄지지 않아 정화효율이 낮게 나타남. 또한 침강지 유입수량 부족으로 강우시 오염물질 저감효과가 가시적으로 관측되지 않음
	대 승	<ul style="list-style-type: none"> - 지표흐름습지 : TOC -17.2%, TN 61.4%, TP 35.6% - 침 강 지 : TOC 19.0%, TN 84.6%, TP 87.5% ⇒ 지속된 가뭄으로 인한 습지 유입수량 불안정, 식생 밀식성장고사 등으로 유기물의 정화효율이 낮게 나타남

III. 결 론

- '15년에 이어 '16년에도 극심한 가뭄으로 인공습지 유입수량이 부족해 정상운영이 어려운 저수지가 많고, 수생식물이 정착된 4년 이상 경과한 시설의 경우도 가뭄에 따른 체류시간의 과도한 증가에 따라 효율저하가 관찰됨
- 가뭄 등 외부 환경변화에 대응하기 위해서는 인공습지의 안정적 유입수량 확보가 필수적이며, 이를 위해서는 침강지 또는 저수지 본체의 물을 양수할 수 있는 펌프 시설 설치 등 취수시설 개선이 필요
- 습지내부에 정수식물 이외의 잡풀과 마름, 연 등의 수생식물이 번식하고 이들의 사멸에 따라 정화효율이 저하되는 경우가 있어, 습지내의 수생식물 관리가 필요함
- 준공 후 지속적인 토사 유입으로 침강지내 퇴적물의 오염이 가중되고 있으며, 오랜 정체에 따른 내부생산량 증가로 저수지 수질악화의 원인이 되기도 함. 따라서 침강지 준설 계획 수립과 함께 신규 수질개선시설 설계시 침강지내 소규모 부뎀을 추가 설치하여 준설 용이성을 향상시킬 필요가 있음
- 기후변화에 따른 강우패턴 변화로 수질개선공법 선정과정에서 인공습지 및 침강지 등 기존 공법을 기본으로, 점오염 유입패턴에 대응할 수 있는 물리화학적 처리공법에 대한 추가 반영을 검토할 필요가 있음
- 사후모니터링 결과를 피드백하여 기본조사시 설계에 반영하고 있으며, 향후에도 지속적으로 정화효율 향상 및 유지관리 방안을 제시하고자 함

목 차

1. 서론	1
1.1. 수질개선사업의 배경 및 목적	3
1.2. 수질개선사업 개요	4
1.3. 조사내용 및 방법	5
2. 감동지구	9
2.1. 지구현황	13
2.2. 기상 및 수질현황	22
2.3. 시설별 수질개선 효과	27
2.4. 저수지 수질변화 및 개선효과	43
2.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안	45
2.6. 결 론	46
3. 흥동지구	47
3.1. 지구현황	51
3.2. 기상 및 수질현황	64
3.3. 시설별 수질개선 효과	68
3.4. 저수지 수질변화 및 개선효과	88
3.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안	91
3.6. 결 론	91
4. 개천지구	93
4.1. 지구현황	97
4.2. 기상 및 수질현황	106
4.3. 시설별 수질개선 효과	111
4.4. 저수지 수질변화 및 개선효과	125
4.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안	127
4.6. 결 론	127

5. 가산지구	129
5.1. 지구현황	133
5.2. 기상 및 수질현황	141
5.3. 시설별 수질개선 효과	145
5.4. 저수지 수질변화 및 개선효과	155
5.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안	157
5.6. 결 론	157
6. 월천지구	159
6.1. 지구현황	163
6.2. 기상 및 수질현황	171
6.3. 시설별 수질개선 효과	176
6.4. 저수지 수질변화 및 개선효과	189
6.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안	191
6.6. 결 론	192
7. 중산지구	193
7.1. 지구현황	197
7.2. 기상 및 수질현황	209
7.3. 시설별 수질개선 효과	213
7.4. 저수지 수질변화 및 개선효과	238
7.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안	240
7.6. 결 론	240
8. 설성지구	243
8.1. 지구현황	247
8.2. 기상 및 수질현황	260
8.3. 시설별 수질개선 효과	264
8.4. 저수지 수질변화 및 개선효과	272
8.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안	275
8.6. 결 론	275

9. 둔전지구	277
9.1. 지구현황	281
9.2. 기상 및 수질현황	289
9.3. 시설별 수질개선 효과	294
9.4. 저수지 수질변화 및 개선효과	311
9.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안	312
9.6. 결 론	313
10. 성암지구	315
10.1. 지구현황	319
10.2. 기상 및 수질현황	329
10.3. 시설별 수질개선 효과	334
10.4. 저수지 수질변화 및 개선효과	350
10.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안	352
10.6. 결 론	153
11. 대승지구	355
11.1. 지구현황	359
11.2. 기상 및 수질현황	367
11.3. 시설별 수질개선 효과	371
11.4. 저수지 수질변화 및 개선효과	384
11.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안	387
11.6. 결 론	387
12. 지구별 모니터링 결과	389
1. 감돈지구	391
2. 흥동지구	392
3. 개천지구	393
4. 가산지구	394
5. 월천지구	395
6. 궁산지구	275
7. 설성지구	391
8. 둔전지구	392
9. 성암지구	393
10. 대승지구	394
참고문헌	401
참여자명단	403

표 차 례

[표 1-3-1] 수질 분석방법	6
[표 1-3-2] 퇴적물 분석방법	6
[표 2-1-1] 감돈저수지 경·위도상 위치	13
[표 2-1-2] 감돈저수지 주요시설 현황	14
[표 2-1-3] 감돈저수지 수질개선시설 현황	15
[표 2-1-4] 인공습지 설계유량 및 규모	15
[표 2-1-5] 제1호 및 제2호 인공습지 제원	15
[표 2-1-6] 침강지 특성표	19
[표 2-2-1] 감돈저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포	22
[표 2-2-2] 감돈저수지 유역 사업시행 전·후 월별 강수량 분포	23
[표 2-2-3] 감돈저수지 목표수질	23
[표 2-2-4] 감돈저수지 유역내 인구변화 추이	24
[표 2-2-5] 감돈저수지 유역내 연도별 축산변화	24
[표 2-2-6] 감돈저수지 유역내 지목별 토지이용현황	25
[표 2-2-7] 2016년 감돈저수지 유역내 발생부하량	25
[표 2-2-8] 감돈저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량	26
[표 2-2-9] 감돈저수지 수질현황	26
[표 2-3-1] 감돈저수지 수질 및 퇴적물 조사시기	27
[표 2-3-2] 감돈저수지 인공습지 수질변화	29
[표 2-3-3] 6개년 감돈지구 인공습지 정화효율	29
[표 2-3-4] 감돈저수지 1호 침강지 수질변화	35
[표 2-3-5] 6개년 감돈지구 침강지 수질	36
[표 2-3-6] 6개년 감돈지구 침강지 정화효율	37
[표 2-3-7] 감돈저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사결과	42
[표 2-3-8] 호소 퇴적물 오염평가 기준	42
[표 2-4-1] 감돈저수지 월별 저수율 현황	43
[표 3-1-1] 흥동저수지 경·위도상 위치	51
[표 3-1-2] 흥동저수지 주요시설 현황	53
[표 3-1-3] 흥동저수지 수질개선시설 현황	53
[표 3-1-4] 인공습지 계획유량	54
[표 3-1-5] 1호 인공습지 제원	54

[표 3-1-6] 2호 인공습지 제원	56
[표 3-1-7] 3호 인공습지 제원	57
[표 3-1-8] 홍동저수지 침강지 제원	60
[표 3-2-1] 홍동저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온분포	64
[표 3-2-2] 홍동저수지 유역 사업시행 전·후 월별 강수량 분포	65
[표 3-2-3] 홍동저수지 목표수질	65
[표 3-2-4] 홍동저수지 유역 내 인구변화 추이	66
[표 3-2-5] 홍동저수지 유역 내 연도별 축산변화	66
[표 3-2-6] 홍동저수지 유역 내 지목별 토지이용현황	66
[표 3-2-7] 2016년 홍동저수지 유역 오염발생부하량	67
[표 3-2-8] 홍동저수지 유역내 연도별 오염발생부하량	67
[표 3-2-9] 홍동저수지 수질현황	68
[표 3-3-1] 홍동저수지 수질 및 퇴적물 조사시기	68
[표 3-3-2] 홍동저수지 1호 인공습지 수질변화	70
[표 3-3-3] 홍동저수지 1호 인공습지 정화효율	71
[표 3-3-4] 홍동저수지 1호 침강지 수질변화	75
[표 3-3-5] 홍동저수지 3호 침강지 수질변화	76
[표 3-3-6] 홍동저수지 침강지 정화효율	77
[표 3-3-7] 홍동저수지 지하흐름습지 수질변화	81
[표 3-3-8] 홍동저수지 지하흐름습지 정화효율	82
[표 3-3-9] 홍동저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사결과	88
[표 3-3-10] 호소 퇴적물 오염평가 기준	88
[표 3-4-1] 홍동저수지 월별 저수율 현황	90
[표 4-1-1] 개천저수지 경·위도상 위치	97
[표 4-1-2] 개천저수지 시설현황	98
[표 4-1-3] 개천저수지 수질개선시설 현황	99
[표 4-1-4] 개천저수지 수질개선대책사업 보완공사 시설현황	99
[표 4-1-5] 인공습지 계획유량	100
[표 4-1-6] 1호 인공습지 제원	101
[표 4-1-7] 2호 인공습지 제원	102
[표 4-1-8] 침강지 제원	104
[표 4-2-1] 개천저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온분포	106
[표 4-2-2] 개천저수지 유역 사업시행 전·후 강수량 분포	107
[표 4-2-3] 개천저수지 목표수질	107
[표 4-2-4] 개천저수지 유역내 인구변화 추이	108

[표 4-2-5] 개천저수지 유역내 연도별 축산변화	108
[표 4-2-6] 개천저수지 유역내 지목별 토지이용현황	108
[표 4-2-7] 2016년 개천저수지 유역내 발생부하량	109
[표 4-2-8] 개천저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량	109
[표 4-2-9] 개천저수지 수질현황	110
[표 4-3-1] 수질 및 퇴적물 조사시기	111
[표 4-3-2] 개천저수지 1호 인공습지 수질변화	112
[표 4-3-3] 개천저수지 1호 인공습지 정화효율	113
[표 4-3-4] 개천저수지 1호 침강지 수질변화	118
[표 4-3-5] 개천저수지 1호 침강지 정화효율	119
[표 4-3-6] 개천저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사결과	124
[표 4-3-7] 호소 퇴적물 오염평가 기준	124
[표 4-4-1] 개천저수지 월별 저수율 현황	126
[표 5-1-1] 가산저수지 경·위도상 위치	133
[표 5-1-2] 가산저수지 주요시설 현황	134
[표 5-1-3] 가산저수지 수질개선시설 현황	135
[표 5-1-4] 인공습지 계획유량	136
[표 5-1-5] 1호 인공습지 제원	137
[표 5-1-6] 2호 인공습지 제원	138
[표 5-1-7] 1호 침강지 제원	139
[표 5-2-1] 가산저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포	141
[표 5-2-2] 가산저수지 유역 사업시행 전·후 월별 강수량 분포	142
[표 5-2-3] 가산저수지 목표수질	142
[표 5-2-4] 가산저수지 유역내 인구변화 추이	143
[표 5-2-5] 가산저수지 유역내 연도별 축산변화	143
[표 5-2-6] 가산저수지 유역내 지목별토지이용현황	143
[표 5-2-7] 가산저수지 유역내 발생부하량	144
[표 5-2-8] 가산저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량	144
[표 5-2-9] 가산저수지 수질현황	145
[표 5-3-1] 가산저수지 수질 및 퇴적물 조사시기	145
[표 5-3-2] 가산저수지 1호 인공습지 수질변화	148
[표 5-3-3] 가산저수지 1호 인공습지 정화효율	148
[표 5-3-4] 가산저수지 1호 침강지 수질변화	151
[표 5-3-5] 가산저수지 1호 침강지 정화효율	152
[표 5-3-6] 가산저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사결과	154

[표 5-3-7] 호소 퇴적물 오염평가 기준	154
[표 5-4-1] 가산저수지 월별 저수율 현황	155
[표 6-1-1] 월천저수지 경·위도상 위치	163
[표 6-1-2] 월천저수지 주요시설 현황	165
[표 6-1-3] 월천저수지 수질개선시설 현황	166
[표 6-1-4] 인공습지 계획유량	166
[표 6-1-5] 인공습지 제원	167
[표 6-1-6] 침강지 제원	169
[표 6-2-1] 월천저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포	171
[표 6-2-2] 월천저수지 유역 사업시행 전·후 월별 강수량 분포	172
[표 6-2-3] 월천저수지 목표수질	172
[표 6-2-4] 월천저수지 유역내 인구변화 추이	173
[표 6-2-5] 월천저수지 유역내 연도별 축산변화	173
[표 6-2-6] 월천저수지 유역내 지목별 토지이용현황	174
[표 6-2-7] 2016년 월천저수지 유역내 발생부하량	174
[표 6-2-8] 월천저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량	175
[표 6-2-9] 월천저수지 수질현황	175
[표 6-3-1] 월천저수지 수질 및 퇴적물 조사시기	176
[표 6-3-2] 월천저수지 인공습지 수질변화	177
[표 6-3-3] 5개년 월천지구 인공습지 정화효율	178
[표 6-3-4] 월천저수지 침강지 수질변화	183
[표 6-3-5] 월천저수지 침강지 정화효율	184
[표 6-3-6] 월천저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사결과	189
[표 6-3-7] 호소 퇴적물 오염평가 기준	189
[표 6-4-1] 월천저수지 월별 저수율 현황	190
[표 7-1-1] 공산저수지 경·위도상 위치	197
[표 7-1-2] 공산저수지 주요시설 현황	199
[표 7-1-3] 공산저수지 수질개선시설 현황	200
[표 7-1-4] 인공습지 계획유량	201
[표 7-1-5] 인공습지 제원	202
[표 7-1-6] 1호 침강지 제원	206
[표 7-1-7] 인공식물섬 제원	207
[표 7-2-1] 공산저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포	209
[표 7-2-2] 공산저수지 유역 사업시행 전·후 월별 강수량 분포	210
[표 7-2-3] 공산저수지 목표수질	210

[표 7-2-4] 공산저수지 유역내 인구변화 추이	211
[표 7-2-5] 공산저수지 유역내 연도별 축산변화	211
[표 7-2-6] 공산저수지 유역내 지목별 토지이용현황	212
[표 7-2-7] 2016년 공산저수지 유역내 발생부하량	212
[표 7-2-8] 공산저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량	212
[표 7-2-9] 공산저수지 수질현황	213
[표 7-3-1] 공산저수지 수질 및 퇴적물 조사시기	214
[표 7-3-2] 공산저수지 1호 인공습지 수질변화	215
[표 7-3-3] 공산저수지 1호 인공습지 정화효율	216
[표 7-3-4] 공산저수지 2호 인공습지 수질변화	221
[표 7-3-5] 공산저수지 2호 인공습지 정화효율	222
[표 7-3-6] 공산저수지 1호 침강지 수질변화	227
[표 7-3-7] 공산저수지 1호 침강지 정화효율	228
[표 7-3-8] 공산저수지 2호 침강지 수질변화	232
[표 7-3-9] 공산저수지 2호 침강지 정화효율	233
[표 7-3-10] 공산저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사결과	237
[표 7-3-11] 호소 퇴적물 오염평가 기준	237
[표 7-4-1] 공산저수지 월별 저수율 현황	238
[표 8-1-1] 설성저수지 경·위도상 위치	248
[표 8-1-2] 설성저수지 현황	248
[표 8-1-3] 설성저수지 수질개선시설 현황	249
[표 8-1-4] 인공습지 계획유량	250
[표 8-1-5] 1호 인공습지 제원	251
[표 8-1-6] 2호 인공습지 제원	252
[표 8-1-7] 3호 인공습지 제원	254
[표 8-1-8] 4호 인공습지 제원	255
[표 8-1-9] 침강지 제원	257
[표 8-2-1] 설성저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포	260
[표 8-2-2] 설성저수지 유역 사업시행 전·후 월별 강수량 분포	261
[표 8-2-3] 설성저수지 목표수질	262
[표 8-2-4] 설성저수지 유역내 인구변화 추이	262
[표 8-2-5] 설성저수지 유역내 연도별 축산변화	263
[표 8-2-6] 설성저수지 유역내 지목별 토지이용현황	263
[표 8-2-7] 설성저수지 유역내 발생부하량	263
[표 8-2-8] 설성저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량	264

[표 8-2-9] 설성저수지 수질현황	264
[표 8-3-1] 설성저수지 수질 조사시기	265
[표 8-3-2] 설성저수지 인공습지 수질변화	266
[표 8-3-3] 4개년 설성저수지 인공습지 정화효율	268
[표 8-4-1] 설성저수지 월별 저수율 현황	273
[표 9-1-1] 둔전저수지 경·위도상 위치	281
[표 9-1-2] 둔전저수지 주요시설 현황	282
[표 9-1-3] 용장리 마을하수도 현황	282
[표 9-1-4] 둔전저수지 수질개선시설 현황	283
[표 9-1-5] 인공습지별 계획유량	284
[표 9-1-6] 1호 인공습지 제원	284
[표 9-1-7] 2호 인공습지 제원	284
[표 9-1-8] 침강지 제원	287
[표 9-2-1] 둔전저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포	289
[표 9-2-2] 둔전저수지 유역 사업시행 전·후 월별 강수량 분포	290
[표 9-2-3] 둔전저수지 목표수질	291
[표 9-2-4] 둔전저수지 유역내 인구변화 추이	292
[표 9-2-5] 둔전저수지 유역내 연도별 축산변화	292
[표 9-2-6] 둔전저수지 유역내 지목별 토지이용현황	292
[표 9-2-7] 2016년 둔전저수지 유역내 발생부하량	292
[표 9-2-8] 둔전저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량	293
[표 9-2-9] 둔전저수지 수질현황	293
[표 9-3-1] 둔전저수지 1호 인공습지 수질변화	295
[표 9-3-2] 둔전저수지 2호 인공습지 수질변화	296
[표 9-3-3] 4개년 둔전지구 인공습지 정화효율	297
[표 9-3-4] 둔전저수지 침강지 수질변화	305
[표 9-3-5] 둔전지구 침강지 수질	306
[표 9-3-6] 둔전지구 침강지 정화효율	307
[표 9-4-1] 둔전저수지 월별 저수율 현황	311
[표 10-1-1] 성암저수지 경·위도상 위치	319
[표 10-1-2] 성암저수지 주요시설 현황	321
[표 10-1-3] 성암저수지 수질개선시설 현황	321
[표 10-1-4] 인공습지 계획유량	322
[표 10-1-5] 1호 인공습지 제원	322
[표 10-1-6] 2호 인공습지 제원	324

[표 10-1-7] 1호, 2호 침강지 제원	327
[표 10-2-1] 성암저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포	329
[표 10-2-2] 성암저수지 유역 사업시행 전·후 월별 강수량 분포	330
[표 10-2-3] 성암저수지 목표수질	331
[표 10-2-4] 성암저수지 유역내 인구변화 추이	331
[표 10-2-5] 성암저수지 유역내 연도별 축산변화	331
[표 10-2-6] 성암저수지 유역내 지목별 토지이용현황	332
[표 10-2-7] 2016년 성암저수지 유역내 발생부하량	332
[표 10-2-8] 성암저수지 유역내 연도별오염물질 발생부하량	333
[표 10-2-9] 성암저수지 수질현황	333
[표 10-3-1] 성암저수지 수질조사시기	334
[표 10-3-2] 성암저수지 지하흐름습지 수질변화	336
[표 10-3-3] 성암저수지 1호 인공습지 수질변화	337
[표 10-3-4] 성암저수지 2호 인공습지 수질변화	338
[표 10-3-5] 성암저수지 지하흐름습지 및 인공습지 정확효율	339
[표 10-3-6] 성암저수지 1호 침강지 수질변화	344
[표 10-3-7] 성암저수지 2호 침강지 수질변화	345
[표 10-3-8] 성암저수지 침강지 정확효율	346
[표 10-4-1] 성암저수지 월별 저수율 현황	351
[표 11-1-1] 대승저수지 경·위도상 위치	359
[표 11-1-2] 대승저수지 주요시설 제원	360
[표 11-1-3] 대승저수지 수질개선시설 현황	361
[표 11-1-4] 인공습지 계획유량	362
[표 11-1-5] 1호 인공습지 제원	363
[표 11-1-6] 2호 인공습지 제원	364
[표 11-1-7] 1호 침강지 제원	365
[표 11-2-1] 대승저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포	367
[표 11-2-2] 대승저수지 유역 사업시행 전·후 월별 강수량 분포	368
[표 11-2-3] 대승저수지 목표수질	368
[표 11-2-4] 대승저수지 유역내 인구변화 추이	369
[표 11-2-5] 대승저수지 유역내 연도별 축산변화	369
[표 11-2-6] 대승저수지 유역내 연도별 산업계 변화	369
[표 11-2-7] 대승저수지 유역내 지목별 토지이용현황	369
[표 11-2-8] 2016년 대승저수지 유역내 발생부하량	370
[표 11-2-9] 대승저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량	370

[표 11-2-10] 대승저수지 연도별 수질현황	371
[표 11-3-1] 수질 조사시기	371
[표 11-3-2] 대승저수지 1호 인공습지 수질변화	373
[표 11-3-3] 대승저수지 2호 인공습지 수질변화	374
[표 11-3-4] 대승저수지 인공습지 정화효율	374
[표 11-3-5] 대승저수지 1호 침강지 수질변화	379
[표 11-3-6] 대승저수지 2호 침강지 수질변화	380
[표 11-3-7] 대승저수지 1호 침강지 정화효율	380
[표 11-3-8] 대승저수지 2호 침강지 정화효율	381
[표 11-4-1] 대승저수지 월별 저수율 현황	385

그림 차례

[그림 2-1-1] 감돈저수지 유역도	13
[그림 2-1-2] 인공습지 수리계통도	16
[그림 2-1-3] 1호 인공습지 평면도	16
[그림 2-1-4] 1호 인공습지 시설현황	17
[그림 2-1-5] 2호 인공습지 평면도	18
[그림 2-1-6] 2호 인공습지 시설현황	18
[그림 2-1-7] 침강지 평면도	19
[그림 2-1-8] 침강지 시설현황	20
[그림 2-1-9] 기타시설 현황	21
[그림 2-3-1] 감돈지구 수질 및 퇴적물 조사 지점	27
[그림 2-3-2] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	30
[그림 2-3-3] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화	31
[그림 2-3-4] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	32
[그림 2-3-5] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	32
[그림 2-3-6] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	33
[그림 2-3-7] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	34
[그림 2-3-8] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 SS 변화	38
[그림 2-3-9] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화	38
[그림 2-3-10] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 COD 변화	39
[그림 2-3-11] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 TOC 변화	39
[그림 2-3-12] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 T-N 변화	40
[그림 2-3-13] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 T-P 변화	41
[그림 2-3-14] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 Chl-a 변화	41
[그림 2-4-1] 감돈지구 유역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC 농도 변화	43
[그림 2-4-2] 감돈지구 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N 농도 변화	44
[그림 2-4-3] 감돈지구 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P 농도 변화	44
[그림 3-1-1] 흥동저수지 유역도	52
[그림 3-1-2] 1호 인공습지 수리계통도	55
[그림 3-1-3] 1호 인공습지 시설현황	55
[그림 3-1-4] 2호 인공습지 수리계통도	56
[그림 3-1-5] 2호 인공습지 시설현황	57

[그림 3-1-6] 3호 인공습지 수리계통도	58
[그림 3-1-7] 3호 인공습지 시설현황	58
[그림 3-1-8] 고효율 인공습지 계획평면도	59
[그림 3-1-9] 고효율 인공습지 수리계통도	59
[그림 3-1-10] 고효율 인공습지 시설현황	59
[그림 3-1-11] 1,2호 침강지 시설현황	60
[그림 3-1-12] 침강지 1,2,3호 퇴적토 제거 면적	62
[그림 3-1-13] 고효율 인공습지 보강계획	62
[그림 3-1-14] 1,2호 인공습지 보강계획	63
[그림 3-3-1] 흥동지구 수질 및 퇴적물 조사 지점	69
[그림 3-3-2] 흥동지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	72
[그림 3-3-3] 흥동지구 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화	72
[그림 3-3-4] 흥동지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	73
[그림 3-3-5] 흥동지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	73
[그림 3-3-6] 흥동지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	73
[그림 3-3-7] 흥동지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	74
[그림 3-3-8] 흥동저수지 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화	77
[그림 3-3-9] 흥동지구 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화	78
[그림 3-3-10] 흥동지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화	78
[그림 3-3-11] 흥동지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화	79
[그림 3-3-12] 흥동지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화	80
[그림 3-3-13] 흥동지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화	80
[그림 3-3-14] 흥동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 SS 변화	83
[그림 3-3-15] 흥동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 BOD 변화	84
[그림 3-3-16] 흥동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 COD 변화	85
[그림 3-3-17] 흥동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	85
[그림 3-3-18] 흥동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	86
[그림 3-3-19] 흥동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	87
[그림 3-4-1] 흥동지구 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC농도 변화	89
[그림 3-4-2] 흥동지구 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N농도 변화	90
[그림 3-4-3] 흥동지구 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P농도 변화	90
[그림 4-1-1] 개천저수지 유역도	97
[그림 4-1-2] 개천저수지 유역 구분도	100
[그림 4-1-3] 1호 인공습지 수리계통도	101
[그림 4-1-4] 1호 인공습지 시설현황	102

[그림 4-1-5] 2호 인공습지 수리계통도	103
[그림 4-1-6] 2호 인공습지 시설현황	103
[그림 4-1-7] 침강지 시설현황	104
[그림 4-1-8] 침강지 계획평면도	104
[그림 4-1-9] 기타 수질개선시설 현황	105
[그림 4-3-1] 개천지구 수질 및 퇴적물 조사 지점	111
[그림 4-3-2] 개천지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	114
[그림 4-3-3] 개천지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	115
[그림 4-3-4] 개천지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	116
[그림 4-3-5] 개천지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	116
[그림 4-3-6] 개천지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	117
[그림 4-3-7] 개천지구 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화	120
[그림 4-3-8] 개천지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화	121
[그림 4-3-9] 개천지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화	121
[그림 4-3-10] 개천지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화	122
[그림 4-3-11] 개천지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화	123
[그림 4-3-12] 사후모니터링 조사시 현장사진	124
[그림 4-4-1] 개천지구 유역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC농도 변화	125
[그림 4-4-2] 개천지구 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N농도 변화	126
[그림 4-4-3] 개천지구 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P농도 변화	126
[그림 5-1-1] 가산저수지 유역도	134
[그림 5-1-2] 가산저수지 유역 구분도	136
[그림 5-1-3] 1호 인공습지 수리계통도	137
[그림 5-1-4] 1호 인공습지 시설현황	137
[그림 5-1-5] 2호 인공습지 수리계통도	138
[그림 5-1-6] 2호 인공습지 시설현황	138
[그림 5-1-7] 1호 침강지 평면도	139
[그림 5-1-8] 1호 침강지 시설현황	140
[그림 5-1-9] 2호 침강지 평면도	140
[그림 5-1-10] 2호 침강지 시설현황	140
[그림 5-1-11] 기타시설 현황	141
[그림 5-3-1] 가산지구 수질 및 퇴적물 조사 지점	146
[그림 5-3-2] 가산지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	149
[그림 5-3-3] 가산지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	149
[그림 5-3-4] 가산지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	149

[그림 5-3-5] 가산지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	150
[그림 5-3-6] 가산지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	150
[그림 5-3-7] 가산지구 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화	152
[그림 5-3-8] 가산지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화	152
[그림 5-3-9] 가산지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화	153
[그림 5-3-10] 가산지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화	153
[그림 5-3-11] 가산지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화	153
[그림 5-4-1] 가산지구 유역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC농도 변화	156
[그림 5-4-2] 가산지구 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N농도 변화	156
[그림 5-4-3] 가산지구 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P농도 변화	156
[그림 6-1-1] 월천저수지 유역도	164
[그림 6-1-2] 인공습지 수리계통도	167
[그림 6-1-3] 인공습지 평면도	167
[그림 6-1-4] 인공습지 시설현황	168
[그림 6-1-5] 침강지 평면도	169
[그림 6-1-6] 침강지 시설현황	169
[그림 6-1-7] 기타 시설현황	170
[그림 6-3-1] 월천지구 수질 및 퇴적물 조사 지점	176
[그림 6-3-2] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	179
[그림 6-3-3] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화	179
[그림 6-3-4] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	180
[그림 6-3-5] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	180
[그림 6-3-6] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	181
[그림 6-3-7] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	181
[그림 6-3-8] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 Chl-a 변화	182
[그림 6-3-9] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화	185
[그림 6-3-10] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화	185
[그림 6-3-11] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화	186
[그림 6-3-12] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화	186
[그림 6-3-13] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화	187
[그림 6-3-14] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화	187
[그림 6-3-15] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수 Chl-a 변화	188
[그림 6-4-1] 월천지구 유역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC농도 변화	190
[그림 6-4-2] 월천지구 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N농도 변화	190
[그림 6-4-3] 월천지구 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P농도 변화	191

[그림 7-1-1] 공산저수지 유역도	198
[그림 7-1-2] 공산저수지 유역 구분도	201
[그림 7-1-3] 1호 인공습지 평면도	203
[그림 7-1-4] 1호 인공습지 수리계통도	203
[그림 7-1-5] 1호 인공습지 시설현황	203
[그림 7-1-6] 2호 인공습지 평면도	204
[그림 7-1-7] 2호 인공습지 수리계통도	204
[그림 7-1-8] 2호 인공습지 시설현황	205
[그림 7-1-9] 1호 침강지 평면도	206
[그림 7-1-10] 1호 침강지 시설현황	206
[그림 7-1-11] 2호 침강지 평면도	207
[그림 7-1-12] 2호 침강지 시설현황	207
[그림 7-1-13] 인공식물섬 시설현황	208
[그림 7-1-14] 물순환장치 시설현황	208
[그림 7-3-1] 공산지구 수질 및 퇴적물 조사 지점	213
[그림 7-3-2] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	216
[그림 7-3-3] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화	217
[그림 7-3-4] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	218
[그림 7-3-5] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	218
[그림 7-3-6] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	219
[그림 7-3-7] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	220
[그림 7-3-8] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	222
[그림 7-3-9] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화	223
[그림 7-3-10] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	224
[그림 7-3-11] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	224
[그림 7-3-12] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	225
[그림 7-3-13] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	226
[그림 7-3-14] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화	228
[그림 7-3-15] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화	229
[그림 7-3-16] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화	229
[그림 7-3-17] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화	230
[그림 7-3-18] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화	231
[그림 7-3-19] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화	231
[그림 7-3-20] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화	233
[그림 7-3-21] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화	234

[그림 7-3-22] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화	234
[그림 7-3-23] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화	235
[그림 7-3-24] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화	236
[그림 7-3-25] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화	236
[그림 7-4-1] 공산지구 유역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC농도 변화	238
[그림 7-4-2] 공산지구 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N농도 변화	239
[그림 7-4-3] 공산지구 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P농도 변화	239
[그림 8-1-1] 설성저수지 유역도	247
[그림 8-1-2] 설성저수지 수질개선시설 평면도	249
[그림 8-1-3] 설성저수지 유역 구분도	250
[그림 8-1-4] 1호 인공습지 수리계통도	251
[그림 8-1-5] 1호 인공습지 시설현황	252
[그림 8-1-6] 2호 인공습지 수리계통도	253
[그림 8-1-7] 2호 인공습지 시설현황	253
[그림 8-1-8] 3호 인공습지 수리계통도	254
[그림 8-1-9] 3호 인공습지 시설현황	255
[그림 8-1-10] 4호 인공습지 수리계통도	256
[그림 8-1-11] 4호 인공습지 시설현황	256
[그림 8-1-12] 1호 침강지 평면도	257
[그림 8-1-13] 1호 침강지 시설현황	257
[그림 8-1-14] 2호 침강지 평면도	258
[그림 8-1-15] 2호 침강지 시설현황	258
[그림 8-1-16] 3호 침강지 평면도	258
[그림 8-1-17] 3호 침강지 시설현황	259
[그림 8-1-18] 기타 시설현황	259
[그림 8-2-1] 이천기상대 강수량 변화	261
[그림 8-3-1] 설성저수지 수질조사 지점	265
[그림 8-3-2] 설성저수지 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	270
[그림 8-3-3] 설성저수지 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	270
[그림 8-3-4] 설성저수지 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	271
[그림 8-3-5] 설성저수지 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	271
[그림 8-3-6] 설성저수지 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	272
[그림 8-4-1] 설성저수지 유역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC 농도 변화	273
[그림 8-4-2] 설성저수지 저수율 변화 (2016년)	273
[그림 8-4-3] 설성 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N농도 변화	274

[그림 8-4-4] 설성 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P농도 변화	274
[그림 9-1-1] 둔전저수지 유역도	282
[그림 9-1-2] 1호 인공습지 수리계통도	285
[그림 9-1-3] 1호 인공습지 시설현황	285
[그림 9-1-4] 1호 인공습지 계획평면도	285
[그림 9-1-5] 2호 인공습지 수리계통도	286
[그림 9-1-6] 2호 인공습지 시설현황	286
[그림 9-1-7] 2호 인공습지 계획평면도	286
[그림 9-1-8] 침강지 평면도	287
[그림 9-1-9] 침강지 시설현황	287
[그림 9-1-10] 물순환장치 및 인공식물섬 시설현황	288
[그림 9-3-1] 둔전지구 수질조사 지점	294
[그림 9-3-2] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	298
[그림 9-3-3] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	298
[그림 9-3-4] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화	299
[그림 9-3-5] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화	299
[그림 9-3-6] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	300
[그림 9-3-7] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	300
[그림 9-3-8] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	301
[그림 9-3-9] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	301
[그림 9-3-10] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	302
[그림 9-3-11] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	302
[그림 9-3-12] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	303
[그림 9-3-13] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	303
[그림 9-3-14] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 Chl-a 변화	304
[그림 9-3-15] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화	307
[그림 9-3-16] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화	308
[그림 9-3-17] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화	308
[그림 9-3-18] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화	309
[그림 9-3-19] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화	309
[그림 9-3-20] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화	310
[그림 9-3-21] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수 Chl-a 변화	310
[그림 9-4-1] 둔전저수지 유역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC 변화	311
[그림 9-4-2] 둔전저수지 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N 변화	312
[그림 9-4-1] 둔전저수지 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P 변화	312

[그림 10-1-1] 성암저수지 유역도	320
[그림 10-1-2] 1호 인공습지 수리계통도	323
[그림 10-1-3] 1호 인공습지 시설현황	323
[그림 10-1-4] 2호 인공습지 수리계통도	324
[그림 10-1-5] 2호 인공습지 시설현황	325
[그림 10-1-6] 3호 고효율인공습지 평면도	326
[그림 10-1-7] 1호 및 2호 침강지 평면도	327
[그림 10-1-8] 1호 및 2호 침강지 및 인공식물섬 시설현황	328
[그림 10-1-9] 하수종말처리장 전경 및 고효율습지 노랑꽃창포 현황	328
[그림 10-3-1] 성암지구 수질조사 지점	334
[그림 10-3-2] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	340
[그림 10-3-3] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화	340
[그림 10-3-4] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	341
[그림 10-3-5] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	342
[그림 10-3-6] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	343
[그림 10-3-7] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	343
[그림 10-3-8] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화	347
[그림 10-3-9] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화	348
[그림 10-3-10] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화	348
[그림 10-3-11] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화	349
[그림 10-3-12] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화	349
[그림 10-3-13] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화	350
[그림 10-4-1] 성암지구 유역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC농도 변화	351
[그림 10-4-2] 성암지구 저수율 변환	351
[그림 10-4-3] 성암지구 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N농도 변화	352
[그림 10-4-4] 성암지구 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P농도 변화	352
[그림 11-1-1] 대승저수지 유역도	359
[그림 11-1-2] 대승저수지 유역 구분도	362
[그림 11-1-3] 대승지구 수처리계통도	363
[그림 11-1-4] 1호 인공습지 시설현황	363
[그림 11-1-5] 대승지구 수처리계통도	364
[그림 11-1-6] 2호 인공습지 시설현황	365
[그림 11-1-7] 1호 침강지 평면도	365
[그림 11-1-8] 1호 침강지 시설현황	366
[그림 11-1-9] 기타시설 시설현황	366

[그림 11-3-1] 대승지구 수질조사 지점	372
[그림 11-3-2] 대승지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화	375
[그림 11-3-3] 대승지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화	376
[그림 11-3-4] 대승지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화	377
[그림 11-3-5] 대승지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화	377
[그림 11-3-6] 대승지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화	378
[그림 11-3-7] 대승지구 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화	381
[그림 11-3-8] 대승지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화	382
[그림 11-3-9] 대승지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화	383
[그림 11-3-10] 대승지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화	383
[그림 11-3-11] 대승지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화	384
[그림 11-4-1] 대승지구 유역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC농도 변화	385
[그림 11-4-2] 대승지구 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N농도 변화	386
[그림 11-4-3] 대승지구 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P농도 변화	386

1. 서론



-
- 1.1 수질개선사업의 배경 및 목적
 - 1.2 수질개선사업 개요
 - 1.3 조사내용 및 방법

1.1. 수질개선사업의 배경 및 목적

우리나라는 기후 특성상 6~9월 사이에 강우가 집중되어 대부분 바다로 유출되기 때문에 이 시기에 물을 충분히 확보하지 않으면 물 사용에 어려움이 있으므로 예전부터 인공호소를 많이 조성하여 수자원을 확보하여 왔다.

우리나라 전체 물 사용량 중 47%로 가장 많은 비율을 차지하는 농업분야에 있어서도 용수 확보를 위하여 예전부터 인공호소를 많이 조성하여 왔다. 그 결과 우리나라 농업용수의 총 수혜면적 908천ha 중 농업용 저수지가 48.5%인 440천ha로써 가장 많은 비율을 차지(농업생산기반정비 통계연보, 2016년)하고 있다.

그런데 이들 농업용 호소는 대부분 10m 이하의 평균 수심을 가지며, 호수의 체적에 비해 표면적이 비교적 커서 부영양화 현상이 가속화될 수 있는 가능성이 높기(박 등, 2009) 때문에 수질관리에 불리한 구조를 가지고 있다. 이에 더하여 농촌지역의 생활수준의 향상, 도시화의 진행 등 다양한 요인에 의해 오염발생 부하량이 증가되고 이에 따라 농업용 저수지의 수질도 악화되고 있다.

농업용 저수지는 대부분 반폐쇄성 수역공간이라는 구조적 특성 때문에 하천에 비해 자체정화 능력이 떨어지며 영양염류의 축적이 용이하여 일단 오염이 되면 부영양화(eutrophication), 빈번한 조류의 대발생 등으로 농촌지역의 수변경관을 저해하기도 한다. 반면, 지역농민, 인근 주민들의 민원과 불만 해소, 고품질 농산물의 생산을 위한 필요성 증대, 농촌 경관 개선 및 저수지의 생산적 활용 요구의 증대 등에 따라 저수지의 수질 관리 필요성이 증가되고 있다.

저수지와 그 일대를 위락지와 쾌적한 주거지로 활용하기 위해서 수질개선의 필요성이 높아지고 있다. 최근에는 저수지 친수공간 활용사례로서 도시공원형 개발 사례, 농어촌 테마공원형 개발 사례, 생태보전형 개발 사례, 농가소득 증대 및 지역경제 활성화 사례, 레저형 개발 사례 등 다양한 이용이 증대되고 있으며, 이를 위해서는 수질관리가 필수적이다.

농업용 저수지의 주요오염원을 분석한 결과 비점오염원인 토지계에 의한 오염이 49%로 가장 높고, 생활계와 축산계가 각각 27%, 23% 순이다. 농업용 저수지의 수질관리를 위해서 비점오염원의 유출특성, 강우와 비점오염유출량과의 상호관계, 비점오염물질이 수질에 미치는 기여도, 비점오염원 정화기술 등을 포함한 비점원오염의 관리 방안을 마련하여 비점오염원 정화시설이 효과적으로 설치되도록 할 필요성이 있다.

농업용수 수질오염 현상에 대한 사회적 관심이 높아짐에 따라 1999년부터 농업용수 수질개선사업을 추진하게 되었다. 농업용수 수질개선사업은 농촌지역이 가진 자연환경과

수질오염 특성이 반영된 자연의 정화기능을 이용한 생태공학적 수질개선 공법을 주요 대책공법으로 채택하였다. 수질개선사업은 오염물질 제거를 통한 농업용 저수지의 수질 개선이라는 직접적인 사업목표와 농촌지역의 자연생태복원에 따른 농촌 수변경관향상에도 중요한 역할을 할 것이다.

수질개선사업의 주요 내용은 자연정화기능을 이용한 생태공학적 수질개선공법으로 자연형 하천정비와 저수지로의 오염물질 유입을 차단하기 위한 인공습지와 침강지의 조성, 인공식물섬, 물순환장치 등이 조성된다. 그러나 지난 몇 년간 우리나라를 비롯한 전 세계는 이상기후에 따른 물부족과 홍수에 시달리고 있으며, 근래 기후변화에 따른 강우 패턴이 변하고 이에 따라 저수지 유입수의 유입패턴이 달라지고 있기 때문에 인공습지 및 침강지를 위주로 한 저수지 수질개선사업의 모니터링이 필요하게 되었다.

농업용수 수질개선지구 사후모니터링은 수질개선사업에 적용된 수질개선 공법의 오염물질 제거효과를 검증하고, 저수지 수질개선 효과를 평가하며, 이를 토대로 수질개선 공법의 개선방안 및 적절한 유지관리 방안을 도출하는 것이 주목적이다. 또한 본 보고서에서는 기존에 설치된 수질개선시설의 성능을 모니터링 한 결과를 제시하고, 향후 변화되는 환경에 적용 가능하도록 수질개선시설의 구조개선 또는 적용방안을 제시하고자 한다.

1.2. 수질개선사업 개요

농업용수 수질개선사업은 오염된 농업용 저수지에 대한 수질개선과 하구 간척담수호의 적정한 수질관리를 위한 담수호 수질보전대책사업으로 추진되고 있다. 담수호 수질보전 대책사업은 새만금호, 화성호 등 대부분의 간척하구담수호에 대한 계획수립을 완료하고, 일부 담수호는 대책시설 설치공사를 시작하였다.

농업용 호소의 COD는 대부분 20mg/L 이하로 생활하수나, 축산폐수, 산업폐수에 비해 오염도가 매우 낮고, 점오염원에서 배출되는 오염물질이 대부분 비점오염형태로 유입되며, 강우시 비점오염물질이 일시에 많은 유량과 함께 유입되는 특성을 지니고 있다. 따라서 농업용수에 대한 수질개선은 저오염농도의 많은 유량을 처리할 수 있는 공법과 공종이 요구된다.

농업용수 수질개선사업에서의 개선공종 선정은 유량과 농도변화에도 안정적인 운영이 가능하고 시설의 유지관리 전문성이 낮으며, 관리비용 역시 적게 소요되어야 할 뿐만 아니라 생태적으로도 매우 유익하고 자연경관적으로 도움이 되는 방향으로 추진되어야 하며 인공습지, 침강지 및 부댐, 희석, 환배수로 등이 이용되고 있어 일반적인 생물학적 오폐수처리와는 다른 특징을 보이고 있다.

다음으로 효율적인 농업용수 수질관리를 위해서는 관련된 기관간의 협력 및 공동 대응체계 구축이 필요하며, 이를 통하여 예산의 과잉투자 방지와 관련사업의 경제성 확보, 그리고 수질관리목표의 조속한 달성을 이룰 수 있다. 이를 위해 2016년에 평균 TOC 또는 T-P가 IV등급을 초과하는 저수지 87개소를 선정하여 상류유역대책과 호내 대책에 대한 구체적인 실행계획을 수립하여 추진하고 있다.

1.3. 조사내용 및 방법

○ 수질조사

- 조사기간 : 2월 ~ 12월
- 조사빈도 : 10지구(감돈지구, 흥동지구, 가산지구, 개천지구, 월천지구, 궁산지구, 설성지구, 대송지구, 성암지구, 둔전지구) 각 4회/년(전지구 경우조사 1회 이상 포함)
- 조사지점 : 인공습지, 침강지 등 수질개선대책시설 유입·유출부
- 조사항목 : 수온, pH, EC, DO, SS, BOD, COD, TOC, T-N, T-P, Chl-a, 유량 등

○ 퇴적물 조사

- 조사빈도 : 1회/년
- 조사지점 : 지구별 인공습지 및 침강지 대표지점
- 조사항목 : T-N, T-P, 유기물, 강열감량, 전기전도도, 유효인산, 산도, 입도분포

○ 조사방법

- 수질조사는 수온, EC, pH, DO는 현장에서 측정·분석하였고, BOD, COD, TOC, SS, T-N, T-P, Chl-a는 시료채취 후 현장에서 전처리를 실시하여 냉장보관하면서 실험실로 운반하고 수질오염공정시험기준에 준하여 실내분석 하였다.
- 퇴적물은 인공습지내부, 침강지 등에서 시료를 채취하고 토양오염공정시험기준에 의거하여 T-N, T-P, 유기물, 강열감량, 전기전도도, 유효인산, 산도, 입도분포를 분석하였다.

[표 1-3-1] 수질 분석방법

분석항목	분석방법
수온, pH, EC, DO	휴대용 현장수질측정기로 현장에서 직접측정
BOD	격막전극법(YSI 5000 & 5100)으로 20℃, 5일간 배양 후 측정
COD	산성 KMnO ₄ 산화법으로 분석
TOC	자외선 과황산 산화방법
SS	유리섬유여지(GF/C)로 여과 후 중량법에 의해 산출
T-N	autoclave로 분해한 후 자외선 흡광광도법(Hewlett Packard 8453)에 의해 분석
T-P	과황산칼륨, Autoclave 분해한 후 흡광광도법(Hewlett Packard 8453)으로 분석
Chl-a	아세톤으로 클로로필 색소를 추출하여 흡광광도법(Hewlett Packard 8453)으로 측정

[표 1-3-2] 퇴적물 분석방법

분석항목	분석방법	분석항목	분석방법
입도	비중계법 (125 Hydrometer method)	산도	유리전극법
EC	진탕하여 거른 후 EC 측정 기기로 측정	유기물	Walkley-Black법
T-N	Kjeldahl법	T-P	분해법 : 과염소산 분해법 발색법 : 바나도 몰리브데이트법
강열감량	Furnace 질량 감량법	유효인산	추출법 : Bray No.1, 발색법 : Ascorbic acid에 의한 몰리브덴 blue법

○ 정화효율 분석방법

모니터링 결과를 통해 수질개선시설의 정화효율을 평가할 때에는 ① 부하량 합산법, ② 제거효율법, ③ 평균농도법 등을 이용할 수 있는데, 계산방법은 다음과 같다(환경부, 2008).

① 부하량 합산법(Summation of loads : SOL)은 유입되는 부하량의 합에 대한 유출 부하량의 합의 비율에 기초한 효율로 정의된다. 즉 유입총부하량과 유출총부하량으로 제거효과를 계산하는 것이다. 수질개선시설의 효율평가방법으로 가장 적합하다.

$$SOL\text{에 의한 효율} = 1 - \frac{\Sigma\text{총유출부하}}{\Sigma\text{총유입부하}}$$

여기서 총유출·유입부하량의 합은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{총유출} \cdot \text{유입부하} = \sum_{i=1}^m (\sum_{i=1}^n C_i V_i) = \sum_{j=1}^m EMC_j \cdot V_j$$

- ② 제거효율법(Efficiency Ratio)은 일정기간동안 개별 강우사상에 대한 유입·유출 EMC를 산정하고 각 EMC를 산술평균하여 평균 EMC를 환산하여 이를 제거효율 계산에 활용하는 방법이다.

$$ER = 1 - \frac{\text{평균유출}EMC}{\text{평균유입}EMC} = \frac{\text{평균유입}EMC - \text{평균유출}EMC}{\text{평균유입}EMC}$$

개별강우사상에 대한 강우유출수의 EMC는 다음의 방법으로 산정된다.

$$EMC = \frac{\sum_{i=1}^n V_i C_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

여기서, V : i 기간동안 유량 (volume of flow)

C : i기간과 관련된 평균농도(average concentration)

n : 강우사상동안 측정 결과의 총수

평균 EMC는 개별 강우사상의 EMC를 산술평균하는 방법으로 산정한다.

$$\text{평균}EMC = \frac{\sum_{i=1}^m EMC_j}{m}$$

여기서, m : 측정된 강우사상의 수

- ③ 평균 농도법(mean concentration)은 평균 유입수 농도와 평균 유출수 농도로 효율을 산정하는 방법이다.

$$\text{평균농도에 의한 효율} = 1 - \frac{\text{평균유출농도}}{\text{평균유입농도}}$$

이 방법은 오염부하와 달리 오직 농도만으로 제거효율을 평가하는 방법이며, 유량자료가 없거나 단일 시료에 대한 평가에 적용될 수 있다. 그러나 이 방법은 강우사상 전체에 대한 평가방법으로는 부적합할 수 있다.

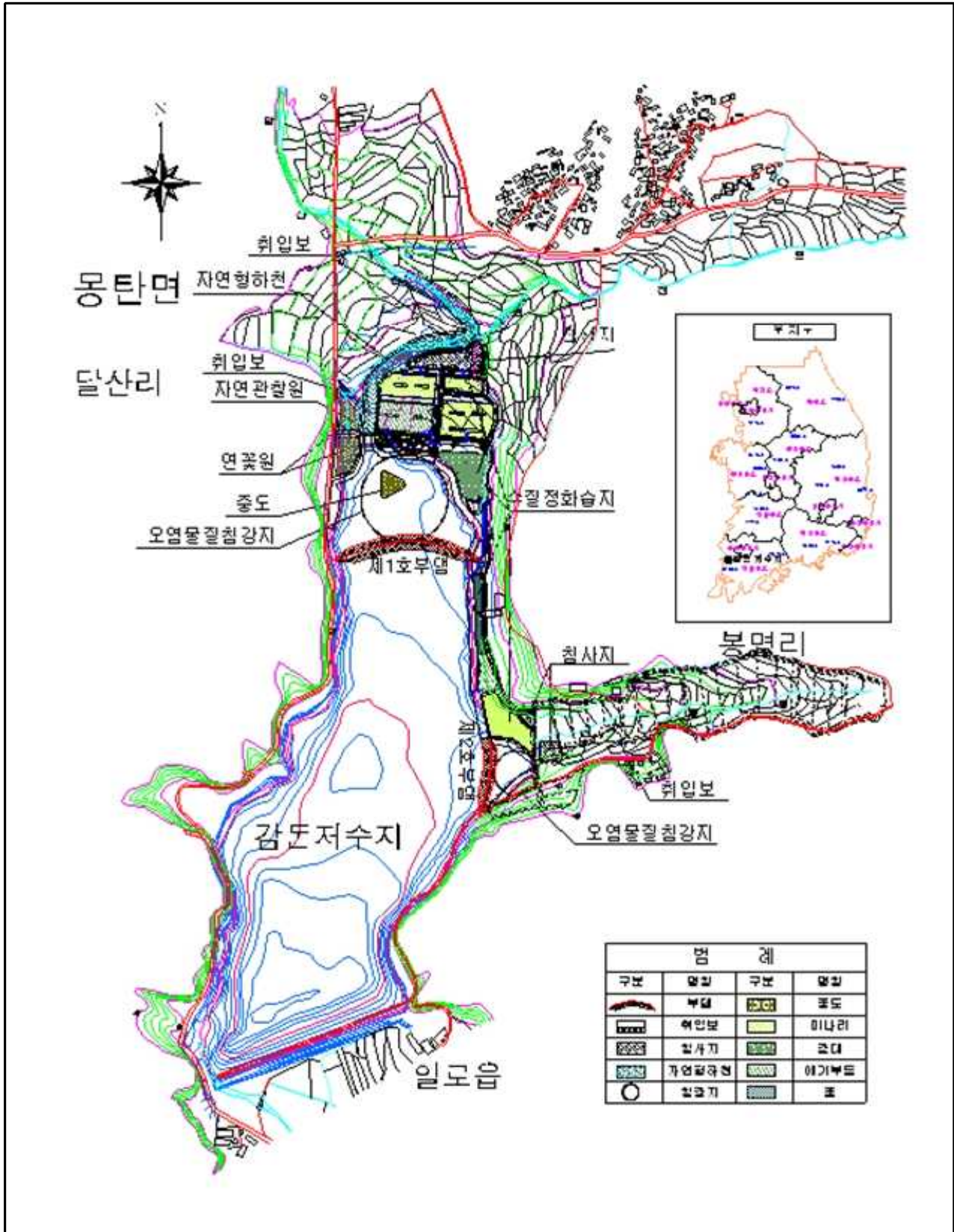
본 보고서에서는 이상의 방법 중에서 정화효율 산정에 가장 적합한 부하량 합산법으로 정화효율을 평가하는 것을 원칙으로 하고, 지역 여건상 유량측정이 어려운 경우에는 평균 농도법으로 산정하였다.

2. 감돈지구



-
- 2.1 지구현황
 - 2.2 기상 및 수질현황
 - 2.3 시설별 수질개선 효과
 - 2.4 저수지 수질변화 및 개선효과
 - 2.5 현장적용성 향상 및 유지관리 방안
 - 2.6 결 론

감돈지구 수질개선사업 평면도



2.1. 지구현황

2.1.1 저수지 현황

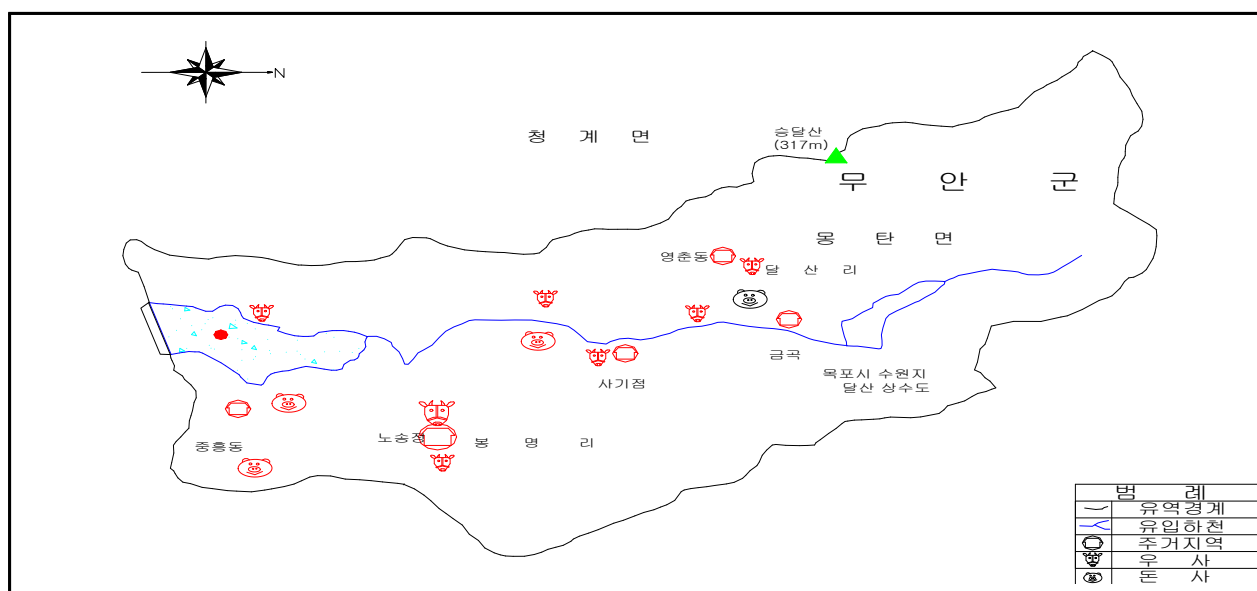
1) 유역현황

- 승달산(317m)을 정점으로 전라남도 무안군 몽탄면 봉명리, 달산리 일대 1,005ha를 유역으로 포함한다. 그 중 임야가 73.5%로 가장 많고 그 다음이 전, 답, 대지의 순이며, 사질 및 점토질 토양을 주로 구성한다.

[표 2-1-1] 감돈저수지 경위도상 위치

소재지	단	경도와 위도의 극점		연장거리	
		지명	극점		
			동경		북위
무안군	동단	무안군 몽탄면 이산리	126° 32'	34° 55'	동서간 29.5km
	서단	무안군 해제면 석룡리	126° 15'	34° 07'	
	남단	무안군 일로읍 망월리	126° 30'	34° 44'	남북간 29.5km
	북단	무안군 해제면 저도	126° 20'	34° 08'	

- 목포시 수원지인 달산저수지로부터 발원한 달산천은 감돈지 북쪽에 위치한 주하천으로서 유역면적은 633ha, 유로연장 2.95km, 유역의 평균폭 2.15km, 유로경사 7.20%, 형상계수 0.73, 하천밀도 0.47이다. 북동쪽에 위치한 봉명천은 유역면적은 175ha, 유로연장 1.38km, 유역의 평균폭 1.27km, 유로경사 16.09%, 형상계수 0.92, 하천밀도는 0.79이다.




[그림 2-1-1] 감돈저수지 유역도

2) 저수지 현황

- 감돈저수지는 수질개선 시범사업(2003년)의 일환으로 2개 주요 유역을 대상으로 인공습지와 침강지를 각각 2개소 설치하였다. 유역내 오염원으로는 다수의 마을과 축사가 산재하고 있으며, 발작물 중심으로 경작이 이루어지고 있다. 특히, 축사에서 오염원 발생 영향이 큰 지역이다. 2015년 KRC 수질보전대책 시범사업을 시행하였고 침강지 오염방지용 수중펌프가 설치되었다.

[표 2-1-2] 감돈저수지 주요시설 현황

소재지	전남 무안군 몽탄면 봉명리	
설치년도	1945년	
유역면적	1,005ha	
유효저수량	1,692천m ³	
수해농지	133.1ha	
만수면적	40ha	
관리주체	농어촌공사(무안·신안지사)	

2.1.2 수질개선시설 현황

1) 주요대책

- 상류대책으로는 마을하수처리 시설 1기가 30m³/일(A2EBC공법)의 용량으로 운영 중이며, 호내대책으로는 인공습지가 관리도로 등 기반시설을 포함하여 4구역 7.2ha 규모로 조성되었다. 순수한 인공습지 면적은 4개소 4.5ha이며(체류연못 3개소 0.4ha 포함), 침사지 2개소 0.8ha로 조성되었다. 이 중에서 제1호 및 제2호 습지가 주처리 공중으로서 2.8ha 규모이며, 유하거리는 309m이다.
- 침강지 내에는 분수포기장치 2개소를 포함하고 있으며, 이상 호내 수질개선 시설 및 장치의 상태는 양호하다. 이외 감돈저수지의 수질개선을 위해서는 상류유역 축사 시설 운영 전반에 관한 지속적인 점검·감독이 필요할 것으로 보인다.

[표 2-1-3] 감돈저수지 수질개선시설 현황

구분	대안	시설	규모	비고
<input type="checkbox"/> 상류대책(무안군 추진)				
1	하수처리	소규모하수도	30m ³ /일(A2EBC공법)	
2	관리감독	축산시설	수시 야적축분 유입 발생	
<input type="checkbox"/> 호내대책				
1	평시 유출수 처리	1호 인공습지	27,910m ²	
2	평시 및 강우 유출수 처리	1호 침강지	면적 : 30,330m ²	
3	평시 유출수 처리	2호 인공습지	16,733m ²	
4	평시 및 강우 유출수 처리	2호 침강지	면적 : 7,445m ²	
5	침강지 분수포기	분수포기장치	2기	
6	인불용화 탱크	1식	탱크용량 5,000L	
7	침강지 수중펌프	1식	Ø100mm×5.5kw	

2) 인공습지

- 달산천 유역에 위치한 1호 인공습지와 봉명천 유역에 위치한 2호습지로 나눌 수 있으며 인공습지 설계유량, 제원 등은 [표 2-1-4], [표 2-1-5]와 같다.

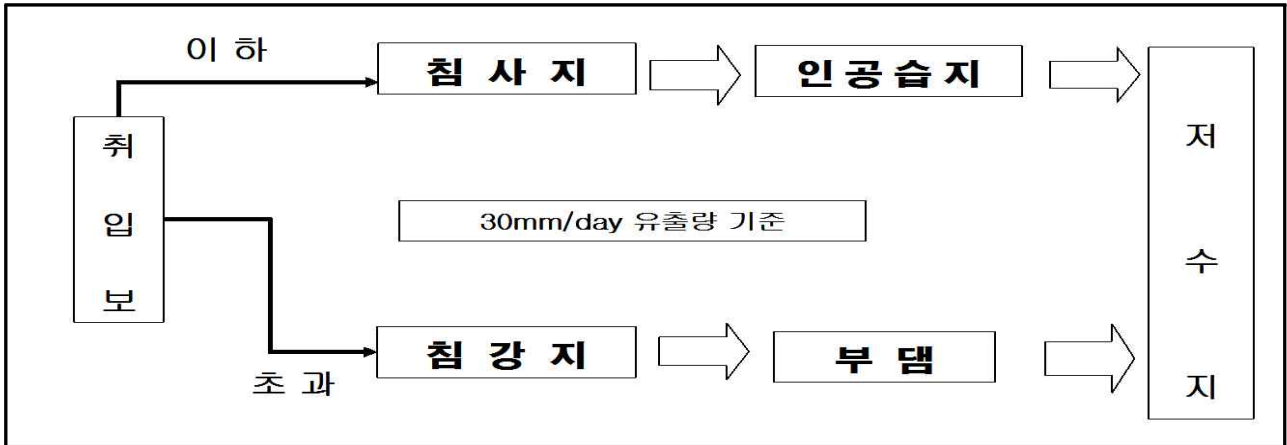
[표 2-1-4] 인공습지 설계유량 및 규모

습지명	총유출량 (ha-m)	침투홍수량 (m ³ /s)	설계홍수량 (m ³ /s)	체류시간 (hr)	면적 (m ²)
제1·2호	1.16	2.11	1.58	4.2	27,910
제3호	0.09	0.11	0.08	28.8	5,796
제4호	0.13	0.29	0.22	18.5	10,937
계	1.38	2.51	1.88	-	44,643

[표 2-1-5] 제1호 및 제2호 인공습지 제원

구분	폭(W, m)	길이(L, m)	면적(A, m ²)	W×L
제1-1호	71.2	31.5	2,478	79.4×106.1
제1-2호	87.6	74.6	7,230	
제2-1호	99.6	39.4	4,132	99.6×102.2
제2-2호	99.6	62.8	6,530	
제1-3호	93.4	102.4	7,540	93.4×102.4
평균/계	90.3	310.7	27,910	Aspect ration : 0.9

- 인공습지의 설계 유량은 30mm/d 24시간 강우분포율에 의한 홍수유출량을 수질정화 용량(체류시간 6시간, 수심 20cm)으로 결정하였고, 시설안정성 확보를 위한 설계 홍수량은 침투홍수량의 75%를 기준으로 하였다.



[그림 2.1-2] 인공습지 수리계통도



[그림 2.1-3] 1호 인공습지 평면도



[그림 2.1-4] 1호 인공습지 시설현황



[그림 2.1-5] 2호 인공습지 평면도



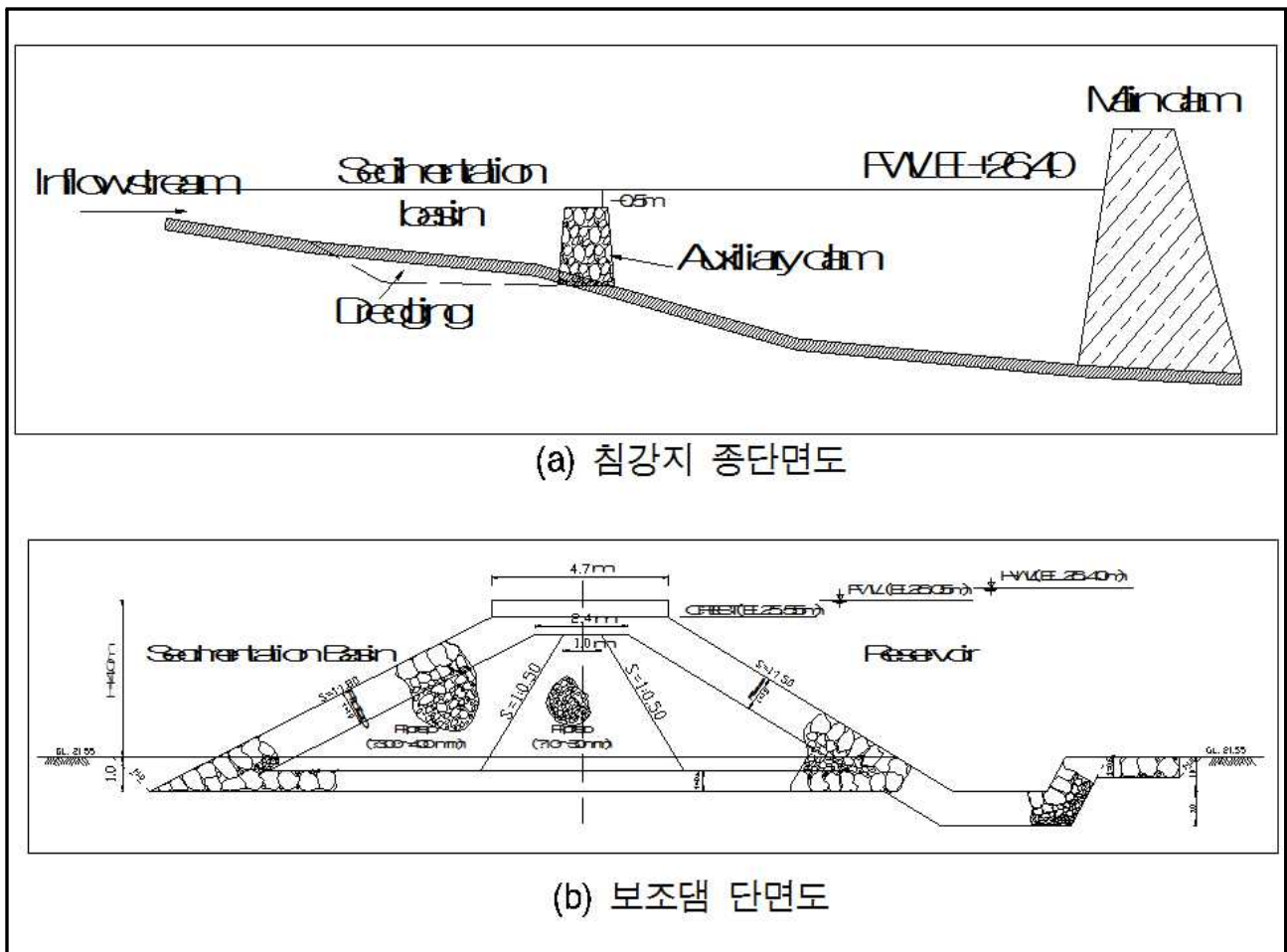
[그림 2.1-6] 2호 인공습지 시설현황

3) 침강지

- 달산천 유역에 위치한 1호침강지와 봉명천 유역에 위치한 2호침강지로 나눌 수 있으며 침강지별 특성은 [표 2-1-6]와 같다.

[표 2-1-6] 침강지 특성표

내 용	토지이용상태 (ha)						높이 (m)	길이 (m)	만수 면적 (ha)	용량 (ha-m)	SAR (%)
	계	논	밭	임야	주거지	기타					
감돈저수지	985.7	69.3	80.0	751.6	21.4	63.4	14.2	376	35.3	191.8	3.6
제1호침강지	520.1	50.0	61.7	381.7	17.3	9.4	5.5	290	3.4	12.2	0.7
제2호침강지	66.4	5.9	9.4	42.1	8.3	0.7	4.3	136	0.7	1.1	1.0



[그림 2-1-7] 침강지 평면도



[그림 2.1-8] 침강지 시설현황

4) 기타 수질개선시설

- 기타 감돈저수지에 설치된 수질개선 시설은 침강지 내부 분수포기대 1기, 인불용화 약품투입을 위한 탱크 1식(용량 5,000L)과 침강지 수질정화용 수중펌프 1식(∅ 100mm×5.5kw)이 설치되어 있으며, 상태는 모두 양호하다.
- '15년 습지 리모델링 사업 개요
 - 사업비 : 135,000천원
 - 사업기간 : 2015. 11. 09. ~ 2015. 12. 28.
 - 사업내용 : 식생 및 표토제거(4,249m³), 준설(5,617m³), 노란꽃창포 식재(유용), 일체식문비 2개소 설치
- '16년 인불용화 사업 개요
 - 사업비 : 8,271천원
 - 사업기간 : 2016. 07. 25. ~ 2016. 12. 15.
 - 사업내용 : 저수지 내 인불용화 약품 탱크설치 및 살포



분수포기대



인불용화 약품탱크



수중펌프

공 란

[그림 2-1-9] 기타시설 현황

2.2. 기상 및 수질환경

2.2.1 기상현황

1) 기온

- 감돈저수지 유역과 가장 가까운 목포 기상대에서 조사된 사업시행 전·후의 조사 시기별 평균 기온은 [표 2-2-1]과 같이 각각 1999년~2003년 평균에 비하여 1℃ 높아졌으며, 전지구적으로 발현되는 온실가스 사용에 따른 기상이변의 영향일 것으로 사료된다. 금년도의 경우 최고기온은 8월 27.9℃, 최저기온은 1월 1.8℃이고, 11월까지 평균기온은 15.8℃이었다. 이는 평년 및 2015년도 평균기온인 14.7℃와 15.2℃보다 조금 높았다.

[표 2-2-1] 감돈저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포 (단위 : ℃)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
'99~'03 (시행전) 평균	2.1	2.8	7.0	12.7	17.4	21.6	24.7	25.5	22.2	16.3	9.7	14.7
2011년 (시행후) 평균	-2.3	2.4	4.8	10.6	17.0	21.0	25.3	24.6	21.7	15.2	12.5	13.9
2012년 (시행후) 평균	0.5	0.2	5.3	12.0	17.6	21.9	25.1	27.0	20.9	16.0	8.8	14.1
2013년 (시행후) 평균	0.6	1.8	6.1	10.4	17.2	22.0	26.4	27.8	22.4	16.9	9.6	14.7
2014년 (시행후) 평균	2.3	3.6	7.7	13.2	17.8	21.7	24.5	24.1	22.2	16.9	10.9	15.0
2015년 (시행후) 평균	2.5	3.2	6.9	12.7	17.7	21.5	24.8	25.9	22.0	17.3	12.2	15.2
2016년 (시행후) 평균	1.8	3.7	7.5	13.8	18.6	22.2	26.1	27.9	23.1	17.3	11.8	15.8
평년값	1.7	2.9	6.7	12.3	17.3	21.4	24.8	26.1	22.2	16.6	10.2	14.7

2) 강수량

- 목포 기상대에서 관측된 사업시행 전·후의 연간 총 강수량은 1999~2003년 기간 동안 11월까지 평균 1,278.0mm이었고, 2012년도에는 11월까지 1,502.9mm로 가장 많은 강수량을 보였다.
- 사업시행 후(이하 최근 5년간)의 평균 강수량에서는 2015년 973.0mm로 가장 가물었던 반면, 올해를 포함해서 사업시행이후 특히 11월의 강우량이 평년의 43.4mm보다 두 배 이상의 강우량을 보여 강우패턴이 변화되는 경향을 보였다. 2016년에는 8월에는 평년보다는 크게 적은 양의 비가 내렸고, 1월, 4월, 5월, 10월에는 평년에 비해 많은 비가 내려 월별 강우량의 편차가 심했다.

[표 2-2-2] 감돈저수지 유역 사업시행 전후 월별 강수량 분포

[단위 : mm]

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
'99~'03(시행전)	39.8	35.1	59.0	79.2	82.4	169.4	251.1	291.6	178.6	60.3	31.5	1,278.0
2011년(시행후)	12.2	43.9	25.6	85.3	96.9	134.6	227.6	160.0	10.1	22.0	149.9	968.1
2012년(시행후)	14.1	28.9	136.6	107.2	26.9	51.7	319.4	443.4	259.3	65.9	49.5	1,502.9
2013년(시행후)	14.2	51.0	68.9	41.6	140.7	84.4	224.9	176.8	153.6	17.4	99.2	1,072.7
2014년(시행후)	12.4	15.8	92.3	71.4	72.8	69.9	136.8	255.0	74.7	98.6	95.7	995.4
2015년(시행후)	41.1	25.7	34.4	159.6	77.8	117.8	159.6	86.5	79.5	84.2	106.8	973.0
2016년(시행후)	79.2	40.5	54.9	192.0	119.9	133.6	249.2	20.4	197.8	203.1	51.2	1341.8
평년값	33.2	42.4	60.0	69.3	89.2	173.1	236.7	192.6	147.5	46.9	43.4	1134.3

2.2.2 수질현황

1) 목표수질 설정

- 1999년 수립된 감돈저수지 농업용수 수질개선사업 기본계획에서는 감돈저수지의 목표수질을 물의 이용목적, 이용시기, 장래 주변 환경여건 변화를 고려하여 주목적인 농업용수 수질환경기준(환경정책기본법 제12조)을 달성하되, 지역주민 여가활동 공간 및 생태계 유지를 위한 관리기준을 만족해야 될 것으로 보아 [표 2-2-3]과 같이 설정하였다.

[표 2-2-3] 감돈저수지 목표수질

구 분	목표수질	기본계획 수립시 (‘99년, A)	예측수질 (‘08년)	‘16년 (B)	수질개선 효과(%)
					(A-B)/A
COD(mg/L)	8.0 이하	14.4	7.8	8.5	41%
T-N (mg/L)	1.0 이하	3.62	1.00	2.356	35%
T-P (mg/L)	0.1 이하	0.32	0.09	0.047	85%
수질등급	IV등급	등외	IV등급	V	-
유해물질	사람의 건강보호에 관한 환경기준 만족				

2) 오염원 현황

- 오염원 현황은 '농업용수 수질측정망 조사보고서' 자료를 인용하였는데, 오염원 조사는 수질오염총량관리기본방침 제8조와 [별표]에 따라 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 토지계, 매립계 등으로 구분하여 조사하였다. 오염원은 수계오염총량기술지침에 따라 행정구역별, 배출원별로 조사하였으며, 환경기초시설도 함께 조사하였다.
- 감돈저수지 유역내에는 양식계와 매립계는 존재하지 않았고, 생활계, 축산계, 산업계, 토지계에 대한 조사결과는 [표 2-2-4]~[표 2-2-6]에 나타내었다.
- 점오염원은 인간의 생활에 의한 오염, 공장 및 사업장으로부터의 오염, 가축에 의한 오염 등과 같이 오염원이 뚜렷하며 한곳에 집중되어 있는 것을 말한다.
- 감돈저수지 유역에는 공장 및 사업장이 1개소 있으나 폐수배출은 없으며, 축산의 경우 특히, 돼지는 년 중 변화가 크게 나타났고 인구는 변화가 작은 것으로 나타났다.
- 사업시행 전인 기본계획수립시(1999년) 인구는 482명이었는데, 매년 인구가 감소하여 2014년도에는 333명, 2016년도에는 311명으로 1999년 대비 약 35%가 감소되었다.

[표 2-2-4] 감돈저수지 유역내 인구변화 추이

구 분	1999년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
인구(명)	482	358	347	335	333	331	311

- 축산의 경우 2015년도에는 한우와 돼지가 각각 1,883두, 6,430두 였으며, 2016년도에는 한우 2,175두로서 전년도에 비해 다소 증가한 반면, 돼지는 5,400두로서 전년도에 비해 감소하였다.
- 기본계획 수립당시인 1999년도의 한우 862두, 돼지 3,532두에 비해 2016년도에는 한우는 2.5배, 돼지는 1.5배 증가되는 등 축산계가 증가된 경향을 보였다.

[표 2-2-5] 감돈저수지 유역내 연도별 축산변화

구 분	1999년	2010년	2011년	2013년	2014년	2015년	2016년
한우(두)	862	1,758	2,055	1,925	1,734	1,883	2,175
돼지(두)	3,532	7,020	5,900	5,900	6,700	6,430	5,400

- 토지이용 현황은 총면적이 1,005ha이며, 이중 임야 745ha, 전과 답이 각각 82ha, 72ha, 기타 106ha로써 2015년도에 비해 변화가 없었다.

[표 2-2-6] 감돈저수지 유역내 지목별 토지이용현황

구 분	2010년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
계	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
전(ha)	82	82	82	82	82	82
답(ha)	72	72	72	72	72	72
임야(ha)	745	745	745	745	745	745
기타(ha)	106	106	106	106	106	106

3) 오염부하량

- 감돈저수지의 유역내 오염원별 발생부하량은 [표 2-2-7]과 같으며, 최근 연도별 발생 부하량 변화는 [표 2-2-8]와 같다.

[표 2-2-7] 2016년 감돈저수지 유역내 발생부하량

구 분	점 오염 원						비점오염원					계	
	생활계 (인)	축산계(두)			산업계 (m ³ /일)	소계	토지현황(ha)				소계		
		한우	젖소	돼지			전	답	임야	기타			
원수	311	2,175	-	6,900	-	-	82	72	745	106	-	-	
발 생 부 하 량	BOD	15.2	145.7	-	220.8	-	381.7	1.3	1.7	7.5	1.1	11.5	393.2
		3.9%	37.1%	-	56.2%	-	97.1%	0.3%	0.4%	1.9%	0.3%	2.9%	100.0%
	T-N	4.1	87.0	-	102.8	-	193.9	7.7	4.7	16.4	0.1	28.9	222.8
		1.8%	39.0%	-	46.1%	-	87.0%	3.5%	2.1%	7.4%	0.0%	13.0%	100.0%
	T-P	0.5	7.6	-	22.8	-	30.9	0.197	0.439	1.043	0.032	1.7	32.6
		1.5%	23.3%	-	69.9%	-	94.8%	0.6%	1.3%	3.2%	0.1%	5.2%	100.0%

- 감돈저수지 유역내 오염물질 발생부하량은 기본설계 당시인 1999년에 BOD 205.8 kg/d, T-N 106.1kg/d, T-P 16.3kg/d이었는데, 2016년도에는 BOD 393.2kg/d, T-N 222.8kg/d, T-P 32.6kg/d로써 1999년도에 비해 크게 증가하였다. 감돈저수지 발생부하량의 변화는 주로 유역내 축사에서의 영향이 큰 것으로 나타났다.

[표 2-2-8] 감돈저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량

구 분	연도별 발생부하량(kg/d)						
	1999년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
BOD	205.8	371.0	355.0	345.7	358.4	359.6	393.2
T-N	106.1	208.6	203.6	198.2	202.5	204.4	222.8
T-P	16.3	31.6	28.9	28.4	30.4	30.0	32.6

4) 수질현황

- 수질개선사업 추진을 통한 수질변화 현황은 2003년 착공 후 지속적으로 낮아지는 경향을 보였고 목표년도인 2008년 농업용수 관리기준을 달성하였다.
- 이후 수질은 [표 2-2-9]에 나타난 바와 같이, 경과연수 증가, 기후변화로 인한 강우량 급감 등으로 '14년부터 다소 증가하는 경향을 보이고 있다.

[표 2-2-9] 감돈저수지 수질현황

구 분 (mg/L)	7개년평균 (‘04~‘10)	‘01년 (착공시)	수질 변화						목표년도 (‘08년)	목표수질
			‘11	‘12	‘13	‘14	‘15	‘16		
COD	8.98	12.5	6.7	7.8	7.8	9.1	8.9	8.5	8.1	8.0이하
T-N	1.632	3.08	1.00	2.21	1.956	1.72	1.73	2.36	1.82	1.0이하
T-P	0.078	0.182	0.039	0.062	0.097	0.08	0.07	0.048	0.069	0.1이하

2.3. 시설별 수질개선 효과

2.3.1 인공습지 수질개선효과

- 감돈저수지 수질개선시설의 수질정화효율을 분석하기 위하여 W-1(1호 침강지 및 인공습지 유입부), W-2(1호 인공습지 유출부), W-3(1호 침강지 유출부) 등 총 3지점에서 수질 조사를 실시하였다.

[표 2-3-1] 감돈저수지 수질 및 퇴적물 조사시기

구분	조사횟수	조사일자				
		1차	2차	3차	4차	5차(강우시)
수질조사	5회	2016.04.28	2016.06.24	2016.08.29	2016.09.07	2016.09.28
퇴적물조사	1회	-	-	2016.08.18	-	-



[그림 2-3-1] 감돈지구 수질 및 퇴적물 조사 지점

- 습지전방에서의 하천수는 취입보를 통해 습지로 유입되며 구배를 따라 자연적으로 유하하여 습지에서 저수지로 양호하게 배출되고 있었다.
- 조사시기는 일기가 양호한 4월 27일, 6월 23일, 8월 29일, 9월 7일에 실시하였고, 9월 28일에는 강우시 조사가 이루어 졌다. 이와 함께 퇴적물 조사가 인공습지 내부 S-1과 침강지 내부 S-2에서 8월 18일 실시되었다.
- 2016년도 감돈 저수지 1호 인공습지 유입수의 평균 수온은 19.0℃였고, 유출수는 20.0℃를 나타냈다.
- 1호 인공습지 유입수의 평균 pH는 7.5이었는데, 유출수는 7.7로써 유입수와 유출수 간에 차이가 없었으며, 대부분 농업용수 관리기준인 6.0 ~ 8.5를 만족하였다.
- EC는 1호 인공습지 유입수가 평균 253.5 μ S/cm였는데, 유출수는 평균 229.5 μ S/cm로써 서로 비슷한 값을 나타냈다.
 - EC의 경우 우리나라 환경정책기본법의 농업용수 관리기준에는 없지만 미국 캘리포니아대학교 대외협력국(UCCES)이 개발한 농업용수 관리기준지침에는 700 μ S/cm 이하에서는 작물생육에 문제가 없는 것으로, 700 μ S/cm ~ 3,000 μ S/cm에서는 오염 우려, 3,000 μ S/cm 이상에서는 작물생육에 큰 영향을 미치는 것으로 분류하고 있다.
 - 1호 인공습지 유입수 및 유출수는 700 μ S/cm에 비해 매우 작은 값이기 때문에 농업용수로 이용하는데 문제가 없는 수준이다.
- DO는 유입수가 평균 5.1mg/L, 유출수는 평균 5.3mg/L로써 큰 차이 없이 일정한 수준을 유지하는 경향을 보였다.
 - 인공습지에 유입되는 물은 흘러가는 동안 미생물이 유기물을 분해하기 위하여 DO(용존산소)를 소모하게 되고, 반면 습지에 흘러가는 동안 또는 머무는 동안 대기로부터 재폭기가 이루어지게 된다.
 - 인공습지는 DO의 소모 및 재폭기가 균형을 이루고 있는 모습을 보였다.

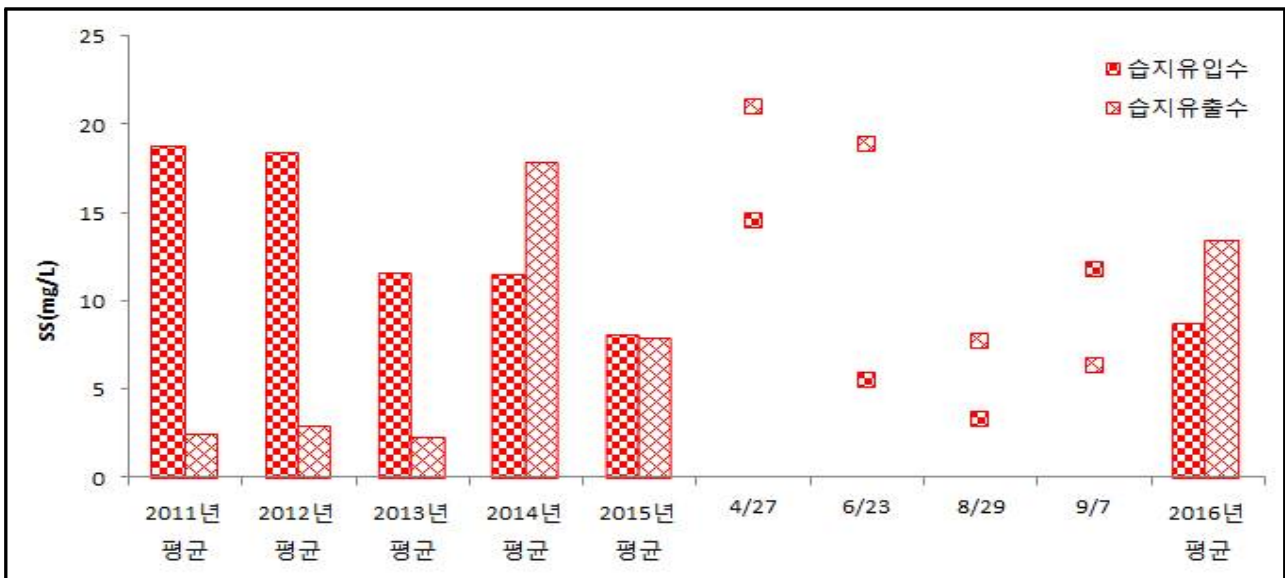
[표 2-3-2] 감돈저수지 인공습지 수질변화

구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차 (4.28)	2차 (6.24)	3차 (8.29)	4차 (9.7)	평균	강우 (9.28)
수온 (°C)	유입수	16.9	16.8	18.8	23.7	23.9	13.7	14.3	24.2	23.6	19.0	22.2
	유출수	16.6	17.3	17.7	21.7	21.6	14.0	15.7	24.5	25.6	20.0	23.4
pH	유입수	7.8	7.4	7.7	7.9	7.5	7.1	8.3	7.5	7.2	7.5	8.7
	유출수	7.6	7.2	7.4	7.3	7.2	7.1	8.3	7.7	7.8	7.7	8.8
EC (µS/cm)	유입수	213	215	241	246	203	176	257	347	234	254	277
	유출수	217	217	217	213	170	197	225	248	248	230	236
DO (mg/L)	유입수	8.0	8.5	9.7	7.7	6.6	5.5	5.4	5.0	4.6	5.1	6.8
	유출수	5.0	5.2	5.2	3.2	3.0	5.9	5.9	4.7	4.6	5.3	7.2
SS (mg/L)	유입수	18.8	18.4	11.6	11.5	8.1	14.5	5.5	3.3	11.7	8.8	9.1
	유출수	2.5	2.9	2.3	17.9	7.9	21.0	18.8	7.7	6.3	13.5	8.2
BOD (mg/L)	유입수	4.7	5.0	5.5	3.1	2.2	6.1	4.3	3.6	5.0	4.8	5.2
	유출수	2.1	4.8	3.4	1.5	1.8	5.0	5.0	3.5	5.1	4.7	4.6
COD (mg/L)	유입수	10.0	8.0	6.5	6.0	7.7	15.2	8.6	6.4	12.0	10.6	8.6
	유출수	7.3	5.9	6.6	6.7	7.2	11.6	14.0	14.0	10.8	12.6	8.4
TOC (mg/L)	유입수	-	-	3.6	3.7	4.0	6.2	6.2	7.0	5.2	6.2	5.1
	유출수	-	-	3.8	3.9	4.2	5.8	8.1	8.0	5.3	6.8	4.6
T-N (mg/L)	유입수	6.600	7.040	6.580	7.600	5.650	5.283	4.572	4.896	4.917	4.917	6.633
	유출수	2.850	4.110	2.630	1.700	0.820	6.470	3.384	0.808	0.659	2.830	0.700
T-P (mg/L)	유입수	0.521	0.353	0.299	0.237	0.215	0.452	0.319	0.220	0.216	0.302	0.469
	유출수	0.192	0.142	0.172	0.260	0.264	0.536	0.268	0.492	0.436	0.433	0.160

[표 2-3-3] 6개년 감돈지구 인공습지 정화효율

구 분		'11~16'년 평균		'11~16'년 평상시		'11~16'년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	유입수	134.64	36.0	34.2	-15.2	399.5	47.6
	유출수	86.10		39.4		209.4	
BOD (kg/d)	유입수	29.69	25.6	7.1	23.5	89.2	26.0
	유출수	22.10		5.5		66.0	
COD (kg/d)	유입수	68.00	15.1	35.7	-14.7	153.1	33.5
	유출수	57.70		41.0		101.8	
TOC (kg/d)	유입수	34.78	-16.6	21.7	-30.1	93.9	-2.5
	유출수	40.54		28.2		96.2	
T-N (kg/d)	유입수	44.520	40.6	29.908	43.4	81.716	38.0
	유출수	26.445		16.915		50.703	
T-P (kg/d)	유입수	2.784	31.1	1.321	-2.5	6.507	48.5
	유출수	1.918		1.355		3.351	
Chl-a (g/d)	유입수	77.38	32.5	37.3	-28.7	179.5	64.9
	유출수	52.22		48.0		63.0	

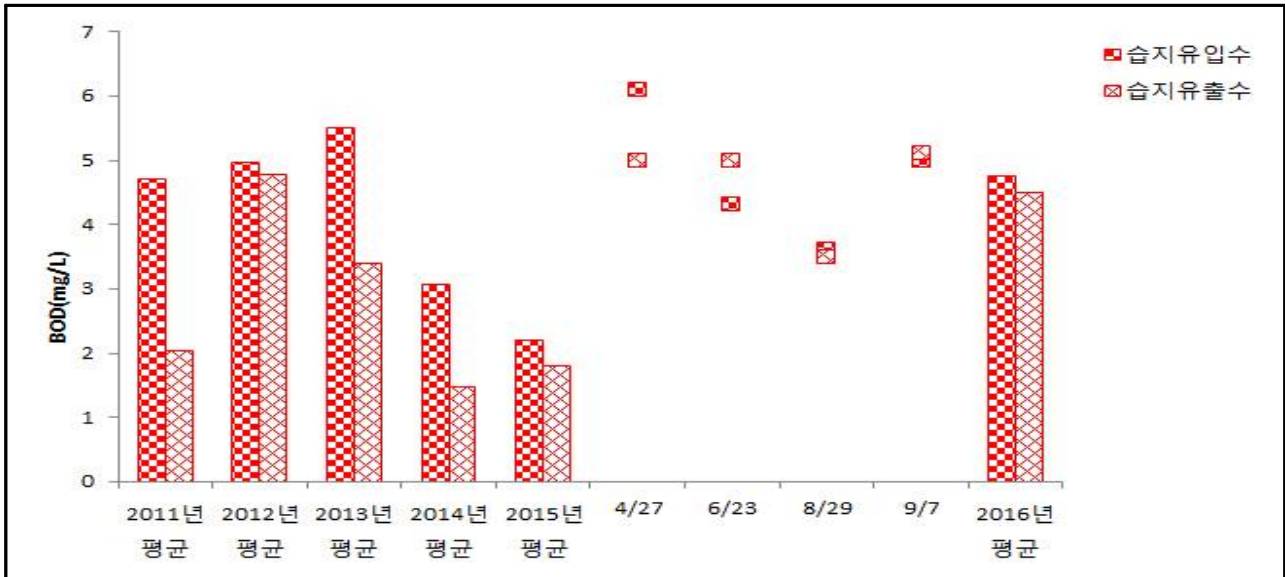
- SS는 금년도 9월 7일을 제외하고는 유입수에 비해 유출수에서 다소 높게 나타났다. 그러나 SS의 유입출 경향을 살펴보면 1차~3차까지 유출수에서 다소 높게 나타나 4차 및 5차(강우시) 조사시 더 낮거나 거의 비슷하게 수치를 나타낸다. 이는 2015년 말 시행한 습지표토제거 및 식생정비 사업 이후 불안정화된 표토에서 나타난 영향으로 사료된다.
- 불안정화된 표토에서 물흐름에 따라 바닥 퇴적물이 분리·부유하게 되고, 유출부에서의 SS는 증대된 것으로 판단된다. 하지만 3~5차 조사결과에서와 같이 시간의 흐름에 따라 바닥표토는 안정을 찾아 가고 있어 습지의 정화효과는 곧 정상화 될 것으로 예상된다.
- 일반적으로 인공습지에서 SS 정화효율은 높게 나타나는데 이는 인공습지를 흘러가면서 무거운 부유물질은 중력에 의해 자연적으로 침전되고, 변성하고 있는 식물 줄기와 부딪히면서 가라 앉는 등 식물들이 필터역할을 하기 때문이다.
- 최근 6개년 간 인공습지에서 SS 정화효율을 살펴보면 평균 134.64kg/d가 유입되고 86.1kg/d가 유출되어 36.0%의 정화효율을 보였다.



[그림 2-3-2] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화

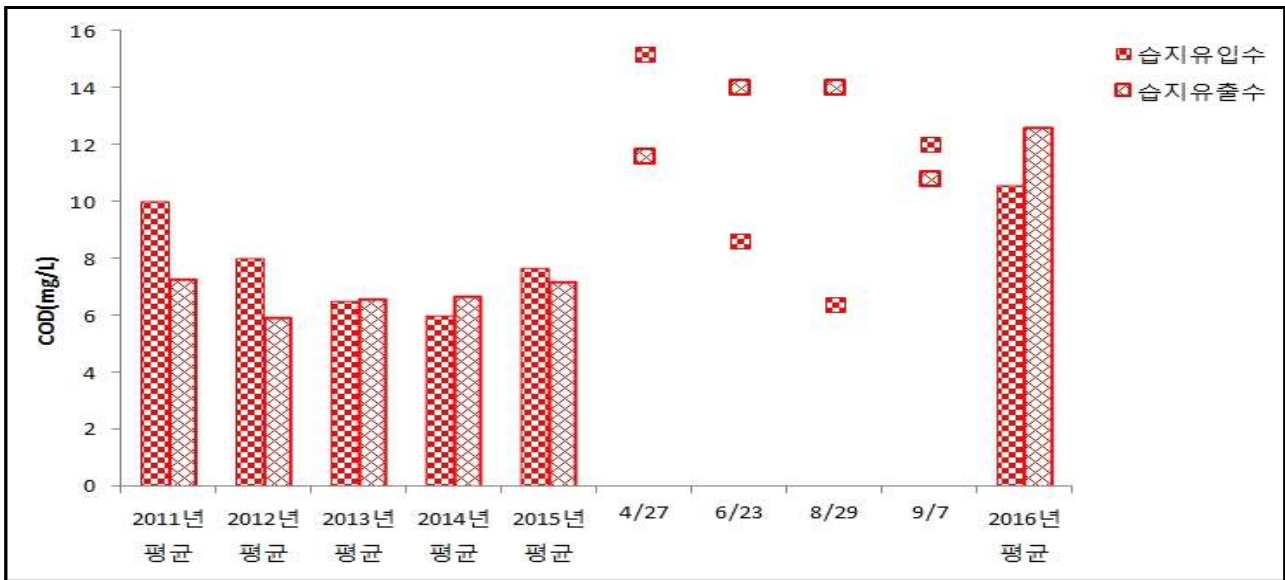
- BOD는 1호 인공습지 유입수와 유출수가 각각 평균 4.8mg/L, 4.7mg/L로 거의 일정한 수준을 나타내었다.
- 정상적인 인공습지는 유기물의 침전, 흡착에 영향을 주고 습지내 식물에서의 뿌리를 통해 유기물 분해의 효과를 나타낼 수 있다. 하지만 2015년 말 시행한 습지퇴적물 및 식생정비 사업으로 인하여 습지내 정화효과와 불안정화된 습지내 유기물 부상효과가 상충되고, 이로 인해 표면적인 BOD 수치는 일정하게 나타났을 것으로 판단된다.

- 최근 6개년 간 BOD의 정화효율을 살펴보면 평균적으로 29.69kg/d가 유입되고 22.10kg/d가 유출되어 25.6%의 정화효율을 보였다.



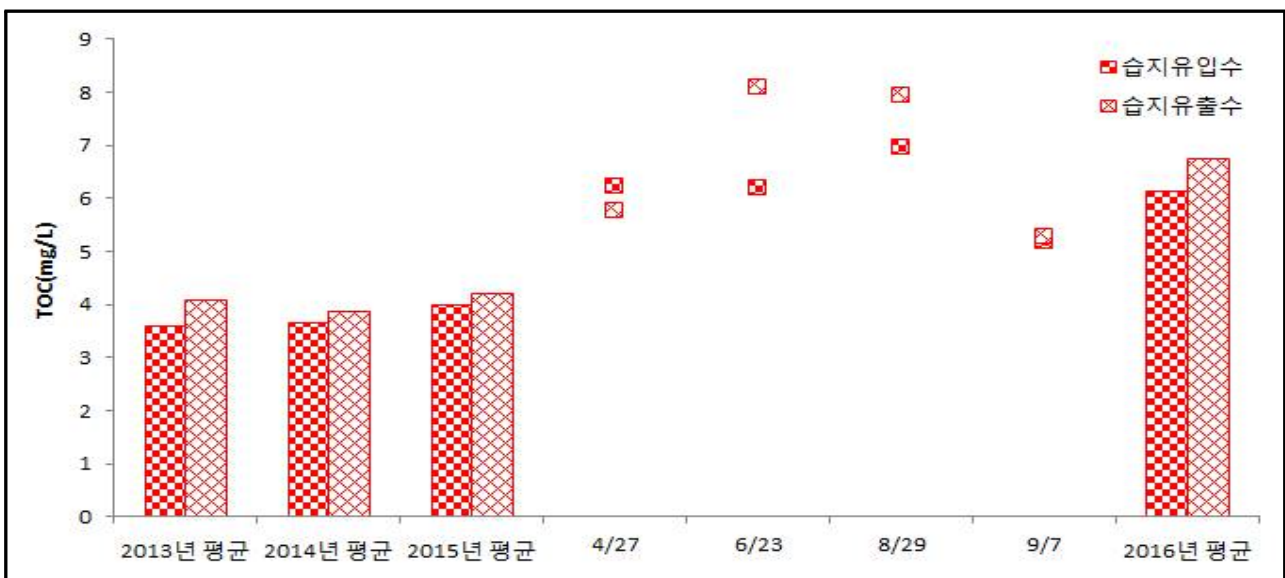
[그림 2-3-3] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화

- COD는 1호 인공습지 유입수가 10.6mg/L인데, 유출수는 12.6mg/L로 다소 높아진 상태로 배출되었다.
- 특히 1차~3차 조사에서 큰 폭으로 증가하는 유입, 유출에의 불균형을 나타내었다. 이는 역시 2015년 말 시행된 습지퇴적물 및 식생정비 사업으로 물흐름에 따른 저층 표토에서의 COD물질 이탈·부유에 따른 영향일 것으로 판단된다.
- 시기별 정화율 변화를 보면, 1차 조사시 겨우내 유역에 침전되어 있던 입자성 물질 유입이 많아 유입수의 농도가 높고 정화효율도 높게 나타났지만, 2~3차 조사 시기에는 습지가 정상화가 되지 않은 상태에서 강우의 지속 유입으로 인해 습지 정화효율이 많이 떨어졌다. 하지만 4차 조사시 이러한 현상은 안정화되었고 2017년에는 정상적인 습지 정화 양상을 나타낼 것으로 판단된다.
- 최근 6개년 간 COD의 정화효율은 68.0kg/d가 유입되고 57.7kg/d가 유출되어 15.1 %의 정화효율을 보였다.



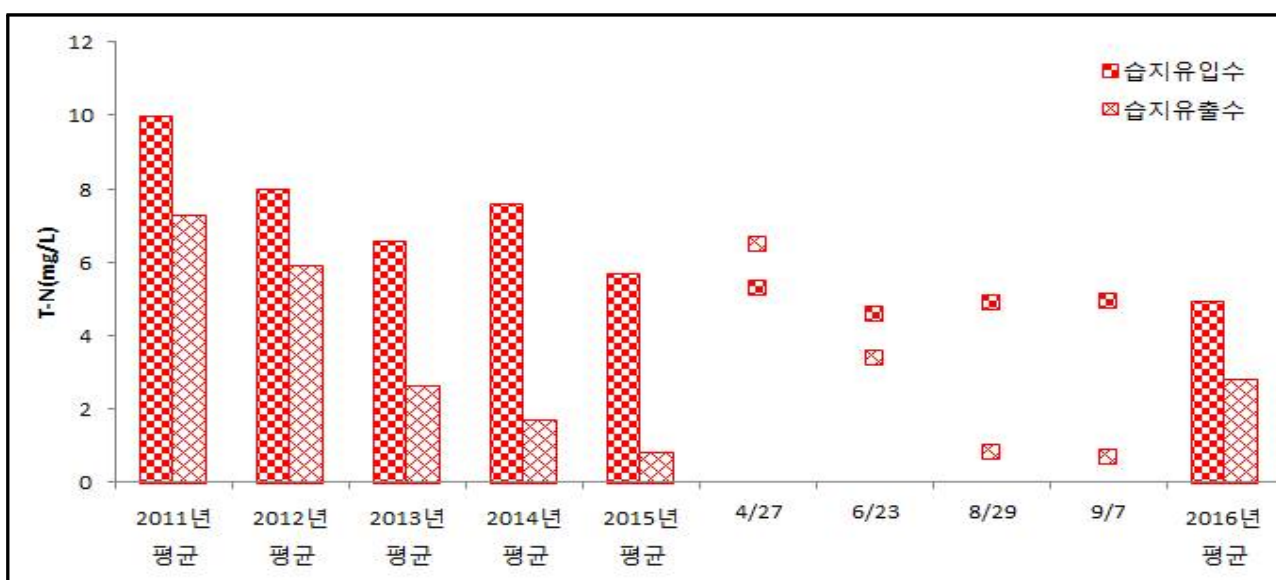
[그림 2-3-4] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC는 관리기준항목에 새로이 추가되어 2013년도부터 조사 분석을 실시하였다.
- 조사 분석 결과 전체적으로 유입수는 평균 6.1mg/L이고, 유출수는 6.8mg/L로 이 역시 2015년 말 시행된 습지정비사업의 영향으로 유출수에서 더 높게 나타났다.
- 시기별 정화효율은 COD와 비슷한 양상을 보이며, 역시 1차 조사시 겨우내 누적된 오염물질로 인해 정화효율이 높고 2~3차시 (-)효율을 나타내다 4차시 다시 안정을 찾는 모습을 보인다.
- 최근 6개년 간 TOC의 정화효율은 평균 34.78kg/d가 유입되고 40.54kg/d가 유출되어 -16.6%의 정화효율을 보였다.



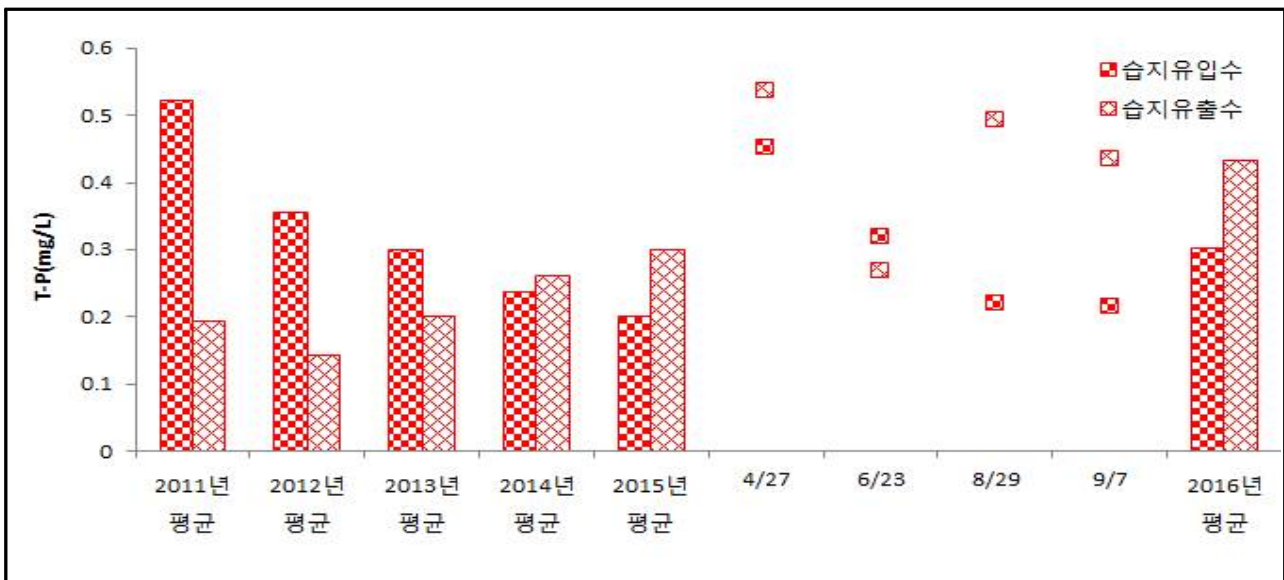
[그림 2-3-5] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N의 경우 1호 인공습지 유입수는 평균 4.920mg/L이고 유출수는 평균 2.830mg/L로 낮아져 인공습지에서 T-N의 정화효과가 있었다.
- 최근 6개년 간 평균적으로는 44.520kg/d가 유입되고 26.445kg/d가 유출되어 40.6%의 정화효율을 보였다.
- 습지 내 식물과 미생물이 직접 이용하는 성분으로 초기 식생활착이 미흡한 1차 조사시에는 (-)정화효율을 본격 성장시기인 2~4차 조사시에는 (+)정화효율을 나타냈다.



[그림 2-3-6] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P의 경우 1호 인공습지 유입수는 평균 0.300mg/L였는데, 유출수는 평균 0.430mg/L로 약간 증가하였으며, 최근 6개년 간 T-P의 정화효율은 평균적으로 2.784kg/d가 유입되고 1.918kg/d가 유출되어 31.1%의 정화효율을 보였다.
- 이는 SS와 함께 침전한 인 성분이 작년 말 습지정비사업과 가뭄의 영향으로 습지표토에서 토양입자와 함께 이탈하여 T-P농도가 증가했을 것으로 판단된다.
- 습지 내에서 인 성분은 토양입자와 흡착된 형태나 미생물 및 정화식물에 의해 흡수된 상태로 존재한다. 즉, 습지 표토가 안정화되지 않거나 습지 내 정화식물 분포가 확대되지 않으면 유입된 인 성분은 흡착·흡수되지 않고 오히려 토양입자와 함께 배출되는 경향을 나타낼 수 있다.
- 5차 조사의 경우 유출수의 수치가 낮아짐으로서 향후 토양안정화, 정화식물 활착에 따른 정화효과를 기대할 수 있을 것으로 추정된다.



[그림 2-3-기] 감돈지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

2.3.2 침강지 수질개선효과

- 2003년 준공된 감돈저수지 침강지의 물리적인 상태는 양호하게 유지되고 있으며, 유입수에서의 부유물질 침전기능을 정상적으로 수행하고 있다.
- 2016년도 1호 침강지 유입수의 수온은 평균 18.9 °C였는데, 유출수는 평균 20.8°C로 높아지는 경향을 보였다. 이는 침강지는 수심이 낮고, 수면적이 넓을 뿐만 아니라 식물이 자라지 않기 때문에 햇빛의 영향을 받아 수온이 상승한 것이다.
- 1호 침강지 유입수의 pH는 평균 7.5였는데, 유출수는 평균 8.8로써 유입수에 비해 유출수에서 높아지는 경향을 보였다. 이는 침강지에 퇴적물이 많이 쌓여 여기에서 영양분이 용출되어 영양염류의 농도가 높고, 햇빛을 직접적으로 받기 때문에 광합성이 활발하여 조류가 많이 번성하고 이의 영향으로 pH가 높아진 것으로 판단된다.
- EC는 1호 침강지 유입수가 평균 253.5 μ S/cm였는데, 유출수는 평균 221.5 μ S/cm로 유출수가 다소 낮은 경향을 보였다. 1호 침강지 유입수 및 유출수는 모두 작물생장에 지장이 없는 기준인 700 μ S/cm에 비해 매우 작은 값이기 때문에 농업용수로 이용하는데 문제는 없는 것으로 판단된다.
- DO는 1호 침강지 유입수가 평균 5.1mg/L였는데, 유출수는 7.7mg/L로 큰 차이를 보이지 않고 있다. DO 농도는 높을수록 좋은데, 대부분 호소의 농업용수 관리기준인 2.0mg/L 이상을 만족하고 있다.

[표 2-3-4] 감돈저수지 1호 침강지 수질변화

구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차 (4.28)	2차 (6.24)	3차 (8.29)	4차 (9.7)	평균	강우 (9.28)
수온 (°C)	유입수	16.9	16.8	18.8	23.7	23.9	13.7	14.3	24.2	23.6	19.0	22.2
	유출수	19.7	15.2	26.6	24.0	26.0	14.0	19.0	25.0	25.5	20.9	23.8
pH	유입수	7.8	7.4	7.7	7.9	7.5	7.1	8.3	7.5	7.2	7.5	8.7
	유출수	8.1	8.8	8.3	8.7	8.5	7.9	9.7	8.7	8.8	8.8	9.1
EC (µS/cm)	유입수	213	215	241	246	203	176	257	347	234	254	277
	유출수	167	178	174	167	168	208	219	219	240	222	237
DO (mg/L)	유입수	8.0	8.5	9.7	7.7	6.6	5.5	5.4	5.0	4.6	5.1	6.8
	유출수	8.6	8.3	10.5	7.4	8.4	6.2	5.9	9.7	8.9	7.7	10.7
SS (mg/L)	유입수	18.8	18.4	11.6	11.5	8.1	14.5	5.5	3.3	11.7	8.8	9.1
	유출수	13.6	5.6	14.4	41.8	25.3	6.0	10.0	46.0	73.0	33.8	8.4
BOD (mg/L)	유입수	4.7	5.0	5.5	3.1	2.2	6.1	4.3	3.6	5.0	4.8	4.6
	유출수	3.6	10.1	4.6	5.8	7.2	6.4	6.5	6.2	6.2	6.3	8.6
COD (mg/L)	유입수	10.0	8.0	6.5	6.0	7.7	15.2	8.6	6.4	12.0	10.6	8.6
	유출수	9.8	6.6	12.2	19.5	9.2	10.2	10.6	21.6	22.4	16.2	9.4
TOC (mg/L)	유입수	-	-	5.6	3.7	4.0	6.2	6.2	7.0	5.2	6.2	5.1
	유출수	-	-	6.7	8.7	4.3	5.1	5.0	7.5	9.1	6.7	4.3
T-N (mg/L)	유입수	6.600	7.140	6.050	7.600	5.650	5.283	4.572	4.896	4.917	4.917	6.630
	유출수	2.820	2.140	4.180	2.143	3.183	3.040	1.138	1.392	1.395	1.741	2.344
T-P (mg/L)	유입수	0.521	0.500	0.462	0.237	0.215	0.452	0.319	0.220	0.216	0.300	0.469
	유출수	0.220	0.032	0.443	0.256	0.220	0.056	0.058	0.209	0.108	0.110	0.093
Chl-a (mg/m ³)	유입수	16.6	11.0	3.3	5.3	5.0	15.7	11.0	6.9	39.3	18.2	8.1
	유출수	30.8	23.0	42.1	106.0	38.5	37.4	82.3	49.1	42.9	53.0	49.9

[표 2-3-5] 6개년 감돈지구 침강지 수질

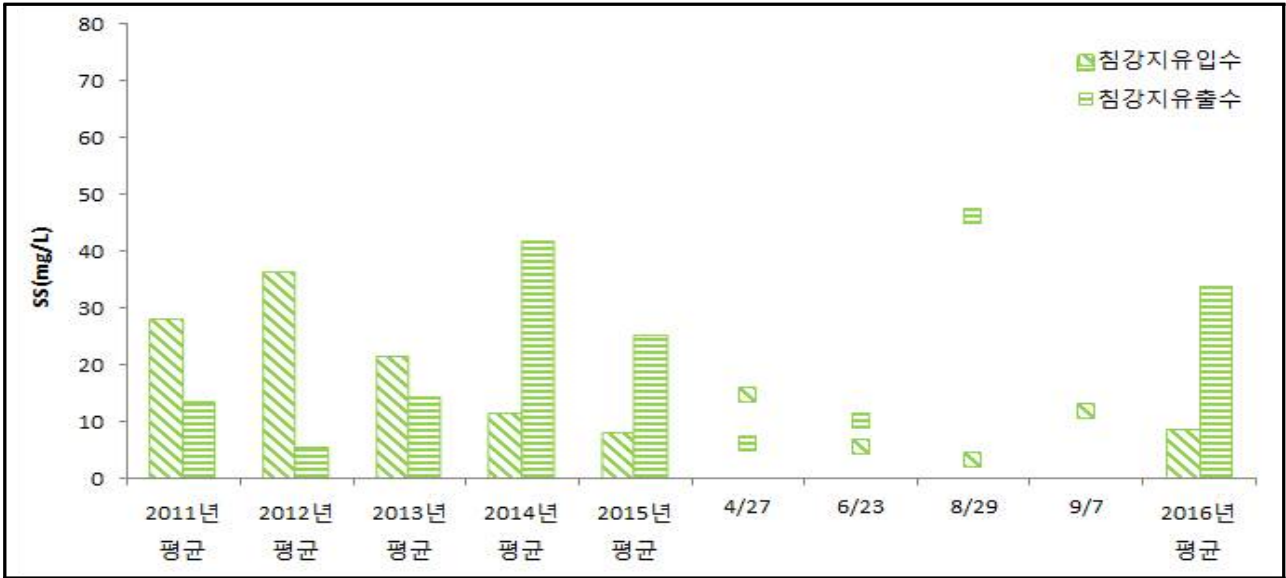
구 분		'11~'16년 평균			'11~'16년 평상시			'11~'16년 강우시		
		평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
수온 (°C)	유입수	19.5	10.6	30.0	20.4	10.6	30.0	17.2	11.8	25.0
	유출수	22.2	14.1	30.1	23.7	14.5	30.1	20.2	14.1	26.7
pH	유입수	7.7	6.8	9.4	7.8	6.8	9.4	7.5	7.1	8.7
	유출수	8.6	6.7	10.0	8.8	7.1	10.0	8.2	6.7	9.1
EC (µS/cm)	유입수	225.6	67.0	379.0	234.5	67.0	379.0	208.3	145.0	277.0
	유출수	181.3	95.0	240.0	185.1	127.0	240.0	175.0	95.0	237.0
DO (mg/L)	유입수	8.0	3.2	17.4	8.0	3.4	17.4	7.7	3.2	9.3
	유출수	8.7	1.2	12.6	9.2	2.3	12.6	8.1	1.2	10.7
SS (mg/L)	유입수	13.6	1.2	96.8	6.2	1.2	24.7	32.8	7.4	96.8
	유출수	21.5	2.0	76.0	25.0	4.6	73.0	18.1	2.0	76.0
BOD (mg/L)	유입수	4.5	0.1	16.1	3.3	0.1	8.9	7.5	1.5	16.1
	유출수	6.4	0.8	16.4	6.2	0.8	16.4	6.8	1.8	10.2
COD (mg/L)	유입수	8.0	2.4	24.8	5.9	2.4	12.0	13.3	6.0	24.8
	유출수	12.0	5.2	34.5	13.4	5.4	34.5	10.0	5.2	18.0
TOC (mg/L)	유입수	4.1	1.4	10.6	3.7	1.4	7.1	6.1	3.7	10.6
	유출수	6.4	3.3	12.8	6.4	3.3	12.8	6.3	4.3	9.0
T-N (mg/L)	유입수	6.5	3.5	9.1	6.4	3.5	9.1	6.7	5.2	7.7
	유출수	2.7	1.1	5.6	2.3	1.1	5.6	3.1	1.6	5.2
T-P (mg/L)	유입수	0.3	0.1	1.5	0.2	0.1	0.5	0.6	0.2	1.5
	유출수	0.2	0.0	1.0	0.2	0.0	1.0	0.2	0.0	0.6
Chl-a (mg/m³)	유입수	9.5	0.3	42.0	6.2	0.3	39.3	17.2	2.6	42.0
	유출수	47.8	8.1	264.0	60.5	8.1	264.0	33.7	19.8	63.4

[표 2-3-6] 6개년 감돈지구 침강지 정화효율

구 분		'11~'15년 전체평균		'11~'15년 평상시		'11~'15년 강우시	
		평균	정화효율	평균	정화효율	평균	정화효율
SS (kg/d)	유입수	80.27	45.5	4.5	-141.7	171.1	51.5
	유출수	43.73		11.0		83.0	
BOD (kg/d)	유입수	19.49	16.5	3.4	-131.7	33.9	29.9
	유출수	16.28		7.9		23.8	
COD (kg/d)	유입수	36.16	13.7	8.1	-116.1	61.4	29.2
	유출수	31.22		17.6		43.5	
TOC (kg/d)	유입수	17.23	-8.4	3.2	-222.9	50.1	23.2
	유출수	18.67		10.2		38.4	
T-N (kg/d)	유입수	17.78	42.2	8.5	30.0	26.1	45.7
	유출수	10.29		5.9		14.2	
T-P (kg/d)	유입수	1.77	48.6	0.6	-48.6	2.8	67.3
	유출수	0.91		0.9		0.9	
Chl-a (g/d)	유입수	37.86	-186.4	3.0	-1937.6	69.3	-118.9
	유출수	108.43		60.4		151.6	

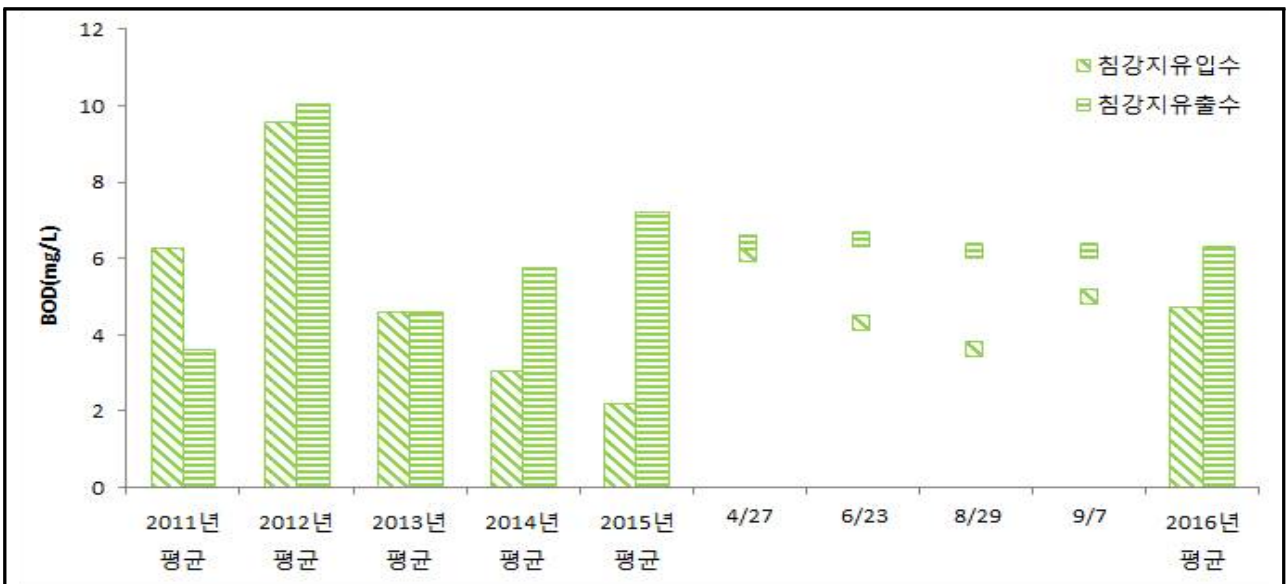
※ 16년 유입유량 미조사로 제외

- SS는 1호 침강지 유입수가 평균 8.8mg/L, 유출수는 33.8mg/L로 유입수와 유출수의 차이가 크게 나타났다.
- 연차별로 살펴보면 2011년부터 2013년도까지는 유입수에 비해 유출수의 SS 농도가 낮았는데, 2014년부터 금년까지 유입수에 비해 유출수가 높은 경향을 보였다.
- 2014년과 2015년 심한 가뭄으로 유입수가 거의 없었고 올해 8월~9월초 강우량이 부족한 상황에서, 침강지 물의 장기체류와 햇빛 그리고, 침강지 저층 퇴적물에서 영양물질 용출로 인한 조류가 발생하였기 때문이다.
- 이의 영향으로 올해 감돈저수지 자체에도 조류가 다소 발생하였다.



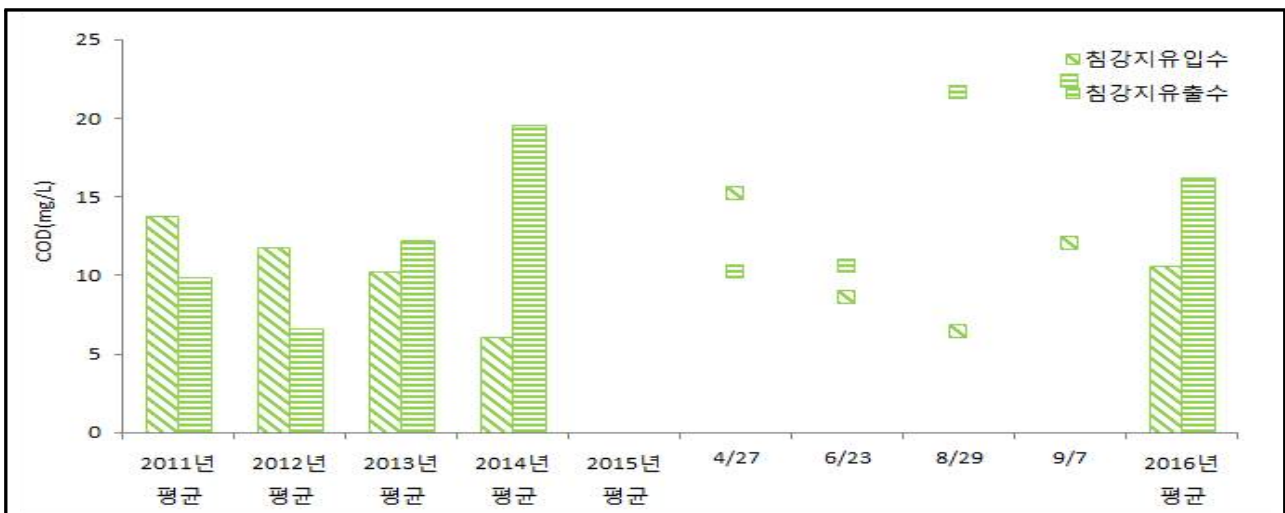
[그림 2-3-8] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 SS 변화

- BOD는 침강지 유입수는 평균 5.1mg/L, 유출수는 7.7mg/L로 유입수에 비해 유출수의 농도가 높아지는 경향을 보였다.
- 역시 8월~9월초 가뭄으로 인한 침강지 물의 정체와 저층 영양물질의 영향으로 인해 다소 높게 나타난 것으로 판단된다.



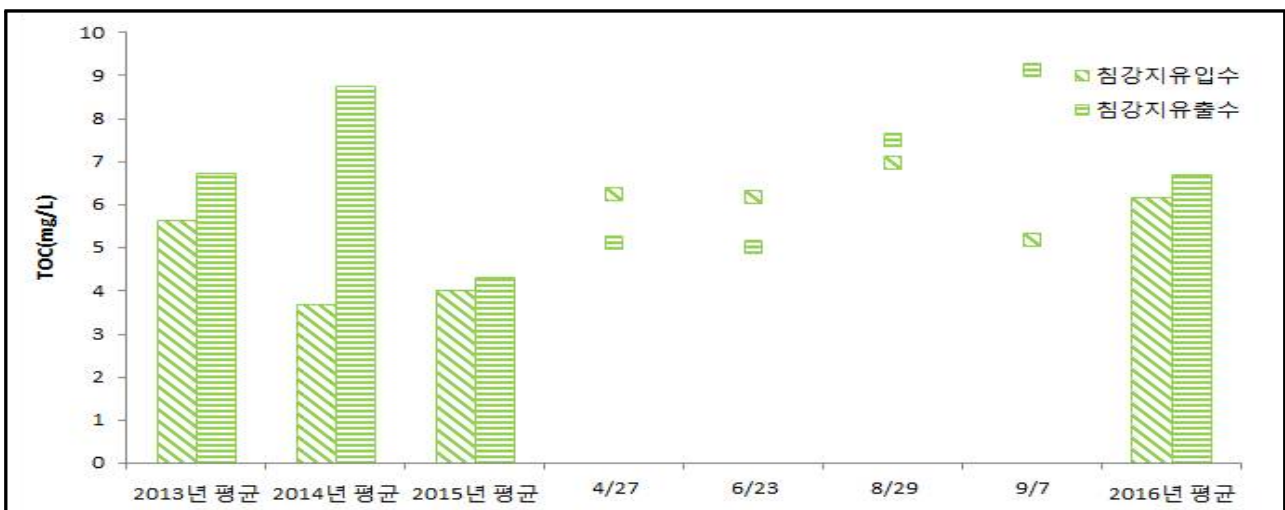
[그림 2-3-9] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 BOD 변화

- COD는 침강지 유입수가 평균 10.6mg/L, 유출수는 16.2mg/L로 높아지는 경향을 보였다.
- 이러한 유입, 유출 COD 차이는 침강지내 오염영향인자의 존재를 의심해 볼 수 있는데, 저층 오염물질 용탈로 인한 COD 증가가 원인일 것으로 판단된다.
- 연차별로는 2011년도와 2012년도에는 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮았던 반면, 2013년도부터 금년도까지 유입수에 비해 유출수 농도가 높게 나타난 것으로 보아, 2013년 이후 침강지 퇴적 수준이 수질에 영향을 미치게 되었음을 판단해 볼 수 있다.



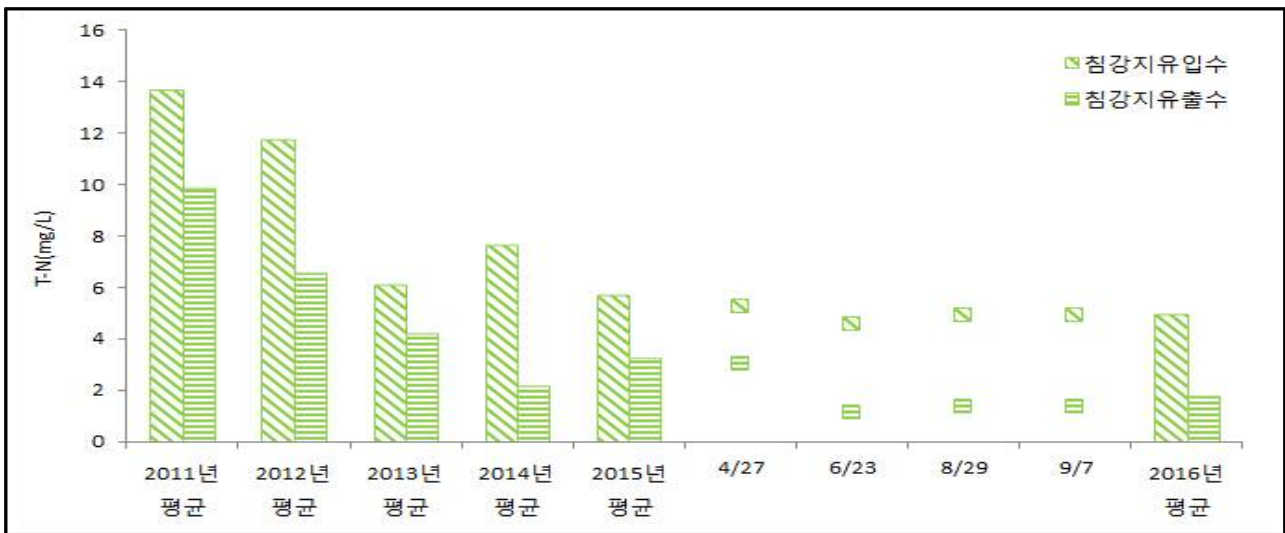
[그림 2-3-10] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 COD 변화

- TOC는 유입수의 평균농도가 6.1mg/L, 유출수는 6.7mg/L로 약간 높으나 큰 차이를 보이지는 않았다.
- 연차별로는 2013년도 이후 계속적으로 유입수에 비해 유출수에서 약간 높은 경향을 보이고 있고, 금년에는 1~2차 유출수 수치가 유입수에 비해 낮게 나타나다가 가뭄이 심해졌던 3차시부터 유출수 농도가 증가하는 경향을 보였다.



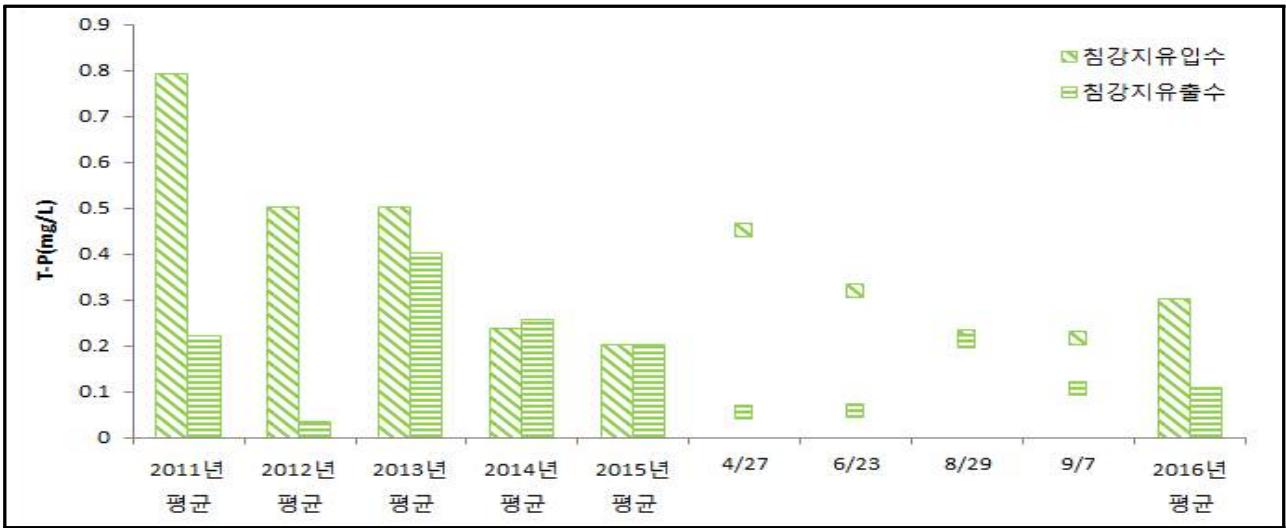
[그림 2-3-11] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 TOC 변화

- T-N의 경우 침강지의 유입수는 평균 4.9mg/L, 유출수는 1.7mg/L로 낮아져 정화효과가 있었다.
- 연차별로 살펴보면 2011년부터 2016년까지 모두 유입수에 비해 유출수의 T-N 농도가 낮은 경향을 보였다.
- 침강지에서 T-N이 정화된 것은 조류가 수중의 T-N을 흡수하면서 성장하기 때문이다. 조류는 T-N을 영양물질로 흡수하여 증식할 수 있지만 이로 인해 수중 Chl-a는 증가할 수 있다.

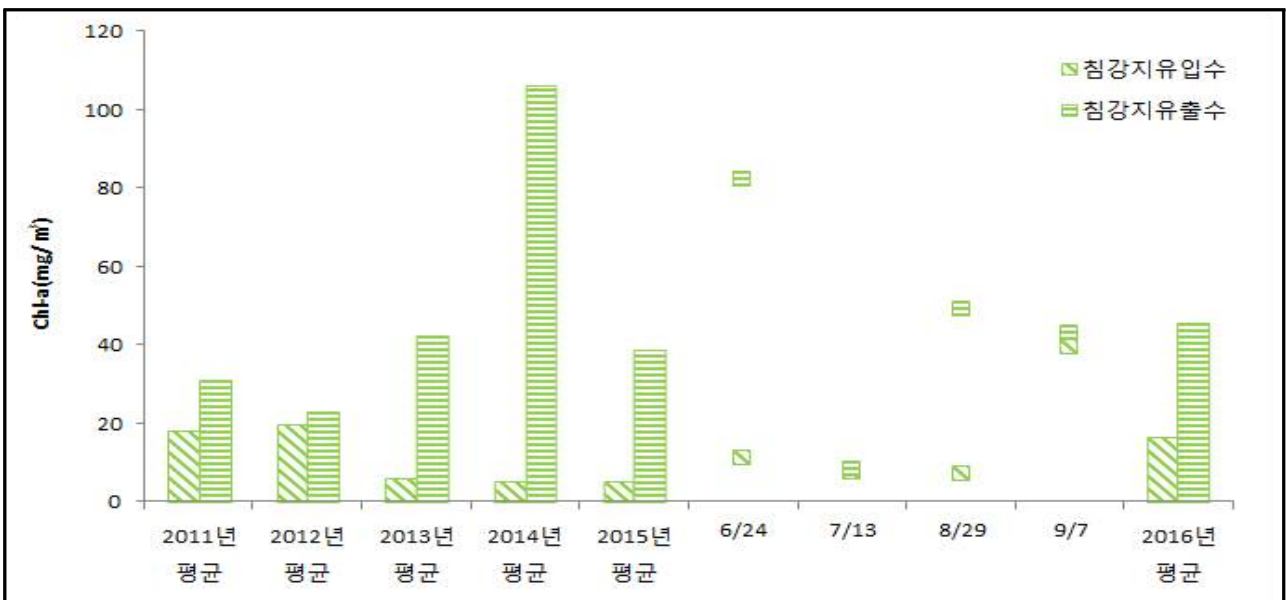


[그림 2-3-12] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 T-N 변화

- T-P의 경우 1호 침강지 유입수는 평균 0.300mg/L였는데, 유출수는 평균 0.110mg/L로 낮아졌다.
- 유입, 유출 간 63%의 저감효과를 나타내었는데 이는 침강지의 주요 인제거 기작인 침전제거와 내부 조류에 의한 인성분의 흡수 때문인 것으로 판단된다.
- 조류물질의 지표라고 볼 수 있는 Chl-a 농도는 평균 52.9mg/m³으로 조사되었다.



[그림 2-3-13] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 T-P 변화



[그림 2-3-14] 감돈지구 침강지 유입수 및 유출수의 Chl-a 변화

2.3.3 퇴적물 조사 결과

- 감돈저수지의 퇴적물 조사 결과는 1호 인공습지 내 S-1에서 강열감량 3.5%, T-N 1201.9mg/kg, T-P 217.3mg/kg이며, 1호 침강지 내 S-2에서 강열감량 8.4%, T-N 3434.0mg/kg, T-P 1446.2mg/kg이었다.
- 인공습지는 '15년 말 습지정비사업 등의 영향으로 퇴적물 오염평가 기준에 비해 양호한 수치를 나타내었고, 침강지 내 퇴적물은 총인 항목에서 오염평가 기준에 거의 근접한 수준을 나타내고 있었다.

[표 2-3-7] 감돈저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사 결과

지 점	토성	강열감량 (%)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)
감돈S-1(습지)	L	3.5	1201.9	217.3
감돈S-2(침강지)	SiL	8.4	3434.0	1446.2

[표 2-3-8] 호소 퇴적물 오염평가 기준

항 목		등 급	I	II	III	IV
유기물 및 영양염류	완전연소가능량(%)			-		13 초과
	총질소(mg/kg)			-		5,600 초과
	총인(mg/kg)			-		1,600 초과
비고 : 1. 등급별 퇴적물의 상태<유기물, 영양염류> - IV 등급 : 심각하고 명백한 오염						

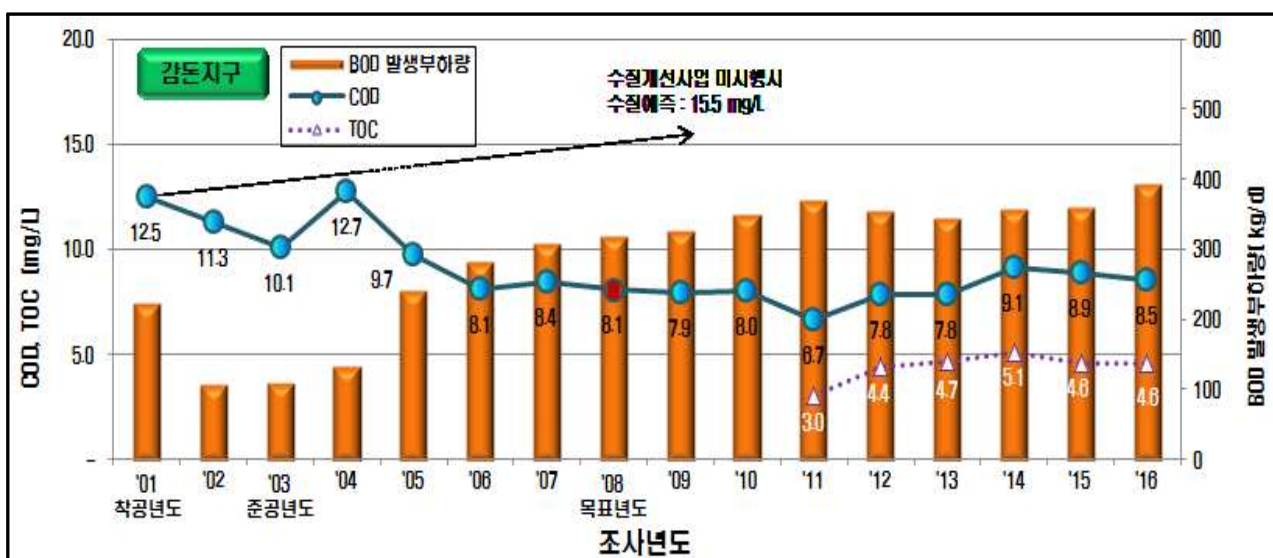
* 자료 : 국립환경과학원예규 제687호, 2015년

2.4. 저수지 수질변화 및 개선효과

- 감돈저수지의 수질변화는 수질개선대책사업 착공년도인 2001년 이후의 농업용수 수질측정망조사 분석결과를 활용하였다.
- 2001년 이후 감돈저수지 구역의 BOD 발생부하량과 감돈저수지 COD 농도의 연도별 변화는 [그림 2-4-1]과 같다.
- 2002년 이후에 BOD 발생부하량은 지속적으로 증가되는데 반하여 감돈저수지의 COD 농도는 2004년도에 다소 높아지기는 하였으나 전체적으로 농도가 낮아져 2009년도에 7.9mg/L로 목표수질인 8.0mg/L 이하를 만족하기 시작하였다.
- 2010년도에 8.0mg/L까지 높아지기는 하였으나, 지속적으로 농업용수 관리기준 이하를 만족하였으며, 2013년도는 7.8mg/L를 보였다.
- 그러나 2014년도 및 2015년도에는 관리기준을 초과하였는데 이는 극심한 가뭄과 높은 기온으로 인해 감돈저수지에 조류가 많이 발생하였고, 이의 영향으로 유기물 농도가 높아졌기 때문인 것으로 판단된다.
- TOC의 경우는 조사가 시작된 후 2014년도까지 계속 높아지다 작년과 올해 4.6mg/L 수준으로 낮아졌으며, 모두 호소의 농업용수 관리기준인 6.0mg/L 이하를 만족하고 있다.

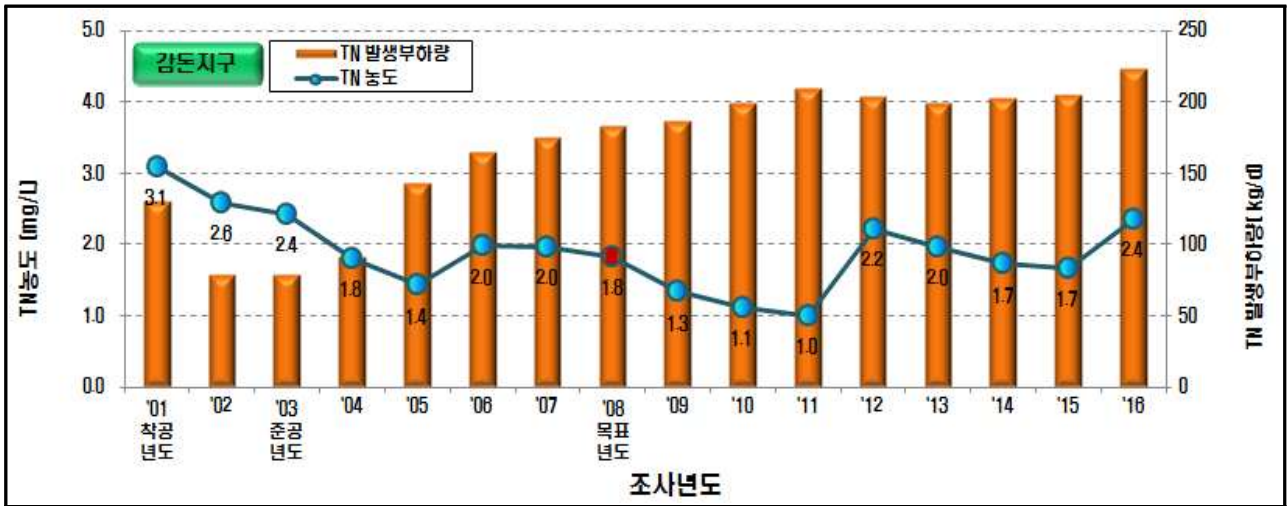
[표 2-4-1] 감돈저수지 월별 저수율 현황

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월
저수율(%)	48.4	62.3	73.1	84.0	94.8	69.1	95.4	67.5	43.3	77.9	97.0



[그림 2-4-1] 감돈지구 구역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC 농도 변화

- 반면, T-N은 준공년도인 2003년도에 2.4mg/L였는데, 그 이후 수질이 개선되어 2011년도에 1.0mg/L로 농업용수 관리기준인 1.0mg/L 이하를 만족하였다.
- 2012년도에는 2.2mg/L로 상승했다가 2014년도, 2015년도 각각 1.72mg/L, 1.67mg/L로 낮아지다 올해 2.356mg/L로 다시 상승하였다. 또한 TN/TP비가 33으로 16 이상이기 때문에 T-N기준은 적용하지 않는다.



[그림 2-4-2] 감돈지구 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N 농도 변화

- T-P의 경우는 준공년도인 2003년도에 0.129mg/L로 농업용수 관리기준인 0.1mg/L를 상회하였으나, 이후 지속적으로 낮아져 2005년도에 0.09mg/L로 관리기준을 만족하였다.
- 이후 높아지기도 하고 낮아지기도 하였으나 전체적으로 관리기준을 만족하였고, 금년도에도 0.047mg/L로 관리기준을 만족하였다.



[그림 2-4-3] 감돈지구 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P 농도 변화

- 이상과 같이 감돈저수지 유입수의 발생부하량 증가에도 T-N과 달리 T-P의 상승률이 크지 않은 것은 올해 저수지 내 인불용화 공법적용으로 인 침전 및 재용출 방지 영향으로 판단된다.
- 감돈저수지 수질개선사업은 2003년 준공되어 목표연도인 2008년 농업용수 관리기준 (IV등급) 달성을 완수하였다. 하지만 2013년까지 수질등급을 만족하는 가운데 등락이 반복되다 2014년부터 수질등급을 초과하는 경향을 보인다. 이는, 2014년과 2015년 극심한 가뭄으로 인한 조류의 발생이 원인인 것으로 판단되어 진다.
- 금년의 경우도 전년도에 비해 전반적으로 수질 오염도가 높아지는 경향을 보이는데, 가뭄 등 기상여건과 유역에서 유입되는 점·비점오염원에서의 발생부하량 상승에서 발로한 것으로 사료된다.
- 이에 대한 대책으로 상류 유역에서의 오염원 오염원관리가 이루어져야 하며, 가장 큰 오염원 비중을 차지하는 축산계에서의 운영과정 전반에 관한 지도점검이 강화 되어야 할 것으로 판단된다.
- 동시에 호내대책으로 인공습지의 정상적인 운영을 위해 작년 습지정비사업 이후 식생관리 및 수로관리 등이 지속되어야 할 것으로 판단된다.
- 또한 침강지내 퇴적물 오염평가 기준에 근접한 퇴적토 준설에 대해서도 검토되어야 할 것으로 판단된다.

2.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안

- 감돈저수지 인공습지는 작년말 습지표토제거 및 식생정비 사업을 실시하였다. 이에 따라 정화식물 활착밀도를 지속적으로 증가시켜 정화효율을 극대화 할 필요가 있다. 하지만 정비사업 후 첫 해인 금년 습지 내 정화식물 미식재 구간에서 1년생 잡초가 우점하는 모습을 보였다.
- 전체 습지에 대한 정비사업은 정화식물 활착·번식에 어려움을 줄 수도 있기에, 습지 정비시 습지내 구획을 나누어 순차적으로 정비하여 정화효율의 불안정성을 해소화 할 필요가 있다.
- 더불어, 최근 감돈저수지 침강지에 녹조가 발생하는 등 여름철 침강지내에 녹조가 빈발하므로 주기적으로 퇴적토를 준설하거나, 침강지 수중펌프 가동 등 조류제거 방법도 적극 이용할 필요가 있다.
- 유지관리 측면에서 주의해야 할 사항으로는, 이양기나 갈수기시 유입수가 없는 경우 인공습지에서 물이 정체되어 체류시간이 길어짐에 따라 식물 고사체가 썩어 수질이

악화되는 경우가 있으므로, 이런 경우 인공습지 물을 완전배수하거나 침강지로부터 양수를 통해 습지로 유입수 공급을 안정화 할 필요가 있다.

- 가을철 식물 절취 등의 유지관리를 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

2.6. 결 론

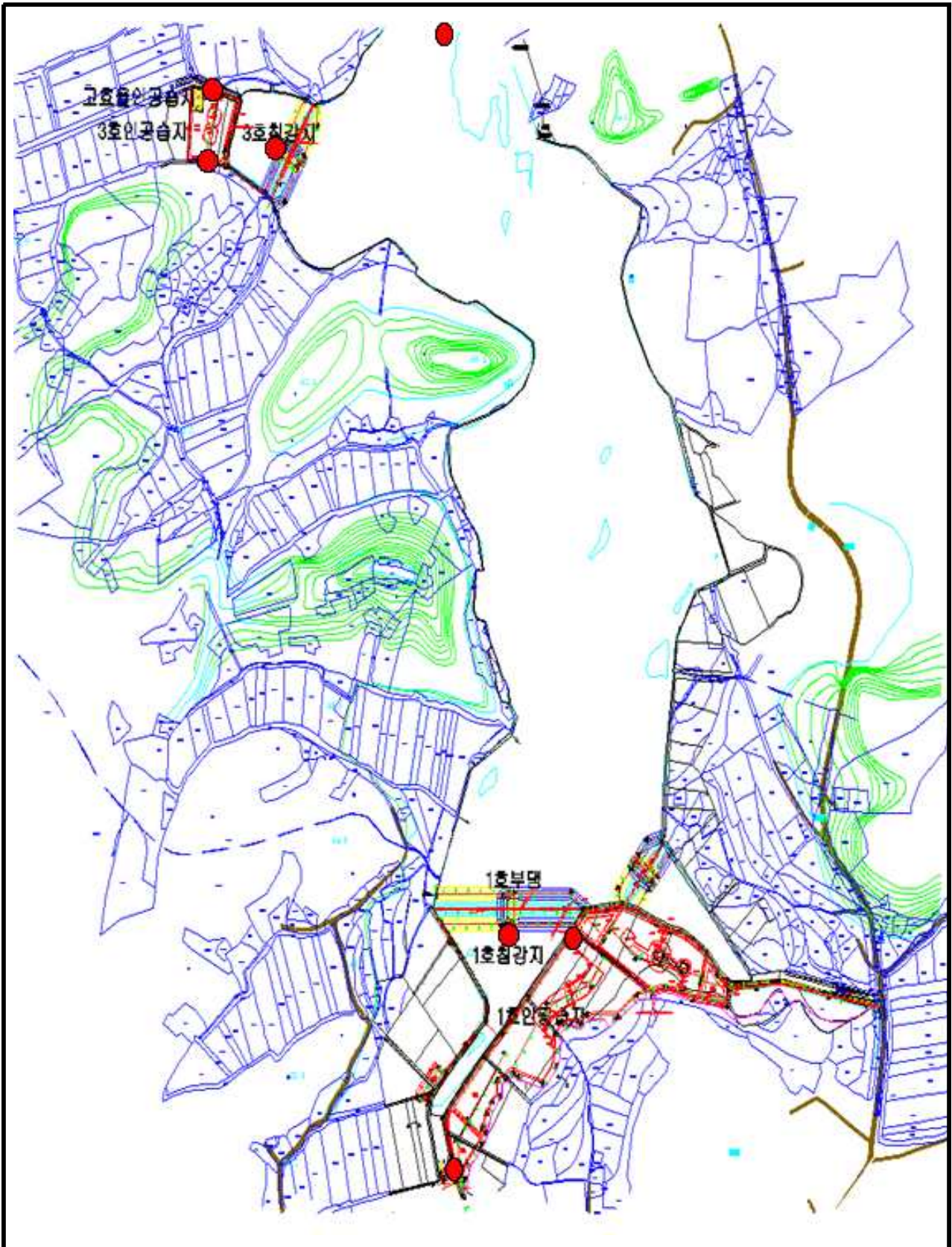
- 본 과제는 감돈지구 농업용수 수질개선 시범사업을 완료 후 지속적으로 유지관리를 실시하고 개선시설의 지속적인 모니터링을 통하여 정화효과를 파악하고 개선방안을 마련하여 향후 설계와 유지관리에 적용하여 수질개선사업의 발전에 이바지 할 수 있을 것이다.
- 감돈지구 수질개선사업은 농촌지역의 수질오염 및 자연환경 특성에 적합한 자연 정화기능을 이용한 생태공학적 수질개선공법을 적용하였으며, 주요 공법은 침강지와 인공습지이다.
- 본 사업의 유역내 오염물질 발생부하량은 2016년 BOD 393kg/일, T-N 223kg/일, T-P 33kg/일로 나타났다. 연도별 BOD 발생부하량도 점차 증가하고 있으며 주로 유역내에 위치한 축산에 의하여 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.
- 감돈저수지의 수질개선 효과를 살펴보기 위하여 착공후부터 금년까지 평균수질을 기준으로 평가하였다. 2003년 사업 준공이후 2013년까지 수질항목 전반에서 비슷하거나 감소되는 수치를 보임으로 농업용수 수질등급 범위내에서의 수질개선이 이루어지고 있었으나, 2014년도 및 2015년에 가뭄으로 인한 조류발생, 2016년 오염원 발생부하량 상승으로 인한 수질에 부정적 영향을 주게 되었다. 그럼에도 저수지 내 COD, T-P 등의 수치가 상승되지 않고 유지된 것은 인불용화 약품투입으로 인한 영향인 것으로 추정된다.
- 앞으로 추가적인 수질 개선을 위해서 상류부 오염원 관리를 위해 지자체와의 협조관계 강화가 필요하고, 습지 및 정화식물을 통한 안정적인 활착을 위해 적정 유량관리 및 잡초제거 등의 노력이 필요한 것으로 판단된다.

3. 홍동지구



-
- 3.1 지구현황
 - 3.2 기상 및 수질현황
 - 3.3 시설별 수질개선 효과
 - 3.4 저수지 수질변화 및 개선효과
 - 3.5 현장적용성 향상 및 유지관리 방안
 - 3.6 결 론

홍동지구 수질개선사업 평면도



3.1. 지구현황

3.1.1 저수지 현황

1) 유역현황

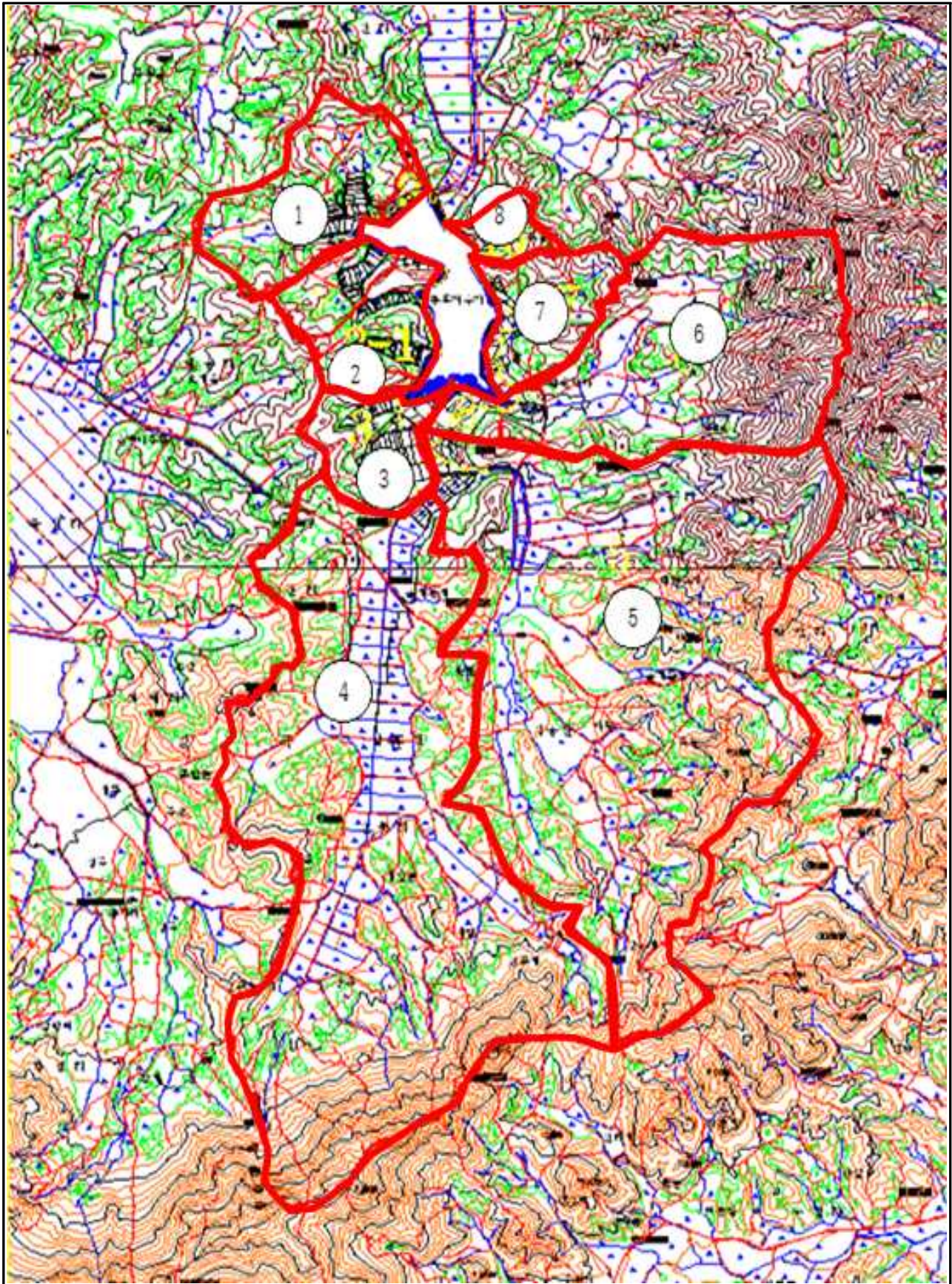
- 홍동저수지는 홍성군에 위치하여 동편에 예산군, 서북편은 서산시, 그리고 남쪽에 청양군·보령시와 접하고 있으며, 대체적으로 산악과 구릉으로 연결된 지대이지만 금마천 연변의 평지만이 군내 유일한 미곡산지가 되고 기타는 산악이 기복된 사이에 좁은 들판을 이루고 있다.
- 저수지 유역은 장곡면 신동리, 도산리, 신평리, 상송리, 지정리를 포함하며 지형은 동쪽의 솟고개, 남쪽의 기러기재 등의 낮은 산들로 형성되어 있고, 유역전체가 완만한 경사를 이루며, 소하천들 주위에 농경지가 넓게 분포하고 있다.
- 신평저수지와 상송제에서 발원한 각각의 소하천이 합류되어 저수지로 유입되며 주요오염은 저수지 인근에 산재한 축산시설에서 발생하는 축산계로 총 BOD 발생 부하량의 91.4%를 차지한다.

[표 3-1-1] 홍동저수지 경위도상 위치

소재지	단	경도와 위도의 극점			연장거리
		지명	극점		
			동경	북위	
홍성군 장곡면	동단	장곡면 신동리 266	126° 42' 04"	36° 30' 57"	동서0.66km 남북1.29km
	서단	장곡면 신동리 177	126° 41' 34"	36° 31' 11"	
	남단	장곡면 지정리 709	126° 41' 49"	36° 30' 39"	
	북단	장곡면 도산리 523	126° 41' 46"	36° 31' 22"	


2) 저수지 현황

- 홍동저수지는 1955년에 설치되었으며, 유역면적 1,480ha, 유효저수량 1,054천m³, 수해농지 235ha, 만수면적은 41ha로 한국농어촌공사 홍성지사가 관리하고 있다.
- 저수지 상류대책으로 시설용량 125m³/일 규모로 도산리 마을하수도가 운영되고 있으며, 호내대책으로는 수질정화습지 3개소, 침강지 3개소, 인공식물섬 1개소가 운영되고 있다.



[그림 3-1-1] 홍동저수지 유역도

[표 3-1-2] 홍동저수지 주요시설 현황

소재지	충청남도 홍성군 장곡면 지정리	
설치년도	1955년	
유역면적	1,480ha	
유효저수량	1,054천m ³	
수혜농지	235ha	
만수면적	41ha	
관리주체	한국농어촌공사(홍성지사)	

3.1.2 수질개선시설 현황

1) 주요대책

- 상류대책으로 도산리에 마을하수도 1개소(시설용량 125m³/일, 사업비 13억원)가 2007년에 준공되어 운영 중에 있음
- 호내대책으로 운영중인 인공습지 3개소(A = 53,043m²), 오염물질 침강지 3개소(A = 38,869m²), 인공식물섬 1개소(A = 400m²)가 운영되고 있음

[표 3-1-3] 홍동저수지 수질개선시설 현황

구분	대안	시설	규모	비고
<input type="checkbox"/> 상류대책(홍성군 추진)				
1	하수처리	마을하수도	○1개소, 시설용량 125m ³ /일	
<input type="checkbox"/> 호내대책				
1	평시 유출수 처리	1호 인공습지	○면적 : 32,957m ² ○처리용량 : 12,712m ³ /d	
2	평시 및 강우 유출수 처리	1호 침강지	○면적 : 17,407m ² ○처리용량 : 32,296m ³ /d	
3	평시 유출수 처리	2호 인공습지	○면적 : 13,285m ² ○처리용량 : 2,390m ³ /d	
4	평시 및 강우 유출수 처리	2호 침강지	○면적 : 10,509m ² ○처리용량 : 5,623m ³ /d	
5	평시 유출수 처리	3호 인공습지	○면적 : 6,801m ² ○처리용량 : 1,148m ³ /d	
6	평시 및 강우 유출수 처리	3호 침강지	○면적 : 10,953m ² ○처리용량 : 2,981m ³ /d	
7	침강지 녹조발생 억제	인공식물섬	○면적 : 400m ²	

2) 1호 인공습지

- 유역구분 : 4·5 유역(1,037.02ha)
- 계획유량 : $Q_p = 12,522\text{m}^3/\text{day} = 521.75\text{m}^3/\text{hr}$
- 체류시간 : $HRT = 24\text{hr}$
- 인공습지 계획수심 : $d = 0.60\text{m}$
- 인공습지 필요면적 : $A_s = (521.75 \times 24 / 0.60) / 0.75 = 27,827\text{m}^2$
- 침사지 필요면적 산출
 - 체류시간 2.0hr 기준, 계획수심 1.5m
 - 침사지 필요면적 : $A_s = (521.75 \times 2.0 / 1.5) / 0.75 = 927.55\text{m}^2$

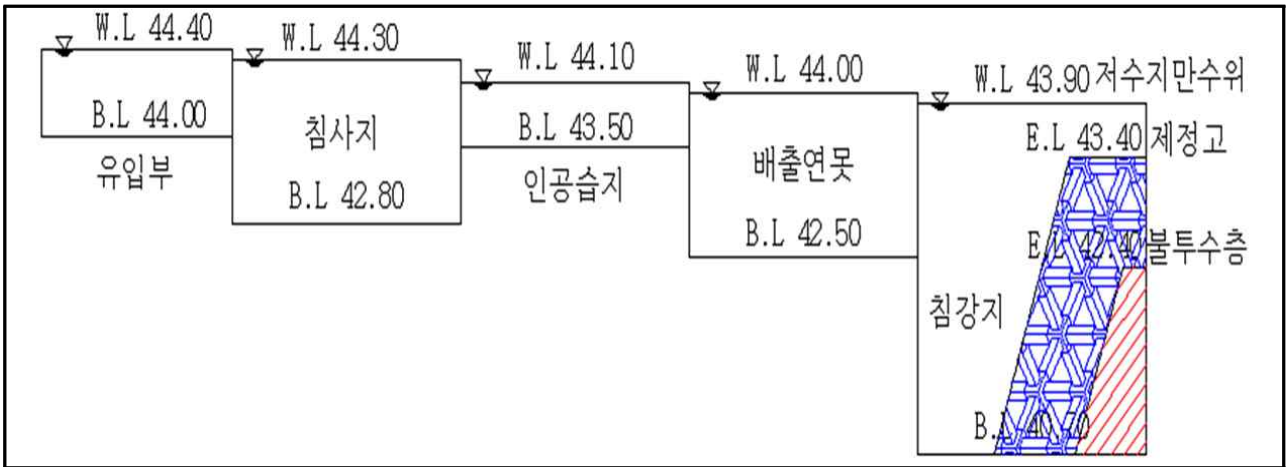
[표 3-1-4] 인공습지 계획유량

구 분	유역구분	유역면적 (ha)	평균 유입량($\text{m}^3/\text{일}$)			계획수량 ($\text{m}^3/\text{일}$)	비고
			총유입량	일30mm 미만유입량	마을하수도 유입량		
계		1,316.37	15,895			17,492	
1호인공습지	4, 5	1,037.02	12,522	-	-	12,712	
2호인공습지	6	184.29	2,225	-	-	2,390	
3호인공습지	1, 2	95.06	1,148	-	-	2,390	

[표 3-1-5] 1호 인공습지 제원

구 분	규모	계획면적 (m^2)	계획수심 (m)	내용적 (m^3)	비 고	
1호 인공 습지	침사지	1개소	2,350	0.80	1,880	
	인공습지	1개소	17,810	0.40	7,124	
	연못	1개소	2,655	1.00	2,655	
	배출연못	1개소	1,582	0.80	1,265	
	관리도로 및 기타	2조 1,150m	8,560	-	-	
합 계		32,957		12,924		

- 홍동저수지 유역 4, 5의 30mm기준 강우시 유출되는 유량을 정화처리하기 위해 필요한 1호 인공습지의 계획면적은 약 2.44ha로 계획하였다.
- 유역에서 유출되는 유출량은 $529.68\text{m}^3/\text{hr}$ 이며, 습지 내용적은 $12,924\text{m}^3$ 로서 약 24시간의 저류용량을 가지고 있어 30mm초과 강우량을 어느 정도 수용할 수 있도록 계획하였다.



[그림 3-1-2] 1호 인공습지 수리계통도



[그림 3-1-3] 1호 인공습지 시설현황

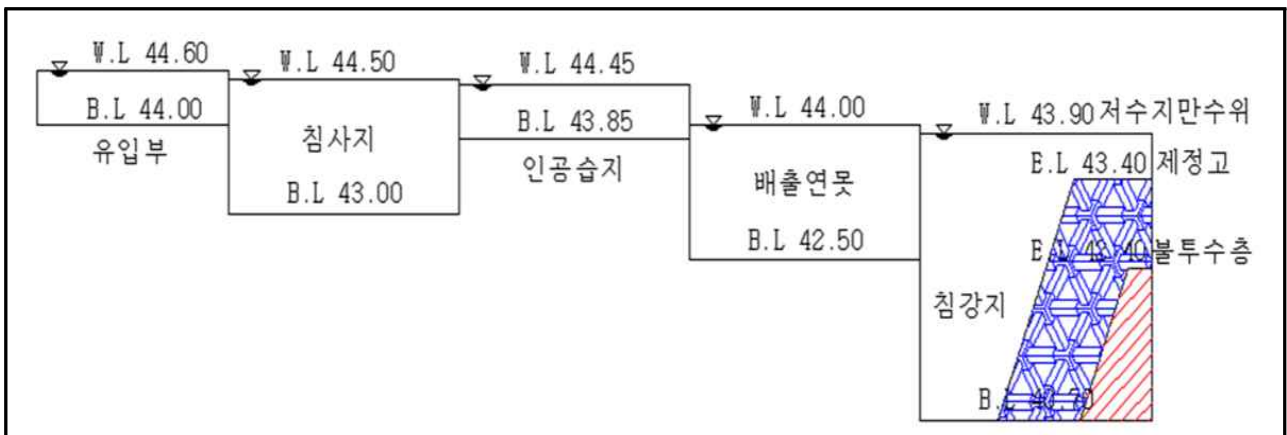
2) 2호 인공습지

- 유역구분 : 6유역(184.29ha)
- 계획유량 : $Q_p = 2,225\text{m}^3/\text{day} = 92.70\text{m}^3/\text{hr}$
- 체류시간 : $\text{HRT} = 24\text{hr}$
- 인공습지 계획수심 : $d = 0.60\text{m}$
- 인공습지 필요면적 : $A_s = (99.70 \times 24 / 0.60) / 0.75 = 5,317\text{m}^2$
- 침사지 필요면적 산출
- 체류시간 2.0hr 기준, 계획수심 1.5m
- 침사지 필요면적 : $A_s = (99.70 \times 2.0 / 1.5) / 0.75 = 177.24\text{m}^2$

[표 3-1-6] 2호 인공습지 제원

구 분		규모	계획면적 (m^2)	계획수심 (m)	내용적 (m^3)	비 고
2호 인공 습지	침사지	1개소	1,115	0.80	892	
	인공습지	1개소	8,011	0.40	3,204	
	연못	1개소	1,152	1.00	1,152	
	관리도로 및 기타	1조293m	3,007	-	-	
합 계			13,285		5,248	

- 홍동저수지 유역6의 30mm기준 강우시 유출되는 유량을 정화처리하기 위해 필요한 2호 인공습지의 계획면적은 1.03ha로 산출되었다.
- 습지의 내용적상으로 유역에서 유출되는 유출량은 $99.60\text{m}^3/\text{hr}$ 이며, 습지의 내용적은 $5,248\text{m}^3$ 로서 약 53hr 이상의 저류용량을 가지고 있어 30mm 초과 강우량을 충분히 수용할 수 있도록 계획하였다.



[그림 3-1-4] 2호 인공습지 수리계통도



[그림 3-1-5] 2호 인공습지 시설현황

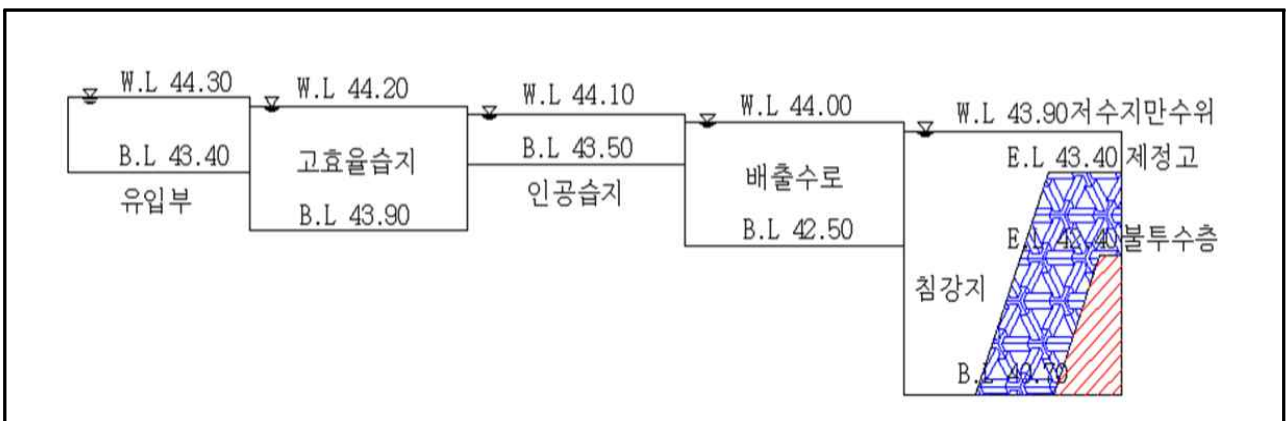
3) 3호 인공습지

- 유역구분 : 1, 2유역(95.06ha)
- 계획유량 : $Q_p = 1,148\text{m}^3/\text{day} = 47.83\text{m}^3/\text{hr}$
- 체류시간 : $HRT = 24\text{hr}$
- 인공습지 계획수심 : $d = 0.60\text{m}$
- 인공습지 필요면적 : $A_s = (47.83 \times 24 / 0.60) / 0.75 = 2,550\text{m}^2$
- 홍동저수지 유역1, 2의 30mm 기준 강우시 유출되는 유량을 정화처리하기 위해 필요한 3호 인공습지의 계획면적은 약 0.56ha로 계획하였다.
- 습지의 내용적상으로 유역에서 유출되는 유출량은 $47.83\text{m}^3/\text{hr}$ 이며, 습지의 내용적은 약 $3,579\text{m}^3$ 로서 약 75hr의 저류용량을 가지고 있어 30mm초과 강우량을 충분히 수용할 수 있도록 계획하였다.

[표 3-1-7] 3호 인공습지 제원

구 분		규모	계획면적 (m^2)	계획수심 (m)	내용적 (m^3)	비 고
3호 인공 습지	고효율인공습지	1개소	505	2.00	1,010	
	인공습지	1개소	4,195	0.40	1,678	
	연못	1개소	891	1.00	891	
	관리도로 및 기타	1조214m	1,210	-	-	
합 계			6,801		3,579	

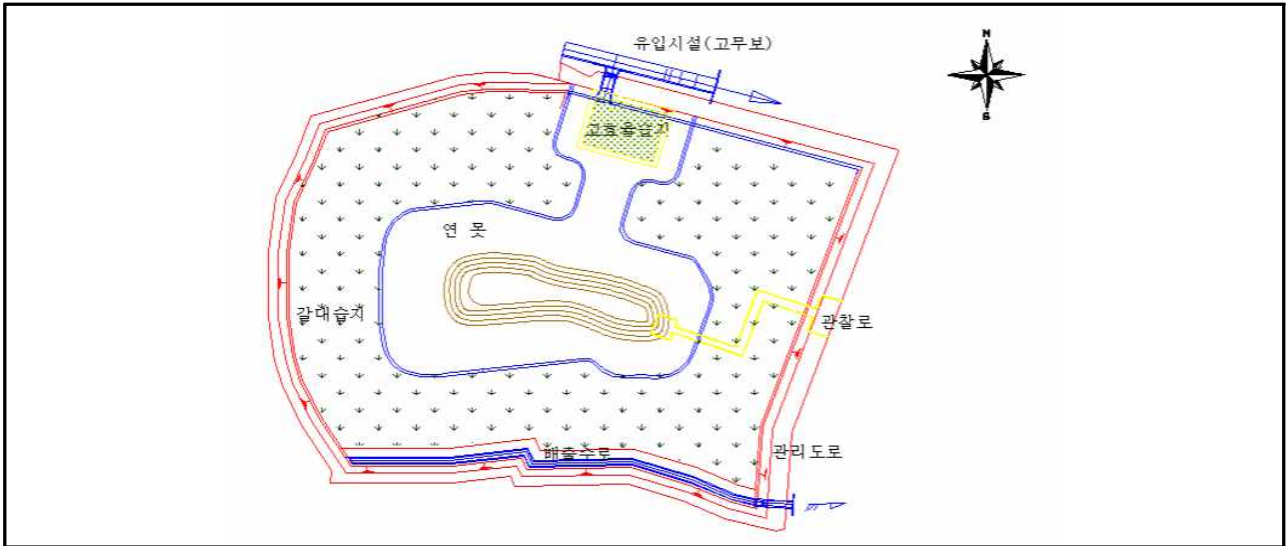
- 3호 인공습지 유역은 축산농가 등이 밀집해 있어 유역에서 배출되는 축산폐수를 처리하기 위해 침사지와 습지의 기능을 동시에 수행할 수 있는 고효율습지 구간을 계획하였다.
- 3호 인공습지의 유입수로인 기존 배수로 바닥고(G.L : 43.40m)로부터 취입보를 통하여 수위를 0.20m 상승시켜 최초 취수 계획수위(W.L : 43.60m)를 계획하였다.
- 인공습지 내 수위차를 0.10m로 계획하고 말단부 배출수로에서는 유출속도를 빠르게 하여 유수가 정체되지 않도록 0.20m의 수두차로 계획하여 유입-유출까지의 총 수두차를 0.30m가 되도록 계획하였다.



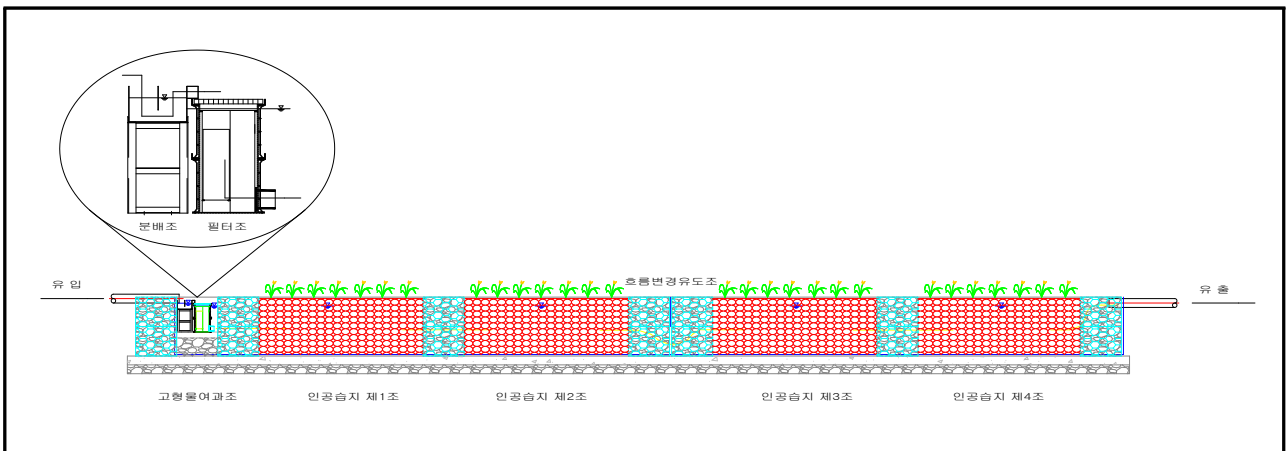
[그림 3-1-6] 3호 인공습지 수리계통도



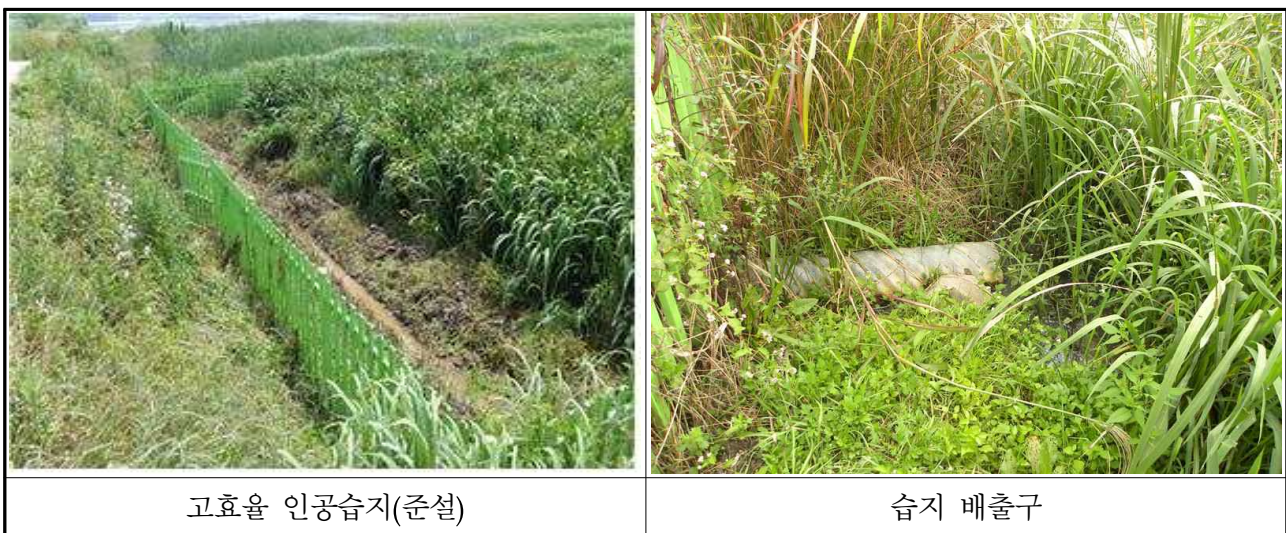
[그림 3-1-7] 3호 인공습지 시설현황



[그림 3-1-8] 고효율 인공습지 계획평면도



[그림 3-1-9] 고효율 인공습지 수리계통도



고효율 인공습지(준설)

습지 배출구

[그림 3-1-10] 고효율 인공습지 시설현황

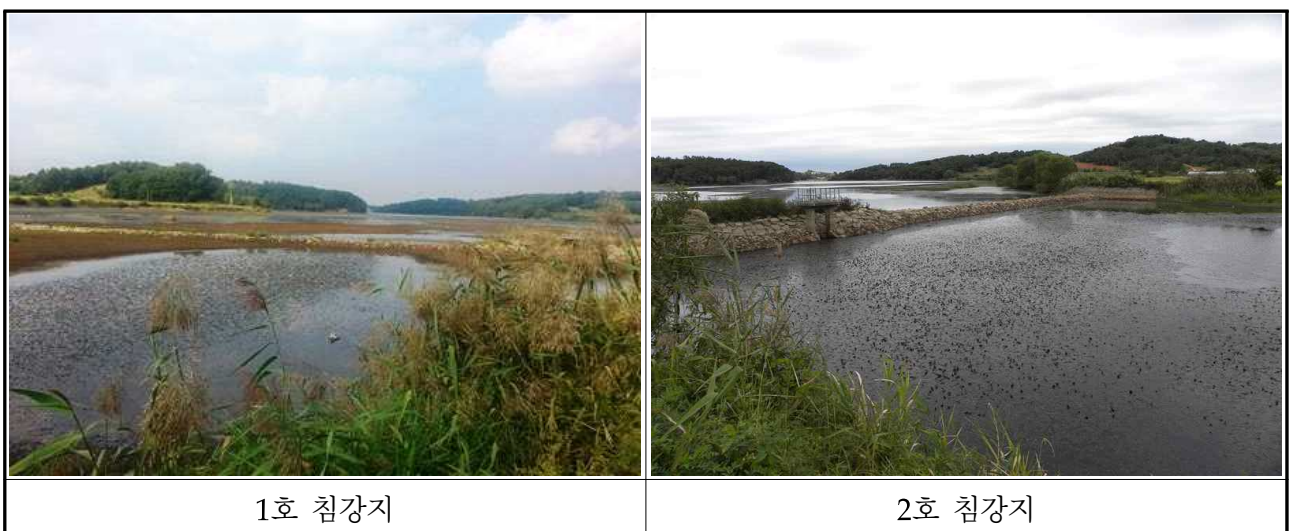
4) 침강지

- 침강지는 오염물질 유입이 가장 많은 유역 4, 5, 6의 삼교천지류 유역 및 유역 1, 2의 신동리 유역에 계획하였다.
- 침강지의 수질개선 효율은 유사 포착효율에 의해서 결정되며, 침강지에서 침강되는 유사에는 다량의 인이 흡착되어 있다. 침강지의 포착효율은 유역의 연평균 유출량과 침강지 용량에 의해 결정된다.

[표 3-1-8] 홍동저수지 침강지 제원

구 분	유 역		일30mm 초과유입량 (m ³ /일)	계획 수심 (m)	수표 면적 (m ²)	계획 내용적 (m ³)	체류 시간 (일)	비 고
	유역 구분	면적 (ha)						
1호 침강지	4,5	1,030	32,296	1.5	17,407	25,512	0.79	
2호 침강지	6	179	563	1.3	10,509	13,184	2.34	
3호 침강지	1,2	95	2,981	1.2	10,953	13,323	4.47	

- 강우시 유출되는 오염물질의 대부분은 강우 초기에 유출되며, 유출된 오염물질이 저수지로 직접 유입되지 않도록 침강에 필요한 시간 이상으로 체류시킬 수 있는 규모로 계획하였다.
- 연평균 유출량을 기준으로, 홍수시에도 유입 오염물질이 충분히 침강할 수 있는 규모(체류 2시간 이상)로 계획하였다.



[그림 3-1-11] 1, 2호 침강지 시설현황

5) 홍동지구 수질개선 고도화사업

가) 목 적

- 과거 준공된 수질개선시설을 현재 기후 및 주변여건 변화에 적합하도록 고도화하여 수질개선효율 향상 및 유지관리 용이성 확보

나) 주요 사업내용

- 침강지내 퇴적토 제거(침강지 3개소, 면적 : 25,000m²)
 - 침강지내 퇴적된 토사를 제거하여 내용적 확보 및 수질개선효과 증대
- 습지내 효율적 관리방안 적용
 - 습지내 진입도로(5개소) 및 배출구 설치(3개소)
 - 년 1회 이상 식생제거를 위한 장비 진입도로 및 강제 배수시설 설치
 - 습지 구획화 및 작업공간 확보(1개소)
 - 유입유량 변동에 탄력적으로 적용할 수 있는 습지 구획화 적용
 - 순차적 식생제거를 위한 구역설정, 깊은연못 확대 및 유지관리 작업공간 확보 등
 - 기본계획대비 계획유량 37% 감소, 체류시간 24hr → 38hr 증가
 - 고효율습지 구조 고도화(1개소)
 - 유입부 침사지 확대, 정기적 준설이 가능한 구조로 변경
 - 기타 부대시설(현황판 등) 교체

다) 총사업비

- 사 업 비 : 380백만원
 - 침강지내 퇴적토 제거 : 200백만원
 - 습지내 구획화 및 구조 고도화 등 : 180백만원
 - 사업기간 : 2016년 10월 ~ 2016년 12월

라) 침강지 퇴적토 제거

- 침강지내 퇴적된 토사를 제거하여 내용적 확보 및 수질개선효과 증대
 - 1호 침강지 : 13,400m², 2호 침강지 : 5,500m², 3호 침강지 : 6,100m²



[그림 3-1-12] 침강지 1, 2, 3호 퇴적토 제거 면적

마) 고효율 인공습지 시설보강

- 유입부 침사지를 확대하고 정기적 준설이 가능한 구조로 시설보강



[그림 3-1-13] 고효율 인공습지 보강계획

바) 습지 구획화 및 구조변경

- 실제 유입량 및 부분식생 제거를 고려한 구획화, 깊은연못 확대
- 장비진입 시설 및 강제배수를 위한 배출구 설치
 - 습지내 장비진입을 위한 경사로 설치 및 식생제거 용이성 확보를 위한 배수시설 설치(비상배출구)



[그림 3-1-14] 1, 2호 인공습지 보강계획

3.2. 기상 및 수질환경

3.2.1 기상현황

1) 기온

- 홍동저수지 인근의 보령기상대에서 조사된 기온을 살펴보면 수질개선 시설 운영 전인 2009년도의 평균기온은 13.9℃, 준공 후인 2011년도 13.1℃로 큰 차이가 없었다.
- 금년도에는 평균기온이 14.5℃로 운영전인 2009년 및 평년값에 비해 높게 나타났다.

[표 3-2-1] 홍동저수지 유역 사업시행 전후 월별 기온 분포 [단위 : °C]

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
2009년 (시행전)	평균	-0.1	3.3	6.0	10.7	16.9	21.1	23.7	25.1	21.1	16.4	8.9	13.9
2011년 (시행후)	평균	-4.5	1.2	3.5	9.5	16.7	20.5	25.0	25.3	21.1	14.0	11.9	13.1
2012년 (시행후)	평균	-1.3	-0.8	4.6	11.3	17	22	25	26.8	20.5	15	7.2	13.4
2013년 (시행후)	평균	-1.5	0.1	4.5	8.8	16	21.8	25.6	27	21.2	15.7	7.8	13.4
2014년 (시행후)	평균	0.7	2.7	6.9	12.1	16.6	21.7	24.5	23.8	21.2	15.6	9.3	14.1
2015년 (시행후)	평균	0.8	2	5.5	12.3	16.5	21.3	24.1	25.3	21.4	15.6	10.7	14.1
2016년 (시행후)	평균	-0.4	1.9	6.3	12.5	17.8	21.7	25.6	26.7	22.2	16.3	8.6	14.5
평년값		-0.8	0.8	5.1	11.0	16.4	20.9	24.5	25.5	20.9	14.7	8.1	13.4

2) 강수량

- 수질개선시설 운영 전인 2009년도 11월까지 1,023.4mm의 강우가 내려 평년 11월까지 강수량 1,212.9mm에 비해 적은 값을 기록했다.
- 이후 2011년도에는 11월까지 1,730.5mm로 많았으며, '14년부터 현재까지 1,000mm 미만의 극심한 가뭄이 지속되고 있다.

[표 3-2-2] 홍동저수지 유역 사업시행 전후 월별 강수량 분포

[단위 : mm]

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
2009년 (시행전)	18.5	23.3	55.1	41.5	154.5	115.1	320.9	176.6	25.5	39.5	52.9	1,023.4
2011년 (시행후)	11.1	37.5	18.0	72.1	115.3	318.0	723.1	289.4	70.8	13.9	61.3	1,730.5
2012년 (시행후)	24.2	9.2	45	68.9	14.6	76.8	231.1	450.2	207.7	65	61.1	1,253.8
2013년 (시행후)	28.4	40.7	53.4	68.2	116.6	159.9	267.5	214.6	320	11	84.1	1,364.4
2014년 (시행후)	3.4	20.5	56.3	70.0	47.1	125.8	104.0	168.5	152.0	156.0	39.9	943.5
2015년 (시행후)	29.9	23.4	30.9	129.7	38.8	83.9	94.7	30.2	13.3	90	153.1	717.9
2016년 (시행후)	7.8	54.2	18.7	105.1	146.5	23.7	200.2	5.1	73.4	108.0	5.6	748.3
평년값	28.1	28.5	46.9	68.9	88.2	137.5	268.7	297.1	138.4	53.4	57.2	1,212.9

3.2.2 수질현황

1) 목표수질 설정

- 홍동저수지의 목표수질은 농업용수 수질기준 IV등급 이하로 COD 8.0mg/L, T-N 1.0mg/L, T-P 0.1mg/L이다. 2008년도 예측수질은 COD 7.2mg/L, T-N 1.1mg/L, T-P 0.1mg/L이었다.
- 금년도 수질은 COD 7.6mg/L, TOC 4.0mg/L, T-N 0.974mg/L, T-P 0.086mg/L으로 농업용수 수질기준을 만족하고 있으며, COD 26.2%, T-N 55.6%, T-P 4.4%의 수질 개선 효과를 나타내고 있다.

[표 3-2-3] 홍동저수지 목표수질

구 분	목표수질	'09년 기본계획(A)	'14년 예측수질	'16년 (B)	개선효과(%)
					(A-B)/A
COD(mg/L)	8.0	10.3	6.0	7.6	26.2
TOC(mg/L)	-	-	-	4.0	
T-N (mg/L)	1.0	2.196	0.9	0.974	55.6
T-P (mg/L)	0.1	0.090	0.0	0.086	4.4
수질등급	IV등급	VI등급	IV등급	IV등급	

2) 오염원 현황

- 인구는 시설 운영 전인 2009년 1,071명에서, 2016년 현재 인구가 1,041명으로 유사한 수준을 유지하고 있다. 축산의 경우 한우는 2009년에 1,024두에서 2016년 현재 2,003두 2배 이상 증가하였으며, 돼지의 경우는 2009년에 10,671두에서 2016년 현재 27,855두로 약 2.6배 증가되었다.
- 비점오염원인 토지 이용현황은 임야가 893ha로써 60.3%의 가장 많은 비율을 차지하고, 다음으로 답이 306ha로써 20.7%, 기타가 169ha로 11.4%, 전이 112ha로 7.6%를 차지하고 있어 임야가 토지계의 대부분을 차지하고 있다.

[표 3-2-4] 홍동저수지 유역 내 인구변화 추이

구 분	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
인구(명)	1,071	1,132	1,123	918	1,349	1,012	1,041

[표 3-2-5] 홍동저수지 유역 내 연도별 축산변화

구 분	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
한 우	1,024	624	569	1,704	1,876	1,825	2,003
돼 지	10,671	11,125	12,945	17,937	28,633	18,912	27,855

[표 3-2-6] 홍동저수지 유역 내 지목별 토지이용현황

구 분	2010년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
계	1,480	1,480	1,480	1,480	1,480	1,480
전(ha)	112	112	112	112	112	112
답(ha)	306	306	306	306	306	306
임야(ha)	893	893	893	893	893	893
기타(ha)	169	169	169	169	169	169

3) 오염부하량

- 저수지 유역 내 오염물질 발생부하량은 대부분이 점오염원으로 BOD 발생부하량 기준 98%를 차지하고 있다.
- 점오염원중 대부분은 축산계로 93.5%, 생활계 4.7%가 그 뒤를 잇고 있다.
- 비점오염원은 대부분 임야로 0.8%를 차지하며, 그 뒤로 답, 전 순이다.

[표 3-2-7] 2016년 홍동저수지 유역 오염발생부하량

구 분	점 오염원						비점오염원					계	
	생활계 (인)	축산계(두)			산업계 (m ³ /일)	소계	토지현황(ha)				소계		
		한우	젓소	돼지			전	답	임야	기타			
원수	1,041	2,003	0	27,855	0		112	306	893	169			
발 생 부 하 량	BOD	51.0	134.2	0.0	891.4	0.0	1,076.6	1.8	7.0	8.9	1.7	19.4	1,096.0
		4.7%	12.2%	0.0%	81.3%	0.0%	98.2%	0.2%	0.6%	0.8%	0.2%	1.8%	100%
	T-N	13.7	80.1	0.0	415.0	0.0	508.8	10.6	20.1	19.6	0.1	50.4	559.2
		2.4%	14.3%	0.0%	74.2%	0.0%	91.0%	1.9%	3.6%	3.5%	0.0%	9.0%	100%
	T-P	1.6	7.0	0.0	91.9	0.0	100.5	0.3	1.9	1.3	0.1	3.6	104.1
		1.5%	6.7%	0.0%	88.3%	0.0%	96.5%	0.3%	1.8%	1.2%	0.1%	3.5%	100%

- 연도별 오염물질 발생량은 시설 운영 전인 2009년도 BOD 482.0kg/일, T-N 265.0kg/일, T-P 44.0kg/일, 2014년도 BOD 1,127.5kg/일, T-N 569.9kg/일, T-P 106.5kg/일로 최고값을 보였으며, 2016년도에 BOD 1,096kg/일, T-N 559.3kg/일, T-P 103.9kg/일로 다소 높은 발생량을 나타내고 있다.
- 이는 유역내 우사, 돈사 등 가축사육두수 증가에 따른 것으로 판단된다.

[표 3-2-8] 홍동저수지 유역내 연도별 오염발생부하량

구 분	연도별 발생부하량(kg/d)						
	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
BOD	482.0	472.7	526.8	752.6	1,127.5	796.5	1,096
T-N	265.0	256.1	280.9	397.9	569.9	418.5	559.3
T-P	44.0	44.2	49.8	70	106.5	73.8	104.1

4) 수질현황

- 홍동저수지 수질현황은 준공년도인 2009년도 COD 13.0mg/L, T-N 1.358mg/L, T-P 0.066mg/L이었다.
- 2011년도 ~ 2013년도까지 착공년도 보다 COD, TOC, T-N, T-P가 조금씩 낮아지다가 2014년도 이후 인공습지 안정화로 2016년도에는 COD 7.6mg/L, TOC 4.0mg/L, T-N 0.974mg/L, T-P 0.086mg/L 로 목표수질을 모두 만족하고 있다.

[표 3-2-9] 홍동저수지 수질현황

구 분 (mg/L)	5개년 평균	'07년 (착공시)	수질 변화						목표년도 ('14년)	목표수질
			'11	'12	'13	'14	'15	'16		
COD	7.4	8.4	8.4	7.6	6.1	7.8	7.8	7.6	8.0	8.0이하
TOC	4.0	-	4.0	4.1	3.2	4.4	4.2	4.0	-	6.0이하
T-N	1.865	2.305	1.935	2.328	3.161	1.735	1.126	0.974	1.00	1.0이하
T-P	0.080	0.118	0.081	0.105	0.088	0.080	0.041	0.086	0.10	0.1이하

3.3. 시설별 수질개선 효과

- 수질조사 지점은 1호 인공습지 유입부(①), 1호 인공습지 유출부(②), 1호 침강지(③), 3호 인공습지 유입부(④), 고희율 인공습지 유출부(⑤), 3호 인공습지 유출부(⑥) 및 침강지(⑦) 등 총 7지점이며, 퇴적물 조사 지점은 1호 인공습지 유출부(②), 1호 침강지 유출부(③) 등 총 2지점을 조사하였다.

[표 3-3-1] 홍동저수지 수질 및 퇴적물 조사시기

구 분	조사횟수	조사일자				
		1차	2차	3차	4차	강우시
수질조사	5회	05.19	08.26	09.28	10.20	07.13 1일(38mm) 4일(74mm)
퇴적물조사	1회	07.14	-	-	-	5일(24mm) 6일(12mm)



[그림 3-3-1] 홍동지구 수질 및 퇴적물 조사 지점

3.3.1 인공습지 수질개선효과

- 1차 수질조사(5월 19일) 저수량은 100%였고, 2차 수질조사(8월 26일)에는 저수량이 64.0%로 낮아졌다. 3차 수질조사(9월 28일)에는 52.7%로 더 낮은 저수량이었다. 4차 수질조사(10월 20일)에는 저수량이 66.5%였다. 강우시 조사시(7월 13일) 퇴적물조사를 병행하였으며 저수량은 91.2%였다.
- 1호 인공습지는 1호 및 2호 취입보를 이용하여 일강우량 30mm/일의 유출량을 기준으로, 그 이하일 때는 인공습지를 통하여 오염도를 저감시킨 후 저수지로 유입되도록 운영하고 있다.
- 수온은 1호 인공습지 유입수가 22.7℃인데, 유출수는 23.3℃로 다소 높아졌다. 이와 같이 높아진 것은 인공습지에 2016년 연일 지속된 폭염으로 인해 습지내 유입수량이 충분치 않고 증발량이 많고 순환이 원활치 않아 습지내 수온이 상승한 것으로 보인다.
- pH는 유입수와 유출수가 7.5, 6.9로 농업용수 권장기준을 만족하였다.
- EC는 유입수 304 μ S/cm, 유출수 261 μ S/cm로 작물생육에 지장이 없는 기준인 700 μ S/cm에 비해 크게 낮은 경향을 보였다.

[표 3-3-2] 홍동저수지 1호 인공습지 수질변화

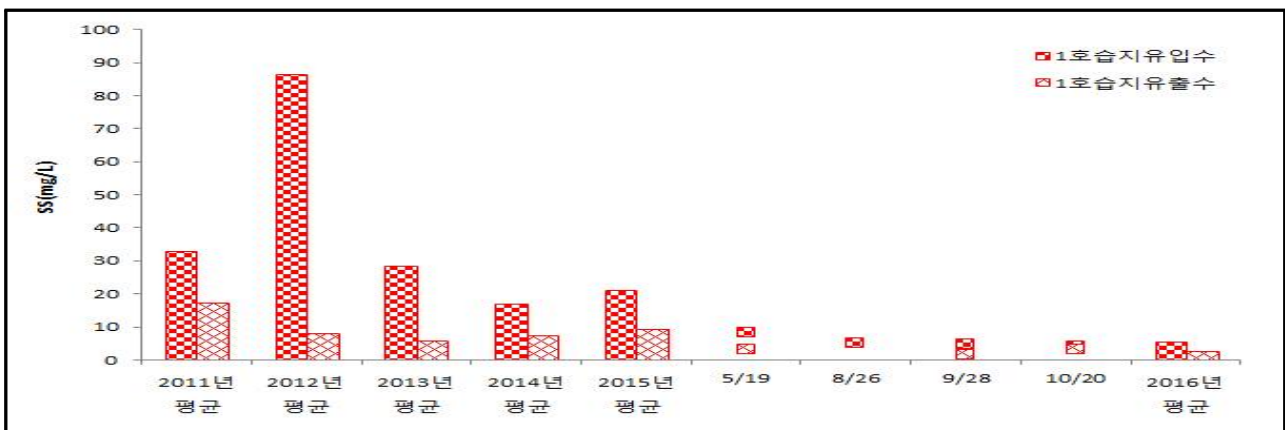
구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차 (05.19)	2차 (08.26)	3차 (09.28)	4차 (10.20)	평균	강우 (07.13)
수온 (°C)	1호 유입수	15.9	18.2	19.7	22.6	20.5	23.5	23.8	23.5	19.8	22.7	26.1
	1호 유출수	18.4	19.2	20.2	21.5	20.6	23.9	-	26.5	19.6	23.3	26.1
pH	1호 유입수	7.9	7.7	6.6	8.4	8.0	8.6	7.1	6.7	7.7	7.5	7.9
	1호 유출수	7.4	7.6	5.7	8.3	7.7	7.5	-	6.5	6.6	6.9	6.4
EC (µS/cm)	1호 유입수	198	242	204	267	319	301	317	308	289	304	249
	1호 유출수	208	184	200	274	287	221	-	274	289	261	188
DO (mg/L)	1호 유입수	8.0	7.9	7.9	7.0	7.0	9.8	5.1	3.7	10.4	7.3	7.0
	1호 유출수	4.3	5.1	5.0	3.0	6.5	10.7	-	7.3	7.5	8.5	1.6
SS (mg/L)	1호 유입수	32.9	86.5	28.5	16.9	23.1	8.3	5.2	4.8	4.0	5.6	21.3
	1호 유출수	17.4	8.0	5.9	7.5	9.3	3.2	-	1.5	3.0	2.6	15.2
BOD (mg/L)	1호 유입수	2.2	3.1	3.7	3.3	5.9	8.6	7.2	3.0	1.1	5.0	4.3
	1호 유출수	2.1	2.8	2.4	3.4	1.2	6.9	-	1.4	1.0	3.1	2.0
COD (mg/L)	1호 유입수	9.1	8.0	6.2	6.8	13.2	17.2	14.0	14.8	6.0	13.0	17.6
	1호 유출수	8.2	8.7	8.6	10.6	9.4	16.0	-	6.8	3.6	8.8	10.0
TOC (mg/L)	1호 유입수	-	-	3.3	4.4	6.3	8.4	8.3	8.0	3.5	7.1	11.5
	1호 유출수	-	-	5.0	6.6	6.4	7.7	-	4.4	2.1	4.7	5.7
T-N (mg/L)	1호 유입수	3.4	1.8	2.7	2.9	2.3	2.926	1.666	1.159	1.950	1.925	1.392
	1호 유출수	1.2	0.6	0.7	0.9	0.8	0.992	-	0.726	0.291	0.670	1.008
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.4	0.4	0.1	0.2	0.2	0.072	0.138	0.113	0.118	0.110	0.241
	1호 유출수	0.2	1.0	0.1	0.2	0.1	0.056	-	0.162	0.034	0.084	0.154

- DO는 유입수는 7.3mg/L였는데, 유출수는 8.5mg/L로 인공습지를 거치면서 용존산소는 다소 증가하는 것으로 나타났다. 유입수와 유출수 모두 농업용수 권장기준 2.0mg/L 이상을 만족하였다.
- SS는 유입수는 5.6mg/L이고 유출수는 2.6mg/L로써 낮아지는 경향을 보였으며 습지를 통과하면서 부유물질은 감소하는 것으로 조사되었다.
- COD는 유입수는 13.0mg/L이고 유출수는 8.8mg/L로 습지내로 유입되는 토사제거 및 취입보 쓰레기 제거 등으로 오염부하량이 감소한 것으로 보인다.
- 또한 TOC도 유입수 7.1mg/L이고 유출수 4.7mg/L로 낮아지는 경향을 보였다.
- T-N의 경우는 유입수는 1.925mg/L인데, 유출수는 0.670mg/L로 낮아지며, 이는 인공습지의 식물 세포합성 및 질산화작용 등으로 안정화가 진행되는 경향을 보였다.
- T-P의 경우도 유입수가 0.110mg/L이고, 유출수는 0.084mg/L로 낮아지는 경향으로 조사되었고, 이는 습지퇴적물에 침강 및 흡착 기작으로 수질개선효과 경향을 보였다.
- 강우시 수질조사결과는 최근 3개년 가뭄 등으로 인한 수질조사결과와 유사한 경향을 보였다.
- 1호 인공습지의 수질개선 효과는 COD 32.3%, T-N 65.2%, T-P 23.6%의 개선효과를 나타내고 있다.

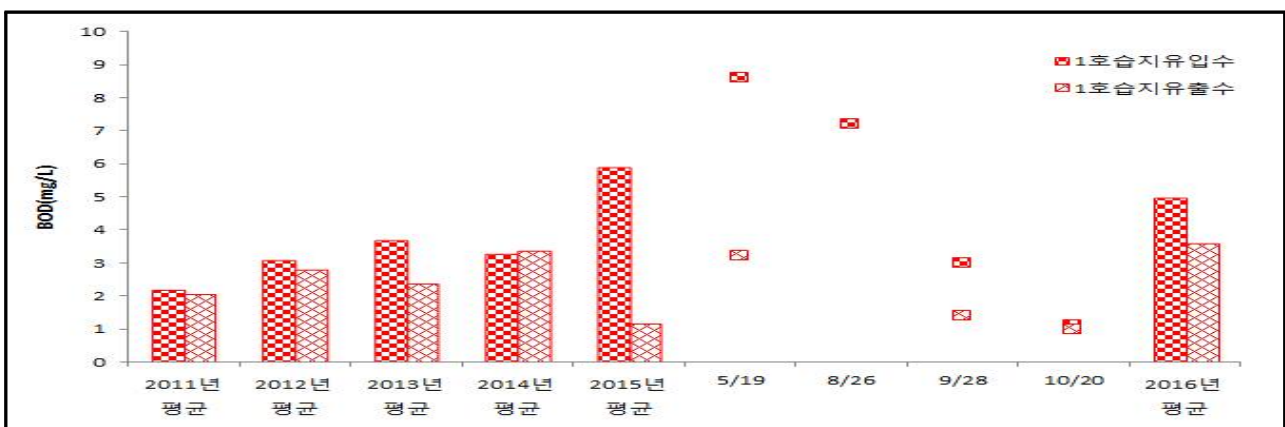
[표 3-3-3] 흥동저수지 1호 인공습지 정화효율

구 분		'11~'16년 전체		'11~'16년 평상시		'11~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	1호습지유입	111.8	79.2	34.5	76.9	266.4	79.8
	1호습지유출	23.3		8.0		53.9	
BOD (kg/d)	1호습지유입	10.0	38.0	4.6	39.9	20.9	37.1
	1호습지유출	6.2		2.8		13.1	
COD (kg/d)	1호습지유입	19.9	-30.4	10.3	-22.0	39.0	-34.9
	1호습지유출	26.0		12.6		52.7	
TOC (kg/d)	1호습지유입	10.8	-42.0	5.4	1.2	23.5	-65.4
	1호습지유출	15.4		5.4		38.8	
T-N (kg/d)	1호습지유입	5.4	66.4	2.6	71.4	11.0	64.0
	1호습지유출	1.8		0.8		4.0	
T-P (kg/d)	1호습지유입	1.0	-184.6	1.0	-274.6	0.8	40.1
	1호습지유출	2.8		3.9		0.5	

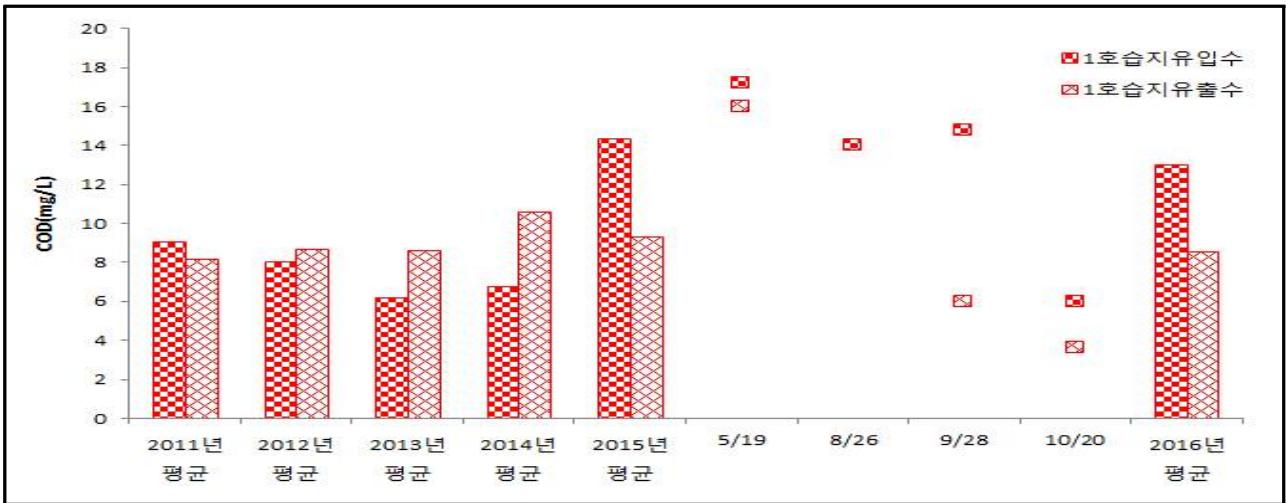
- 1호 인공습지 SS 정화효율은 유입부하량이 111.8kg/d이고, 유출부하량은 23.3kg/d로 낮아져 79.2%의 매우 높은 정화효율을 보였다.
- 1호 인공습지 BOD 정화효율은 유입부하량이 10.0kg/d이고, 유출부하량은 6.2kg/d로 낮아져 38.0%의 높은 정화효율을 보였다.
- 사업시행 후 전체적으로도 습지의 원활한 물의 흐름으로 SS 정화효율은 높게 나타나고 있으나, COD 및 TOC 정화효율은 정화효율이 낮게 나타내고 있다. 이는 최근 3개년 가뭄으로 인해 유입수가 없어 인공습지 바닥이 말라있는 상태에서 강우시 일시적으로 유입수가 많이 유입되어 말라있던 퇴적물이 부유하여 유출되었기 때문으로 판단된다. 따라서 가뭄시에도 적절한 식생관리를 위해 습지로의 충분한 물을 공급할 필요가 있다.
- 이와같이 인공습지의 역할은 유입되는 오염물질중 무거운 부유물질은 중력에 의해 자연침전 되고, 번성하고 있는 식물들이 필터역할을 함과 동시에 초기 강우 유출수 및 오염 하천수등 비점 오염물질의 질소, 인 등을 낮은 수준으로 처리하기 위해 활용된다.



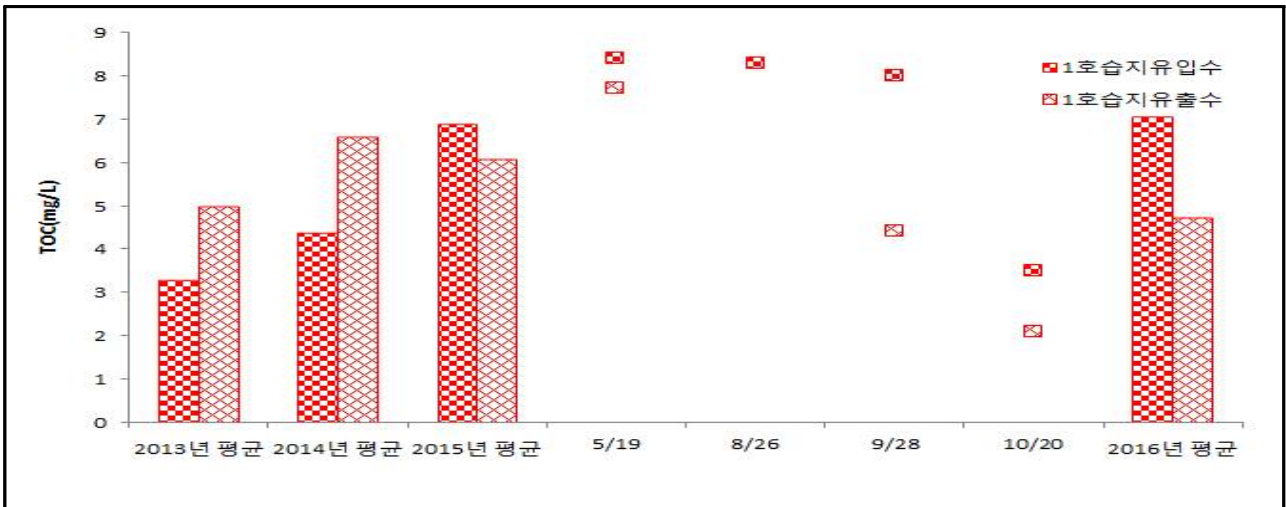
[그림 3-3-2] 홍동지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화



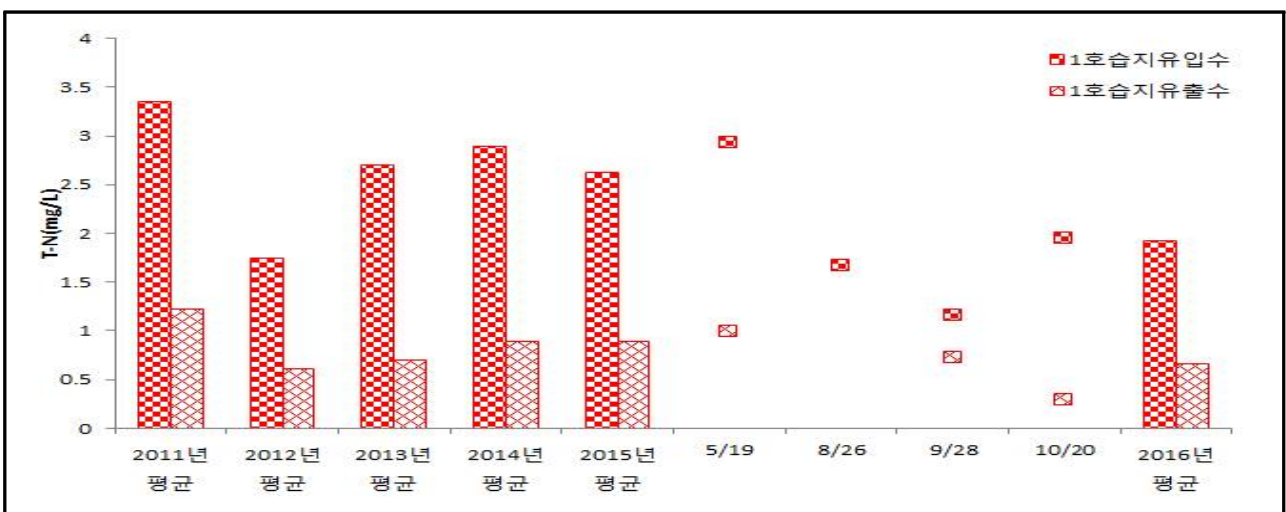
[그림 3-3-3] 홍동지구 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화



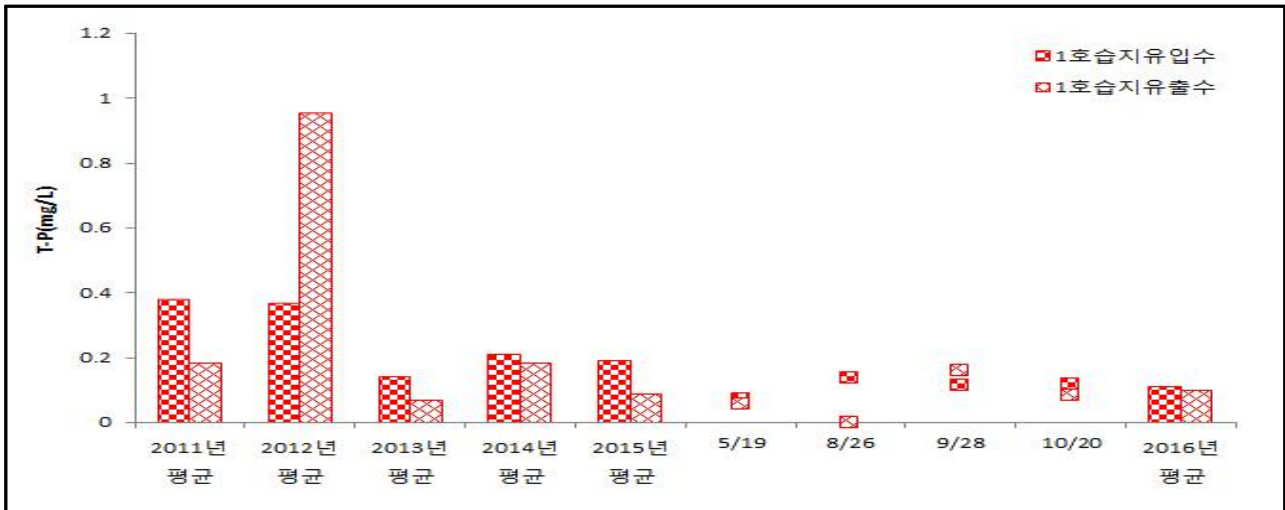
[그림 3-3-4] 홍동지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화



[그림 3-3-5] 홍동지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화



[그림 3-3-6] 홍동지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화



[그림 3-3-기 홍동지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화]

3.3.2 침강지 수질개선효과

- 홍동저수지 1호 및 3호 침강지 유입수의 수온은 각각 22.7℃, 22.0℃, 유출수는 각각 25.4℃, 22.3℃로써 침강지를 거치면서 수온이 높아지는 경향을 보였다. 침강지는 식물이 없어 수표면이 개방되어 있기 때문에 햇빛을 받아 수온이 상승하는 것이 일반적인 현상이다.
- 1호 침강지 유입수의 pH는 7.5, 유출수는 7.8를 나타내고, 3호 침강지는 유입수가 6.9, 유출수는 8.4를 나타냈다. 이와 같이 침강지를 거치면서 pH가 다소 높아지는 경향을 보였으며, 이는 침강지를 거치면서 활발한 내부생산(광합성)에 의해 조류가 발생하고 이의 영향으로 침강지를 거치면서 pH가 높아지는 것으로 판단된다.
- EC는 1호 침강지 유입수는 304μS/cm, 유출수는 285μS/cm로 낮아졌고, 3호 침강지의 경우도 유입수가 445μS/cm, 유출수는 304μS/cm로 낮아져 침강지를 통과하면서 모두 작물생육에 지장이 없는 권장기준인 700μS/cm 이하를 만족하였다.
- DO는 1호 침강지 유입수는 7.3mg/L이고, 유출수는 9.8mg/L로 높아졌다. 3호 침강지도 유입수는 4.7mg/L였는데, 유출수는 13.9mg/L로 높아졌다. 이와 같이 침강지에서는 유출수가 모두 호소의 농업용수 권장기준인 2.0mg/L 이상을 만족하였다. 침강지를 통과하면서 DO농도가 높아진 것은 침강지에서 광합성에 의해 용존산소가 공급되기 때문이다.
- SS는 1호 침강지의 경우 유입수가 5.6mg/L, 유출수는 22.2mg/L로 높아졌으나, 3호 침강지의 경우는 유입수가 7.1mg/L, 유출수는 8.0mg/L로 비슷하여 침강지에 따라 다른 경향을 보였다. 연차별로 살펴보면 1호 침강지의 경우 2011년도와 2012년도

및 2015년도에는 유입수에 비해 유출수의 농도가 높아졌으나, 2013년도와 2014년도에는 유입수에 비해 유출수에서 낮아져 일정한 경향을 보이지 않았다. 반면 3호 침강지의 경우는 2011년부터 2016년 모두 유입수에 비해 유출수에서 농도가 낮아져 정화효과가 있는 것으로 나타났다.

- 강우시 1호 침강지의 SS수질은 유입수·유출수의 영향은 미미하였으나, 3호 침강지의 유입수 4.5mg/L에서 유출수의 23.0mg/L으로 큰 차이를 보였으며, 또한 COD 유입수 13.6mg/L에서 유출수 19.6mg/L로 높아지는 것은 침강지내 퇴적물 부유사 교란의 영향이 큰 것으로 판단된다.

[표 3-3-4] 홍동저수지 1호 침강지 수질변화

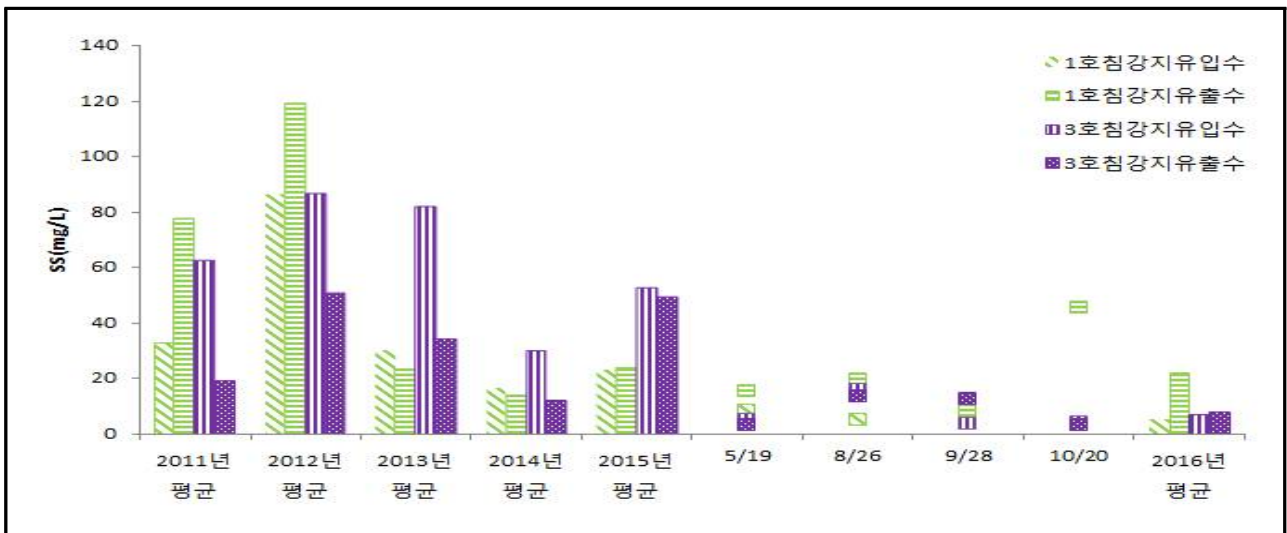
구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차 (05.19)	2차 (08.26)	3차 (09.28)	4차 (10.20)	평균	강우 (07.13)
수온 (°C)	1호 유입수	15.9	18.2	19.7	22.6	20.5	23.5	23.8	23.5	19.8	22.7	26.1
	1호 유출수	17.9	19.9	18.7	27.1	22.2	28.0	25.1	27.6	20.9	25.4	28.3
pH	1호 유입수	7.9	7.7	6.6	8.4	8.0	8.6	7.1	6.7	7.7	7.5	7.9
	1호 유출수	7.9	8.1	7.8	8.2	8.1	9.9	6.6	6.9	7.8	7.8	8.0
EC (µS/cm)	1호 유입수	198	242	204	267	319	301	317	308	289	304	249
	1호 유출수	206	199	231	233	306	239	260	371	268	285	170
DO (mg/L)	1호 유입수	8.0	7.9	7.9	7.0	7.0	9.8	5.1	3.7	10.4	7.3	7.0
	1호 유출수	7.9	8.8	9.7	7.1	7.9	16.7	1.2	6.6	14.6	9.8	11.6
SS (mg/L)	1호 유입수	32.9	86.5	28.5	16.9	23.1	8.3	5.2	4.8	4.0	5.6	21.3
	1호 유출수	77.7	119.3	23.3	14.1	24.2	15.4	19.7	8.2	45.3	22.2	5.4
BOD (mg/L)	1호 유입수	2.2	3.1	3.7	3.3	5.9	8.6	7.2	3.0	1.1	5.0	4.3
	1호 유출수	3.4	5.4	4.5	6.5	7.0	10.8	5.0	2.4	15.0	8.3	2.5
COD (mg/L)	1호 유입수	9.1	8.0	6.2	6.8	13.2	17.2	14.0	14.8	6.0	13.0	17.6
	1호 유출수	10.6	11.3	8.2	11.7	13.0	17.2	15.6	10.6	22.5	16.5	10.2
TOC (mg/L)	1호 유입수	-	-	3.3	4.4	6.3	8.4	8.3	8.0	3.5	7.1	11.5
	1호 유출수	-	-	4.3	7.1	6.3	6.9	8.8	6.7	9.0	7.9	6.0
T-N (mg/L)	1호 유입수	3.4	1.8	2.7	2.9	2.3	2.926	1.666	1.159	1.950	1.925	1.392
	1호 유출수	2.6	2.0	2.8	1.3	1.1	1.157	1.011	1.296	1.895	1.340	1.007
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.4	0.4	0.1	0.2	0.2	0.072	0.138	0.113	0.118	0.110	0.241
	1호 유출수	0.4	4.7	0.1	0.1	0.2	0.065	0.155	0.177	0.316	0.178	0.100

[표 3-3-5] 홍동저수지 3호 침강지 수질변화

구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차 (05.19)	2차 (08.26)	3차 (09.28)	4차 (10.20)	평균	강우 (07.13)
수온 (℃)	3호 유입수	16.6	20.2	23.2	24.4	21.5	28.1	23.2	20.8	16.0	22.0	28.2
	3호 유출수	19.2	20.5	20.7	26.7	21.4	23.8	20.3	25.3	19.8	22.3	28.8
pH	3호 유입수	8.2	8.2	7.2	8.5	7.9	7.6	7.3	6.5	6.3	6.9	7.6
	3호 유출수	8.8	8.6	8.1	8.1	8.0	9.5	8.6	7.4	8.0	8.4	8.7
EC (μS/cm)	3호 유입수	508	410	394	360	376	427	338	626	388	445	420
	3호 유출수	280	254	262	234	284	232	348	346	291	304	223
DO (mg/L)	3호 유입수	9.7	7.2	8.0	7.2	6.4	6.7	5.4	2.3	4.3	4.7	4.5
	3호 유출수	9.5	8.8	9.5	6.9	6.8	14.3	18.0	10.2	12.9	13.9	18.6
SS (mg/L)	3호 유입수	47.8	86.7	65.3	30.0	52.9	5.0	16.0	3.4	4.1	7.1	4.5
	3호 유출수	19.3	50.7	34.7	12.2	49.3	3.3	13.4	12.4	3.0	8.0	23.0
BOD (mg/L)	3호 유입수	6.2	5.8	5.7	4.1	6.3	8.2	5.7	3.5	2.4	5.0	7.0
	3호 유출수	6.5	6.7	7.7	8.4	6.1	7.4	3.9	1.6	1.3	3.6	8.4
COD (mg/L)	3호 유입수	14.3	13.2	20.7	8.7	17.5	14.4	13.2	22.0	5.8	13.9	13.6
	3호 유출수	10.3	18.4	13.1	12.6	18.7	15.2	7.6	12.8	4.8	10.1	19.6
TOC (mg/L)	3호 유입수	-	-	7.8	5.4	8.5	7.1	7.0	11.2	3.5	7.2	9.9
	3호 유출수	-	-	6.9	7.4	9.7	6.4	3.2	6.9	3.9	5.1	9.9
T-N (mg/L)	3호 유입수	13.0	17.9	13.9	9.0	10.6	14.874	9.120	20.738	9.002	13.447	7.264
	3호 유출수	4.8	2.6	4.6	1.4	3.5	0.811	3.221	3.574	1.091	2.174	2.828
T-P (mg/L)	3호 유입수	0.8	0.7	1.7	0.4	0.7	0.661	0.930	0.945	0.560	0.774	0.825
	3호 유출수	0.3	0.3	0.3	0.2	0.5	0.088	1.028	0.538	0.110	0.441	0.287

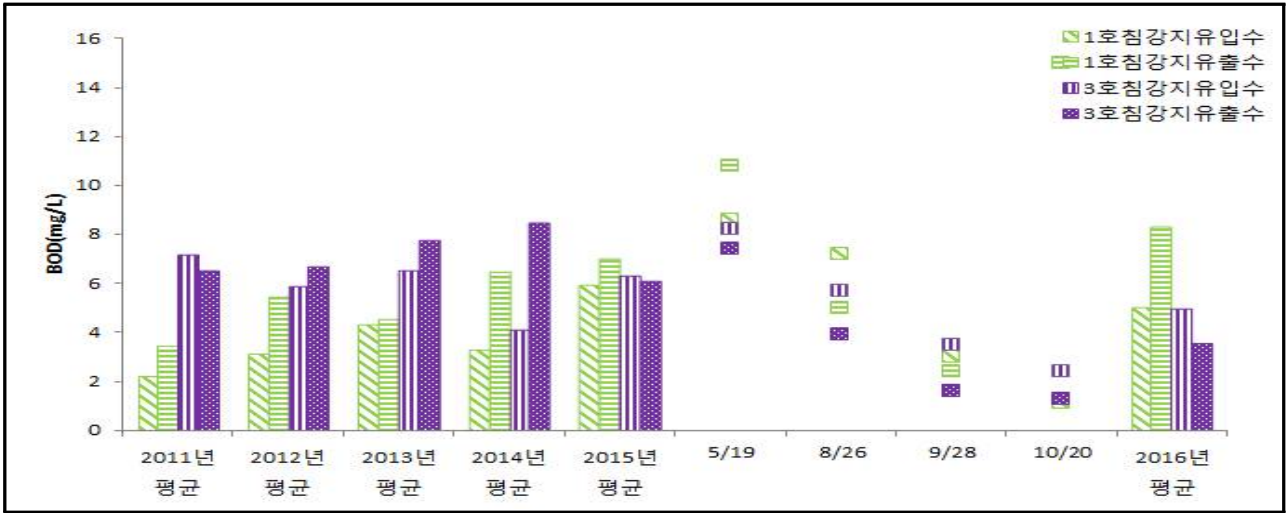
[표 3-3-6] 홍동저수지 침강지 정화효율

구 분		'11~'16년 전체		'11~'16년 평상시		'11~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	침강지 유입	164.8	67.5	8.4	37.6	350.9	68.3
	침강지 유출	53.4		5.2		111.2	
BOD (kg/d)	침강지 유입	13.0	44.4	2.3	-7.0	25.8	50.0
	침강지 유출	7.2		2.5		12.9	
COD (kg/d)	침강지 유입	47.7	63.1	8.5	46.2	94.7	65.0
	침강지 유출	17.6		4.6		33.1	
TOC (kg/d)	침강지 유입	17.9	39.8	4.9	39.6	30.9	39.8
	침강지 유출	10.8		3.0		18.6	
T-N (kg/d)	침강지 유입	15.0	73.9	6.5	73.4	25.2	74.1
	침강지 유출	3.9		1.7		6.5	
T-P (kg/d)	침강지 유입	3.9	83.4	0.4	53.5	8.1	85.2
	침강지 유출	0.7		0.2		1.2	



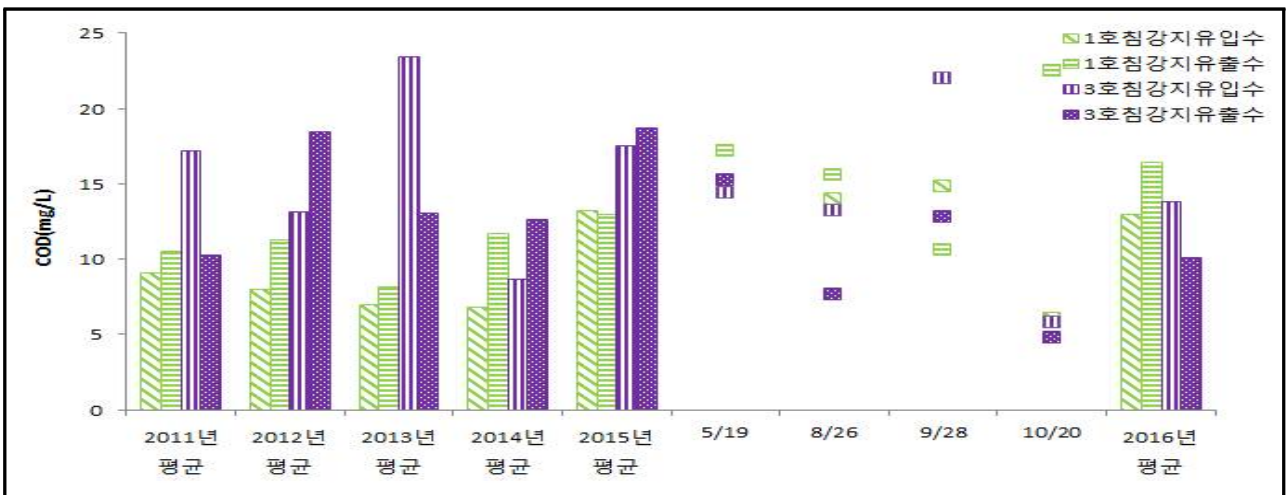
[그림 3-3-8] 홍동저수지 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화

- BOD는 1호 침강지 유입수가 5.0mg/L, 유출수는 8.3mg/L로 높아졌으며, 3호 침강지의 경우도 유입수가 5.0mg/L, 유출수는 3.6mg/L로 높아졌다. 연차별로도 대부분 유입수에 비해 유출수의 BOD농도가 높아지는 경향을 보였다.
- 침강지 BOD 정화효율은 유입부하량이 13.0kg/d이고, 유출부하량은 7.2kg/d로 낮아져 44.4%의 정화효율을 보였다.



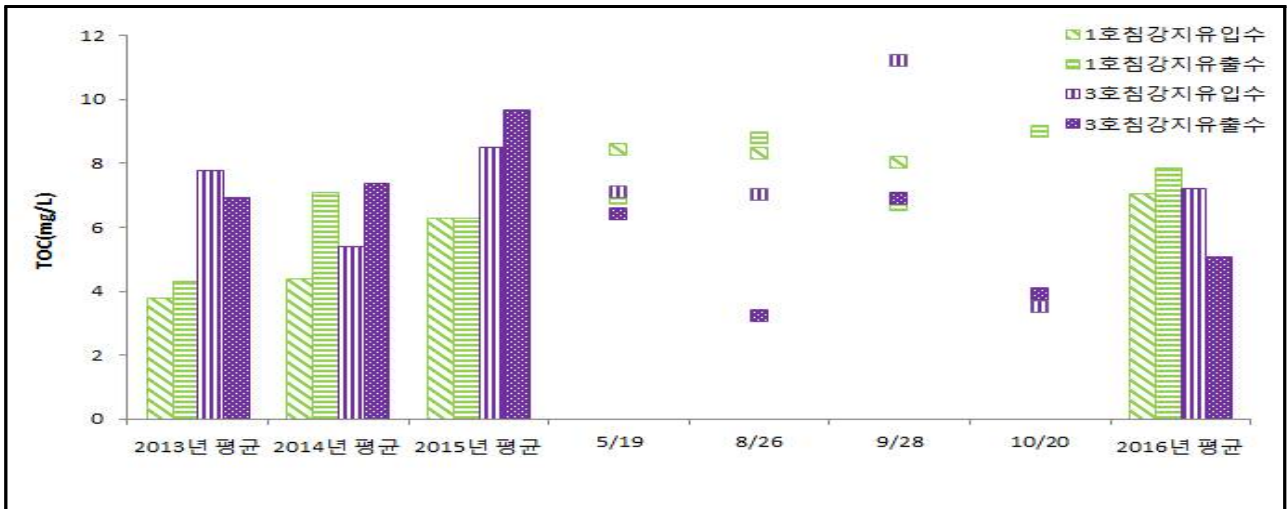
[그림 3-3-9] 홍동지구 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화

- COD는 1호 침강지 유입수 13.0mg/L, 유출수 16.5mg/L로 높아진 반면, 3호 침강지의 경우는 유입수가 13.9mg/L, 유출수는 10.1mg/L로 낮아졌다. 이와 같이 COD의 경우도 BOD와 마찬가지로 1호 침강지에서는 수질이 악화되고, 3호 침강지에서는 수질이 개선되어 일정한 경향을 보이지 않았다. 이는 1호 침강지내 퇴적물 재용출로 인하여 수질 악화를 가중시키며, 3호 침강지 퇴적물은 인공습지의 고효율습지를 거쳐 나온 유입수로 오염부하량이 감소된 것으로 판단된다.
- COD 정화효율을 살펴보면 유입부하량이 47.7kg/d이고, 유출부하량이 17.6kg/d로써 유출부하량이 낮은 것으로 나타나 63.1%의 정화효율을 보였다.



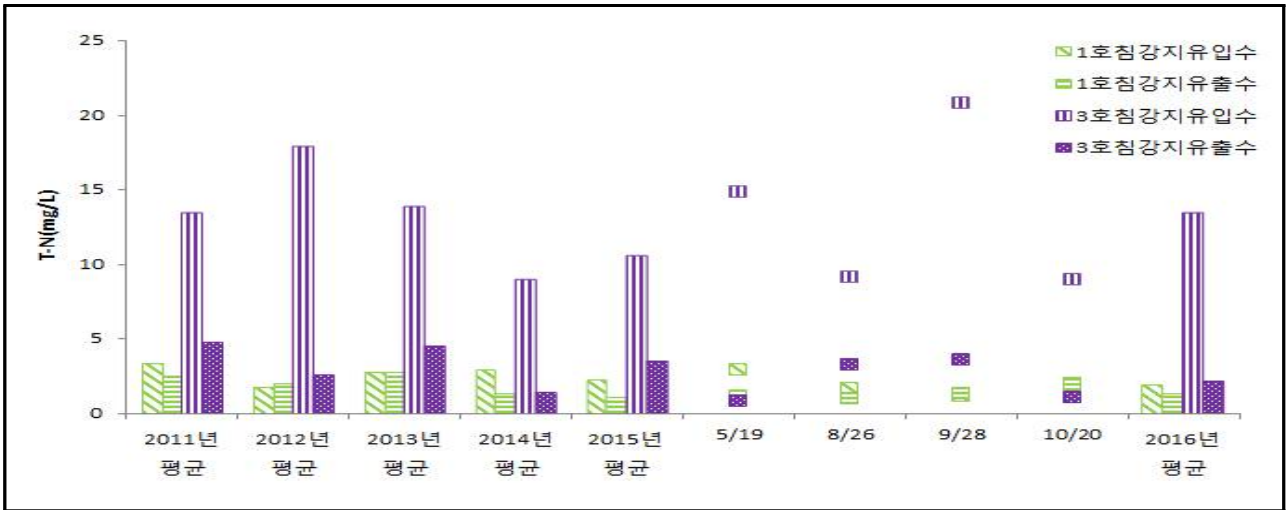
[그림 3-3-10] 홍동지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC는 1호 침강지는 7.1mg/L의 농도로 유입되었으나, 유출수는 7.9mg/L로 유출되어 오히려 높아지는 경향을 보였다. 3호 침강지의 경우도 유입수가 7.2mg/L였는데, 유출수는 5.1mg/L로 낮아졌다. 연차별로도 대부분 유입수에 비해 유출수에서 농도가 높아지는 경향을 보였다. 이 또한 퇴적물 용출 및 고효율습지 운영과 연관성이 있는 것으로 사료된다.
- TOC 정화효율을 살펴보면 유입부하량이 17.9kg/d이고, 유출부하량이 10.8kg/d로써 COD와 마찬가지로 습지의 유기물 정화효율이 높아 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮게 나타났다.



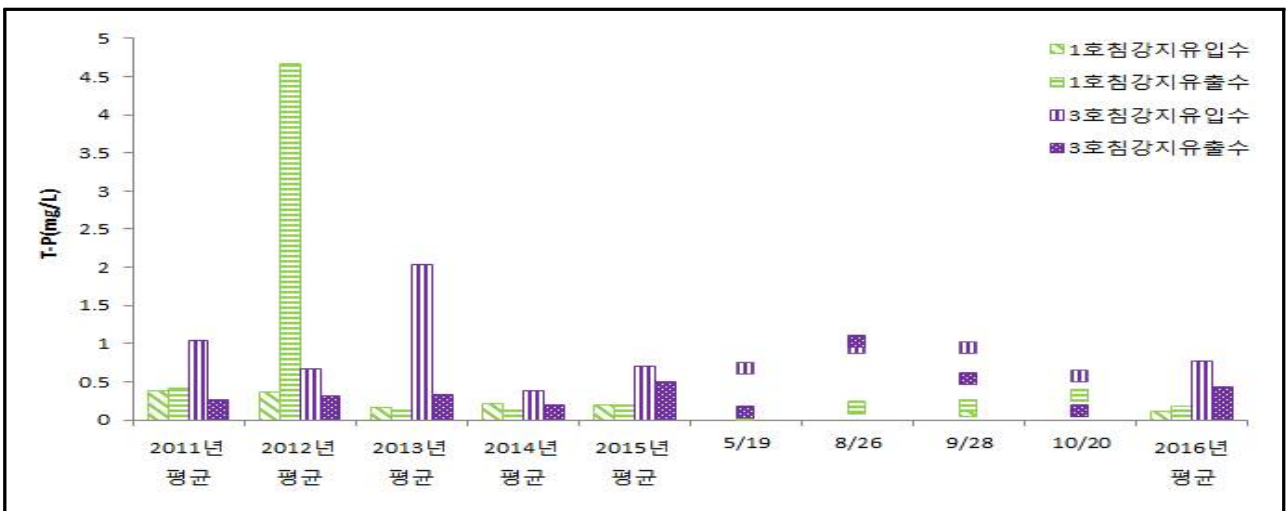
[그림 3-3-11] 흥동지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N은 1호 침강지는 유입수가 1.9mg/L, 유출수는 1.3mg/L로 낮아졌다. 3호 침강지도 13.4mg/L가 유입되었으나 2.2mg/L로 낮아졌다. 연차별로도 2011년도부터 2016년도까지 대부분 유입수에 비해 유출수에서 T-N농도가 낮아지는 경향을 보였다.
- 침강지에서 T-N이 제거된 것은 수중의 미생물에 의해 분해되기도 하고, 조류가 수중의 질소성분을 섭취하여 번성하기 때문에 침강지에서 조류가 증식되는 대신 영양염류는 줄어들게 된다.
- T-N 정화효율은 유입부하량이 15.0kg/d이고, 유출부하량은 3.9kg/d로 낮아져 73.9%의 정화효율을 보였다.



[그림 3-3-12] 홍동지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- 홍동저수지 침강지에서의 T-P농도 변화는 전체적으로 1호 침강지는 유입수가 0.1mg/L이고 유출수는 0.2mg/L로써 유출수에서 높아지는 경향을 보였다. 그러나 3호 침강지는 유입수가 0.7mg/L였는데, 유출수는 0.4mg/L로 낮아졌다.
- T-P 정화효율을 살펴보면 유입부하량이 3.9kg/d이고, 유출부하량이 0.7kg/d로써 유출부하량이 낮은 것으로 나타나 83.4%의 정화효율을 보였다.



[그림 3-3-13] 홍동지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- 연차별로 살펴보면 1호 침강지는 2011년도와 2012년도를 제외하고는 모두 유입수에 비해 유출수가 낮은 경향을 보였고, 3호 침강지의 경우는 모두 유입수에 비해 유출수에서 농도가 낮아지는 경향을 보였다. 이상과 같이 T-P도 3호 침강지에서 수질이 개선되어 침강지에서 T-P를 정화할 수 있는 가능성은 높은 것으로 판단된다.

3.3.3 지하흐름습지 수질개선효과

- 홍동저수지 수질개선시설 중 3호 인공습지 유입수는 유역의 마을하수, 축산폐수가 정화되지 않고 유입되기 때문에 다른 유입하천에 비해 농도가 높아 지하흐름형 인공습지인 고효율습지를 앞단에 설치하고 후단에 지표흐름형 인공습지를 조합한 고효율습지 + 지표흐름형 인공습지로 구성된 조합형 인공습지이다.

[표 3-3-7] 홍동저수지 지하흐름습지 수질변화

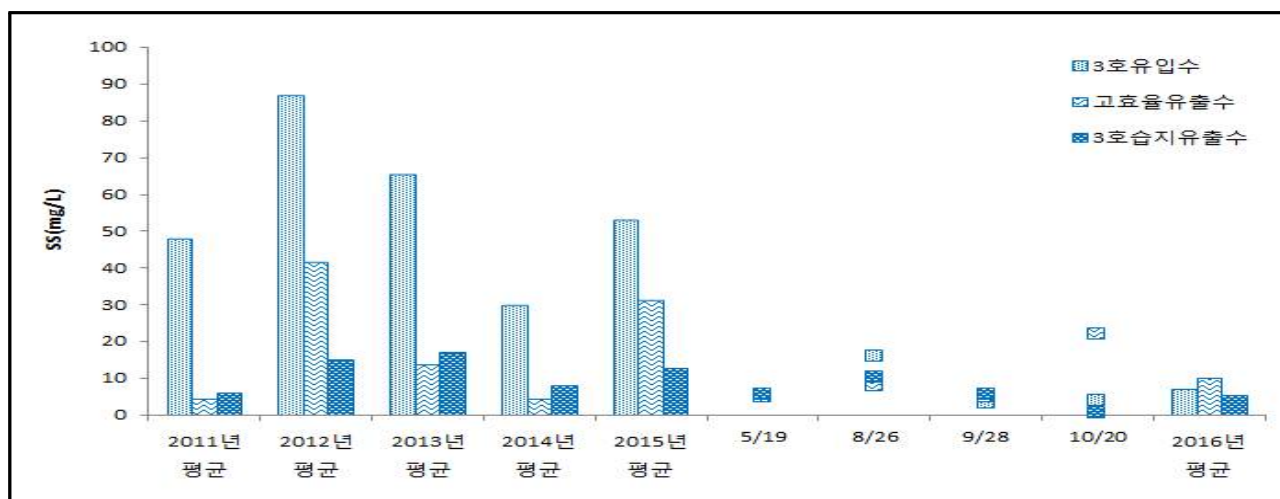
구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차 (05.19)	2차 (08.26)	3차 (09.28)	4차 (10.20)	평균	강우 (07.13)
수온 (°C)	유입수	16.6	20.2	23.2	24.4	21.5	28.1	23.2	20.8	16.0	22.0	28.2
	유출수	15.7	18.8	22.4	21.9	20.3	20.8	24.1	20.6	16.6	20.5	28.1
pH	유입수	8.2	8.2	7.2	8.5	7.9	7.6	7.3	6.5	6.3	6.9	7.6
	유출수	7.5	7.7	4.6	8.3	7.7	6.9	6.8	6.7	6.2	6.7	7.6
EC (µS/cm)	유입수	508	410	394	360	376	427	338	626	388	445	420
	유출수	431	396	388	391	369	423	389	481	776	517	420
DO (mg/L)	유입수	9.7	7.2	8.0	7.2	6.4	6.7	5.4	2.3	4.3	4.7	4.5
	유출수	4.2	3.2	4.8	3.5	5.8	1.3	1.1	6.1	0.2	2.2	4.3
SS (mg/L)	유입수	47.8	86.7	65.3	30.0	52.9	5.0	16.0	3.4	4.1	7.1	4.5
	유출수	4.3	41.6	13.8	4.5	31.4	5.7	8.0	5.1	22.0	10.2	10.2
BOD (mg/L)	유입수	6.2	5.8	5.7	4.1	6.3	8.2	5.7	3.5	2.4	5.0	7.0
	유출수	1.6	2.3	3.0	2.9	4.2	5.3	6.6	5.3	2.2	4.9	8.5
COD (mg/L)	유입수	14.3	13.2	20.7	8.7	17.5	14.4	13.2	22.0	5.8	13.9	13.6
	유출수	6.5	8.1	9.5	6.9	12.8	10.0	13.6	17.6	17.3	14.6	15.2
TOC (mg/L)	유입수	-	-	7.8	5.4	8.5	7.1	7.0	11.2	3.5	7.2	9.9
	유출수	-	-	5.8	4.6	7.1	6.82	7.92	9.89	9.6	8.6	9.68
T-N (mg/L)	유입수	13.0	17.9	13.9	9.0	10.6	14.874	9.120	20.793	9.002	13.447	7.264
	유출수	10.3	16.5	8.2	8.5	7.3	11.047	11.664	10.057	27.460	15.057	7.214
T-P (mg/L)	유입수	0.8	0.7	1.7	0.4	0.7	0.661	0.930	0.945	0.560	0.774	0.825
	유출수	0.4	0.6	0.6	0.4	0.7	0.697	0.742	0.812	3.127	1.345	0.849

- 조합형 인공습지 유입수의 수온은 22.0℃이며, 고효율습지 유출수는 20.5℃로써 고효율습지에서 다소 낮아지는 경향을 보였는데, 이는 고효율습지가 지하흐름형이기 때문에 물이 지하부를 흐르며 수온이 다소 낮아진 것이다.
- 조합형 인공습지에서 pH는 유입수가 6.9인데, 고효율습지 유출수는 6.7로써 고효율습지에서 낮아지는 경향을 보였고, 습지를 거치면서 중성에 가까워지는 경향을 보이고, 대체적으로 농업용수 권장기준인 6.0~8.5를 만족하였다.
- 조합형 인공습지의 EC는 유입수가 445 μ S/cm인데, 고효율 습지 유출수는 517 μ S/cm로 높아지고, 또한 유출수는 대부분 작물 생육에 지장이 없는 기준인 700 μ S/cm에 비해 낮은 값을 보였기 때문에 홍동저수지로 유입되어도 농업용수로 이용하는데 EC에 대해서는 문제가 없을 것으로 판단된다.
- DO는 고효율 습지에서는 4.7mg/L가 유입되고, 최종적으로는 2.2mg/L로 변화되어 지하부를 흐르는 고효율습지에서는 유입수에 비해 다소 낮아지나, 개방구간이 있는 지표흐름형 습지를 거치면서 DO가 다시 높아지는 경향을 보였다. 그리고 대부분 농업용수 권장기준인 2.0mg/L 이상을 만족하였다.

[표 3-3-8] 홍동저수지 지하흐름습지 정화효율

구 분		'11~'16년 전체		'11~'16년 평상시		'11~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	지하흐름 유입	12.9	53.8	3.7	58.7	34.1	52.6
	지하흐름 유출	6.0		1.5		16.1	
BOD (kg/d)	지하흐름 유입	1.7	26.7	0.9	28.5	3.3	21.3
	지하흐름 유출	1.2		0.7		2.6	
COD (kg/d)	지하흐름 유입	4.6	30.1	2.9	24.6	8.7	31.0
	지하흐름 유출	3.2		2.2		6.0	
TOC (kg/d)	지하흐름 유입	2.8	5.6	2.0	8.8	4.4	-4.8
	지하흐름 유출	2.6		1.8		4.6	
T-N (kg/d)	지하흐름 유입	3.5	15.0	3.6	17.1	3.2	9.8
	지하흐름 유출	3.0		3.0		2.9	
T-P (kg/d)	지하흐름 유입	0.3	28.4	0.13	7.9	0.6	36.2
	지하흐름 유출	0.2		0.12		0.4	

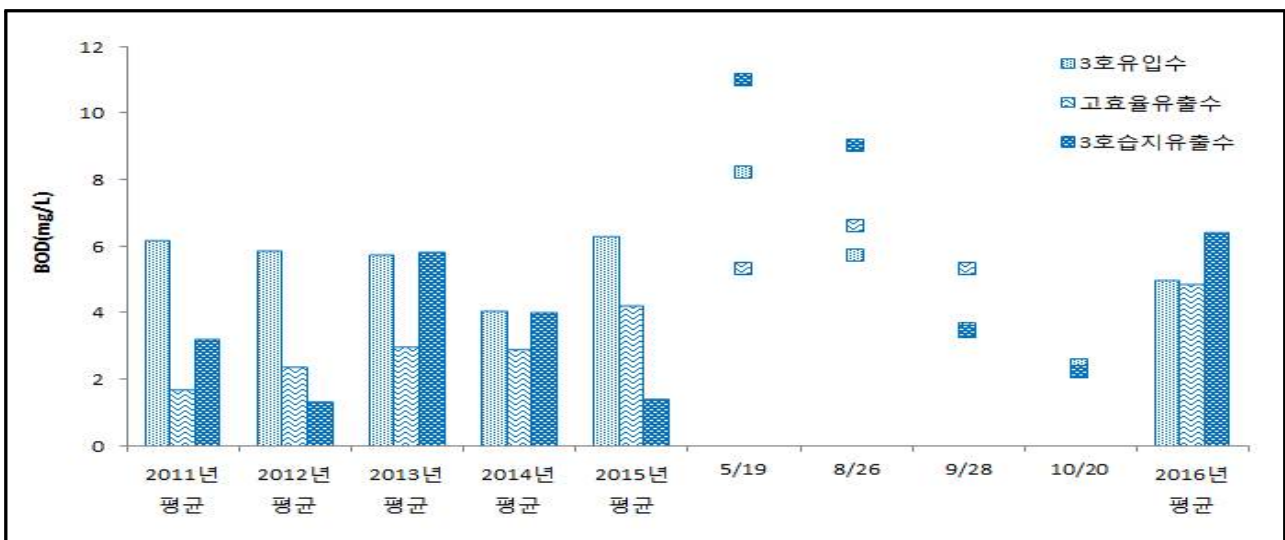
- SS는 유입수가 7.1mg/L, 유출수는 10.2mg/L로 높아졌고 호소의 농업용수 권장기준인 15mg/L이하를 만족하였다. 고효율 습지의 경우 습지바닥에 포설되어 있는 자갈 사이를 지나면서 SS성분이 접촉 침전되기 때문에 SS 정화효율이 높다. 또한 후단의 지표흐름 습지에서도 용량이 커지기 때문에 유속이 느려져 SS 성분이 가라 앉으므로 SS 제거효과가 높다.
- 지하흐름습지 SS 정화효율은 유입부하량이 12.9kg/d이며, 유출부하량은 6.0kg/d로 낮아져 53.8%의 높은 정화효율을 보였다.
- 연차별로도 2011년부터 2015년도 모두 유입수에 비해 유출수에서 SS 농도가 낮아짐으로서 정화효과가 지속되고 있음을 알 수 있다 2016년도는 고효율습지의 최종 유출구가 막힘현상과 수초가 번성하여 흐름이 불량하였다.
- 인공습지는 접촉침전, 여과 등의 기능이 있기 때문에 부유물질 정화효율을 높이기 위한 시설 고도화사업(2016년 12월)을 완료하였다.



[그림 3-3-14] 홍동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 SS 변화

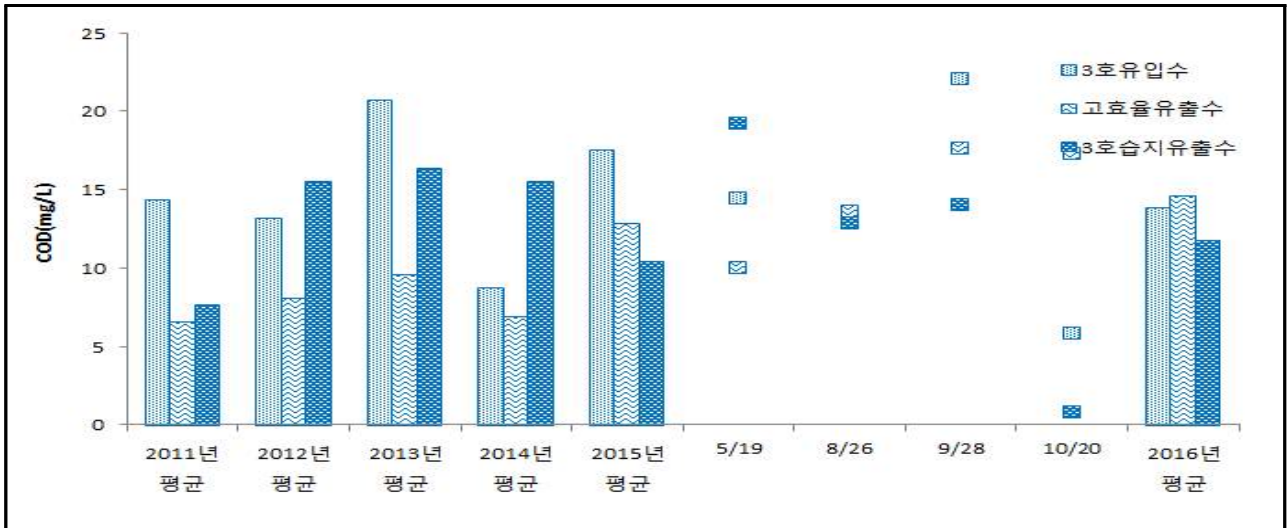
- BOD의 변화를 살펴보면 유입수의 BOD 농도가 5.0mg/L이었으며, 유출수는 4.9mg/L로 낮아져 평균적으로 농업용수 권장기준을 만족하였다.
- 연차별로 살펴보면 2011년부터 2016년까지 고효율습지에서는 BOD가 모두 정화되었으나, 고효율습지 하단의 지표흐름형 인공습지에서는 높아지는 경우도 있고 낮아지는 경우도 있어 일정한 경향을 보이지 않았다. 지하흐름형 인공습지의 배경농도로 알려진 4~5mg/L과 유사한 경향을 보였다.
- 지하흐름습지 BOD 정화효율은 유입부하량이 1.7kg/d이며, 유출부하량은 1.2kg/d로 낮아져 26.7%의 정화효율을 보였다.

- 이는 인공습지에서 식물이 자라고 고사하면서 발생하는 자연적인 현상이라 할 수 있다. 이상과 같이 고효율 습지는 지하에 채운 자갈과 식물 뿌리부분에 미생물이 부착성장하면서 오염물질을 활발히 분해하기 때문에 지표흐름형 인공습지에 비해 유기물 정화효율이 높다. 그러나 후단에 있는 지표흐름형 인공습지에서 BOD농도가 높아지는 경우도 있으므로 지표흐름 인공습지를 고효율 습지 앞단에 설치하는 것이 유기물 정화에 유리한 것으로 판단된다.



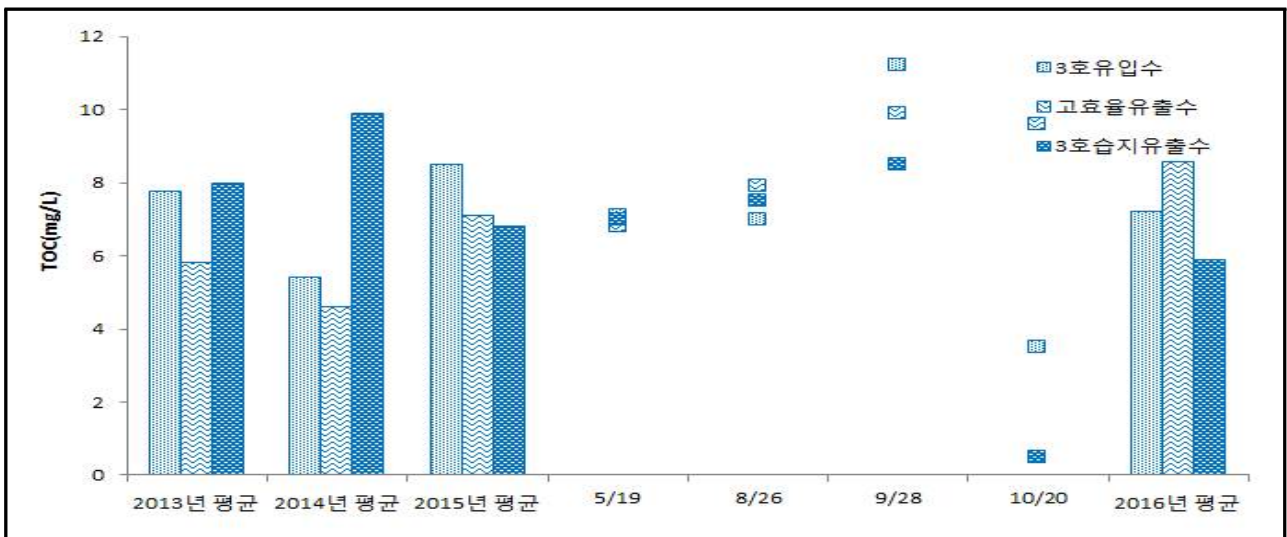
[그림 3-3-15] 홍동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 BOD 변화

- COD는 평균적으로 유입수의 농도가 13.9mg/L인 반면, 고효율습지 유출수는 14.9mg/L로써 유입수에 비해 농도가 비슷하였다. 고효율습지 조합형 인공습지에서 COD 정화효과가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 연차별로는 BOD와 마찬가지로 고효율 습지에서는 유입수에 비해 낮아지나, 지표흐름형 인공습지에서는 다시 높아지는 경우가 많다. 이는 지표흐름형 인공습지에서 식물이 자랐다가 고사하기 때문인 것으로 판단된다.
- 지하흐름습지 COD 정화효율은 유입부하량이 4.6kg/d이며, 유출부하량은 3.2kg/d로 낮아져 30.1%의 정화효율을 보였다.



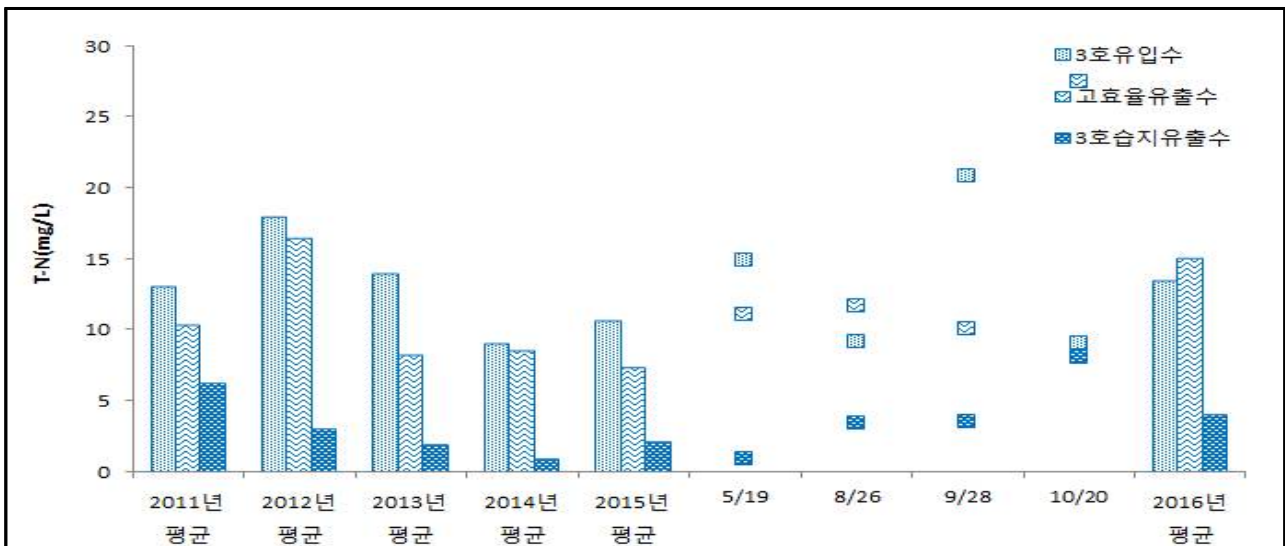
[그림 3-3-16] 홍동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC 유입수 농도가 7.2mg/L였는데, 유출수는 8.6mg/L로 유사하였다. 연차별로 살펴 보면 TOC의 경우도 고효율 습지에서는 TOC가 정화되나 후단의 지표흐름형 인공 습지에서 다시 높아지는 경향을 보였다. 이는 지하흐름형 고효율 습지에서 저감된 오염물질이 지표습지를 거치면서 건조된 퇴적물이 부유하여 유출되었기 때문으로 판단된다.
- 지하흐름습지 TOC 정화효율은 유입부하량이 2.8kg/d이며, 유출부하량은 2.6kg/d로 낮아져 5.6%의 정화효율을 보였다.
- 이상과 같이 고효율습지 조합형 인공습지는 유기물 제거효과가 미미하여, 2016년 12월 고도화사업으로 리모델링하였다.



[그림 3-3-17] 홍동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

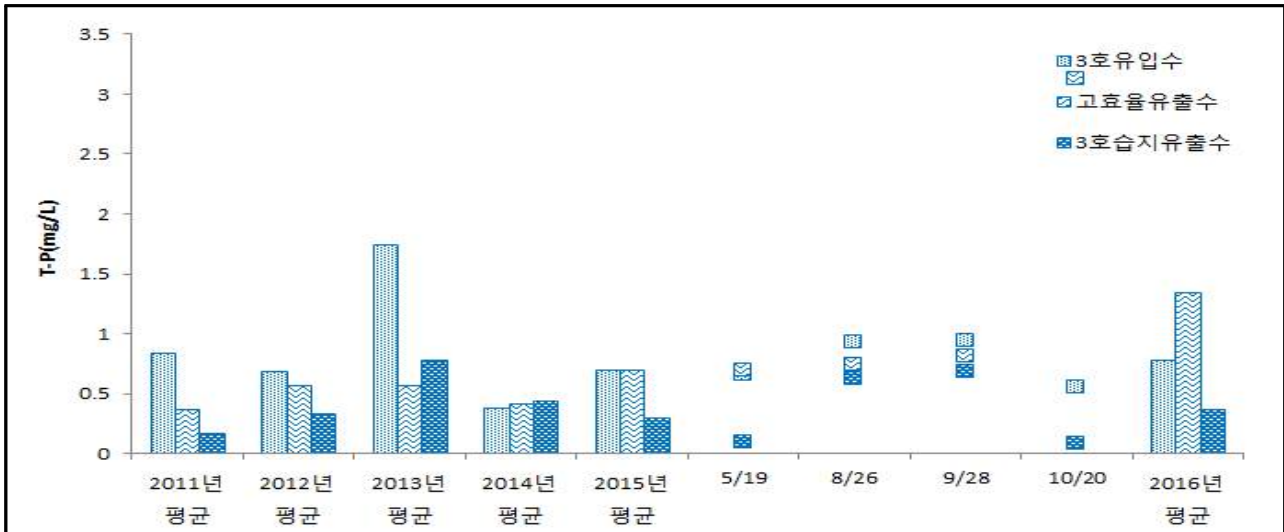
- T-N의 경우는 유입수가 13.4mg/L였는데, 고효율습지 유출수는 15.0mg/L로 다소 높아졌다. 이는 2016년은 가뭄으로 인한 고효율습지의 기능저하가 의심된다.
- 연차별로도 2011년부터 2015년까지 모두 유입수에 비해 유출수에서 T-N 농도가 낮아지는 경향을 보였다. 고효율 습지는 물이 위쪽으로 흐를 때에는 대기로부터의 접촉 폭기로 산소가 공급되기 때문에 호기성 상태가 되어 질산화가 일어난다. 또한 아래쪽을 흐를 때에는 산소가 공급되지 못하여 혐기성 상태가 되어 탈질이 일어나 고효율 습지를 지나면서 질산화와 탈질이 반복적으로 이루어지기 때문에 질소가 정화된다.
- 후단의 일반형 지표흐름 인공습지에서도 식물이 자라는 구간을 지날 때에는 식물에 의해 밀폐되어 산소가 충분히 공급되지 못하여 탈질이 일어나고, 중간에 식물이 없는 개방구간을 지날 때에는 대기로부터의 재폭기에 의해 산소가 공급되어 질산화가 이루어지기 때문에 질소가 제거된다.
- 지하흐름습지 T-N 정화효율은 유입부하량이 3.5kg/d이며, 유출부하량은 3.0kg/d로 낮아져 15.0%의 정화효율을 보였다.



[그림 3-3-18] 홍동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P는 전체적으로 유입수가 0.7mg/L였는데, 고효율습지 유출수는 1.3mg/L로 높아졌고, 연차별로는 고효율습지에서는 2011년부터 2013년도 사이에는 유입수에 비해 유출수에서 농도가 낮아졌으나, 2015년도까지 큰 차이를 보이지 않았지만, 금년도에는 다시 유출수의 농도가 유입수에 비해 높아졌다.
- 이는 올해 가뭄으로 인한 기능저하로 유추되며, 인 성분은 토양 등에 잘 흡착되는 성질이 있기 때문에 토양에 흡착되어 들어온 인 성분이 SS 성분과 함께 침강되고, 또한 고효율습지의 자갈 표면에 흡착되고 미생물에 의해 분해된다.

- 인의 정화효율을 높이기 위해서 고도화사업 추진시 여재세척 작업이 진행되었다.
- 지하흐름습지 T-P 정화효율은 유입부하량이 0.3kg/d이며, 유출부하량은 0.2kg/d로 낮아져 28.4%의 정화효율을 보였다.



[그림 3-3-19] 흥동지구 지하흐름습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

3.3.3 퇴적물 조사결과

- 퇴적물 분석결과 1호 인공습지에서 채취한 퇴적물의 입도는 모래 40.75%, 실트 42.35%, 점토 17.0%로써 L(양토)이고, 1호 침강지의 퇴적물은 모래 22.8%, 실트 58.2%, 점토 19.0%로써 SiCL(미사질양토)로 분류 되었다.
- 1호 인공습지와 침강지의 pH는 각각 6.0, 6.3로 습지 여재로서 이용하기 좋은 6.0~6.3의 범위를 나타내었다.
- EC는 인공습지 0.062dS/m, 침강지 0.142dS/m로 식물성장 매체로 적합한 4.0dS/m 이하이기 때문에 문제가 없다.
- 유기물은 인공습지 0.82%, 침강지 3.33%이고 유효인산은 인공습지 0.92mg/kg, 침강지 13.51mg/kg로 조사되었다.
- 인공습지의 강열감량은 6.2%, T-N은 436.9mg/kg, T-P는 893.1mg/kg으로 국립환경과학원의 호소퇴적물 오염평가기준보다 낮게 조사되었다.
- 침강지의 강열감량은 10.1%, T-N은 2,401.8mg/kg로 T-P는 1,134mg/kg조사되어 인공습지와 마찬가지로 국립환경과학원의 호소퇴적물 오염평가기준보다 낮게 조사 되었다.

[표 3-3-9] 홍동저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사 결과

지 점	토성	강열감량 (%)	총질소 (mg/kg)	총인 (mg/kg)
인공습지	L(양토)	6.2	893.1	436.9
침강지	SiL(실트질양토)	10.1	2,401.8	1,134.0
평 균	SiL(실트질양토)	8.2	1,647.5	785.5

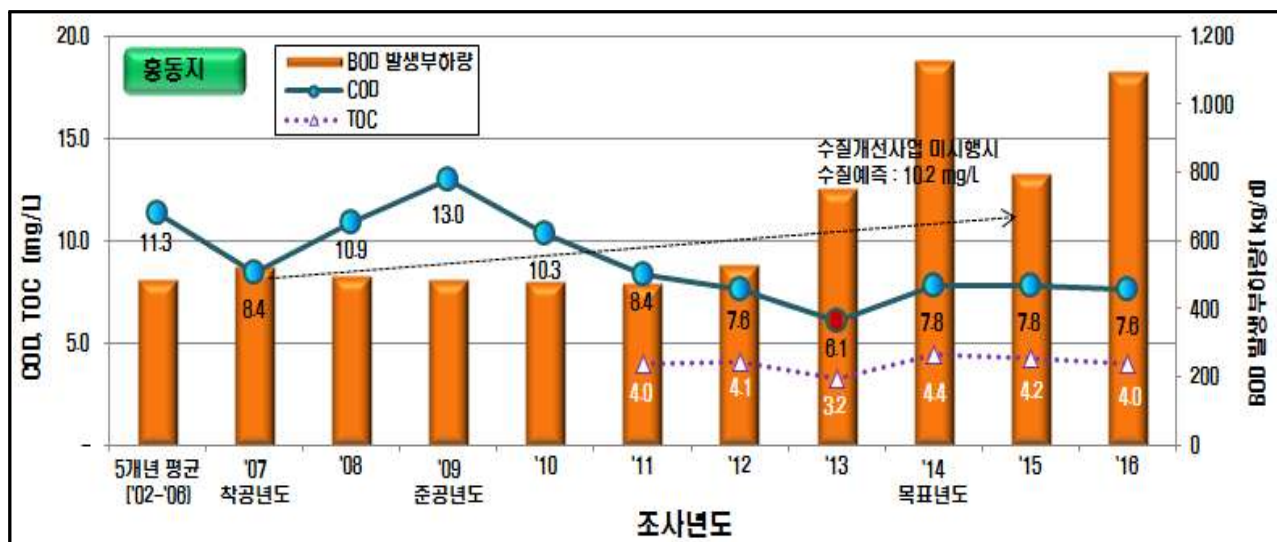
[표 3-3-10] 호소 퇴적물 오염평가 기준

등 급		I	II	III	IV
항 목	완전연소가능량(%)				13 초과
	총질소(mg/kg)				5,600 초과
	총인(mg/kg)				1,600 초과
비고 : 1. 등급별 퇴적물의 상태<유기물, 영양염류> - IV 등급 : 심각하고 명백한 오염					

* 자료 : 국립환경과학원예규 제687호, 2015년

3.4. 저수지 수질변화 및 개선효과

- 수질개선사업 시행에 따른 수질개선효과를 살펴보면, 홍동저수지 COD농도의 경우 준공년도인 2009년도에는 13.0mg/L이었으나, 이후로는 지속적으로 낮아져 2012년도에는 7.6mg/L로 낮아져 농업용수 권장기준인 8.0mg/L 이하를 만족하였다.
- 특히 2013년도에는 부하량이 다른 해에 비해 높아졌음에도 불구하고 수질은 더욱 낮아져 6.1mg/L까지 개선되어 목표수질을 만족하였다.
- TOC의 경우는 측정이 시작된 2011년도에 4.0mg/L, 2012년도에는 4.1mg/L, 2013년도에는 3.2mg/L, 2014년도에는 4.4mg/L, 2015년도에는 4.2mg/L, 2015년도에는 4.0mg/L로 다소 등락은 있으나 지속적으로 농업용수 권장기준인 6.0mg/L 이하를 만족하고 있다.

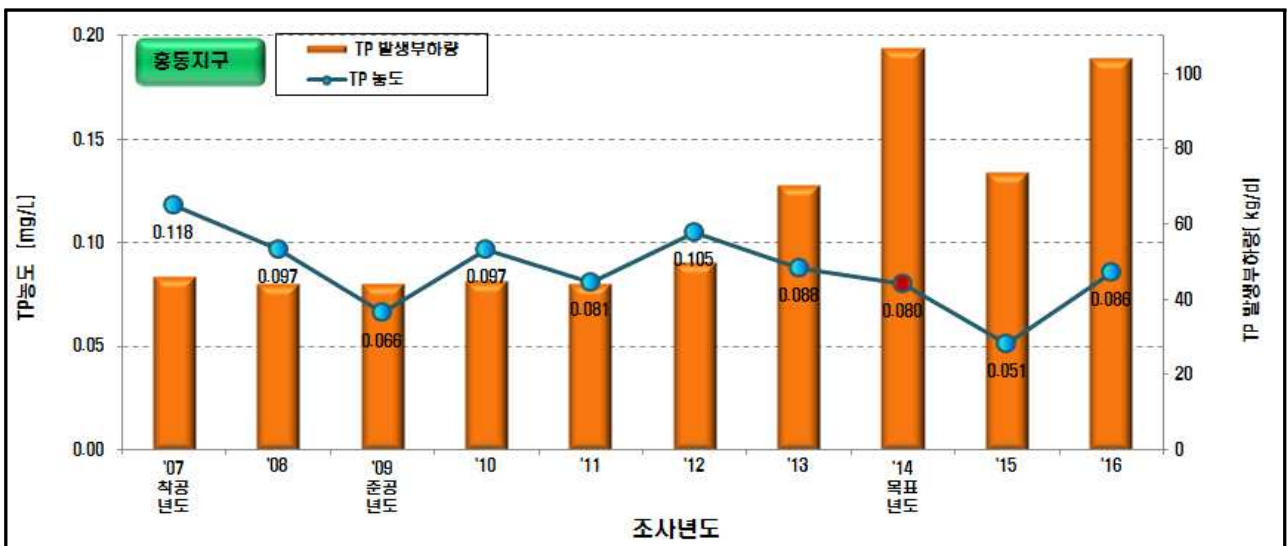


[그림 3-4-1] 홍동지구 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC농도 변화

- T-N 농도는 준공년도인 2009년도 이후 계속 높아져 2013년도에는 3.2mg/L로 더욱 높아졌다. 그러나 2014년부터 부하량이 높아졌음에도 불구하고 저수지의 T-N 농도가 1.1mg/L로 낮아져 개선되었다.
- 이는 인공습지와 침강지에서 지속적으로 T-N이 크게 정화되고 있기 때문이다. 또한 T-N/T-P 비가 22로 16 이상이기 때문에 T-N의 권장기준은 적용하지 않는다.
- 홍동저수지의 준공년도인 2009년도 이후 높아지기도 하고 낮아지기도 하였으나, 2012년도 이후에는 지속적으로 낮아지는 경향을 보이고 있다. 또한 2012년도를 제외하고는 모두 농업용수 권장기준인 0.1mg/L 이하를 만족하고 있다.
- 그러나 최근 부하량이 높아지고 있으므로 향후 홍동저수지의 T-P 농도가 지속적으로 권장기준을 만족하기 위해서는 무엇보다 유역에서 발생하는 오염부하가 저수지로 직접 유입되지 않도록 철저한 관리가 필요하다. 또한 수질개선시설의 정화효율을 높일 수 있도록 수질개선시설을 적절히 유지관리하는 것도 대단히 중요하다.



[그림 3-4-2] 홍동지구 연도별 T-N발생부하량 및 T-N농도 변화



[그림 3-4-3] 홍동지구 연도별 T-P발생부하량 및 T-P농도 변화

[표 3-4-1] 홍동저수지 월별 저수율 현황

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
저수율(%)	100	100	100	100	98.5	69.9	91.2	64.0	52.7	66.5	71.5	45.4

3.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안

- 홍동지구 인공습지의 경우 유출부의 벽이 높고 수위조절장치가 없어 유량이 적은 경우 체류시간이 크게 증가하고, 심한 경우 유출이 되지 않고 장시간 정체되어 오히려 수질이 악화되는 경우가 있으므로 각낙관 등을 이용한 수위조절 장치를 설치하여 체류시간 조절이 필요하다.
- 그 외 가을철 식생절취, 침강지 준설 등을 검토할 필요가 있다.
- 또한 3호 인공습지 유입부 상류하천에서 토사유입이 많아 이를 제거하기 위한 1회/월 이상 토사제거가 필요한 것으로 판단된다.

3.6. 결 론

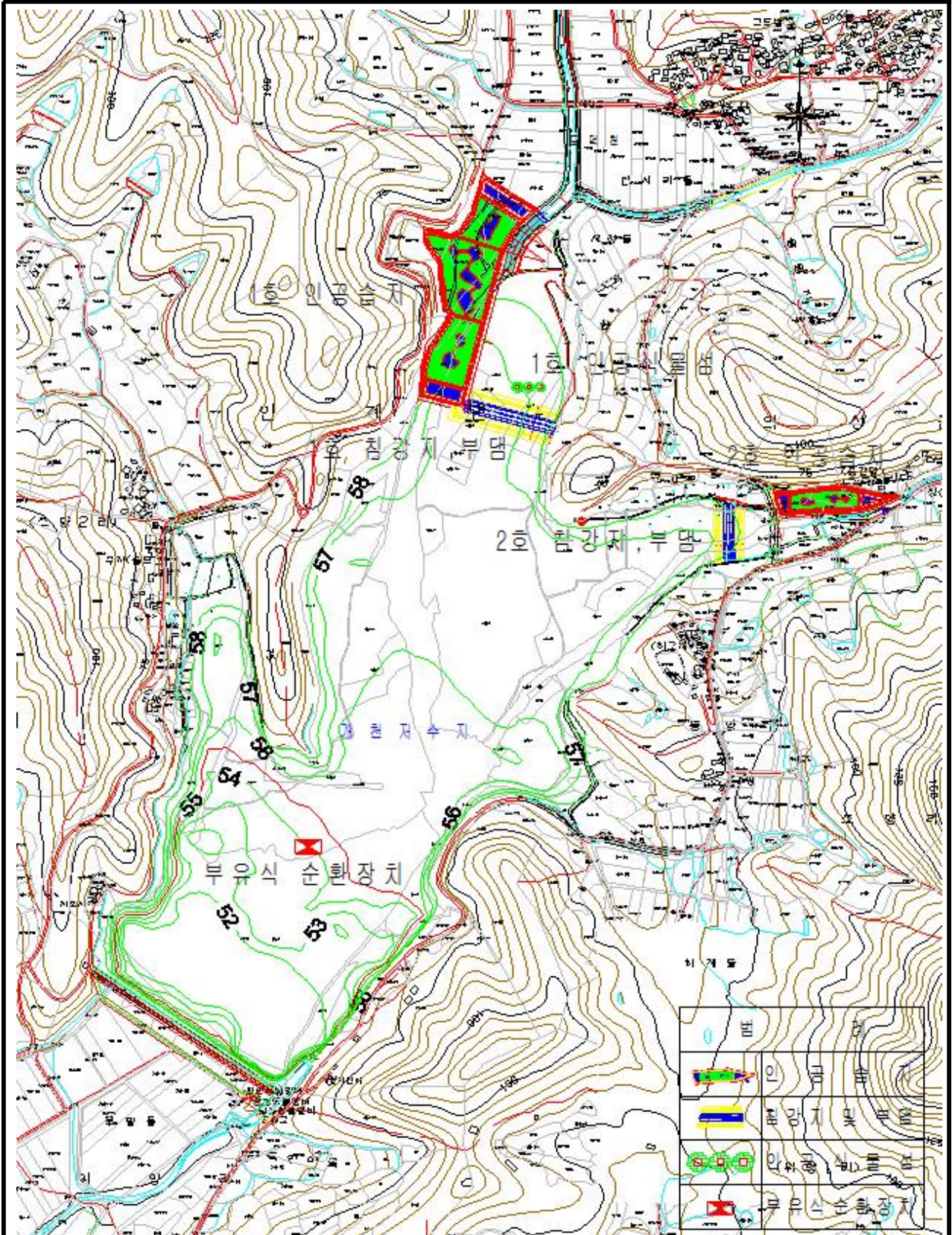
- 2016년 수질개선 효과는 기본계획 대비 현재 COD 22.6%, T-N 55.6%, T-P 4.4%의 개선효과를 나타내고 있다.
- 운영 7년차 인 홍동저수지는 3년차(2012년) 이후부터 인공습지, 침강지, 고효율습지의 적정 기능을 발휘하여 목표수질을 달성하고 있으나 현재 1호, 2호, 3호 침강지 내부 퇴적토가 너무 많고, 준공이후 식생절취가 주기적으로 이루어지지 않아 내부 부하로 작용하고 있는 것으로 판단된다.
- 2016년 KRC 수질보전대책 고도화사업이 추진되었으며, 추후 수질개선시설이 적정 기능을 발휘하도록 지속적인 리모델링 사업 추진이 필요하다.
- 또한 호소 수질이 악화되는 녹조발생시기에 녹조제거제 살포, 인 저감사업 등의 적절한 대응이 필요하며, 영농대비를 위한 친환경 수질개선 고도화사업은 상반기에 추진 되어야 할 것이다.

4. 개천지구



-
- 4.1 지구현황
 - 4.2 기상 및 수질현황
 - 4.3 시설별 수질개선 효과
 - 4.4 저수지 수질변화 및 개선효과
 - 4.5 현장적용성 향상 및 유지관리 방안
 - 4.6 결 론

개천지구 수질개선사업 평면도



4.1. 지구현황

4.1.1 저수지 현황

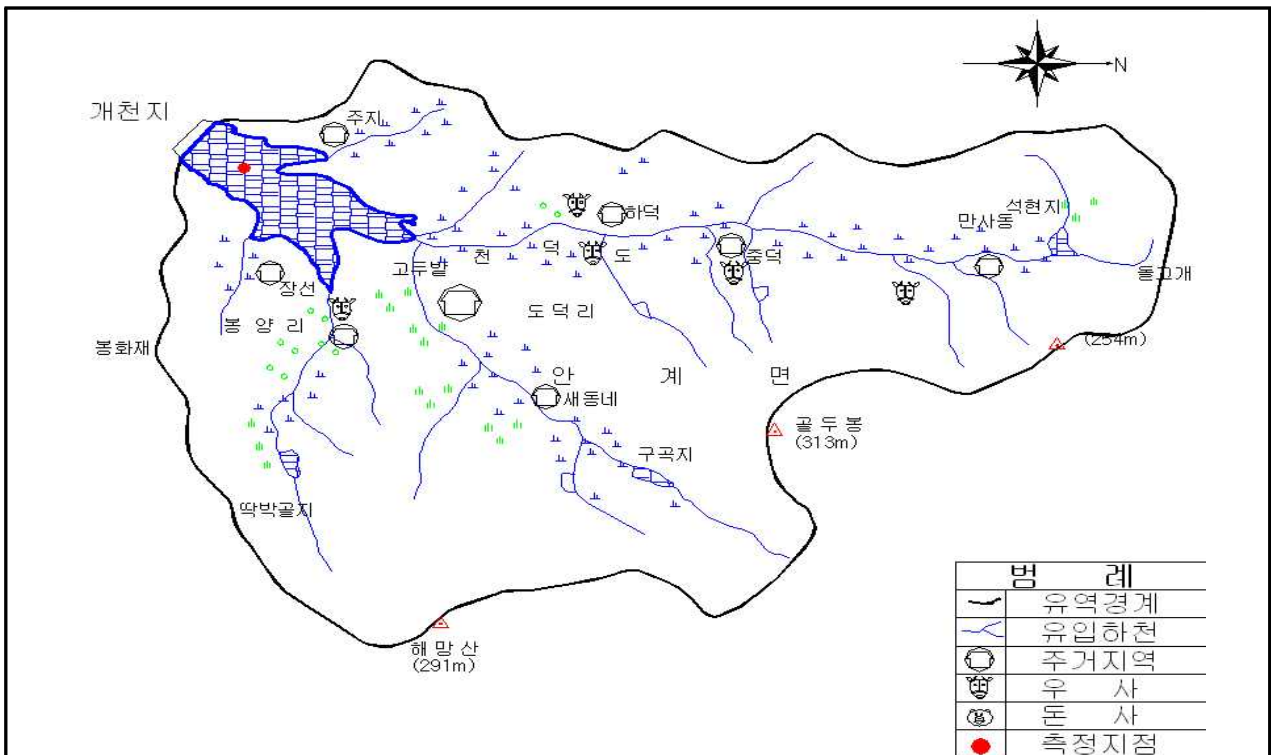
1) 유역현황

- 유역은 행정구역상 안계면 도덕리와 봉양2리 일대를 포함하고 있으며, 해발 313m의 골두봉을 정점으로 북고남저의 완만한 능선으로 둘러싸인 형상이다.

[표 4-1-1] 개천저수지 경위도상 위치

소재지	단	경도와 위도의 극점			연장거리
		지명	극점		
			동경	북위	
경북 의성군 안계면 봉양리	동 단	의성군 안계면 봉양리	128° 28' 05"	36° 23' 22"	동서 1.1km 남북 1.4km
	서 단	의성군 안계면 봉양리	128° 27' 21"	36° 23' 03"	
	남 단	의성군 안계면 위양리	128° 27' 33"	36° 22' 54"	
	북 단	의성군 안계면 봉양리	128° 27' 50"	36° 23' 38"	

- 유입하천은 돌고개, 골두봉, 해망산, 봉화재에서 발원한 도덕천 등의 소하천이 저수지 좌·우로 유입되는 단순한 수계이다.



[그림 4-1-1] 개천저수지 유역도

2) 저수지 현황

- 주요염원은 축산계로 유역내 산재하여 축산농가(13가구, 한우 426두)가 분포하고 있으며, 인접한 마을의 미처리된 생활하수도 저수지 수질에 지속적으로 영향을 미치고 있다.
- 유역내 논농사의 비중이 높으며 경작으로 인한 비점오염물질의 유입이 발생하고 있다.
- 유입하천 상류에는 지자체에서 설치한 양수시설이 있으며 경작시기 주민들의 용수 이용이 유입하천에서 이루어져 습지를 유지할 유입수가 부족하다.
- 저수지 상류에는 상주~영덕간 고속도로(4공구) 공사가 진행중에 있다.
- 개천지는 수질개선사업지구이며 '07~'09년 기간 동안 사업을 진행하여 현재 운영중에 있다.(준공 7년차)

[표 4-1-2] 개천저수지 시설 현황

소재지	경상북도 의성군 안계면 봉양리	
설치년도	1952년	
유역면적	1,295ha	
유효저수량	1,259천 m ³	
수혜농지	794.5ha	
만수면적	53ha	
관리주체	경북지역본부 의성군위지사	

4.1.2 수질개선시설 현황

1) 주요대책

- 2016년 의성군위지사와 의성군은 수질개선을 위하여 상호업무협약(MOU)을 체결하여 협업체계를 구축하였다.
- 상류대책 : 축산분뇨 처리를 위한 가축분뇨처리시설 운영하고 있다.
 - 의성 가축분뇨처리시설 : 70ton/day, 액상부식법
- 호내대책 : 수질개선사업을('07~'09) 진행하였다.
 - 인공습지 2개소, 침강지 2개소, 인공식물섬 2개소, 물순환장치 1기

[표 4-1-3] 개천저수지 수질개선시설 현황

구분	대안	시설	규모	비고
<input type="checkbox"/> 상류대책(의성군 추진)				
1	하수처리	하수관거정비	-	
2	관리감독	가축분뇨처리	70ton/day	
<input type="checkbox"/> 호내대책				
1	평시 유출수 처리	1호 인공습지	33,359m ²	
2	평시 유출수 처리	2호 인공습지	6,139m ²	
3	평시 및 강우 유출수 처리	1호 침강지	25,400m ²	
4	평시 및 강우 유출수 처리	2호 침강지	4,532m ²	
5	녹조발생억제 및 경관개선	1호 인공식물섬	500m ²	
6	녹조발생억제 및 경관개선	2호 인공식물섬	192m ²	
7	녹조방지를 위한 물순환	부유식 물순환장치	순환량 : 8,500m ³ /일	

- 개천지구 수질개선시설의 정상운영을 위한 보완공사('14. 10~'15. 5)를 실시하여 침사지 용량증가, 가동보, 펌프시설 설치를 통해 갈수기에도 침강지 물을 이용해서 습지가 유지될 수 있도록 하였다.

[표 4-1-4] 개천저수지 수질개선대책사업 보완공사 시설현황

구분	세부내용	비고
인공습지	○ 침사지내 효율증가를 위한 시설보완(1양수장) - 집수정 설치(H5.7×B3.0×L3.0m) 1식 - 수중펌프 재설치(위치이동) 6마력 1대 - 취입보 유입관로 교체 300→1,000mm - 집수정 철거 및 침사지 용량확대	
	○ 갈수시 습지운영을 위한 펌프신설(2양수장) - 집수정 설치(H5.7×B3.0×L3.0m) 1식 - 수중펌프 신설 6마력 1대 - 토출관로 등	
취입보	○ 취입보 홍수시 수위조절 및 누수발생 보완 - 가동보 신설(H11.0×B8.0m) 1식	

2) 인공습지

- 인공습지는 30mm/d 이상의 강우 유출량에 대응할 수 있는 용량(체류시간 12시간, 수심 60cm)으로 결정하였다.
- 인공습지는 2개소로 면적은 3.7ha이고 습지내 침사지 2개소와 깊은 연못이 4개소가 조성되어 용존산소 공급과 수심을 1m 정도 유지시켜서 겨울철에도 수서곤충, 양서류 등 수생태계를 유지할 수 있도록 하였다.
- 인공습지는 유역이 가장 크고, 마을과 기존 농경지 등 오염원이 많이 위치하는 3, 4, 5유역을 대상으로 습지를 조성하였다.

[표 4-1-5] 인공습지 계획유량

구 분	유역 구분	유역면적 (ha)	평균 유입량(m ³ /일)			계획수량 (m ³ /일)	비고
			총유입량	일30mm 미만유입량	마을하수도 유입량		
계	3개유역	1,138.9	17,954	17,512	-	17,512	
1호인공습지	3,4	935.4	14,626	14,286	-	14,286	기본조사
2호인공습지	5	203.4	3,328	3,226	-	3,226	



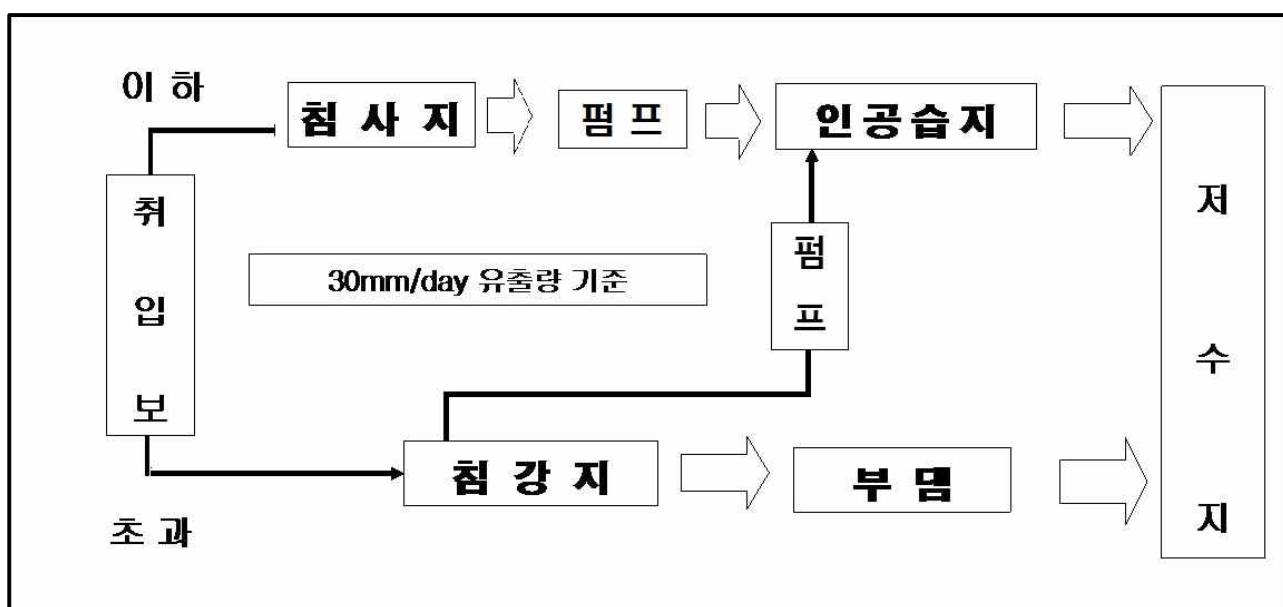
[그림 4-1-2] 개천저수지 유역 구분도

○ 1호 인공습지

- 유역 3, 4의 일30mm미만 유출시 유하하는 유입유량을 정화처리하기 위해 필요한 1호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 33,359m²으로 계획하였다.
- 이중 습지의 면적은 15,483m²으로 계획하였고, 내용적상으로는 7,983m³(인공+연못습지)으로서 유역에서 유출되는 유출량 595.3m³/hr이 습지에서 평균적으로 약 13.4시간 정도 체류하도록 계획하였다.

[표 4-1-6] 1호 인공습지 제원

구 분		규모	계획면적 (m ²)	계획수심 (m)	내용적 (m ³)	비 고
습지	얕은습지	3개소	12,500	0.4	5,000	
	깊은연못	3개소	2,983	1.0	2,983	
	소 계		15,483		7,983	
기타	침사지	1개소	806	1.5	1,209	
	배출연못	1개소	831	1.0	831	
	관리도로	2조	15,518			
	월류부	3개소	721			
	소 계		17,876		2,040	
합 계			33,359		10,023	기본조사



[그림 4-1-3] 1호 인공습지 수리계통도



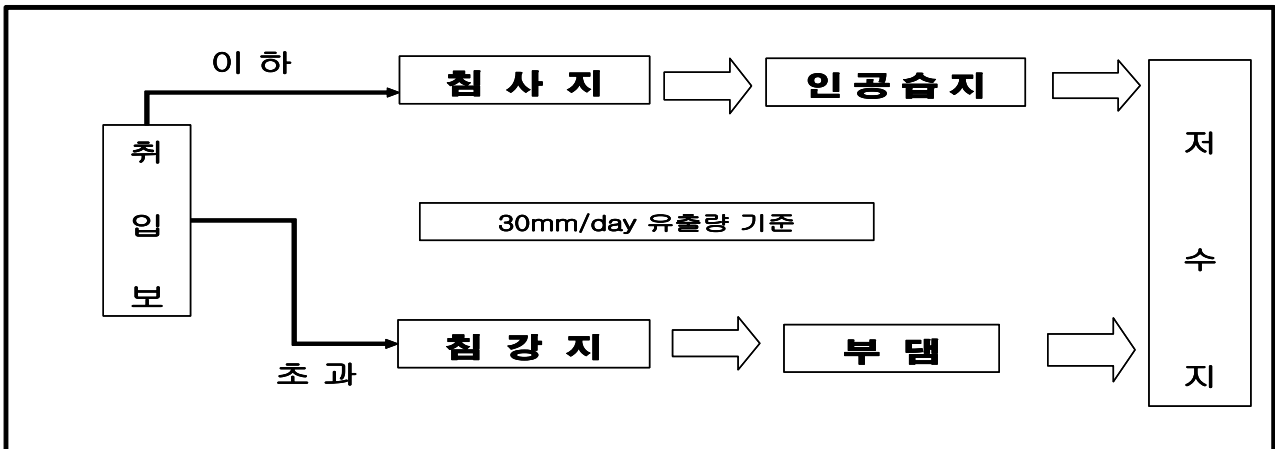
[그림 4-1-4] 1호 인공습지 시설현황

○ 2호 인공습지

- 유역 5의 일30mm미만 유출시 유하하는 유입유량을 정화처리하기 위해 필요한 2호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 6,139㎡으로 계획하였다
- 이 중 습지의 면적은 2,434㎡으로 계획하였고, 내용적상으로는 1,649㎡(인공+연못 습지)으로서 유역에서 유출되는 유출량 134.4㎡/hr이 습지에서 평균적으로 약 12.3시간 정도 체류하도록 계획하였다.

[표 4-1-7] 2호 인공습지 제원

구 분		규모	계획면적 (㎡)	계획수심 (m)	내용적 (㎡)	비 고
습지	얕은습지	1개소	2,119	0.6	1,271	
	깊은연못	2개소	315	1.2	378	
	소 계		2,434		1,649	
기타	침사지	1개소	200	1.5	300	
	배출연못	1개소	234	1.2	281	
	관리도로	2조	3,039			
	월류부	2개소	232			
	소 계		3,705		581	
합 계			6,139		2,230	기본조사



[그림 4-1-5] 2호 인공습지 수리계통도



[그림 4-1-6] 2호 인공습지 시설현황

3) 침강지

- 침강지는 직접유역 중 오염물질 유입이 가장 많은 개천저수지 3, 4, 5구역의 하천 말단부 저수지내에 계획하였다.
- 제약요인 및 지형여건 등을 감안하여 1호 침강지의 경우 체류시간을 18.9시간, 2호 침강지 체류시간을 15.4시간으로 하였다.

- 부댐의 높이는 침강지의 홍수와 연간 수위변동 등을 고려하여 저수지 만수위 (H.W.L)보다 0.5~1.0m정도 낮게 계획하였다.

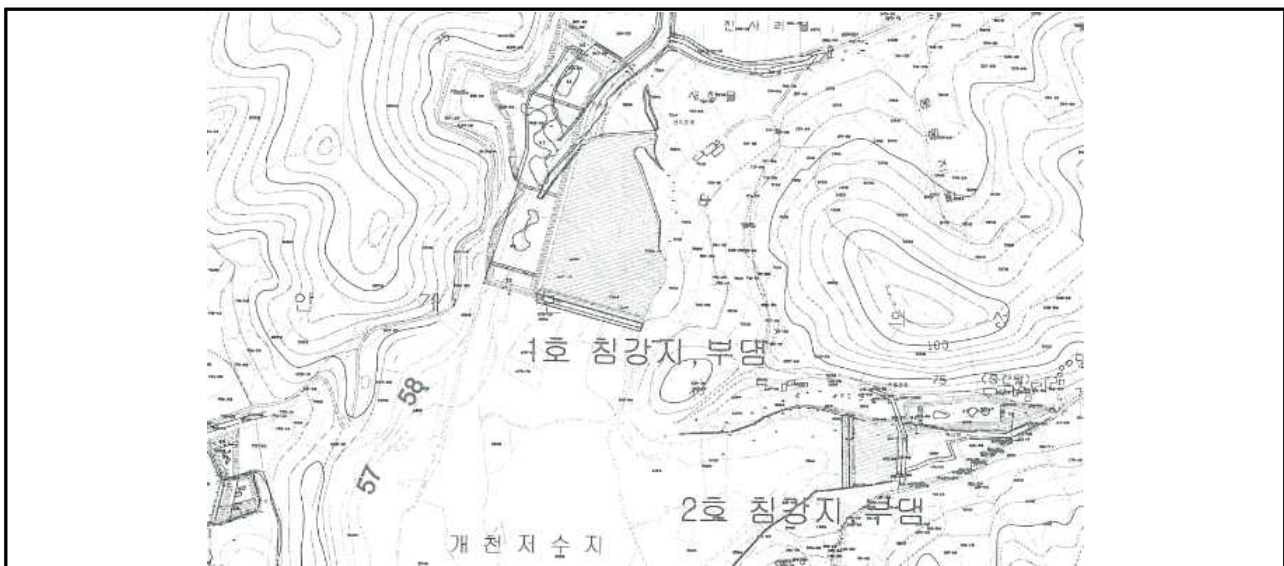
[표 4-1-8] 침강지 제원

구 분	유 역		일30mm 초과유입량 (m ³ /일)	계획 수심 (m)	수표 면적 (m ²)	계획 내용적 (m ³)	체류 시간 (hr)	비 고
	유역 구분	면적 (ha)						
1호 침강지	3, 4	935.4	88,538	2.8	25,400	69,850	18.9	기본조사
2호 침강지	5	203.4	19,447	2.8	4,532	12,463	15.4	

※부댐 제정고 기준



[그림 4-1-7] 침강지 시설현황



[그림 4-1-8] 침강지 계획평면도

4) 기타 수질개선시설

- 물순환장치(1개소) : 호내 설치
- 인공식물섬(2개소) : 침강지내 각 1개소 설치



[그림 4-1-9] 기타 수질개선시설 현황

4.2. 기상 및 수질환경

4.2.1 기상현황

1) 기온

- 개천저수지 유역과 가장 가까운 의성관측소에서 조사된 사업시행 전·후의 월별평균 기온 분석결과 금년 11월까지 평균 기온이 13.8℃로 가장 높았다. 또한, 의성지역의 평년값 12.4℃보다 높게 나타났다.

[표 4-2-1] 개천저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포 [단위 : °C]

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	연간
시행전('07)	-1.2	2.7	6.3	11.4	17.5	21.9	23.8	26.2	21.4	14.3	4.9	13.6
시행중('08)	-1.8	-2.6	6.0	12.5	17.4	20.4	26.9	24.2	20.7	13.8	5.4	13.0
시행중('09)	-4.1	2.7	6.4	12.5	18.0	22.2	24.1	24.1	20.4	13.2	6.1	13.2
시행후('10)	-4.4	0.9	4.7	9.4	16.9	22.5	25.7	27.4	21.2	13.2	4.2	12.9
시행후('11)	-7.0	0.1	3.6	10.9	17.0	22.4	25.6	25.1	20.5	12.2	9.1	12.7
시행후('12)	-3.4	-2.5	5.1	12.4	17.7	22.0	25.9	26.5	19.6	11.9	4.4	12.7
시행후('13)	-4.9	-0.6	5.8	9.7	17.9	23.0	26.5	27.1	20.6	13.8	4.6	13.0
시행후('14)	-2.6	0.9	6.5	13.0	17.8	21.5	25.6	23.2	19.5	12.1	5.9	13.0
시행후('15)	-2.0	0.2	5.3	11.8	18.1	21.4	24.4	24.8	19.0	12.7	8.7	13.1
시행후('16)	-3.3	0.1	6.3	13.4	18.3	22.7	25.8	26.6	21.1	15.0	6.0	13.8
평년값	-3.5	-0.8	4.7	11.5	16.8	21.2	24.5	24.8	19.4	12.3	5.0	12.4

2) 강수량

- 가뭄이 심했던 '15년 강수량은 579.7mm로 사업시행 후 가장 적었다. 금년에는 7월과 9월에 가장 많은 강우가 집중되었다.
- 연간 강수량은 985.1mm로 평년 강수량의 97% 정도의 강우량을 보였다. 저수지가 위치한 의성지역은 평년과는 비슷한 강우량을 보였지만 작년부터 이어진 가뭄과 평년 대비 높은 기온의 영향으로 저수지에서 녹조가 발생하는 등 수질이 악화될 수 있는 환경이었다.

[표 4-2-2] 개천저수지 유역 사업시행 전후 월별 강수량 분포

(단위 : mm)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	연간
시행전 ('07)	0.3	36.0	91.5	20.0	90.0	163.5	172.5	278.0	403.5	33.5	-	1,288.8
시행중 ('08)	29.0	1.2	28.3	38.5	66.1	132.7	159.2	252.9	33.9	32.0	9.2	783.0
시행중 ('09)	3.5	24.0	21.4	23.4	117.4	63.6	288.9	88.8	69.9	9.4	31.4	741.7
시행후 ('10)	11.0	52.0	45.5	40.1	83.4	32.2	154.9	389.5	190.3	28.7	15.3	1,042.9
시행후 ('11)	0.3	55.6	13.2	81.2	124.8	138.0	270.3	243.6	50.1	84.2	58.4	1,119.7
시행후 ('12)	5.7	0.3	56.8	69.3	48.4	87.7	247.9	207.7	188.8	31.2	26.6	970.4
시행후 ('13)	17.6	26.6	45.5	82.0	100.9	139.1	142.1	90.7	114.1	49.4	37.2	845.2
시행후 ('14)	0.7	6.2	74.6	53.6	23.2	46.6	38.9	372.6	103.1	84.2	55.6	859.3
시행후 ('15)	20.0	13.5	40.7	61.2	22.5	87.7	75.0	92.5	41.0	42.9	82.7	579.7
시행후 ('16)	5.3	17.3	52.6	147.1	63.0	42.8	232.8	83.0	230.5	98.1	12.6	985.1
평년값	18.0	24.8	41.5	65.9	78.3	132.0	231.2	230.0	131.7	31.7	31.5	1,016.6

4.2.2 수질현황

1) 목표수질 설정

- 2007년 수립된 개천지구 수질개선사업 기본계획에서 농업용수 관리기준인 호소수질 등급 IV등급을 목표수질로 설정하였다. 2009년 수질개선사업이 완료되고 5년 후의 COD는 7.0mg/L로 호소수질등급 IV등급으로 개선되는 것으로 예측되었다. 하지만 기상여건 등의 영향으로 '16년 수질조사 결과 목표수질을 달성하지 못하였다.

[표 4-2-3] 개천저수지 목표수질

구 분	목표수질	기본계획수립시 (2007년도)(A)	예측수질 ('14년)	'16년 (B)	개선효과(%)
					(A-B)/A
COD(mg/L)	8.0 이하	11.5	7.0	9.9	13.9
T-N (mg/L)	1.0 이하	0.803	1.00	1.053	-31.1
T-P (mg/L)	0.1 이하	0.055	0.10	0.050	9.1
수질등급	IV등급	VI등급	IV등급	V등급	-
유해물질	사람의 건강보호에 관한 환경기준 만족				

2) 오염원 현황

- 저수지 유역에는 점오염원인 공장 및 사업장이 없으며, 축산의 경우 특히, 한우는 년중 변화가 크게 나타났고 인구는 변화가 적은 것으로 나타났다.
- 사업준공전 전 인구는 '09년에 336명 이었으며 매년 증가와 감소가 반복되다 '16년에는 324명으로 사업준공 전보다 인구는 소폭 감소하였다.
- 저수지 유역에는 한우만 사육되고 있었는데, 한우는 '09년도에 387두이었으나, 2011년도에도 589두로 가장 크게 증가하였고 이후로 감소추세를 보였다. '16년 조사 결과 426두로 '15년보다 증가하였으며 사업준공 전인 '09년도 보다 증가하였다.
- 개천저수지 유역은 농촌지역으로서 특별한 개발계획이 없기 때문에 토지계의 큰 변동은 없을 것으로 예상된다.
- 유역내의 '16년 토지이용현황은 총 1,295ha 중 논이 13.4%(174ha), 밭이 4.6%(59ha), 임야가 71.4%(924ha), 기타 10.7%(138ha)로 임야가 유역의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다.

[표 4-2-4] 개천저수지 유역내 인구변화 추이

구 분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
인구(명)	318	345	339	345	345	324

[표 4-2-5] 개천저수지 유역내 연도별 축산변화

구 분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
한우	589	545	538	411	411	426

[표 4-2-6] 개천저수지 유역내 지목별 토지이용현황

구 분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
계	1,295	1,295	1,295	1,295	1,295	1,295
전(ha)	84	84	84	84	59	59
답(ha)	314	314	314	314	174	174
임야(ha)	811	811	811	811	924	924
기타(ha)	86	86	86	86	138	138

3) 오염부하량

- 개천지의 오염물질 발생부하량 산정 결과 주요오염계는 축산계이다.
 - 점오염원 : 생활계, 축산계(한우)
 - 비점오염원 : 토지현황(전, 답, 임야, 기타)
- 개천저수지 유역내 오염물질 발생부하량은 사업준공전인 2009년에 BOD가 57.8kg/d, T-N 58.3kg/d, T-P 4.4kg/d이었는데, 사업준공후인 2011년도에는 BOD 72.6kg/d, T-N 74.2kg/d, T-P 5.8kg/d로 증가하였다.
- 이후 오염부하량은 지속적으로 감소하여 2016년도에는 BOD 60.0kg/d, T-N 58.7 kg/d, T-P 4.5kg/d로 2015년도와는 비슷하지만 2014년도에 비해 낮아졌다.

[표 4-2-7] 2016년 개천저수지 유역내 발생부하량

구 분	점 오 염 원						비점오염원					계	
	생활계 (인)	축산계(두)			산업계 (m ³ /일)	소계	토지현황(ha)				소계		
		한우	젓소	돼지			전	답	임야	기타			
원수	324	426	-	-	-		59	174	924	138			
발 생 부 하 량	BOD	15.9	28.5	-	-	-	44.4	0.9	4.0	9.2	1.4	15.6	60.0
		26.5%	47.6%	-	-	-	74.0%	1.6%	6.7%	15.4%	2.3%	26.0%	100.0%
	T-N	4.3	17.0	-	-	-	21.3	5.6	11.4	20.3	0.1	37.4	58.7
		7.3%	29.0%	-	-	-	36.3%	9.5%	19.4%	34.6%	0.1%	63.7%	100.0%
	T-P	0.5	1.5	-	-	-	2.0	0.1	1.1	1.3	0.0	2.5	4.5
		10.8%	33.0%	-	-	-	43.8%	3.1%	23.5%	28.6%	0.9%	56.2%	100.0%

[표 4-2-8] 개천저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량

구 분	연도별 발생부하량(kg/d)						
	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
BOD	57.8	72.6	71.0	70.2	62.0	60.0	60.0
T-N	58.3	74.2	72.8	72.4	67.4	58.4	58.7
T-P	4.4	5.8	5.7	5.7	5.2	4.5	4.5

4) 수질현황

- 농업용수 수질측정망조사에 의하면 개천지의 COD는 '11년도 14.7mg/L에서 '15년도까지 8.7mg/L로 낮아지다 금년에는 9.6mg/L로 수질이 다소 악화된 것으로 나타났다.
- 개천지의 TOC는 2012년도 9.9mg/L에서 2014년도까지 5.7mg/L로 낮아지다 '15년도 6.3mg/L, 금년에는 6.6 mg/L로 수질이 다소 악화된 것으로 나타남
- 개천저수지의 수질은 수질개선사업 준공후 5년간의 안정화 기간을 거친 후 점차 수질개선의 효과가 나타나고 있지만 작년부터 이어진 가뭄과 금년의 집중호우, 고온 현상 등으로 수질이 악화되고 있다.

[표 4-2-9] 개천저수지 수질현황

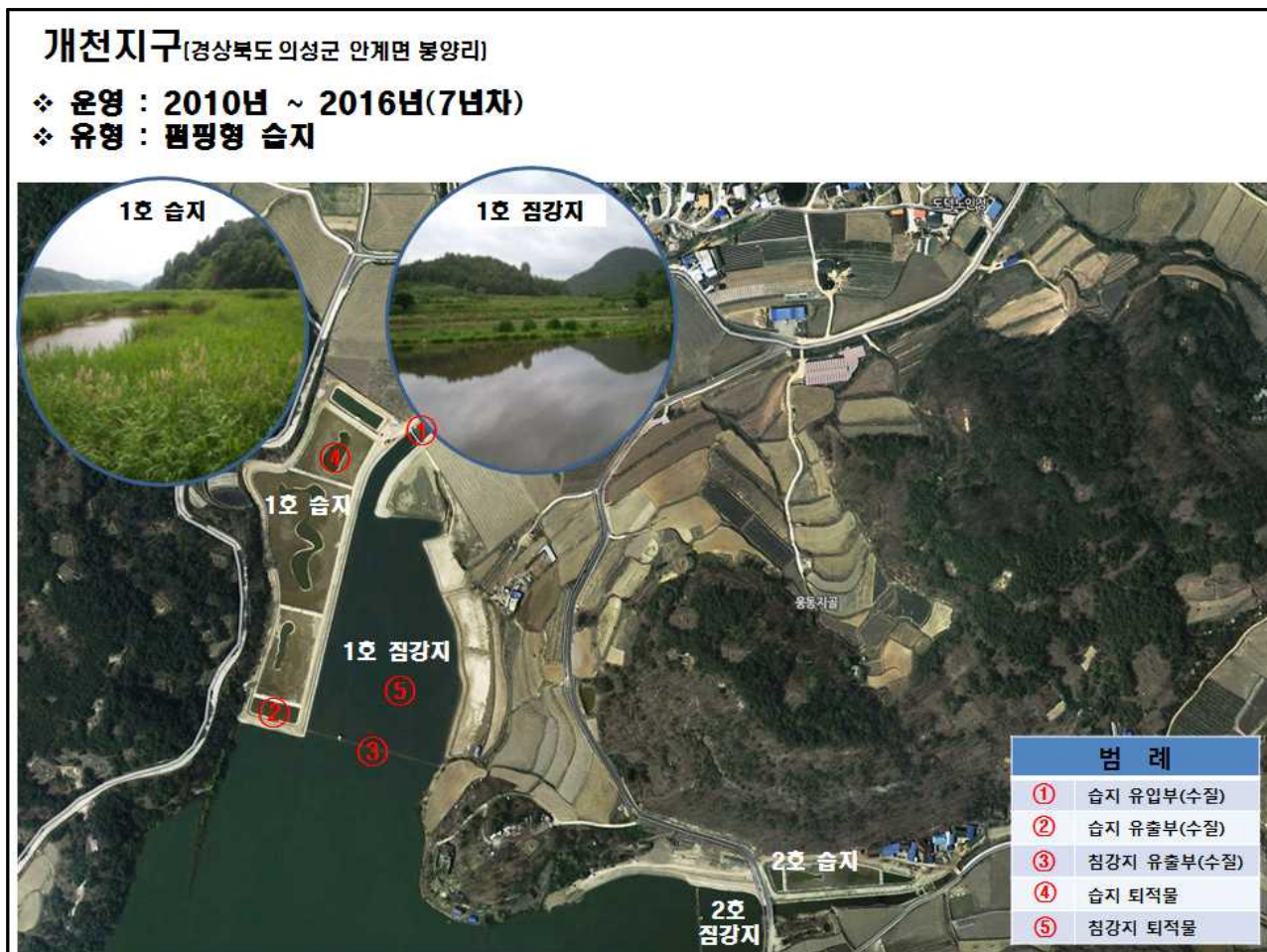
구 분	5개년 평균	'07년 (착공시)	수질 변화						목표년도 (14년)	목표수질
			'11	'12	'13	'14	'15	'16		
COD	11.6	12.2	14.7	13.9	11.3	9.2	8.7	9.9	9.2	8.0이하
TOC	7.3	-	-	9.9	7.4	5.7	6.3	6.4	5.7	6.0이하
T-N	0.976	0.491	0.795	0.845	1.038	1.326	0.876	1.053	1.326	1.0이하
T-P	0.055	0.027	0.099	0.059	0.041	0.040	0.035	0.050	0.040	0.1이하

4.3. 시설별 수질개선 효과

- 개천지구는 인공습지 2개소, 침강지 2개가 조성되었으며, 금회 조사에서는 1호 습지와 1호 침강지에서 조사가 이루어졌다.
- 개천저수지 수질개선시설의 수질개선효과를 분석하기 위하여 ① 1호 침강지 및 인공습지 유입부와 ② 1호 인공습지 유출부, ③ 1호 침강지 유출부를 선정하였으며 퇴적물 분석을 위하여 ④ 습지 깊은연못, ⑤ 침강지 등 총 5지점을 선정하였다.
- '16년 조사는 총 5차에 걸쳐, 1차 5월 31일, 2차 7월 8일, 3차 9월 21일, 4차 10월 14일에 현장조사를 실시하였고, 강우시 조사는 10월 05일에 실시하였다.

[표 4-3-1] 수질 및 퇴적물 조사시기

구 분	조사횟수	조사일자				
		1차	2차	3차	4차	강우시
수질조사	5회	2016.05.31	2016.07.08	2016.09.21	2016.10.14	2016.10.05
퇴적물조사	1회	-	-	2016.09.21	-	-



[그림 4-3-1] 개천지구 수질 및 퇴적물 조사 지점

4.3.1 인공습지 수질개선효과

- 사후모니터링 조사는 6월부터 10월까지 총 5회(평시 4회, 강우시 1회)에 걸쳐 인공 습지와 침강지에서 이루어졌다.
- 1호 인공습지는 가동보를 설치하여 유입수가 침사지로 들어오고 있으며 습지로의 유입수 공급은 침사지에서 펌프시설을 통해서 이루어지고 있다.
- 1호 인공습지 유입수의 평균 수온은 19.9℃였고, 유출수는 20.2℃로써 다소 증가하였다.
- pH 조사결과 1호 인공습지 유입수는 7.2이고, 유출수는 6.8로 감소하였으며, 유입수와 유출수에 관계없이 농업용수 관리기준인 6.0~8.5를 만족하고 있어 농업용수로 사용하는데 문제는 없다.
- EC 조사결과 1호 인공습지 유입수가 193µS/cm이고, 유출수는 165µS/cm로 유출수에서 낮아졌다. 유입수와 유출수에 관계없이 모두 작물생장에 지장이 없는 700µS/cm 이하이기 때문에 농업용수로 이용하는데 문제가 없다.
 - 캘리포니아대학교 대외 협력국(UCCES) 농업용수 관리기준지침
- DO 조사결과 전체적으로 1호 인공습지 유입수가 9.8mg/L였는데, 유출수는 6.6mg/L로 낮아졌다. 이와 같이 대부분 인공습지를 통과하면서 DO농도가 낮아졌는데, 이는 물이 습지를 통과하는 동안 미생물이 오염물질을 분해하면서 용존산소를 소비하기 때문이다. 인공습지를 통과하면서 DO 농도가 낮아지기는 하였으나, 습지 중간에 식물이 자라지 않는 개방구간을 설치하였기 때문에 대기와의 재폭기에 의해 산소가 공급되어 호소의 농업용수 관리기준인 2.0 mg/L 이상을 만족하였다.

[표 4-3-2] 개천저수지 1호 인공습지 수질변화

구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (℃)	유입수	18.1	19.6	21.1	22.7	20.7	22.8	22.6	19.4	14.1	19.7	19.3
	유출수	18.0	19.9	25.2	22.6	19.0	23.4	23.5	21.3	12.7	20.2	19.3
pH	유입수	7.7	7.7	7.5	6.9	7.5	8.0	6.9	7.0	6.9	7.2	6.8
	유출수	7.5	7.4	7.2	6.6	7.1	7.4	6.7	6.3	6.9	6.8	6.8
EC (µS/cm)	유입수	252.4	126.3	201.6	190.5	267.3	251.0	101.0	166.0	254.0	193.0	229.0
	유출수	209.8	144.6	175.8	150.3	176.8	241.0	97.0	149.0	174.0	165.0	153.0

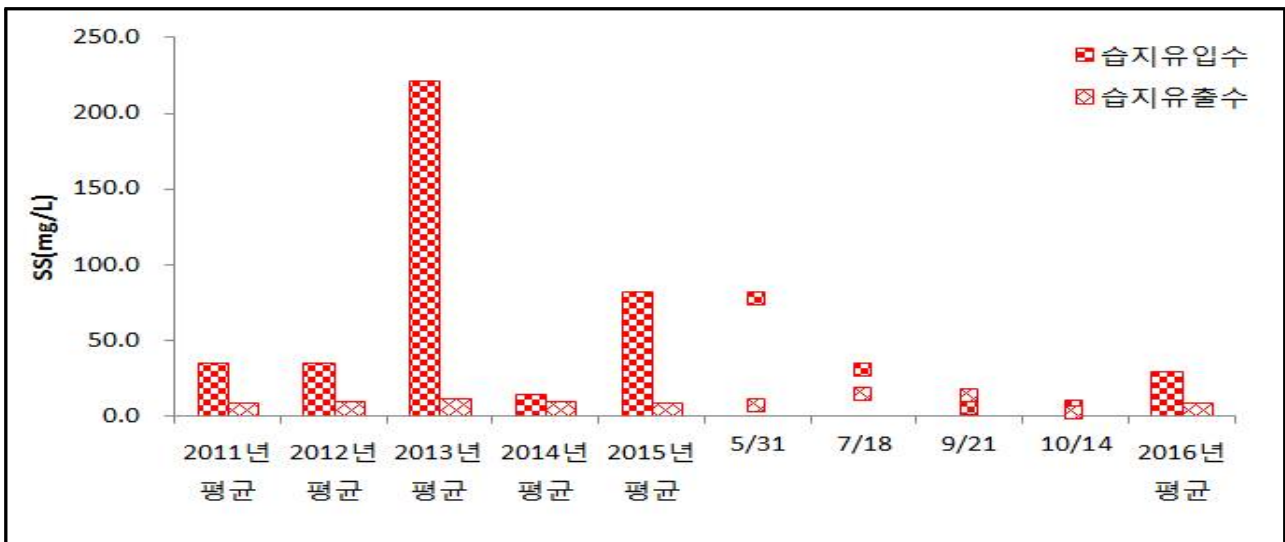
[표 4-3-2] 개천저수지 1호 인공습지 수질변화(계속)

구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
DO (mg/L)	유입수	8.5	8.1	9.6	6.6	7.9	11.2	10.6	7.6	9.7	9.8	6.8
	유출수	6.1	5.8	4.7	4.0	6.3	8.6	5.8	5.3	6.7	6.6	4.0
SS (mg/L)	유입수	34.4	34.7	221.3	13.8	81.9	77.3	30.0	4.7	5.3	29.3	64.0
	유출수	8.4	9.6	11.0	8.7	8.3	6.0	13.7	12.8	1.5	8.5	8.7
COD (mg/L)	유입수	13.5	16.7	19.9	16.0	16.1	18.0	22.4	17.2	11.6	17.3	15.2
	유출수	14.1	15.7	16.8	22.0	24.3	20.0	20.0	18.0	15.2	18.3	13.2
TOC (mg/L)	유입수	-	-	11.0	9.6	9.7	11.4	13.6	11.1	9.2	11.3	8.8
	유출수	-	-	10.2	12.2	12.8	14.8	13.8	11.4	10.1	12.5	9.2
T-N (mg/L)	유입수	1.5	1.0	2.7	1.3	1.5	1.158	1.386	1.306	1.644	1.374	1.808
	유출수	1.1	0.8	1.3	1.1	1.1	0.802	1.131	0.818	0.596	0.837	1.167
T-P (mg/L)	유입수	0.22	0.13	0.63	0.2	0.2	0.069	0.212	0.100	0.099	0.120	0.414
	유출수	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.101	0.221	0.073	0.062	0.114	0.111

[표 4-3-3] 개천저수지 1호 인공습지 정화효율

구 분		'11~'16년 전체		'11~'16년 평상시		'11~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	1호습지유입	317.2	82.9	320.8	82.6	305.9	84.0
	1호습지유출	54.1		55.7		49.1	
COD (kg/d)	1호습지유입	98.7	-20.9	99.3	-28.1	97.0	2.1
	1호습지유출	119.4		127.2		95.0	
TOC (kg/d)	1호습지유입	99.5	-18.0	101.1	-23.1	94.4	-0.3
	1호습지유출	117.4		124.4		94.7	
T-N (kg/d)	1호습지유입	8.8	28.4	8.0	23.0	11.1	40.6
	1호습지유출	6.3		6.2		6.6	
T-P (kg/d)	1호습지유입	1.33	4.5	1.1	-24.2	2.0	55.3
	1호습지유출	1.27		1.4		0.9	

- SS 분석결과 평상시 1호 인공습지 유입수는 29.3mg/L였는데, 유출수는 8.5mg/L로 낮아졌다. 강우시는 1호 인공습지 유입수는 64.0mg/L였는데, 유출수는 8.7mg/L로 크게 낮아졌다. '16년 6월 3일 SS가 최고 77.3mg/L까지 높아진 것은 가뭄으로 인해 하천의 유입수가 없어 침강지에 고인 물을 양수하여 습지로 유입시키는 과정에서 부유물질의 농도가 높아진 것으로 판단된다. 이때에도 유출수는 6.0mg/L로 낮아져 매우 높은 정화효율을 보였다.
- 1호 인공습지에서 SS 정화효율은 유입부하량이 317.2kg/d였는데, 유출부하량은 54.1kg/d로 낮아져 82.9%의 매우 높은 정화효율을 보였다.
- 이와 같이 인공습지는 침사지에서의 침전, 인공습지에서의 여과작용 및 접촉, 침전 등에 의해 SS 성분이 잘 제거되고 있다. 연차별로 살펴보면 평균적으로 '11년부터 '16년까지 모두 유입수에 비해 유출수에서 농도가 낮아지는 경향을 보였다. '13년도에 유입수의 SS가 높은 것은 도로공사로 인하여 강우시 토사가 유출되었기 때문이고, '14년도에 유입수 농도가 낮은 것은 가뭄으로 인하여 전반적으로 강우의 영향을 덜 받았기 때문으로 판단된다.

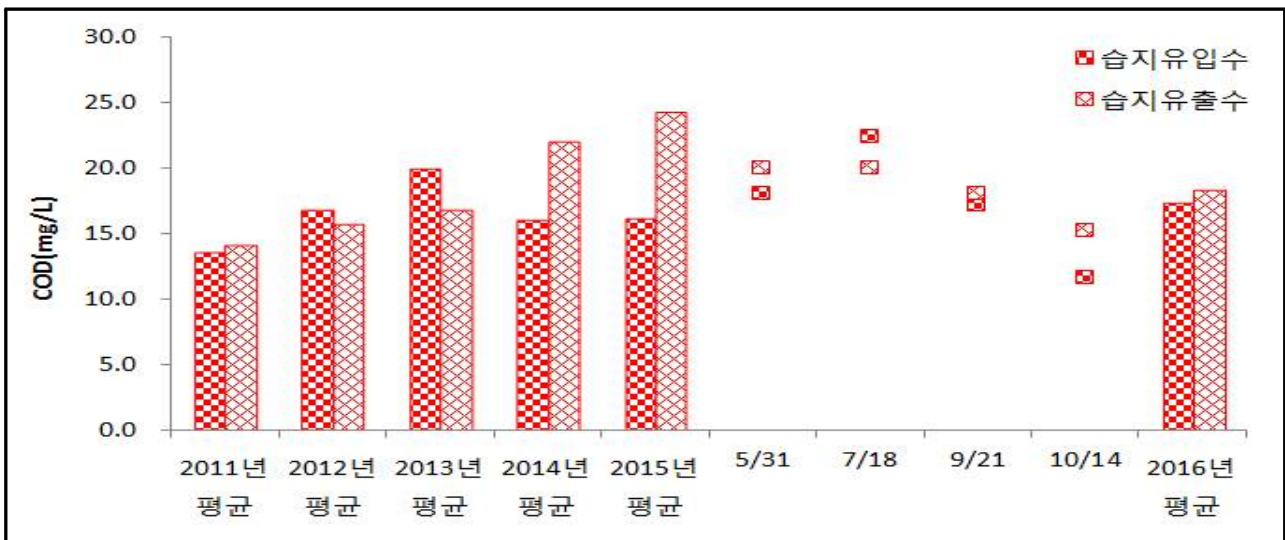


[그림 4-3-2] 개천지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화

- COD 분석결과 평상시 유입수가 17.3mg/L인데, 유출수는 18.3mg/L로써 유출수에서 다소 높아졌다. 강우시는 1호 인공습지 유입수는 15.2mg/L였는데, 유출수는 13.2mg/L로 낮아졌다.
- 연차별로 살펴보면 '11년도와 '14년~'16년도에는 유입수에 비해 유출수의 농도가 높았고, '12년도 및 '13년도에는 유출수의 농도가 낮아 일정한 경향을 보이지 않았다. 특히, '14년~'16년도에 유출수의 농도가 높았던 것은 극심한 가뭄으로 인하여 유입

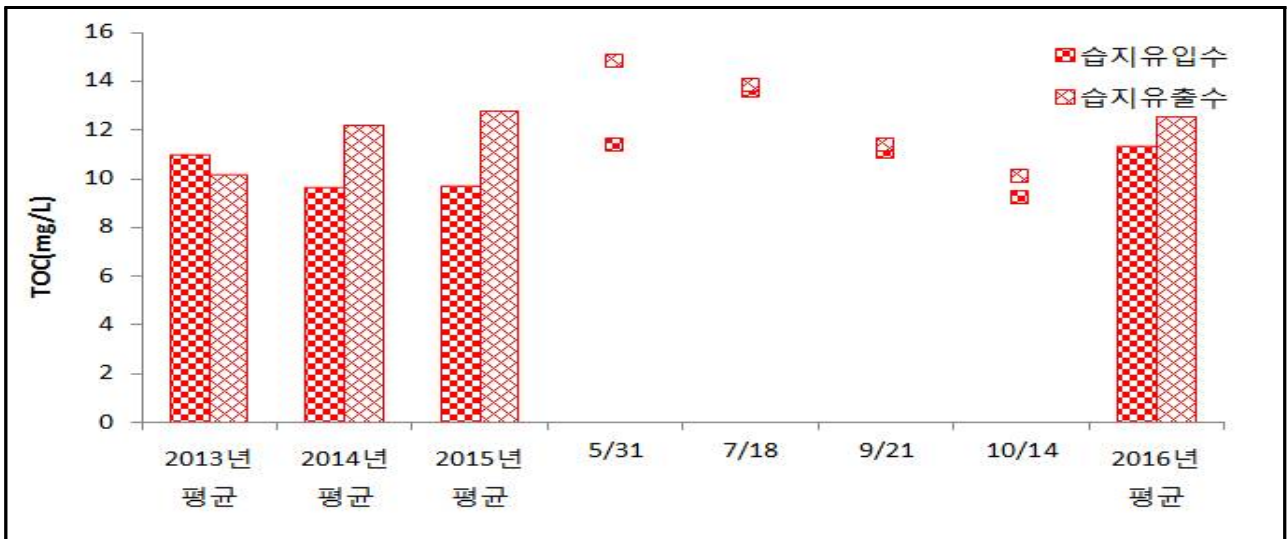
수가 없어 습지 바닥이 말라있는 기간이 길었고, 바닥이 말라 있는 상태에서 물이 유입되면 퇴적물이 일시에 부유되어 유출되기 때문에 유출수의 농도가 높아진 것으로 판단된다.

- COD 정화효율을 살펴보면 유입부하량이 98.7kg/d이고, 유출부하량이 119.4kg/d 로써 유출부하량이 높은 것으로 나타나 -20.9%의 정화효율을 보였다.
- 개천저수지 인공습지에서 COD 정화효율이 낮은 것은 첫 번째로 저수지의 관리수위가 인공습지 수위와 차이가 나지 않아 저수지 만수시 물이 원활히 흐르지 못하고 정체 되어 체류시간이 길어짐에 따라서 물이 식물고사체 등의 영향으로 부패하여 인공 습지에서 오히려 수질농도가 높아지는 경우가 있다.
- 저수지의 수위가 낮은 갈수기에는 침강지에 설치된 펌프시설을 활용하여 인공습지에 유입수를 지속적으로 공급해야 하며 습지내에 각낙판 등을 설치하여 일정한 수심을 유지해 체류시간을 확보해야 하는데 '15년부터 이어진 가뭄, 저수지 상류부 하천에서 이루어지는 주민들의 용수 이용 등으로 유입수 공급이 원활하지 않았다.
- 또한 금년도가 운영 7년차로서 갈대의 고사체가 인공습지 바닥에 퇴적되어 분해된 것도 하나의 원인으로 판단된다.



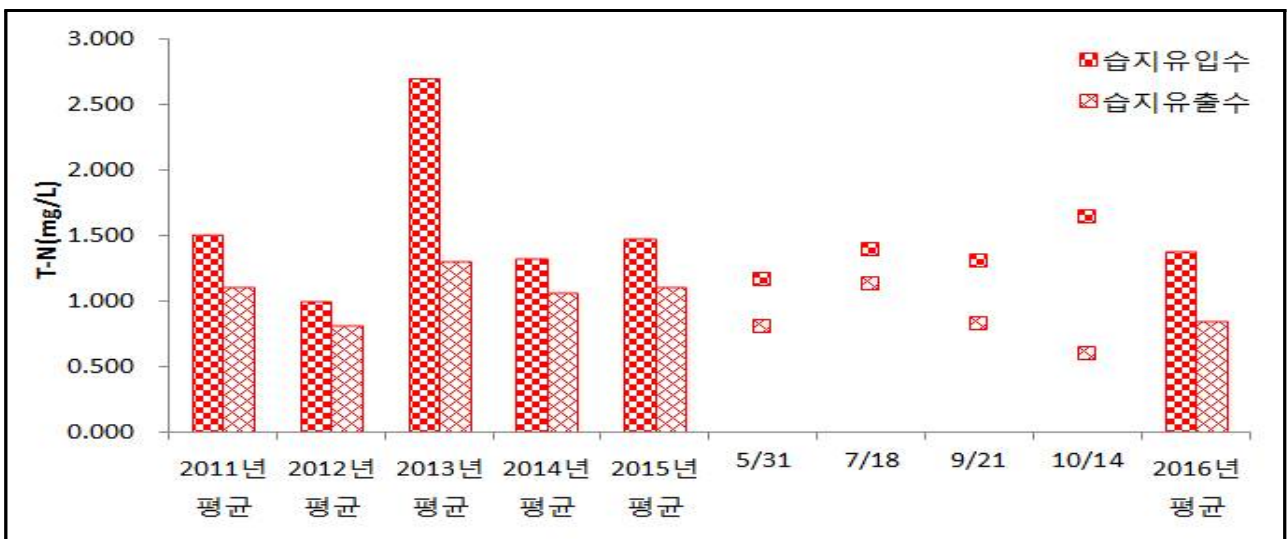
[그림 4-3-3] 개천지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC 분석결과 유입수가 11.3mg/L이었는데, 유출수는 12.5mg/L로 높아졌다. 강우시는 1호 인공습지 유입수는 8.8mg/L였는데, 유출수는 9.2mg/L로 높아졌다.
- TOC 정화효율은 유입부하량이 99.5kg/d이고, 유출부하량이 117.4kg/d로써 COD와 마찬가지로 습지의 유기물정화 효율이 낮아 유입수에 비해 유출수의 농도가 높게 나타났다.



[그림 4-3-4] 개천지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

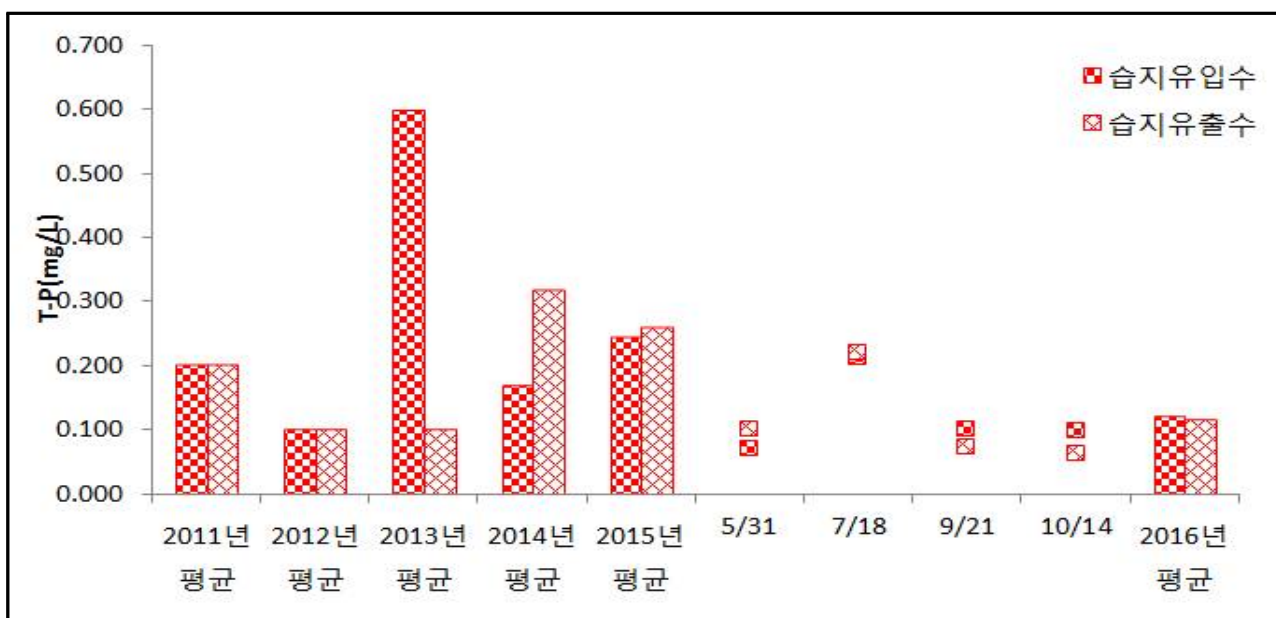
- T-N 분석결과 유입수는 1.374mg/L이었는데, 유출수는 0.837mg/L로 낮아졌다. 강우시에는 1호 인공습지 유입수는 1.808mg/L였는데, 유출수는 1.167mg/L로 낮아졌다.
- 연차별로는 '11년도부터 '16년도까지 연차에 상관없이 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮아져 인공습지에서 T-N이 정화되고 있는 것으로 나타났다.
- T-N 정화효율은 유입부하량이 8.8kg/d였는데, 유출부하량은 6.3kg/d로 낮아져 28.4%의 정화효율을 보였다.



[그림 4-3-5] 개천지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P 분석결과 1호 인공습지 유입수가 0.120mg/L인데, 유출수는 0.114mg/L로 낮아졌다. 강우시 1호 인공습지 유입수는 0.414mg/L였는데, 유출수는 0.111mg/L로 평상시와 같이 낮아졌다.

- T-P 정화효율은 유입부하량이 1.33kg/d였는데, 유출부하량은 1.27kg/d로 낮아져 4.5%의 정화효율을 보였다.
- 2013년도에는 도로공사로 인하여 토사에 잘 흡착되는 인 성분이 강우시 유입되었기 때문에 유입수의 T-P 농도가 높아 정화효율이 가장 높았다. 반면, 2014년도 및 2015년도에는 오래 지속된 가뭄기에 인공습지의 건조된 퇴적물에 흡착되어 있던 인 성분이 유출되었기 때문에 유출수에서 오히려 T-P 농도가 높아진 것으로 판단되며 금년 하반기 집중호우로 인한 토사 유입으로 유입수의 T-P 농도가 높아졌다.



[그림 4-3-6] 개천지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- 이상과 같이 전체적으로 보면 개천지구 인공습지에서 유기물 정화효율은 매우 낮은 것으로 나타났는데, 이는 '15년부터 이어진 가뭄으로 오염물질이 습지내 침적되었고, 유입유량이 매우 부족한 상태로 유지되었으며, 또한 준공이후 습지내 식생 및 퇴적물 제거를 하지 않은 상태에서 습지내에서 식생폐사 및 오염퇴적물의 유출에 따른 것으로 판단된다.
- SS와 같은 입자성 물질과 T-N, T-P와 같은 영양염류의 제거효율은 높은 것으로 조사되었다.

4.3.2 침강지 수질개선효과

- 침강지의 수질조사는 인공습지와 마찬가지로 6월부터 10월까지 총 5회(평시 4회, 강우시 1회)에 걸쳐 1호 침강지에서 이루어졌다.

- 일강우량 30mm/day을 초과하는 하천수는 침강지로 들어가 오염물질이 처리되고 있다.
- 침강지에서의 수온은 유입수가 평균 19.7 °C였는데, 유출수는 평균 21.7°C로 수온이 상승하였다. 이는 체류시간이 길고 수표면에 식물이 없어 햇빛에 노출되기 때문에 침강지를 통과하면서 수온이 상승된 것으로 판단된다.
- pH 조사결과 유입수가 평균 7.2이고, 유출수는 7.0을 나타내 유입수와 유출수가 대부분 농업용수 관리기준인 6.0~8.5를 만족하였다.
- EC 조사결과 유입수가 193.0 μ S/cm였는데, 유출수는 174.0 μ S/cm로써 유출수에서 낮아지는 경향을 보였고, 유입수와 유출수 모두 작물생장에 지장이 없는 700 μ S/cm 이하를 나타냈다.
 - 캘리포니아대학교 대외 협력국(UCCES) 농업용수 관리기준지침
- DO 조사결과 1호 침강지 유입수는 9.8mg/L였는데, 유출수는 9.7mg/L로 조금 낮아졌다. 하지만 모든 시기에 유입수와 유출수 모두 농업용수 관리기준인 2.0mg/L 이상을 만족하고 있다.

[표 4-3-4] 개천저수지 1호 침강지 수질변화

구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (°C)	유입수	18.1	19.6	21.1	22.7	20.7	22.8	22.6	19.4	14.1	19.7	19.3
	유출수	20.4	21.1	24.4	24.9	20.5	24.6	25.7	18.7	17.6	21.7	20.3
pH	유입수	7.7	7.7	7.5	6.9	7.5	8.0	6.9	7.0	6.9	7.2	6.8
	유출수	7.5	7.7	7.3	6.8	8.3	7.6	6.8	6.4	7.0	7.0	6.9
EC (μ S/cm)	유입수	252.4	126.3	201.6	190.5	267.3	251.0	101.0	166.0	254.0	193.0	229.0
	유출수	189.2	131.8	169.5	144.5	218.5	232.0	136.0	157.0	169.0	174.0	287.0
DO (mg/L)	유입수	8.5	8.1	9.6	6.6	7.9	11.2	10.6	7.6	9.7	9.8	6.8
	유출수	6.9	7.9	5.5	5.4	11.4	8.9	11.4	5.0	13.4	9.7	5.3
SS (mg/L)	유입수	34.0	34.7	216.0	13.8	81.9	77.3	30.0	4.7	5.3	29.3	64.0
	유출수	32.9	14.0	28.1	12.7	21.9	10.0	6.5	14.0	8.0	9.6	5.0

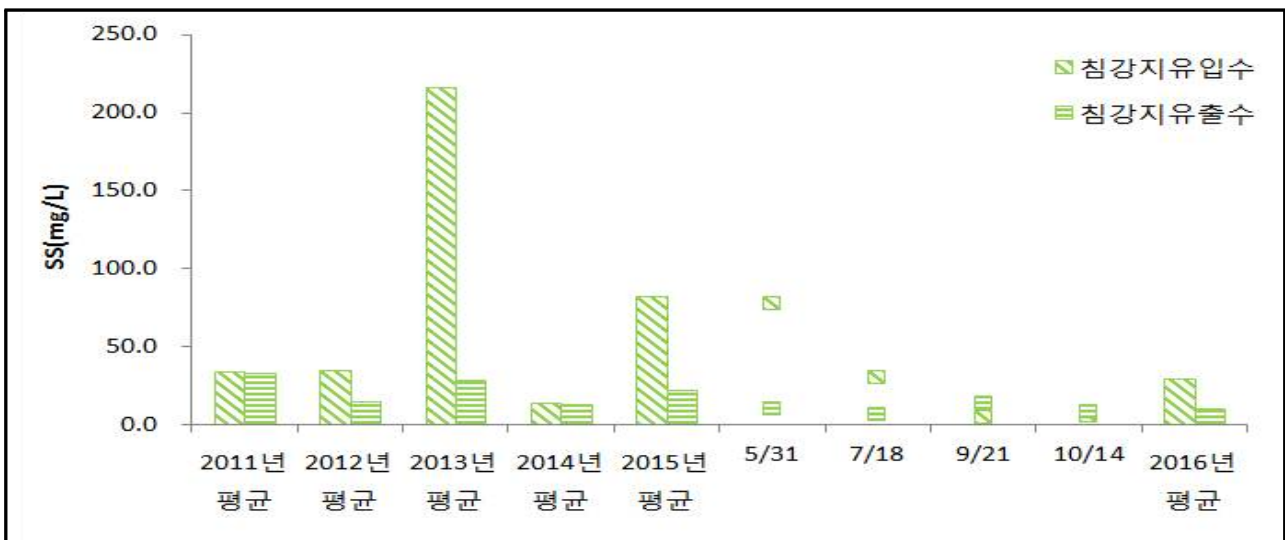
[표 4-3-4] 개천저수지 1호 침강지 수질변화(계속)

구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
COD (mg/L)	유입수	14.3	16.7	18.0	16.0	16.1	18.0	22.4	17.2	11.6	17.3	15.2
	유출수	15.1	16.6	16.0	20.0	14.6	15.6	17.2	17.2	17.7	16.9	22.1
TOC (mg/L)	유입수	-	-	10.8	9.6	9.7	11.4	13.6	11.1	9.2	11.3	8.8
	유출수	-	-	10.0	10.8	9.3	11.0	10.8	10.8	11.0	10.9	13.7
T-N (mg/L)	유입수	1.6	1.0	2.2	1.3	1.5	1.158	1.386	1.306	1.644	1.374	1.808
	유출수	1.2	0.8	1.3	1.1	0.9	1.164	0.893	1.421	0.892	1.093	0.875
T-P (mg/L)	유입수	0.2	0.1	0.6	0.2	0.2	0.069	0.212	0.100	0.099	0.120	0.414
	유출수	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.178	0.111	0.137	0.092	0.130	0.215

[표 4-3-5] 개천저수지 1호 침강지 정화효율

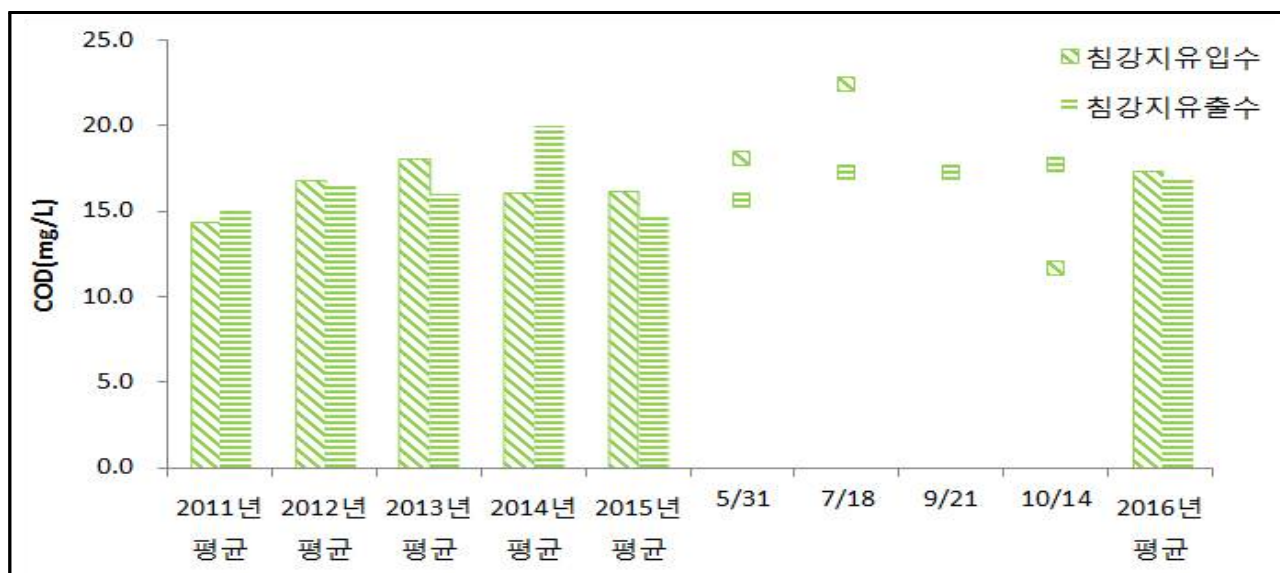
구 분		'11~'16년 전체		'11~'16년 평상시		'11~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	침강지 유입	2,294.8	47.5	605.4	85.2	6,518.4	38.8
	침강지 유출	1,204.8		89.8		3,992.1	
COD (kg/d)	침강지 유입	438.7	1.9	94.4	6.8	1,299.4	1.0
	침강지 유출	430.5		88.0		1286.9	
TOC (kg/d)	침강지 유입	385.0	6.9	96.1	13.6	818.4	5.7
	침강지 유출	358.6		83.1		772.0	
T-N (kg/d)	침강지 유입	50.7	31.7	9.2	40.4	154.6	30.4
	침강지 유출	34.7		5.5		107.6	
T-P (kg/d)	침강지 유입	9.8	41.0	1.9	63.5	29.5	37.3
	침강지 유출	5.8		0.7		18.5	

- SS 항목 분석결과 1호 침강지 유입수가 29.3mg/L에서 유출수는 9.6mg/L로 낮아졌다. 강우시 1호 침강지 유입수는 64.0mg/L였는데, 유출수는 5.0mg/L로 크게 낮아졌다.
- 연차별로 살펴보면 2013년도에 제거효율이 가장 높은 것으로 나타났으며 전체적으로 유입수에 비해 유출수에서 SS농도가 낮아지는 경향을 보였다. 이는 강우시 유입되는 오염물질을 1차적으로 가라앉히는 침강지의 기능이 잘 이루어지고 있다고 판단된다.
- SS의 정화효율은 유입수의 부하량이 평균 2,294.8kg/d 였는데, 유출수 부하량은 1,204.8kg/d로 나타나 47.5%의 정화효율을 보였다.



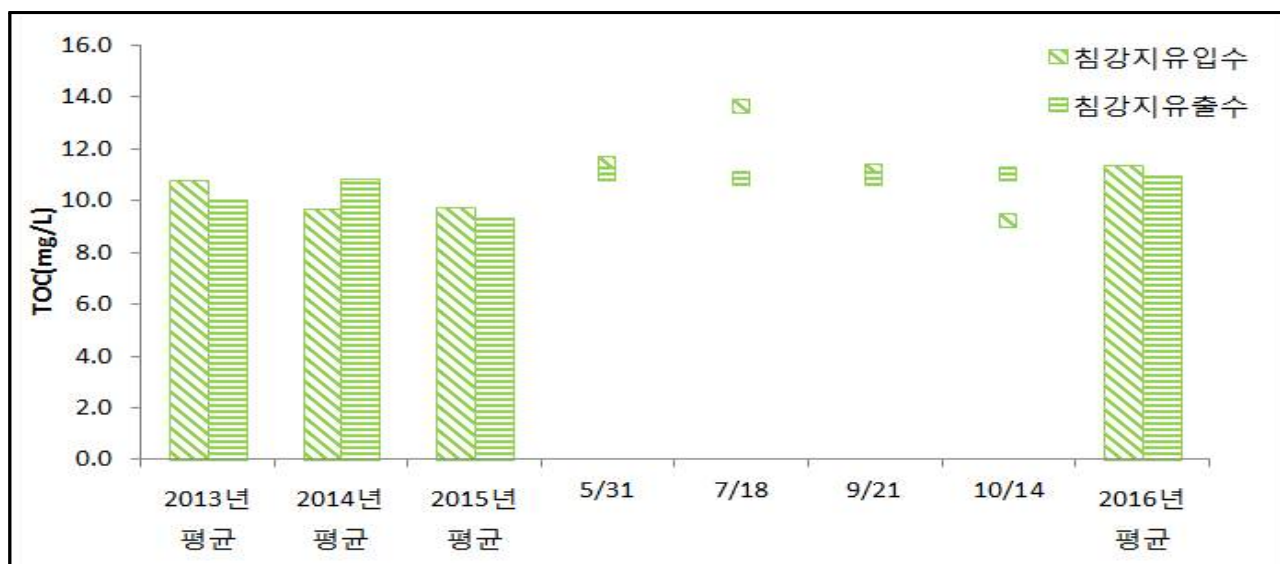
[그림 4-3-기] 개천지구 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화

- COD 항목 분석결과 1호 침강지 유입수는 17.3mg/L, 유출수는 16.9mg/L로 다소 낮아졌다. 강우시 1호 침강지 유입수는 15.2mg/L였는데, 유출수는 22.1mg/L로 높아졌다. 연차별 정화효율은 일정한 경향을 보이지 않았다.
- COD의 정화효율은 유입부하량이 평균 438.7kg/d이고, 유출부하량이 430.5kg/d로써 유출부하량이 낮아져 1.9%의 정화효율을 보였다.
- 침강지에서는 유입수의 장기간 체류로 인한 내부생산량 증가와 조류발생으로 유기물 지표인 COD와 TOC 농도가 침강지에서 높아질 수 있다.



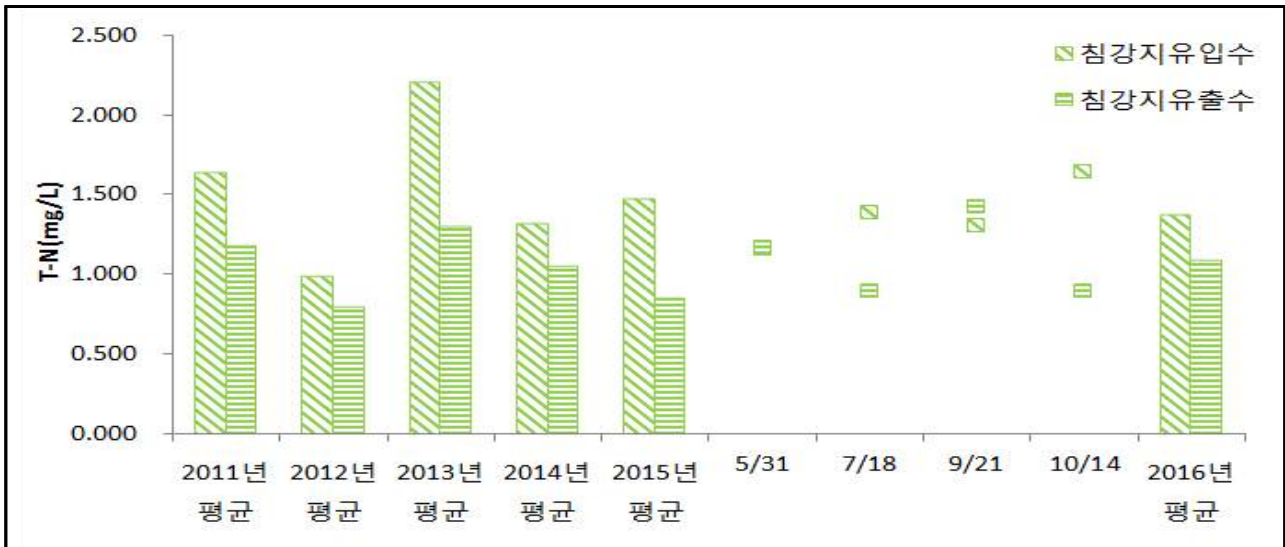
[그림 4-3-8] 개천지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC 항목 분석결과 1호 침강지 유입수가 11.3mg/L, 유출수는 10.9mg/L로 감소했고, 강우시 1호 침강지 유입수는 8.8mg/L였는데, 유출수는 13.7mg/L로 증가했다. 연차별로 일정한 경향을 보이지 않았다.
- TOC의 정화효율은 유입부하량이 평균 385.0kg/d이고, 유출부하량이 358.6kg/d로 낮아져 6.9%의 정화효율을 보였다



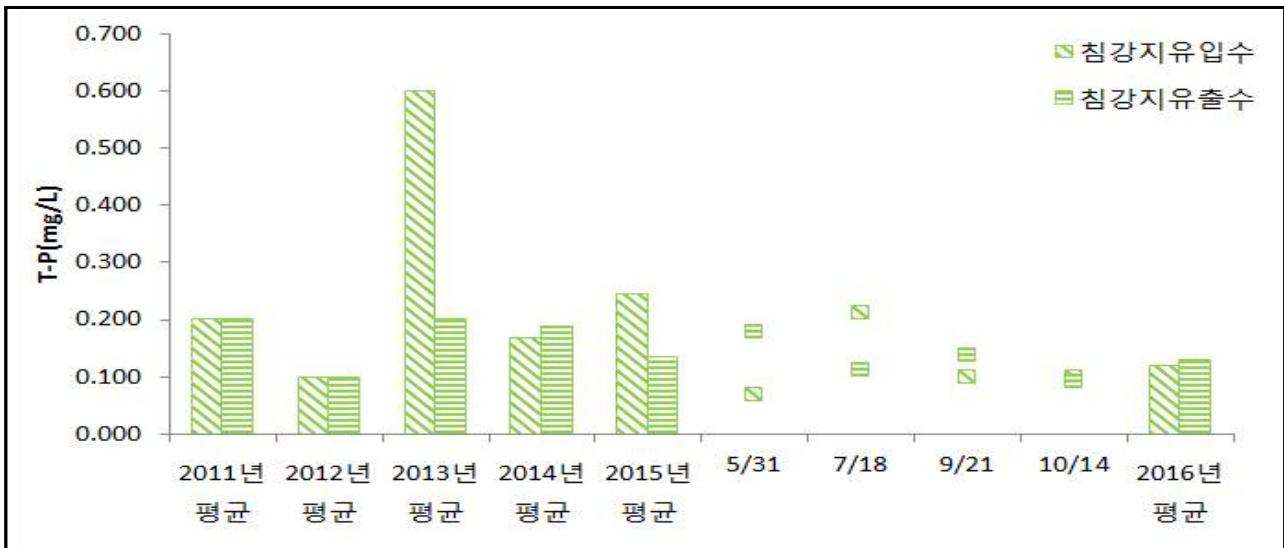
[그림 4-3-9] 개천지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N 항목 분석결과 1호 침강지 유입수가 1.374mg/L이고, 유출수는 1.093mg/L로 감소했고, 강우시 1호 침강지 유입수는 1.808mg/L였는데, 유출수는 0.875mg/L로 평상시와 같이 감소했다.
- 연차별로도 '11~'15년까지 모두 유입수에 비해 유출수의 T-N농도가 낮아지는 경향을 보였다. 이와 같이 침강지에서는 활발한 내부생산에 의해 조류가 발생하는 반면, 조류가 물속의 질소와 인을 흡수하여 성장하기 때문에 질소와 인은 감소하는 것이 일반적인 현상이다.
- T-N의 정화효율은 유입부하량이 평균 50.7kg/d이고, 유출부하량이 34.7kg/d로 낮아져 31.7%의 정화효율을 보였다



[그림 4-3-10] 개천지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P 항목 분석결과 유입수가 0.120mg/L였는데, 유출수는 0.130mg/L로 다소 높아졌다. 강우시 1호 침강지 유입수는 0.414mg/L였는데, 유출수는 0.215mg/L로 감소했다.
- T-P의 정화효율은 유입부하량이 평균 9.78kg/d이고, 유출부하량이 5.77kg/d로 낮아져 41.0%의 정화효율을 보였다
- 수심이 낮고 햇빛을 많이 받는 침강지에서는 내부생산에 의해 조류가 많이 성장하는데, 이 때 조류가 영양물질로 질소와 인을 흡수한다. 따라서 저수지 본체로 들어가는 질소와 인을 제거함으로써 저수지 본체의 녹조발생을 줄일 수 있다.



[그림 4-3-11] 개천지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- 이상과 같이 전체적으로 보면 개천지구 침강지에서는 입자상물질과 T-N의 제거효율은 높은 것으로 나타났으며 장기간 퇴적된 오염물질의 주기적인 제거를 통해서 침강지의 기능이 유지될 수 있게 관리해야 한다.

4.3.3 퇴적물 조사결과

- 퇴적물 분석결과 1호 인공습지에서 채취한 퇴적물의 입도는 모래 13.5%, 실트 51.5%, 점토 35.0%로써 SiCL(미사질양토)이고, 1호 침강지의 퇴적물은 모래 44.3%, 실트 41.7%, 점토 14.0%로써 L(양토)로 분류되었다.
- 1호 인공습지와 침강지의 pH는 각각 5.6, 5.8로 습지 여재로 이용하기 좋은 6.0~8.5의 범위를 다소 벗어나 있다.
- EC는 인공습지 0.254dS/m, 침강지 0.629dS/m로써 식물성장 매체로 적합한 4.0dS/m 이하이기 때문에 문제가 없다.
- 유기물은 인공습지 7.32%, 침강지 2.59%이고 유효인산은 인공습지 15.69mg/kg, 침강지 14.21mg/kg로 조사되었다.
- 인공습지의 강열감량은 12.2%, T-N은 4,855.8mg/kg, T-P는 601.2mg/kg으로 국립환경과학원의 호소퇴적물 오염평가기준보다 낮게 조사되었다.
- 침강지의 강열감량은 5.5%, T-N은 1957.8mg/kg로 T-P는 455.3mg/kg조사되어 인공습지와 마찬가지로 국립환경과학원의 호소퇴적물 오염평가기준보다 낮게 조사되었다.

[표 4-3-6] 개천저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사 결과

지 점	토 성	강열감량 (%)	총질소 (mg/kg)	총인 (mg/kg)
인공습지	SiCL	12.2	4,855.8	601.2
침강지	L	5.5	1,957.8	455.3

[표 4-3-7] 호소 퇴적물 오염평가 기준

항 목		등 급	I	II	III	IV
		유기물 및 영양염류	완전연소가능량(%)			
	총질소(mg/kg)					5,600 초과
	총인(mg/kg)					1,600 초과
비고 : 1. 등급별 퇴적물의 상태<유기물, 영양염류> - IV 등급 : 심각하고 명백한 오염						

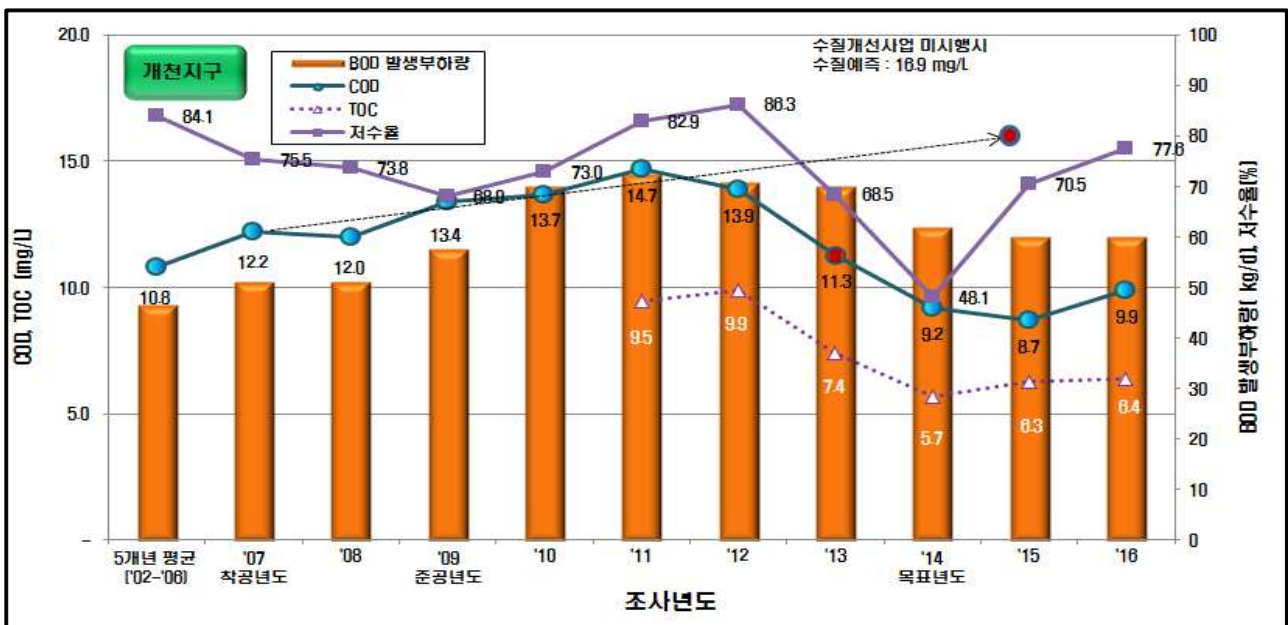
* 자료 : 국립환경과학원예규 제687호, 2015년



[그림 4-3-12] 사후모니터링 조사시 현장사진

4.4. 저수지 수질변화 및 개선효과

- 개천지구 수질정화시설은 운영 7년차인데, BOD 발생부하량이 준공년도인 2009년 57.8kg/d에 비해 '11년도 72.6kg/d으로 가장 크게 증가하였으며 금년에는 60kg/d으로 준공해보다 높게 나타났다.
- 개천저수지의 수질개선 목표는 '14년 COD 8.0mg/L을 목표로 하였지만 수질개선 사업 시행 후 오염원의 증가, 가뭄, 고온현상 등의 이상기온으로 인해 목표수질을 달성하지 못하고 있다.
- 개천저수지의 수질변화를 살펴보면 준공 이후 COD농도가 악화되어 2011년도에 14.7mg/L로 가장 악화되었다. 그러나 '12년도 이후부터는 낮아지기 시작하여 '12년도에 13.9mg/L, '13년도에는 11.3mg/L, '14년도에는 9.2mg/L, '15년도에는 8.7mg/L로 지속적으로 낮아지다 '16년도는 9.9mg/L로 증가하였다. 작년부터 이어진 가뭄과 여름철 집중호우 현상으로 인해 수질개선시설의 정상운영이 어려웠으며 사업시행 후 연평균 기온이 가장 높아 수질악화에 영향을 주었다.
- TOC의 경우는 '12년도에는 9.9mg/L로 다소 높아졌으나, '13년 및 '14년도에는 낮아 지다가 '15년도에는 6.3mg/L, '16년에는 6.4mg/L로 다소 증가하여 농업용수 관리 기준인 6.0mg/L 이하를 초과하고 있다.
- 개천저수지의 저수율은 '14년도 48.1%로 가장 낮았으며 이후 낙동강 상주보에서 도수로를 이용해 양수저류를 시행하였다. '16년에는 77.7%의 저수율을 나타내었다.



[그림 4-4-1] 개천지구 유역 연도별 BOD 발생부하량 및 COD, TOC농도 변화

[표 4-4-1] 개천저수지 월별 저수율 현황

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
저수율 (%)	70.6	71.4	78.0	91.0	88.4	69.0	92.0	66.3	63.6	80.0	84.2	77.7

- T-N 항목의 경우 준공 이후 지속적으로 높아지는 경향을 보여 2014년도에는 1.326 mg/L까지 증가하였지만 이후로 감소세를 나타내다 2016년도에는 1.053mg/L로 조사되었다.



[그림 4-4-2] 개천지구 유역 연도별 T-N 발생부하량 및 T-N농도 변화

- T-P 항목의 경우는 준공년도인 2009년도를 정점으로 지속적으로 낮아져 안정화 단계에 있으며 2010년도부터 현재까지 농업용수 관리기준 0.1mg/L 이하를 만족하고 있다.



[그림 4-4-3] 개천지구 유역 연도별 T-P 발생부하량 및 T-P농도 변화

4.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안

- 개천지구 모니터링 결과, 가뭄 및 상류하천 등에서의 농업용수 사용으로 습지를 유지할 유입수가 많이 부족한 실정이며 하천수의 수질오염도가 높아 상류 오염원에 대한 대책이 필요하다.
- '16년 현장점검 결과 습지식물인 갈대가 과밀성장하여 제거를 요청하였으며 12월 갈대 제거를 하였다. 향후에도 주기적인 식생절취, 절취된 식생의 습지밖 이동처리 등을 통해 습지가 최대한의 효율을 낼수 있도록 관리해야 할 것이다.
- 개천지구는 수질개선사업 초기에 설치된 시설로써 운영상의 경험부족, 유입수 부족, 수생 식물 번성, 기후변화 등 계획과는 다른 요소들로 수질개선에 어려움을 겪고 있다.
- 향후 개선사업에서는 유입수에 대한 수량, 농도 등의 상세한 조사가 필요하며, 유입수 처리와 함께 호내대책으로 준설, 수초제거 등의 사업도 병행될 필요가 있다.
- 양질의 농업용수 공급을 위한 수질개선사업은 농업발전의 중요한 요소이며 수질 개선시설의 설치보다 중요한 것이 운영과 유지관리라고 판단된다. 따라서 현장에서의 유지관리 노력과 관심이 더욱 필요하다.

4.6. 결 론

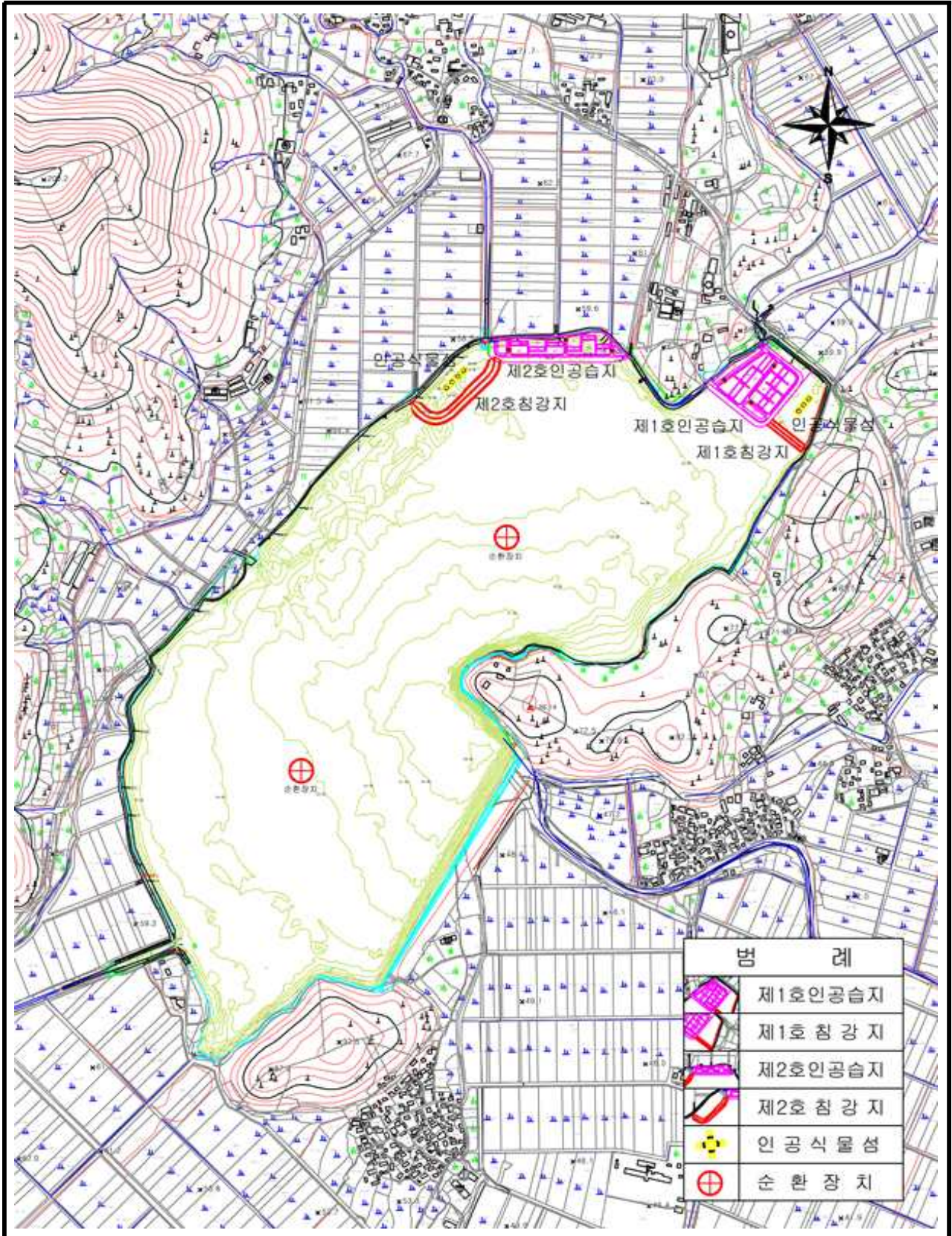
- 운영 7년차인 개천지구의 6개년간('11~'16년) 인공습지 수질정화효율은 SS 82.9%, COD - 20.9%, TOC - 18.0%, T-N 28.4%, T-P 4.5%로서 유기물지표 보다는 입자성 물질인 SS와 영양염류 지표인 T-N, T-P 항목에서 높은 정화효율을 보이고 있다.
- 금년도는 작년부터 이어진 가뭄과 여름철 집중호우 현상으로 인해 수질개선시설의 정상운영이 힘들었으며 기온은 평년값 12.4℃보다 높은 13.8℃로 나타나 수질악화에 영향을 준 것으로 판단된다.
- 가뭄으로 축적된 상류 오염물질은 7월~9월 집중된 호우로 인해 대량으로 저수지로 유입되어 하반기 수질을 악화시키는 요인으로 작용하였다.
- 갈수기에는 습지를 유지할 수 있는 유입수가 부족하였으며 또한, 상류 유입 하천에서부터 이루어지는 주민들의 용수이용이 유입수 부족을 더욱 심화시키고 있다.
- 금년 하반기에 사업준공후 처음으로 식생절취가 이루어졌으며 주기적인 식생 절취 후 식생의 습지 밖 이동 등이 이루어져 습지내에서 식생이 부패하는 2차적인 오염현상이 일어나지 않게 관리해야할 것이다.
- 또한, 수질개선 협업체계 구축을 통해 지자체의 축사설립 제한조치, 낚시금지구역 설정, 가축분뇨처리 등과 같은 상류 오염원의 감축 노력도 병행되어야 수질이 개선 될 수 있다고 판단된다.

5. 가산지구



-
- 5.1 지구현황
 - 5.2 기상 및 수질현황
 - 5.3 시설별 수질개선 효과
 - 5.4 저수지 수질변화 및 개선효과
 - 5.5 현장적용성 향상 및 유지관리 방안
 - 5.6 결 론

가산지구 수질개선사업 평면도



5.1. 지구현황

5.1.1 저수지 현황

1) 유역현황

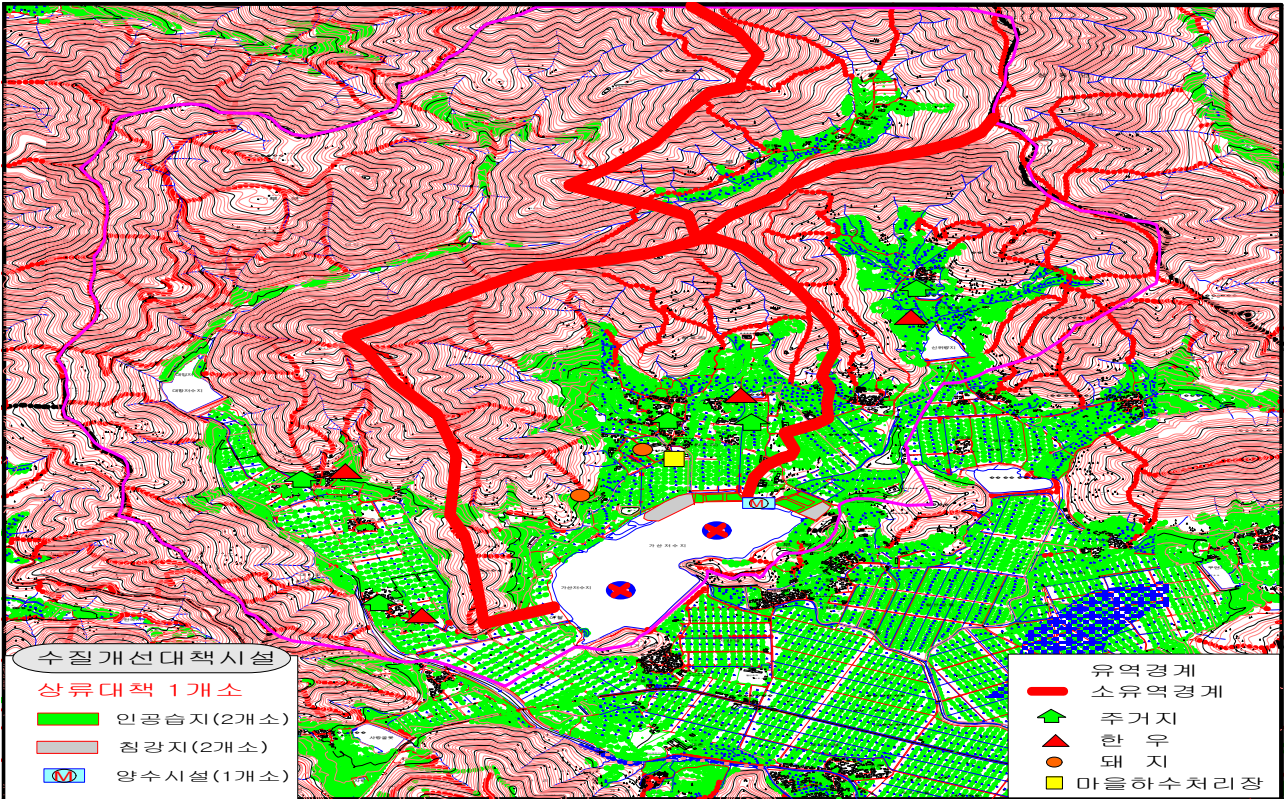
- 가산저수지는 북위 35도20분 ~35도38분, 동경 128도34분 ~ 129도01분 사이에 자리잡고 있으며, 가산저수지는 행정구역상 경상남도 밀양시 부북면에 속한다. 밀양시의 동쪽은 양산시, 서쪽은 창녕군, 남쪽은 창원시, 김해시, 북쪽은 경북 청도군과 접하고 있다. 밀양시의 동·서간 거리는 약 38km, 남·북간 거리는 약 24.5km에 달하며 경남의 중앙부에 위치하고 있다.

[표 5-1-1] 가산저수지 경위도상 위치

소재지	단	경도와 위도의 극점		연장거리	
		지명	극점		
			동경		북위
가산저수지 (밀양)	동단	부북면 퇴로리	128° 42' 16.14"	35° 32' 27.48"	동서간 1.3km
	서단	부북면 퇴로리	128° 41' 48.72"	35° 32' 29.86"	
	남단	부북면 퇴로리	128° 41' 49.74"	35° 32' 06.27"	남북간 0.8km
	북단	부북면 퇴로리	128° 42' 24.23"	35° 32' 43.65"	

* 자료 : 통계연보, 2015, 밀양시

- 가산저수지가 위치한 밀양시 부북면은 밀양시의 서북부에 위치하고 있으며, 밀양의 주산인 화악산이 면의 북쪽에 위치하여 경북 청도군과 경계를 이루고 그 능선을 따라 남동쪽으로는 상동면과 북서쪽으로는 청도면이 있으며, 남으로는 중남산 봉우리를 경계로 하여 상남면과 남서쪽으로는 초동면과 접하고 남동쪽으로는 내이동과 교동이 인접하고 있다.
- 면의 가운데로 감내천이 흘러 밀양강과 만나 강을 경계로 삼문동과 인접하고 있어, 1개도, 5개면, 3개동에 둘러싸여 남북으로 길다란 지형으로 국도 24호선이 동서로 관통하고 있다.
- 가산저수지 유역은 경북 청도군의 경계능선을 기점을 북서쪽으로 형제봉, 동쪽은 말치고개를 잇는 능선으로 둘러싸여 있으며, 지형은 경사가 급한 산악지형으로 북고남저형의 지세이다.
- 대항리 산간지역에서 발원한 제대천은 평상시에는 가산저수지 호소내로 유입되지 않고, 가산리 하류부로 직접 배제되나 호소내 저수량 부족시에는 대항교에서 제수문의 조작에 의해 수원을 보충 받고 있다. 수혜구역은 하류 월산리, 청운리의 평야지대이다.
- 호소와 근접하여 분포하고 있는 축사들에서 많은 오염물질들이 유입되고 있다.



[그림 5-1-1] 가산저수지 유역도

2) 저수지 현황

- 가산저수지는 경남 밀양시 부북면 퇴로리에 위치하며 유역면적 1,570ha, 유효저수량 3,393.77천 m^3 , 수혜농지 682.3ha이며 밀양지사에서 관리하고 있다.
- 가산저수지 유역내에 퇴로리 마을하수처리장(60 m^3 /일)이 있고, 축사와 농경지가 호소와 근접하여 위치하고 있다.
- 가산저수지 유역은 논보다 밭의 비중이 높아 강우시 밭토양의 유출이 우려되며 높은 농도의 비점오염물질이 저수지로 유입될 수 있다.

[표 5-1-2] 가산저수지 주요시설 현황

소재지	경남 밀양시 부북면 퇴로리 417	
설치년도	1931년	
유역면적	1,570ha	
유효저수량	3,393.77천 m^3	
수혜농지	682.3ha	
만수면적	61.57ha	
관리주체	밀양지사	

5.1.2 수질개선시설 현황

1) 주요대책

- 상류대책으로 밀양시에서 하수관거 정비를 통해 4,499m(154가구)를 하수처리하고 있으며 2007년 5월 퇴로리 마을하수처리장을 준공하여 운영중으로 연속주입 간헐 폭기식 하수처리 공법으로 처리용량 60m³/일로 마을하수를 처리중에 있다.
- 호내대책으로 인공습지 2개소(1호 및 2호), 규모 각 11,392m², 8,801m²로 총 20,193m²가 운영 중이며 평시 유출수에 대한 처리 및 유기 오염물질과 질소, 인 제거의 기능을 담당하고 있다.
- 침강지는 2개소로 1호 침강지는 면적 4,915m², 길이 74m의 부뎀으로 이루어져 있으며 2호 침강지는 면적 5,980m², 길이 192m의 부뎀으로 이루어져 있다. 침강지는 30mm/일 이상 강우시 유입되는 침강성 오염물질을 처리하는 기능을 가지고 있다. 1호 침강지 내에는 500m²의 인공식물섬(4식)을 함께 운영하여 침강지 녹조발생 억제 기능을 하고 있다.

[표 5-1-3] 가산저수지 수질개선시설 현황

구분	대안	시설	규모	비고
<input type="checkbox"/> 상류대책(밀양시 추진)				
1	하수처리	하수관거정비	4,499m(154가구)	
2	관리감독	측분야적시설	1,096m ³ (5시설)	
<input type="checkbox"/> 호내대책				
1	평시 유출수 처리	1호 인공습지	11,392m ²	
2	평시 및 강우 유출수 처리	1호 침강지	4,915m ²	
3	평시 유출수 처리	2호 인공습지	8,801m ²	
4	평시 및 강우 유출수 처리	2호 침강지	5,980m ²	
5	침강지 녹조발생 억제	인공식물섬	500m ²	

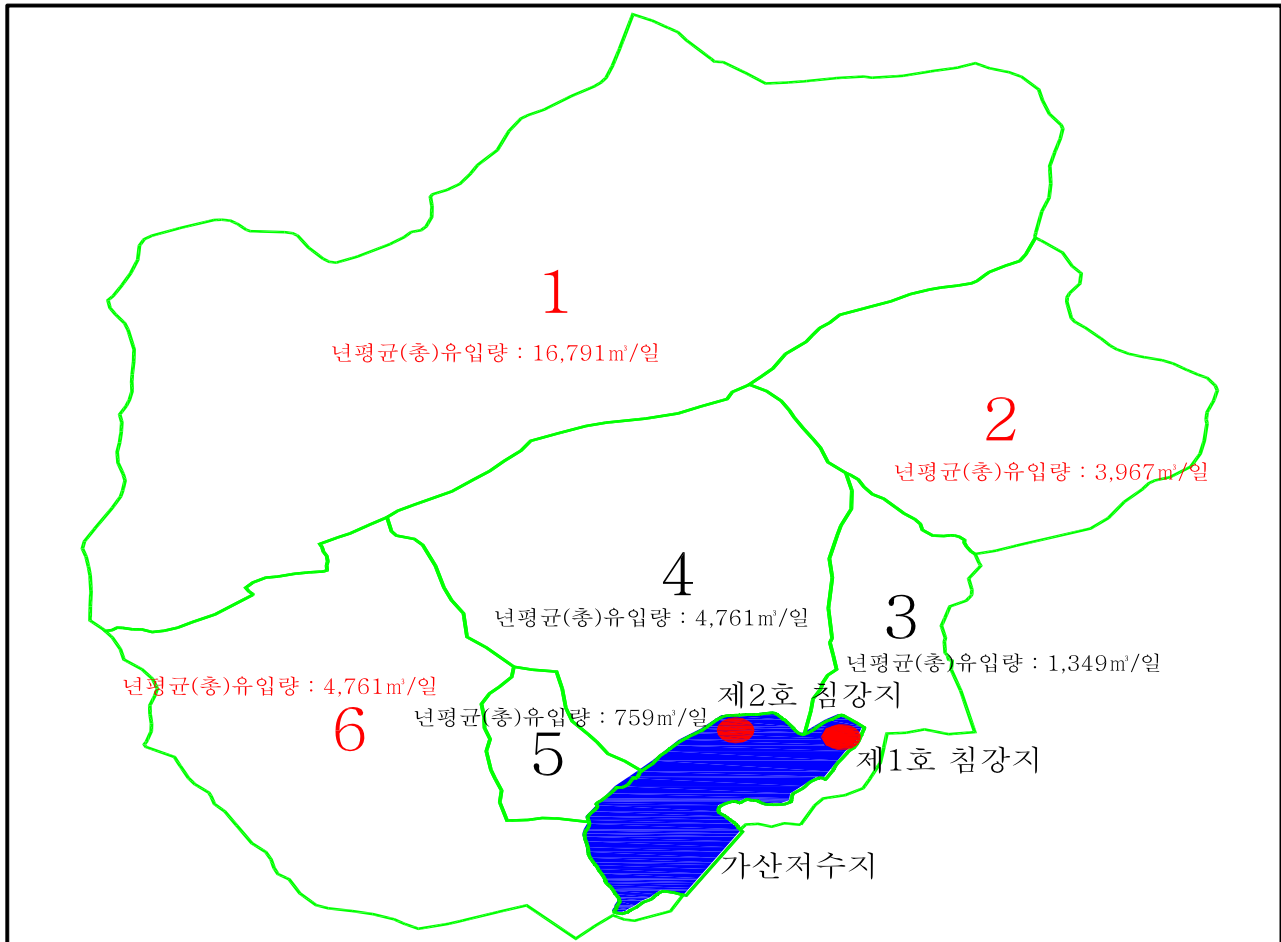
2) 인공습지

- 인공습지는 2개소, 면적 2.0 ha로, 습지 내에 침사지 각 1개소를 조성하였다.
- 1호 인공습지는 6구역 중 3구역으로 계획수량은 6,268.61 m³/일로 하고, 얇은 습지 2개소, 깊은 연못 2개소, 침사지 1개소, 배출연못 1개소로 조성하였다.

- 2호 인공습지의 경우는 6구역 중 4구역으로 계획수량은 4,527.27 m³/일로 설계하고, 얇은 습지 2개소, 깊은 연못 2개소, 침사지 1개소, 배출연못 1개소로 구성하고 총 계획면적은 8,801m²으로 조성하였다.
- 1호와 2호 인공습지의 체류시간은 농업용수 수질개선 시험연구 결과 나타난 체류시간에 따른 수질정화효율 등을 참고하여 인공습지에서 12시간을 기준으로 적용하였다.

[표 5-1-4] 인공습지 계획유량

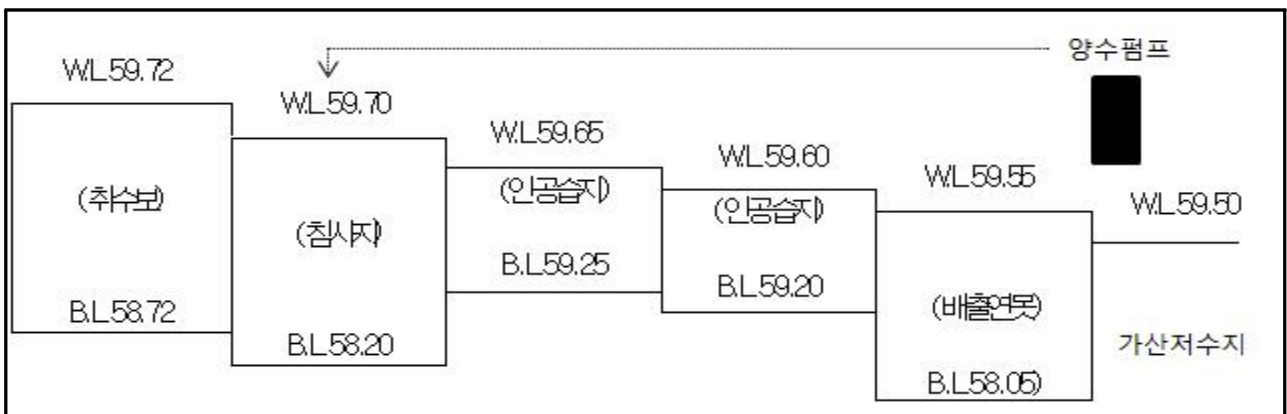
구 분	유역 구분	유역면적 (ha)	평균 유입량(m ³ /일)			계획수량 (m ³ /일)	비고
			총유입량	일30mm 미만유입량	마을하수도 유입량		
계	3, 4구역	336.34	6,109.77	5,795.88	-	10,795.88	
1호인공습지	3구역	78.68	1,348.14	1,268.61	-	6,268.61	
2호인공습지	4구역	257.66	4,760.82	4,527.27	-	4,527.27	



[그림 5-1-2] 가산저수지 유역 구분도

[표 5-1-5] 1호 인공습지 제원

구 분	규모	계획면적 (m ²)	계획수심 (m)	내용적 (m ³)	비 고	
인공 습지	얕은습지	2개소	4,537	0.40	1,815	
	깊은연못	2개소	1,116	1.00	1,116	
	소계	4개소	5,653		2,931	
	침사지	1개소	665	1.50	997	
	배출연못	1개소	295	1.50	443	
	관리도로 및 기타		4,779			
합 계		11,392		4,370		



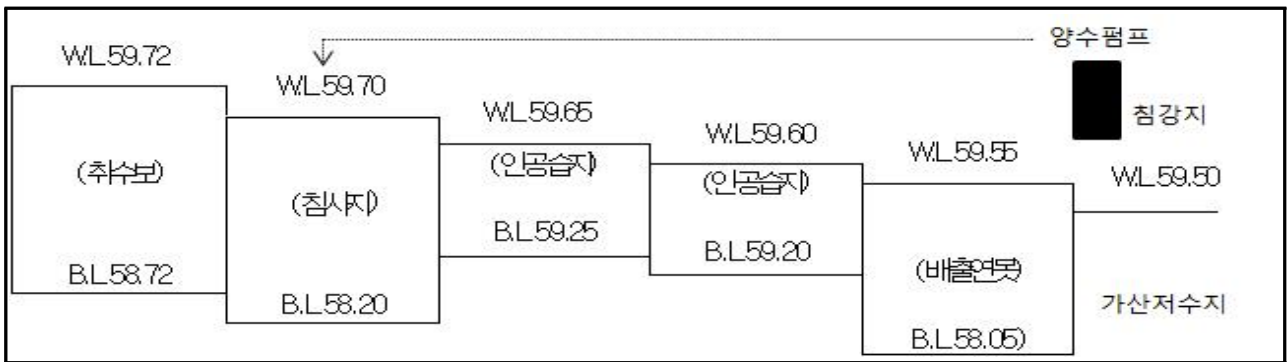
[그림 5-1-3] 1호 인공습지 수리계통도



[그림 5-1-4] 1호 인공습지 시설현황

[표 5-1-6] 2호 인공습지 제원

구 분		규모	계획면적 (m ²)	계획수심 (m)	내용적 (m ³)	비 고
인공 습지	얕은습지	2개소	3,610	0.40	1,444	
	깊은연못	2개소	657	1.00	657	
	소계	4개소	4,267		2,101	
	침사지	1개소	271	1.50	406	
	배출연못	1개소	81	1.50	122	
	관리도로 및 기타		4,182			
합 계			8,801		2,629	



[그림 5-1-5] 2호 인공습지 수리계통도



[그림 5-1-6] 2호 인공습지 시설현황

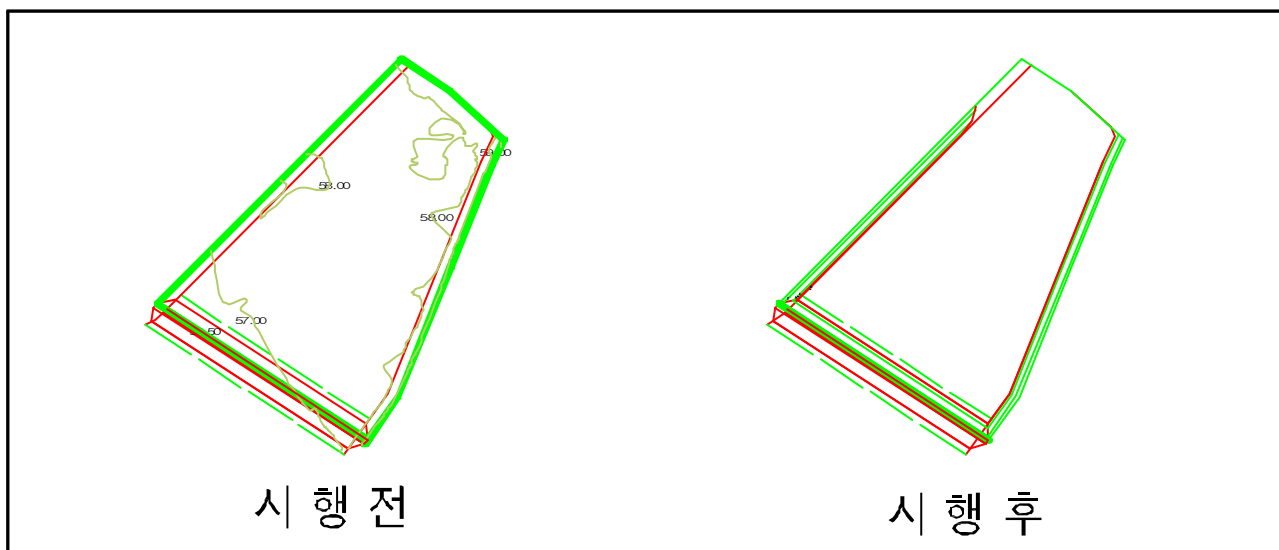
3) 침강지

- 침강지 위치는 직접유역 중 오염물질 유입이 가장 많은 3, 4구역(전체 직접유역 유입량의 82.0%)의 하천 말단부 저수지 본체내에 계획하였다. 1호 침강지의 경우 30mm/일 초과유입량은 9,883.45m³/일, 계획 내용적은 12,344m³이고 2호 침강지의 경우 30mm/일 초과유입량은 28,734.88m³/일, 계획 내용적은 20,980m³이다.
- 체류시간은 침강지 수심이 2.0 ~ 2.5m 이므로 약 6~8시간 정도 소요되는 것으로 나타났으며, 유역유출량 및 홍수조절등을 감안하여 침강지내에서의 체류시간은 약 12시간 이상으로 계획하였다.

[표 5-1-7] 1호 침강지 제원

구 분	유역		일30mm 초과유입량 (m ³ /일)	계획 수심 (m)	수표 면적 (m ²)	계획 내용적 (m ³)	체류 시간 (hr)	비 고
	유역 구분	면적 (ha)						
계	3,4구역	336.34	38,618.33	-	19,113	33,324	-	
1호 침강지	3구역	78.68	9,883.45	2.00	7,386	12,344	29.9	
2호 침강지	4구역	257.66	28,734.88	2.50	11,727	20,980	17.5	

※ 부담 제정고 기준

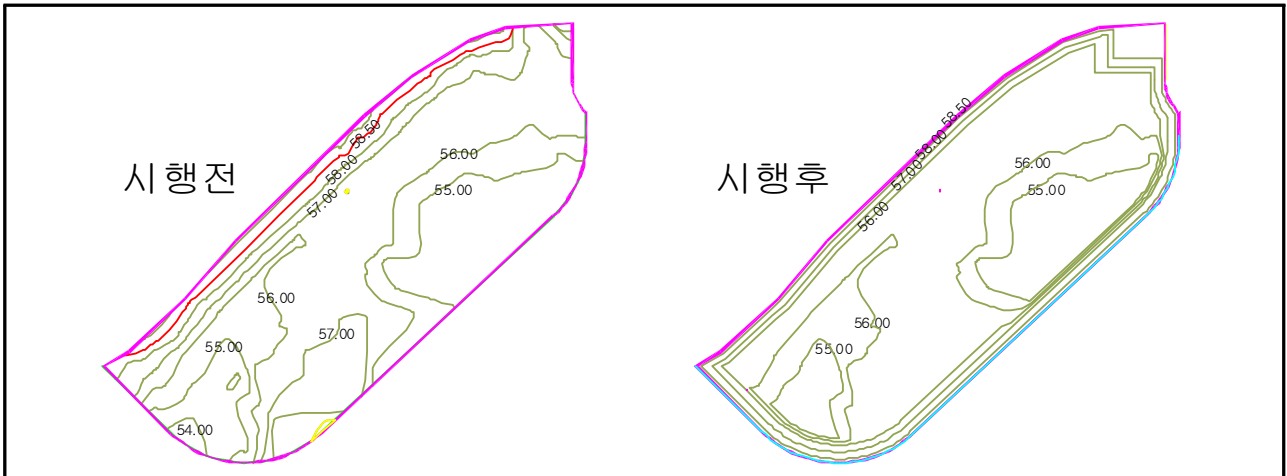


[그림 5-1-7] 1호 침강지 평면도



[그림 5-1-8] 1호 침강지 시설현황

- 2호 침강지는 4구역으로 30mm/일 초과유입량은 28,734.88m³/일, 계획 내용적 20,980m³, 면적 5,980m², 부담길이 192m로 이루어져 30mm/일 이상 강우시 유입되는 침강성 오염물질 처리하는 기능을 가지고 있다.



[그림 5-1-9] 2호 침강지 평면도



[그림 5-1-10] 2호 침강지 시설현황

4) 기타 수질개선시설

- 물순환장치를 저수지 수면 내에 4개소 설치하여 저수지 녹조 방지를 위해 수평·수직으로 순환하도록 하였다.
- 기타 수질개선시설로 인공식물섬 2개소를 1호 및 2호 침강지 수면에 설치하여 침강지 녹조발생 억제 및 생물 서식처를 제공하고 있다.



물순환장치

인공식물섬

[그림 5-1-11] 기타시설 현황

5.2. 기상 및 수질환경

5.2.1 기상현황

1) 기온

- 가산저수지 유역과 가장 가까운 밀양기상대에서 조사된 기온을 살펴보면 수질개선 시설 운영 전인 2009년도의 평균기온은 14.6℃, 준공 후인 2011년도 14.7℃로 큰 차이가 없었다. 금년도에는 평균기온이 15.8℃로써 운영전인 2009년 및 평년값에 비해 높은 경향을 보였다.

[표 5-2-1] 가산저수지 유역 사업시행 전후 월별 기온 분포 [단위 : °C]

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
2009년 (시행전)	1.5	0.8	7.7	13.2	17.8	20.8	27.2	25.6	22.3	16.1	7.9	14.6
2011년 (시행후)	-0.4	3.6	6.9	10.8	18.0	23.6	26.0	28.1	23.0	15.8	6.8	14.7
2016년 (시행후)	0.3	3.5	8.9	14.8	19.6	23.4	26.9	27.5	22.3	16.8	9.7	15.8
평년값	0.5	2.6	7.8	12.9	18.5	22.6	26.7	27.1	22.5	16.2	8.1	15.0

2) 강수량

- 수질개선 시설 운영 전인 2009년도 11월까지 796.9mm의 강우가 내려 평년 11월까지의 강수량 1,167.1mm에 비해 적은 값을 기록했다. 이후 2011년도 11월까지 1,231.9mm, 금년 11월까지 1,472.4mm로 가장 많았다.

[표 5-2-2] 가산저수지 유역 사업시행 전후 월별 강수량 분포 (단위 : mm)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
2009년(시행전)	32.6	11.0	31.3	50.0	180.7	195.0	154.6	109.5	9.8	10.4	12.0	796.9
2011년(시행후)	27.0	102.2	66.3	111.1	123.6	47.0	354.2	180.4	177.2	35.8	7.1	1,231.9
2016년(시행후)	33.5	33.7	93.3	174.6	109.5	103.0	231.4	46.8	497.3	136.9	12.4	1,472.4
평년값	31.0	49.0	63.6	111.9	137.9	115.0	246.7	112.2	228.1	61.0	10.5	1,167.1

5.2.2 수질현황

1) 목표수질 설정

- 가산저수지의 목표수질은 농업용수 수질기준인 IV등급 이하로 COD 8.0mg/L, TOC 6.0mg/L, T-N 1.0mg/L, T-P 0.1mg/L이다. 2008년도 예측수질은 COD 7.5mg/L, T-N 0.834mg/L, T-P 0.029mg/L이었다. 금년도 수질은 COD 7.4mg/L, TOC 4.1mg/L, T-N 0.796mg/L, T-P 0.023mg/L으로 농업용수 수질기준을 만족하고 있다. COD 18.7%, T-N 32.4%, T-P 51.1%의 수질개선 효과를 나타내고 있다.

[표 5-2-3] 가산저수지 목표수질

구 분	목표수질	기본계획 (A: '07년)	예측수질 ('08년)	'16년 (B)	수질개선 효과(%)
					(A-B)/A
COD(mg/L)	8.0	9.1	7.5	7.4	18.7
TOC(mg/L)	6.0	-	-	4.1	-
T-N (mg/L)	1.0	1.177	0.834	0.796	32.4
T-P (mg/L)	0.1	0.047	0.029	0.023	51.1
수질등급	IV등급	V등급	IV등급	IV등급	
유해물질	사람의 건강보호에 관한 환경기준 만족				

2) 오염원 현황

- 인구는 시설 운영 전인 2009년 715명에서, 2012년도 들어서면서 요양원 등 신규 건물들이 입주함에 따라 인구가 883명으로 증가되었으며 이후 유사한 수준의 인구수를 유지하고 있다가 2016년도에 935명으로 증가하고 있는 추세에 있다.
- 축산의 경우 한우는 2009년 220두이었으나 그 이후 2012년도에 신규 축사가 들어서면서 796두로 증가되었다. 그러나 이후부터는 차츰 감소하는 있는 추세이다. 돼지의 경우 2009년 이후 점차 감소되었다가 2015년도에는 유역내 사육농가 없는 것으로 나타났다. 2016년도에는 신규 돼지 축사가 들어서면서 1,050두로 증가되었다.
- 비점오염원인 토지 이용현황은 임야가 1,208 ha로써 76.9%의 가장 많은 비율을 차지하고, 다음으로 전이 197 ha로써 12.5%, 기타가 110 ha로 7.1%, 답이 55 ha로 3.5%를 차지하고 있어 임야가 토지계의 대부분을 차지하고 있다.

[표 5-2-4] 가산저수지 유역내 인구변화 추이

구 분	2009년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
인구(명)	715	883	895	897	887	935

[표 5-2-5] 가산저수지 유역내 연도별 축산변화

구 분	2009년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
한우	220	796	736	638	613	424
돼지	2,800	1,400	1,500	650	-	1,050
기타	-	-	-	-	-	-

[표 5-2-6] 가산저수지 유역내 지목별 토지이용현황

구 분	2009년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
계	1,570	1,570	1,570	1,570	1,570	1,570
전(ha)	197	197	197	197	197	197
답(ha)	55	55	55	55	55	55
임야(ha)	1,208	1,208	1,208	1,208	1,208	1,208
기타(ha)	110	110	110	110	110	110

3) 오염부하량

- 가산저수지의 유역내 오염물질 발생부하량은 대부분이 점오염원으로 BOD 발생 부하량 기준 86%를 차지하고 있다.
- 점오염원중 대부분은 축산계 57.5%, 생활계 42.5%로 점차 증가되는 추세이다. 비점 오염원은 대부분 임야로 68.8%를 차지하며, 그 뒤로 전, 답, 기타 순이다.

[표 5-2-7] 가산저수지 유역내 발생부하량

구 분	점 오염원						비점오염원					계	
	생활계 (인)	축산계(두)			산업계 (m ³ /일)	소계	토지현황(ha)						
		한우	젓소	돼지			전	답	임야	기타	소계		
원 수	935	424	-	1,050	-		197	55	1,208	110			
발 생 부 하 량	BOD	45.8	28.4	-	33.6	-	107.8	3.1	1.3	12.1	1.1	17.6	125.4
		36.5	22.6	-	26.8	-	86.0	2.5	1.0	9.6	0.9	14.0	100
	T-N	12.3	17.0	-	15.6	-	44.9	18.5	3.6	26.6	0.1	48.8	93.8
		13.1	18.1	-	16.6	-	47.9	19.7	3.8	28.4	0.1	52.1	100
	T-P	1.4	1.5	-	3.5	-	6.4	0.5	0.3	1.7	0	2.5	8.9
		15.7	16.9	-	39.3	-	71.9	5.6	3.4	19.1	0	28.1	100

- 연도별 오염물질 발생량은 시설운영 전인 2009년도 BOD 157.0kg/일, T-N 108.8kg/일, T-P 13.6kg/일, 2014년도 BOD 125.1kg/일, T-N 95.9kg/일, T-P 8.3kg/일, 2015년도 BOD 102.1kg/일, T-N 85.0kg/일, T-P 6.0kg/일로 점차 감소하다가 2016년도에 BOD 125.4kg/일, T-N 93.8kg/일, T-P 8.9kg/일로 다소 증가하였다.
- 이는 유역내 축산 및 인구증가에 따른 것으로 판단된다.

[표 5-2-8] 가산저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량

구 분	발생부하량(kg/d)						
	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
BOD	157.0	128.0	159.0	158.8	125.1	102.1	125.4
T-N	108.8	95.1	113.2	112.4	95.9	85.0	93.8
T-P	13.6	10.8	11.3	11.4	8.3	6.0	8.9

3) 수질현황

- 가산저수지 수질현황은 준공년도인 2010년도 COD 7.4mg/L, T-N 0.947mg/L, T-P 0.020mg/L이었다. 2011년도 ~ 2013년도 까지 착공년도와 비교하여 COD, TOC, T-N, T-P가 다소 낮아지는 양상을 나타냈으나, 2014년도에는 증가하였다.
- 2015년도 COD, TOC, T-N, T-P가 다시 감소하는 경향을 보이며 금년도에는 COD 7.4mg/L, TOC 4.1mg/L, T-N 0.796mg/L, T-P 0.023mg/L 으로 목표수질에 모두 만족하고 있다.

[표 5-2-9] 가산저수지 수질현황

구 분	5개년 평균	'10년 (착공시)	수질 변화						목표년도 ('17년)	목표수질
			'11	'12	'13	'14	'15	'16		
COD	8.2	7.4	7.7	5.9	5.7	7.0	6.3	7.4	6.1	8.0이하
TOC	-	-	3.8	3.5	3.4	4.3	3.1	4.1	-	6.0이하
T-N	1.093	0.947	1.231	0.618	0.507	2.074	1.216	0.796	0.531	1.0이하
T-P	0.038	0.020	0.103	0.030	0.020	0.069	0.038	0.023	0.011	0.1이하

5.3. 시설별 수질개선 효과

- 수질조사 지점은 1호 침강지 및 인공습지 유입부(①), 1호 인공습지 유출부(②), 1호 침강지 유출부(③) 등 총 3지점이며, 퇴적물 조사 지점은 1호 인공습지 유출부(②), 1호 침강지 유출부(③) 등 총 2지점으로 조사를 시행하였다.

[표 5-3-1] 가산저수지 수질 및 퇴적물 조사 시기

구 분	조사횟수	조사일자				
		1차	2차	3차	4차	강우시
수질조사	5회	2016.05.02	2016.07.12	2016.08.17	2016.09.20	2016.10.05
퇴적물조사	1회	2016.09.20	-	-	-	-



[그림 5-3-1] 가산지구 수질 및 퇴적물 조사 지점

5.3.1 인공습지 수질개선효과

- 1차 수질조사시 저수율은 100% 였으나, 2차 수질조사시 저수율은 61.6%로 급격히 낮아졌다. 3차 수질조사에는 43.6%로 더 낮은 저수율을 나타내었다. 4차 수질조사 및 퇴적물 조사(9월 21일)에는 저수율 89.8%로 다소 증가하였으며, 강우 조사시 저수율은 90.4%였다.
- 수질개선시설인 취입보를 이용하여 일강우량 30mm/일의 유출량을 기준으로, 그 이하 일 때는 인공습지를 통하여 저감되어 저수지로 유입되도록 하고, 양수시설이 설치되어 있어 펌프를 이용하여 갈수기에 인공습지로 물을 공급하고 있다.
- 수질조사결과 1호 인공습지 유입수의 수온은 22.7℃에서, 유출수 26.2℃로 다소 높아졌다. 원인으로는 2016년 연일 지속된 폭염으로 인하여 습지내 유입수량이 충분치 않은 반면 증발량은 많아 습지내 물순환이 원활치 않고 정체된 수계내에서 수온이 상승한 것으로 보인다.
- pH는 유입수와 pH 7.3 유출수 pH 7.4로 큰 차이가 없었고, 농업용수 관리기준을 만족하였다.

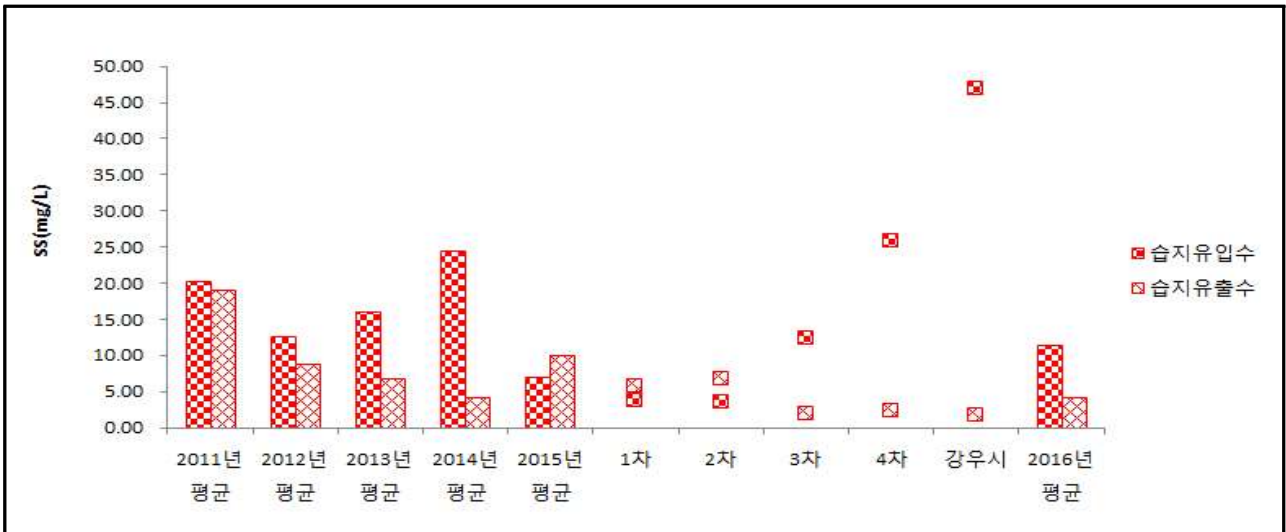
- EC는 유입수와 유출수 모두 152 μ S/cm로 작물생육에 지장이 없는 기준인 700 μ S/cm에 비해 크게 낮은 경향을 나타냈다.
- DO는 유입수 6.9mg/L, 유출수 8.8mg/L로 인공습지를 거치면서 용존산소가 다소 증가하는 것으로 나타났다. 유입수와 유출수 모두 농업용수 관리기준인 2.0mg/L 이상을 만족하였다.
- SS는 유입수 16.9mg/L, 유출수 4.2mg/L로 크게 낮아지는 경향을 보였으며 습지를 통과하면서 큰 효율을 나타내는 것으로 판단된다.
- COD는 유입수 4.7mg/L, 유출수 7.0mg/L으로 높아지는 경향을 나타냈으며 이는 2016년 사상 최악의 폭염으로 인해 유입수 수질은 양호한 상태이나 습지내 물순환 정체와 고온 등으로 인한 야기된 활발한 내부생산에 따른 영향으로 판단된다.
- TOC는 유입수는 3.2mg/L이고 유출수는 4.0mg/L로써 다소 높아지는 경향을 나타냈다.
- COD와 TOC는 다소 높아지는 경향을 보였는데, 이는 우선 유입수 자체의 농도가 매우 낮으며, 습지내로 유입수가 정상적으로 공급되더라도 폭염으로 인해 물의 증발량이 많고 정체되어 체류시간이 길어짐에 따라 제대로 순환되지 못함으로 오염농도가 증가하고 식물고사체, 수온증가 등의 영향으로 부패하여 인공습지에서 오히려 수질 오염이 높아진 것으로 판단된다.
- T-N의 경우는 유입수는 1.078mg/L인데, 유출수는 0.427mg/L로 낮아지고 크게 안정화되는 경향을 보여 인공습지가 질소 정화 효과가 큰 것으로 나타났다.
- T-P의 경우 또한, 유입수 0.067mg/L에서 유출수 0.037mg/L로 낮아지는 경향을 나타내며 인공습지에서 인이 정화되고 있는 것을 알 수 있었다.

[표 5-3-2] 가산저수지 1호 인공습지 수질변화

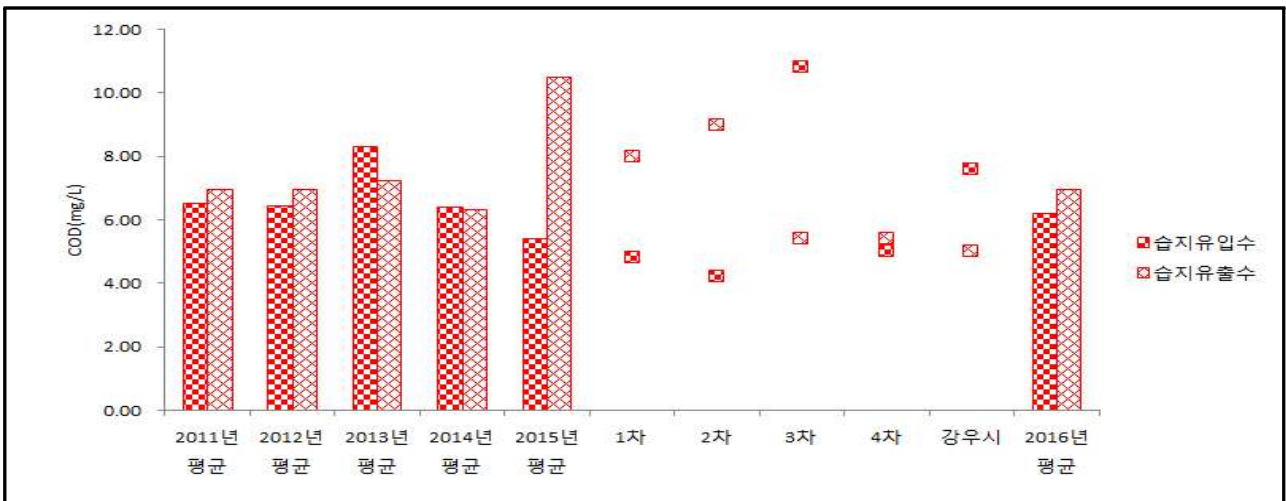
구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (°C)	유입수	21.1	22.1	21.4	24.1	19.8	19.8	22.8	26.8	21.5	22.7	21.6
	유출수	23.5	22.5	26.2	24.0	18.2	21.1	28.0	32.1	23.4	26.2	23.4
pH	유입수	8.2	7.8	7.8	7.2	7.3	7.6	7.1	6.2	8.2	7.3	7.9
	유출수	8.2	8.1	7.9	7.1	7.1	7.3	7.0	7.0	8.4	7.4	9.0
EC (µS/cm)	유입수	137	127	165	181	158	131	202	184	90	152	86
	유출수	130	120	121	156	144	123	199	175	111	152	133
DO (mg/L)	유입수	8.8	8.2	7.4	7.2	3.4	10.9	4.5	3.0	9.1	6.9	9.2
	유출수	8.2	8.8	6.9	6.4	5.1	10.2	10.2	5.6	9.0	8.8	10.2
SS (mg/L)	유입수	20.2	12.5	16.0	24.4	7.1	3.7	3.5	12.3	25.8	16.9	47.0
	유출수	18.9	8.7	6.8	4.1	9.9	5.7	6.7	2.0	2.4	4.2	1.8
BOD (mg/L)	유입수	2.6	2.8	1.9	1.8	2.5	-	-	-	-	-	-
	유출수	2.6	2.3	2.1	1.1	3.7	-	-	-	-	-	-
COD (mg/L)	유입수	6.5	6.4	8.3	6.4	5.4	4.8	4.2	4.6	5.0	4.7	7.6
	유출수	7.0	7.0	7.3	6.4	10.5	8.0	9.0	5.4	5.4	7.0	5.0
TOC (mg/L)	유입수	-	-	6.0	3.6	2.7	2.7	2.7	2.6	2.4	3.2	4.0
	유출수	-	-	4.8	3.8	5.8	4.6	5.2	3.0	3.3	4.0	3.5
T-N (mg/L)	유입수	1.499	1.299	1.539	2.355	0.516	1.211	1.370	0.778	1.342	1.078	1.322
	유출수	1.200	0.755	0.516	1.080	0.879	0.379	0.526	0.260	0.543	0.427	0.425
T-P (mg/L)	유입수	0.165	0.058	0.108	0.217	0.055	0.040	0.059	0.039	0.087	0.067	0.113
	유출수	0.188	0.043	0.039	0.052	0.114	0.035	0.50	0.024	0.040	0.037	0.041

[표 5-3-3] 가산저수지 1호 인공습지 정화효율

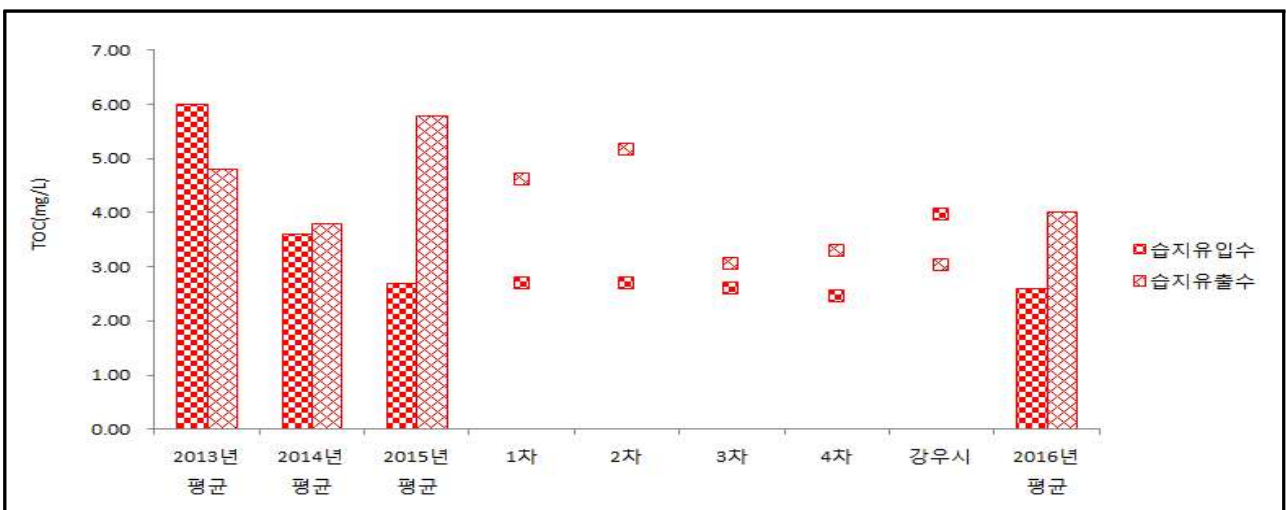
구 분		'11~'16년 전체		'11~'16년 평상시		'11~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	습지유입	112.6	28.2	70.3	-14.2	163.3	49.9
	습지유출	80.8		80.3		81.8	
COD (kg/d)	습지유입	39.1	-22.8	41.9	-23.8	35.7	-16.5
	습지유출	48.0		51.9		41.6	
TOC (kg/d)	습지유입	17.1	-31.5	24.0	-25.0	12.1	-15.0
	습지유출	22.5		30.0		1.9	
T-N (kg/d)	습지유입	9.306	33.8	9.586	34.0	8.969	34.3
	습지유출	6.162		6.324		5.897	
T-P (kg/d)	습지유입	0.810	8.0	0.634	-7.2	1.021	16.5
	습지유출	0.745		0.680		0.853	



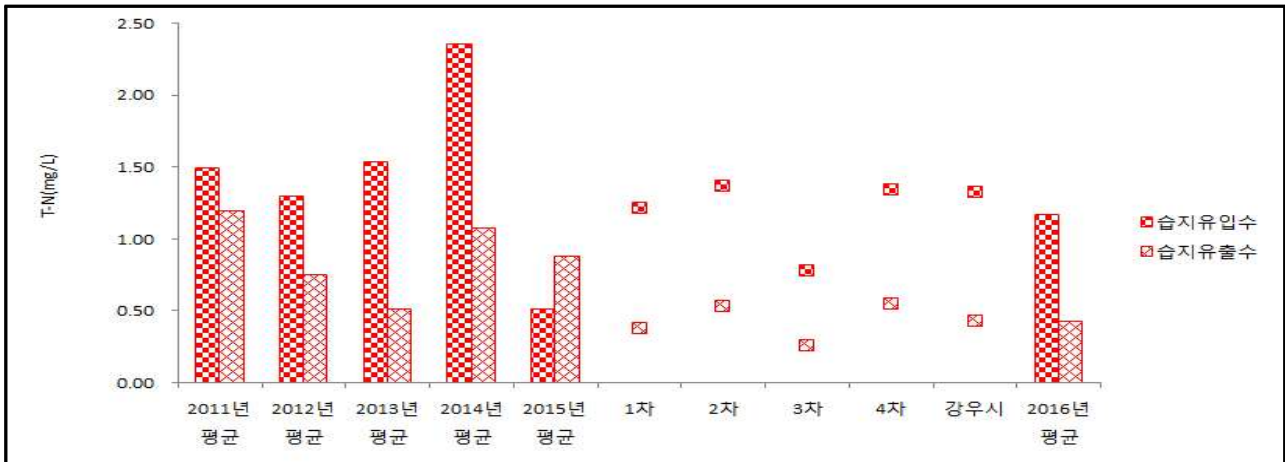
[그림 5-3-2] 가산지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화



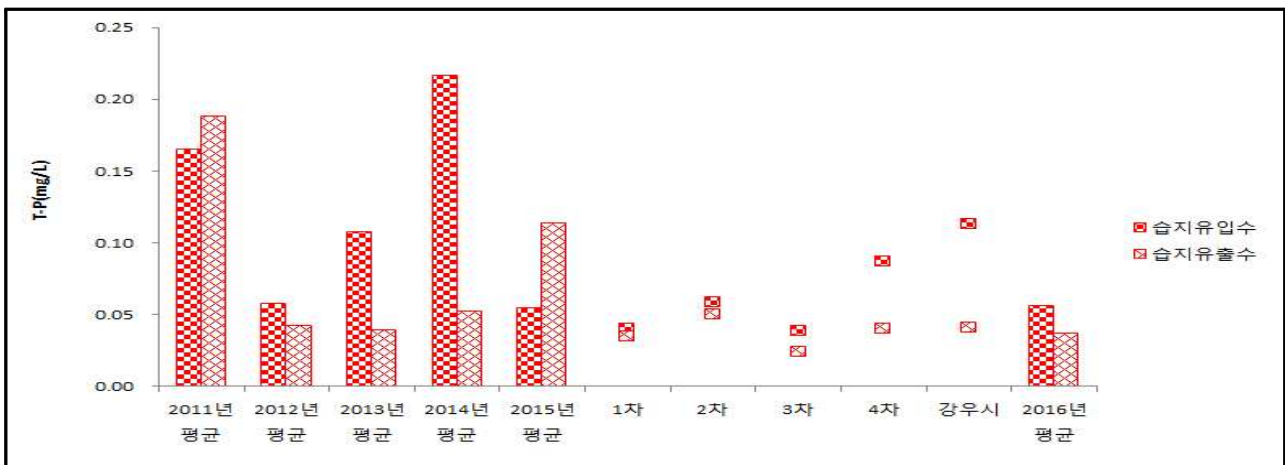
[그림 5-3-3] 가산지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화



[그림 5-3-4] 가산지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화



[그림 5-3-5] 가산지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화



[그림 5-3-6] 가산지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

5.3.2 침강지 수질개선효과

- 가산저수지는 일강우량 30mm/일의 유출량을 기준으로, 초과된 양은 침강지로 유입되어 유기물질을 저감한 후 저수지로 유입하도록 하였다.
- 수질조사결과 침강지의 수온은 유입수가 22.7±3.5℃에서 유출수 25.0±5.4℃로 높아지는 경향을 보였는데, 이는 침강지 내에 식물이 없기 때문에 햇빛을 직접 받아 수온이 올라가는 일반적인 경향과 같은 모습을 보여주고 있다.
- pH는 유입수와 유출수 모두 평균 7.3, 7.6로 큰 차이가 없었으며 대부분 농업용수 관리기준인 6.0~8.5를 만족하였다.
- EC는 유입수는 152µS/cm에서 유출수 145µS/cm로 다소 낮아지는 경향을 보였으며 작물생육에 지장이 없는 기준인 700µS/cm에 비해 크게 낮은 경향을 보였다.
- DO는 유입수는 6.9mg/L, 유출수는 8.5mg/L로 유출수에서 다소 높아졌다. 유입수와 유출수 모두 농업용수 관리기준인 2.0mg/L 이상을 만족하고 있다.

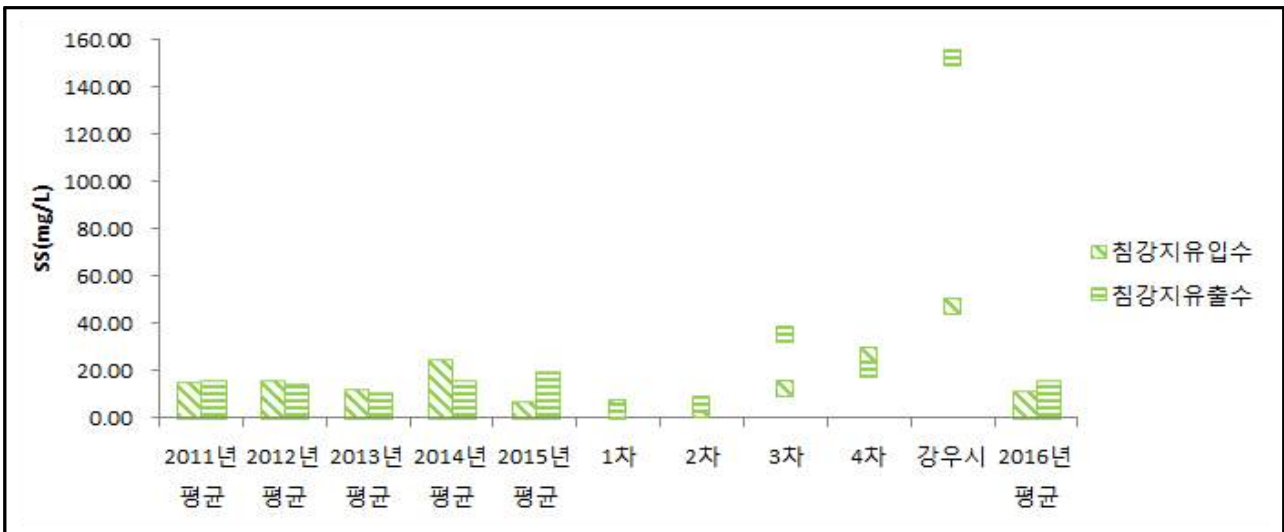
- SS는 유입수는 16.9mg/L, 유출수 15.8mg/L로 SS가 다소 정화되는 경향을 보였지만, 강우시에는 유입수에 비해 유출수에서 크게 증가되는 양상을 보였다. 이는 강우시 폭우로 인하여 유입하천으로 유입된 수량이 과다하여 침강지로 유입되어 충분한 정체 시간을 가지지 못하고 바로 유출되어 오히려 그 값이 높게 나타난 것으로 보여진다.
- 유기물 지표인 COD는 유입수 5.0mg/L에서 유출수 5.8mg/L로 다소 증가되는 양상을 나타내었으나 농업용수 기준을 만족하고 있다.
- TOC는 유입수 3.2mg/L, 유출수 3.9mg/L로 높아지는 경향을 보였다.
- 이와 같이 유기물 항목인 COD와 TOC는 높아지는 경향을 보였는데, 이는 침강지에서 물이 정체되면서 내부생산에 의해 식물 플랑크톤이 성장하여 유기물의 농도를 증가시킨 것으로 보여진다.
- T-N의 경우 유입수는 1.078mg/L, 유출수는 0.786mg/L로 낮아지고 안정화되는 경향을 보여 침강지가 질소 정화 효과가 있는 것으로 나타났다.
- T-P 또한 유입수가 0.067mg/L, 유출수는 0.055mg/L로 낮아지는 경향을 보여 침강지에서 인이 정화되고 있었다.

[표 5-3-4] 가산저수지 1호 침강지 수질변화

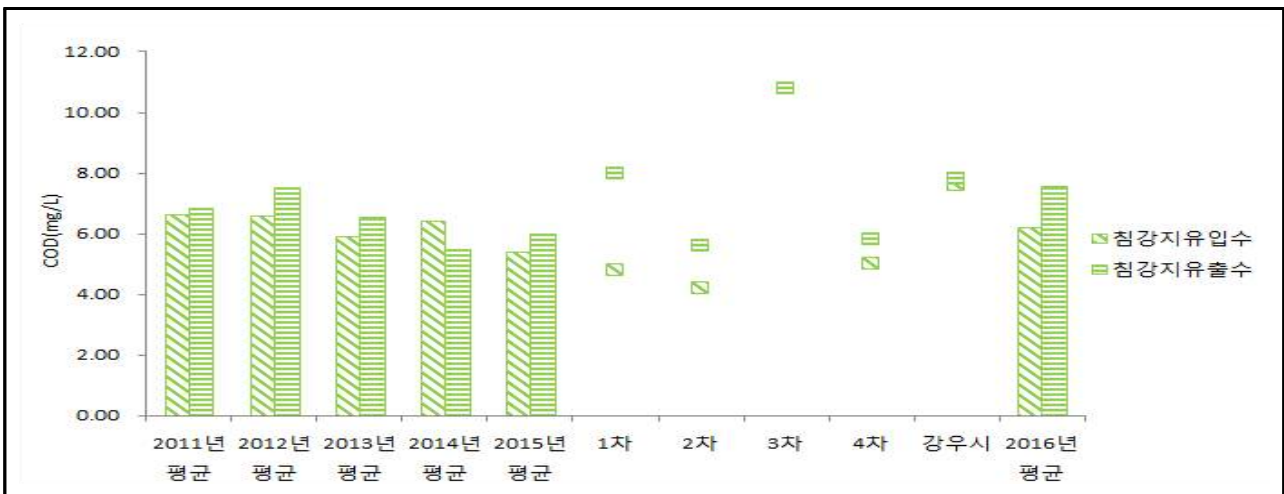
구 분		'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (°C)	유입수	21.1	22.1	21.4	24.1	19.8	19.8	22.8	26.8	21.5	22.7	21.6
	유출수	22.9	23.7	22.2	23.4	19.1	20.4	26.5	31.1	21.8	25.0	21.4
pH	유입수	8.2	7.8	7.8	7.2	7.3	7.6	7.1	6.2	8.2	7.3	7.9
	유출수	8.5	8.2	7.6	7.2	7.6	7.5	6.8	7.7	8.2	7.6	8.5
EC (µS/cm)	유입수	137	127	165	181	158	131	202	184	90	152	86
	유출수	159	124	188	200	157	132	194	168	87	145	100
DO (mg/L)	유입수	8.8	8.2	7.4	7.2	3.4	10.9	4.5	3.0	9.1	6.9	9.2
	유출수	9.0	9.6	6.0	8.3	7.7	10.0	4.3	10.9	8.8	8.5	8.9
SS (mg/L)	유입수	20.2	12.5	16.0	24.4	7.1	3.7	3.5	12.3	25.8	16.9	47.0
	유출수	15.5	13.9	10.7	15.6	19.0	2.7	5.7	34.7	20.0	15.8	152.0
BOD (mg/L)	유입수	2.6	2.8	1.9	1.8	2.5	-	-	-	-	-	-
	유출수	4.1	3.7	2.1	2.0	1.9	-	-	-	-	-	-
COD (mg/L)	유입수	6.5	6.4	8.3	6.4	5.4	4.8	4.2	4.6	5.0	4.7	7.6
	유출수	6.9	7.5	6.6	5.5	6.0	8.0	5.6	10.8	5.8	7.6	7.8
TOC (mg/L)	유입수	-	-	6.0	3.6	2.7	2.7	2.7	2.6	2.4	3.2	4.0
	유출수	-	-	3.9	3.1	3.0	4.1	3.5	5.1	2.8	3.9	3.5
T-N (mg/L)	유입수	1.499	1.299	1.539	2.355	0.516	1.211	1.370	0.778	1.342	1.078	1.322
	유출수	1.559	1.382	1.055	2.208	0.832	1.037	0.492	0.389	1.227	0.786	1.250
T-P (mg/L)	유입수	0.165	0.058	0.108	0.217	0.055	0.040	0.059	0.039	0.087	0.067	0.113
	유출수	0.134	0.071	0.063	0.079	0.082	0.027	0.042	0.083	0.068	0.055	0.093

[표 5-3-5] 가산저수지 1호 침강지 정화효율

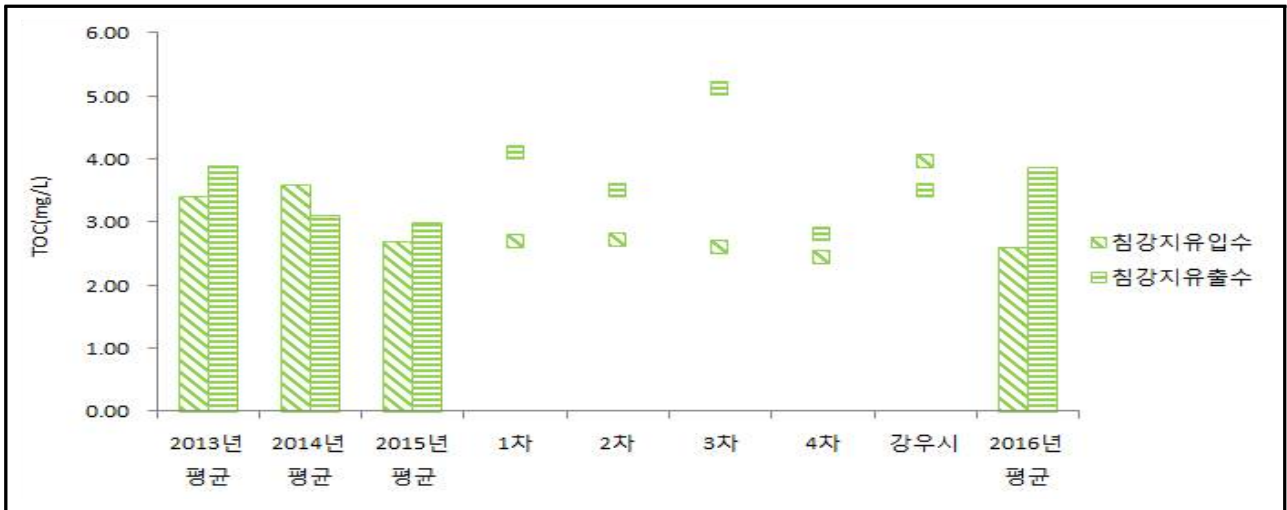
구 분		'11~'16년 전체		'11~'16년 평상시		'11~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	습지유입	342.2	55.8	9.0	-109.1	580.3	57.9
	습지유출	143.2		18.8		244.2	
COD (kg/d)	습지유입	70.2	17.8	2.7	-224.6	123.3	19.7
	습지유출	57.7		8.6		99.0	
TOC (kg/d)	습지유입	56.2	35.6	4.8	-44.0	67.3	35.8
	습지유출	36.2		639		43.2	
T-N (kg/d)	습지유입	19.2	39.7	1.3	15.2	33.8	40.4
	습지유출	11.6		1.1		20.1	
T-P (kg/d)	습지유입	2.8	68.6	0.2	9.7	4.9	70.0
	습지유출	0.9		0.1		1.5	



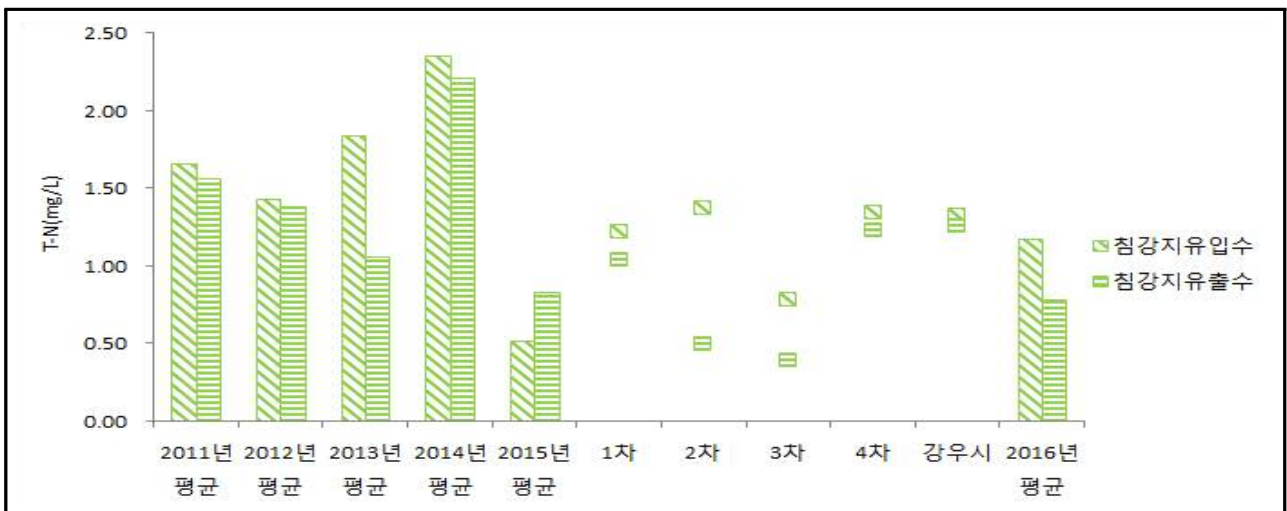
[그림 5-3-7] 가산지구 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화



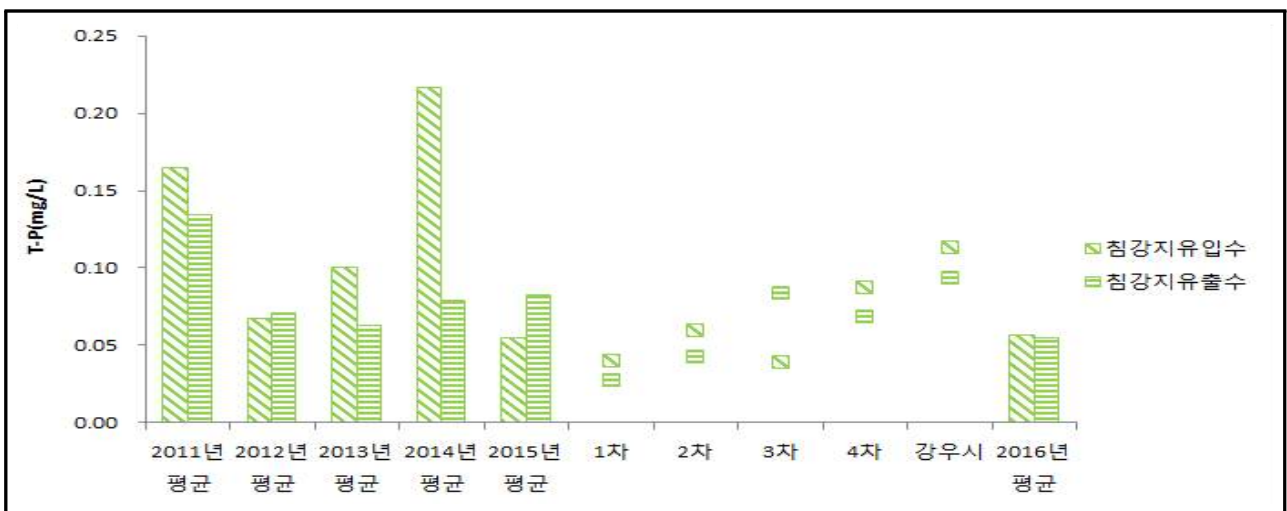
[그림 5-3-8] 가산지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화



[그림 5-3-9] 가산지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화



[그림 5-3-10] 가산지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화



[그림 5-3-11] 가산지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화

5.3.3 퇴적물 조사결과

- 퇴적물 분석결과 1호 인공습지에서 채취한 퇴적물의 입도는 모래 45.8%, 실트 33.2%, 점토 21.0%로써 L(양토)이고, 1호 침강지의 퇴적물은 모래 14.8%, 실트 66.2%, 점토 19.0%로써 SiL(실트질양토)로 분류 되었다.
- 1호 인공습지와 침강지의 pH는 각각 7.1, 5.2로써 습지 여재로서 이용하기 좋은 6.5~8.5의 범위를 크게 벗어나 있지는 않았다.
- EC는 인공습지 0.030dS/m, 침강지 0.411dS/m로써 식물성장 매체로 적합한 4.0 dS/m 이하를 만족하고 있었다.
- 유기물은 인공습지 0.58%, 침강지 4.19%이고 유효인산은 인공습지 5.69 mg/kg, 침강지 4.38 mg/kg로 조사되었다.
- 인공습지의 강열감량은 5.9%, T-N은 271.6mg/kg, T-P는 829.5mg/kg으로 국립환경과학원의 호소퇴적물 오염평가기준보다 낮게 조사되었다.
- 침강지의 강열감량은 9.5%, T-N은 3276.2mg/kg, T-P는 735.9mg/kg조사되어 인공습지와 마찬가지로 국립환경과학원의 호소퇴적물 오염평가 기준보다 낮게 조사되었다.

[표 5-3-6] 가산저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사 결과

지 점	토성	강열감량 (%)	총질소 (mg/kg)	총인 (mg/kg)
인공습지	L(양토)	5.9	271.6	829.5
침강지	SiL(실트질양토)	9.5	3,276.2	735.9

[표 5-3-7] 호소 퇴적물 오염평가 기준

항 목		등 급	I	II	III	IV
		유기물 및 영양염류	완전연소가능량(%)			
	총질소(mg/kg)					5,600 초과
	총인(mg/kg)					1,600 초과
비고 : 1. 등급별 퇴적물의 상태<유기물, 영양염류> - IV 등급 : 심각하고 명백한 오염						

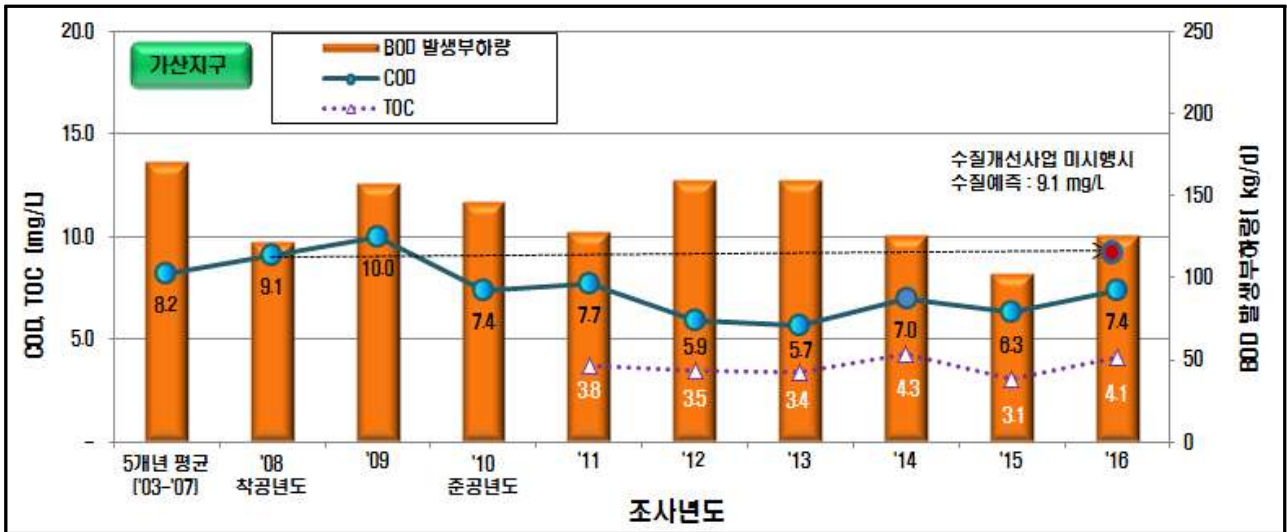
* 자료 : 국립환경과학원예규 제687호, 2015년

5.4. 저수지 수질변화 및 개선효과

- 가산저수지의 COD농도는 준공년도인 2010년 이후 2013년까지 지속적으로 감소하여 2015년에는 6.3mg/L, 금년도에는 7.4mg/L으로 다소 증가하였다. 2015년에 BOD 발생부하량은 102.1kg/d이었고 2016년에는 125.4kg/d로 증가한 것은 상류유역내 축산변화(돼지사육 증가)로 인한 것으로 보인다.
- 하지만 2010년 준공 이후 지속적으로 농업용수 수질기준인 8.0mg/L 이하를 만족하고 있고, TOC의 경우도 2016년 조사결과 지속적으로 농업용수 수질기준인 6.0mg/L 이하를 만족하고 있다.
- T-N의 경우 발생부하량은 준공년도인 2010년도의 103.4kg/d에 비해 2012년도와 2013년도 각각 113.2kg/d, 112.4kg/d로 높아졌음에도 불구하고 T-N농도는 0.618mg/L, 0.507mg/L로 낮아졌고, 2014년과 2015년에는 각각 2.074mg/L, 1.216mg/L로 극심한 가뭄으로 인해 조금 높아졌지만 금년도에는 0.796mg/L로 농업용수 수질기준인 1.0mg/L을 만족하고 하고 있다.
- T-P의 경우 오염부하 발생부하량이 준공년도인 2010년도에 12.5kg/d에서 2012년도에 11.3kg/d, 2013년도에 11.4kg/d로 낮아졌다. T-P농도는 2010년도 준공 이후 2011년도에 0.102mg/L로 높아졌으나, 이후로는 낮아져 2012년에 0.030mg/L, 2013년도에는 0.020mg/L로 낮아졌다. 그러나 2014년도에는 극심한 가뭄으로 전체적으로 저수지의 수질이 악화되어 T-P농도도 0.069mg/L로 높아졌지만 금년도에는 다시 0.018mg/L로 수질을 회복하여 2012년도 이후 지속적으로 농업용수 수질기준인 0.1mg/L 이하를 만족하고 있다.
- 가산저수지의 수질개선을 위해서는 상류대책으로 점오염원 중 57.5%를 차지하는 축산계 오염원을 저감하도록 하는 대책이 필요할 것으로 보인다. 축산폐수가 호내로 유입되는 것을 방지하도록 노력한다면 목표연도의 수질 달성 및 향후 지속적인 수질개선이 가능할 것으로 판단된다.

[표 5-4-1] 가산저수지 월별 저수율 현황

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월
저수율(%)	61.3	65.3	85.5	98.2	95.3	65.4	57.9	44.7	86.3	92.1	89.9



[그림 5-4-1] 가산지구 유역 연도별 BOD발생부하량 및 COD, TOC농도 변화



[그림 5-4-2] 가산지구 유역 연도별 T-N발생부하량 및 T-N농도 변화



[그림 5-4-3] 가산지구 유역 연도별 T-P발생부하량 및 T-P농도 변화

5.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안

- 2015년까지 평상시 1, 2호 수질정화시설 유입수의 양이 적어 인공습지로 물이 유입되지 못하는 기간이 길어져 인공습지 유입수량이 적어 식물이 잘 자라지 못하는 경향을 보이기도 했다. 하지만 '15년 수질개선시설 보강사업으로 펌프시설 및 취입보를 보강하였으며 이로 인해 습지내 지속적인 용수공급이 가능해져 2016년에는 인공습지에 식생하는 갈대 등의 식물 생장이 다소 향상되는 모습을 보였다.
- 가산저수지에는 인공습지로 물을 양수할 수 있는 양수장이 설치되어 있으므로 갈수기에는 펌프시설을 가동하여 지속적으로 물을 공급할 필요가 있다. 저수지의 물을 인공습지로 순환시키면서 저수지의 물을 다시 한 번 정화하는 효과도 있으므로 물을 지속적으로 순환시키는 적절한 유지관리가 필요하다.
- '15년 가산저수지 수질개선시설 보강사업으로 1호습지 가동보 1개소(L=4.0m, H=0.7m), 2호습지 펌프시설 1개소(D=100mm, 3대), 2호습지 우회수로 L=36.0m (0.6×0.6) 설치 등 주요시설물에 대한 보강을 실시하였다. 특히, 가산지 수질개선사업 시행당시 각낙판으로 되어 있던 취입보의 수위조절 장치를 가동보로 변경 설치하면서 수위 조절 및 강우시 긴급 대응이 가능해져 상류지역 침수에 대한 문제점 또한 해결할 수 있었다.
- 습지내 지속적인 유량확보를 위한 펌프시설과 취입보 개보수로 식재된 갈대 등 식생의 생장이 눈에 띄게 향상되는 결과를 나타냈다.
- 2호 습지내 배수로 누수가 발생하여 하자보수 조치하였으며, 2호 습지 농로 옆 침사지구간은 안전펜스를 설치하여 미연에 사고예방 조치를 하였다.
- 가산지의 경우 침강지내 퇴적토가 많이 침전되지 않아 현재까지는 퇴적토 준설은 필요치 않으며, 습지내 식재된 갈대는 지속적으로 제거(12월 초)하여 외부 반출하여 관리중이다.

5.6. 결론

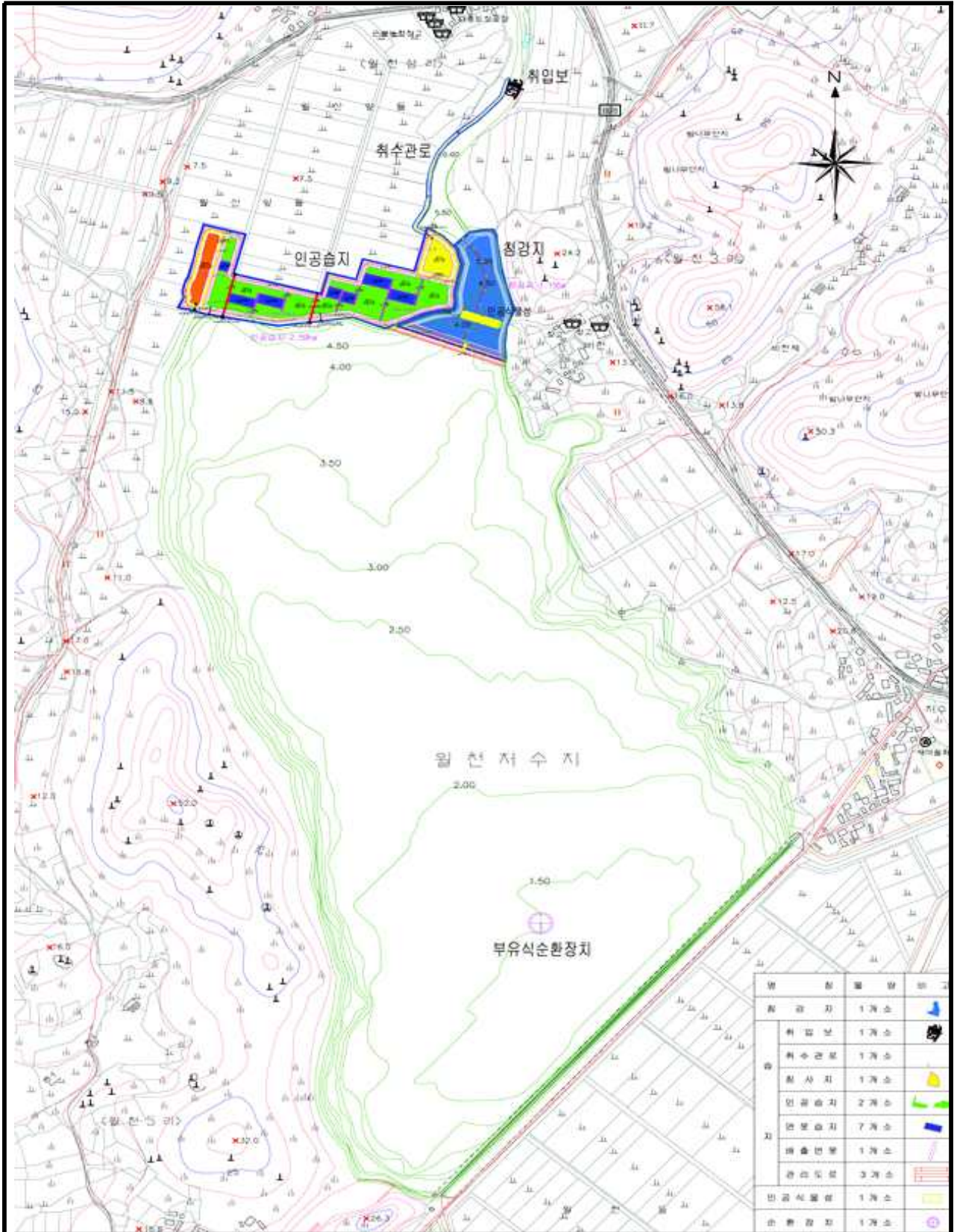
- 운영 6년차인 가산저수지의 '11년부터 '16년까지 인공습지의 수질성적을 비교하면 가뭄이 심했던 '14년을 제외하고는 SS, T-N, T-P가 점차 개선되는 것을 관찰할 수 있었고 침강지의 경우도 '14년을 제외하고는 수질성적이 점차 개선되는 것을 알 수 있다.
- 전체적으로 준공이후 목표수질을 만족하고 있으며, 펌프시설을 활용한 습지내 유입수량 조절과 지속적인 식생관리가 수반된다면 향후 가산저수지의 수질은 기본계획시의 목표수질 달성은 가능할 것으로 판단된다.
- '16년 수질개선 효과는 기본계획 대비 현재 COD 18.7%, T-N 32.4%, T-P 51.1%의 개선효과를 나타내고 있다.

6. 월천지구



-
- 6.1 지구현황
 - 6.2 기상 및 수질현황
 - 6.3 시설별 수질개선 효과
 - 6.4 저수지 수질변화 및 개선효과
 - 6.5 현장적용성 향상 및 유지관리 방안
 - 6.6 결 론

월천지구 수질개선사업 평면도



6.1. 지구현황

6.1.1 저수지 현황

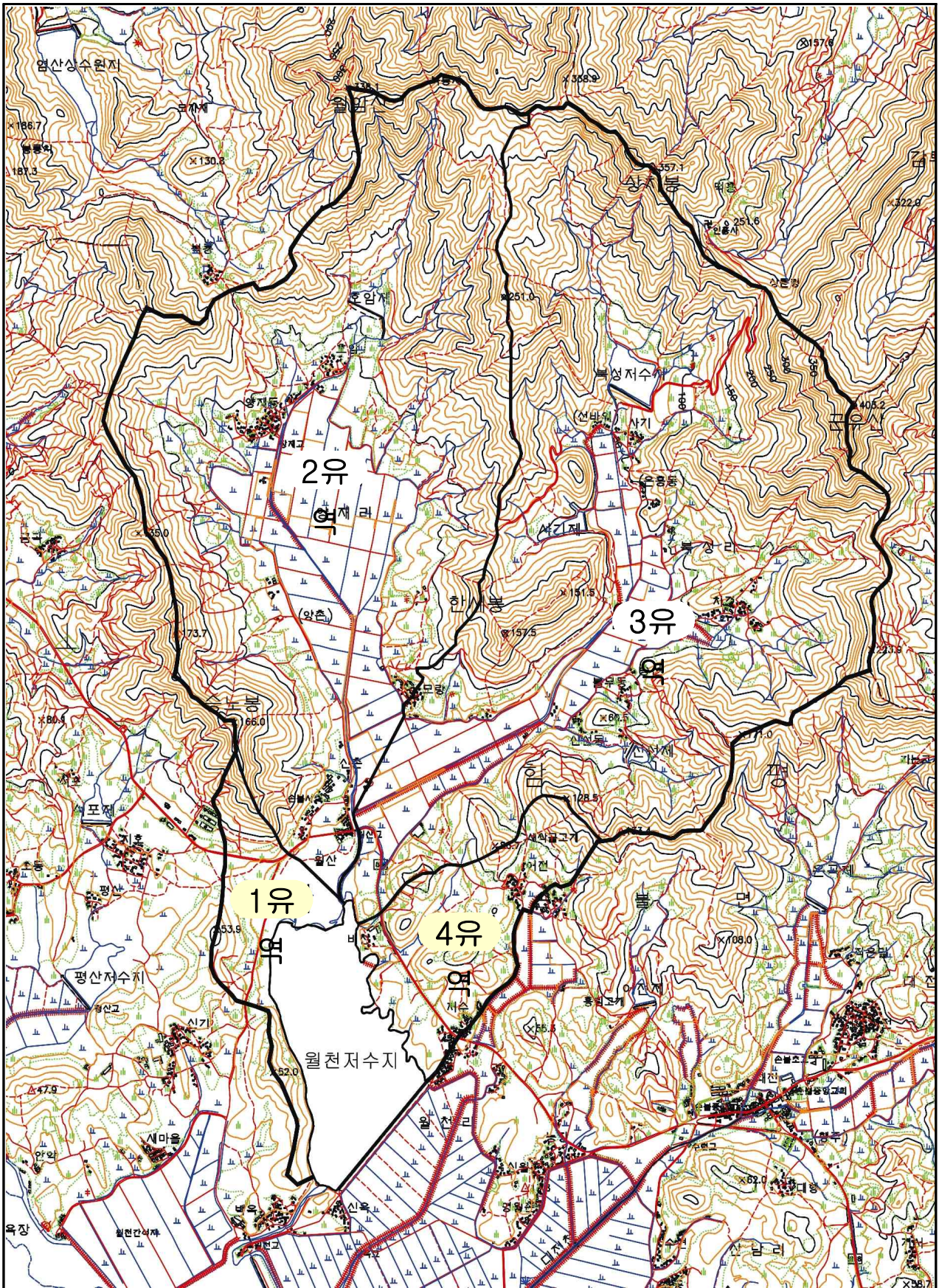
1) 유역현황

- 월천저수지가 위치한 함평군은 북위 35°58'~35°14', 동경 126°4'~126°22' 사이에 자리 잡고 있으며, 월천저수지는 행정구역상 전라남도 함평군 손불면에 속한다. 함평군의 북쪽은 영광군, 장성군, 남쪽은 무안군, 영암군, 동쪽은 광주광역시, 나주시, 서쪽은 서해와 접하고 있다. 함평군의 동·서간 거리는 약 26km, 남·북간 거리는 약 29km에 달하며 전남의 북서쪽에 위치하고 있다.

[표 6-1-1] 월천저수지 경위도상 위치

소재지	단	경도와 위도의 극점			연장거리
		지명	극점		
			동경	북위	
함평군	동단	월야면 외치리	126° 04'	35° 11'	동서간 26km
	서단	손불면 학산리	126° 22'	35° 08'	
	남단	학교면 월호리	126° 33'	35° 58'	남북간 29km
	북단	월야면 월계리	126° 36'	35° 14'	

- 월천저수지가 위치한 손불면은 서해안에 접한 함평군 북서쪽에 위치하여 영광군과 경계를 이루는 곳에 있다. 손불면은 크게 북동부의 산지와 남서부의 평야지대로 구분되며, 평야지대는 과거 간척을 통해 조성된 농경지가 주를 이룬다. 면내 하천은 복성소류지에서 발원하여 소하천과 합류 후 월천저수지를 거쳐 서해로 흘러가는 복성천이 있다.
- 월천저수지 유역은 손불면 북서부에 위치하고, 유역 동쪽의 균유산 404m를 정점으로 북쪽에 월암산 337m와 150m ~ 200m의 준령으로 둘러싸여 있으며, 북고남저형의 유역형상을 이루고 있다. 유역 내에는 복성, 호암 등 소규모 소류지 4개소가 있으며, 방류수는 모두 복성천과 소하천을 거쳐 월천저수지로 유입된다.




[그림 6-1-1] 월천저수지 구역도

2) 저수지 현황

- 월천저수지의 설치년도는 1926년이고, 유역면적은 1,308ha, 수혜농지는 356.3ha, 만수면적은 50.7ha이다. 하류농경지 362ha에 관개하는 손불면의 중요한 농업용수원이다.

[표 6-1-2] 월천저수지 주요시설 현황

소재지	전남 함평군 손불면 월천리	
설치년도	1926년	
유역면적	1,308ha	
유효저수량	2,203.75천톤	
수혜농지	356.3ha	
만수면적	50.7ha	
관리주체	함평지사	

6.1.2 수질개선시설 현황

1) 주요대책

- 월천저수지의 수질개선 대책은 유기물질에 대한 제거효과와 유량변동에 대한 대처 능력이 높고, 자연정화기능을 이용하는 생태공학적인 수질개선공법의 일종인 인공습지와 침강지가 주요 수질개선공법으로 선정되었다.
- 수질개선공법의 적용방법은 일강우량 30mm/d의 유출량을 기준으로 그 이하일 때는 인공습지를 통하여 저감되고, 초과된 양은 침강지에서 처리된 후 저수지로 유입되도록 하였다.
- 인공습지의 설치면적은 23,777m², 연못 7개소, 수심 0.8m 이며, 침강지는 11,479m², 부댐은 L=144m로 운영중에 있다.
- 호내 내부생산성 제어와 이상 녹조발생을 방지하기 위해 물순환장치 1기를 설치 하였으나, 현재는 보수를 위해 회수 처리 되었고, 침강지 내 인공식물섬 500m²가 설치되었다.

[표 6-1-3] 월천저수지 수질개선시설 현황

구분	대안	시설	규모	비고
1	평시 유출수 처리	인공습지	면적 : 23,777 m ²	
2	평시 및 강우 유출수 처리	침강지	면적 : 11,479 m ² , 부담 : 144 m	
3	침강지 녹조발생 억제	인공식물섬	면적 : 500 m ²	
4	저수지내 물순환	부유식 순환장치	1일 물순환량 : 54,000m ³	

※ 물순환장치는 2015년 고장, 회수 상태임

2) 인공습지

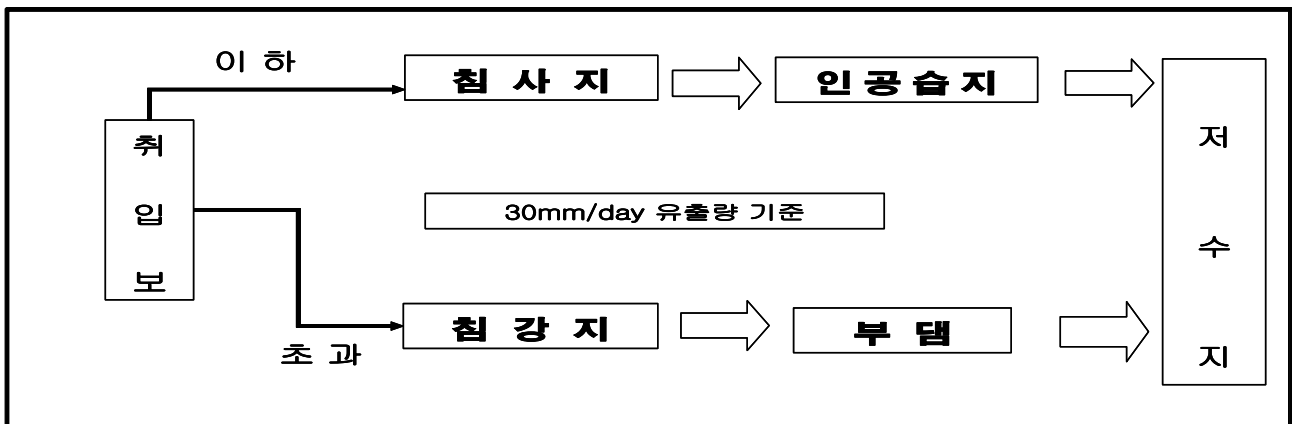
- 설계 유량은 일 30mm 이상 유출시의 유량은 침강지로 유입처리 하는 것으로 계획하고, 일 30mm 미만 유출시의 평균유입량을 인공습지 설계유량으로 적용하였다. 30 mm 미만 유출시의 평균유량은 20,487m³/일이므로 이 값을 설계유량으로 하였다. 인공습지에서 체류시간은 농업용수 수질개선 시험연구 결과 나타난 체류시간에 따른 수질정화효율 등을 참고하여 인공습지에서 12시간을 기준으로 적용하였다.
- 계획수심은 수생식물의 식생종을 단순화하고 연못 등 개방구간을 가급적 많이 두어 수질정화효과와 함께 저수지 상류지역 주민에게 경관효과를 창출, 저수지에 대한 애착을 고취시키도록 습지의 수심을 0.3m ~ 0.6m 내외로 계획하였다. 이를 바탕으로 인공습지는 1개소, 면적은 2.4ha로 하고, 습지 내에 침사지 1개소, 배출연못 1개소를 조성하였다.

[표 6-1-4] 인공습지 계획유량

구분	유역구분	유역면적 (ha)	평균 유입량(m ³ /일)			계획수량 (m ³ /일)	비고
			총유입량	일30mm 미만유입량	일30mm 초과유입량		
계		1,308.00	24,118.78	23,355.90	81,897.16	20,876.76	
인공습지	1	49.11	844.79	796.34	5,200.46		
	2	1,130.34	21,371.04	20,876.76	53,062.81		
	3	77.85	1,902.95	1,682.80	23,633.89		

[표 6-1-5] 인공습지 제원

구 분	규모	계획면적 (m ²)	계획수심 (m)	내용적 (m ³)	비 고	
인공 습지	인공습지	2개소	9,978	0.40	3,991	-
	연못습지	7개소	2,622	1.20	3,146	-
	침사지	1개소	1,325	1.50	1,988	-
	배출연못	1개소	1,374	1.20	1,649	-
	소계	-	15,299	-	10,774	-
	관리도로	-	10,601	-	-	-
합 계	-	25,900	-	10,774	-	



[그림 6-1-2] 인공습지 수리계통도



[그림 6-1-3] 인공습지 평면도



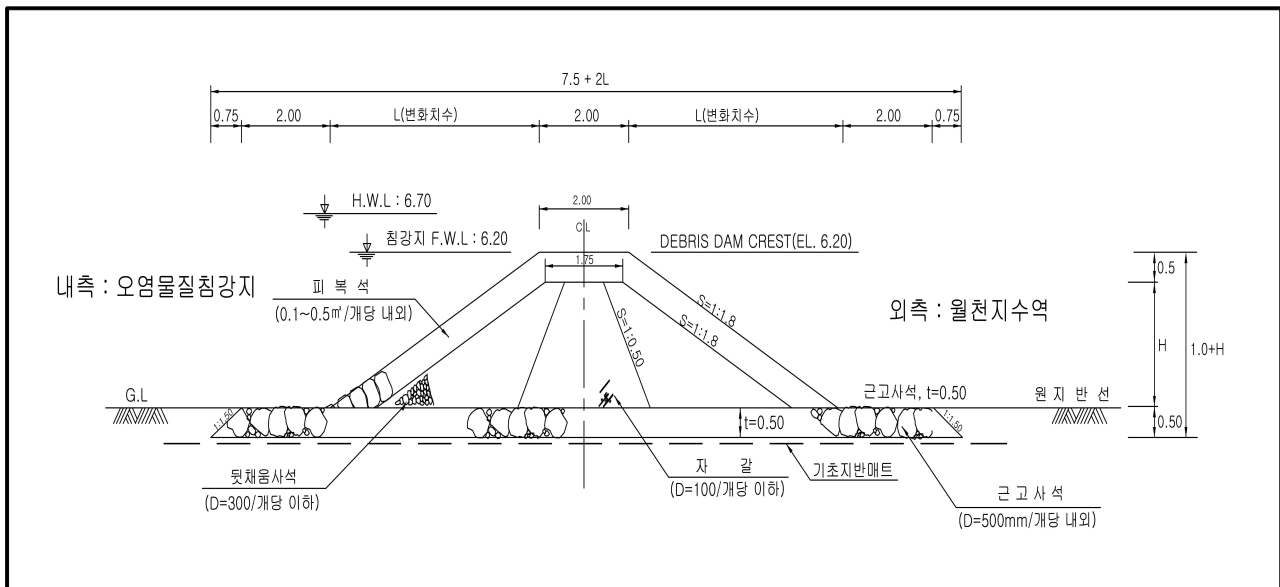
[그림 6-1-4] 인공습지 시설현황

3) 침강지

- 침강지 위치는 직접유역 중 오염물질 유입이 가장 많은 월천저수지 유입부인 하천 말단부 저수지내에 계획하였다. “농업용수 수질개선사업 조사·설계 메뉴얼”(2006년 한국농촌공사 농어촌연구원)에 의하면 침강지내에서의 체류시간은 6시간 정도만 되어도 높은 정화효과를 기대할 수 있으며, 12시간 정도로 증가시키는 것이 수질 정화 및 홍수조절에 유리한 것으로 되어 있다.
- 본 지구의 침강지 규모는 유역의 유출량(일평균 30mm초과 유출시 침강지 유입량)에 대하여 체류시간을 약 12시간 이상 확보할 수 있도록 계획하였다. 이를 바탕으로 침강지 면적은 13,775m²로 계획하였다.

[표 6-1-6] 침강지 제원

구 분	유 역		일30mm 초과유입량 (m ³ /일)	계획 수심 (m)	수표 면적 (m ²)	계획 내용적 (m ³)	체류 시간 (hr)	비 고
	유역 구분	면적 (ha)						
침강지	2	1,130.34	24,118.75	3.0	11,479	28,779	13.02	



[그림 6-1-5] 침강지 평면도



[그림 6-1-6] 침강지 시설현황

4) 기타 수질개선시설

- 호내 내부생산성 제어와 이상 녹조발생을 방지하기 위해 물순환장치 1기를 설치하였다. 2015년 2월 내구력 약화로 인한 고장으로 회수된 상태이며, 향후 예산 반영 검토 후 재설치 여부를 결정 할 예정이다.
- 침강지 녹조발생 억제를 위해 500m² 인공식물섬을 설치하였고 현재까지 양호한 상태로 운영되고 있다.
- '15년 인공습지 정화식물 보식사업 사업 개요
 - 사업비 : 69,339천원
 - 사업기간 : 2015. 10. 09. ~ 2015. 12. 17.
 - 사업내용 : 전도보 수리, 습지내 파형강관 매설, 표토제거 및 갈대보식 등

	공 란
인공식물섬	-

[그림 6-1-기] 기타 시설현황

6.2. 기상 및 수질환경

6.2.1 기상현황

1) 기온

- 월천저수지 유역과 가장 가까운 목포기상대에서 조사된 최근의 조사시기별 기온은 [표 6-2-1]와 같다. 시행전인 2009년에는 11월까지 평균기온은 14.7 °C로 평년값 14.8 °C와 유사하였다. 운영 첫해인 2012년의 경우 11월까지 평균기온은 14.1 °C로 평년의 평균기온보다 낮은 편이었다. 2013년도에는 11월까지 평균기온이 14.7 °C 까지 높아져 평년기온과 유사하였다. 2014년도와 2015년도는 11월까지 평균기온이 각각 15.0 °C와 15.2 °C로 다소 높아졌고, 2016년도는 16.1 °C로 평년의 14.7 °C 보다 크게 높아졌다.

[표 6-2-1] 월천저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포 [단위 : °C]

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
2009(시행전)	1.6	4.9	7.0	12.0	17.6	21.4	23.6	24.9	21.9	17.2	9.9	14.7
2010(시행전)	1.1	3.7	6.4	10.0	16.5	21.4	24.8	27.1	23.0	15.6	9.0	14.4
2011(시행전)	-2.3	2.4	4.8	10.6	17.0	21.0	25.3	24.6	21.7	15.2	12.5	13.9
2012(시행후)	0.5	0.2	5.3	12.0	17.6	21.9	25.1	27.0	20.9	16.0	8.8	14.1
2013(시행후)	0.6	1.8	6.1	10.4	17.2	22.0	26.4	27.8	22.4	16.9	9.6	14.7
2014(시행후)	2.3	3.6	7.7	13.2	17.8	21.7	24.5	24.1	22.2	16.9	10.9	15.0
2015(시행후)	2.5	3.2	6.9	12.7	17.7	21.5	24.8	25.9	22.0	17.3	12.2	15.2
2016(시행후)	0.9	3.3	8.4	15.5	19.8	23.0	26.9	27.8	23.0	17.2	11.5	16.1
평년	0.6	2.5	7.0	13.2	18.3	22.4	25.6	26.2	21.9	15.8	9.1	14.8

2) 강수량

- 목포기상대에서 관측된 최근의 총 강수량은 시행전인 2009년에는 11월까지 총 1,053.2mm였으나, 운영 첫해인 2012년에는 11월까지 1,502.9mm로 시행전에 비해 많은 강수가 있었다. 2013년에는 11월까지 1,072.7mm의 강우가 내려 11월까지 평년값인 1,134.3mm보다 다소 적었다. 2014년에는 995.4mm, 2015년에는 973.0mm가 내려 평년에 비해 적은 강우량을 기록하였다. 2016년에는 1,427.6mm로 평년보다 다소 많은 강우량을 보였다.

[표 6-2-2] 월천저수지 유역 사업시행 전후 월별 강수량 분포

[단위 : mm]

년도	01월	02월	03월	04월	05월	06월	07월	08월	09월	10월	11월	합계
2009	29.0	41.6	43.1	47.5	97.2	122.8	465.8	74.0	46.1	54.0	32.1	1053.2
2010	27.6	98.2	88.7	140.5	99.5	52.9	264.4	344.2	126.7	39.2	10.0	1291.9
2011	12.2	43.9	25.6	85.3	96.9	134.6	227.6	160.0	10.1	22.0	149.9	968.1
2012	14.1	28.9	136.6	107.2	26.9	51.7	319.4	443.4	259.3	65.9	49.5	1502.9
2013	14.2	51.0	68.9	41.6	140.7	84.4	224.9	176.8	153.6	17.4	99.2	1072.7
2014	12.4	15.8	92.3	71.4	72.8	69.9	136.8	255.0	74.7	98.6	95.7	995.4
2015	41.1	25.7	34.4	159.6	77.8	117.8	159.6	86.5	79.5	84.2	106.8	973.0
2016	49.7	45.2	55.2	185.0	104.5	116.1	301.3	81.0	251.2	216.7	21.7	1427.6
평균	37.1	47.9	60.8	80.7	96.6	181.5	308.9	297.8	150.5	46.8	48.8	1357.4

6.2.2 수질현황

1) 목표수질 설정

- 월천저수지의 목표수질은 농업용수 관리기준(IV등급) COD 8.0mg/L, T-N 1.0mg/L, T-P 0.1mg/L으로 설정되었다. 인공습지와 침강지의 설계조건과 처리효율을 적용하여 목표 연도인 2016년의 저수지의 수질을 예측한 결과 COD가 7.7mg/L, T-N 0.819mg/L, T-P 0.048mg/L였다. 하지만 올해 수질 조사 결과 목표를 달성하지 못한 것으로 나타났다.

[표 6-2-3] 월천저수지 목표수질

구 분	목표수질	기본계획 수립시 ('09년, A)	예측수질 ('16년)	'16년 (B)	개선효과(%)
					(A-B)/A
COD(mg/L)	8.0 이하	8.6	7.7	13.3	-54.7%
T-N (mg/L)	1.0 이하	1.471	0.819	1.994	-35.6%
T-P (mg/L)	0.1 이하	0.080	0.048	0.152	-90.0%
수질등급	IV 등급	V 등급	IV등급	VI등급	-
유해물질	사람의 건강보호에 관한 환경기준 만족				

2) 오염원 현황

- 오염원자료는 “농업용수 수질측정망조사 보고서”를 이용하였고, 오염원 조사는 수질 오염총량관리기본방침 제8조와 [별표]에 따라 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 토지계, 매립계 등으로 구분하여 조사하였다. 오염원은 수계오염총량기술지침에 따라 행정구역별과 배출원별로 조사하였으며, 환경기초시설도 함께 조사하였다. 월천저수지 유역내에는 양식계와 매립계는 없으며, 생활계, 축산계, 토지계에 대한 조사결과는 [표 6-2-4]와 [표 6-2-5]에 나타내었다.
- 점오염원 중 인구는 사업시행 전(2009년) 418명이었으나, 이후 지속적으로 감소하여 운영 첫해인 2012년 409명으로 줄어들었다. 2013년에는 406명으로 2012년도와 비슷했다. 2014년에는 430명으로 사업시행전인 2009년에 비해 증가하였으나, 2015년도 389명으로 사업시행전인 2009년도보다 감소하였다. 2016년에는 401명으로 소폭 증가하였다.

[표 6-2-4] 월천저수지 유역내 인구변화 추이

구 분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
인구(명)	408	409	406	430	389	401

- 축산의 경우 한우는 2009년에 1,109두, 준공연도인 2011년에는 1,338두로 증가되었고, 운영 첫해인 2012년에는 1,345두로 증가되었으나, 2013년에는 1,299두로 다소 감소되었다. 그러나 2014년에는 다시 증가되어 1,415두가 되었고, 2015년에는 1,283두로 감소하였다. 2016년에는 1,239두로 조금 감소하였다. 돼지의 경우는 2009년에 450두, 2010년에는 500두로 증가되어 2012년까지 500두를 유지하였으나, 2013년에는 480두로 다소 줄어들었고, 2014년부터 2016년까지는 사육두수가 없었다.

[표 6-2-5] 월천저수지 유역내 연도별 축산변화

구 분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
한우(두)	1,338	1,345	1,299	1,415	1,283	1,239
돼지(두)	500	500	480	-	-	-

- 비점오염원인 토지 이용현황은 임야가 610ha로 46.6%로 가장 많은 비율을 차지하고, 다음으로 대지 등 기타가 242ha로 18.5%, 답이 236ha로 18.0 %, 전이 220ha로 16.8%를 차지하고 있어 임야가 토지계의 대부분을 차지하고 있다. 월천저수지 유역은 논과 밭이 비슷한 특징을 가지고 있으며, 학교 및 관공서 등이 있어 대지 등 기타의 비율이 높은 것도 하나의 특징이다.

[표 6-2-6] 월천저수지 유역내 지목별 토지이용현황

구 분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
계	1,308	1,308	1,308	1,308	1,308	1,308
전(ha)	220	220	220	220	220	220
답(ha)	236	236	236	236	236	236
임야(ha)	610	610	610	610	610	610
기타(ha)	242	242	242	242	242	242

3) 오염부하량

- 월천저수지 유역내 오염물질 발생부하량은 오염원별 발생부하량은 [표 6-2-7]와 같으며, 연도별 발생부하량 변화는 [표 6-2-8]와 같다. 사업시행 전인 2009년에 BOD가 126.7kg/일, T-N 106.4kg/일, T-P 8.9kg/일이었으나, 2011년에는 BOD가 143.1kg/일, T-N 116.2kg/일, T-P 9.8kg/일로 증가되고, 2012년에는 2011년도와 차이가 없었다. 이후에는 다소 감소하여 2015년에는 BOD 122.5kg/일, T-N 106.3kg/일, T-P 7.97kg/일, 2016년에는 BOD 120.1kg/일, T-N 104.87kg/일, T-P 7.8kg/일로 시행전인 2009년도 수준으로 감소하였다.

[표 6-2-7] 2016년 월천저수지 유역내 발생부하량

구 분	점 오염원						비점오염원					계	
	생활계 (인)	축산계(두)			산업계 (m ³ /일)	소 계	토지현황(ha)				소 계		
		한우	젓소	돼지			전	답	임야	기타			
월 수	401	1,239	-	-	-		220	236	610	242			
발 생 부 하 량	BOD	19.6	83.0				102.6	3.5	5.4	6.1	2.4	17.5	120.1
		16.3%	69.1%	0.0%	0.0%	0.0%	85.5%	2.9%	4.5%	5.1%	2.0%	14.5%	100.0%
	T-N	5.3	49.6				54.9	20.8	15.5	13.4	0.1	49.8	104.7
		5.1%	47.4%	0.0%	0.0%	0.0%	52.4%	19.8%	14.8%	12.8%	0.1%	47.6%	100.0%
	T-P	0.6	4.3				4.9	0.528	1.440	0.854	0.073	2.9	7.8
		7.5%	55.3%	0.0%	0.0%	0.0%	62.8%	6.8%	18.5%	11.0%	0.9%	37.2%	100.0%

[표 6-2-8] 월천저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량

구 분	연도별 발생부하량(kg/d)						
	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
BOD	126.7	143.1	143.6	139.8	133.3	122.5	120.1
T-N	106.4	116.2	116.5	114.3	112.1	106.3	104.7
T-P	8.9	9.8	9.9	9.6	8.5	7.97	7.8

3) 수질현황

- 월천저수지의 수질현황을 살펴보면 COD가 준공이후인 2012년에 9.9mg/L이었으며, 2013년에서 2015년까지 8.1mg/L, 8.3mg/L, 8.3mg/L로 개선되는 양상을 보이다가 극심한 가뭄 등 기상이변과 2015년부터 비정상적인 습지 운행으로 2016년에는 13.3 mg/L로 급격히 높아졌다.
- TOC 결과 역시 2012년에 6.0mg/L이었으며, 2013년에서 2015년까지 4.7mg/L, 5.0mg/L, 4.5mg/L로 개선되는 양상을 보이다가 2016년에는 7.5 mg/L로 높아졌다.
- T-N도 2012년에는 1.229mg/L이었으며, 2013년에서 2015년까지 1.077mg/L, 1.041mg/L, 0.689mg/L로 개선되는 양상을 보이다가 2016년에는 7.5mg/L로 높아졌다.
- T-P도 2012년에는 1.088mg/L이었으며, 2013년에서 2015년까지 0.088mg/L, 0.068mg/L, 0.078mg/L로 개선되는 양상을 보이다가 2016년에는 0.152mg/L로 높아졌다.
- 시설보수와 갈대 식재가 완료됨에 따라 식재가 안정화되고 습지가 정상적으로 운영되면서 수질이 개선 될 것으로 기대된다.

[표 6-2-9] 월천저수지 수질현황

구 분 (mg/L)	5개년 평균 (‘04~‘08)	착공시 (‘09년)	수질 변화					목표년도 (‘16년)	목표수질
			‘11	‘12	‘13	‘14	‘15		
COD	9.2	8.3	7.0	9.9	8.1	8.3	8.3	13.3	8.0이하
TOC	-	-	3.7	6.0	4.7	5.0	4.5	7.5	6.0이하
T-N	-	1.503	1.726	1.229	1.077	1.041	0.689	0.994	1.0이하
T-P	-	0.069	0.079	0.088	0.068	0.068	0.078	0.152	0.1이하

6.3. 시설별 수질개선 효과

- 월천저수지 수질개선시설의 수질정화효율을 분석하기 위하여 [그림 6-3-1]과 같이 침강지 및 인공습지 유입부 ①, 인공습지 유출부 ②, 침강지 유출부 ③ 등 총 3지점이며, 퇴적물 조사 지점은 습지내부(S-1), 침강지 유출부(S-2) 등 총 2지점의 조사를 시행하였다. 하지만, 2016년에는 습지 내 정화식물 성장관리로 인해 유입수를 제한했으므로 습지 유출부 조사는 1회만 실시할 수 있었다.
- 월천저수지 수질개선시설은 정화시설 유입부의 전동식 취수보를 올리면 수위가 상승하여 강우시 상류지역이 침수하는 민원이 발생하여 2012년에는 침수 방지벽을, 2013년에는 우회수로를 설치하여 강우시 수위 상승에 따른 상류 월류 문제를 해결하여 2013년 하반기부터 수질정화시설이 정상 가동되기 시작하였다. 하지만, 2015년에 다시 취수부의 고장과 인공습지내 식재 보식 등의 문제로 인해 2016년까지 인공습지에 물이 정상적으로 공급되지 못하였다.

[표 6-3-1] 월천저수지 수질 및 퇴적물 조사시기

구 분	조사횟수	조사일자				
		1차	2차	3차	4차(강우시)	5차
수질조사	5회	2016.07.13	2016.08.30	2016.09.08	2016.09.30	2016.10.25
퇴적물조사	1회	2016.08.16	-	-	-	-



[그림 6-3-1] 월천지구 수질 및 퇴적물 조사 지점

6.3.1 인공습지 수질개선효과

- 인공습지의 수질조사 기간은 1차 조사 8월 30일, 2차 조사 9월 8일, 3차 조사 9월 28일, 4차 조사 10월 25일에 실시하였다. 유입수는 1차부터 4차까지 모두 채수하였고, 중간지점은 물흐름이 원활하지 않아 채수하지 못하였고, 유출수 역시 마지막 4차 때만 채수를 실시하였다. 퇴적물 조사는 8월 16일에 인공습지와 침강지 두 지점을 선정하여 1회 실시하였다.
- 수질조사 결과 습지 중간부의 미조사와 유출수의 1회 조사로 인해 분석은 유입수 평균값과 최종 유출수 값으로 실시하였다.
- 수온은 유입수 평균이 23.0℃, 최종 유출수는 18.1℃였고, pH는 유입수 평균이 7.9℃, 최종 유출수가 7.8℃로 유사하였다.
- EC는 유입수 평균이 471.0μS/cm, 최종 유출수가 291μS/cm이었다. 모든 지점에서 작물생육에 지장이 없는 기준인 700μS/cm에 비해 크게 낮은 경향을 보였다.
- DO는 유입수 평균이 6.7mg/L, 최종 유출수가 8.1mg/L로 농업용수 관리기준인 2.0mg/L 이상을 만족하였다.

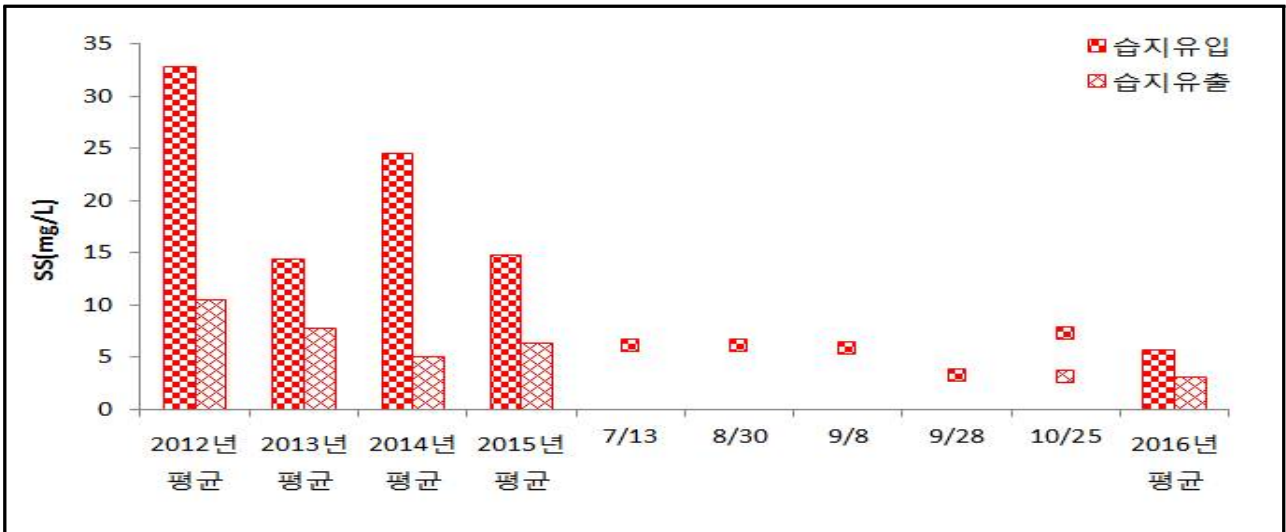
[표 6-3-2] 월천저수지 인공습지 수질변화

구 분		'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	1차 (7.13)	2차 (8.30)	3차 (9.8)	강우 (9.30)	4차 (10.25)	평균
수온 (℃)	유입수	18.6	22.1	23.9	25.4	23.6	24.8	25.7	23.1	18.4	23.1
	유출수	19.5	21.8	26.2	27.6					18.1	18.1
pH	유입수	7.5	7.5	7.6	7.3	7.5	7.6	7.3	8.8	8.0	7.8
	유출수	8.1	7.8	7.4	7.2					7.8	7.8
EC (μS/cm)	유입수	235	285	241	361	254	536	523	523	435	454
	유출수	286	223	240	207					291	291
DO (mg/L)	유입수	9.6	8.9	9.5	6.0	6.5	8.5	6.0	4.6	8.0	6.7
	유출수	9.4	8.3	6.8	3.8					8.1	8.1
SS (mg/L)	유입수	32.8	14.4	24.5	14.8	6.1	6.1	5.8	3.2	7.3	5.7
	유출수	10.5	7.8	5.0	6.4					3.1	3.1
BOD (mg/L)	유입수	3.1	4.3	3.8	10.7	7.2	7.0	5.5	6.6	6.6	6.6
	유출수	2.7	5.0	3.9	7.1					4.5	4.5
COD (mg/L)	유입수	5.8	5.9	6.8	9.7	7.0	7.4	7.2	7.0	8.0	7.3
	유출수	8.1	8.6	10.7	16.3					6.2	6.2
TOC (mg/L)	유입수		3.1	3.9	4.5	4.4	4.8	4.6	4.2	4.1	4.4
	유출수		5.6	6.2	8.1					3.7	3.7
T-N (mg/L)	유입수	4.801	4.791	5.364	20.718	6.044	19.161	16.461	13.904	17.926	14.699
	유출수	2.438	1.705	0.937	1.986					5.668	5.668
T-P (mg/L)	유입수	0.131	0.415	0.520	4.386	0.774	3.774	3.156	2.800	3.754	2.850
	유출수	0.116	0.105	0.155	1.797					1.055	1.055

[표 6-3-3] 5개년 월천지구 인공습지 정화효율

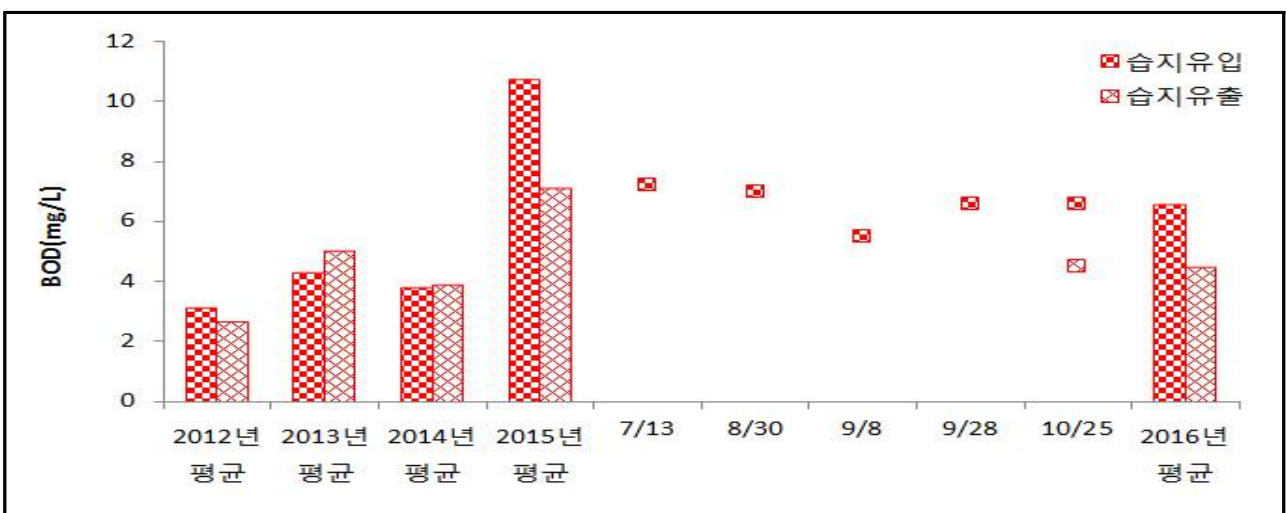
구 분		'12~16'년 평균		'12~16년' 평상시		'12~16년' 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	습지 유입수	104.1	70.1	19.3	-6.9	391.7	75.6
	습지 유출수	31.1		20.6		95.5	
BOD (kg/d)	습지 유입수	11.89	-0.3	7.3	-61.8	33.8	28.4
	습지 유출수	11.93		11.8		24.2	
COD (kg/d)	습지 유입수	24.7	-33.1	12.7	-83.0	75.2	-14.8
	습지 유출수	32.8		23.3		86.3	
TOC (kg/d)	습지 유입수	8.2	-59.9	7.6	-114.6	26.9	-3.5
	습지 유출수	13.1		16.3		27.9	
T-N (kg/d)	습지 유입수	16.812	65.7	13.241	71.7	41.363	61.6
	습지 유출수	5.762		3.753		15.879	
T-P (kg/d)	습지 유입수	1.818	69.3	1.597	67.9	4.116	70.5
	습지 유출수	0.558		0.512		1.215	
Chl-a (kg/d)	습지 유입수	15.2	-483.8	5.5	-768.7	51.5	-417.7
	습지 유출수	89.0		48.0		266.8	

- SS는 유입수 평균이 5.7mg/L, 최종 유출수는 3.1mg/L이었으며, 최근 5개년 간 SS의 정화효율을 살펴보면 평균 104.1kg/d가 유입되고 31.1kg/d가 유출되어 70.1%의 정화효율을 보였다.
- 연차별로 살펴보면 2012년부터 2016년까지 모든 년도에서 유출수가 유입수보다 SS농도가 낮아지는 경향을 보였다. 이는 인공습지를 흘러가면서 부유물질이 접촉 침전되기 때문이며, 향후 식물이 번성하면 SS 정화효율은 더욱 상승할 것으로 기대된다.



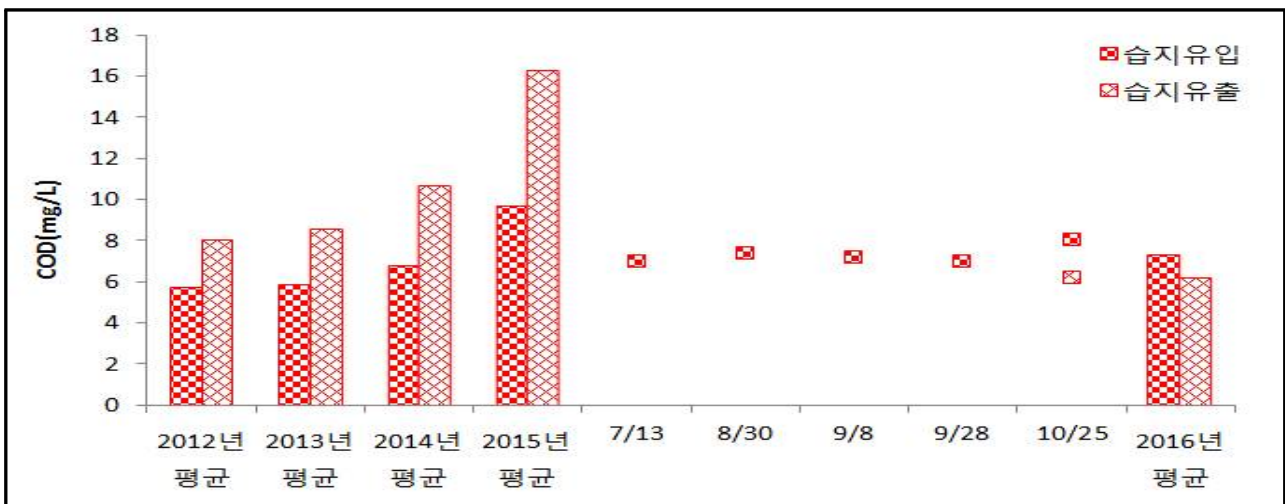
[그림 6-3-2] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화

- BOD는 유입수 평균이 6.6mg/L, 최종유출수는 4.5mg/L로, 연차별로 살펴보면 '13년, '14년에는 유입수에 비해 유출수가 높아지는 경향을 보였지만, '15년, '16년에는 유입수에 비해 유출수에서 BOD가 점차적으로 낮아지는 경향을 보였다.
- '12년에서 '16년까지 전체 평균 BOD 정화효율은 습지 유출수에서 오히려 높아지는 경향을 보이지만, 2016년에 시설 보수 및 수생식물이 정착하는 과정에 있으므로, 향후에는 정화효율이 향상될 것으로 예상된다.
- 최근 5개년 간 BOD 정화효율은 11.89kg/d가 유입되고 11.93kg/d가 유출되어 -0.3%를 나타냈다.



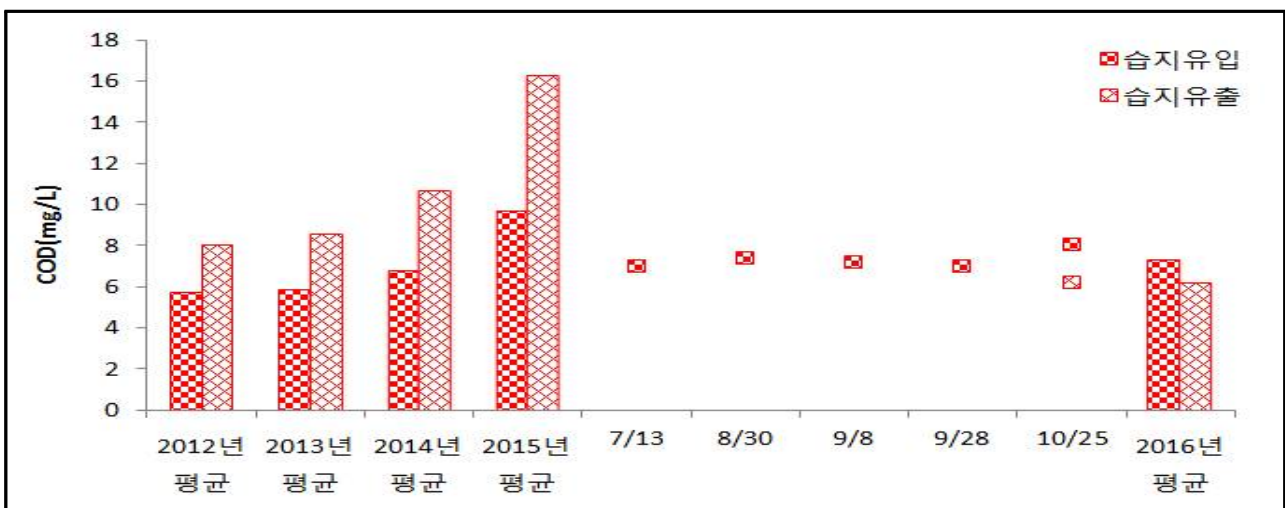
[그림 6-3-3] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화

- COD는 유입수 평균이 7.3mg/L이고, 최종 유출부에서는 6.2mg/L로 낮아졌다.
- 연차별로도 모두 유입수에 비해 유출수에서 높은 경향을 보였다.
- 최근 5개년 COD의 정화효율은 24.7kg/d가 유입되고 32.8kg/d가 유출되어 -33.1%을 나타냈다. 이와 같이 COD가 정화되지 않는 것은 그 동안 유입수가 정상적으로 공급되지 못하여 갈대, 줄 등의 정수식물이 성장하지 못하고, 잡풀이 성장 및 고사하면서 유기물이 유출되기 때문인 것으로 판단된다.



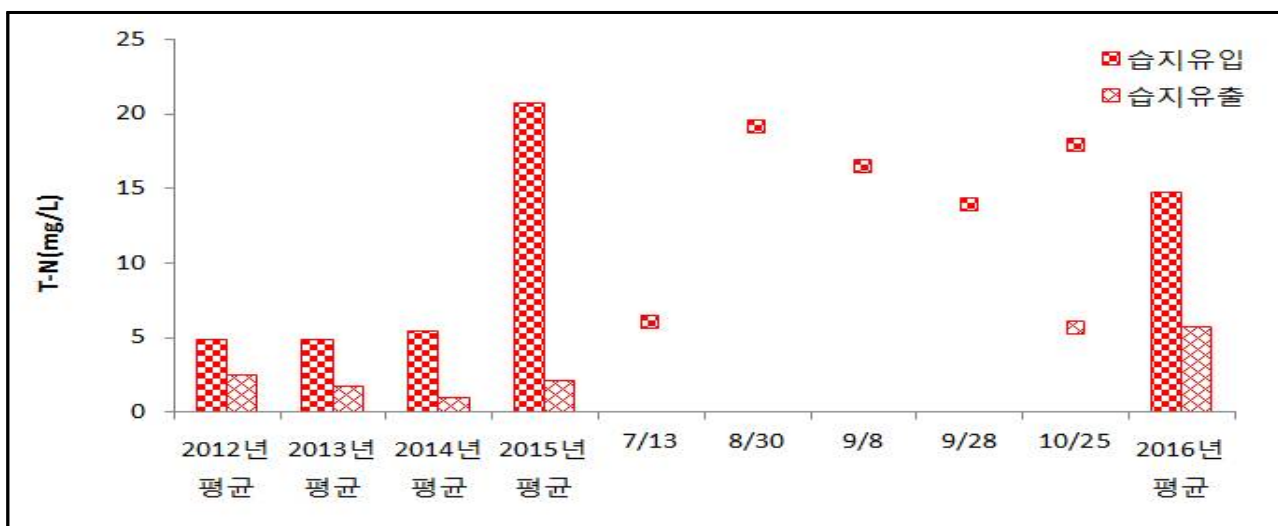
[그림 6-3-4] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC의 경우도 유입수 평균이 4.4mg/L, 최종 유출부에서는 3.7mg/L로 낮아졌다.
- 연차별로는 2016년을 제외한 모두 연도별 유입수에 비해 유출수가 높은 경향을 보였다. 최근 5개년 TOC정화효율은 평균 8.2kg/d가 유입되고 13.1kg/d가 유출되어 -59.9%을 나타냈다.



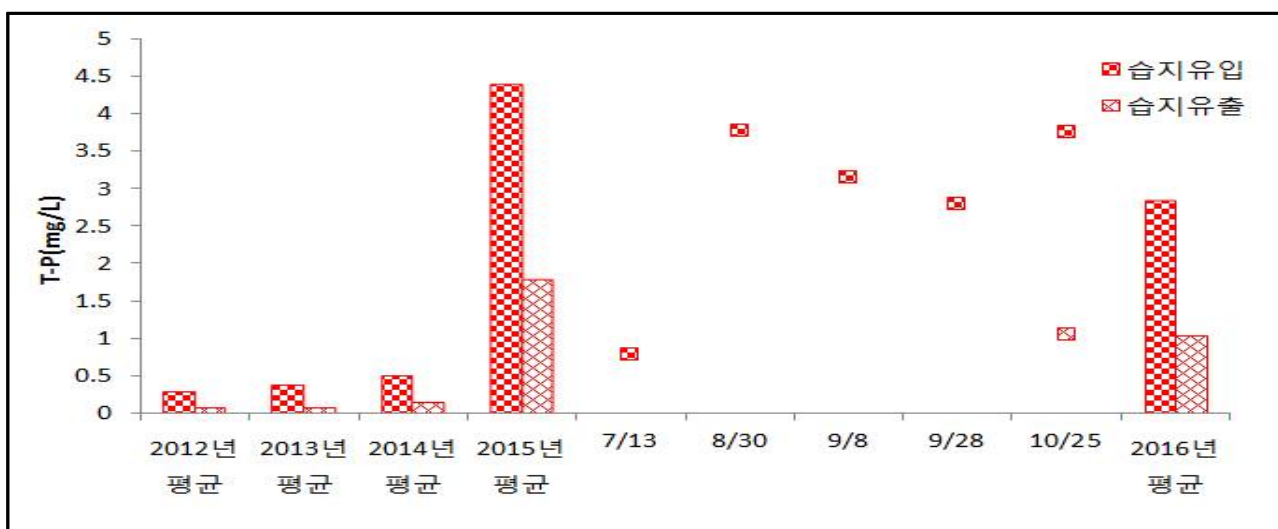
[그림 6-3-5] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N의 경우는 유입수 평균이 14.7mg/L이며, 최종 유출수는 5.7mg/L로 많이 낮아졌다. 연차별로도 2012년도부터 2016년도까지 모두 유입수에 비해 유출수의 T-N농도가 낮아져 질소가 정화되고 있는 양상을 보였다.
- 최근 5개년 정화효율은 평균적으로는 16.8kg/d가 유입되고 5.8kg/d가 유출되어 65.7%을 나타냈다.



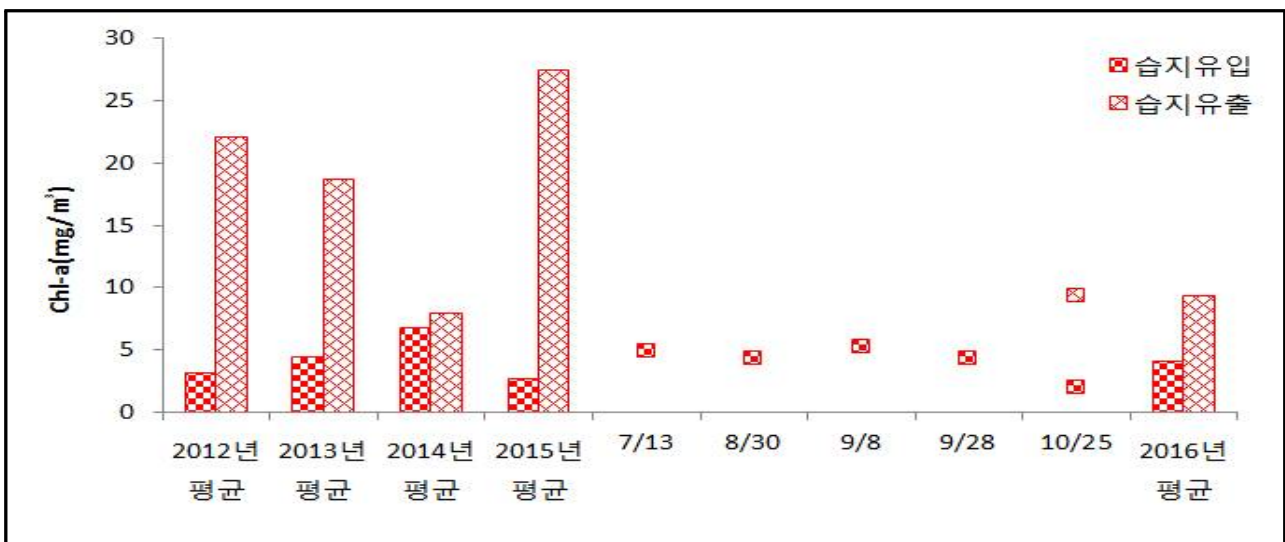
[그림 6-3-6] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P는 유입수 평균이 2.852mg/L이었으며, 최종 유출수는 1.055mg/L로 유입수에 비해 낮아졌다. 연차별로도 2012년에서 2016년 까지 모두 유입수의 T-P농도에 비해 유출수의 T-P농도가 낮아져 인공습지에서 인이 정화되고 있는 것으로 보인다.
- 최근 5개년 T-P의 정화효율은 평균적으로 1.818kg/d가 유입되고 0.558kg/d가 유출되어 69.3%을 나타냈다.



[그림 6-3-기] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- Chl-a의 경우 유입수 평균이 4.2mg/m³, 최종 유출수는 9.4mg/m³으로 더욱 높아졌다.
- 연차별로도 2012년에서 2016년도까지 모두 유입수에 비해 유출수에서 높아진 것으로 나타났다.
- 이와 같이 습지를 지나면서 Chl-a가 높아진 것은 올해 유입수의 공급이 원활하지 못하여 물이 오랫동안 습지에 머물고, 식물이 자라지 않아 햇빛이 침투하여 광합성이 활발히 이루어져 조류가 성장하였기 때문으로 판단된다. 또한 배출연못에서도 물이 정체되고 광합성이 활발히 이루어져 녹조가 발생하였기 때문이다.
- 그러나 '15년에 유입수를 원활하게 공급하기 위해 취입보 보수가 완료되었고, '16년에 습지 내 갈대를 추가 식재하여 식물이 정착하여 자라면서 Chl-a 정화효율도 상승될 것으로 기대된다.
- 최근 5개년 Chl-a의 정화효율은 평균 유입부하량은 15.2kg/d이고 유출부하량은 89.0kg/d로써 -483.8%을 나타냈다.



[그림 6-3-8] 월천지구 인공습지 유입수 및 유출수 Chl-a 변화

6.3.2 침강지 수질개선효과

- 침강지의 수질조사 기간은 1차 조사 8월 30일, 2차 조사 9월 8일, 3차 조사 9월 28일, 4차 조사 10월 25일에 실시하였다. 침강지의 유입수와 유출수를 각각 조사하여 그 분석 결과를 가지고 비교·분석하였다.
- 수온은 유입 평균이 23.0℃이고, 유출수 평균은 25.4℃로 다소 높아지는 일반적인 경향을 보였다.
- pH는 유입수 평균이 7.9이고, 유출수 평균은 8.5로써 다소 높아졌으나, 대부분 농업용수 관리기준인 6.0 ~ 8.5를 만족하였다.
- EC는 유입수 평균이 471.0µS/cm, 유출수 평균은 430.8µS/cm로써 다소 낮아지는 경향을 보였고, 유입수와 유출수 모두 식물생장에 지장이 없는 기준인 700µS/cm에 비해 크게 낮은 값을 보였다.
- DO는 유입수 평균이 6.7mg/L이고, 유출수 평균은 10.3mg/L로 유출수가 높은 경향을 보였다. 또한 DO는 유입수와 유출수 모두 호소의 농업용수 관리기준인 2.0mg/L 이상을 만족하고 있었다.

[표 6-3-4] 월천저수지 침강지 수질변화

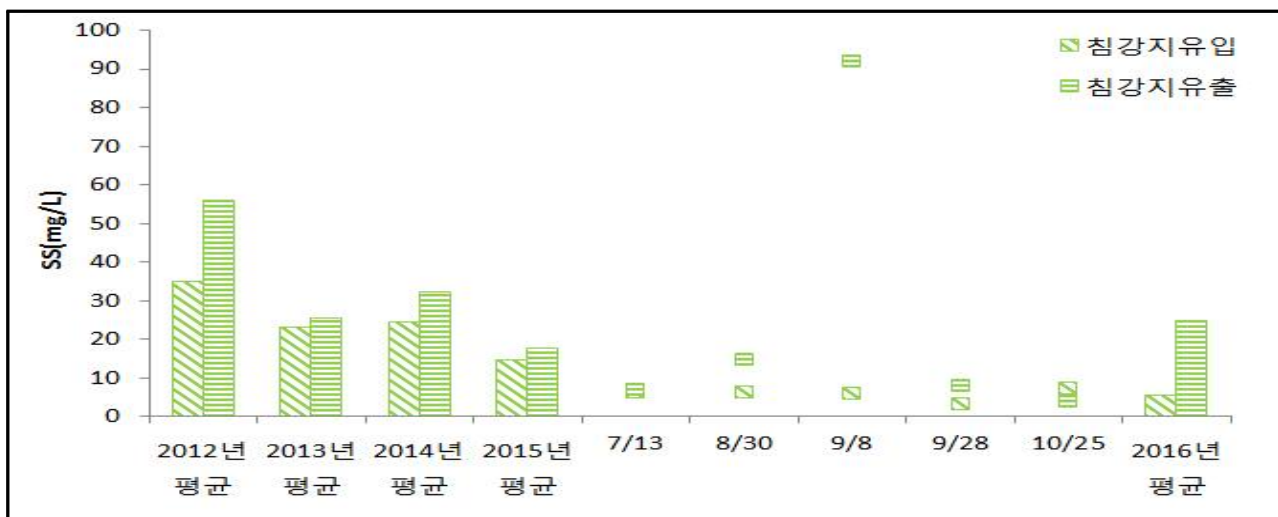
구 분		'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	1차	2차	3차	강우	4차	평균
수온 (℃)	유입수	18.6	22.1	23.9	25.4	23.6	24.8	25.7	23.1	18.4	23.1
	유출수	21.1	26.4	25.8	23.6	23.8	25.3	24.6	25.3	24.6	24.7
pH	유입수	19.5	21.8	26.2	27.6	7.5	7.6	7.3	8.8	8.0	7.8
	유출수	7.8	7.92	8.84	8.09	7.3	8.2	8.8	8.7	8.2	8.2
EC (µS/cm)	유입수	235	285	241	361	254	536	523	390	435	427
	유출수	243	200	200	242	228	374	596	417	336	390
DO (mg/L)	유입수	9.6	8.9	9.5	6.0	6.5	8.5	6.0	4.6	8.0	6.7
	유출수	10.1	9.0	12.7	7.3	8.5	12.4	8.2	12.4	8.2	9.9
SS (mg/L)	유입수	32.8	14.4	24.5	14.8	6.1	6.1	5.8	3.2	7.3	5.7
	유출수	56.3	25.8	32.4	17.9	6.9	14.7	92.0	7.9	3.7	25.0
BOD (mg/L)	유입수	3.1	4.3	3.8	10.7	7.2	7.0	5.5	6.6	6.6	6.6
	유출수	3.8	4.3	8.9	5.5	8.5	9.3	7.5	7.8	7.7	8.2
COD (mg/L)	유입수	5.8	5.9	6.8	9.7	7.0	7.4	7.2	7.0	8.0	7.3
	유출수	9.3	8.6	9.1	8.4	10.2	8.0	44.0	8.4	5.6	15.2
TOC (mg/L)	유입수	-	3.7	3.9	4.5	4.4	4.8	4.6	4.2	4.1	4.4
	유출수	-	4.7	5.1	4.0	5.8	4.8	21.6	4.1	3.0	7.9
T-N (mg/L)	유입수	5.200	6.421	5.364	20.718	6.044	19.161	16.461	13.904	17.926	14.699
	유출수	5.105	3.728	3.123	6.990	3.752	10.769	6.418	14.581	8.326	8.769
T-P (mg/L)	유입수	0.131	0.651	0.520	4.386	0.774	3.774	3.156	2.800	3.754	2.850
	유출수	0.444	0.210	0.240	1.238	0.659	2.190	1.302	2.927	1.365	1.690

[표 6-3-5] 월천저수지 침강지 정화효율

구 분		'12~'16년 전체		'12~'16년 평상시		'12~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	침강지 유입	935.0	-49.3	21.8	-130.1	2030.9	-48.3
	침강지 유출	1396.3		50.1		3011.8	
BOD (kg/d)	침강지 유입	89.6	-20.0	19.5	13.0	173.8	-24.4
	침강지 유출	107.5		16.9		216.2	
COD (kg/d)	침강지 유입	193.7	-28.3	17.2	-15.4	405.5	-29.0
	침강지 유출	248.6		19.8		523.1	
TOC (kg/d)	침강지 유입	48.9	-7.4	8.3	-19.8	170.5	-5.6
	침강지 유출	52.5		9.9		180.2	
T-N (kg/d)	침강지 유입	105.5	5.7	22.4	46.9	205.3	0.3
	침강지 유출	99.5		11.9		204.7	
T-P (kg/d)	침강지 유입	10.9	2.0	3.4	65.9	19.9	-11.1
	침강지 유출	10.7		1.2		22.1	
Chl-a (g/d)	침강지 유입	188.6	-364.6	8.3	-1042.6	404.9	-347.9
	침강지 유출	876.2		95.0		1813.5	

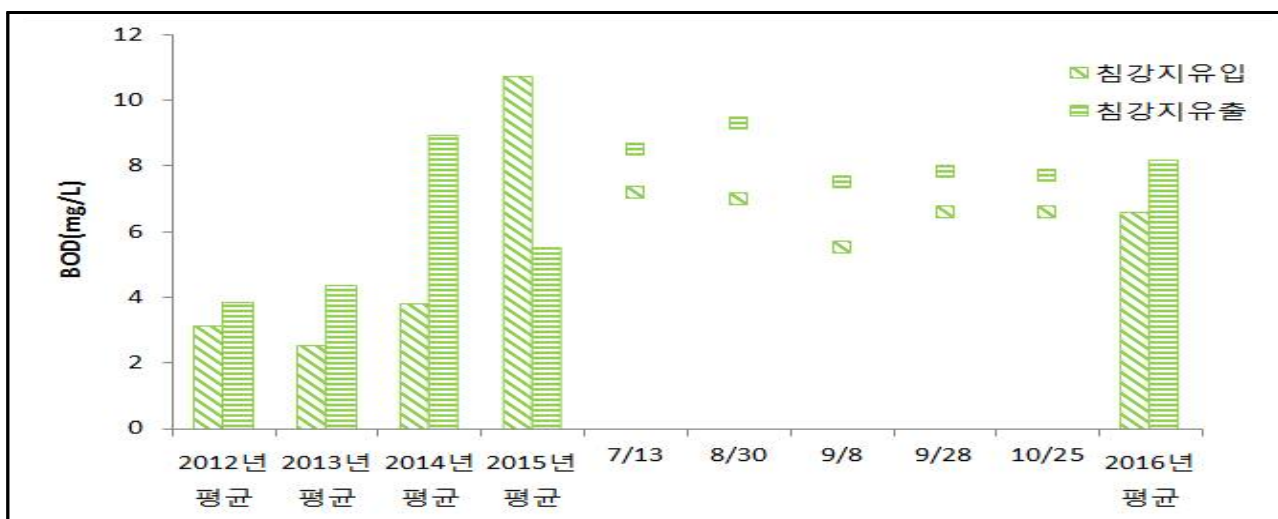
※ 16년 유입유량 미조사로 제외

- SS는 유입수 평균이 5.7mg/L이고, 유출수 25.0mg/L로 유입수에 비해 유출수가 높은 경향을 보였다.
- 연차별로도 모든 년도의 유입수에 비해 유출수가 높은 경향을 보였다.
- 침강지는 개방된 구간이기 때문에 햇빛을 받아 조류가 활발히 성장하여 이의 영향으로 SS농도가 높아지는 것으로 판단된다. 또한 침강지는 수면적이 크게 넓어지는 저수지 유입부에 조성하여 유속을 급속히 감소시켜 부유물질이 침강되도록 조성하는 것이 일반적이다.
- 반면 월천지구의 경우 침강지가 하천형으로 구성되어 있어 수면적이 크게 넓어지지 않아 유속의 저하가 크지 않아 부유물질의 침강효율이 적은 것도 침강지의 효율이 낮은 원인의 하나이다.
- 또한 평상시에는 모두 인공습지로 유입되어야 하지만, 취입보를 가동하지 못해 침강지로 유입되어 조류가 발생하고, 강우시에 유속이 느려지지 않아 평상시에 발생된 조류가 유출되어 침강지를 거치면서 SS가 높아진 것으로 판단된다.

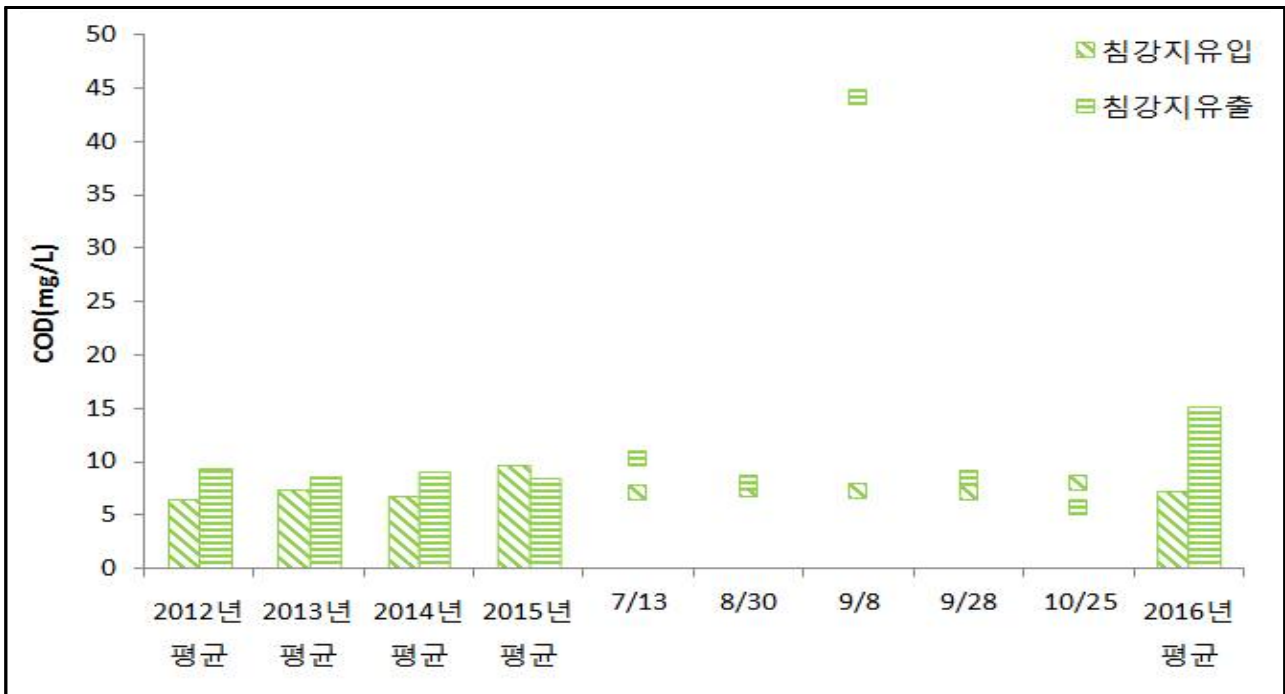


[그림 6-3-9] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수의 SS 변화

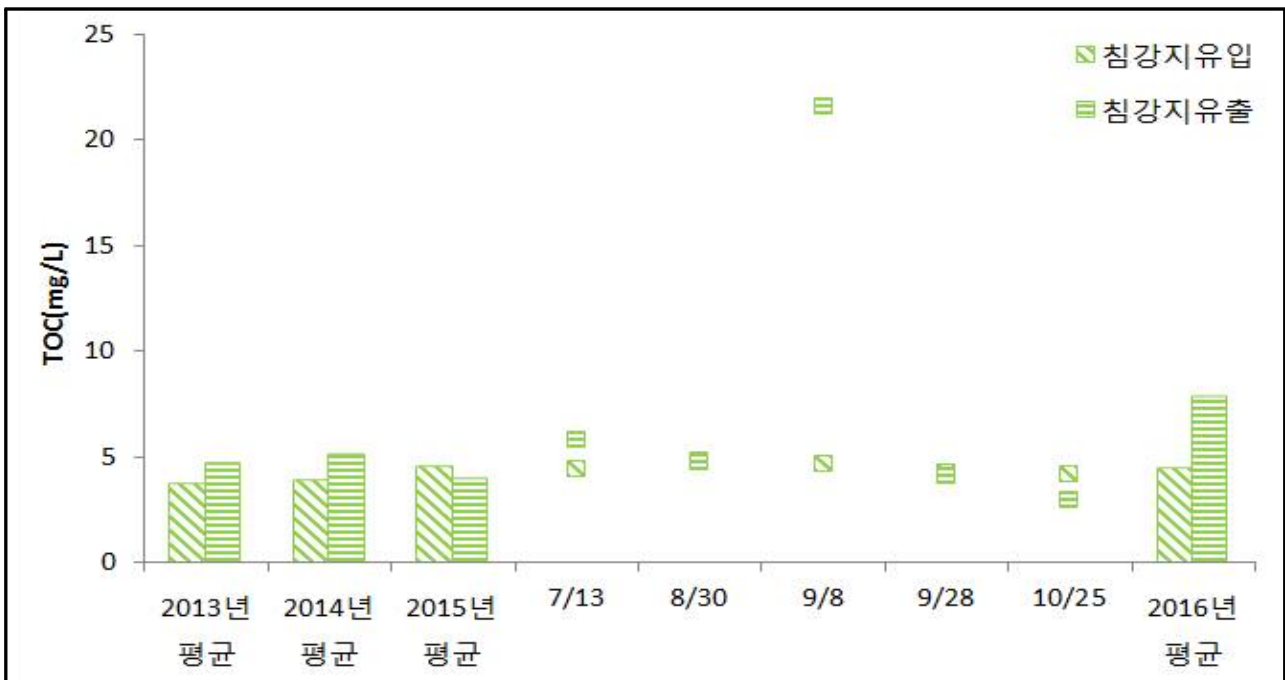
- 유기물 지표인 BOD는 유입수 평균이 6.6mg/L, 유출수 평균은 8.2mg/L로 높아졌다. 또다른 유기물 지표인 COD, TOC의 경우도 같이 COD의 유입수 평균은 7.3mg/L에서 유출수 평균은 15.2mg/L로 높아졌다. TOC의 경우도 평균 유입수가 4.4mg/L였으며, 최종 유출수는 7.8mg/L로 높아졌다.
- 침강지에서 유기물 농도가 높아진 것은 Chl-a 농도가 높아진 것으로 보아 침강지에서 내부생산에 의해 유기물이 생성되기 때문인 것으로 보인다.
- 즉, 침강지는 평상시에는 물이 유입되지 않고, 강우시 설계 강우 이상만 침강지를 거쳐 저수지로 유입되어야 하나, 평상시에도 지속적으로 침강지로 오염된 물이 유입되고, 이 영향으로 내부생산에 의해 조류가 증식하면서 유기물 농도가 높아진 것으로 판단된다.



[그림 6-3-10] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수의 BOD 변화

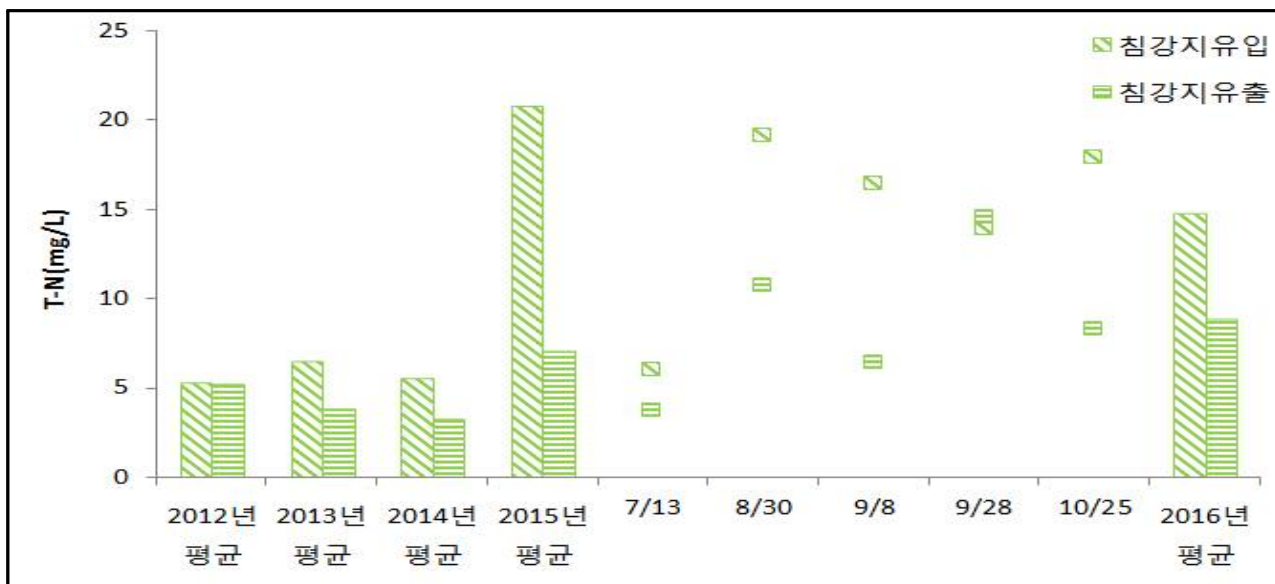


[그림 6-3-11] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수의 COD 변화



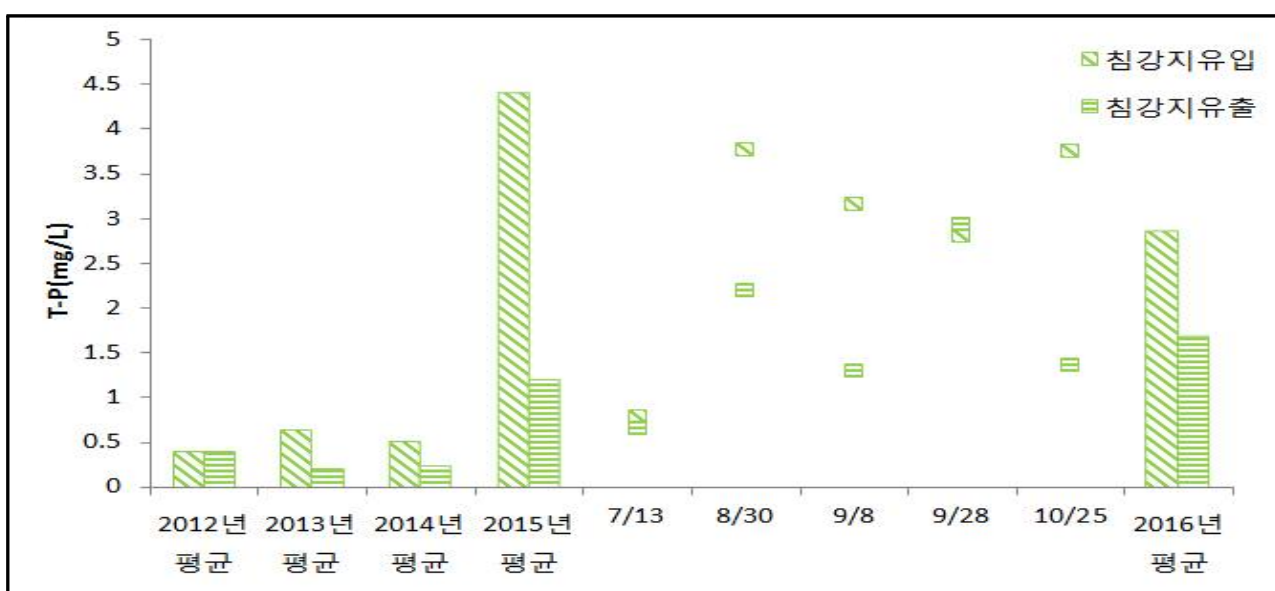
[그림 6-3-12] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수의 TOC 변화

- T-N의 경우 유입수 평균이 14.7 mg/L였으며, 최종 유출수는 8.8 mg/L로 낮아졌다.
- 연차별로 2012년부터 2016년까지 유입수에 비해 유출수의 T-N 농도가 낮아져 인공 습지에서 질소 농도가 저감되고 있는 것으로 보인다.



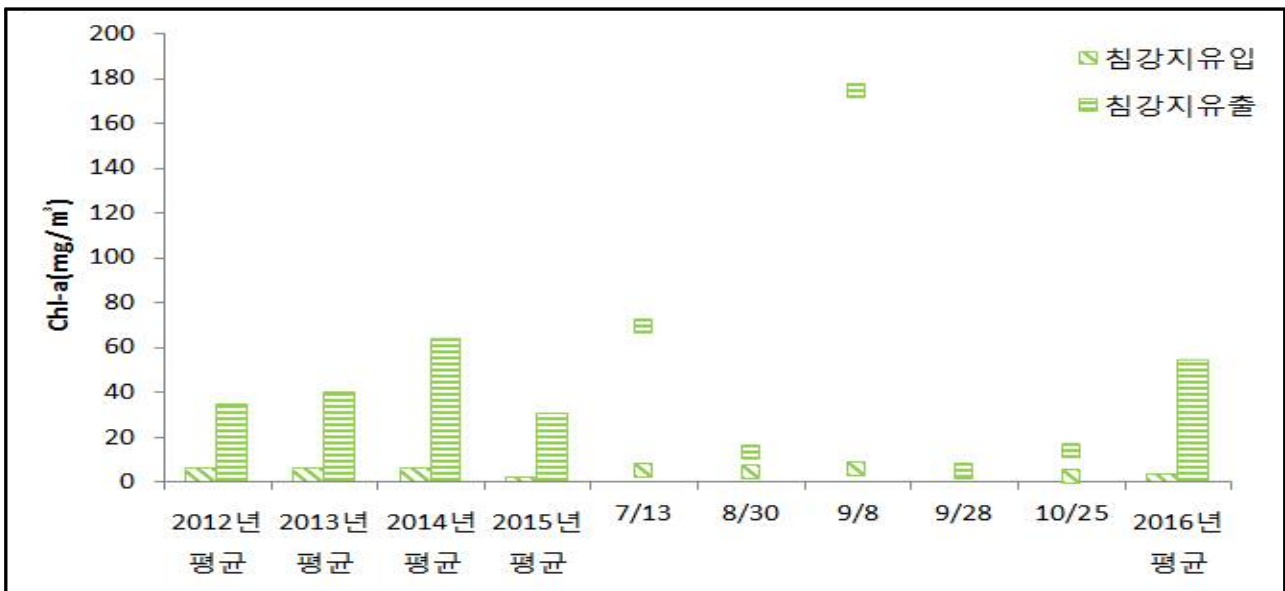
[그림 6-3-13] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수의 T-N 변화

- T-P의 경우도 평균 유입수의 농도가 평균 2.8mg/L, 최종 유출수는 평균 1.7mg/L로 낮아졌고, 연차별로도 유출수에서는 모두 낮아지는 경향을 보여주었다.



[그림 6-3-14] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수의 T-P 변화

- Chl-a의 경우 유입수가 평균 4.2mg/L였으나, 유출수는 평균 55.0mg/L로 유출수에서 높아졌다. 연차별로도 모두 유입수에 비해 유출수에서 높아지는 경향을 보였다.
- 이와 같이 침강지를 거치면서 Chl-a 농도가 높아지는 것은 월천지구의 경우 취입보 운영상의 문제로 평상시에도 침강지로 질소, 인이 공급되어 조류가 많이 성장하고, 강우시에는 침강지가 하천형이기 때문에 유속이 감소되지 못해 조류가 많이 유출되고 있으며, 이로 인해 침강지에서 Chl-a 정화효과가 거의 없는 것으로 판단된다.



[그림 6-3-15] 월천지구 침강지 유입수 및 유출수의 Chl-a 변화

6.3.3 퇴적물 조사 결과

- 인공습지 및 침강지의 퇴적물 조사결과 인공습지의 토성은 사양토(SL)였으며, 강열감량 결과 2.6%, 총질소 166.0mg/kg, 총인은 160.2mg/kg이었다.
- 침강지의 토성은 미사질양토(SiL)로써 강열감량 결과 2.6%였으며, 총질소는 2,811.7 mg/kg, 총인은 1,609.2mg/kg로 침강지 내부 퇴적물이 총인 농도는 오염평가 기준을 다소 초과하고 있음을 알 수 있었다.

[표 6-3-6 월천저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사 결과

지점	토성	강열감량 (%)	총질소 (mg/kg)	총인 (mg/kg)
월천 인공습지	SL	2.6	166.0	160.2
월천 침강지	SiL	8.8	2,811.7	1,609.2

[표 6-3-7] 호소 퇴적물 오염평가 기준

항 목		등 급	I	II	III	IV
유기물 및 영양염류	완전연소가능량(%)			-		13 초과
	총질소(mg/kg)			-		5,600 초과
	총인(mg/kg)			-		1,600 초과
비고 : 1. 등급별 퇴적물의 상태<유기물, 영양염류> - IV 등급 : 심각하고 명백한 오염						

* 자료 : 국립환경과학원예규 제687호, 2015년

6.4. 저수지 수질변화 및 개선효과

- 월천지구 수질정화시설은 운영 5년차로서 BOD 발생부하량이 준공년도인 2011년의 143.1kg/d에 비해 2012년에는 143.6kg/d, 2013년에는 139.8kg/d, 2014년에는 133.3 kg/d, 2015년에는 122.5kg/d로 낮아졌다. 2016년에는 120.1kg/d로 조금 더 낮아지는 양상을 보였다.
- 저수지의 COD 및 TOC 농도는 준공년도인 2011년도의 7.0mg/L 및 3.7mg/L에서 2012년도에 9.9mg/L 및 6.0mg/L로 높아졌으나, 2013년, 2014년도 및 2015년도에는 COD가 각각 8.1mg/L, 8.3mg/L 및 8.3mg/L로 농업용수 관리기준에 근접하였다.
- 2016년에는 13.3mg/L로 다소 높아졌다. TOC는 2013년부터 2015년까지 4.7mg/L, 5.0mg/L, 4.5mg/L로 관리기준을 만족하였으나, 2016년에는 7.5mg/L로 다소 높아졌다.



[그림 6-4-1] 월천지구 유역 연도별 BOD발생부하량 및 COD, TOC농도 변화

- 월별 저수율 현황과 비교해 볼 때 조사시기인 8월부터 10월까지 37.6%~67.5%로 연중 최저치를 기록하여 오염 부하량을 가중시키는 결과를 도출했다.

[표 6-4-1] 월천저수지 월별 저수율 현황

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월
저수율(%)	66.5	78.7	92.0	99.4	99.5	68.6	85.9	60.6	37.6	67.5	80.0

- 월천저수지 유역의 T-N 발생부하량은 준공년도인 2011년에 116.2kg/d이고, 2012년에는 116.5kg/d, 2013년에는 114.3kg/d, 2014년에는 112.1kg/d, 2015년에는 106.3 kg/d로 낮아졌다. 2016년에는 104.7kg/d로 더욱 낮아졌다.
- 월천저수지의 T-N 농도는 준공 이후인 2012년 1.229mg/L에서 지속적으로 낮아져 2015년에는 0.7mg/L로 관리기준을 만족하였으나, 2016년에는 1.994mg/L로 급격히 높아졌다.



[그림 6-4-2] 월천지구 유역 연도별 T-N발생부하량 및 T-N농도 변화

- T-P의 경우도 T-P 발생부하량은 준공년도인 2011년도에 9.8kg/d이고, 2012년도에 9.9kg/d로 비슷하였으나, 2013년, 2014년 및 2015년에는 각각 9.6kg/d, 8.5kg/d, 8.0kg/d로 점차 낮아지는 양상을 보였다. 2016년에도 7.8kg/d 다소 감소하였다.
- 월천저수지의 T-P 농도는 준공 이후 2012년에 0.088mg/L 지속적으로 점차 낮아지는 양상을 보였지만, 2016년에는 1.152mg/L로 급격히 높아졌다.



[그림 6-4-3] 월천지구 유역 연도별 T-P발생부하량 및 T-P농도 변화

6.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안

- 인공습지 취입구 전방부 하천은 하절기 폭우로 인해 사질토 및 협잡물이 용이하게 모이는 위치로서 인공습지로의 하천수 유입을 위해서는 정기적인 점검 및 제거 작업이 필요하다.
- 현장점검을 통해 취입구 스크린 설치, 취입보 방수기능 정상화, 습지식물 보식 등을 실시하였으며 2015년 습지 내 보식이 미비한 부분은 2016년 추가 보식을 하였다. 부분적으로 식생 활착이 안정화되지 않은 부분이 존재하기에 2017년에도 습지 내 정착식물 성장관리에 주의가 필요하다.
- 월천저수지 인공습지와 연접하는 상부 농경지의 경작인들은 갈수기 농업용수 취수를 위해 인공습지 내부의 물을 취수하고 있다.

6.6. 결론

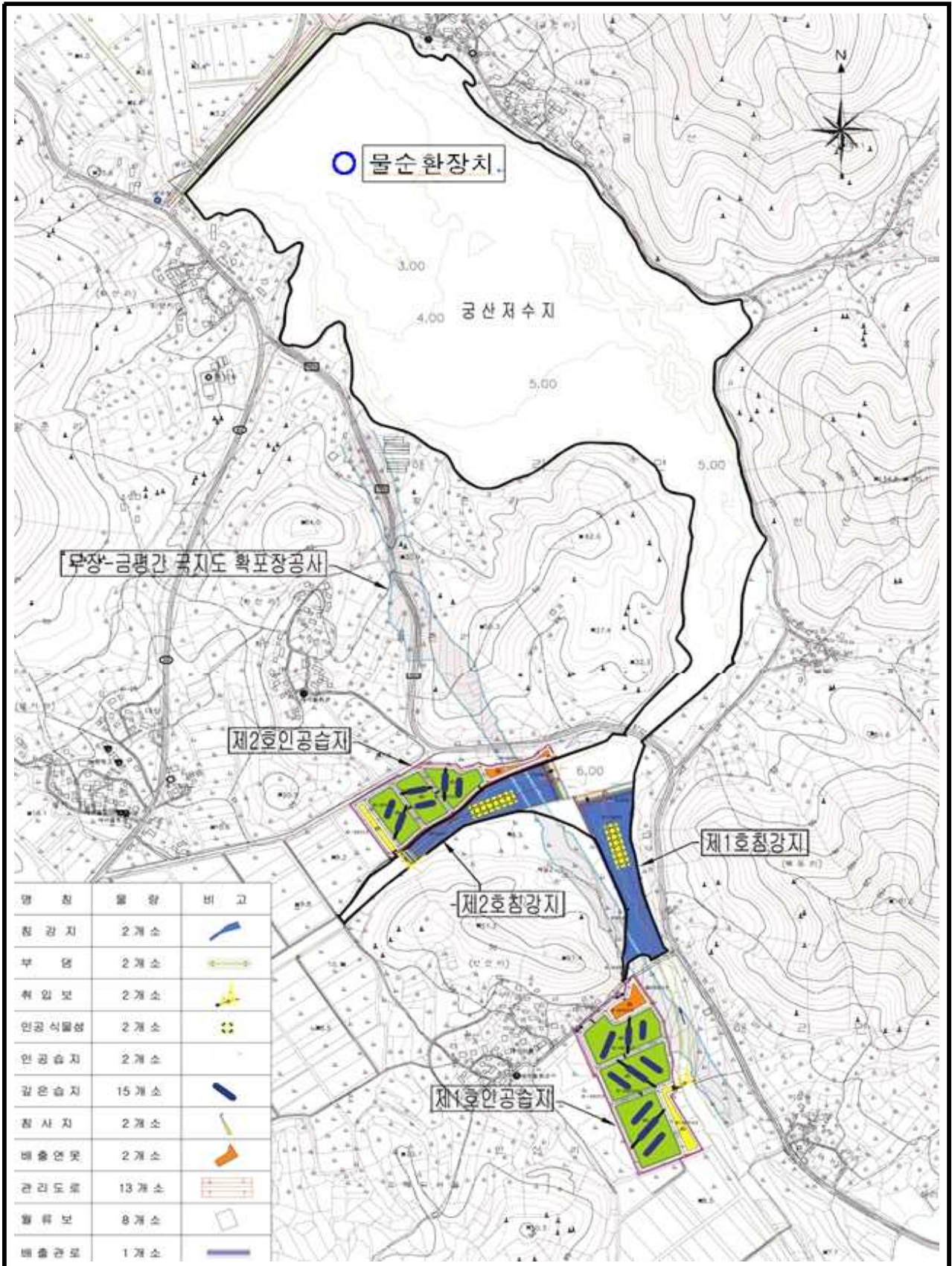
- 운영 5년차인 월천저수지는 준공이후 2012년에서 2015년까지 정화효율을 살펴보면 인공습지가 COD 33.6%, T-N 47.6%, T-P 74.2%, 침강지가 COD -28.3%, T-N 5.7%, T-P 2.0%였다. 인공습지의 정화효율은 수질정화시설이 일정부분 수질개선에 기여하는 것으로 보였으나, 침강지의 정화효율은 그에 비해 좀 더 관리가 필요한 것으로 보인다.
- 2016년 월천저수지의 정화효율d.f 살펴보면, 수질개선시설이 정상 기능을 수행할 수 없는 상황이었으므로 COD -54.7%, T-N -35.6%, T-P -90.0%이었다. 월천저수지 수질 개선시설은 2015년도에 취입보 보수를 완료하였지만, 2016년도에도 갈대 식재 등으로 정상 운영되지 못하였고, 이에 따라 정화효율이 악화된 것으로 파악된다.
- 월천저수지의 수질은 COD가 2012년도의 9.9mg/L에서 2013년에서 2015년까지 8.1mg/L, 8.3mg/L, 8.3mg/L로 개선되는 양상을 보이다가 2015년도부터 비정상적인 운행으로 2016년에는 13.3mg/L로 높아졌다. 인공습지가 준공된 이후 2012년부터 2015년까지 수질개선효율이 지속적으로 높았다는 걸을 감안할 때 2016년의 수질 정화 효율이 급격히 낮은 건 인공습지의 시설유지관리가 어렵고 그만큼 중요하다는 걸 반증하는 자료가 될 것이다.
- 비정상적인 물순환과 폐쇄된 습지는 내부 부하량이 가중되어 인공습지나 침강지로서 제 기능을 상실하여 수질 개선 효과를 기대하기 어려웠으며, 오염원이 저수지로 재분출되는 악순환을 야기시켰다. 2016년에 시설 보수와 갈대 식재가 완료됨에 따라 식생이 안정화되고 습지가 정상적으로 운영될 때 내년도에는 수질 개선이 향상 될 것으로 기대된다.
- 수질개선시설 자체의 문제점을 차치하고도, 준공이후인 2012년 연평균 기온이 14.1℃에서 2016년 16.1℃로 2℃나 상승 한 것은 수질개선에 악영향을 미친다는 현실을 간과할 수 없다. 또한 조사시기인 8월부터 10월까지 월별 저수율 현황과 비교해 볼 때 저수량이 37.6%~67.5%로 연중 최저치를 기록하였으며, 이는 이 시기의 낮은 강수량의 영향인 것으로 파악된다.
- 종합적으로 월천지구는 수질개선시설의 문제, 상승된 기온, 낮은 저수량등 총체적인 문제로 인해 수질정화효율이 낮게 나타났으며, 향후 정화효율을 높이기 위해 인공 습지로 유입수를 최대한 안정적으로 공급하고 원활한 흐름이 이루어 질 수 있도록 세심하게 유지관리를 할 필요가 있다. 또한, 침강지는 운영 5년차로써 퇴적물 오염 평가 기준을 초과함으로 준설이 필요한 것으로 사료된다.

7. 궁산지구



-
- 7.1 지구현황
 - 7.2 기상 및 수질현황
 - 7.3 시설별 수질개선 효과
 - 7.4 저수지 수질변화 및 개선효과
 - 7.5 현장적용성 향상 및 유지관리 방안
 - 7.6 결 론

궁산지구 수질개선사업 평면도



7.1. 지구현황

7.1.1 저수지 현황

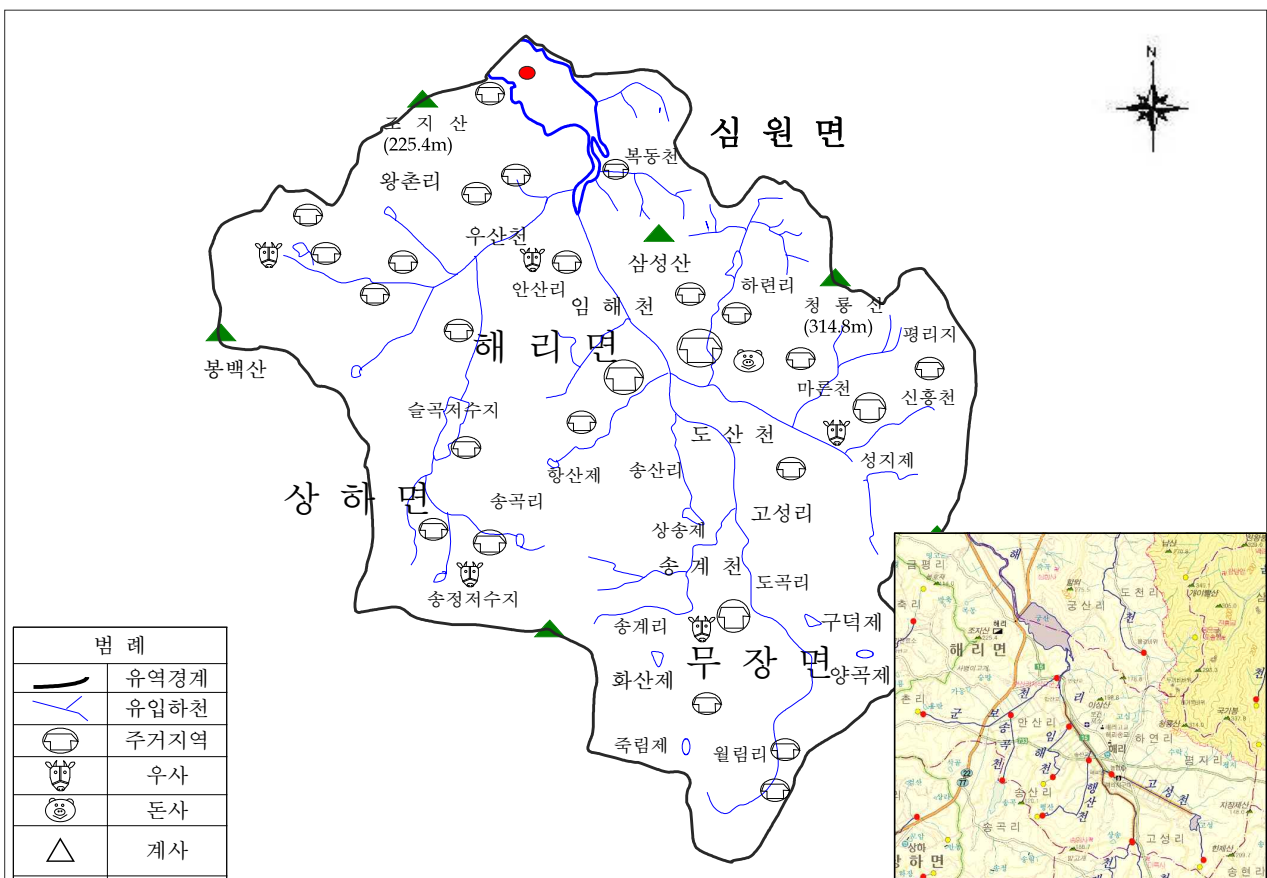
1) 유역현황

- 공산저수지가 위치한 고창군은 전라북도의 서남단인 북위 35도18분 ~ 35도34분, 동경 126도26분 ~ 126도46분 사이에 자리 잡고 있으며, 행정구역상 전라북도 고창군 해리면에 속한다. 고창군의 동북쪽은 정읍시, 부안군, 동남쪽은 전남 장성군, 영광군에 인접하고 서북부 일대는 서해에 임하고 있다. 고창군의 동·서간 거리는 약 31km, 남·북간 거리는 약 31.5km에 달하며 면적은 약 60만km²이다.
- 고창군은 전라북도의 서남단에 위치하며 반등산(742m), 벽오봉(640m), 문수산(620m), 고산(537m) 등 명산이 위치하고 있다.
- 선운사 뒤로 흐르는 장연강의 본류는 모두 노령산맥의 서쪽 비탈에서 발원하여 고창군의 중앙을 관류, 서해에 유입하는 관계로 지세는 자연히 동남부가 높고 서북부가 낮으며 남동부에 구릉지대를 형성하고 서북부에 평야지대를 이루어 31.4km의 고수천, 고창천, 주진천, 인천강, 자연강으로 불리우는 하천 유역은 예로부터 비옥한 농경지로서 농경에 적합한 지역이었을 뿐만 아니라 바다를 통하는 문화교류도 활발하였다.
- 기후는 해양성기후의 특색을 나타내며 일조율이 58%로 맑은 날이 많고 겨울철에도 눈이 많고 온난한 편이다.
- 공산저수지가 위치한 심원 등 4개면은 전라북도 고창군내 14개 읍·면 중 4개면으로서 심원 등 4개면의 행정구성은 법정리 47개, 행정리 147개, 358개반으로 구성되었으며, 공산저수지 유역은 4개면 11개리가 포함되어 있다.

[표 7-1-1] 공산저수지 경위도상 위치

소재지	단	경도와 위도의 극점			연장거리
		지명	극점		
			동경	북위	
고창군	동단	신리면 가평리	동경 126° 46'	-	동서간 31.0km
	서단	상하면 자룡리	동경 126° 26'	-	
	남단	대산면 지석리	-	북위 35° 18'	남북간 31.5km
	북단	부안면 봉암리	-	북위 35° 34'	

- 공산저수지로 유입되는 주요하천은 해리천과 군보천으로 고성천, 행산천, 임해천이 유입되고, 유역내 송곡제, 하연제, 성지제 등 16개의 소류지가 보조수원 역할을 하고 있다.
- 무장면에서 발원하여 공산저수지를 거쳐 서해로 연결되는 해리천은 유역이 넓고 인구가 집중되어 있어 강우시 농경배수의 유입 등 비점오염원에 취약한 특성을 보이고 하류에서 해리면의 생활계 오염원이 유입되고 있으며, 2008년 10월부터 해리하수처리장이 운영되고 있다.
- 군보천은 유역 상류에 송곡저수지에서 일정량의 하천수를 공급받고 있으며, 해리천에 비해 마을이 분산되어 있으나, 축산계 오염원이 유입되고 있다.
- 공산저수지로 유입되는 주요 수계인 해리천은 유역면적이 하천 중 가장 넓고 유량이 많으며 하천정비가 잘 이루어져 있고, 강우시 오염원 유출에 저항성이 없어 수계를 중심으로 형성된 농가의 소규모 축산에 의한 분뇨오염과 마을하수가 유입되고 있다.
- 군보천은 하천폭이 비교적 좁은 편이고 유량이 적으며, 하천 주변은 수풀이 넓게 자리잡고 있어 자연형에 가까운 하천형태를 이루고 있다.



[그림 7-1-1] 공산저수지 유역도

2) 저수지 현황

- 공산저수지는 전라북도 고창군 심원면 공산리에 위치하고 있으며, 1945년에 설치되었고 저수지 상류 유역면적은 3,025ha로 상당히 넓어 강우시 유입되는 토사량이 많아 침강지에 퇴적량이 많은 지구이다.
- 유효저수량은 2,210천m³이고, 수혜면적은 260ha이며, 만수면적은 81ha를 차지하고 있다. 수계는 영산강으로 중권역은 주진천이며, 관할관측소는 고창이다.
- 저수지 상류유역내 해리면의 생활계 오염원을 처리하기 위해 해리 하수처리장이 운영되고 있고, 공사기간은 2005년 12월 23일 ~ 2008년 10월 22일으로 처리용량은 240톤/일이며, SMMIAR공법으로 처리하고 있다.
- 저수지 유역내 비점오염원은 전 459ha(15%), 답 715ha(24%), 임야 1,387ha(46%), 기타 464ha(15%)으로 전체유역 중 임야가 46%를 차지하고 있으며, 논이 밭보다 더 많은 비중을 차지하고 있다.
- 공산저수지 상류유역에서 오염된 토사, 오니 등이 유입되어 저수지에 퇴적되면서 수심이 낮아지고 수생식물의 대변식-사멸-오염원 용출 등의 악순환을 거치면서 저니토가 오염되어 저수지 수질에 악영향을 미친다.
- 근본적인 오염원을 저수지 밖으로 제거하여 저수지의 수질을 개선할 필요성이 요구되어 2009년 국고 1,600백만원 사업비를 투입하여 퇴적물처리 시범사업을 시행하여 오염저니토 12,537m³를 처리하였다.

[표 7-1-2] 공산저수지 주요시설 현황

소재지	전라북도 고창군 심원면 공산리	
설치년도	1945년	
유역면적	3,025ha	
유효저수량	2,210천m ³	
수혜농지	260ha	
만수면적	81ha	
관리주체	한국농어촌공사 고창지사	

7.1.2 수질개선시설 현황

1) 주요대책

- 저수지 상류유역내 해리면의 생활계 오염원을 처리하기 위해 해리 하수처리장이 운영되고 있으며, 공사기간은 2005년 12월 23일 ~ 2008년 10월 22일으로 처리용량은 240톤/일이며, SMMIAR공법으로 처리하고 있다.
- 유역내 산재된 축사에서 발생하는 축산폐수처리를 위한 고창가축분뇨처리장이 운영중 이나 처리장으로 이송처리하는 양은 미미한 것으로 조사되었다.
- 호내대책으로 평시(년평균 유출량 30mm/day 미만) 유입하천 정화처리를 위해 인공 습지 2개소 74,115㎡, 평시 및 강우시(년평균 유출량 30mm/day 이상) 유입된 토사에 흡착된 비점오염물질의 침강을 촉진시키기 위해 침강지 2개소 39,392㎡, 침강지에 설치하여 영양물질의 제거 및 조류의 이상 증식 방지를 위해 인공식물섬 2개소 (1,000㎡), 수체(水體)를 효율적으로 순환시키고 공기를 혼합시켜 부영양화로 인한 오염 물질 내부생산 저감을 위한 부유식 물순환장치 1개소(54,000㎡/day)를 설치하여 운영 중이다.
- 상류유역내 소규모 축사가 산재되어 있어 축산폐수에 의해 오염이 우려되므로 개별 축산폐수처리시설 적정운영 및 고창가축분뇨처리장으로 이송처리를 위한 지속적인 기술보급, 시설보완, 교육 및 홍보가 필요한 것으로 조사되었다.

[표 7-1-3] 공산저수지 수질개선시설 현황

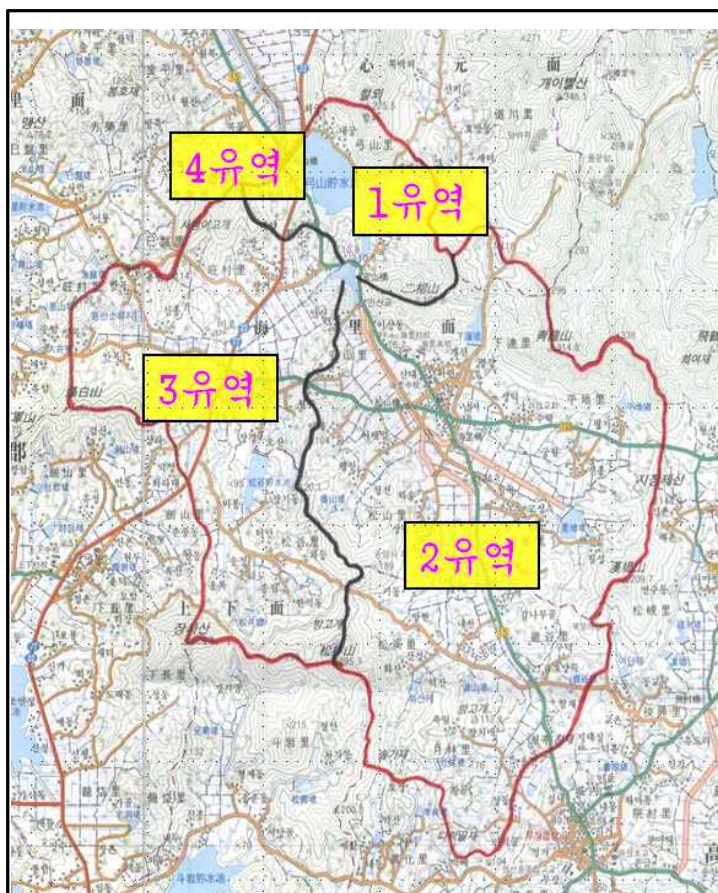
구분	대안	시설	규모	비고
<input type="checkbox"/> 상류대책(고창군 추진)				
1	하수처리	해리하수처리장	처리용량 : 240톤/일	
2	축산폐수처리	가축분뇨처리장	처리용량 : 95톤/일	
<input type="checkbox"/> 호내대책				
1	평시 유출수 처리	1호 인공습지	면적 : 43,306㎡	해리천
2	평시 유출수 처리	2호 인공습지	면적 : 30,809㎡	군보천
3	평시 및 강우 유출수 처리	1호 침강지	면적 : 22,016㎡	
4	평시 및 강우 유출수 처리	2호 침강지	면적 : 17,377㎡	
5	침강지 녹조발생 억제	1호 인공식물섬	면적 : 500㎡	
6	침강지 녹조발생 억제	2호 인공식물섬	면적 : 500㎡	
7	저수지 녹조방지	부유식 물순환장치	1일 물순환량 : 54,000㎡	

2) 인공습지

- 인공습지가 처리하는 2, 3유역 유역면적은 2,706.3ha으로 일 30mm미만 유입시 유하하는 유입유량 50,435m³/일을 정화하기 위해 얕은습지 6개소 35,438m², 깊은연못 15개소 13,442m², 침사지 2개소 5,267m², 배출연못 2개소 4,626m²를 설치하여 운영 중이다.
- 내용적상으로는 42,457m³으로서 유역에서 유입되는 유입량 2,101.46m³/hr이 습지에서 평균적으로 약 20.2시간정도 체류하는 것으로 조사되었다.

[표 7-1-4] 인공습지 계획유량

구 분	유역 구분	유역면적 (ha)	평균 유입량(m ³ /일)			계획수량 (m ³ /일)	비고 (체류 시간)
			총유입량	일30mm 미만유입량	마을하수도 유입량		
계		2,706.30	50,435	50,435	-	50,435	20.2
1호인공습지	2유역	1,770.32	33,108	33,108	-	33,108	18.2
2호인공습지	3유역	935.98	17,327	17,327	-	17,327	23.9

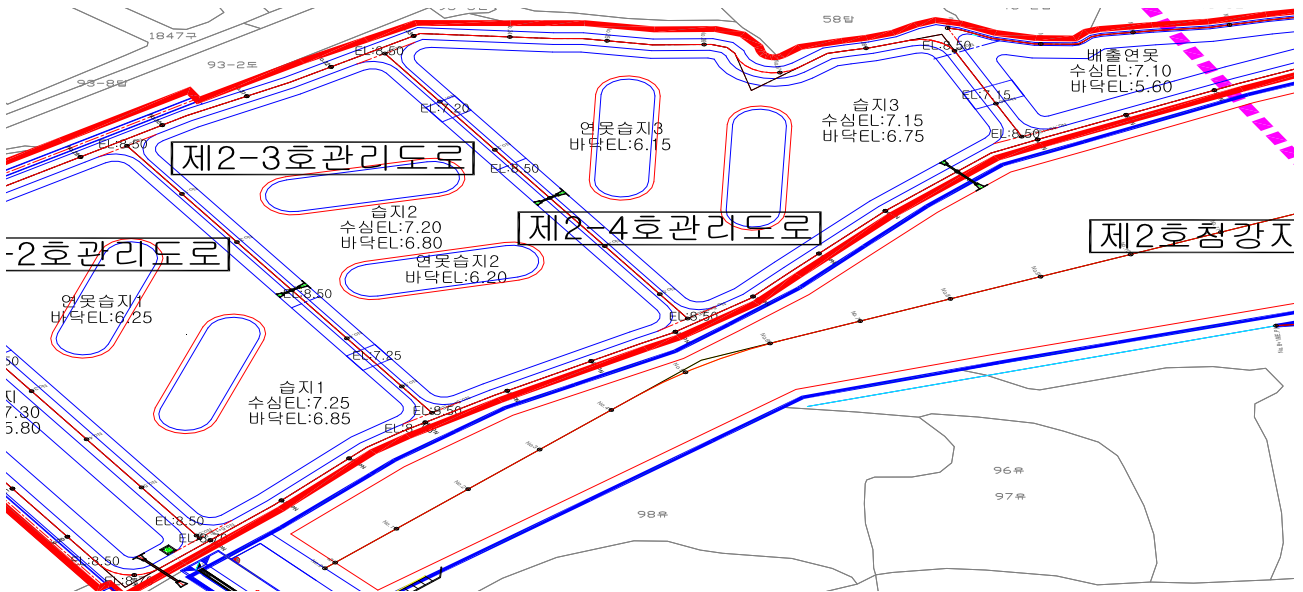


[그림 7-1-2] 공산저수지 유역 구분도

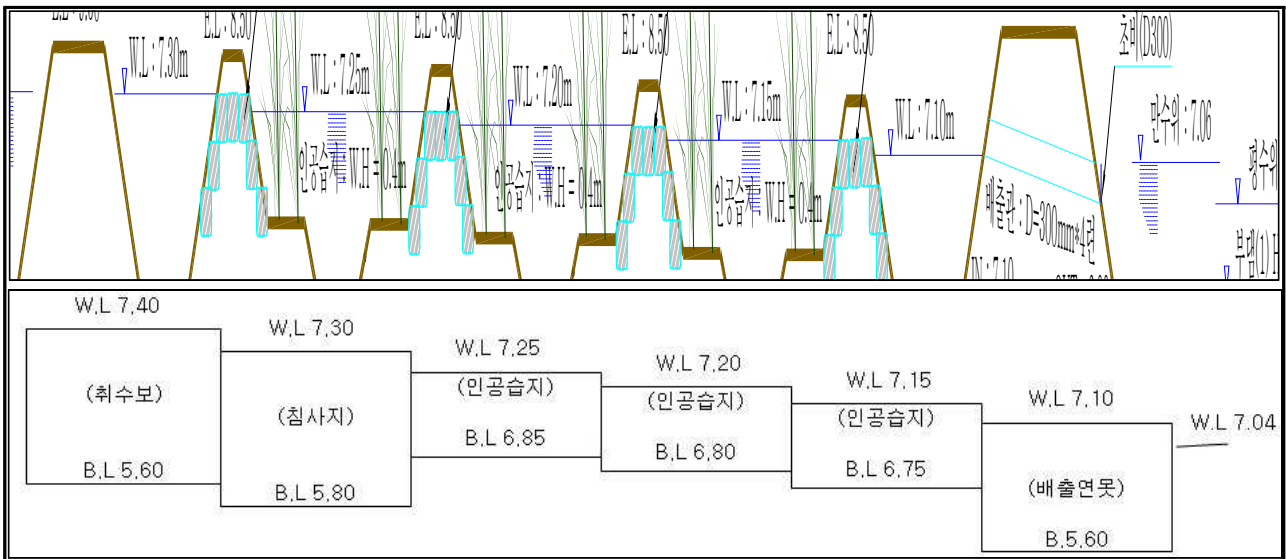
- 1호 인공습지가 처리하는 2유역 유역면적은 1,770.32ha으로 일 30mm미만 유입시 유하하는 유입유량 33,108m³/일을 정확하기 위해 취입보(고무보, H=1.5, L=22.7)를 통해 얕은습지 3개소 21,362m², 깊은연못 9개소 8,065m², 침사지 1개소 3,401m², 배출연못 1개소 2,284m²를 설치하여 운영중이다.
- 1호 인공습지는 내용적상으로는 25,138m³으로서 유역에서 유입되는 유입량 1379.5 m³/hr이 습지에서 평균적으로 약 18.2시간정도 체류하는 것으로 조사되었다.
- 2호 인공습지가 처리하는 3유역 유역면적은 935.98ha으로 일 30mm미만 유입시 유하하는 유입유량 17,327m³/일을 정확하기 위해 취입보(고무보, H=1.2, L=34.6)를 통해 얕은습지 3개소 14,076m², 깊은연못 6개소 5,377m², 침사지 1개소 1,866m², 배출연못 1개소 2,342m²를 설치하여 운영중이다.
- 2호 인공습지는 내용적상으로는 17,319m³으로서 유역에서 유입되는 유입량 721.96 m³/hr이 습지에서 평균적으로 약 23.9시간정도 체류하는 것으로 조사되었다.

[표 7-1-5] 인공습지 제원

구 분		규모	계획면적 (m ²)	계획수심 (m)	내용적 (m ³)	비 고
총계	얕은습지	6개소	35,438	0.4	14,175	
	깊은연못	15개소	13,442	1.0	13,442	
	소 계		48,880		27,617	
	침사지	2개소	5,267	1.5	7,901	
	배출연못	2개소	4,626	1.5	6,939	
	관리도로 및 기타		15,342			
	합 계		74,115		42,457	
1호 인공 습지	얕은습지	3개소	21,362	0.4	8,545	
	깊은연못	9개소	8,065	1.0	8,065	
	소 계		29,427		16,610	
	침사지	1개소	3,401	1.5	5,102	
	배출연못	1개소	2,284	1.5	3,426	
	관리도로 및 기타		8,194			
	합 계		43,306		25,138	
2호 인공 습지	얕은습지	3개소	14,076	0.4	5,630	
	깊은연못	6개소	5,377	1.0	5,377	
	소 계		19,453		11,007	
	침사지	1개소	1,866	1.5	2,799	
	배출연못	1개소	2,342	1.5	3,513	
	관리도로 및 기타		7,148			
	합 계		30,809		17,319	



[그림 7-1-3] 1호 인공습지 평면도



[그림 7-1-4] 1호 인공습지 수리계통도



취입보

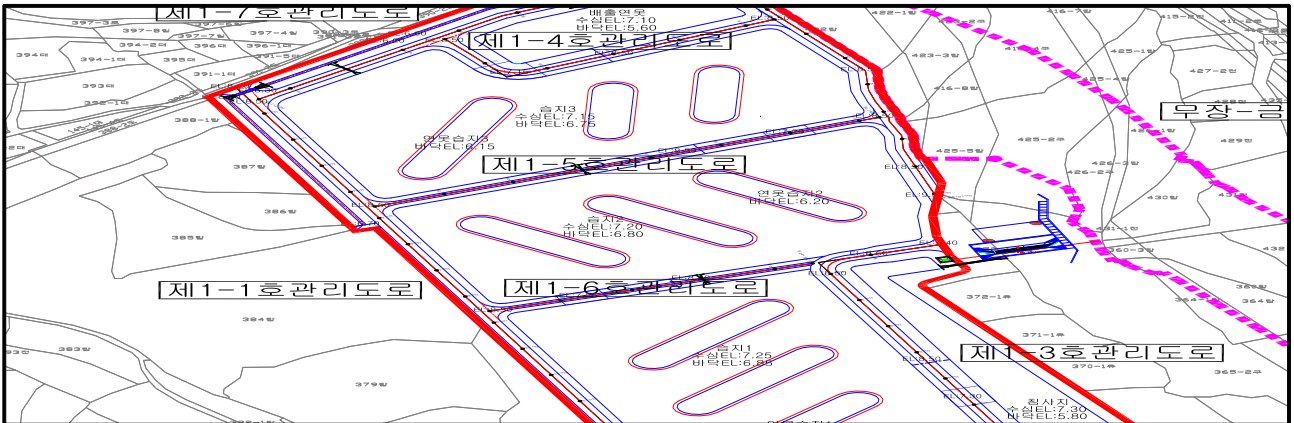
침사지



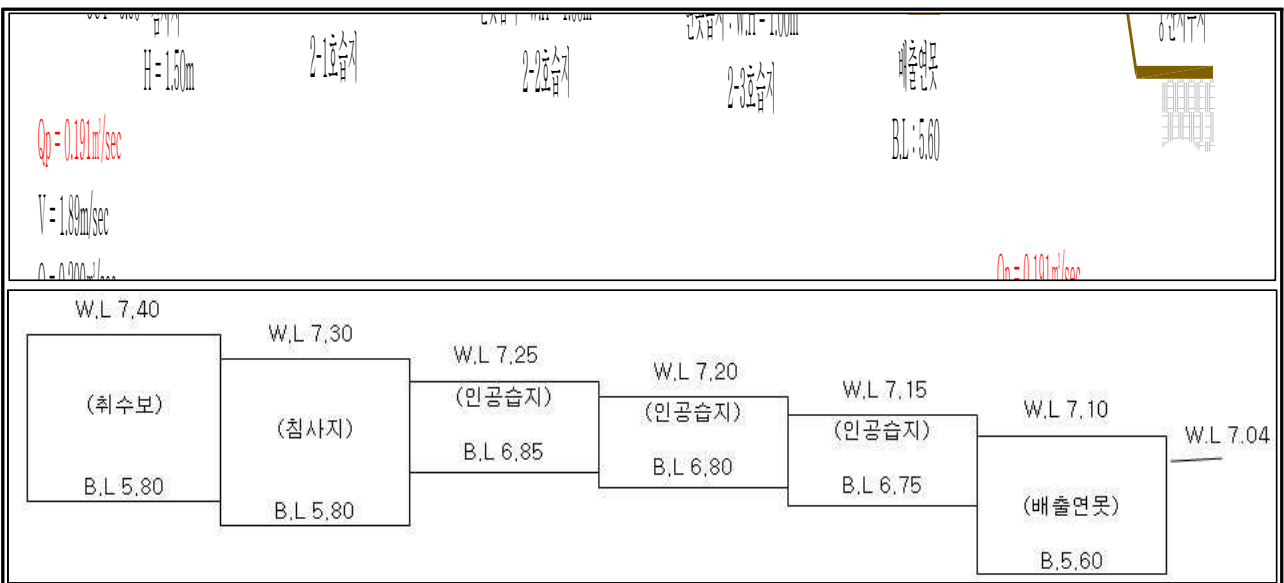
습지전경

배출연못

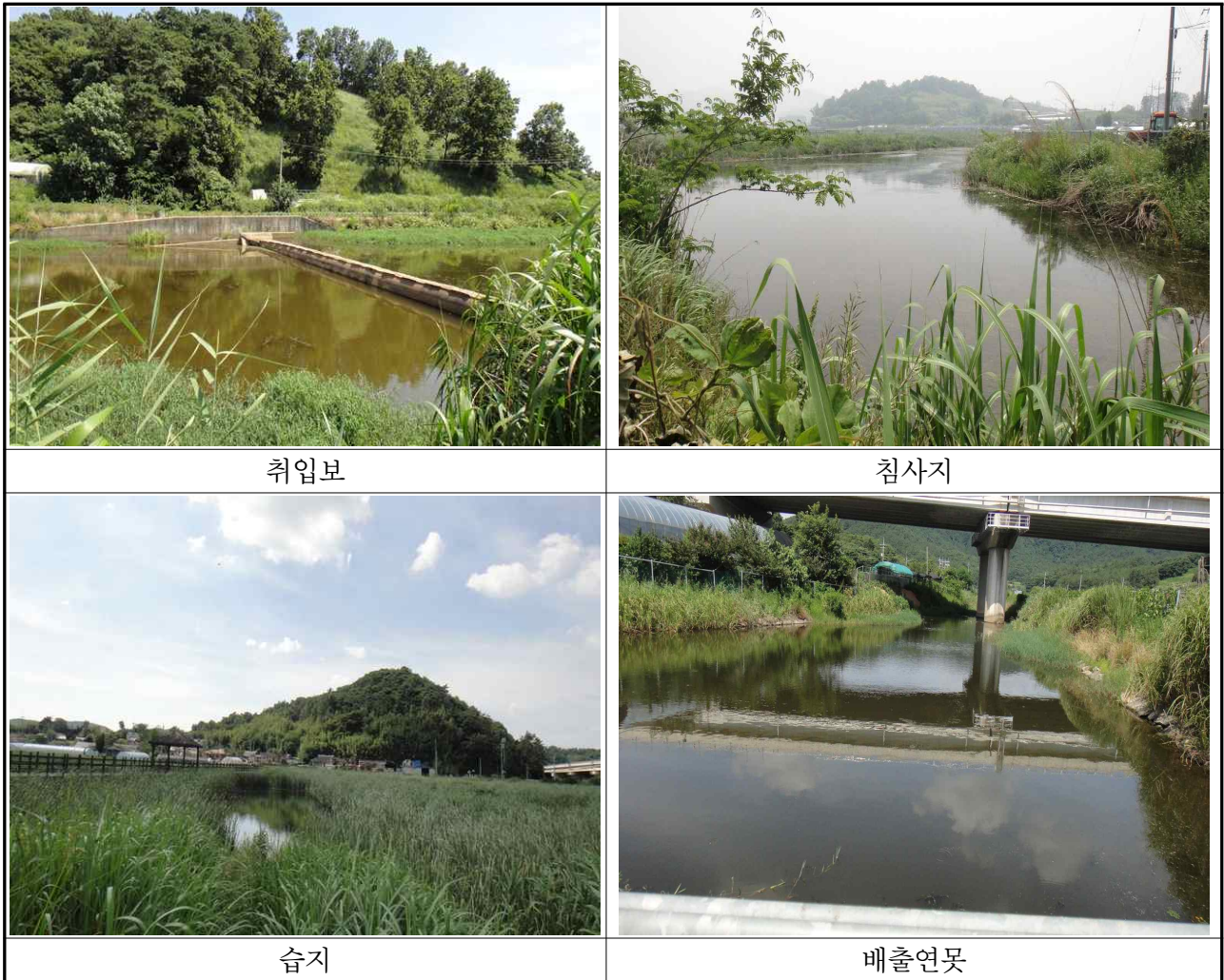
[그림 7-1-5] 1호 인공습지 시설현황



[그림 7-1-6] 2호 인공습지 평면도



[그림 7-1-7] 2호 인공습지 수리계통도



[그림 7-1-8] 2호 인공습지 시설현황

3) 침강지

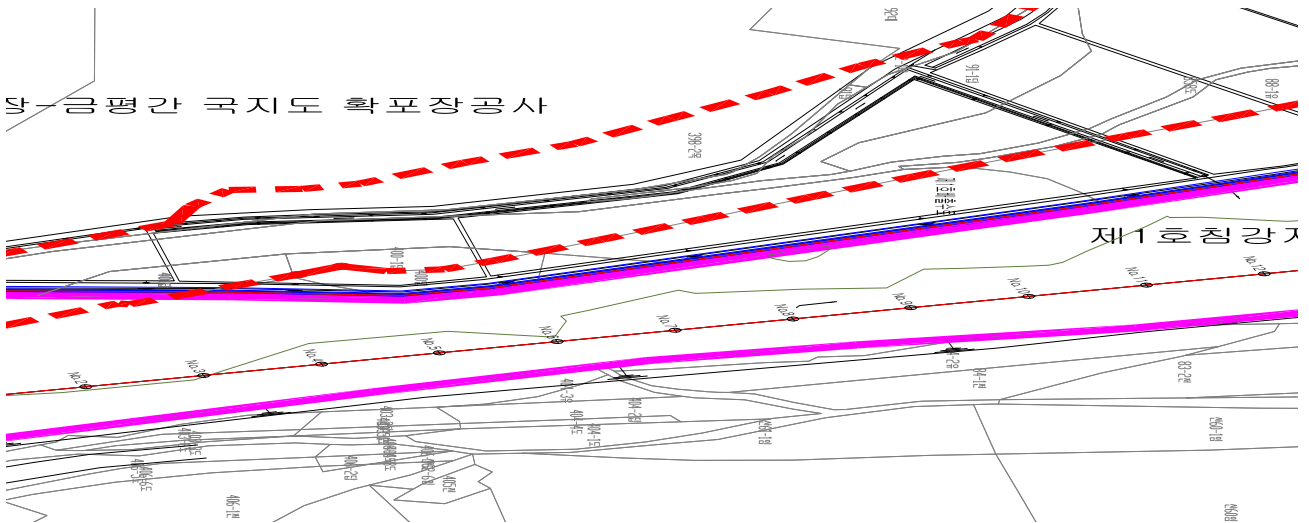
- 강우시 유입된 토사에 흡착된 비점오염물질의 침강을 촉진시켜 저수지 수질개선을 위해 설치된 침강지의 유역면적은 2,706.3ha으로 일 30mm초과 유입시 유하하는 유입유량 285,005m³/일을 처리하기 위해 침강지 2개소 39,393m³를 설치하여 운영중이며, 내용적상으로는 79,988m³으로서 유역에서 유입되는 유입량 11,875.2m³/hr이 침강지에서 평균적으로 약 6.7시간정도 체류하는 것으로 조사되었다.
- 1호 침강지가 처리하는 2유역 유역면적은 1,770.32ha으로 일 30mm초과 유입시 유하하는 유입유량 174,264m³/일을 처리하기 위해 침강지 1개소 22,016m³를 설치하여 운영중이며, 내용적상으로는 49,405m³으로서 유역에서 유입되는 유입량 7,261.0m³/hr이 침강지에서 평균적으로 약 6.8시간정도 체류하는 것으로 조사되었다.
- 2호 침강지가 처리하는 3유역 유역면적은 935.98ha으로 일 30mm초과 유입시 유하하는 유입유량 110,741m³/일을 처리하기 위해 침강지 1개소 17,377m³를 설치하여

운영중이며, 내용적상으로는 30,583m³으로서 유역에서 유입되는 유입량 4,614.2m³/hr이 침강지에서 평균적으로 약 6.6시간정도 체류하는 것으로 조사되었다.

[표 7-1-6] 1호 침강지 제원

구 분	유 역		일30mm 초과유입량 (m ³ /일)	계획 수심 (m)	수표 면적 (m ²)	계획 내용적 (m ³)	체류 시간 (hr)	비 고
	유역 구분	면적 (ha)						
계		2,706.30	285,005		39,393	79,988		
1호 침강지	2유역	1,770.32	174,264	2.5	22,016	49,405	6.80	
2호 침강지	3유역	935.98	110,741	2.0	17,377	30,583	6.63	

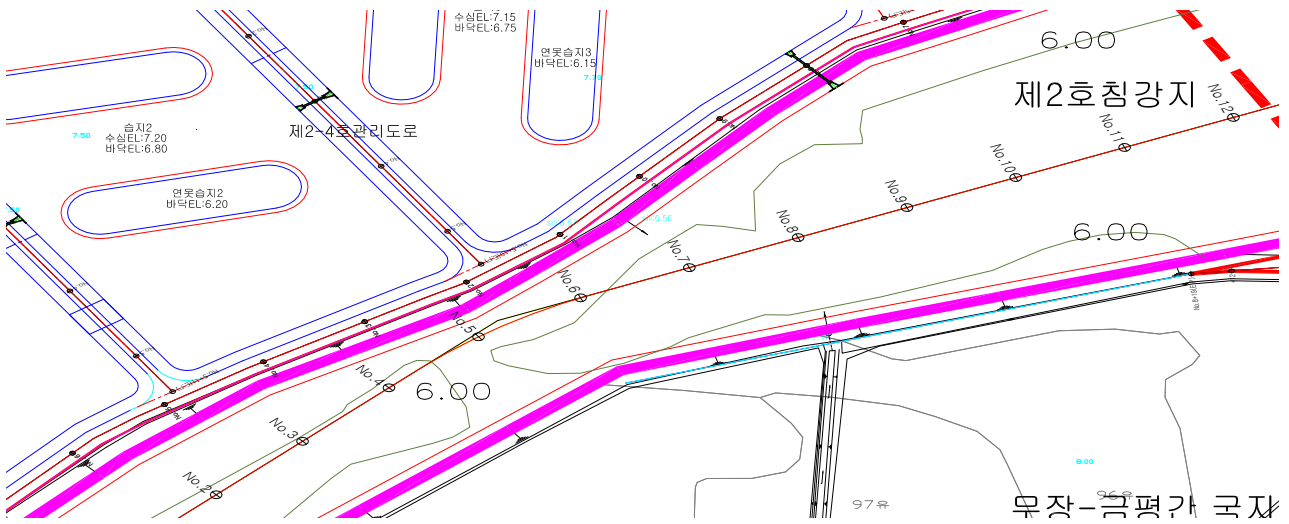
○ 침강지별 평면도 및 시설현황



[그림 7-1-9] 1호 침강지 평면도



[그림 7-1-10] 1호 침강지 시설현황



[그림 7-1-11] 2호 침강지 평면도



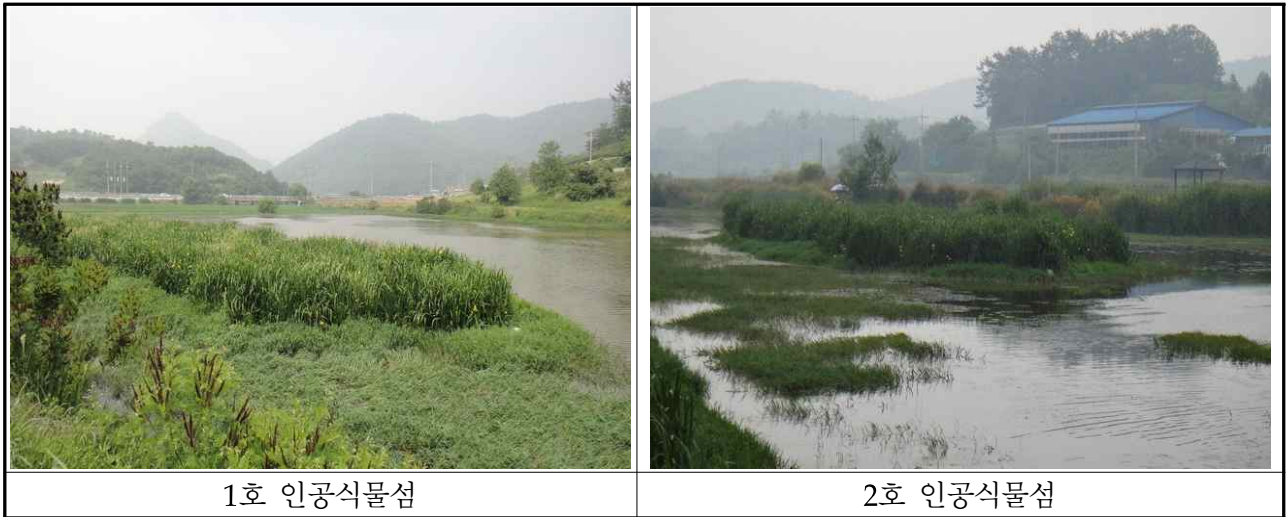
[그림 7-1-12] 2호 침강지 시설현황

4) 인공식물섬

- 저류수가 장기간 체류되고 유속이 감소되어 오염물질의 침전 가능성이 있는 1, 2호 침강지에 2set를 설치하여 영양물질의 제거 및 조류의 이상증식을 방지하고 있다.

[표 7-1-7] 인공식물섬 제원

구분	설치위치	규모(m ²)	규격	비고
계		1,000		
1호 인공식물섬	1호 침강지	500	부유식(1set) 5.92×5.92m/set	부유식
2호 인공식물섬	2호 침강지	500	부유식(1set) 5.92×5.92m/set	부유식



[그림 7-1-13] 인공식물섬 시설현황

5) 물순환장치

- 저수지내 물순환에 의해 심층수의 혐기화에 의한 영양염류의 용출과 조류발생 등을 억제하여 수질을 보전하기 위해 태양열을 이용한 물순환장치 1기를 제방쪽 수심이 깊은 곳에 설치하여 매일 54,000m³을 순환시키고 있다.



[그림 7-1-14] 물순환장치 시설현황

7.2. 기상 및 수질환경

7.2.1 기상현황

1) 기온

- 공산저수지 유역과 가장 가까운 고창기상대에서 조사된 사업시행 전·후의 조사 시기별 평균 기온은 [표 7-2-1]과 같이 2009년(사업시행전) 평균인 14.6℃에 비하여 사업시행후인 2012년에 14.4℃로 약간 낮아졌으나, 이후 2016년 현재까지 평년도에 비해 약간 높은 경향을 보였다. 금년도의 경우 9월, 10월 평균기온은 각각 22.8℃와 16.8℃로 2009년~2015년에 비해 가장 높았다.

[표 7-2-1] 공산저수지 유역 사업시행 전후 월별 기온 분포 (단위 : °C)

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
2009년 (시행전)	평균	0.2	4.1	6.7	11.9	18.3	22.4	24.6	25.5	21.5	16.3	9.0	14.6
2012년 (시행후)	평균	-0.6	-0.3	5.8	13.1	18.8	23.3	26.3	27.7	21.0	15.2	7.8	14.4
2013년 (시행후)	평균	-0.8	1.3	6.3	10.2	17.7	22.8	26.9	28.2	22.1	16.1	8.6	14.5
2014년 (시행후)	평균	1.7	3.6	8.3	13.3	18.3	22.9	25.6	24.4	21.9	16.1	9.8	15.1
2015년 (시행후)	평균	1.5	2.9	6.9	13.5	18.4	21.8	24.9	25.3	20.8	15.6	11.0	14.8
2016년 (시행후)	평균	0.0	2.7	7.3	14.0	18.7	22.5	26.5	27.3	22.8	16.8	11.1	15.4
평년값		-0.4	1.1	5.4	11.4	16.8	21.2	24.9	25.7	21.3	15.2	8.4	13.7

2) 강수량

- 고창기상대에서 관측된 사업시행전 연간 총강수량은 1255.8mm이었고, 운영 첫 해인 2012년에는 1,461.0mm로 사업시행후 가장 많은 강우를 기록하였다. 반면 올해를 포함해서 2012년 이후는 평년에 비해 강수량이 적었다. 2016년 8월에는 56.5mm로 평년보다 크게 적은 양의 비가 내렸고 전체적으로 강우패턴의 심한 편차를 보였다.

[표 7-2-2] 공산저수지 유역 사업시행 전후 월별 강수량 분포

(단위 : mm)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
2009년(시행전)	34.0	37.2	47.7	55.0	116.3	175.7	475.9	207.7	59.5	29.3	17.5	1255.8
2012년(시행후)	26.2	19.9	81.5	89.9	41.8	49.8	317.1	507.9	210.8	59.1	57.0	1461.0
2013년(시행후)	18.0	36.1	83.2	62.8	94.4	54.3	289.0	293.9	25.6	12.1	78.6	1048.0
2014년(시행후)	12.6	4.6	89.2	80.0	43.3	73.0	250.5	477.1	68.0	96.7	76.3	1271.3
2015년(시행후)	50.7	17.8	26.9	125.6	36.6	88.6	205.5	99.6	33.1	106.3	103.6	894.3
2016년(시행후)	54.0	28.7	21.6	194.9	115.8	71.0	203.2	56.5	160.0	153.5	22.5	1081.7
평년값	32.5	32.7	45.6	78.2	81.8	154.8	241.2	263.1	127.3	54.2	58.5	1169.9

7.2.2 수질현황

1) 목표수질 설정

- 공산저수지의 이용목적은 농업용 저수지이지만, 인근 지역주민 여가선용의 장소로도 이용될 수 있다. 따라서 장래 농촌지역 수환경개선 및 주민들의 친수환경에 대한 관심을 고려할 때 공산저수지의 목표수질은 주 이수목적인 농업용수 수질기준은 반드시 만족해야 하므로 [표 7-2-3]과 같이 설정하였다. 사업시행 5년 후(2016년) COD는 7.5mg/L, T-N 1.542mg/L, T-P 0.096mg/L로 호소수질등급 IV등급으로 개선될 것으로 예측되었다.
- 올해 2016년 수질은 COD 7.6mg/L, T-N 1.350mg/L, T-P 0.043mg/L으로 예측수질을 대부분 만족하는 것으로 나타났다. 수질개선사업 미시행시와 올해 2016년 수질을 비교해 보면 COD 19.2%, T-N 40.9%, T-P 68.6%의 수질개선효과가 나타났다.

[표 7-2-3] 공산저수지 목표수질

구 분	목표수질	기본계획 (‘01~‘07년 평균) (A)	예측수질 (‘16년)	‘16년 (B)	개선효과(%)
					(A-B)/A
COD(mg/L)	8.0	9.4	7.5	7.6	19.2
TOC(mg/L)	-	-	-	4.5	-
T-N (mg/L)	1.0	2.285	1.542	1.350	40.9
T-P (mg/L)	0.1	0.137	0.096	0.043	68.6
수질등급	IV등급	V 등급	IV등급	IV등급	-
유해물질	사람의 건강보호에 관한 환경기준 만족				

2) 오염원 현황

- 오염원 현황은 “농업용수 수질측정망 조사보고서”자료를 인용하였는데, 오염원 조사는 수질오염총량관리기본방침 제8조와 [별표]에 따라 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 토지계, 매립계 등으로 구분하여 조사하였다.
- 오염원은 수계오염총량기술지침에 따라 행정구역별과 배출원별로 조사하였으며, 공산저수지 호내로 유입되는 환경기초시설도 함께 조사하였다. 유역내에는 양식계와 매립계는 존재하지 않았고, 생활계, 축산계, 산업계, 토지계에 대한 조사결과와 전망은 [표 7-2-4]~[표 7-2-6]에 나타내었다.
- 인간의 생활에 의한 오염, 공장 및 사업장으로부터의 오염, 가축에 의한 오염 등과 같이 오염 원인이 뚜렷한 점오염원은 81.9%를 차지하여 공산저수지의 주요오염원이 되고 있다.
- 인구는 사업시행 전인 2009년에 2,411명이었으나, 지속적으로 감소하여 2016년 현재 2,176명으로 10%정도 감소하였다.
- 축산의 경우 한우는 2009년에 1,006두였으며, 2014년에는 1,793두로서 매년 다소 증가되었지만, 2015년도에는 1,247두, 2016년에는 550두로 크게 감소하여 폐축사가 증가하는 경향을 보이고 있다. 젓소는 2009년도에 44두였는데 이후 약간의 변화를 보이다가 2016년에는 젓소 사육농가가 사라졌다.
- 비점오염원인 토지이용현황은 임야가 1,387ha로써 45.9%로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며 전체적인 토지이용현황은 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

[표 7-2-4] 공산저수지 유역내 인구변화 추이

구 분	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
인구(명)	2,411	2,238	2,205	2,149	2,091	2,183	2,176

[표 7-2-5] 공산저수지 유역내 연도별 축산변화

구 분	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
한우(두)	1,006	1,529	1,576	1,756	1,793	1,247	550
돼지(두)	44	44	12	63	69	45	0
기타	1,662	1,695	1,700	1,680	1,670	1,580	1,500

[표 7-2-6] 공산저수지 유역내 지목별 토지이용현황

구 분	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
계	3,025	3,025	3,025	3,025	3,025	3,025	3,025
전(ha)	459	459	459	459	459	459	459
답(ha)	715	715	715	715	715	715	715
임야(ha)	1,387	1,387	1,387	1,387	1,387	1,387	1,387
기타(ha)	464	464	464	464	464	464	464

3) 오염부하량

- 공산저수지 유역내 오염원별 발생부하량은 생활계가 45.6%, 축산계 36.3%, 토지계 18.1%로 생활계와 축산계가 주요 오염원으로 작용하고 있다.

[표 7-2-7] 2016년 공산저수지 유역내 발생부하량

구 분	점 오염원						비점오염원					계	
	생활계 (인)	축산계(두)			산업계 (m ³ /일)	소계	토지현황(ha)				소계		
		한우	젖소	돼지			전	답	임야	기타			
원수	2,176	550	0	1,500	0		459	715	1,387	464			
발 생 부 하 량	BOD	106.6 45.6%	36.9 15.8%	0.0 0.0%	48.0 20.5%	0 0.0%	191.5 81.9%	7.3 3.1%	16.4 7.0%	13.9 5.9%	4.6 2.0%	42.2 18.1%	233.7 100%
	T-N	28.7 14.8%	22.0 11.3%	0.0 0.0%	22.4 11.5%	0 0.0%	73.1 37.6%	43.3 22.3%	46.9 24.2%	30.5 15.7%	0.3 0.2%	121.0 62.4%	194.1 100%
	T-P	3.3 19.0%	1.9 10.3%	0.0 0.0%	5.0 28.5%	0 0.0%	10.1 57.8%	1.1 6.3%	4.4 25.0%	1.9 10.3%	0.1 0.6%	7.5 42.2%	17.6 100%

- 공산저수지 유역내 오염부하량은 사업시행전인 2009년에 BOD가 286.2kg/d, T-N 220.9kg/d, T-P 20.7kg/d에서 점차적으로 증가되는 경향을 보이다가 2015년부터 감소하여 2016년 현재 BOD가 233.7kg/d, T-N 194.1kg/d, T-P 17.6kg/d로 사업시행 전에 비해 감소하였다. 이는 인구감소와 소규모 축산농가의 폐업으로 오염부하량이 감소하였다.

[표 7-2-8] 공산저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량

구 분	연도별 발생부하량(kg/d)						
	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
BOD	286.2	313.8	311.8	326.4	326.4	288.6	233.7
T-N	220.9	240.0	239.5	248.6	249.6	226.1	194.1
T-P	20.7	22.3	22.1	23.0	23.2	20.9	17.6

4) 수질현황

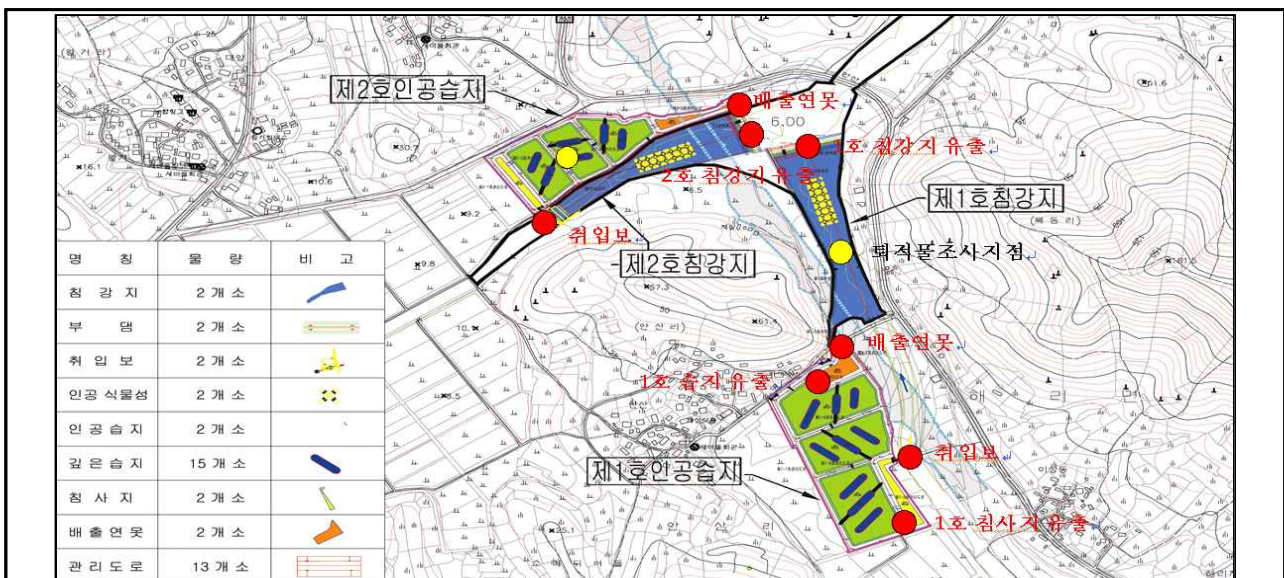
- 공산저수지의 COD농도는 준공년도인 2011년에는 10.3mg/L였지만 이후 지속적인 수질정화시설 유지관리 및 개보수를 통해 전체적으로 감소하여 목표연도 이전인 2015년에 7.7mg/L로 수질이 개선되어 농업용수 수질기준 등급인 목표수질(IV등급)에 만족하였다.

[표 7-2-9] 공산저수지 수질현황

구 분 (mg/L)	5개년평균 (‘04~‘08)	‘09년 (착공시)	수질 변화						목표년도 (‘16년)	목표수질
			‘11	‘12	‘13	‘14	‘15	‘16		
COD	9.7	8.3	10.3	9.2	10.0	8.7	7.7	7.6	7.5	8.0이하
TOC	-	-	3.9	5.4	5.1	5.0	4.5	4.5	-	6.0이하
T-N	2.413	1.678	1.417	1.461	1.704	1.261	1.217	1.357	1.542	1.0이하
T-P	0.131	0.091	0.092	0.088	0.123	0.091	0.052	0.043	0.096	0.1이하

7.3. 시설별 수질개선 효과

- 공산저수지 수질개선시설 조사지점은 1, 2호 침강지 및 습지 유입부, 1,2호 인공습지 유출부, 1,2호 침강지 유출부 등 총 6지점에서 조사를 실시하였고, 퇴적물조사는 각각 1호 침강지와 2호 인공습지 등 2지점에서 채취를 하였다.



< 조사지점 범례 >

- 수질환경모니터링 (●): 인공습지(유입 3, 유출 3), 침강지(유입 2, 유출 2지점)
- 퇴적물환경모니터링 (●): 인공습지 1, 침강지 1

[그림 7-3-1] 공산지구 수질 및 퇴적물 조사 지점

7.3.1 인공습지 수질개선효과

- 공산저수지 인공습지의 수질정화효율을 분석하기 위하여 5월부터 10월까지 총 5회 (평시 4회, 강우시 1회)에 걸쳐 인공습지와 침강지에서 이루어졌다.
- 습지로의 유입수는 취입보를 통해 습지로 유입되며 구배를 따라 자연 유하하여 습지에서 저수지로 양호하게 배출되고 있었다.
- 조사는 일기가 양호한 5월 27일, 7월 21일, 9월 2일, 10월 4일에 실시하였고, 9월 29일 강우시 조사(1회)와 함께 10월 2일 퇴적물 조사가 이루어졌다.

[표 7-3-1] 공산저수지 수질 및 퇴적물 조사시기

구 분	조사횟수	조사일자				
		1차	2차	3차	4차 (강우조사)	5차
수질조사	5회	2016.05.27	2016.07.21	2016.09.02	2016.09.29	2016.10.02
퇴적물조사	1회	-	-	-	-	2016.10.02

- 2016년도 공산저수지 1호 인공습지 유입수의 평균 수온은 23.7℃의 분포를 보였고, 유출수는 25.9℃의 분포를 보였다.
- 1호 인공습지 유입수의 평균 pH는 7.0이었는데, 유출수는 7.1로써 유입수와 유출수 간에 차이가 없었으며, 농업용수 관리기준인 6.0~8.5를 만족하였다.
- EC의 경우 우리나라 환경정책기본법의 농업용수 관리기준에는 없지만 미국 캘리포니아 대학교 대외 협력국(UCCES)이 개발한 농업용수 관리기준지침에는 700 μ S/cm 이하에서는 작물생육에 문제가 없는 것으로, 700 μ S/cm ~ 3,000 μ S/cm에서는 오염우려, 3,000 μ S/cm 이상에서는 작물생육에 큰 영향을 미치는 것으로 분류하고 있다. 1호 인공습지 유입수가 289.0 μ S/cm였는데, 유출수는 262.0 μ S/cm로써 서로 비슷한 값을 나타냈으며 작물생육에 지장이 없는 기준이 700 μ S/cm을 만족시키고 있어 농업용수 이용에 적절한 수준이다.
- DO는 유입수가 8.5mg/L였는데, 유출수는 8.2mg/L로써 큰 차이 없이 모두 농업용수 관리기준인 2.0mg/L이상을 만족하였다. 이는 인공습지를 흘러가는 수중의 오염물질을 분해하는 미생물의 활동이 원활함과 동시에 습지내 식물의 적정번식으로 산소공급도 충분히 이루어지는 것으로 조사되었다.
- SS는 유입수가 11.5mg/L이었는데 유출수는 5.1mg/L로써 유출수에서 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 인공습지로 충분한 물의 순환이 이루어진 것으로 판단 할 수 있다.

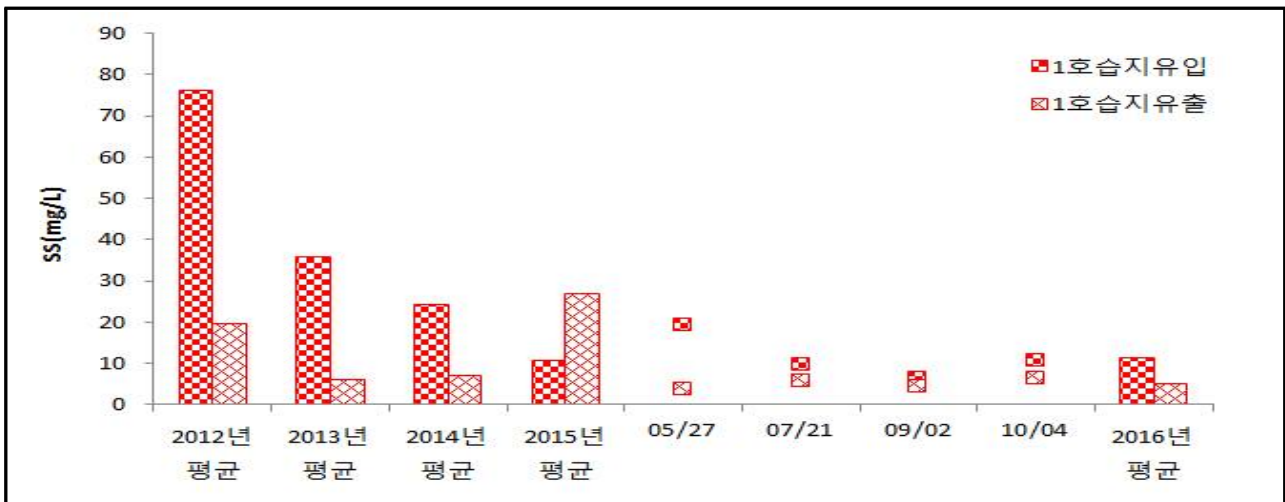
- 1호 인공습지 SS 정화효율은 유입부하량이 148.2kg/d였는데, 유출부하량은 38.0 kg/d로 낮아져 74.4%의 매우 높은 정화효율을 보였다.
- 사업시행후 전체적으로도 습지의 원활한 물의 흐름으로 높은 SS정화효율을 나타내고 있으나, 2015년에는 유입수에 비해 유출수가 두 배 이상 높은 농도를 보였는데 이는 가뭄으로 유입수가 없어 인공습지 바닥이 말라있는 상태에서 강우에 의해 유입수가 일시에 많이 유입되어 말라있던 퇴적물이 부유하여 유출되었기 때문으로 판단된다. 따라서 가뭄시에도 적절한 식생관리를 위해 습지로의 충분한 물을 공급할 필요가 있다.
- 이와 같이 인공습지의 역할은 유입되는 오염물질 중 무거운 부유물질은 중력에 의해 자연적으로 침전되고, 번성하고 있는 식물들이 필터역할을 함과 동시에 초기 강우 유출수 및 오염 하천수 등 비점오염물질의 질소, 인 등을 낮은 수준으로 처리하기 위해 활용된다.

[표 7-3-2] 공산저수지 1호 인공습지 수질변화

구 분		'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (°C)	1호 유입수	18.0	21.9	24.4	21.9	21.2	25.3	26.2	22.2	23.7	23.5
	1호 유출수	18.6	22.2	23.1	22.6	23.2	29.6	27.2	23.5	25.9	23.1
pH	1호 유입수	7.5	7.5	8.2	7.4	6.9	7.0	7.3	6.8	7.0	7.3
	1호 유출수	7.6	7.6	7.6	7.0	6.9	7.2	7.4	7.0	7.1	7.2
EC (µS/cm)	1호 유입수	230	246	232	215	344	274	316	220	289	305
	1호 유출수	268	240	191	202	279	237	255	278	262	282
DO (mg/L)	1호 유입수	8.4	8.9	11.0	6.2	9.1	8.3	8.4	8.2	8.5	6.2
	1호 유출수	8.6	6.5	6.3	1.8	8.8	7.9	8.1	8.0	8.2	4.9
SS (mg/L)	1호 유입수	76.4	35.8	24.5	10.7	19.3	9.8	6.3	10.7	11.5	3.9
	1호 유출수	19.8	6.0	7.0	27.0	3.7	5.8	4.5	6.3	5.1	3.8
BOD (mg/L)	1호 유입수	2.8	5.7	7.7	2.9	5.6	4.5	4.1	4.2	4.6	3.6
	1호 유출수	3.7	2.6	2.1	3.5	5.1	3.8	3.2	3.5	3.9	3.8
COD (mg/L)	1호 유입수	7.6	10.2	8.3	6.9	14.8	10.0	10.4	10.4	11.4	6.4
	1호 유출수	8.7	9.3	6.6	14.2	11.6	8.4	8.4	7.8	9.1	7.6
TOC (mg/L)	1호 유입수	-	5.4	4.8	4.3	9.5	4.9	5.7	6.2	6.6	3.6
	1호 유출수	-	5.3	4.4	6.1	8.0	5.7	5.6	4.9	6.1	5.0
T-N (mg/L)	1호 유입수	3.038	3.311	3.814	2.538	9.106	1.010	0.625	1.378	3.030	1.428
	1호 유출수	1.939	1.227	0.623	0.955	4.730	0.521	0.676	0.628	1.639	0.626
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.309	0.169	0.140	0.106	0.167	0.113	0.088	0.285	0.163	0.131
	1호 유출수	0.072	0.046	0.036	0.139	0.043	0.046	0.033	0.048	0.043	0.046

[표 7-3-3] 공산저수지 1호 인공습지 정화효율

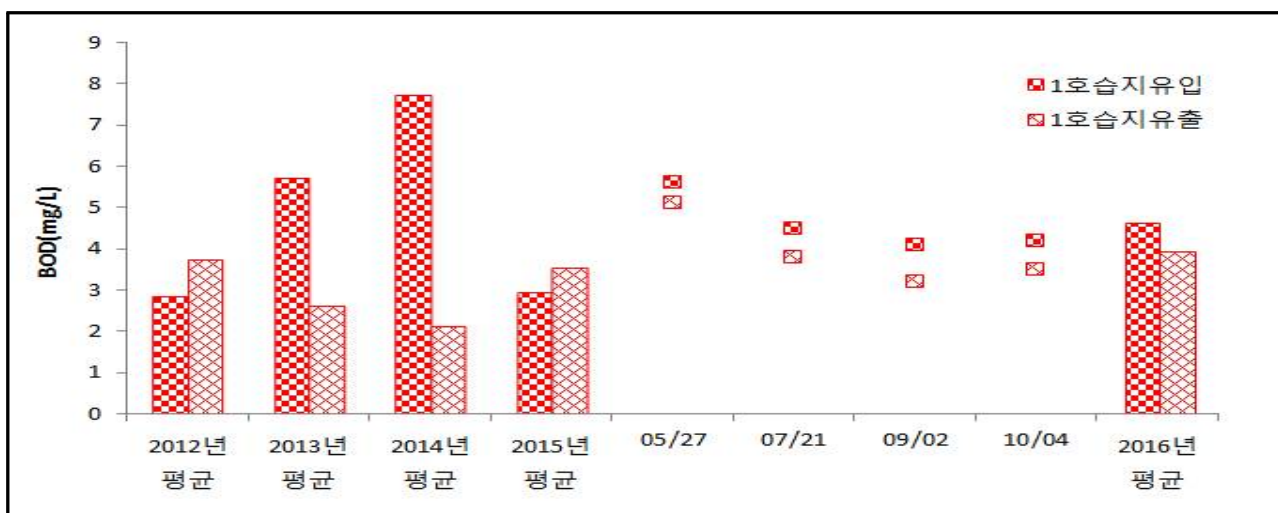
구 분	'12~'16년 전체		'12~'16년 평상시		'12~'16년 강우시	
	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	1호습지유입	148.2	47.7	43.3	466.5	84.4
	1호습지유출	38.0	27.0	72.7		
BOD (kg/d)	1호습지유입	14.9	15.0	44.3	14.7	-1.6
	1호습지유출	10.0	8.3	15.0		
COD (kg/d)	1호습지유입	28.6	24.4	11.9	42.1	-15.2
	1호습지유출	28.0	21.5	48.5		
TOC (kg/d)	1호습지유입	11.25	10.5	12.9	14.6	-40.6
	1호습지유출	11.21	9.2	20.5		
T-N (kg/d)	1호습지유입	10.551	10.299	46.0	11.347	52.7
	1호습지유출	5.516	5.563	5.369		
T-P (kg/d)	1호습지유입	0.727	0.426	63.5	1.679	82.4
	1호습지유출	0.189	0.155	0.295		



[그림 7-3-2] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화

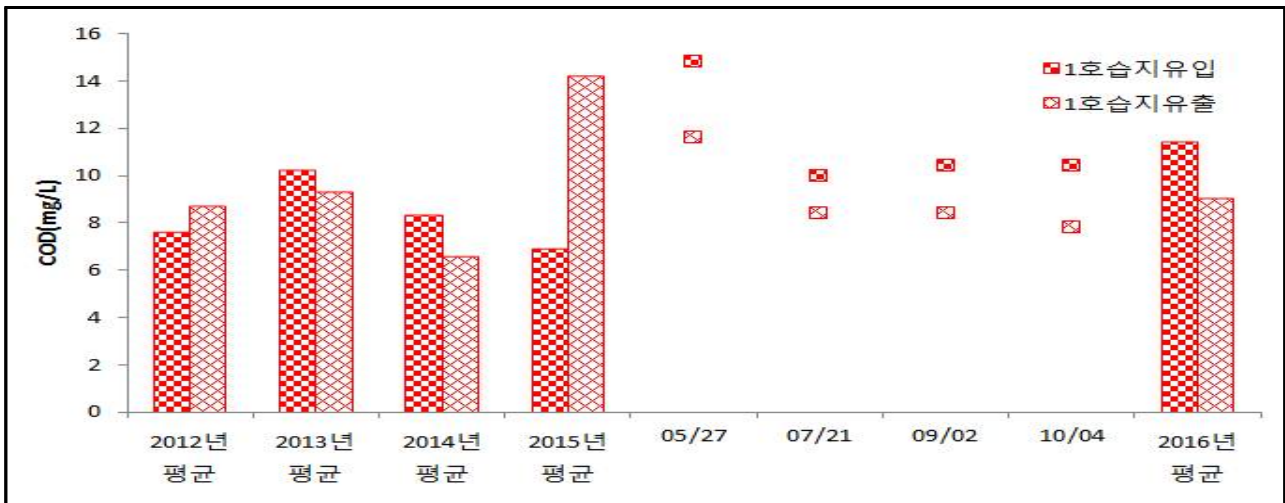
- BOD는 1호 인공습지 유입수는 4.6mg/L였는데, 유출수는 3.9mg/L로 낮아지는 안정된 경향을 보였다. 사업시행후인 2012년과 2015년은 유출수의 농도가 높게 나타났는데 이는 가뭄으로 인한 습지로의 충분한 물 공급이 이루어지지 않아 말라있던 퇴적물에 부착되어 있던 오염물이 강우에 의해 유입수가 일시에 많이 유입되어 유출되었기 때문인 것으로 판단된다.
- 1호 인공습지 BOD 정화효율은 유입부하량이 14.9kg/d였는데, 유출부하량은 10.0kg/d로 낮아져 32.9%의 정화효율을 보였다.

- 금년을 비롯해서 2013년과 2014년은 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮아 인공습지가 안정된 걸 볼 수 있다. 이와 같이 인공습지는 BOD를 정화하는 효과가 있는 것으로 나타났는데, BOD는 미생물과 유기물의 생물학적 대사에 의한 분해기작으로 제거되며 또한 식물의 줄기나 뿌리부분에 많은 미생물들이 성장하고 이러한 미생물이 유기물을 활발히 분해하기 때문에 BOD농도를 낮추는 효과가 있다. 그리고 수중의 습지식물 줄기나 잎, 엽은 미생물막과 유기물이 반응하여 BOD가 제거되기도 한다.



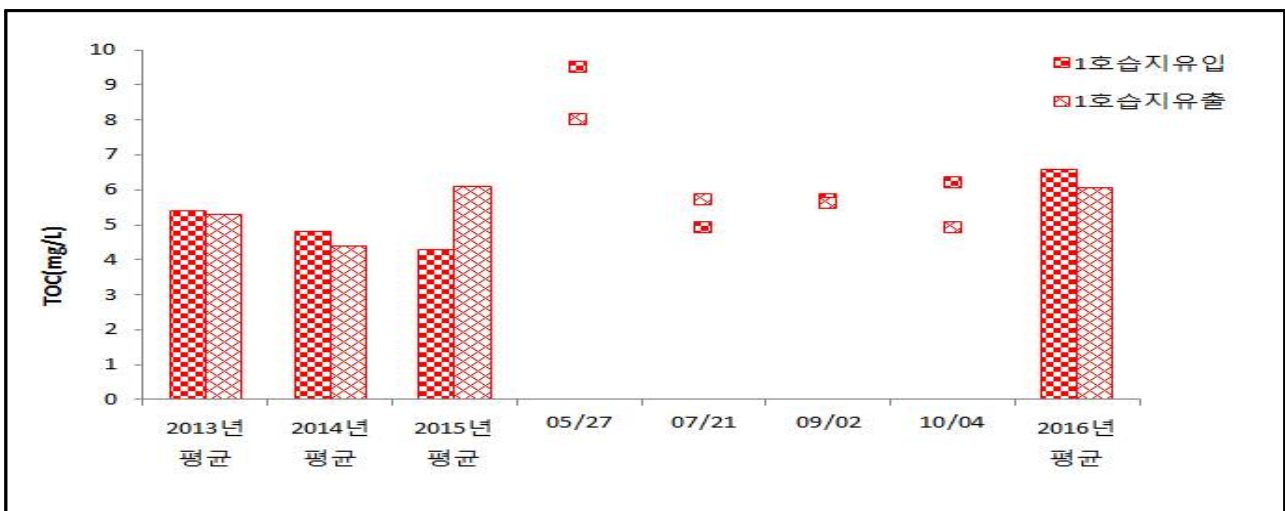
[그림 7-3-3] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화

- COD는 1호 인공습지 유입수가 11.4mg/L인데, 유출수는 9.1mg/L로 낮아지고 있어 유입수에 비해 유출수의 변동이 작아 안정된 경향을 보였다. 또한 1차 ~ 4차조사 모두 유출수의 농도가 낮아 COD의 안정된 정화효율을 볼 수 있다. 연차별 정화효율을 살펴보면 2012년과 2015년에는 유입수에 비해 유출수의 농도가 높은 경향을 보였다.
- 2015년은 심한 가뭄으로 인해 인공습지가 건조된 기간이 많아 퇴적물이 부유되어 유출된 경우가 많았기 때문인 것으로 판단되며, 2012년은 7월~9월 집중강우시 초기 우수에 의한 오염물의 유입과 그 외 시기에는 강우량과 유입량 부족으로 인한 습지의 정화효율이 떨어졌기 때문인 것으로 보여진다.
- COD 정화효율을 살펴보면 유입부하량이 28.6kg/d이고, 유출부하량이 28.0kg/d로 낮아져 2.4%의 정화효율을 보였다.



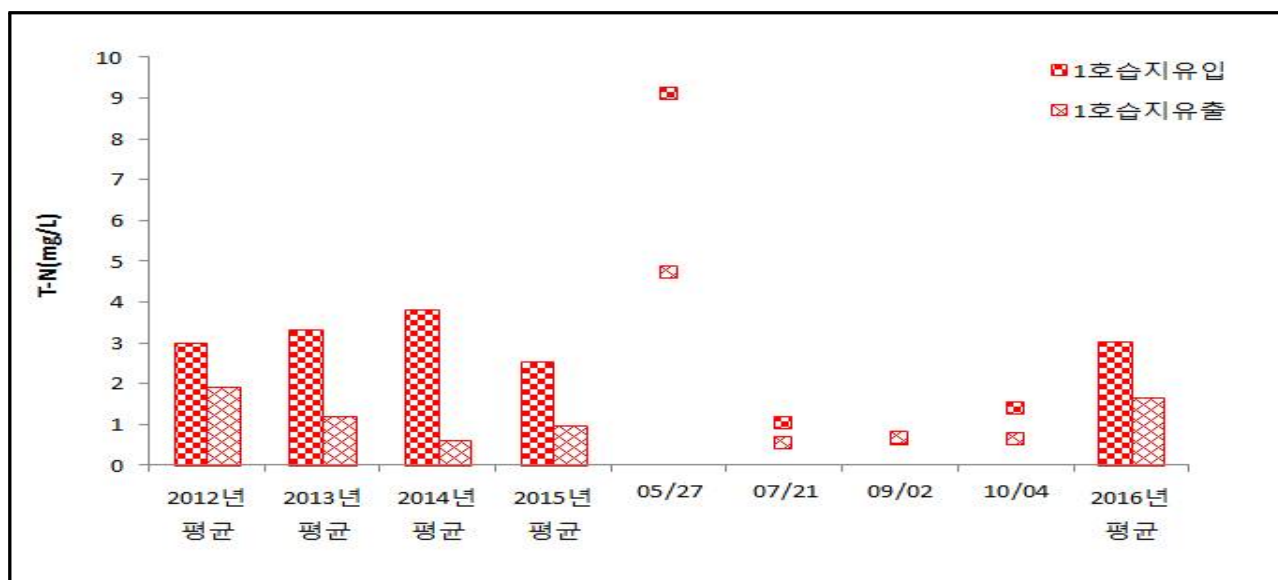
[그림 7-3-4] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC는 호소수 관리기준항목에 2013년부터 추가되어 조사 분석을 실시하였다.
- 분석 결과 유입수가 6.6mg/L에서 유출수는 6.1mg/L로 유출수에서 낮아지는 경향을 보였고, 2차 조사를 제외하고는 모두 유출수의 농도가 낮아 습지에서의 TOC제거 효율이 안정적인 것을 볼 수 있다. 하지만 연차별 농도변화를 보면 조사 첫 해인 2013년 5.3mg/L에 비해 2016년에 6.1mg/L로 농도가 다소 높아지는 것을 볼 수 있는데 이는 2015년에 이어 올해에도 가뭄으로 인한 습지로의 물순환 부족의 영향을 받은 것으로 보여진다.
- TOC 정화효율은 유입부하량이 11.25kg/d이고, 유출부하량이 11.21kg/d로 낮아져 0.3%의 정화효율을 보였다.



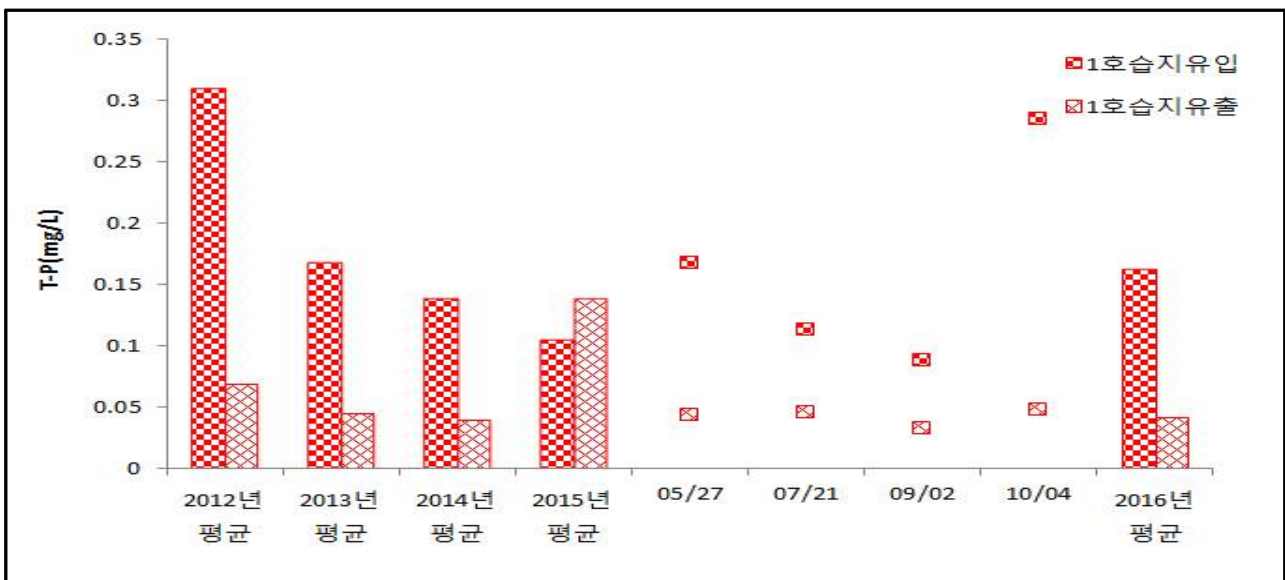
[그림 7-3-5] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N은 1호 인공습지 유입수는 3.030mg/L였는데, 유출수는 1.639mg/L로 낮아져 인공습지에서의 높은 질소 정화효과가 있는 것으로 나타났다.
- 연차별로 살펴보면 2011년도 이후 유출수의 농도가 지속적으로 낮아지는 경향을 보이고 있어 T-N 정화효율이 지속적이고 안정되는 경향을 보이고 있다.
- 질소의 경우 질산화작용과 수중과 표토에서 호기성 미생물에 의해 유기질소는 무기질소의 형태로 변화하게 되며, 수생식물이나 수중 유기물에 의해 흡수 또는 토양에 잔류하며, 무산소 환원층에서 혐기성균에 의해 탈질작용으로 대기로 방출되어 제거된다.
- 강우시에는 유출수의 농도가 유입수에 비해 두배 이상의 정화효율을 보이고 있으므로, 올해 인공습지의 수질정화식물의 식생관리가 이루어지면 전체적인 수질정화 효과도 상승할 것으로 판단된다.
- T-N 정화효율은 유입부하량이 10.551kg/d였는데, 유출부하량은 5.516kg/d로 낮아져 47.7%의 정화효율을 보였다.



[그림 7-3-6] 궁산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P는 1호 인공습지 유입수는 0.163 mg/L였는데, 유출수는 0.046mg/L로 낮아져 인공 습지에서 T-P의 정화효과가 높은걸 알 수 있다.
- 연차별로 살펴보면 사업시행후인 2011년부터 2014년도까지는 유입수에 비해 유출수의 T-P농도가 낮은 경향을 보인 반면, 2015년에는 유출수에서 다소 높아지는 경향을 보였다. 이는 앞의 COD, TOC부분에서도 설명한 바와 같이 2015년에는 극심한 가뭄으로 인해 인공습지 바닥이 노출되어 있는 기간이 길고, 일시적인 강우에 의해 많은 물이 유입되면서 퇴적되어 있던 오염물이 부유되어 유출되기 때문인 것으로 보여진다.
- 인공습지에서 인은 토양흡착, 식물흡수, 침전에 의해 제거되는 성질을 갖고 있는 만큼 유입되는 오염물이 토양 및 수생식물등과 충분한 접촉을 갖도록 해야하며 식물의 적절한 유지관리와 함께 습지의 마름현상을 막는것도 중요하다고 할 수 있다.
- T-P 정화효율은 유입부하량이 0.727kg/d였는데, 유출부하량은 0.189kg/d로 낮아져 74.0%의 매우 높은 정화효율을 보였다.



[그림 7-3-기] 공산지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- 2016년도 공산저수지 2호 인공습지 유입수의 평균 수온은 25.7℃의 분포를 보였고, 유출수는 25.5℃의 분포를 보였다.
- 2호 인공습지 유입수의 평균 pH는 7.1이었는데, 유출수는 7.0로 유입수와 유출수 간에 차이가 없었으며, 농업용수 관리기준인 6.0~8.5를 만족하였다.
- EC는 2호 인공습지 유입수가 255.0 μ S/cm였는데, 유출수는 238.0 μ S/cm로써 서로 비슷한 값을 나타냈으며 작물생육에 지장이 없는 기준이 700 μ S/cm을 만족시키고 있어 농업용수 이용에 적절한 수준이다.
- DO는 유입수가 8.6mg/L였는데, 유출수는 7.6mg/L로써 큰 차이 없이 모두 농업용수 관리기준인 2.0mg/L이상을 만족하였다. 이는 인공습지를 흘러가는 수중의 오염물질을 분해하는 미생물의 활동이 원활함과 동시에 습지내 식물의 적정번식으로 산소공급도 충분히 이루어지는 것으로 보여진다.

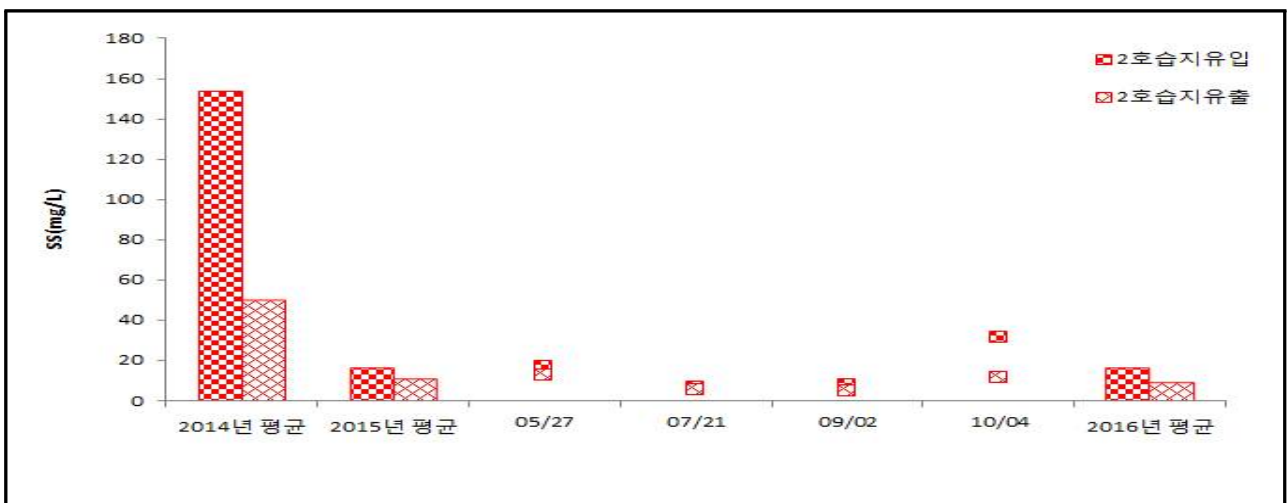
[표 7-3-4] 공산저수지 2호 인공습지 수질변화

구 분		'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (℃)	1호 유입수	23.0	22.1	25.2	26.2	26.7	24.8	25.7	23.5
	1호 유출수	21.5	21.0	25.5	27.2	25.1	24.1	25.5	23.1
pH	1호 유입수	7.6	7.3	7.2	6.9	7.3	6.9	7.1	7.4
	1호 유출수	7.4	7.1	7.2	6.9	7.0	6.9	7.0	7.2
EC (μ S/cm)	1호 유입수	220	199	325	220	258	218	255	241
	1호 유출수	184	228	240	216	252	244	238	249
DO (mg/L)	1호 유입수	9.5	4.7	10.7	7.1	7.6	8.9	8.6	8.8
	1호 유출수	4.5	2.5	10.2	6.1	6.8	7.2	7.6	7.0
SS (mg/L)	1호 유입수	153.9	16.0	17.0	7.0	7.8	31.7	15.9	69.0
	1호 유출수	49.7	10.3	12.7	5.7	5.2	11.6	8.8	19.3
BOD (mg/L)	1호 유입수	4.1	2.8	7.8	3.0	3.3	4.0	4.5	3.7
	1호 유출수	4.0	3.4	7.1	2.5	2.4	2.3	3.6	3.8
COD (mg/L)	1호 유입수	10.1	8.3	20.8	8.4	9.2	10.8	12.3	10.8
	1호 유출수	15.8	9.7	15.2	7.2	7.4	7.0	9.2	14.8
TOC (mg/L)	1호 유입수	5.1	4.5	13.8	4.6	5.6	5.9	7.5	4.2
	1호 유출수	7.7	6.5	9.2	4.7	5.2	4.5	5.9	6.7
T-N (mg/L)	1호 유입수	2.224	1.764	6.135	0.876	0.579	1.536	2.282	1.372
	1호 유출수	1.018	0.981	1.719	0.718	0.566	0.859	0.966	0.902
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.365	0.081	0.212	0.069	0.060	0.159	0.125	0.288
	1호 유출수	0.219	0.129	0.059	0.065	0.062	0.084	0.068	0.227

[표 7-3-5] 공산저수지 2호 인공습지 정화효율

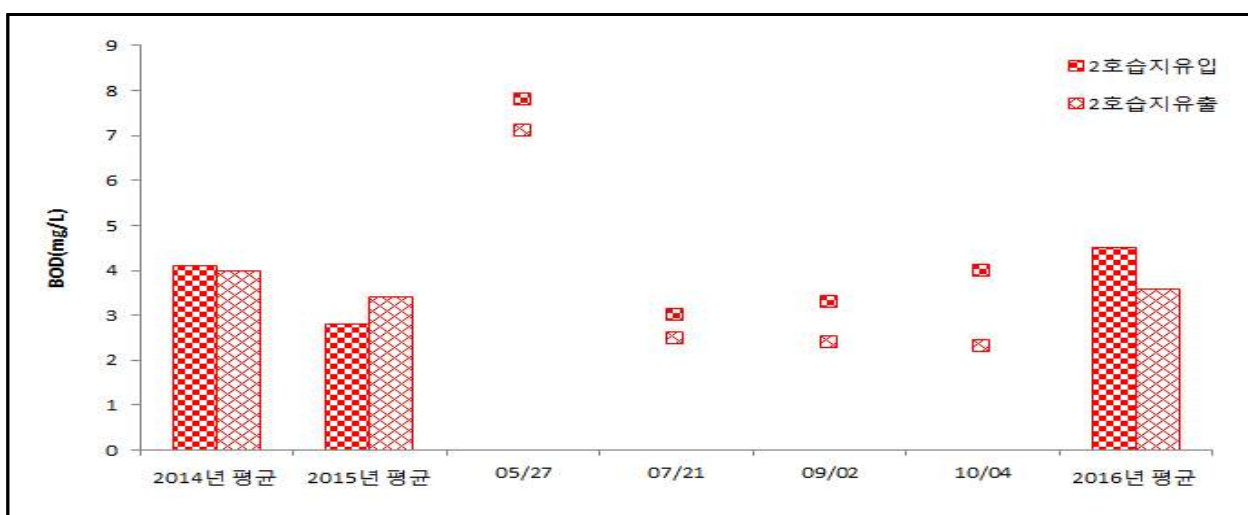
구 분		'12~'16년 전체		'12~'16년 평상시		'12~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	2호습지유입	53.9	23.4	33.4	2.8	145.9	44.6
	2호습지유출	41.3		32.5		80.8	
BOD (kg/d)	2호습지유입	8.1	1.1	6.9	9.8	13.6	-18.7
	2호습지유출	8.0		6.2		16.1	
COD (kg/d)	2호습지유입	23.1	-13.9	19.9	8.3	37.3	-67.3
	2호습지유출	26.3		18.3		62.3	
TOC (kg/d)	2호습지유입	12.3	-23.9	11.2	2.1	17.1	-100.6
	2호습지유출	15.3		11.0		34.4	
T-N (kg/d)	2호습지유입	4.583	48.6	4.291	54.9	5.897	27.8
	2호습지유출	2.358		1.936		4.256	
T-P (kg/d)	2호습지유입	0.291	-17.8	0.201	13.0	0.696	-57.8
	2호습지유출	0.343		0.175		1.099	

- SS는 유입수가 15.9mg/L였는데 유출수는 8.8mg/L로써 인공습지로 충분한 물의 순환이 이루어진 것으로 볼 수 있다. 사업시행 후 전체적으로도 습지의 원활한 물의 흐름으로 높은 정화효율을 나타내고 있다.
- 2호 인공습지 SS 정화효율은 유입부하량이 53.9kg/d였는데, 유출부하량은 41.3kg/d로 낮아져 23.4%의 정화효율을 보였다.



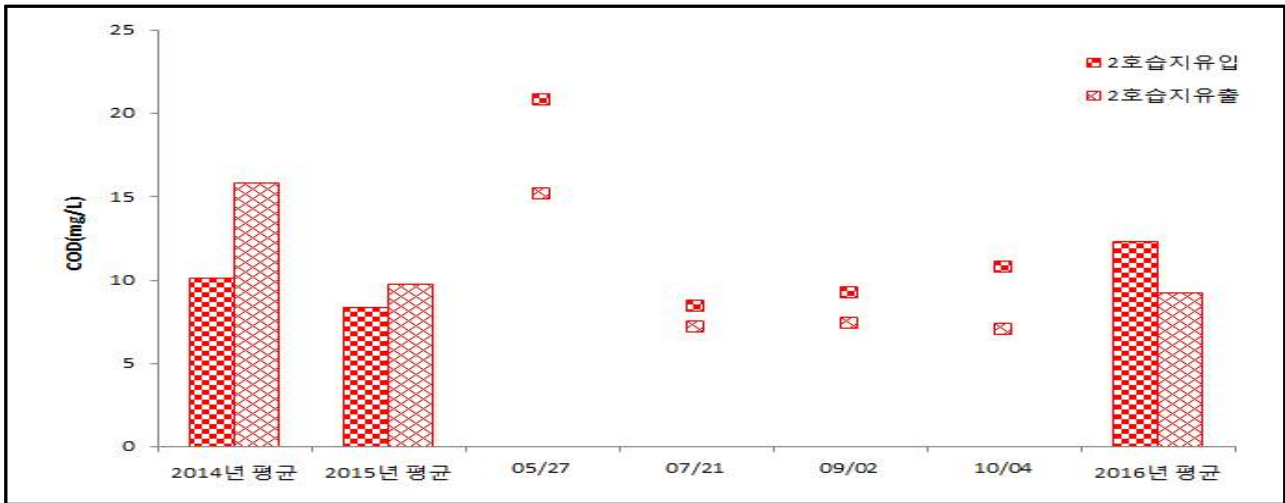
[그림 7-3-8] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화

- BOD는 2호 인공습지 유입수는 4.5mg/L였는데, 유출수는 3.6mg/L로 낮아지고 유입수에 비해 안정된 경향을 보였다.
- 사업시행후인 2015년은 유출수의 농도가 높게 나타났는데 이는 가뭄으로 인한 습지로의 충분한 물 공급이 이루어지지 않아 말라있던 퇴적물에 부착되어 있던 오염물이 부유하여 유출되었기 때문인 것으로 보여진다.
- 2호 인공습지 BOD 정화효율은 유입부하량이 8.1kg/d였는데, 유출부하량은 8.0kg/d로 낮아져 1.1%의 정화효율을 보였다.



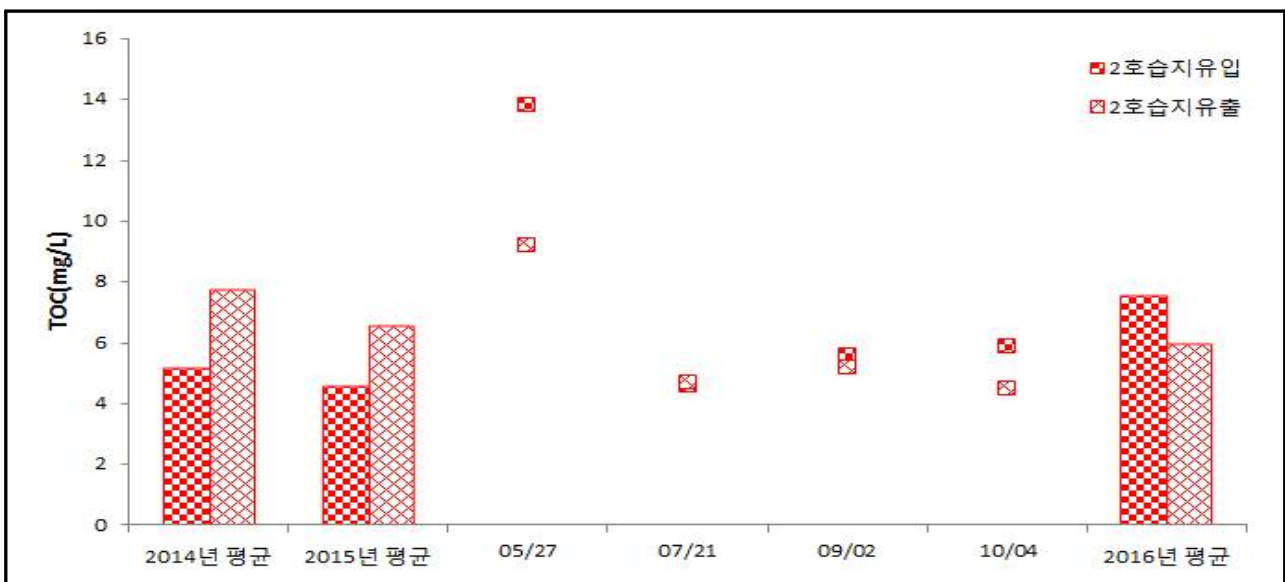
[그림 7-3-9] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화

- COD는 2호 인공습지 유입수가 12.3mg/L인데, 유출수는 9.2mg/L로 낮아지고 있어 유입수에 비해 유출수의 변동이 작아 안정된 경향을 보였다. 또한 1차 ~ 4차조사 모두 유출수의 농도가 낮아 COD의 안정된 정화효율을 나타내고 있다.
- 연차별 정화효율을 살펴보면 2014년과 2015년에는 유입수에 비해 유출수의 농도가 높은 경향을 보였다. 2014년과 2015년은 심한 가뭄으로 인해 인공습지가 건조된 기간이 많아 퇴적물이 부유되어 유출된 경우가 많았기 때문인 것으로 판단된다.
- COD 정화효율을 살펴보면 유입부하량이 23.1kg/d이고, 유출부하량이 26.3kg/d로써 유출부하량이 높은 것으로 나타나 -13.9%의 정화효율을 보였다.



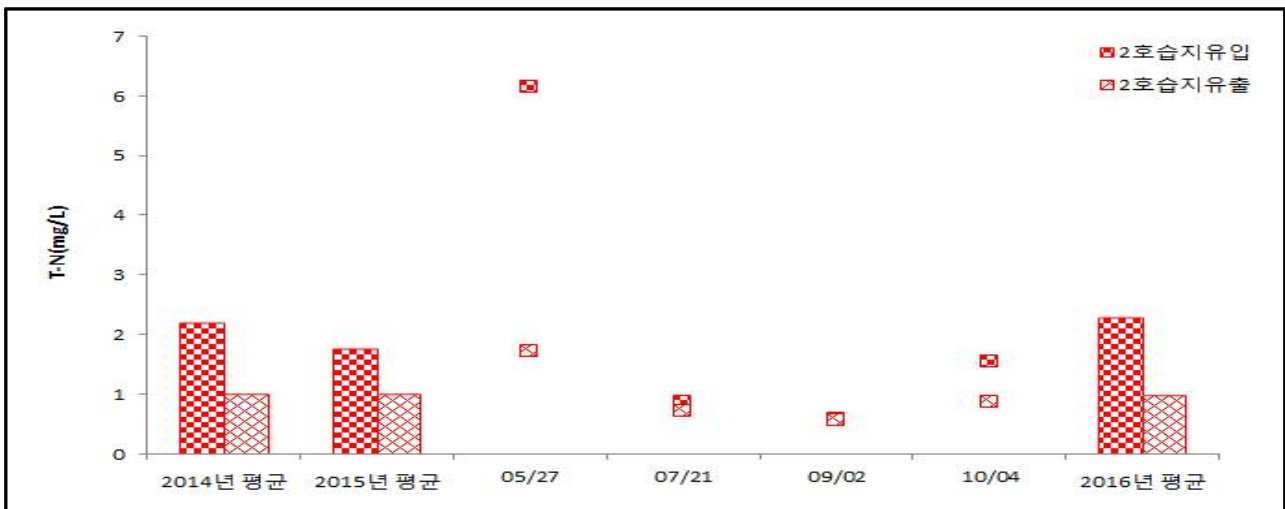
[그림 7-3-10] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC는 호소수 관리기준항목에 2013년부터 추가되어 조사 분석을 실시하였다. 분석 결과 유입수가 7.5mg/L였는데, 유출수는 5.9mg/L로 유출수에서 낮아지는 경향을 보였고, 2차 조사를 제외하고는 모두 유출수의 농도가 낮아 습지에서의 TOC제거 효율이 안정적으로 나타내고 있다.
- 연차별 농도변화를 보면 2014년과 2015년에는 유입수에 비해 유출수의 농도가 높은 경향을 보였다. 2014년과 2015년은 심한 가뭄으로 인해 습지로의 물순환 부족의 영향을 받은 것으로 보여진다.
- TOC 정화효율은 유입부하량이 12.3kg/d이고, 유출부하량이 15.3kg/d로써 COD와 마찬가지로 습지의 유기물정화 효율이 낮아 유입수에 비해 유출수의 농도가 높게 나타났다.



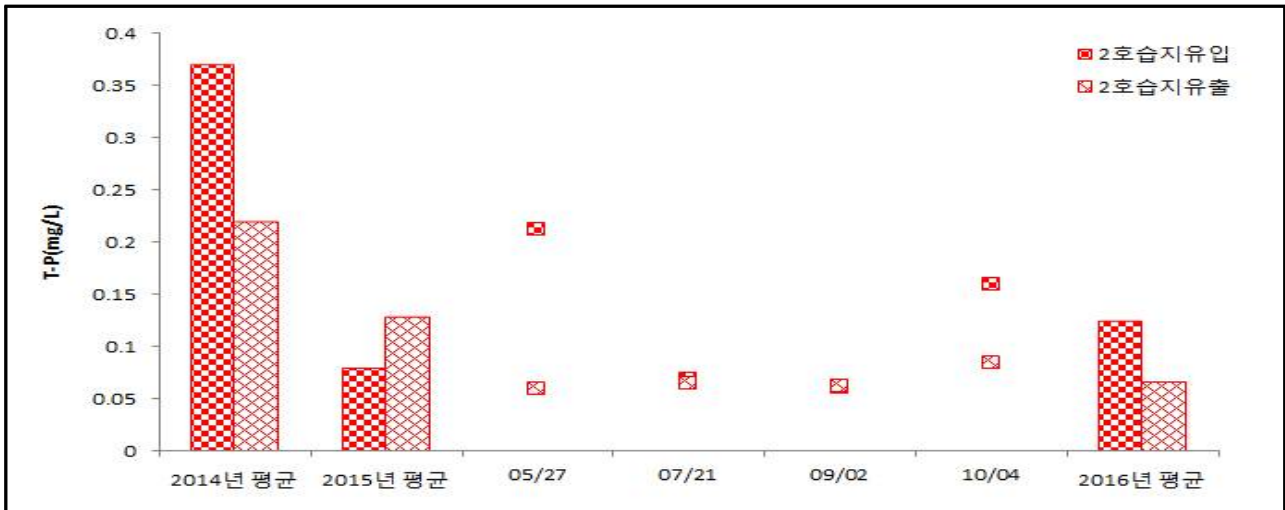
[그림 7-3-11] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N의 경우 2호 인공습지 유입수는 2.282mg/L였는데, 유출수는 0.966mg/L로 낮아져 인공습지에서의 높은 질소 정화효과가 높은 것으로 나타났다.
- 연차별로 살펴보면 2014년도 이후 유출수의 농도가 지속적으로 낮아지는 경향을 보이고 있어 T-N 정화효율이 지속적이고 안정되는 경향을 보이고 있다.
- 질소의 경우 질산화작용과 수중과 표토에서 호기성 미생물에 의해 유기질소는 무기 질소의 형태로 변화하게 되며, 수생식물이나 수중 유기물에 의해 흡수 또는 토양에 잔류하며, 무산소 환원층에서 혐기성균에 의해 탈질작용으로 대기로 방출되어 제거된다.
- 강우시에는 유출수의 농도가 유입수에 비해 안정된 정화효율을 보이고 있으므로, 올해 인공습지의 수질정화식물의 식생관리가 이루어지면 전체적인 수질정화효과도 상승할 것으로 판단된다.
- T-N 정화효율은 유입부하량이 4.583kg/d였는데, 유출부하량은 2.358kg/d로 낮아져 48.6%의 정화효율을 보였다.



[그림 7-3-12] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P의 경우 2호 인공습지 유입수는 0.125 mg/L였는데, 유출수는 0.068mg/L로 낮아져 인공습지에서 T-P의 정화효과가 높은걸 알 수 있다. 3차조사를 제외하고는 모두 유출수의 농도가 낮아 습지에서의 T-P제거 효율이 안정적인걸 볼 수 있다.
- 연차별로 살펴보면 사업시행후인 2015년에는 유입수에 비해 유출수의 농도가 다소 높은 경향을 보였다. 2015년에는 극심한 가뭄으로 인해 인공습지 바닥이 노출되어 있는 기간이 길고, 일시적인 강우에 의해 많은 물이 유입되면서 퇴적되어 있던 오염물이 부유되어 유출되기 때문인 것으로 보여진다.
- T-P 정화효율은 유입부하량이 0.291kg/d였는데, 유출부하량은 0.343kg/d로 높아져 -17.8%의 정화효율을 보였다.



[그림 7-3-13] 공산지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

7.3.2 침강지 수질개선효과

- 공산지구 1호 침강지의 수온은 유입수가 23.7℃이고 유출수가 27.1℃로 유출수의 수온이 다소 높은 경향을 보였다. 이는 침강지에는 식물이 없기 때문에 햇빛을 직접 받아 수온이 올라가는 침강지의 일반적인 경향과 같았다.
- pH는 유입수가 7.0이고 유출수가 7.4로써 큰차이가 없이 농업용수 관리기준(IV등급) 6.0~8.5를 만족하였다.
- EC는 1호 침강지 유입수가 289 μ S/cm였는데, 유출수는 201 μ S/cm로써 유출수가 다소 낮은 경향을 보였다. 1호 침강지 유입수 및 유출수는 모두 작물생장에 지장이 없는 기준인 700 μ S/cm에 비해 적은값으로 농업용수로 이용하는데 문제는 없는 것으로 판단된다.
- DO는 1호 침강지 유입수가 8.5mg/L였는데, 유출수는 8.9mg/L로써 큰 차이를 보이지 않고 있다. 수중의 용존산소농도는 대부분 호소의 농업용수 관리기준인 2.0mg/L 이상을 만족하고 있었다.
- SS는 1호 침강지 유입수가 11.5mg/L였는데, 유출수는 9.7mg/L로써 유출수에서 낮아지는걸로 보아 침강지에서 SS정화가 제대로 이루어지는 것으로 보이나 연차별로 살펴보면 2014년부터 2015년도까지는 유입수에 비해 유출수의 SS농도가 높은 경향을 보였는데 이는 가뭄으로 유입수가 거의 없어 침강지에서 물이 오랫동안 체류하고, 수온으로 인한 조류의 발생증가도 원인으로 볼 수 있다.
- 반면, 2014년과 2015년도를 제외하고는 대부분 유입수에 비해 유출수에서 낮은 값을 나타내 전체적으로는 침강지에서 SS가 정화되는 것을 알 수 있다.

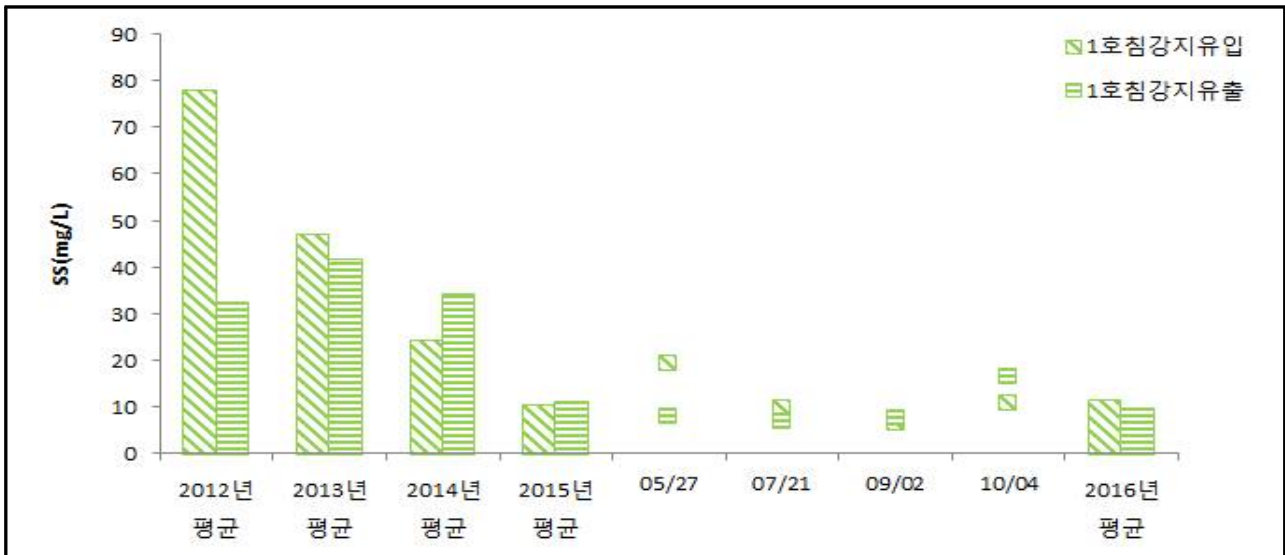
○ 1호 침강지 SS 정화효율은 유입부하량이 1,812.9kg/d였는데, 유출부하량은 1,648.3kg/d로 낮아져 9.1%의 정화효율을 보였다.

[표 7-3-6] 공산저수지 1호 침강지 수질변화

구 분		'12년	'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (°C)	1호 유입수	18.0	21.9	24.4	21.9	21.2	25.3	26.2	22.2	23.7	23.5
	1호 유출수	19.2	24.6	24.5	22.2	26.9	30.3	27.6	23.4	27.1	22.5
pH	1호 유입수	7.5	7.5	8.2	7.4	6.9	7.0	7.3	6.8	7.0	7.3
	1호 유출수	7.9	7.6	7.8	7.2	8.1	7.2	7.1	7.1	7.4	7.3
EC (µS/cm)	1호 유입수	230	246	232	215	344	274	316	220	289	305
	1호 유출수	191	223	198	201	246	78	255	224	201	286
DO (mg/L)	1호 유입수	8.4	8.9	11.0	6.2	9.1	8.3	8.4	8.2	8.5	6.2
	1호 유출수	10.2	8.8	8.1	3.8	12.2	7.5	8.6	7.1	8.9	4.4
SS (mg/L)	1호 유입수	78.1	47.2	24.5	10.7	19.3	9.8	6.3	10.7	11.5	3.9
	1호 유출수	32.5	41.8	34.2	11.4	8.0	6.8	7.6	16.5	9.7	7.0
BOD (mg/L)	1호 유입수	3.4	6.2	7.7	2.9	5.6	4.5	4.1	4.3	4.6	2.4
	1호 유출수	4.4	4.5	6.1	2.4	6.0	4.4	2.8	4.1	4.3	2.6
COD (mg/L)	1호 유입수	8.3	10.5	8.3	6.9	14.8	10.0	10.4	10.4	11.4	6.4
	1호 유출수	8.6	9.5	9.2	8.0	18.0	10.4	7.4	9.6	11.4	8.4
TOC (mg/L)	1호 유입수	-	6.0	4.8	4.3	9.5	4.9	5.7	6.2	6.6	3.6
	1호 유출수	-	5.1	5.2	4.9	8.3	5.9	5.2	5.7	6.3	5.4
T-N (mg/L)	1호 유입수	3.239	2.723	3.814	2.538	9.106	1.010	0.625	1.378	3.030	1.428
	1호 유출수	2.491	2.788	1.596	1.273	2.829	0.654	0.583	1.469	1.384	0.976
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.354	0.196	0.140	0.106	0.167	0.113	0.088	0.285	0.163	0.131
	1호 유출수	0.166	0.170	0.211	0.079	0.093	0.063	0.042	0.160	0.090	0.070

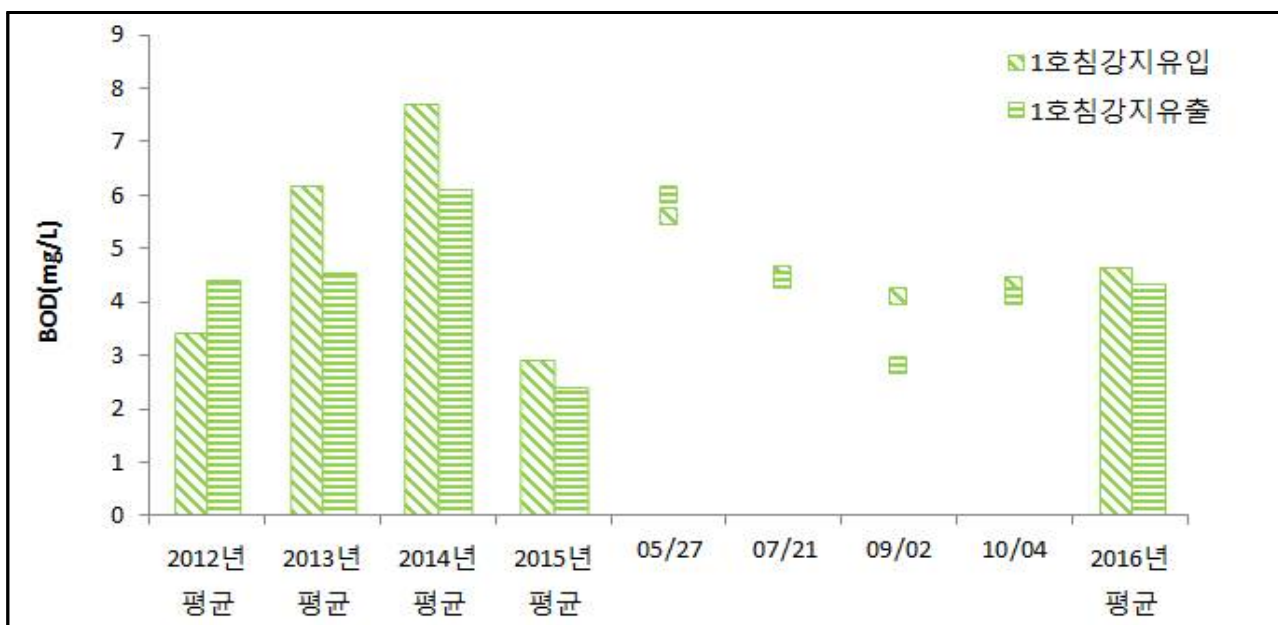
[표 7-3-7] 공산저수지 1호 침강지 정화효율

구 분		'12~'16년 전체		'12~'16년 평상시		'12~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	1호침강지유입	1,812.9	9.1	54.7	-8.5	6,585.3	9.5
	1호침강지유출	1,648.3		59.3		5,961.3	
BOD (kg/d)	1호침강지유입	72.9	5.6	15.8	11.4	219.8	4.5
	1호침강지유출	68.8		14.0		209.9	
COD (kg/d)	1호침강지유입	177.0	-17.6	27.6	-7.3	582.6	-18.9
	1호침강지유출	208.2		29.7		692.8	
TOC (kg/d)	1호침강지유입	103.7	-37.1	14.0	-11.8	432.5	-40.2
	1호침강지유출	142.2		15.7		606.2	
T-N (kg/d)	1호침강지유입	52.033	11.8	9.504	31.2	167.470	8.9
	1호침강지유출	45.873		6.538		152.641	
T-P (kg/d)	1호침강지유입	6.441	-29.5	0.558	30.0	22.410	-33.5
	1호침강지유출	8.341		0.391		29.922	



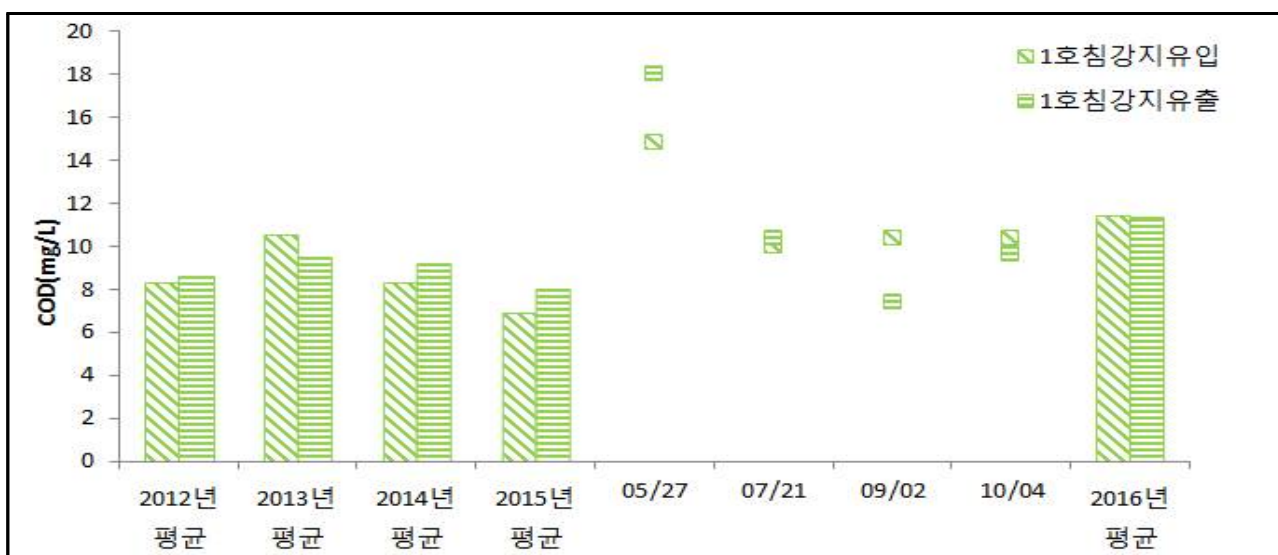
[그림 7-3-14] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화

- 유기물 지표인 BOD는 1호 침강지 유입수는 4.6mg/L였는데, 유출수는 4.3mg/L로써 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮아지는 경향을 보였다. 연차별로는 2012년을 제외하고는 일정하게 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이는 유기물 지표인 BOD의 제거 효율이 잘 이루어지는 것으로 볼 수 있다.
- 1호 침강지 BOD 정화효율은 유입부하량이 72.9kg/d였는데, 유출부하량은 68.8kg/d로 낮아져 5.6%의 정화효율을 보였다.



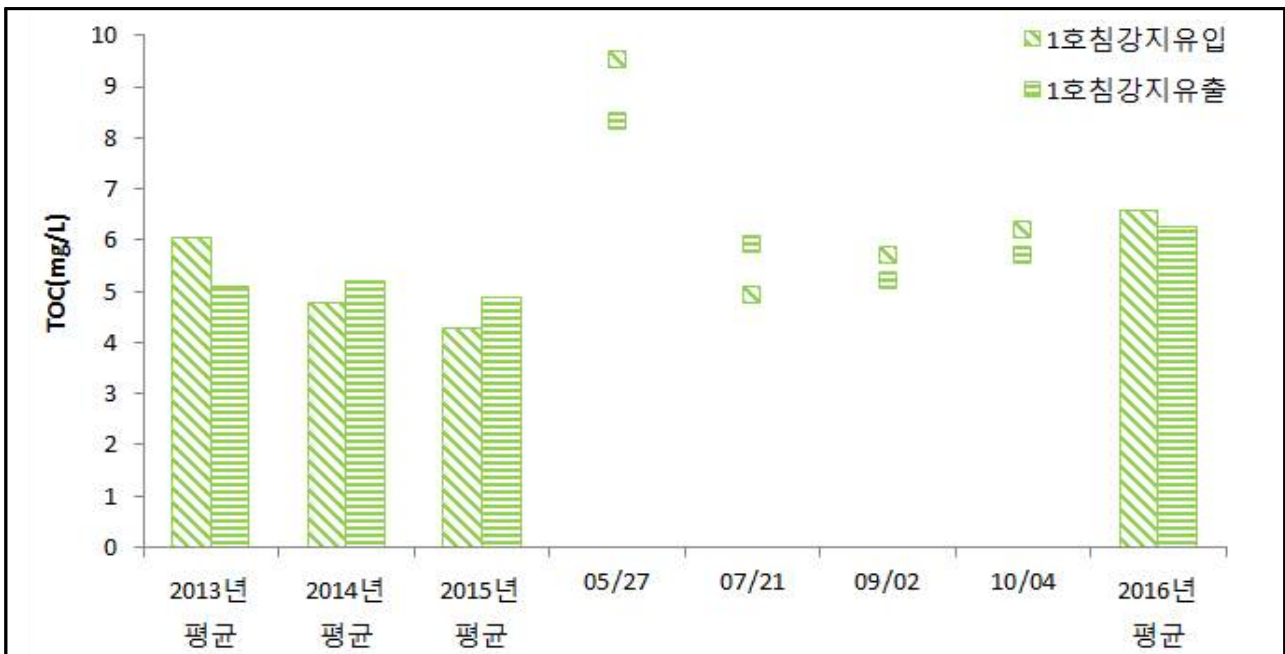
[그림 7-3-15] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화

- COD는 1호 침강지 유입수가 11.4mg/L이었는데, 유출수는 11.4mg/L로 똑같은 농도를 보였다. 연차별로는 2013년을 제외하고는 모두 유입수에 비해 유출수의 농도가 높은 경향을 보였다.
- 유입수에 비해 유출수의 농도가 높았던 것은 강우시의 일시적인 유입과 가뭄시 정체되는 조건에서 조류의 번식에 의한 것이 원인인 것으로 판단된다.
- COD 정화효율을 살펴보면 유입부하량이 177.0kg/d이고, 유출부하량이 208.2kg/d로 유출부하량이 높은 것으로 나타나 -17.6%의 정화효율을 보였다.



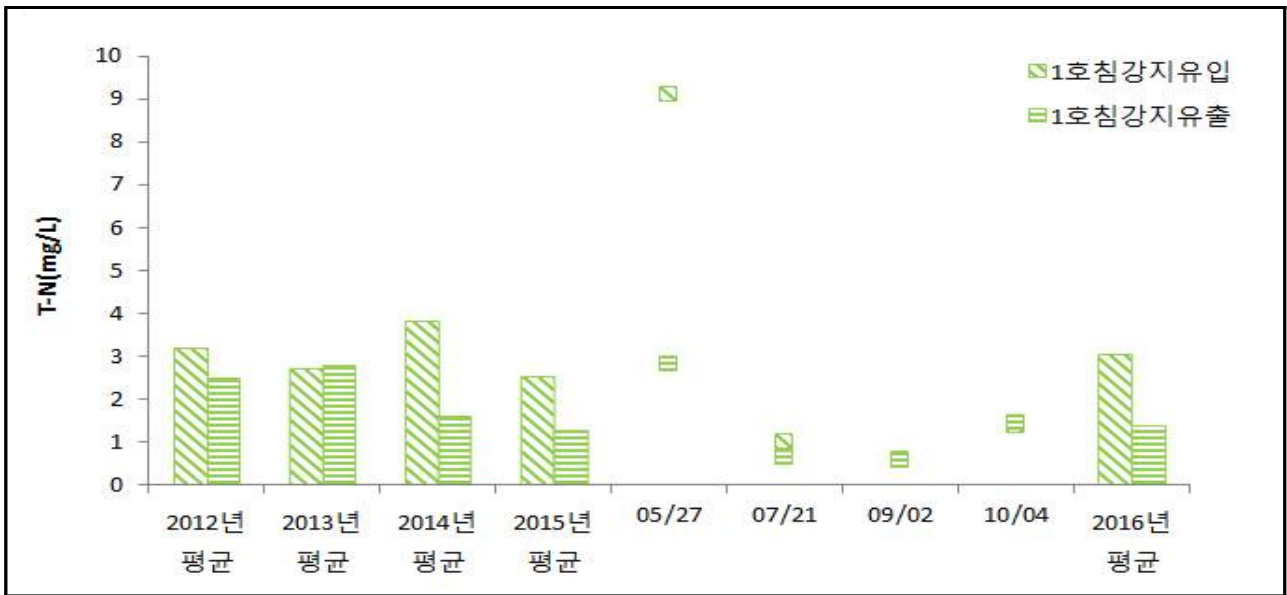
[그림 7-3-16] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC의 경우 전체적으로 유입수의 농도가 6.6mg/L였는데, 유출수는 6.3mg/L로 약간 낮아졌다. 연차별로도 2014년도와 2015년도 모두 유입수에 비해 유출수에서 높은 경향을 보였는데 이는 COD와 마찬가지로 조류의 발생에 기인한 것으로 볼 수 있다.
- TOC 정화효율을 살펴보면 유입부하량이 103.7kg/d이고, 유출부하량이 142.2kg/d로 COD와 마찬가지로 습지의 유기물정화 효율이 낮아 유입수에 비해 유출수의 농도가 높게 나타났다.



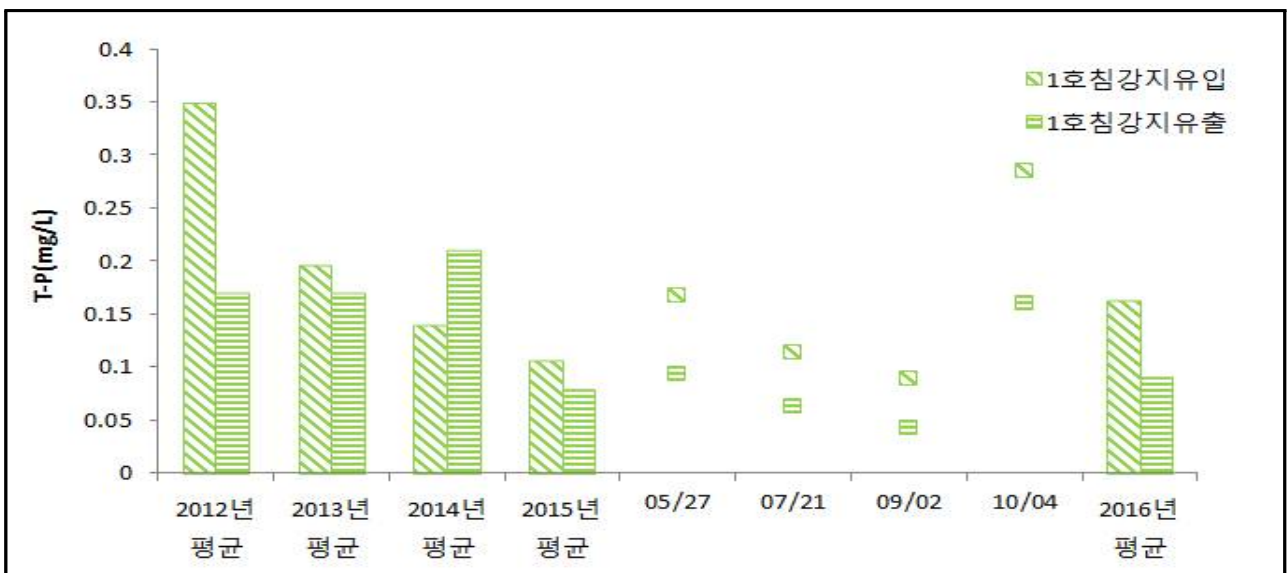
[그림 7-3-17] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N의 경우 1호 침강지의 유입수는 3.030mg/L였는데, 유출수는 1.384mg/L로 낮아져 정화효과가 있었다. 연차별로 살펴보면 2011년부터 2015년까지 모두 유입수에 비해 유출수의 T-N농도가 낮은 경향을 보였다.
- 이와 같이 침강지에서 T-N이 정화된 것은 침강지로 질소가 유입되면 이것을 내부 생산에 의해 발생한 조류가 영양물질로 흡수하여 수중의 질소 성분이 줄어들기 때문으로 볼 수 있다.
- T-N 정화효율은 유입 부하량이 52.033kg/d였는데, 유출부하량은 45.873kg/d로 낮아져 11.8%의 정화효율을 보였다.



[그림 7-3-18] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P의 경우 1호 침강지 유입수는 0.163mg/L였는데, 유출수는 0.090mg/L로 낮아졌다.
- 연차별로 살펴보면 2014년을 제외하고는 모두 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮은 경향을 보였다. 이는 침강지내에서 정체되는 동안 인 성분의 침전으로 인한 것으로 볼 수 있다.
- T-P 정화효율을 살펴보면 유입부하량이 6.441kg/d이고, 유출부하량이 8.341kg/d로 유출부하량이 높은 것으로 나타나 -29.5%의 정화효율을 보였다.



[그림 7-3-19] 공산지구 1호 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- 공산지구 2호 침강지의 수온은 유입수가 25.7℃이고 유출수가 26.9℃로 유출수의 수온이 다소 높은 경향을 보였다. 이는 침강지에는 식물이 없기 때문에 햇빛을 직접 받아 수온이 올라가는 침강지의 일반적인 경향과 같았다.
- pH는 유입수가 7.1이고 유출수가 7.4로써 큰차이가 없이 농업용수 관리기준(IV등급) 6.0~8.5를 만족하였다.
- EC는 유입수가 255 μ S/cm인데, 유출수가 236 μ S/cm로 약간 낮아지는 경향을 보였으나 이는 모두 식물생장에 지장이 없는 기준인 700 μ S/cm 이하를 만족하였다.
- DO는 유입수가 8.6mg/L, 유출수가 8.3mg/L로 농업용수 관리기준인 2.0mg/L 이상을 만족하였다.

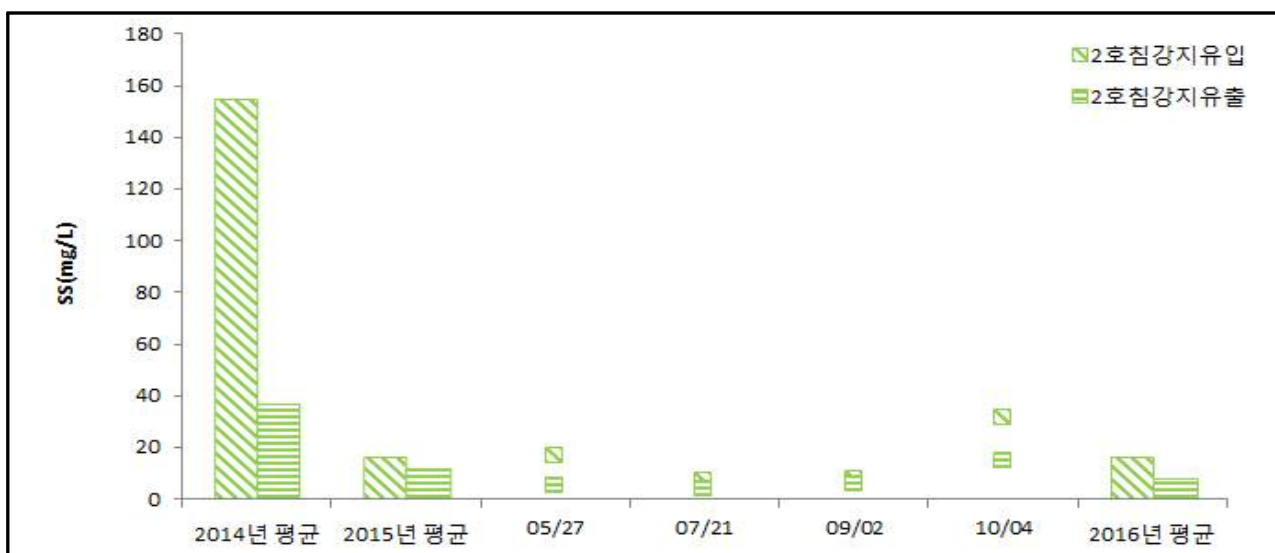
[표 7-3-8] 공산저수지 2호 침강지 수질변화

구 분		'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (℃)	1호 유입수	23.0	22.1	25.2	26.2	26.7	24.8	25.7	23.5
	1호 유출수	25.3	21.7	26.2	30.5	27.4	23.4	26.9	23.4
pH	1호 유입수	7.6	7.3	7.2	6.9	7.3	6.9	7.1	7.4
	1호 유출수	7.9	7.4	8.4	7.0	7.1	7.0	7.4	7.5
EC (μ S/cm)	1호 유입수	220	199	325	220	258	218	255	241
	1호 유출수	191	196	252	213	254	223	236	243
DO (mg/L)	1호 유입수	9.5	4.7	10.7	7.1	7.6	8.9	8.6	8.8
	1호 유출수	9.9	4.8	10.5	7.0	8.0	7.7	8.3	7.0
SS (mg/L)	1호 유입수	153.9	16.0	17.0	7.0	7.8	31.7	15.9	69.0
	1호 유출수	36.3	11.4	5.0	3.8	6.1	14.8	7.4	10.2
BOD (mg/L)	1호 유입수	4.1	2.8	7.8	3.0	3.3	3.9	4.5	3.7
	1호 유출수	5.5	3.6	7.7	2.8	2.3	3.2	4.0	3.5
COD (mg/L)	1호 유입수	10.1	8.3	20.8	8.4	9.2	10.8	12.3	10.8
	1호 유출수	9.0	8.1	19.6	8.8	7.6	8.6	11.2	9.0
TOC (mg/L)	1호 유입수	5.1	4.5	13.8	4.6	5.6	5.9	7.5	4.2
	1호 유출수	5.3	5.1	10.9	6.3	5.2	5.2	6.9	5.0
T-N (mg/L)	1호 유입수	2.224	1.764	6.135	0.876	0.579	1.536	2.282	1.372
	1호 유출수	1.505	1.187	3.240	0.662	0.609	0.990	1.375	0.741
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.365	0.081	0.212	0.069	0.060	0.159	0.125	0.288
	1호 유출수	0.207	0.087	0.128	0.044	0.040	0.108	0.080	0.092

[표 7-3-9] 공산저수지 2호 침강지 정화효율

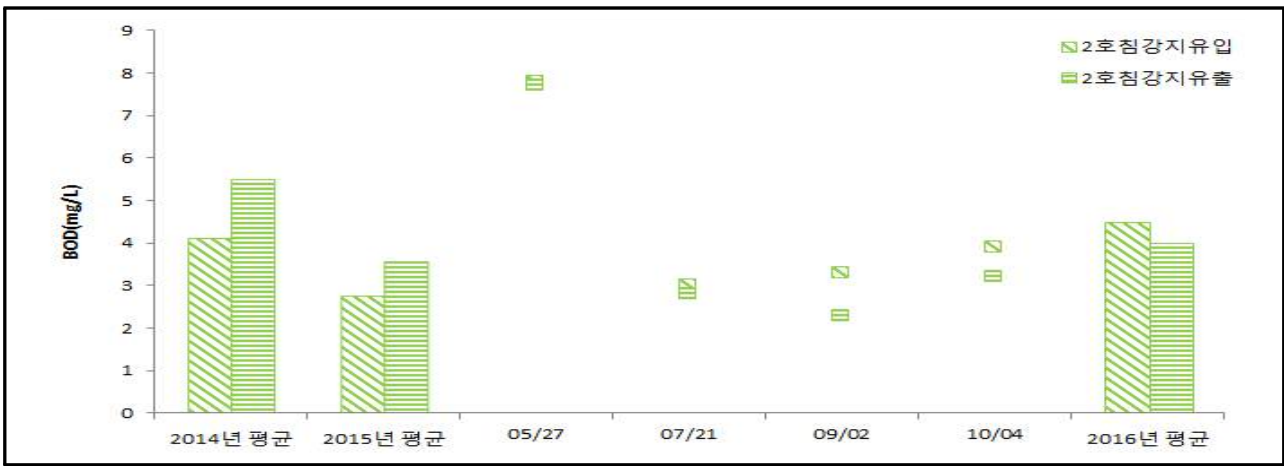
구 분		'12~'16년 전체		'12~'16년 평상시		'12~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	2호침강지유입	8,508.3	82.0	180.4	49.2	39,043.9	82.6
	2호침강지유출	1,530.7		91.7		6,807.2	
BOD (kg/d)	2호침강지유입	98.3	41.6	25.4	21.0	366.0	46.9
	2호침강지유출	57.4		20.0		194.4	
COD (kg/d)	2호침강지유입	300.0	37.3	96.3	35.3	1,046.7	38.0
	2호침강지유출	188.0		62.3		648.8	
TOC (kg/d)	2호침강지유입	115.3	7.4	49.2	20.6	357.7	0.8
	2호침강지유출	106.7		39.1		354.9	
T-N (kg/d)	2호침강지유입	49.901	30.8	20.948	47.8	156.064	22.4
	2호침강지유출	34.546		10.930		121.137	
T-P (kg/d)	2호침강지유입	18.618	56.9	0.849	39.2	83.772	57.5
	2호침강지유출	8.031		0.516		35.588	

- SS는 2호 침강지 유입수가 15.9mg/L였는데, 유출수는 7.4mg/L로써 유출수에서 낮아지는결로 보아 침강지에서 SS정화가 제대로 이루어지고 있으며, 2014년과 2015년도 유입수에 비해 유출수에서 낮은 값을 나타내 전체적으로는 침강지에서 SS가 안정적으로 정화되는 것을 알 수 있다.
- 2호 침강지 SS 정화효율은 유입부하량이 8,508.3kg/d였는데, 유출부하량은 1,530.7kg/d로 낮아져 82.0%의 매우 높은 정화효율을 보였다.



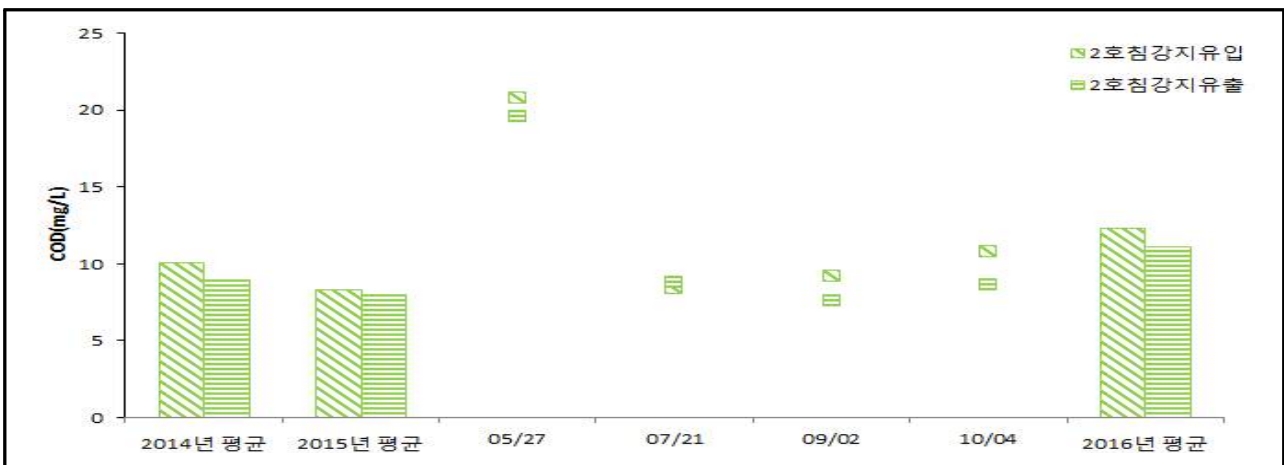
[그림 7-3-20] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화

- 유기물 지표인 BOD는 2호 침강지 유입수는 4.5mg/L였는데, 유출수는 4.0mg/L로 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮아지는 경향을 보였다.
- 연차별로는 2014년과 2015년에 유입수에 비해 유출수의 농도가 높아지는 경향을 보였다. 가뭄으로 인한 침강지 물의 정체와 저층 영양물질의 영향으로 인해 다소 높게 나타난 것으로 판단된다.
- 2호 침강지 BOD 정화효율은 유입부하량이 98.3kg/d였는데, 유출부하량은 57.4kg/d로 낮아져 41.6%의 정화효율을 보였다.



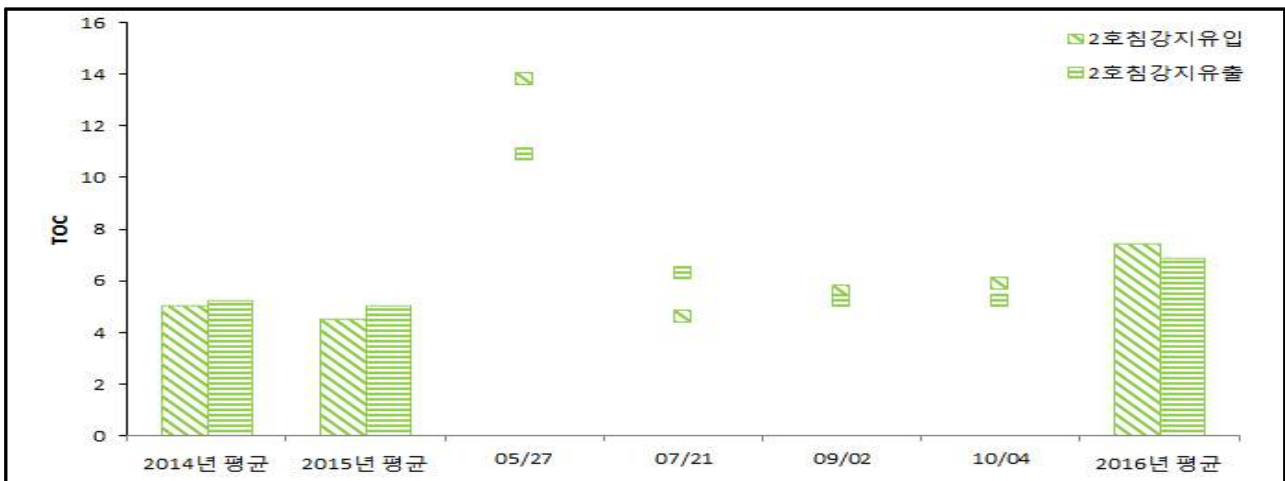
[그림 7-3-21] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화

- COD는 2호 침강지 유입수가 12.3mg/L이었는데, 유출수는 11.2mg/L로 낮아졌다.
- 연차별로는 2014년과 2015년에도 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮은 경향을 보였으며, 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮아져 안정적인 정화효율을 나타냈다.
- 2호 침강지 COD 정화효율은 유입부하량이 300.0kg/d였는데, 유출부하량은 188.0kg/d로 낮아져 37.3%의 정화효율을 보였다.



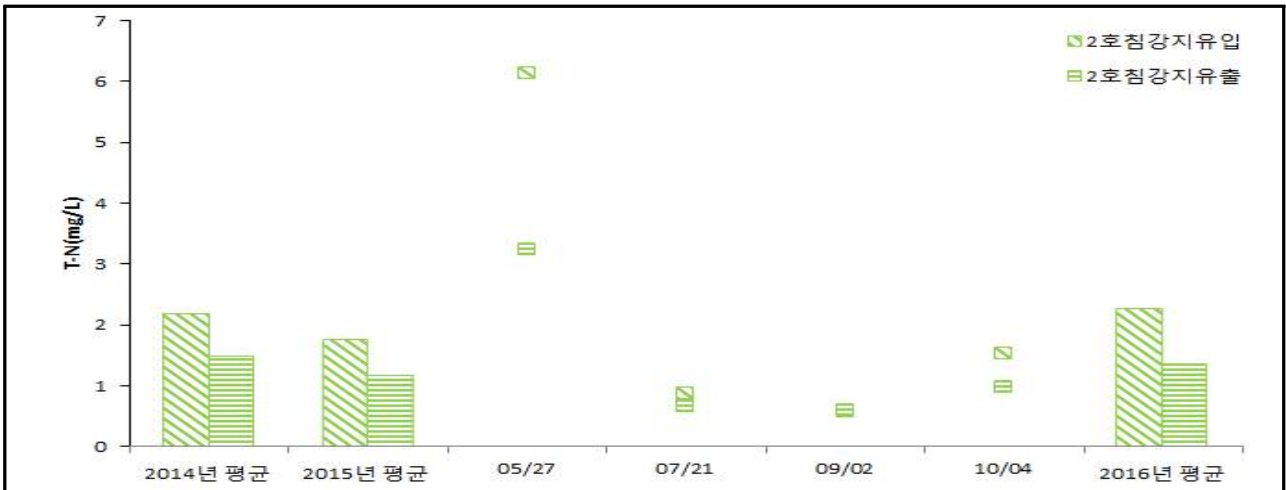
[그림 7-3-22] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC는 2호 침강지 유입수는 4.5mg/L였는데, 유출수는 4.0mg/L로써 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮아지는 안정적인 경향을 보였다. 연차별로는 2014년과 2015년에 유입수에 비해 유출수의 농도가 높아지는 경향을 보였는데 이는 조류의 발생에 기인한 것으로 볼 수 있다.
- TOC 정화효율은 유입부하량이 115.3kg/d이고, 유출부하량이 106.7kg/d로 낮아져 7.4%의 정화효율을 보였다.



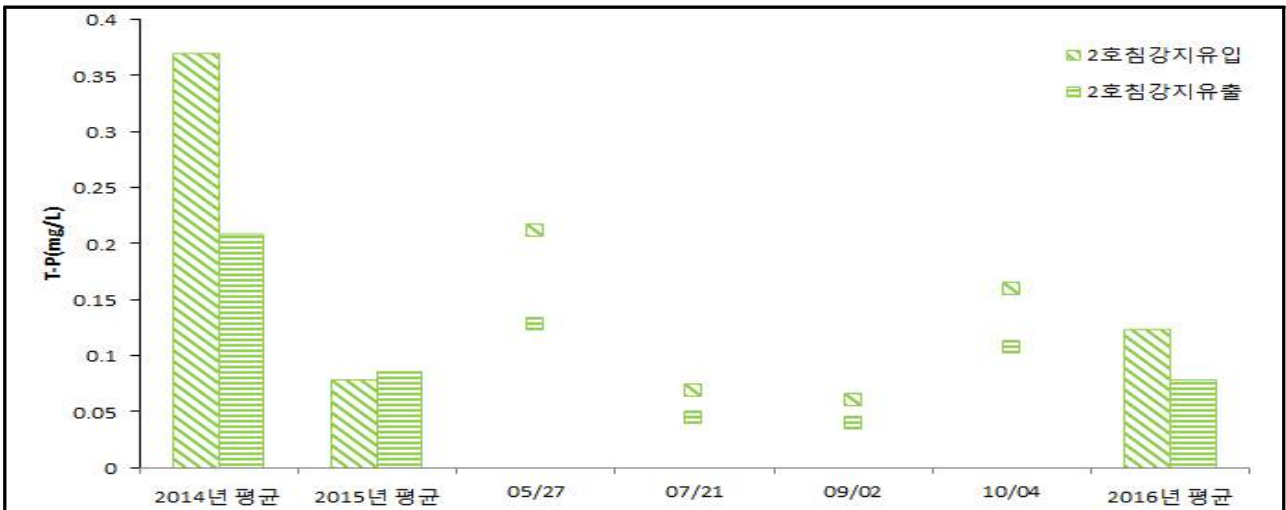
[그림 7-3-23] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N의 경우 2호 침강지의 유입수는 2.282mg/L였는데, 유출수는 1.375mg/L로 낮아져 정화효과가 있었다. 연차별로 살펴보면 2014년부터 2015년까지 모두 유입수에 비해 유출수의 T-N 농도가 낮은 경향을 보였다. 이와 같이 침강지에서 T-N이 정화된 것은 침강지로 질소가 유입되면 이것을 내부생산에 의해 발생한 조류가 영양물질로 흡수하여 수중의 질소 성분이 줄어들기 때문으로 볼 수 있다.
- T-N 정화효율은 유입부하량이 49.901kg/d였는데, 유출부하량은 34.546kg/d로 낮아져 30.8%의 정화효율을 보였다.



[그림 7-3-24] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P의 경우 2호 침강지 유입수는 0.125mg/L였는데, 유출수는 0.080mg/L로 낮아졌다.
- 연차별로 살펴보면 2015년에 약간 높아진 것을 제외하고는 모두 유입수에 비해 유출수의 농도가 낮은 경향을 보였다. 이는 침강지내에서 정체되는 동안 인 성분의 침전으로 인한 것으로 볼 수 있다.
- T-P 정화효율은 유입부하량이 18.618kg/d였는데, 유출부하량은 8.031kg/d로 낮아져 56.9%의 정화효율을 보였다.



[그림 7-3-25] 공산지구 2호 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화

7.3.3 퇴적물 조사결과

- 퇴적물 분석결과 2호 인공습지에서 채취한 퇴적물의 입도는 모래 50.3%, 실트 32.7%, 점토 17.0%로써 L(양토)이고, 1호 침강지의 퇴적물은 모래 49.4%, 실트 33.6%, 점토 17.0%로써 L(양토)로 분류 되었다.
- 2호 인공습지와 1호 침강지의 pH는 각각 6.0, 6.2로써 습지 여재로서 이용하기 좋은 6.0~8.5의 범위를 다소 벗어나 있다.
- EC는 2호 인공습지 0.044dS/m, 1호 침강지 0.038dS/m로써 식물성장 매체로 적합한 4.0dS/m 이하이기 때문에 문제가 없는 것으로 조사되었다.
- 유기물은 2호 인공습지 0.2%, 1호 침강지 0.24%이고 유효인산은 2호 인공습지 11.63mg/kg, 1호 침강지 14.79mg/kg로 조사되었다.
- 2호 인공습지의 강열감량은 3.7%, T-N은 1,039.0mg/kg, T-P는 265.2mg/kg으로 조사되어 국립환경과학원 호소 퇴적물 오염평가 기준보다 낮게 조사되었다.
- 1호 침강지의 강열감량은 4.0%, T-N은 1,100.7mg/kg로 T-P는 291.7mg/kg로 조사되어 국립환경과학원 호소 퇴적물 오염평가 기준보다는 낮지만 습지보다 조금 더 오염된 것으로 나타났다.

[표 7-3-10] 공산저수지 인공습지 및 침강지 퇴적물 조사 결과

구 분	토성	강열감량 (%)	총질소 (mg/kg)	총인 (mg/kg)
1호 침 강 지	양토(L)	4.0	1,100.7	291.7
2호 인공습지	양토(L)	3.7	1,039.0	265.2
평 균	양토(L)	3.9	1,069.9	278.5

[표 7-3-11] 호소 퇴적물 오염평가 기준

항 목		등 급			
		I	II	III	IV
유기물 및 영양염류	완전연소가능량(%)		-		13 초과
	총질소(mg/kg)		-		5,600 초과
	총인(mg/kg)		-		1,600 초과
비고 : 1. 등급별 퇴적물의 상태<유기물, 영양염류> - IV 등급 : 심각하고 명백한 오염					

* 자료 : 국립환경과학원예규 제687호, 2015년

7.4. 저수지 수질변화 및 개선효과

- 공산저수지 수질개선시설은 운영 5년차로써, BOD발생 부하량이 준공년도인 2011년도에 313.8kg/d에서 2014년도에는 326.4kg/d까지 증가하다가 2015년 이후로 감소하여 올해는 233.7kg/d까지 감소하였다. 이에 따라 공산저수지의 COD는 준공년도인 2011년에 10.3mg/L 였다가 2016년에는 7.6mg/L까지 감소하여 목표수질을 달성하였다.
- TOC는 2011년도에 3.9mg/L에서 2012년도에는 5.4mg/L로 높아졌다가 2013년 이후 지속적으로 낮아졌으며 준공이후 모두 호소의 농업용수 관리기준인 6.0mg/L 이하를 지속적으로 만족하고 있다.
- 공산저수지 유역내 오염부하량 감소는 인구감소와 소규모 축산농가의 폐업으로 오염부하량 감소에 영향을 끼친 것으로 보여진다.
- 공산저수지 COD, TOC 등 유기물의 농도가 준공년도부터 개선되고 있는 것은 유역내 오염부하량의 점차적인 감소와 인공습지에 수질정화식물이 안정적으로 정착되고 수질개선시설의 적극적인 유지관리를 통한 결과로 판단된다.



[그림 7-4-1] 공산지구 유역 연도별 BOD발생부하량 및 COD, TOC농도 변화

[표 7-4-1] 공산저수지 월별 저수율 현황

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월
저수율 (%)	95.0	98.8	96.8	98.9	98.8	69.6	78.8	54.5	50.9	69.6	72.8

- T-N은 준공년도인 2011년도에 발생부하량이 240.0kg/d에서 2014년도에 249.6kg/d 까지 다소 증가하다가 2015년 이후 감소하여 올해는 194.1kg/d까지 감소하였다. T-N 농도는 준공년도인 2011년도에 1.417mg/L였다가 2013년까지 1.704mg/L로 증가하다가 이후 점차 낮아져 2016년에는 1.357mg/L의 농도를 나타냈으나, 이는 TN/TP비가 32로 16이상이기 때문에 T-N기준은 적용하지 않는다.



[그림 7-4-2] 공산지구 유역 연도별 T-N발생부하량 및 T-N농도 변화

- T-P는 준공년도인 2011년도에 발생부하량이 22.3kg/d에서 2014년도에 23.2kg/d까지 다소 증가하다가 2015년 이후 감소하여 올해는 17.6kg/d 까지 감소하였다. T-P농도는 준공년도인 2011년도에 0.092mg/L였는데 2013년을 제외하곤 차츰 감소하여 2016년에는 0.043mg/L의 농도를 나타내, 농업용수 관리기준 0.1mg/L이하를 만족하고 있다.



[그림 7-4-3] 공산지구 유역 연도별 T-P발생부하량 및 T-P농도 변화

7.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안

- 공산지구의 1·2호 취입보 관리에 주의를 기울여 강우시 상류 농경지의 침수 민원이 발생하지 않도록 함과 동시에 저수지의 수질개선을 위해서 오염물질의 농도가 높은 초기 강우가 습지로 유입되도록 취입보를 지속적으로 세심하게 관리를 할 필요가 있다.
- 올해 가뭄으로 인해 습지로 물이 정상적으로 공급되지 못하여 식재된 식물들이 고사하는 상태가 일부 발생되었다. 이는 고사 식물의 부패와 혐기성분해로 이어져 습지의 정화효율을 현저히 떨어뜨릴 수 있기 때문에 습지내 고사된 식생 제거 및 과밀성장한 수질정화식물에 대한 절취 등의 지속적인 유지관리가 필요하다.
- 공산저수지는 하천형 침강지로서 퇴적되는 토사와 오염물질로 인해 녹조현상과 함께 수질을 악화시킬 수 있는 만큼 침강지를 준설하거나 조류를 제거하여 저수지로 유입되는 수질을 개선시킬 필요가 있다. 그리고 가뭄이나 급수시기 습지로의 유입수가 부족할 경우 습지내 물이 정체되어 체류시간의 연장으로 인한 식물의 고사와 이로 인한 수질악화의 우려가 있으므로 식물절취와 함께 습지내 물의 배수가 원활이 이루어 질 수 있도록 해야한다.
- 그리하여 올해에는 1,2호 인공습지내 고사되거나 과밀성장한 수질정화식물 갈대를 11월부터 12월 초까지 절취하여 외부반출을 실시하였고 취입부에 스크린을 설치하여 쓰레기 등 오염물질 유입을 차단하고 있다.

7.6. 결 론

- 공산저수지는 수혜면적 260ha의 중규모 농업용수원으로서 고창군 해리 등에 양질의 농업용수를 공급하는 중요한 농업용수원로서의 역할을 수행해 오고 있다.
- 공산지구 수질개선사업은 유역이 크고 마을과 기존 농경지 등 오염원이 많아 오염물질을 호내 유입전 자연환경 특성에 적합한 자연정화기법을 응용한 처리방식에 의한 수질개선 공법을 적용하였으며, 주요 공법은 침강지와 인공습지이다. 본 지구의 인공습지의 체류시간은 수질정화효율이 가장 높은 12시간을 기준으로 적용하였다.
- 유역내 오염물질 부하량은 사업시행후인 2012년 BOD 311.8kg/일, T-N 239.5kg/일, T-P 22.1kg/일로 나타났으며 이후 점차적으로 감소하는 추세에 있다.

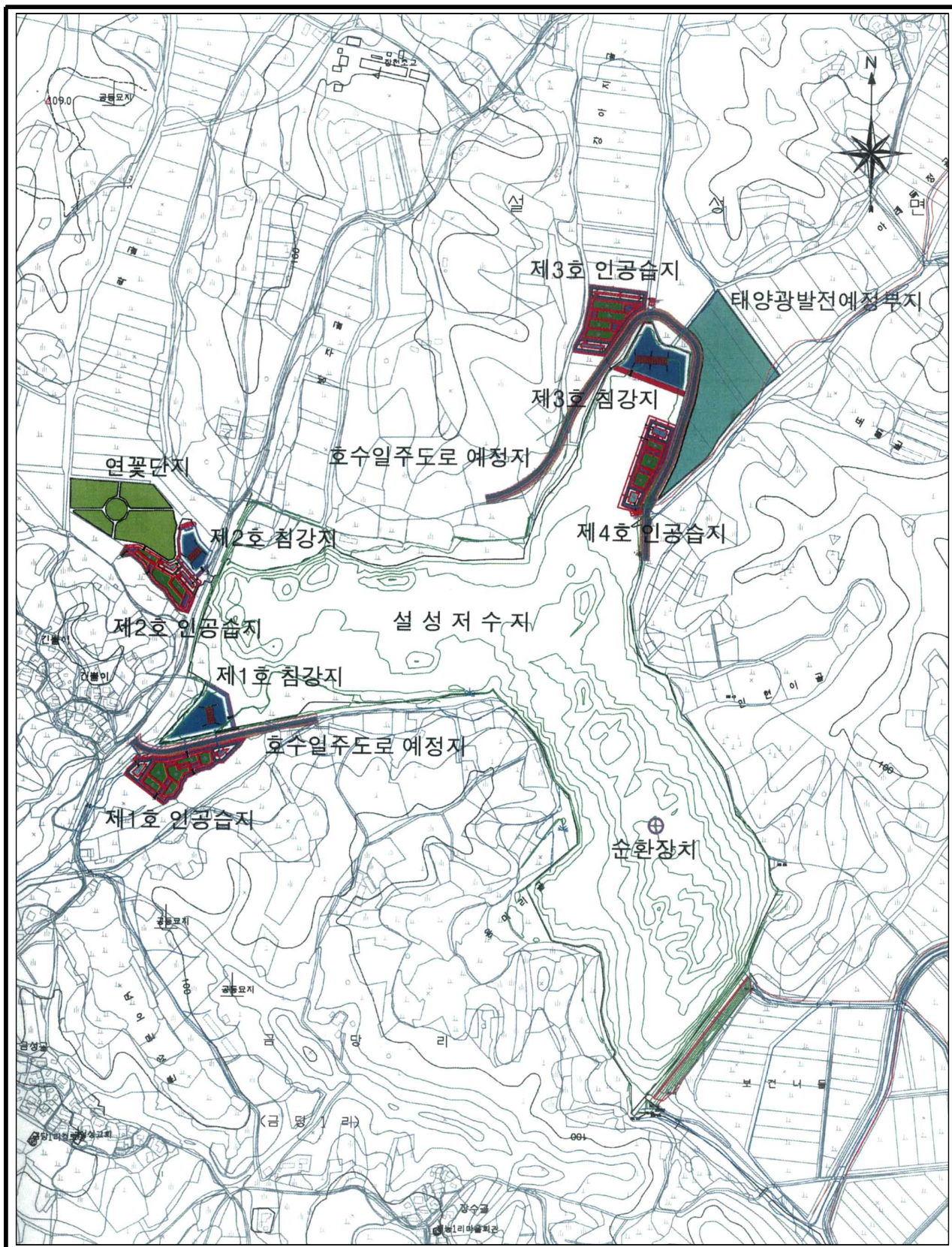
- 궁산지구는 사업 준공 이전보다 현재 시점에서 전체 수질항목이 개선되는 경향으로 준공 5년차인 '16년 목표수질 달성과 함께 수질개선 효과가 나타나고 있다.
- 이는 궁산저수지 유역내 생활계 오염원인 인구와 소규모 축산농가 폐업으로 사육 두수 감소, 해리 하수처리장의 정상 운영으로 오염부하량과 수질농도 향상에 영향을 미친 것으로 판단된다.
- 또한, 전답에 뿌려지는 각종 비료와 야적퇴비, 액비살포 등의 경험적 영농행위는 정부의 축산농가에 대한 규제와 공사에서 시행하고 있는 저수지 상류 오염원 감시 및 야적 퇴비 등의 방치 제도 등의 활동으로 점차 줄어들고 있으며, 준공 4년차인 2015년부터 목표수질을 달성하여 관리되고 있다.
- 앞으로 저수지의 안정적인 수질개선을 위해서 오염물질의 농도가 높은 초기 강우가 습지로 유입되도록 취입보를 지속적으로 세심하게 관리 하고, 침강지 퇴적토와 오염 물질을 제거를 수반한다면 지속적인 수질개선을 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

8. 설성지구



-
- 8.1 지구현황
 - 8.2 기상 및 수질현황
 - 8.3 시설별 수질개선 효과
 - 8.4 저수지 수질변화 및 개선효과
 - 8.5 현장적용성 향상 및 유지관리 방안
 - 8.6 결 론

설성지구 수질개선사업 평면도

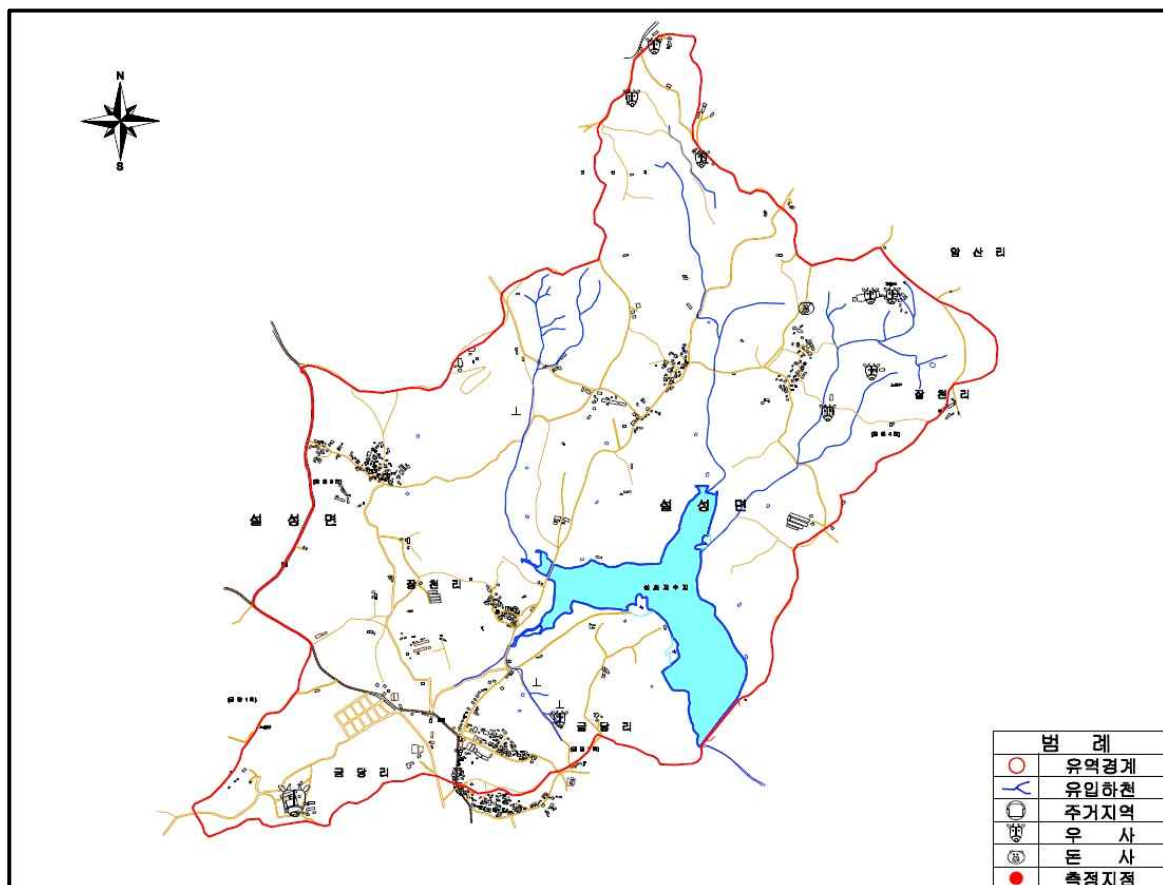


8.1. 지구현황

8.1.1 저수지 현황

1) 유역현황

- 유역은 이천시 설성면 장천리와 금당리, 장능리(일부)에 해당한다.
- 유역 대부분이 100m 이하의 저구릉지로 둘러싸여 있으며, 농경지가 유역의 50% 이상을 차지하고 있는 평야지대이다.
- 유역 내에 큰 하천은 없으며, 소폭(3~4m)의 농경배수로가 발달되었다.
- 주요염원은 축산폐수와 생활하수이며, 저수지 수면은 유료낙시터로 운영중이다.
- 금당리의 생활하수를 처리하는 설성마을하수도(300m³/일, '97년 완공)가 저수지 좌안에 위치하고 있으며 우안의 장천리에는 장천마을하수도(60m³/일, '11년 완공)가 가동중이다.
- 퇴적물처리사업이 완료('09년) 및 수질개선사업이 준공('12년)되어 인공습지 4개소가 운영중이며, 2호 인공습지에 접하여 이천시에서 연꽃단지를 조성하였다.



[그림 8-1-1] 설성저수지 유역도

[표 8-1-1] 설성저수지 경위도상 위치

소재지	단	경도와 위도의 극점			연장거리
		지명	극점		
			동경	북위	
경기도 이천시 설성면	동단	설성면 신필리	127° 32' 06.04"	37° 08' 06.65"	1.3km
	서단	설성면 장천리	127° 30' 27.98"	37° 08' 12.20"	
	남단	설성면 장능리	127° 31' 57.85"	37° 07' 54.56"	1.2km
	북단	설성면 장천리	127° 31' 58.56"	37° 08' 32.53"	

2) 저수지 현황

- 설성저수지는 1958년 준공, 경기도 이천시 설성면 장천리에 위치하며 유효저수량 858.0천³m, 유역면적 616.0ha, 수혜면적 339.8ha 이다.

[표 8-1-2] 설성저수지 현황

소재지	경기도 이천시 설성면 장천리	
설치년도	1958년	
유역면적	616.0ha	
유효저수량	858.0천 ³ m	
수혜농지	339.8ha	
만수면적	34.7ha	
관리주체	한국농어촌공사 여주·이천지사	

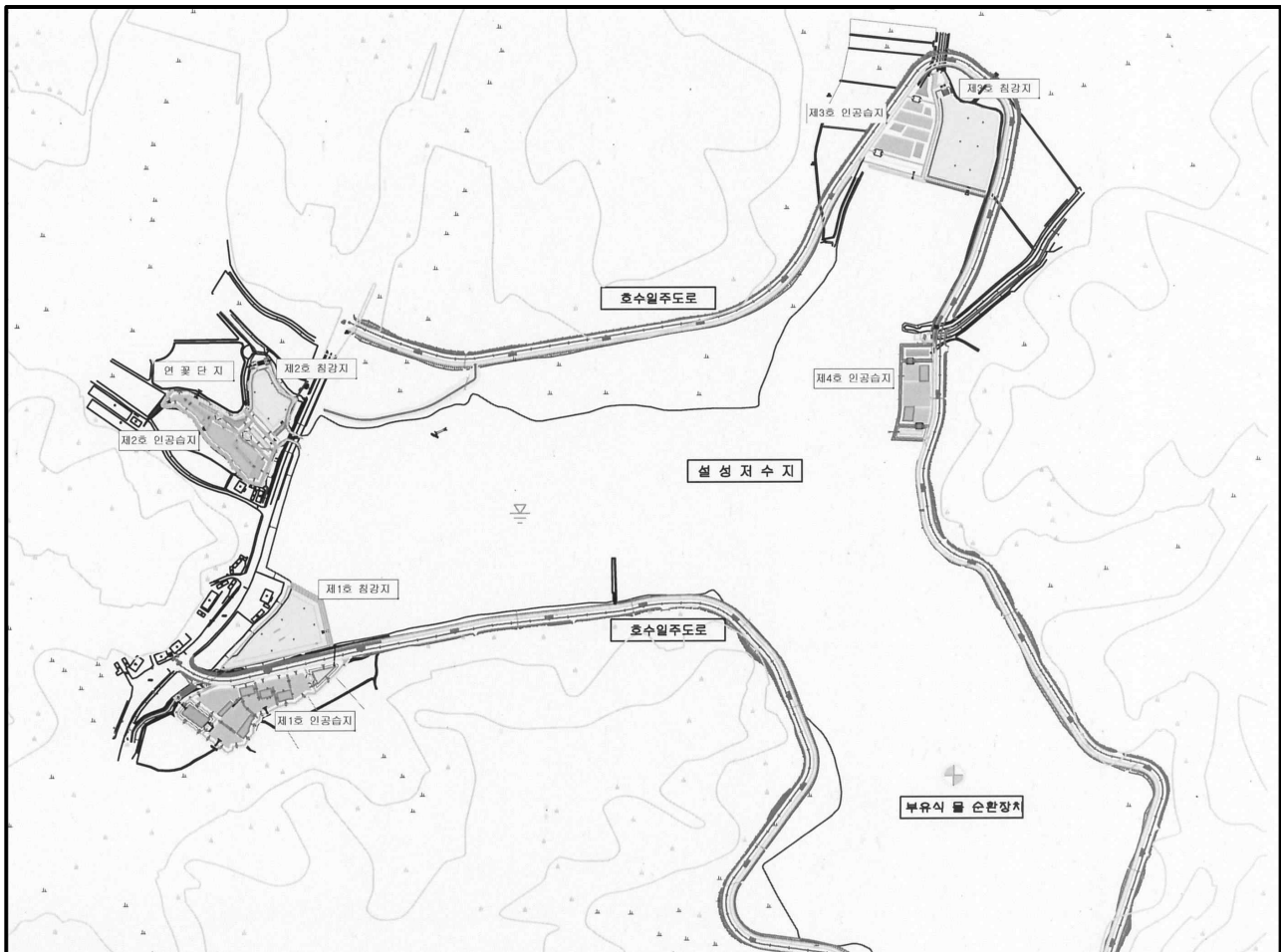
8.1.2 수질개선시설 현황

1) 주요대책

- 상류대책으로 이천시에서 마을하수도 2개소를 설치·운영중이다.
- 호내대책으로 농업용수 수질개선사업(2012년 준공)을 통한 인공습지 4개소, 침강지 3개소, 물순환장치 1기를 설치·운영중이다.

[표 8-1-3] 설성저수지 수질개선시설 현황

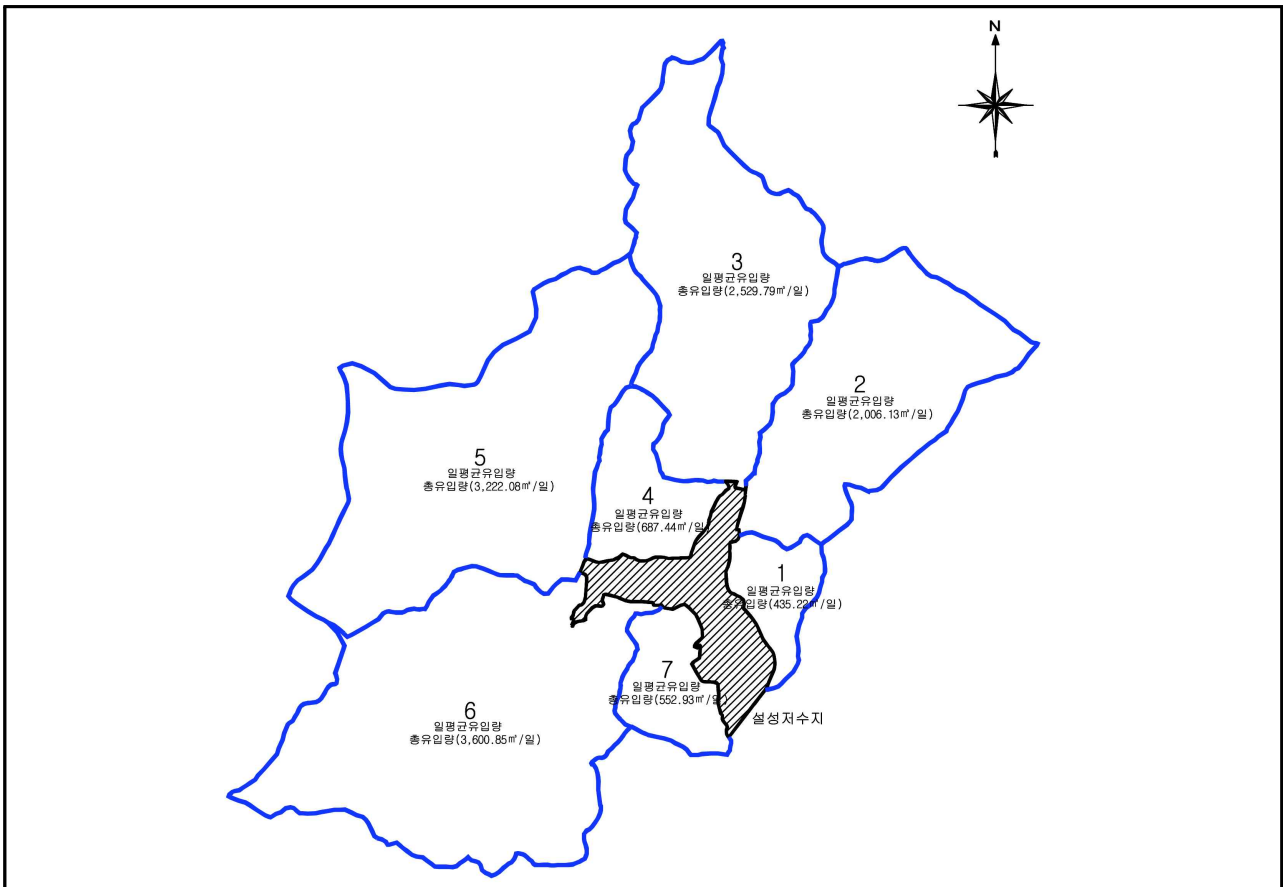
구분	대안	시설	규모
□ 상류대책(이천시)			
1	하수처리	설성마을하수도	- 300m ³ /일 (1997년)
2	하수처리	장천마을하수도	- 60m ³ /일 (2011년)
□ 호내대책(한국농어촌공사)			
1	평시 유출수 처리	1~4호 인공습지 (4개소)	- 유량 및 면적 : 7,977m ³ /d(A=21,899m ²) - 인공습지 : 17지, 7,042m ² - 연못습지 : 13지, 1,745m ² - 침사지 : 4지, 806m ² - 배출연못 : 4지, 523m ² - 관리도로 및 사면 : 4개소, 11,783m ²
2	평시 및 강우 유출수 처리	1~3호 침강지 (3개소)	- 1호 : A=4,224m ² - 2호 : A=2,061m ² - 3호 : A=5,877m ²



[그림 8-1-2] 설성저수지 수질개선시설 평면도

2) 인공습지

- 인공습지는 유역이 가장 크고, 마을과 기존농경지 등 오염원이 많이 위치하는 2, 3, 5, 6유역을 대상으로 인공습지를 조성하였다.



[그림 8-1-3] 설성저수지 유역 구분도

[표 8-1-4] 인공습지 계획유량

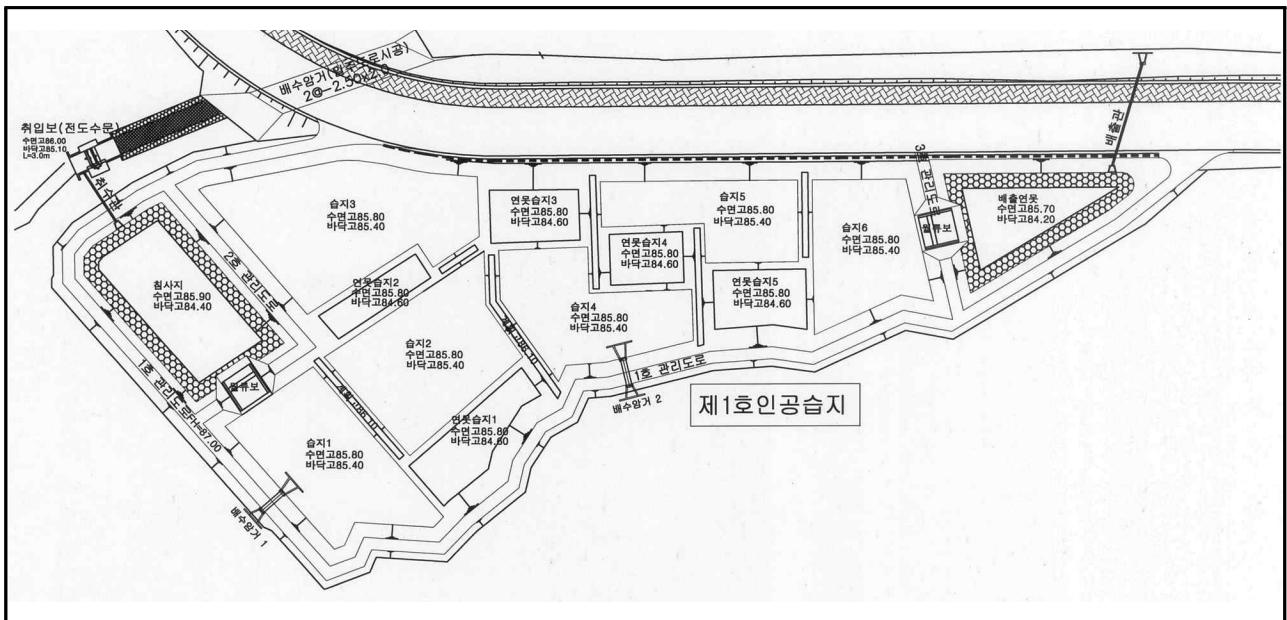
구분	유역구분	유역면적 (ha)	평균 유입량(m³/일)			계획수량 (m³/일)	비고
			총유입량	일30mm 미만유입량	마을하수도 유입량		
계		511.78	10,444	10,084	360	10,084	
1호인공습지	6유역	161.84	3,499	3,199	300	3,199	
2호인공습지	5유역	145.28	2,868	2,868		2,868	
3호인공습지	3유역	114.04	2,303	2,243	60	2,243	
4호인공습지	2유역	90.62	1,774	1,774		1,774	

○ 1호 인공습지

- 6번 유역의 일 30mm미만 강우시 유하하는 유입유량을 정화처리하기 위해 필요한 1호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 7,422m²으로 계획하였다. 이중 습지의 면적은 3,940m²으로 계획하였고, 내용적상으로는 1,879m³(인공+연못습지)으로서 유역에서 유출되는 유출량 133.30m³/hr이 습지에서 평균적으로 약 14.09시간 정도 체류하도록 계획하였다.

[표 8-1-5] 1호 인공습지 제원

구 분		규 모	계획면적(A) (m ²)	계획수심(d) (m)	내용적(V) (m ³)	비 고
습지	인공습지	6개소	2,818	0.40	1,127	
	연못습지	5개소	627	1.20	752	
	침 사 지	1개소	323	1.50	485	
	배출연못	1개소	172	1.50	258	
	소 계		3,940		2,622	
기타	관리도로 및 사면		3,482			
	소 계		3,482			
합 계			7,422		2,622	



[그림 8-1-4] 1호 인공습지 수리계통도



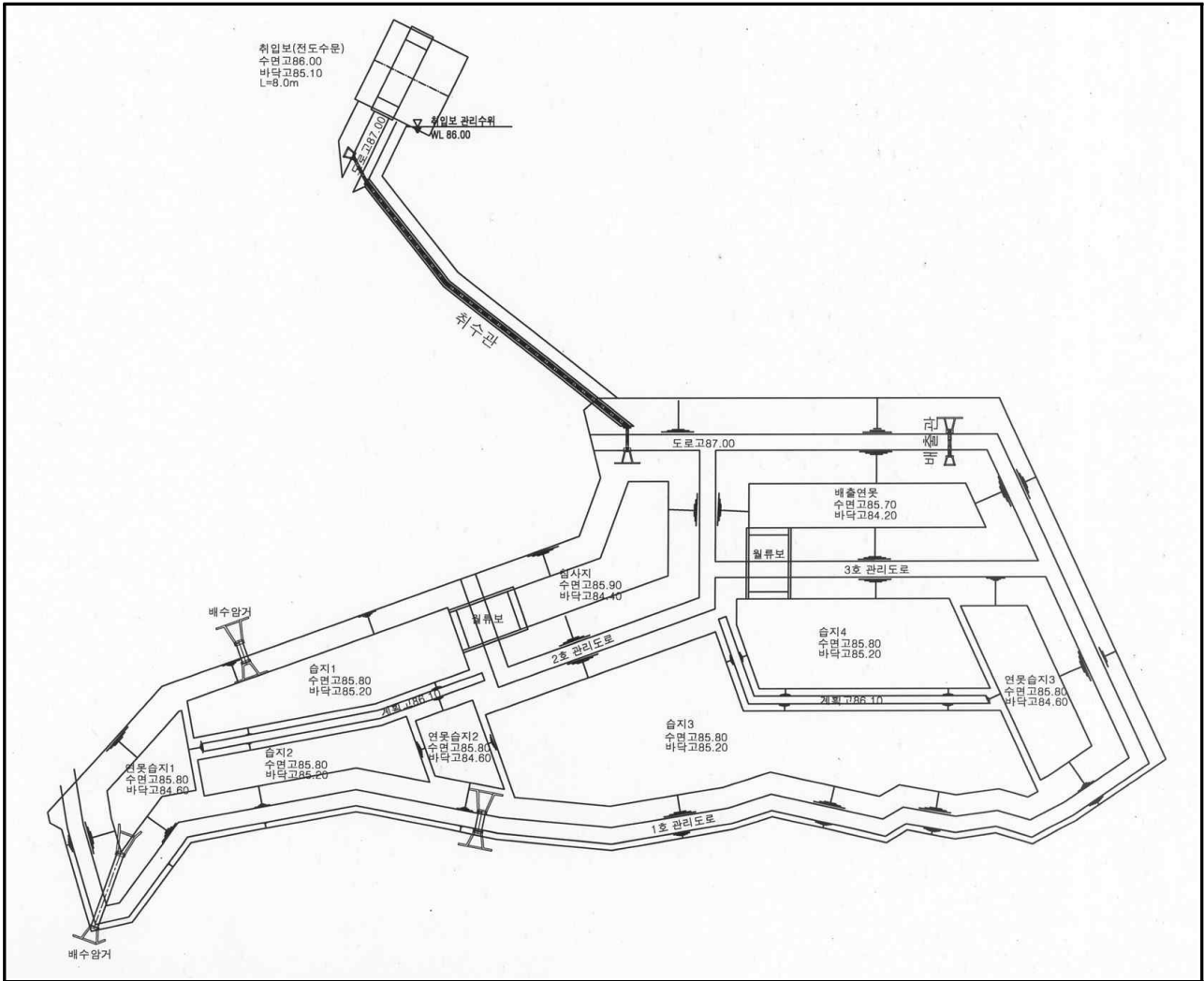
[그림 8-1-5] 1호 인공습지 시설현황

○ 2호 인공습지

- 5번 유역의 일30mm미만 강우시 유하하는 유입유량을 정화처리하기 위해 필요한 2호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 5,167㎡으로 계획하였다. 이중 습지의 면적은 2,342㎡으로, 내용적상으로는 1,528㎡(인공+연못습지)으로서 유역에서 유출되는 유출량 119.49㎡/hr이 습지에서 평균적으로 약 12.79시간 정도 체류하도록 계획하였다.

[표 8-1-6] 2호 인공습지 제원

구 분		규 모	계획면적(A) (㎡)	계획수심(d) (m)	내용적(V) (㎡)	비 고
습지	인공습지	4개소	1,524	0.60	914	
	연못습지	3개소	512	1.20	614	
	침 사 지	1개소	150	1.50	225	
	배출연못	1개소	156	1.50	234	
	소 계		2,342		1,987	
기타	관리도로 및 사면		2,825			
	소 계		2,825			
합 계			5,167		1,987	



[그림 8-1-6] 2호 인공습지 수리계통도



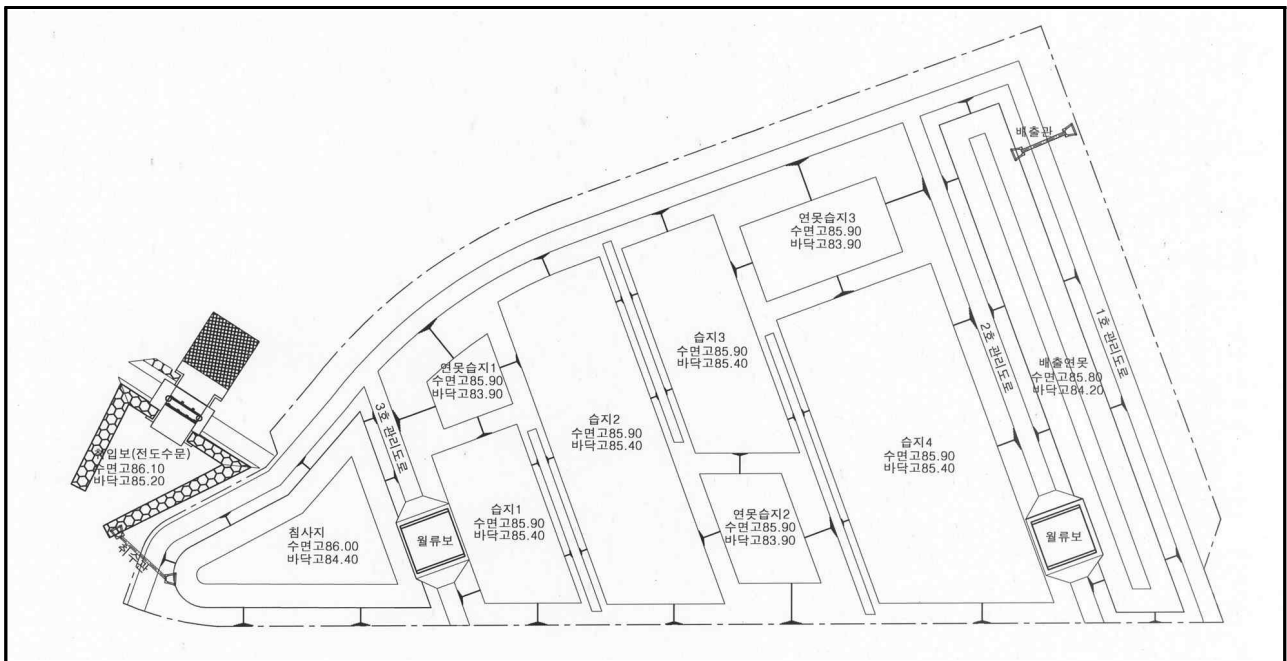
[그림 8-1-7] 2호 인공습지 시설현황

○ 3호 인공습지

- 3번 유역의 일30mm미만 강우시 유하하는 유입유량을 정화처리하기 위해 필요한 3호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 5,092m²으로 계획하였다. 이중 습지의 면적은 2,156m²으로 계획하였고, 내용적상으로는 1,412m³(인공+연못습지)으로서 유역에서 유출되는 유출량 93.45m³/hr이 습지에서 평균적으로 약 15.10시간 정도 체류하도록 하였다.

[표 8-1-7] 3호 인공습지 제원

구분		규모	계획면적(A) (m ²)	계획수심(d) (m)	내용적(V) (m ³)	비고
습지	인공습지	4개소	1,600	0.50	800	
	연못습지	3개소	306	2.00	612	
	침사지	1개소	150	1.60	240	
	배출연못	1개소	100	1.60	160	
	소계		2,156		1,812	
기타	관리도로 및 사면		2,936			
	소계		2,936			
합계			5,092		1,812	



[그림 8-1-8] 3호 인공습지 수리계통도



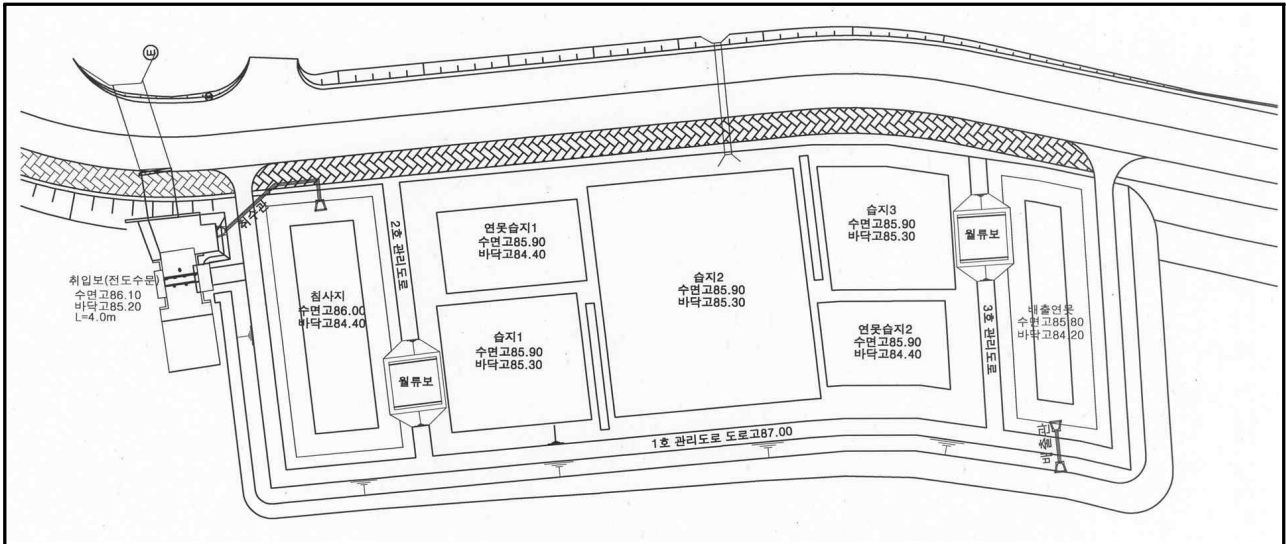
[그림 8-1-9] 3호 인공습지 시설현황

○ 4호 인공습지

- 2번 유역의 일30mm미만 강우시 유하하는 유입유량을 정화처리하기 위해 필요한 4호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 4,218㎡으로 계획하였다. 이중 습지의 면적은 1,678㎡으로 계획하였고, 내용적상으로는 1,110㎡(인공+연못습지)으로서 유역에서 유출되는 유출량 73.92㎡/hr이 습지에서 평균적으로 약 15.02시간 정도 체류하도록 계획하였다.

[표 8-1-8] 4호 인공습지 제원

구 분		규 모	계획면적(A) (㎡)	계획수심(d) (m)	내용적(V) (㎡)	비 고
습지	인공습지	3개소	1,100	0.60	660	
	연못습지	2개소	300	1.50	450	
	침 사 지	1개소	183	1.60	293	
	배출연못	1개소	95	1.60	152	
	소계		1,678		1,555	
기타	관리도로 및 사면		2,540			
	소계		2,540			
계			4,218		1,555	



[그림 8-1-10] 4호 인공습지 수리계통도



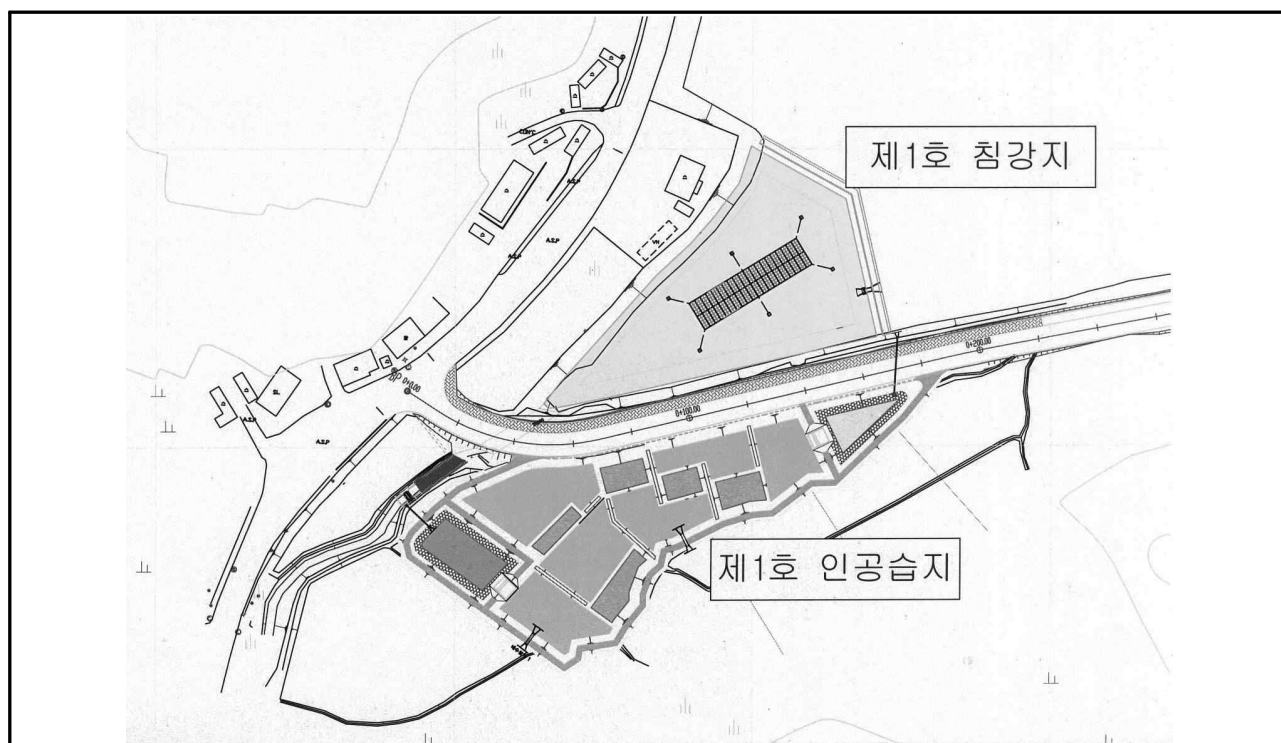
[그림 8-1-11] 4호 인공습지 시설현황

3) 침강지

- 침강지는 직접유역 중 오염물질 유입이 가장 많은 설성저수지 3유역, 5유역, 6유역 (전체 직접유역 유입량의 71.8%)의 하천 말단부 저수지내에 계획하였다.
- 제약요인 및 지형여건 등을 감안하여 1호, 2호 침강지의 경우 침강지 체류시간을 6시간, 제3호침강지 체류시간을 12시간으로 하였다.
- 부댐의 높이는 침강지의 홍수와 연간 수위변동 등을 고려하여 저수지 만수위 (H.W.L)보다 0.5~1.0m정도 낮게 계획하였고, 제정보다 0.5m 아래에 차수벽을 두어 본 저수지와 분리되는 구조로 하고, 부댐의 연장은 1호 L=85.0m H=0.15m, 2호 L=23.0m H=0.15m, 3호 L=59.0m H=0.66m로 계획하였다.

[표 8-1-9] 침강지 제원

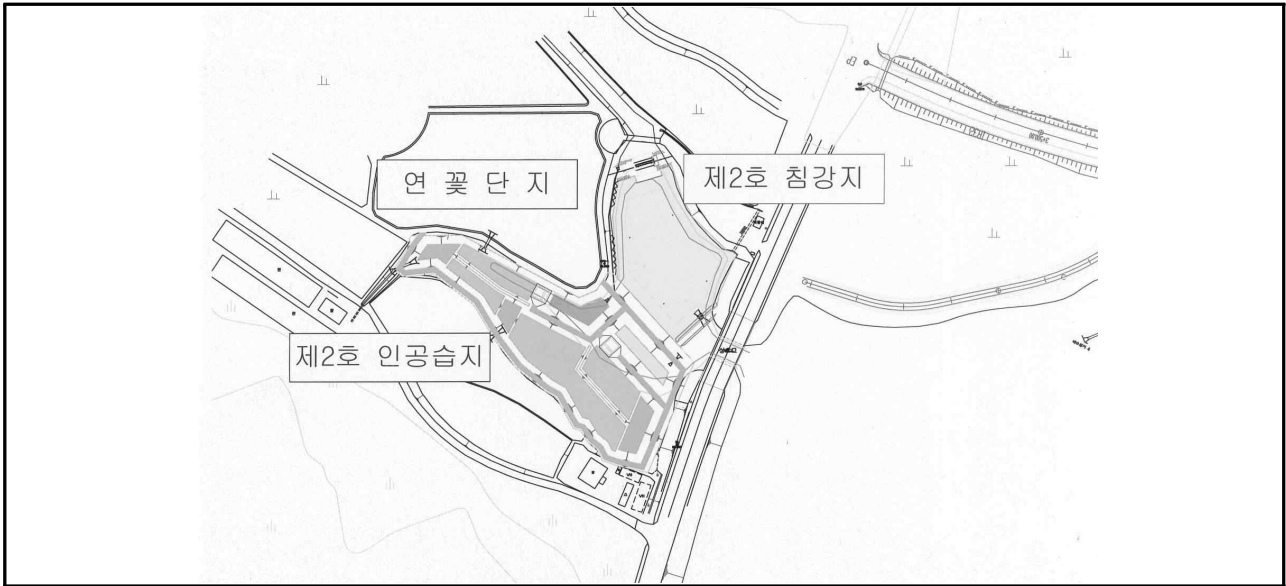
구 분	유역		일30mm 초과유입량 (m ³ /일)	계획 수심 (m)	수표 면적 (m ²)	계획 내용적 (m ³)	체류 시간 (hr)	비 고
	유역 구분	면적 (ha)						
1호 침강지	6유역	161.84	26,443	2.0	3,305	6,611	6	
2호 침강지	5유역	145.28	23,328	3.5	1,666	5,832	6	
3호 침강지	3유역	114.04	18,898	2.0	4,725	9,449	12	



[그림 8-1-12] 1호 침강지 평면도



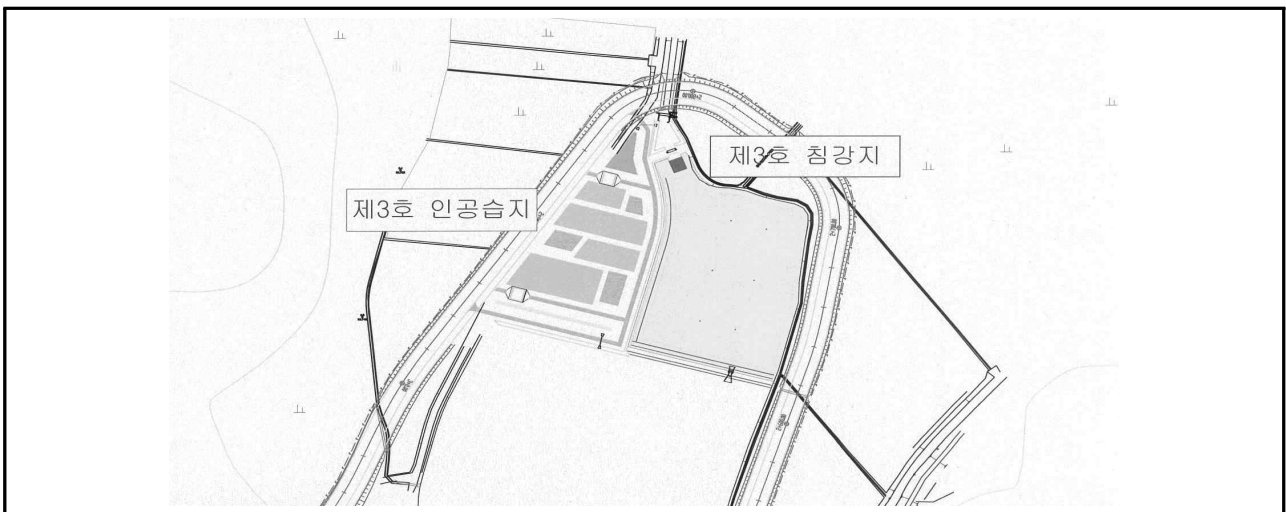
[그림 8-1-13] 1호 침강지 시설현황



[그림 8-1-14] 2호 침강지 평면도



[그림 8-1-15] 2호 침강지 시설현황



[그림 8-1-16] 3호 침강지 평면도



[그림 8-1-17] 3호 침강지 시설현황

4) 기타 수질개선시설

- 물순환장치 : 호소내(SB10,000 : 1기)
- 인공식물섬
 - 인공식물섬은 1, 2, 3호 침강지 가장자리에 배치함
 - 시설의 설치방식 : 부유식, 2×4m/1set
 - 설치규모 : 1호 400m², 2호 200m², 3호 500m²



[그림 8-1-18] 기타 시설현황

8.2. 기상 및 수질환경

8.2.1 기상현황

1) 기 온

- 설성저수지 유역과 가장 가까운 이천기상대에서 측정된 최근 평균기온과 최근 30년간 평년 기온을 [표 8-2-1]로 나타냈다.
- 설성지구의 사업 시행 전인 2009년도에 11월까지 평균기온은 12.8℃였는데, 준공년도인 2012년은 11월까지 평균 12.6℃로 2009년도 및 평년값과 비슷하였다.
- 운영 첫해인 2013년에는 11월까지 평균기온이 12.6℃로 평년과 비슷하였으나, 2014년도 이후 11월까지 각각 평균 13.4℃(2014년)와 13.5℃(2015년), 13.9℃(2016년)로 사업 시행전이나 평년기온에 비해 다소 높은 경향을 보였다.

[표 8-2-1] 설성저수지 유역 사업시행 전·후 월별 기온 분포 [단위 : °C]

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
시행전	2009년	-4.1	1.6	5.5	11.7	18	21.7	23.5	24.4	19.6	13.4	5.5	12.8
	2010년	-6.0	0.3	3.7	9.2	17.3	22.7	25.5	26.1	20.5	12.5	4.5	12.4
시행중	2011년	-8.5	-0.1	3.4	10.2	17.4	21.8	24.5	25.0	19.6	11.5	9.3	12.2
	2012년	-3.7	-2.7	4.6	11.9	18.5	23.2	25.3	26.1	19.3	12.6	4.0	12.6
시행후	2013년	-5.0	-1.6	4.7	9.5	17.9	23.3	25.3	26.0	19.9	13.7	4.5	12.6
	2014년	-2.2	0.9	7.0	13.2	17.9	22.1	25.0	23.6	20.1	12.9	6.8	13.4
	2015년	-1.9	0.2	5.6	12.2	18.3	22.5	24.7	25.1	20.2	13.5	7.8	13.5
	2016년	-3.5	-0.3	6.3	13.8	18.7	23.2	25.5	26.8	21.5	14.4	6.5	13.9
평년값		-3.1	-0.2	5.2	11.9	17.4	21.7	24.4	24.8	19.8	13.0	5.4	12.8

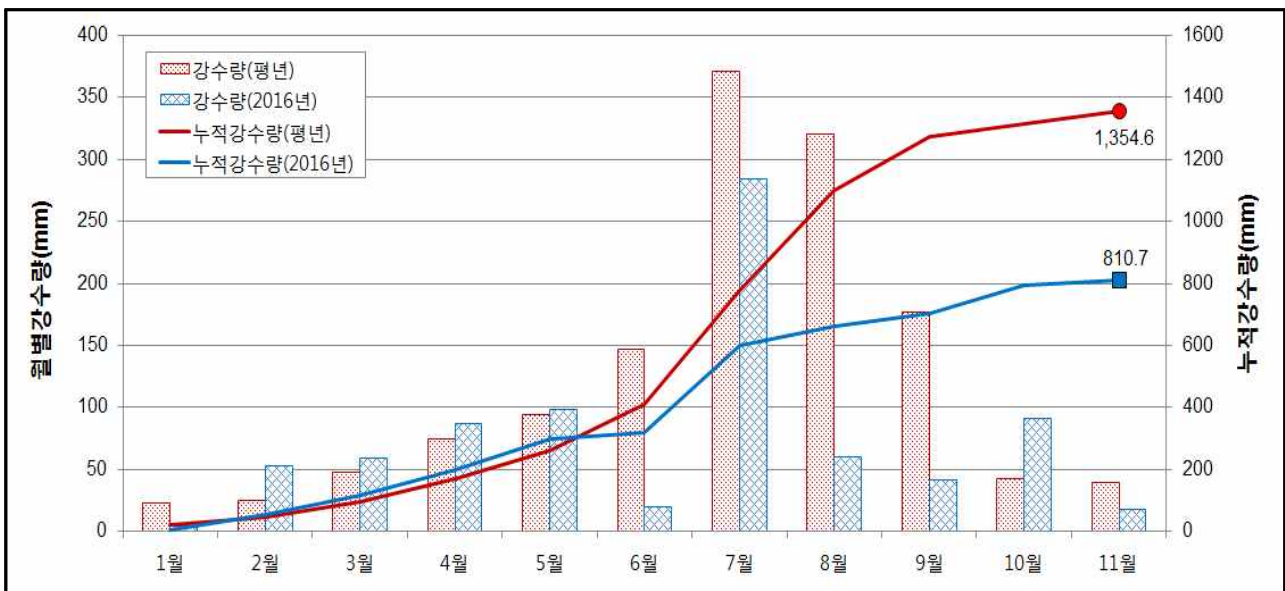
2) 강수량

- 강수량은 시행전인 2009년도에는 11월까지 1,379.4mm의 비가 내려 11월까지의 평년 강수량인 1,354.6mm와 비슷하였다.
- 준공년도인 2012년도에는 11월까지 1,519.0mm가 내려 평년보다 많았으나, 2013년에는 1,339.8mm로 적어졌다.
- 2014년도 이후 강수량이 771.8mm(2014년), 802.4mm(2015년), 810.7mm(2016년)로 평년에 비해 매우 적어졌다.

- 금년도에는 810.7mm로 2015년보다 조금 증가하였지만 평년에 비해서는 60% 정도의 강우량을 기록하였다.
- 2016년은 작년과 마찬가지로 기온은 다소 높고, 강수량은 적어 저수지에서 녹조발생 등 수질이 악화될 수 있는 환경이었다.

[표 8-2-2] 설성저수지 유역 사업시행 전후 월별 강수량 분포 (단위 : mm)

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
시행전	2009년	6.5	25.1	50.8	57.7	118.9	105.0	644.9	195.7	45.5	53.0	76.3	1,379.4
	2010년	36.3	57.2	99.9	70.0	101.0	96.5	185.1	263.2	447.3	32.5	18.8	1,407.8
시행중	2011년	7.8	58.8	34.3	158.8	94.7	340.7	861.0	288.9	92.9	37.4	58.5	2,033.8
	2012년	10.7	0.5	56.9	160.5	34.7	84.4	484.6	352.1	213.6	63.5	57.5	1,519.0
시행후	2013년	26.2	52.0	39.6	61.0	130.7	115.1	528.1	140.6	183.3	12.2	51.0	1,339.8
	2014년	14.1	30.6	19.4	54.6	60.5	65.7	108.1	176.6	102.8	107.2	32.2	771.8
	2015년	22.6	27.1	23.5	109.3	32.1	100.0	205.5	62.0	16.3	56.3	147.7	802.4
	2016년	3.6	52.2	58.2	86.7	97.9	18.9	284.0	59.9	41.1	90.8	17.4	810.7
평년값		22.5	23.9	47.4	74.0	93.8	146.0	370.2	319.9	176	42.1	38.8	1,354.6



[그림 8-2-1] 이천기상대 강수량 변화

8.2.2 수질현황

1) 목표수질 설정

- 설성저수지의 목표수질은 환경정책 기본법 호소의 생활환경기준 중 농업용수 수질 기준(IV등급)을 만족해야 하며 중금속 등의 유해물질에 대해서 사람의 건강보호 기준을 초과하지 않도록 설정하였다.
- 설성지구 수질개선대책에 따른 사업 후 저수지 수질예측결과 COD는 7.2mg/L로 호소수질등급 IV등급 이내로 목표수질을 설정하였다.

[표 8-2-3] 설성저수지 목표수질

구 분	목표수질	기본계획 (‘08년)(A)	예측수질 (‘08년)	‘16년 (B)	개선효과 (%) [(A-B)/A]
COD(mg/L)	8.0 이하	13.2	7.2	14.8	- 12.1
TOC(mg/L)	6.0 이하	-	-	8.4	-
T-N (mg/L)	1.0 이하	1.970	1.627	2.083	- 5.7
T-P (mg/L)	0.1 이하	0.131	0.089	0.177	- 35.1
수질등급(COD)	IV등급	VI등급	IV등급	VI등급	
유해물질	사람의 건강보호에 관한 환경기준 만족				

2) 오염원 현황

- 저수지 유역 내 최근 5년 동안의 연도별 인구 및 축산 현황과 유역 토지이용현황을 정리하였다.
- 유역 내 인구수는 2009년 1,398명이었으며, 2012년에 다소 증가하여 1,411명으로 조사되었고, 2014년도에는 1,213명, 2015년 1,177명, 2016년 1,169명 다소 감소하는 것으로 조사되었다.
- 축산두수는 한우가 2009년 93두에서 2011년도에 75두로 다소 감소하다가 2012년에는 90두, 2013년 137두, 2014년 152두, 2015년 100두, 2016년 162두로 증감을 유지하였고, 젓소는 2009년 982두에서 2015년 485두, 2016년 578두로 감소하였으며, 돼지는 2009년의 900두 수준을 유지하고 있다.

[표 8-2-4] 설성저수지 유역내 인구변화 추이

구 분	2009년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
인구(명)	1,398	1,411	1,561	1,213	1,177	1,169

[표 8-2-5] 설성저수지 유역내 연도별 축산변화

구분	2009년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
한우	93	90	137	152	100	162
젖소	982	933	651	840	485	578
돼지	900	-	900	960	960	900

○ 설성저수지의 유역면적은 616ha로 그 중 논과 밭, 임야가 각각 26.5%, 18.8%, 29.4%를 차지하고 있었으며, 기타가 25.3%를 차지하였다.

[표 8-2-6] 설성저수지 유역내 지목별 토지이용현황

구분	2009년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
계	616	616	616	616	616	616
전(ha)	108	108	108	108	108	163
답(ha)	110	110	110	110	110	116
임야(ha)	149	149	149	149	149	181
기타(ha)	249	249	249	249	249	156

3) 오염부하량

○ 유역 내 오염물질 발생부하량은 시행전인 2009년도에 BOD가 226.7kg/일, T-N 118.8kg/일, T-P 17.0 kg/일이었는데, 준공연도인 2012년에는 BOD가 192.6kg/일, T-N 102.3kg/일, T-P 13.5kg/로 감소하였으며, 2016년에는 BOD가 173.7kg/일, T-N 99.3kg/일, T-P 12.9kg/일로 준공연도인 2012년보다 감소하였다.

[표 8-2-7] 설성저수지 유역내 발생부하량

구분	점오염원						비점오염원					계	
	생활계 (인)	축산계(두)			산업계 (m ³ /일)	소계	토지현황(ha)						
		한우	젖소	돼지			전	답	임야	기타	소계		
원수	1,169	162	578	900	8		163	116	181	156	616		
발생부하량	BOD	11	68	29	1	0	165	3	3	2	2	9	174
		6.2%	38.9%	16.6%	0.3%	0.0%	95.0%	1.5%	1.5%	1.0%	0.9%	5.0%	100%
	T-N	6	37	13	0	0	72	15	8	4	0	27	99
		6.5%	37.0%	13.5%	0.2%	0.0%	72.7%	15.5%	7.7%	4.0%	0.1%	27.3%	100%
	T-P	1	6	3	0	0	12	0	1	0	0	1	13
		4.4%	47.4%	23.0%	0.8%	0.0%	89.2%	3.0%	5.5%	2.0%	0.4%	10.8%	100%

[표 8-2-8] 설성저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량

구 분	연도별 발생부하량(kg/d)						
	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
BOD	226.7	223.9	192.6	198.9	206.9	164.2	173.7
T-N	118.8	115.3	102.3	101.7	110.6	86.0	99.3
T-P	17.0	16.9	13.5	13.9	15.6	11.7	12.9

4) 수질현황

- 농업용수 수질측정망조사에 의하면 COD는 2012년도 12.2mg/L에서 2013년도와 2014년도에는 각각 13.2mg/L와 14.4mg/L로 높아졌고, 2015년에는 15.1mg/L로 수질이 매우 악화된 것으로 나타났다.
- 2016년에는 COD가 14.8mg/L로 작년에 비해 다소 낮아졌으나, 2014년 이후 극심한 가뭄으로 유입수량이 적고, 수온이 증가하는 등의 기상악화와 오염물질의 호내 축적 및 내부생산으로 인하여 수질이 악화된 것으로 판단된다.

[표 8-2-9] 설성저수지 수질현황

구 분 (mg/L)	5개년 평균 (’05~’09)	’10년 (착공시)	수질 변화						목표년도 (’17년)	목표수질
			’11	’12	’13	’14	’15	’16		
COD	12.3	11.3	9.4	12.2	13.2	14.4	15.1	14.8	-	8.0이하
TOC	-	-	6.1	7.2	7.0	7.6	8.0	8.4	-	6.0이하
T-N	2.266	2.412	4.470	3.994	2.959	2.263	2.080	2.083	-	1.0이하
T-P	0.101	0.076	0.197	0.114	0.103	0.099	0.173	0.177	-	0.1이하

8.3. 시설별 수질개선 효과

- 설성지구는 인공습지와 침강지가 각각 4개와 3개가 조성되었으며, 침강지가 없는 4호 시설은 수질개선효과 분석에서 제외하였다.
- 설성저수지 수질개선시설의 수질개선효과를 분석하기 위하여 ① 1호 침강지 및 인공습지 유입부와 ② 1호 인공습지 유출부, ③ 1호 침강지 유출부, ④ 2호 침강지 및 인공습지 유입부, ⑤ 2호 인공습지 유출부, ⑥ 2호 침강지 유출부, ⑦ 3호 침강지 및 인공습지 유입부와 ⑧ 3호 인공습지 유출부, ⑨ 3호 침강지 유출부 등 총 9지점을 선정하였다.



[그림 8-3-1] 설성저수지 수질조사 지점

- 2016년 조사는 총 4차에 걸쳐, 1차 5월 27일, 2차 7월 26일, 3차 8월 26일, 4차 9월 26일에 현장조사를 실시하였고, 3호 인공습지는 3차조사시 유입·유출량 부족으로 인하여 조사를 할 수 없었다.
- 침강지는 강수량 부족으로 유입·유출량이 없어 조사가 불가능하였다.
 - 강수량 30 mm이상 일수 : 7일 (3월 1회, 7월 4회, 9월 1회, 10월 1회)

[표 8-3-1] 설성저수지 수질 조사시기

구 분	조사횟수	조사일자				
		1차	2차	3차	4차	강우시
수질조사	4회	2016.05.27	2016.07.26	2016.08.26	2016.09.26	-

8.3.1 인공습지 수질개선효과

- 취입보 수위는 유역내 최저답고 등을 감안하고 인공습지에 자연유하로 취수시킬 수 있는 시설로 가동형 취입보와 유입공을 계획하였다.
- 취입보의 높이는 0.9m, 폭은 유입하천의 단면을 고려하여 결정하였다.
- 조사시기별 저수율은 1차 79.8%, 2차 74.6%, 3차 40.9%, 4차 39.4%으로 강수량 부족에 따른 저수량 감소가 뚜렷하게 나타났다.

[표 8-3-2] 설성저수지 인공습지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시					
		평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	
1호 인공 습지	수온 (°C)	유입수	18.7	20.1	23.7	20.5	24.5	22.9	20.4	22.1
		유출수	19.8	20.9	24.1	19.6	25.9	23.6	18.6	21.9
	pH	유입수	7.6	8.6	7.2	7.6	6.9	7.3	7.4	7.3
		유출수	7.7	8.4	7.1	7.6	6.8	7.2	7.2	7.2
	EC (µS/cm)	유입수	400	491	483	472	522	362	497	463
		유출수	348	417	482	404	507	525	429	466
	DO (mg/L)	유입수	6.7	6.8	6.1	7.1	5.9	5.6	6.7	6.3
		유출수	5.8	6.6	5.6	5.5	5.4	4.1	4.7	4.9
	SS (mg/L)	유입수	11.0	6.4	16.1	15.0	3.7	11.7	1.8	8.1
		유출수	16.9	24.7	6.0	15.0	6.9	2.8	5.3	7.5
	BOD (mg/L)	유입수	6.0	5.6	6.8	-	-	-	-	-
		유출수	3.2	5.7	2.7	-	-	-	-	-
	COD (mg/L)	유입수	9.3	8.6	12.7	16.0	8.8	19.2	5.8	12.5
		유출수	8.8	11.9	12.3	14.8	9.6	9.2	7.8	10.4
	TOC (mg/L)	유입수	5.8	5.2	7.6	11.4	6.4	11.6	3.8	8.3
		유출수	5.2	7.4	7.9	9.1	7.1	6.4	5.2	7.0
	T-N (mg/L)	유입수	8.070	8.738	7.609	4.112	4.742	6.525	7.724	5.776
		유출수	5.237	3.742	5.159	2.721	2.232	2.038	1.602	2.148
	T-P (mg/L)	유입수	0.465	0.660	1.119	0.632	0.873	1.216	1.282	1.001
		유출수	0.224	0.461	1.018	0.706	1.265	1.969	0.673	1.153
Chl-a (mg/L)	유입수	4.0	3.3	7.1	7.2	11.1	12.8	5.0	9.0	
	유출수	22.4	27.7	5.7	15.1	4.2	6.2	5.1	7.7	

[표 8-3-2] 설성저수지 인공습지 수질변화(계속)

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시					
		평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	
2호 인공 습지	수온 (°C)	유입수	20.7	17.7	26.7	20.1	28.3	24.3	19.3	23.0
		유출수	21.2	18.7	25.7	20.6	29.0	25.7	20.3	23.9
	pH	유입수	7.6	8.6	7.3	7.6	7.1	7.3	7.1	7.3
		유출수	7.0	8.6	7.4	7.6	7.0	7.4	7.0	7.3
	EC (μ S/cm)	유입수	232	227	282	290	311	285	271	289
		유출수	224	201	278	275	285	277	240	269
	DO (mg/L)	유입수	7.7	6.9	7.7	7.5	7.8	6.7	8.5	7.6
		유출수	6.7	6.3	7.1	7.3	6.0	6.0	6.1	6.4
	SS (mg/L)	유입수	20.8	11.0	43.0	34.0	24.7	51.0	8.0	29.4
		유출수	14.6	8.3	25.2	11.0	6.0	13.3	6.0	9.1
	BOD (mg/L)	유입수	3.6	2.7	3.0	-	-	-	-	-
		유출수	2.6	2.4	5.3	-	-	-	-	-
	COD (mg/L)	유입수	7.5	7.0	12.8	14.8	7.8	14.0	4.8	10.4
		유출수	6.1	7.9	13.1	19.6	9.6	11.0	8.0	12.1
	TOC (mg/L)	유입수	4.6	3.4	7.0	9.7	4.2	6.0	2.4	5.6
		유출수	3.9	4.5	7.9	14.1	6.9	7.0	5.1	8.3
	T-N (mg/L)	유입수	6.740	5.128	3.884	4.028	3.503	0.992	3.423	2.987
		유출수	5.167	2.764	2.454	1.254	0.919	0.921	0.488	0.896
	T-P (mg/L)	유입수	0.195	0.161	0.309	0.218	0.140	0.258	0.109	0.181
		유출수	0.119	0.143	0.234	0.118	0.189	0.307	0.189	0.201
Chl-a (mg/L)	유입수	8.8	3.0	7.2	10.4	42.8	80.9	21.3	38.9	
	유출수	7.8	8.2	16.6	20.8	32.3	49.7	12.8	28.9	
3호 인공 습지	수온 (°C)	유입수	14.7	18.0	25.0	21.0	28.3	-	19.2	22.8
		유출수	13.9	18.5	26.4	21.2	28.8	-	21.3	23.8
	pH	유입수	7.7	8.7	7.4	7.5	7.0	-	7.1	7.2
		유출수	7.6	8.5	7.5	7.5	7.0	-	7.0	7.2
	EC (μ S/cm)	유입수	246	248	294	331	329	-	282	314.0
		유출수	236	220	261	331	282	-	250	287.7
	DO (mg/L)	유입수	10.1	7.5	6.0	10.3	8.9	-	7.6	8.9
		유출수	7.4	6.7	6.5	9.6	5.5	-	11.1	8.7
	SS (mg/L)	유입수	12.6	3.2	41.9	20.0	8.3	-	2.6	10.3
		유출수	9.2	3.4	12.1	1.7	4.2	-	12.0	6.0

[표 8-3-2] 설성저수지 인공습지 수질변화(계속)

구 분			'13년	'14년	'15년	'16년 평상시				
			평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균
3호 인공 습지	BOD (mg/L)	유입수	2.8	1.5	4.4	-	-	-	-	-
		유출수	2.3	2.2	3.6	-	-	-	-	-
	COD (mg/L)	유입수	6.6	6.2	15.1	15.6	5.8	-	4.4	8.6
		유출수	5.0	8.3	16.1	17.6	10.6	-	11.4	13.2
	TOC (mg/L)	유입수	3.8	2.9	9.2	10.7	4.1	-	2.6	5.8
		유출수	2.9	4.3	9.3	13.8	7.9	-	6.0	9.2
	T-N (mg/L)	유입수	9.321	8.562	5.268	6.358	4.617	-	6.079	5.685
		유출수	8.874	5.384	1.559	3.501	1.150	-	0.857	1.836
	T-P (mg/L)	유입수	0.248	0.208	0.677	0.380	0.447	-	0.368	0.398
		유출수	0.186	0.184	0.375	0.143	0.319	-	0.223	0.228
	Chl-a (mg/L)	유입수	3.3	2.5	21.4	5.7	8.8	-	11.6	8.7
		유출수	11.2	7.1	18.1	8.7	16.6	-	55.5	26.9

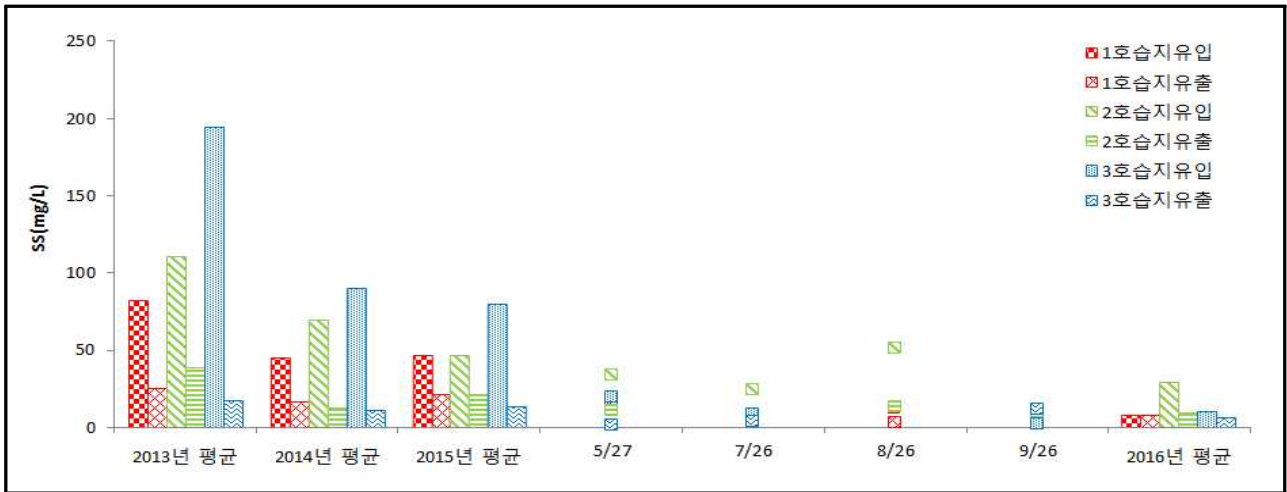
[표 8-3-3] 4개년 설성저수지 인공습지 정화효율

구 분			2013년 평상시		2014년 평상시		2015년 평상시		2016년 평상시		'13~'16년 평균	
			부하량 (kg/d)	정화효율 (%)	부하량 (kg/d)	정화효율 (%)	부하량 (kg/d)	정화효율 (%)	부하량 (kg/d)	정화효율 (%)	부하량 (kg/d)	정화효율 (%)
1호 인공 습지	SS	유입수	7.31	-75.7	2.80	-551.6	27.61	63.8	13.87	27.8	12.90	0.9
		유출수	12.84		18.25		10.00		10.00		12.77	
	COD	유입수	6.89	9.0	4.12	-36.4	22.54	6.3	20.99	28.0	13.64	11.7
		유출수	6.27		5.62		21.13		15.12		12.04	
	TOC	유입수	4.19	11.7	2.39	-29.0	13.35	-2.8	13.62	25.9	8.39	8.8
		유출수	3.70		3.08		13.73		10.10		7.65	
	T-N	유입수	6.781	37.6	4.973	58.0	13.654	32.0	8.622	63.6	8.51	44.9
		유출수	4.231		2.090		9.281		3.134		4.68	
	T-P	유입수	0.341	44.9	0.354	32.1	1.923	11.0	1.512	-26.4	1.03	1.9
		유출수	0.188		0.240		1.711		1.911		1.01	
	Chl-a	유입수	2.23	-388.8	1.07	-1,558.2	12.95	25.0	14.11	18.3	7.59	-64.4
		유출수	10.92		17.75		9.71		11.54		12.48	

[표 8-3-3] 4개년 설성저수지 인공습지 정화효율(계속)

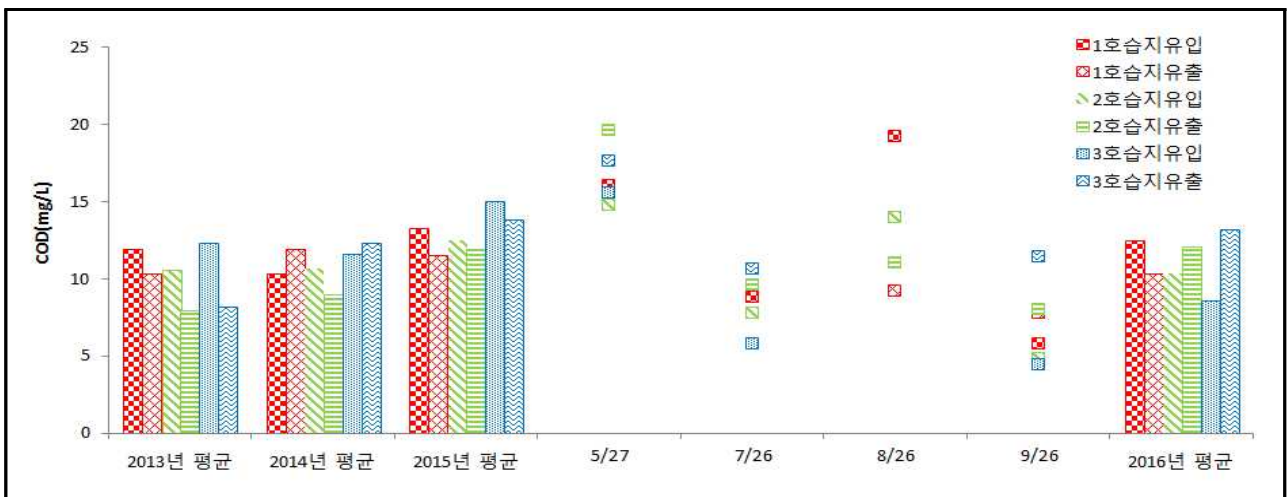
구 분			2013년 평상시		2014년 평상시		2015년 평상시		2016년 평상시		'13~'16년 평균	
			부하량 (kg/d)	정화효율 (%)	부하량 (kg/d)	정화효율 (%)	부하량 (kg/d)	정화효율 (%)	부하량 (kg/d)	정화효율 (%)	부하량 (kg/d)	정화효율 (%)
2호 인공 습지	SS	유입수	6.00	-90.1	3.73	34.3	138.49	75.4	18.35	67.0	41.64	67.6
		유출수	11.42		2.45		34.00		6.05		13.48	
	COD	유입수	4.50	14.8	2.52	-7.6	25.05	-18.1	5.38	-0.3	9.36	-10.9
		유출수	3.83		2.71		29.58		5.40		10.38	
	TOC	유입수	2.82	19.1	1.33	-21.1	13.47	-31.3	2.64	-35.9	5.07	-24.2
		유출수	2.29		1.61		17.69		3.59		6.30	
	T-N	유입수	6.11	24.4	1.92	43.2	9.69	64.2	1.01	59.8	4.68	48.8
		유출수	4.62		1.09		3.47		0.40		2.40	
	T-P	유입수	0.12	21.8	0.05	11.5	0.84	32.1	0.10	-13.3	0.28	26.0
		유출수	0.10		0.05		0.57		0.11		0.21	
	Chl-a	유입수	2.96	-27.3	1.03	-125.5	21.71	-61.9	24.10	33.1	12.45	-15.2
		유출수	3.77		2.33		35.16		16.13		14.34	
3호 인공 습지	SS	유입수	14.26	40.0	1.58	-5.4	212.96	72.0	9.35	39.7	59.54	68.3
		유출수	8.56		1.67		59.69		5.64		18.89	
	COD	유입수	6.95	26.6	2.67	-28.9	34.54	-27.5	6.53	-22.5	12.67	-19.5
		유출수	5.10		3.44		44.04		8.00		15.14	
	TOC	유입수	3.97	23.2	1.41	-33.5	17.10	-41.4	4.49	-37.4	6.74	-30.8
		유출수	3.05		1.88		24.18		6.17		8.82	
	T-N	유입수	8.33	4.1	3.64	37.9	41.23	80.5	2.27	52.3	13.87	65.1
		유출수	7.99		2.26		8.05		1.08		4.85	
	T-P	유입수	0.25	24.7	0.07	-5.0	2.94	71.1	0.20	52.2	0.86	65.2
		유출수	0.18		0.07		0.85		0.10		0.30	
	Chl-a	유입수	3.58	-221.6	0.79	-165.8	130.79	28.7	3.41	-84.3	34.64	18.3
		유출수	11.50		2.10		93.30		6.29		28.30	

- SS는 1호 습지 유입수가 1.8 ~ 15.0mg/L(평균 8.1mg/L)이었는데, 유출수가 2.8 ~ 15.02mg/L(평균 7.5mg/L)이었으며, 2호 습지에서는 유입수가 8.0 ~ 34.0mg/L(평균 29.4mg/L), 유출수가 6.0 ~ 13.3mg/L(평균 9.1mg/L)이었으며, 3호 유입수가 2.6 ~ 20.0 mg/L(평균 10.3mg/L), 유출수가 1.7 ~ 12.0mg/L(평균 6.0mg/L)로 유입수에 비해 유출수에서 낮아지는 경향을 보였다. 연차별로도 2013년도 이후 금년도까지 모두 유입수에 비해 유출수에서 SS농도가 낮아지는 경향을 보였다.



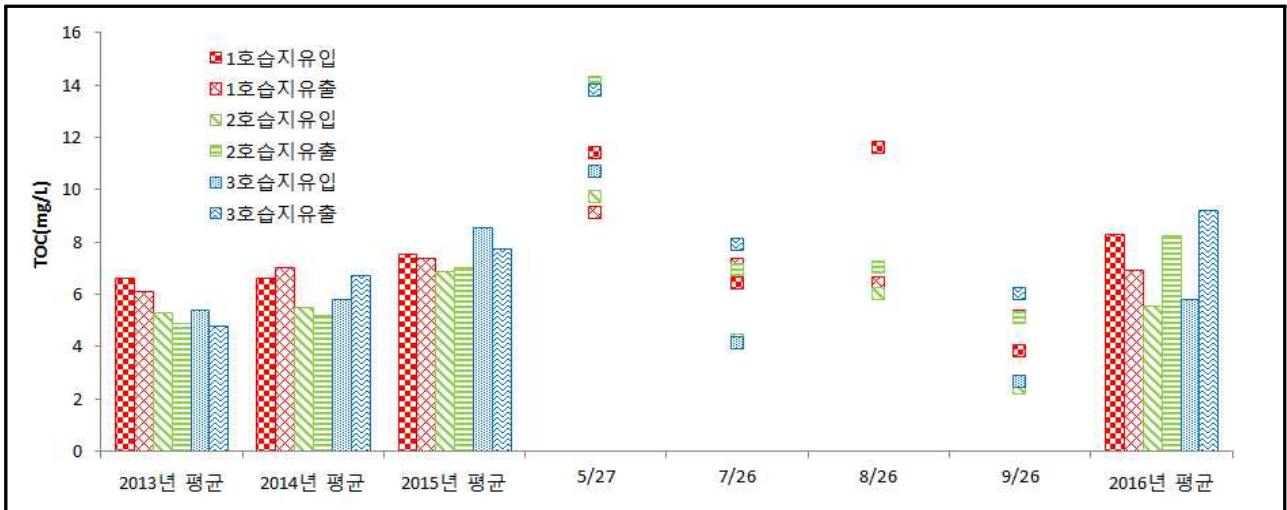
[그림 8-3-2] 설성저수지 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화

- COD는 1호 습지 유입수가 5.8~19.2mg/L(평균 12.5mg/L)이었는데, 유출수가 7.8 ~ 15.8mg/L(평균 10.4mg/L)이었으며, 2호 습지에서는 유입수가 43.8~14.8mg/L(평균 10.4mg/L), 유출수가 8.0~19.6mg/L(평균 12.1mg/L)이었으며, 3호 유입수가 4.4~15.6mg/L(평균 8.6mg/L), 유출수가 10.6~17.6mg/L(평균 13.2mg/L)로 1호 습지를 제외한 2호, 3호 습지는 유입수보다 유출수가 높게 나타났다.



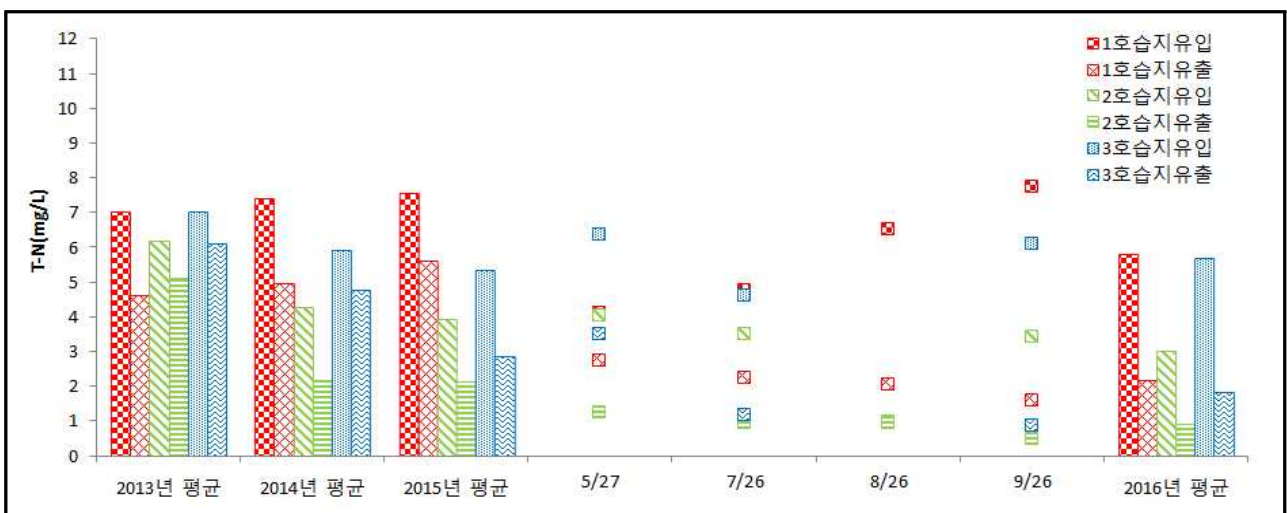
[그림 8-3-3] 설성저수지 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC는 1호 습지 유입수가 3.8~11.6mg/L(평균 8.3mg/L)이었는데, 유출수가 5.2~9.1mg/L(평균 7.0mg/L)이었으며, 2호 습지에서는 유입수가 2.4~9.7mg/L (평균 5.6mg/L), 유출수가 5.1~14.1mg/L(평균 8.3mg/L)이었으며, 3호 유입수가 2.6~10.7mg/L(평균 5.8mg/L), 유출수가 6.0~13.8mg/L(평균 9.2mg/L)로 1호 습지를 제외한 2호, 3호 습지는 유입수보다 유출수가 높게 나타났다.



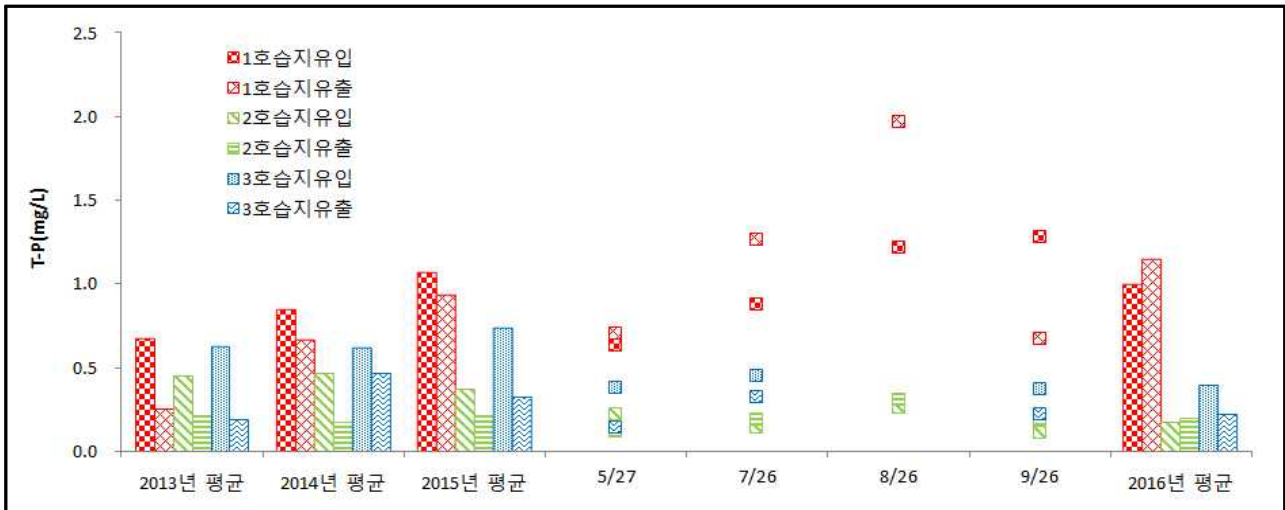
[그림 8-3-4] 설성저수지 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N은 1호 습지 유입수가 4.112~7.724 mg/L(평균 5.776mg/L)이었는데, 유출수가 1.602~2.721mg/L(평균 2.148mg/L)이었으며, 2호 습지에서는 유입수가 0.992~4.028mg/L(평균 2.987mg/L), 유출수가 0.488~1.254mg/L(평균 0.896mg/L)이었으며, 3호 유입수가 4.617~6.358mg/L(평균 5.685mg/L), 유출수가 0.857~3.501mg/L(평균 1.836mg/L)로 나타났다.



[그림 8-3-5] 설성저수지 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P는 1호 습지 유입수가 0.632~1.282mg/L(평균 1.001mg/L)이었는데, 유출수가 0.673~1.969mg/L(평균 1.153mg/L)이었으며, 2호 습지에서는 유입수가 0.109~0.258mg/L(평균 0.181mg/L), 유출수가 0.118~0.307mg/L(평균 0.201mg/L)이었으며, 3호 유입수가 0.368~0.447mg/L(평균 0.398mg/L), 유출수가 0.143~0.319mg/L(평균 0.228mg/L)로 나타났다.



[그림 8-3-6] 설성저수지 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- 이상과 같이 전체적으로 보면 설성저수지 인공습지에서 유기물이 정화효율은 매우 낮은 것으로 나타났는데, 이는 2014년부터 년강수량 850mm미만의 극심한 가뭄이 지속됨으로써 인공습지 유입수량이 급감하여 체류시간이 증가하는 등으로 오염물질이 습지내 침적되었으며, 또한 준공이후 습지내 식생절삭 및 퇴적물제거를 하지 않은 상태에서 습지내 식생고사 및 오염퇴적물의 유출에 따른 것으로 판단된다.

8.3.2 침강지 수질개선효과

- 2016년 강수량 부족 및 저수율 부족으로 유입·유출량이 없어 조사가 불가능하여 침강지의 수질개선효과 검증을 할 수 없었다.
- 강수량 30 mm이상 일수 : 7일 (3월 1회, 7월 4회, 9월 1회, 10월 1회)

8.4. 저수지 수질변화 및 개선효과

- 설성저수지 수질개선시설은 운영 4년차로, 준공년도인 2012년도 BOD 발생부하량은 192.6kg/d, 2013년도, 2014년에는 각각 198.9kg/d, 206.9kg/d로 증가되다가 2015년 164.2kg/d, 2016년에는 173.7kg/d로 감소하였다.
- 그러나 설성저수지의 COD농도는 2012년도 12.2mg/L에서 2013년 13.2mg/L, 2014년 14.4mg/L, 2015년 15.1mg/L로 높아지는 경향을 나타냈으며, 2016년에는 14.8mg/L로 작년에 비해 다소 낮아진 것으로 조사되었다.
- TOC농도는 2011년 6.1mg/L, 2012년 7.2mg/L, 2013년 7.4mg/L, 2014년 7.6mg/L, 2015년 8.0mg/L, 2016년 8.4mg/L로 매년 증가하는 것으로 나타났다.

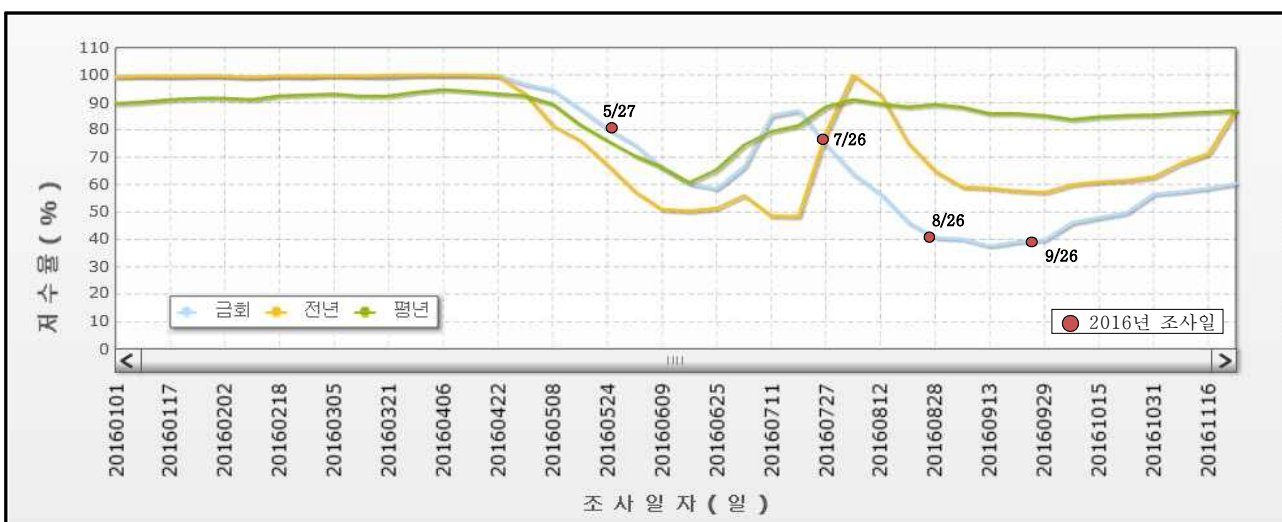


[그림 8-4-1] 설성저수지 유역 연도별 BOD발생부하량 및 COD, TOC농도 변화

- 이와 같이 오염부하량 감소에도 불구하고 호내 오염도가 지속적으로 상승하는 것은, 수년간 지속되고 있는 가뭄으로 인한 유입수량 급감과 평년보다 높은 기온 등 이상 기후가 다른 수질악화 요인보다 크게 영향을 끼친 것으로 나타났다.
- 유입수량의 급감은 저수지 물교환율 감소, 이에 따른 오염물질의 축적 및 정체와 퇴적물로부터의 영양염류 용출, 내부생산물질의 증가를 촉진시켰을 뿐만 아니라 인공습지 등 수질개선시설의 기능저하에도 영향을 준 것으로 판단된다.

[표 8-4-1] 설성저수지 월별 저수율 현황

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월
월평균(%)	99.5	99.5	99.5	99.8	86.7	63.6	80.6	51.8	39.0	48.8	58.6
현장조사(%)	-	-	-	-	79.8	-	74.6	40.9	39.4	-	-



[그림 8-4-2] 설성저수지 저수율 변화(2016년)

- 설성저수지 유역의 T-N 발생부하량은 준공년도인 2012년도의 102.3kg/d에 비해 2016년도에는 99.3kg/d로 낮아졌다. 또한 저수지의 T-N농도는 2012년에 3.994mg/L에서 2016년에는 2.083mg/L로 개선되는 등 인공습지에서 총질소의 처리효율이 영향을 미친 것으로 판단된다.



[그림 8-4-3] 설성 유역 연도별 T-N발생부하량 및 T-N농도 변화

- T-P의 경우 오염부하 발생부하량이 준공년도인 2012년도에 13.5kg/d에 비해 2016년도에는 12.9kg/d로 낮아졌으나, 저수지의 T-P농도는 2012년의 0.114mg/L에서 2015년 0.173, 2016년 0.177mg/L로 높아졌다. 이는 2014년부터 극심한 가뭄으로 유입수량이 매우 적었고, 또한 저수지 물교환을 저하에 따른 저수지내 T-P의 축적으로 오염도가 증가한 것으로 판단된다.



[그림 8-4-4] 설성 유역 연도별 T-P발생부하량 및 T-P농도 변화

8.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안

- 유지관리상 인공습지내 유기물질발생원인인 식생제거가 주기적으로 필요하며, 또한 부유물질의 퇴적, 총인 침적 등을 고려하여 습지내 퇴적물제거도 주기적으로 필요하다. 따라서, 인공습지의 식생에 의한 처리효율이 급격히 감소하는 11월이후 다음해 1분기까지의 기간에 식생 및 퇴적물 제거 등의 정비·관리를 시행하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.
- 대상지구는 하천 유사량이 많은 지역으로 자동전도식의 취입보와 침강지내의 퇴적토사에 대한 관리를 보다 적극적으로 해야 하며, 퇴적토 준설과 침강지내 정체된 물의 재순환처리 등의 대책이 추가되어야 할 것으로 판단된다.
- 2016년 현장 조사결과, 시설관리자는 침강지 및 취수보는 수질개선시설의 유지관리를 위하여 퇴적현황에 따라 지속적으로 준설을 시행하고 있으며, '16년 11월중 인공습지내 식재제거 후 외부 반출 처리를 완료하였다.

8.6. 결론

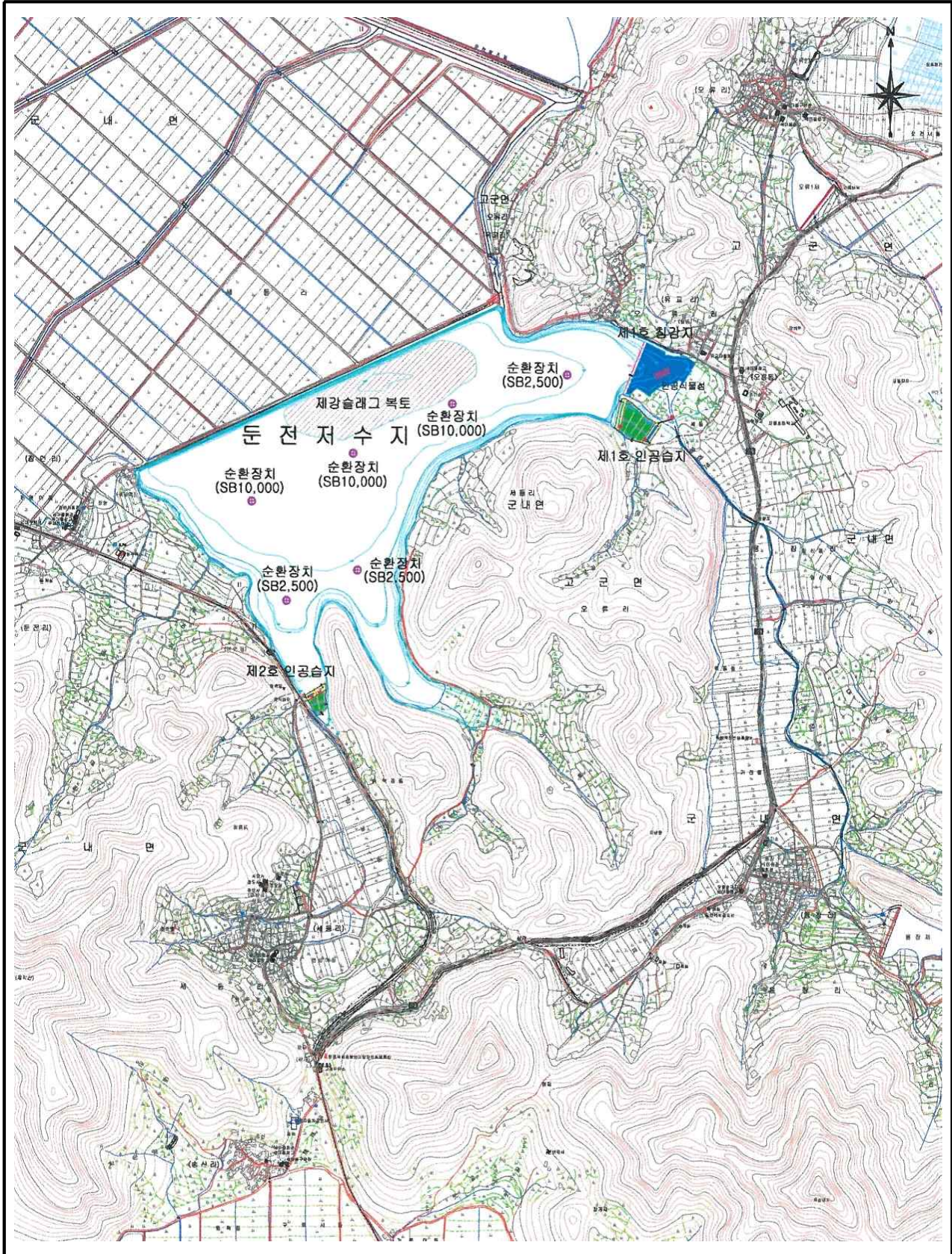
- 운영 4년차인 설성저수지의 모니터링 결과, 2014년~2016년은 극심한 가뭄으로 인공습지 유입수량이 절대 부족해 정상운영이 어려운 시기가 많았고, 수생식물이 충분히 정착된 시설의 경우도 가뭄에 따른 체류시간의 과도한 증가와 인공습지내 식생의 사멸, 총인의 침적 등으로 수질개선시설의 정화효율을 적정 유지하지 못하여 저수지 수질개선에 기여하지 못하고 있는 상황이다.
- 저수지의 수질개선 효과는 목표수질 대비 현재 COD - 12.1%, T-N - 5.7%, T-P - 35.1%로 오히려 악화된 것으로 나타났고, 지속된 가뭄으로 인한 영향이 가장 크게 작용한 것으로 조사되었다.
- 수질개선시설에 의한 개선효과는 설치된 인공습지 등의 시설이 정상적으로 운영되어야 설계된 처리효율을 발휘하고, 또한 저수지의 수질도 개선될 것이라 판단된다. 금년 모니터링 결과, 시설별 처리효율은 어느 정도 유지하고 있으나 당초 설계와는 다른 매우 낮은 유입유량과 유입농도의 변화 등으로 인해 최적의 처리효과를 기대하기 어려운 것으로 판단된다.
- 저수지 수질개선을 위해서는 인공습지의 안정적인 운영과 저수지내 정체현상 저감 등의 대처방안이 필요하다. 이에 인공습지의 일정한 유입수량 확보와 물순환율을 높이기 위해서는 펌프시설 설치 등의 방안이 마련되어야 하며, 습지내 주기적 식생 제거, 침강지의 퇴적토사 제거를 통해 오염물질의 재용출을 최소화하여야 한다.

9. 둔전지구



-
- 9.1 지구현황
 - 9.2 기상 및 수질현황
 - 9.3 시설별 수질개선 효과
 - 9.4 저수지 수질변화 및 개선효과
 - 9.5 현장적용성 향상 및 유지관리 방안
 - 9.6 결 론

둔전지구 수질개선사업 평면도



9.1. 지구현황

9.1.1 저수지 현황

1) 유역현황

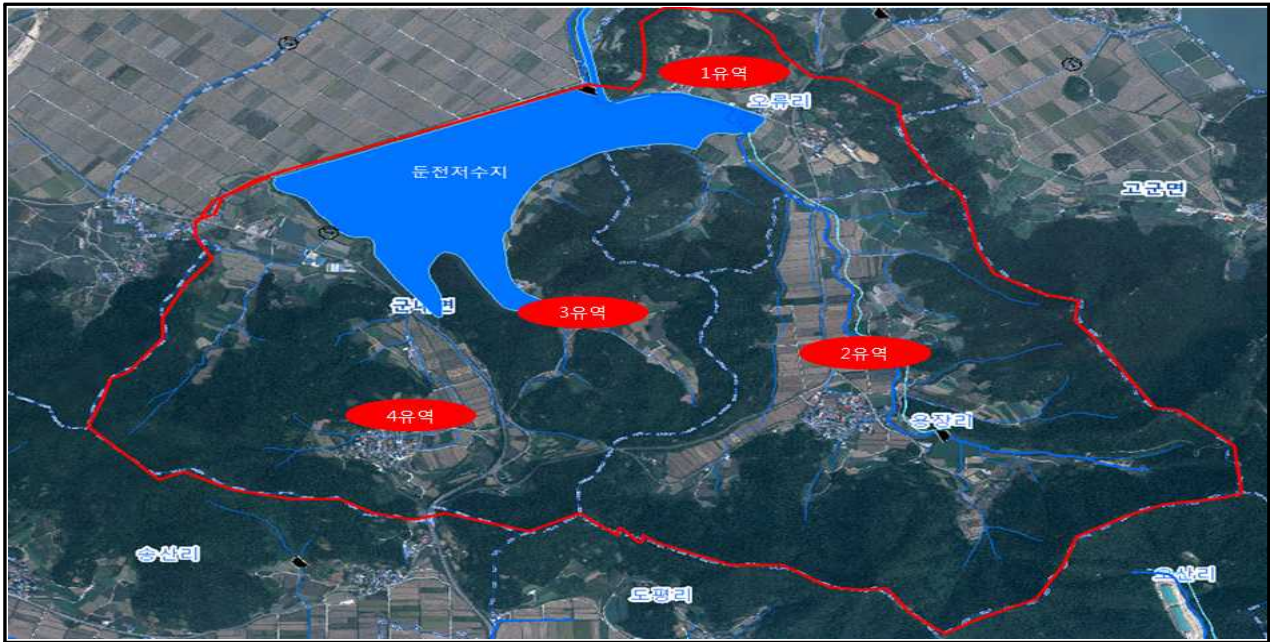
- 둔전저수지가 위치한 진도군은 전남 서남부에 위치하고 있는 도시로써 북위 34° 08' 29"~34° 35' 20", 동경 125° 53' 05"~126° 23' 30" 사이에 자리 잡고 있다.
- 극동은 고군면 와도, 극서는 조도면 죽도, 극남은 조도면 병풍도, 극북은 군내면 나리이다. 행정구역상 북으로는 신안군, 동으로는 해남군, 남동쪽으로는 완도군과 각각 접하고 있다.

[표 9-1-1] 둔전저수지 경위도상 위치

소재지	단	경도와 위도의 극점			연장거리
		지명	극점		
			동경	북위	
진도군	동단	진도군 고군면 와도	126° 23' 30"	34° 28' 49"	동서간 55.39km
	서단	진도군 조도면 죽도	125° 53' 05"	34° 12' 40"	
	남단	진도군 조도면 병풍도	125° 56' 38"	34° 08' 29"	남북간 57.09km
	북단	진도군 군내면 나리	126° 15' 01"	34° 35' 20"	

※ 자료 : 통계연보, 2015, 진도군

- 사업지구는 진도군의 동북쪽에 위치하며 낮은 구릉성 산지와 상대적으로 넓은 평야 지대를 형성하고 있어 농지가 많이 자리잡고 있다. 주요하천으로는 침찰산에서 발원한 월가천, 군내천, 용장천 등이 있다.
- 둔전지구의 유역은 낮은 구릉성 산지로 이루어져 있어 산림의 임연부와 저지대를 중심으로 논, 밭 등의 경작지가 넓게 분포하여 지역민에 의한 경작활동 등의 경제 활동이 활발한 지역이다. 경작지는 주로 벼작물이 재배되고 있으며, 일부 밭지역에서는 파, 마늘 등의 작물이 재배되고 있다.



[그림 9-1-1] 둔전저수지 유역도

2) 저수지 현황

- 둔전저수지는 전남 진도군 고군면 오류리 일원에 위치하며 설치년도는 1958년이고, 유역면적은 725ha, 수혜농지는 227.9ha, 만수면적은 79.7ha 이다.

[표 9-1-2] 둔전저수지 주요시설 현황

소재지	전남 진도군 고군면 오류리	
설치년도	1958년	
유역면적	725ha	
유효저수량	1,316천m ³	
수혜농지	227.9ha	
만수면적	79.7ha	
관리주체	진도지사	

3) 유역내 주요시설 현황

- 상류 유역내 용장마을에 소규모하수도 1개소(60m³/일)가 설치·운영 중에 있다.

[표 9-1-3] 용장리 마을하수도 현황

시설명	소재지	시설용량 (m ³ /일)	처리방법	가동개시일자
용장마을 오수처리시설	전남 진도군 군내면 용장리	60	분뇨 및 고농도 유기오폐수 고도처리	1999.8.2

9.1.2 수질개선시설 현황

1) 주요대책

- 상류대책
 - 세동리 마을에서 나오는 하수처리를 위하여 처리용량 68m³/일 규모의 마을하수도 처리시설을 계획중에 있다.
- 호내대책
 - 인공습지 : 1호와 2호 습지의 설치면적은 각각 13,389m², 6,084m²로 체류시간은 12시간 이상, 수심은 평균 0.4m로 운영중에 있다.
 - 침강지 : 침강지 위치는 직접유역 중 오염물질 유입이 가장 두드러지는 위치에 20,118m²의 면적으로 설치되어 있다. 부댐의 길이는 L=172m이며, 만수위(H.W.L)보다 0.5m~1.0m 낮게 계획되었다. 또, 제정 0.5m 아래에 필터층을 두어 본 저수지와 같은 수위로 연동되는 구조로 설치되었다.
 - 물순환장치 : 호내 내부생산성 제어와 이상 녹조방지를 위해 총 6기 설치되었으나, 이 중 3대가 노후화 및 마름으로 인한 폐색으로 고장이 잦아 2015년 12월 진도 지사에서는 수리와 함께 수질개선이 필요한 송정제로 이동배치 하였다.
 - 인공식물섬 : 침강지 내 인공식물섬 500m² 설치
- 수질개선을 위해 필요시 되는 기타사항
 - 저수지 수면의 95%이상이 수생식물(마름)로 뒤덮여 고사시 수질에 악영향을 주고 있으므로 적극적인 수초제어가 필요하다고 판단된다.

[표 9-1-4] 둔전저수지 수질개선시설 현황

구분	대안	시설	규모	비고
<input type="checkbox"/> 상류대책(진도군 추진)				
1	생활하수처리	소규모 하수도	68m ³ /일	
<input type="checkbox"/> 호내대책				
1	평시 유출수 처리	1호 인공습지	13,389m ²	
2	평시 유출수 처리	2호 인공습지	6,084m ²	
3	평시 및 강우 유출수 처리	침강지	면적 : 20,118m ² 부댐 : 172m	
4	저수지 녹조방지를 위한 물순환	부유식순환장치	3기	3기 이동 (송정저수지)
5	녹조발생억제 및 경관개선	인공식물섬	설치면적 : 500m ²	

2) 인공습지

○ 인공습지별 계획유량 및 설치제원

[표 9-1-5] 인공습지별 계획유량

구 분	유역 구분	유역면적 (ha)	평균 유입량(m ³ /일)			계획수량 (m ³ /일)	비고
			총유입량	일30mm 미만유입량	마을하수도 유입량		
계		425.9	9,278.1	8,534.7	-	8,534.7	
1호인공습지	2유역	319.0	7,323.2	6,740.0	-	6,740.0	
2호인공습지	4유역	106.9	1,954.9	1,794.7	-	1,794.7	

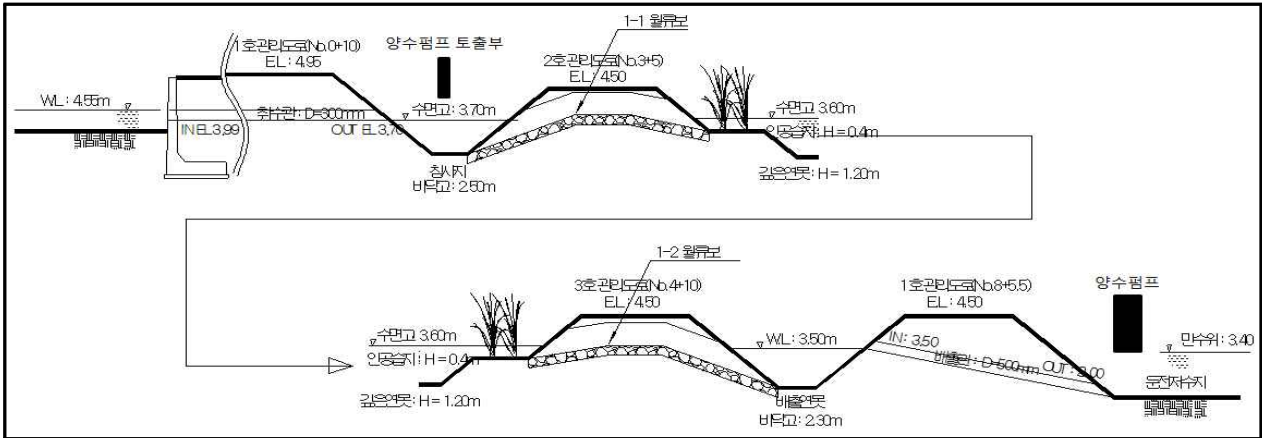
○ 1호 인공습지는 둔전저수지 유역 2의 일 30mm미만 유출시 유하하는 유입유량을 정화 처리하기 위해 13,389m²으로 계획함. 이중 습지의 면적은 6,939m²으로 계획하였고, 내용적은 3,537m³(인공+연못습지)으로서 유역에서의 유출량 280.84m³/hr이 습지에서 약 12.59시간 정도 체류하도록 계획하였다.

[표 9-1-6] 1호 인공습지 제원

구 분	규모	계획면적 (m ²)	계획수심 (m)	내용적 (m ³)	비 고	
인공 습지	얕은습지	8개소	7,449	0.40	2,980	-
	깊은연못	7개소	2,355	1.20	2,826	-
	소계	-	9,804	-	5,806	-
	침사지	1개소	489	1.20	586	-
	배출연못	1개소	456	1.20	547	-
	관리도로 및 기타	-	2,640	-	-	-
합 계	-	13,389	-	6,939	-	

[표 9-1-7] 2호 인공습지 제원

구 분	규모	계획면적 (m ²)	계획수심 (m)	내용적 (m ³)	비 고	
인공 습지	얕은습지	4개소	2,643	0.40	1,057	
	깊은연못	3개소	1,229	1.20	1,475	
	소 계		3,872		2,532	
	침사지	1개소	97	1.50	145	
	배출연못	1개소	114	1.20	136	
	관리도로 및 기타		2,002			
합 계		6,085		2,813		



[그림 9-1-2] 1호 인공습지 수리계통도

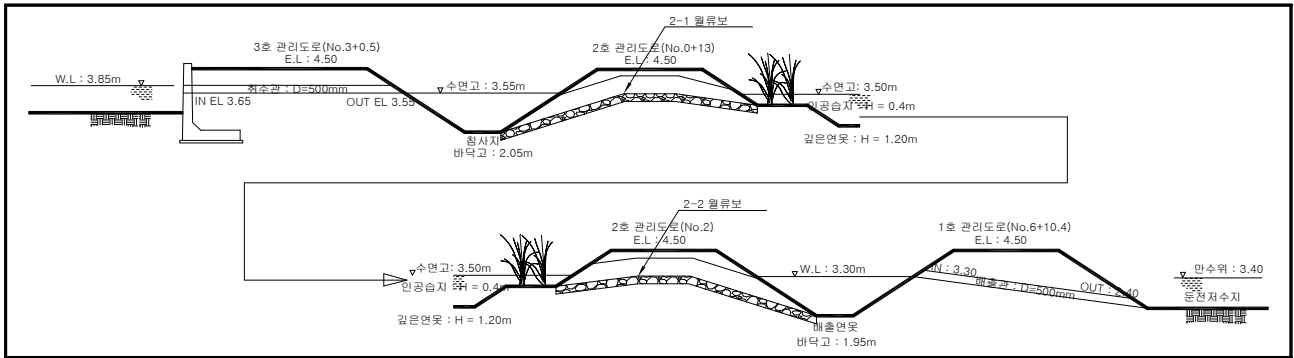


[그림 9-1-3] 1호 인공습지 시설현황



[그림 9-1-4] 1호 인공습지 계획평면도

- 2호 습지는 둔전저수지 유역4의 일30mm미만 유출시 유하하는 유입유량을 정화처리 하기 위해 필요한 2호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 6,085m²로 계획하였다. 이중 습지의 면적은 3,872m²으로 계획하였고, 내용적 2,813m³(인공+연못 습지)으로서 유역에서 유출되는 유출량 74.78m³/hr을 2호 인공습지에서 약 12.86시간 체류하도록 계획하였다.



[그림 9-1-5] 2호 인공습지 수리계통도



2호습지 취입보

2호습지 깊은연못

2호습지 전경

[그림 9-1-6] 2호 인공습지 시설현황



[그림 9-1-7] 2호 인공습지 계획평면도

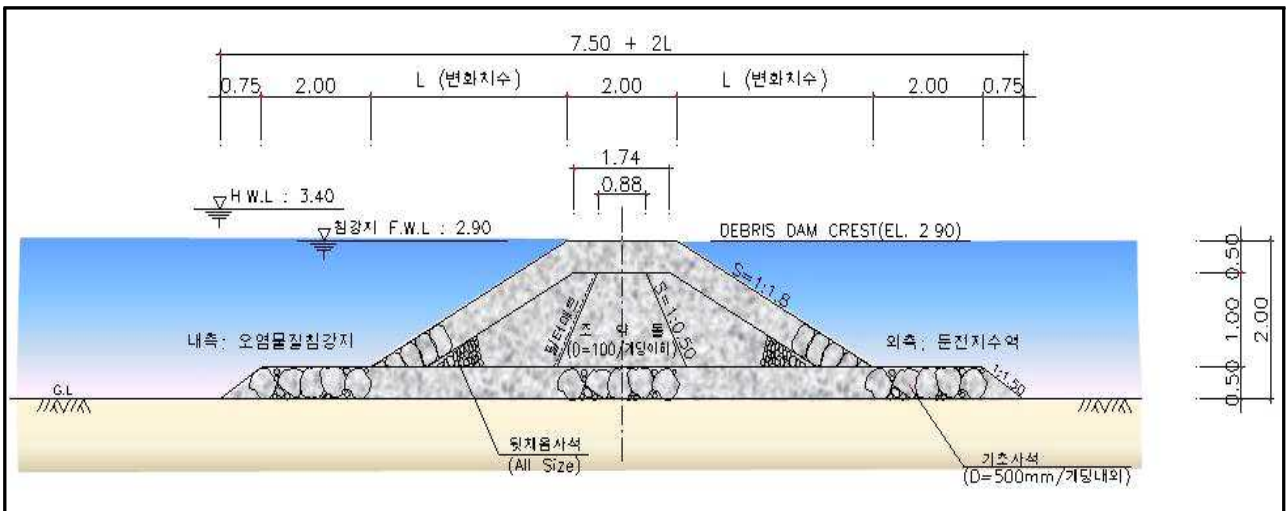
3) 침강지

○ 침강지 계획유량 및 설치제원

[표 9-1-8] 침강지 제원

구 분	유역		일30mm 초과유입량 (m ³ /일)	계획 수심 (m)	수표 면적 (m ²)	계획 내용적 (m ³)	체류 시간 (hr)	비 고
	유역 구분	면적 (ha)						
침강지	2	319.0	56,014.7	2.9	20,188	40,376	14.4	

※부담 제정고 기준



[그림 9-1-8] 침강지 평면도



침강지

침강지 내부전경

[그림 9-1-9] 침강지 시설현황

4) 기타 수질개선시설

- 기타 수질개선장치로서는 둔전저수지 내부에 물순환장치 3기와 침강지 내부에 500m²의 시설 1기가 설치되어 있으며, 운영상태는 모두 양호하다.



[그림 9-1-10] 물순환장치 및 인공식물섬 시설현황

- 2015년 둔전지구 수질개선 시설보강사업
 - 사업비 : 195,000천원 (설계비 5,700천원, 토목공사비 113,863천원, 관급자재대 65,101천원, 전기공사비 10,336천원)
 - 사업기간 : 2015. 10. 19 ~ 2016. 12. 28
 - 주요공사
 - 1호습지 : 취입보 유입관로 교체 1식, 양수시설 설비 1식, 침사지 준설 1식, 전도수문 벽체 및 바닥정비 1식, 독보강 및 얇은 연못 수생식물 보식 1식, 전기공사 등
 - 2호습지 : 토출수문 철거 및 설치, 얇은연못 수생식물 보식 1식 등

9.2. 기상 및 수질환경

9.2.1 기상현황

1) 기온

- 둔전저수지 유역과 가장 가까운 진도기상대에서 측정된 최근의 평균, 최고, 최저 기온과 최근 30년 평년 기온을 [표 9-2-1]로 나타내었다. 둔전지구의 사업 시행전인 2009년도에 11월까지 평균기온은 12.7℃로 11월까지 평년기온인 14.3℃에 비해 낮은 값을 보였다.
- 준공년도인 2012년의 경우도 11월까지 12.2℃로 평년값에 비해 낮은 경향을 보였다. 2015년에는 11월까지 평균기온이 12.4℃로 평년(14.3℃)에 비해 다소 낮은 수준이었으며, 2016년도에도 13.3℃로 2015년에 비해 약 1℃정도 올랐으나 평년에 비해 낮은 값을 보였다.

[표 9-2-1] 둔전저수지 유역 사업시행 전후 월별 기온 분포 (단위 : °C)

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
2009년 (시행전)	평균	-0.6	3.0	4.6	11.1	16.0	19.1	21.6	22.4	19.4	15.3	7.6	12.7
2010년 (시행전)	평균	-0.8	2.1	4.0	8.0	14.9	19.6	22.6	24.8	20.9	13.7	7.7	12.5
2011년 (시행전)	평균	-5.0	1.5	3.0	9.6	15.4	19.4	23.3	22.4	20.1	13.8	11.0	12.2
2012년 (시행전)	평균	-1.4	-1.8	3.7	10.5	16.9	19.4	22.9	24.2	18.9	14.7	6.6	12.2
2013년 (시행후)	평균	-1.1	0.2	5.2	8.2	15.8	19.5	23.3	25.1	19.8	14.7	7.2	12.5
2014년 (시행후)	평균	1.0	1.4	5.9	11.7	15.9	18.8	21.7	21.5	19.5	15.0	9.2	12.9
2015년 (시행후)	평균	0.3	0.5	5.9	10.6	15.7	17.8	21.3	22.1	18.6	14.7	9.3	12.4
2016년 (시행후)	평균	-1.1	0.8	5.5	12.5	15.8	19	23	24.6	20.6	15.3	10.2	13.3
평년값		1.3	2.6	6.6	12.1	17.1	21.3	24.9	25.8	21.4	15.4	9.1	14.3

2) 강수량

- 최근의 월별 강수량은 다음 [표 9-2-2]와 같다. 시행전인 2009년도에 강수량은 총 1,448.2mm로 평년 강수량인 1197.3mm에 비하여 많았다.
- 준공년도인 2012년에는 11월까지 2108.5mm로 매우 높았다. 운영 첫해인 2013년도에는 11월까지 1,229.2mm로써 평년에 비해 낮았다. 그러나 2016년도에는 11월까지 1,383.7mm의 강수가 내려 시행전인 2009년보다는 적었지만, 평년도 보다는 높은 값을 보였다.

[표 9-2-2] 둔전저수지 유역 사업시행 전·후 월별 강수량 분포 (단위 : mm)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
2009년(시행전)	22.9	65.9	83.8	109.5	145.2	101.9	566.6	147.5	90.3	94.5	20.1	1,448.2
2010년(시행전)	59.9	127.5	144.7	201.0	186.6	146.1	243.0	318.5	71.1	67.5	7.2	1,573.1
2011년(시행전)	13.5	64.1	35.7	149.1	112.6	173.1	177.2	265.6	40.5	37.2	167.7	1,236.3
2012년(시행전)	18.7	63.1	148.4	242.5	59.5	71.8	330.3	568.3	466.6	56.0	83.3	2,108.5
2013년(시행후)	23.6	80.8	101.0	63.7	235.2	98.0	175.7	177.1	159.0	25.2	89.9	1,229.2
2014년(시행후)	21.3	36.0	126.9	181.5	134.6	104.5	166.9	388.9	83.8	124.3	99.2	1,467.9
2015년(시행후)	44.6	53.2	42.2	311.1	137.3	127.8	174	198.7	104.9	67.1	126.8	1,387.7
2016년(시행후)	18.4	56	97.2	205.2	136.6	167.9	259.1	33.2	194.1	154.3	61.8	1,383.8
평년값	32.5	46.3	72.9	90.0	105.5	199.5	246.8	248.5	64.3	44.2	46.8	1,197.3

9.2.2 수질현황

1) 목표수질 설정

- 둔전저수지의 목표수질은 농업용수 관리기준(IV등급)을 만족하는 COD 8.0mg/L, T-N 1.0mg/L, T-P 0.1mg/L 인공습지와 침강지의 설계조건과 처리효율을 적용하여 저수지의 수질을 예측한 결과 COD가 8.0mg/L, T-N 1.508mg/L, T-P 0.097mg/L로 T-N은 목표를 달성하지 못하였으나 COD는 농업용수 관리기준인 8.0mg/L 이하를 달성하는 것으로 예측되었다.

[표 9-2-3] 둔전저수지 목표수질

구 분	목표수질	기본계획 수립시 ('10년, A)	예측수질 ('17년)	'16년 (B)	수질개선 효과(%)
					(A-B)/A
COD(mg/L)	8.0	12.4	8.0	11.9	4.0%
T-N (mg/L)	1.0	1.896	1.508	0.817	56.9%
T-P (mg/L)	0.1	0.129	0.097	0.044	65.9%
수질등급	IV	VI	IV(COD)	VI	
유해물질	사람의 건강보호에 관한 환경기준 만족				

2) 오염원 현황

- 오염원분석은 “농업용수 수질측정망 조사보고서”를 이용하였으며, 오염원 조사는 수질오염총량관리기본방침 제8조와 [별표]에 따라 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 토지계, 매립계 등으로 구분하여 조사하였다. 오염원은 수계오염총량기술지침에 따라 행정구역별과 배출원별로 조사하였으며, 환경기초시설도 함께 조사하였다. 둔전저수지 유역 내 최근 6년 동안의 연도별 인구수와 축산두수 변화를 [표 9-2-4], [표 9-2-5]에 나타내었으며, 2016년의 유역 토지이용현황은 [표 9-2-6]에 정리하였다.
- 둔전저수지 유역 내 인구수는 시행전인 2009년에 482명, 준공년도인 2012년도에는 481명으로 비슷하였다. 이후 2013년도와 2014년도에는 484명으로 차이가 없었지만, 2015년도에는 408명으로 줄어들었다가 2016년에는 405명으로 전년과 비슷한 추이를 보였다. 축산두수는 한우가 2009년 0두, 2013년에 3두로 조사되었다가 2016년도에 다시 0두가 되었다. 돼지는 2009년 70두, 2012년도에는 58두, 2016년에는 0두로 조사되었다.
- 둔전저수지의 유역면적은 725ha이며 지목별 토지이용현황은 사업시행전이나 현재 까지 변화없이 논과 밭이 각각 11.4%, 14.2%를 차지하고 있으며, 임야가 66.5%로 가장 많은 부분을 차지하고 있다. 논과 밭의 면적이 전체 유역 면적 중 25.6%를 차지하고 있다.

[표 9-2-4] 둔전저수지 유역내 인구변화 추이

구 분	2009년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
인구(명)	482	481	484	484	408	405

[표 9-2-5] 둔전저수지 유역내 연도별 축산변화

구 분	2009년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
한우(두)	-	3	3	-	-	-
돼지(두)	70	58	30	43	30	-

[표 9-2-6] 둔전저수지 유역내 지목별 토지이용현황

구 분	2009년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
계	725 (100%)	725 (100%)	725 (100%)	725 (100%)	725 (100%)	725 (100%)
전(ha)	103 (14.2%)	103 (14.2%)	103 (14.2%)	103 (14.2%)	103 (14.2%)	103 (14.2%)
답(ha)	83 (11.4%)	83 (11.4%)	83 (11.4%)	83 (11.4%)	83 (11.4%)	83 (11.4%)
임야(ha)	482 (66.5%)	482 (66.5%)	482 (66.5%)	482 (66.5%)	482 (66.5%)	482 (66.5%)
기타(ha)	57 (7.9%)	57 (7.9%)	57 (7.9%)	57 (7.9%)	57 (7.9%)	57 (7.9%)

3) 오염부하량

- 둔전저수지의 유역내 오염원별 발생부하량은 [표 9-2-7]와 같으며, 최근 연도별 발생 부하량 변화는 [표 9-2-8]와 같다.

[표 9-2-7] 2016년 둔전저수지 유역내 발생부하량

구 분	점 오염 원						비점오염원					계	
	생활계 (인)	축산계(두)			산업계 (m ³ /일)	소계	토지현황(ha)				소계		
		한우	젖소	돼지			전	답	임야	기타			
원수	405	-	-	-	-		103	83	482	57			
발 생 부 하 량	BOD	19.8	-	-	-	-	19.8	1.6	1.9	4.8	0.6	8.9	28.7
		68.9%	-	-	-	-	68.9%	5.7%	6.6%	16.8%	2.0%	31.1%	100.0%
	T-N	5.3					5.3	9.7	5.4	10.6	0.0	25.8	31.1
		17.0%	-	-	-	-	17.0%	31.3%	17.5%	34.1%	0.1%	83%	100.0%
T-P	0.6					0.6	0.247	0.506	0.675	0.017	1.4	2.1	
	29.8%	-	-	-	-	29.8%	12.0%	24.6%	32.8%	0.8%	70.2%	100.0%	

- 사업시행 전인 2009년도 둔전저수지 구역 내 오염물질 발생부하량은 BOD가 34.8kg/일, T-N 33.2kg/일, T-P 2.4kg/일이었다. 이후 2012년도에는 BOD가 34.6kg/일, T-N 33.1kg/일, T-P 2.4kg/일로 차이가 없었으며, 운영 첫해인 2013년도에는 BOD가 33.8kg/일, T-N 32.8kg/일, T-P 2.3kg/일, 2015년도에는 BOD가 29.9kg/일, T-N 31.6kg/일, T-P 2.2kg/일, 2016년도에는 BOD가 28.7kg/일, T-N 31.1kg/일, T-P 2.1kg/일로 감소하는 경향을 보이고 있다. 2016년도에 BOD는 생활계가 가장 높고, T-N과 T-P는 토지계가 높은 비율을 차지하고 있었다.

[표 9-2-8] 둔전저수지 구역내 연도별 오염물질 발생부하량

구 분	연도별 발생부하량(kg/d)						
	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
BOD	34.8	37.3	34.6	33.8	34.0	29.9	28.7
T-N	33.2	34.3	33.1	32.8	32.8	31.6	31.1
T-P	2.4	2.6	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1

4) 수질현황

- 수질개선사업 추진을 통한 수질변화 현황은 COD의 경우 2010년 착공 후 지속적으로 낮아지는 경향을 보이다가 2016년에 높아졌으나 T-N, T-P 항목에서는 목표수질을 달성하였다.

[표 9-2-9] 둔전저수지 수질현황

구 분	5개년 평균 (’05~’09)	’10년 (착공시)	수질 변화						목표년도 (’17년)	목표수질
			’11	’12	’13	’14	’15	’16		
COD	11.6	9.9	9.9	10.0	10.1	8.0	8.7	11.9	8.0	8.0이하
TOC	-	-	5.7	6.3	6.2	5.4	4.8	6.8	-	6.0이하
T-N	-	0.910	1.276	1.432	1.142	1.465	2.383	0.817	1.508	1.0이하
T-P	-	0.058	0.076	0.097	0.071	0.070	0.064	0.044	0.097	0.1이하

9.3. 수질개선 효과

- 둔전저수지 수질개선시설의 수질정화효율을 분석하기 위하여 ① 1호 침강지 및 인공습지 유입부, ② 1호 인공습지 유출부, ③ 1호 침강지 유출부, ④ 2호 인공습지 유입부와 ⑤ 유출부 등 총 5지점에서 조사를 실시하였다.
- 둔전지구는 2013년부터 운영된 지구로써 수질조사를 월 1회 이상 실시하였으며, 강우가 없었던 평상시에는 7월 28일, 8월 25일, 9월 20일, 10월 7일 조사를 실시하였고, 강우시 조사는 4월 27일 1회 실시하였다.



[그림 9-3-1] 둔전지구 수질조사 지점

9.3.1 인공습지 수질개선효과

- 수온은 1호 인공습지 유입수 22.5℃, 유출수 25.7℃로 유입수보다 유출수가 다소 높았고, 2호 인공습지 유입수 24.5℃, 유출수 22.6℃로 유입수가 낮았다.
- pH는 1호 인공습지 유입수 6.8~7.9, 유출수 6.5~7.4이며, 2호 인공습지 유입수 6.5~7.9, 유출수 6.6~7.5으로 모두 농업용수 관리기준인 6.0~8.5를 만족하였다.
- EC는 1호 인공습지 유입수가 115.0~243.0 μ S/cm이고 유출수가 54.0~198 μ S/cm, 2호 인공습지 유입수는 237.0~341.0 μ S/cm이고 유출수가 178.0~281.0 μ S/cm로 유입수보다 유출수의 EC가 낮아지는 경향을 보였다. 또한 전체적으로 작물생육에 지장이 없는 수준을 나타내고 있다.
- DO는 1호 인공습지 유입수가 6.9~10.4mg/L, 유출수는 5.1~6.6mg/L이며, 2호 인공습지 유입수는 2.7~4.2mg/L, 유출수는 2.5~9.9mg/L이다. DO는 모두 농업용수 관리 기준인 2.0mg/L 이상을 만족하였다.

[표 9-3-1] 둔전저수지 1호 인공습지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차 (7.28)	2차 (8.25)	3차 (9.20)	4차 (10.7)	평균	강우 (4.27)
수온 (°C)	1호 유입수	23.9	22.9	25.2	27.9		23.7	20.1	23.9	15.2
	1호 유출수	25.8	25.3	25.6	28.2	29.8	25.5	20.1	25.9	
pH	1호 유입수	7.7	7.4	7.8	7.4		6.8	7.6	7.3	7.9
	1호 유출수	7.6	7.2	7.4	7.2	6.5	6.7	7.2	6.9	
EC (μS/cm)	1호 유입수	223	193	193	194		243	222	165	115
	1호 유출수	143	135	273	77	54	191	198	130	
DO (mg/L)	1호 유입수	8.5	6.5	7.35	6.9		7.3	8.5	7.6	10.4
	1호 유출수	6.3	3.7	6.1	5.8	5.1	6.0	5.1	5.5	
SS (mg/L)	1호 유입수	6.3	3.2	3.5	1.5		0.5	1.4	1.1	24.0
	1호 유출수	7.5	9.2	21.4	6.3	11.4	6.2	7.7	7.9	
BOD (mg/L)	1호 유입수	0.6	2.7	2.9	1.6		4.5	2.4	2.8	3.1
	1호 유출수	2.4	3.4	6.5	3.2	5.1	4.3	2.9	3.8	
COD (mg/L)	1호 유입수	4.3	3.7	3.9	4.0		3.0	3.4	3.5	9.2
	1호 유출수	11.5	9.4	20.9	14.0	11.4	8.6	5.6	9.9	
TOC (mg/L)	1호 유입수	2.0	2.3	2.3	2.6		1.9	2.1	2.2	4.1
	1호 유출수	6.8	5.8	10.2	8.4	7.4	5.1	2.8	5.9	
T-N (mg/L)	1호 유입수	3.890	2.930	3.226	2.031		4.384	7.038	4.480	2.811
	1호 유출수	0.808	0.597	1.969	0.717	0.978	3.054	6.342	2.770	
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.105	0.087	0.083	0.074		0.119	0.120	0.100	0.271
	1호 유출수	0.083	0.055	0.231	0.084	0.388	0.439	0.331	0.310	
Chl-a (mg/m ³)	1호 유입수	2.2	4.5	12.1	7.8		0.5	0.7	3.0	2.7
	1호 유출수	13.9	10.6	33.7	18.8	11.6	6.2	6.1	10.7	35.5

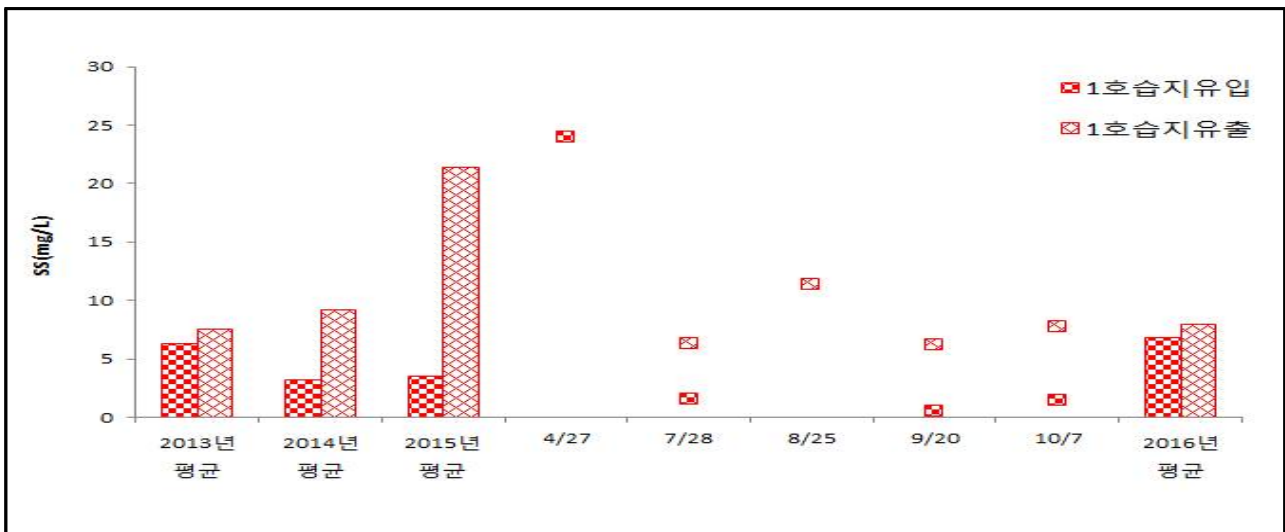
[표 9-3-2] 둔전저수지 2호 인공습지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차 (7.28)	2차 (8.25)	3차 (9.20)	4차 (10.7)	평균	강우 (4.27)
수온 (°C)	2호 유입수	18.3	25.0	24.0	28.5	28.7	21.7	19.2	24.5	
	2호 유출수	19.4	25.8	25.5	28.1	27.9	21.7	21.1	24.7	15.3
pH	2호 유입수	7.7	7.6	7.2	7.5	6.5	7.1	7.1	7.1	
	2호 유출수	7.8	7.3	7.2	6.9	6.6	6.7	7.2	6.9	7.5
EC (µS/cm)	2호 유입수	295	251	206	237	268	341	284	282	
	2호 유출수	249	223	21.8	193	281	252	250	244	178
DO (mg/L)	2호 유입수	7.5	4.9	5.8	4.2	3.5	3.3	2.7	3.4	
	2호 유출수	8.4	3.6	4.4	3.0	3.7	2.5	3.6	3.2	9.9
SS (mg/L)	2호 유입수	5.8	27.2	10.0	6.0	5.7	5.0	1.6	4.6	
	2호 유출수	20.5	27.0	14.2	8.3	4.8	1.2	0.5	3.7	35.5
BOD (mg/L)	2호 유입수	4.8	4.5	4.0	1.8	2.5	3.9	4.2	3.1	
	2호 유출수	5.7	9.3	4.3	3.8	3.6	3.4	3.9	3.7	3.7
COD (mg/L)	2호 유입수	6.8	8.3	7.0	6.2	10.6	7.8	4.8	7.4	
	2호 유출수	11.6	13.6	9.7	11.4	7.8	7.0	5.4	7.9	11.6
TOC (mg/L)	2호 유입수	4.2	5.1	4.2	4.2	7.5	5.0	3.1	5.0	
	2호 유출수	7.4	8.0	5.3	8.6	5.6	4.8	3.5	5.6	5.1
T-N (mg/L)	2호 유입수	4.131	3.463	3.203	2.659	0.867	2.763	7.828	3.530	
	2호 유출수	1.342	1.247	1.255	0.582	0.591	1.548	6.708	2.360	6.244
T-P (mg/L)	2호 유입수	0.314	0.290	0.253	0.279	0.259	0.220	0.179	0.230	
	2호 유출수	0.110	0.198	0.207	0.125	0.357	0.050	0.103	0.160	0.597
Chl-a (mg/m³)	2호 유입수	4.0	36.7	7.9	7.0	5.7	5.0	3.0	5.2	
	2호 유출수	45.9	46.6	23.9	14.5	4.8	1.2	1.3	5.5	

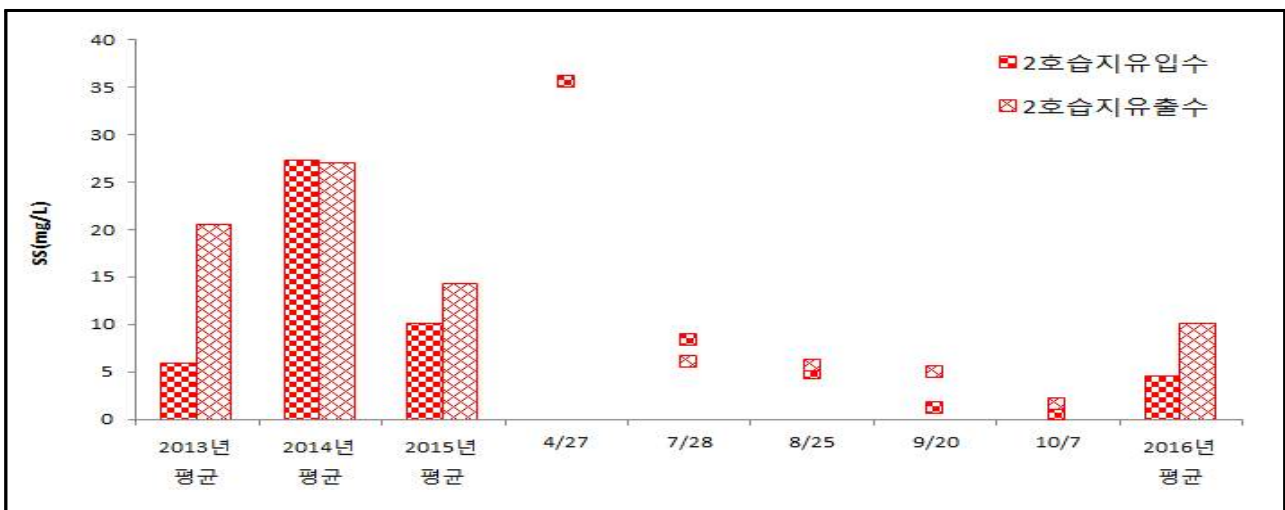
[표 9-3-3] 4개년 둔전지구 인공습지 정화효율

구 분		'13~'16년 평균		'13~'16년 평상시		'13~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	1호 습지 유입수	13.1	65.9	0.8	-233.5	58.4	80.6
	1호 습지 유출수	4.5		2.6		11.3	
	2호 습지 유입수	13.1	-35.9	7.4	19.7	43.5	-86.2
	2호 습지 유출수	17.8		5.9		81.0	
BOD (kg/d)	1호 습지 유입수	1.9	37.5	0.6	-59.8	6.4	72.3
	1호 습지 유출수	1.2		1.0		1.8	
	2호 습지 유입수	3.4	-67.7	1.0	-65.3	16.3	-68.5
	2호 습지 유출수	5.8		1.7		27.4	
COD (kg/d)	1호 습지 유입수	5.5	21.8	1.4	-161.8	20.6	68.0
	1호 습지 유출수	4.3		3.7		6.6	
	2호 습지 유입수	5.3	-69.0	2.5	-21.8	20.3	-100.0
	2호 습지 유출수	9.0		3.0		40.6	
TOC (kg/d)	1호 습지 유입수	2.8	1.1	0.8	-194.9	9.9	60.8
	1호 습지 유출수	2.7		2.4		3.9	
	2호 습지 유입수	3.2	-68.3	1.6	-11.5	11.3	-111.8
	2호 습지 유출수	5.3		1.8		23.9	
T-N (kg/d)	1호 습지 유입수	2.972	75.2	1.513	51.8	8.323	90.8
	1호 습지 유출수	0.738		0.730		0.766	
	2호 습지 유입수	2.323	50.2	0.974	62.5	9.516	43.4
	2호 습지 유출수	1.158		0.366		5.383	
T-P (kg/d)	1호 습지 유입수	0.156	63.5	0.037	-53.9	0.592	90.3
	1호 습지 유출수	0.057		0.057		0.058	
	2호 습지 유입수	0.141	-11.4	0.085	45.9	0.436	-71.3
	2호 습지 유출수	0.157		0.046		0.747	
Chl-a (kg/d)	1호 습지 유입수	2.3	-756.6	0.8	-351.7	7.7	-917.0
	1호 습지 유출수	19.8		3.8		78.4	
	2호 습지 유입수	31.7	40.0	2.1	-471.2	189.7	70.6
	2호 습지 유출수	19.1		12.2		55.7	

- SS는 1호 인공습지 유입수가 0.5~24.0mg/L로 강우시를 제외하면 매우 낮았고, 유출수는 6.2~14.0mg/L로 유입수보다 높았다. 2호 인공습지도 유입수가 1.6~6.0mg/L, 유출수는 0.5~35.5mg/L로 강우시를 포함해 유출수에서 높아졌다. 4개년 간 SS의 정화효율을 살펴보면 1호습지와 2호습지가 평균 13.1kg/d가 유입되고 각각 4.5, 17.8kg/d가 유출되어 각 65.9%, -35.9%의 정화효율을 보였다.
- 2호 습지에서 SS 정화효과가 없는 것은 가뭄으로 인해 유입수가 지속적으로 공급되지 못하면서 물이 있는 곳에서 잘 자라는 갈대, 줄 등의 목표로 하는 식물이 생육하지 못하고 잡풀이 번성한 이후 고사하면서 유출되었기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 습지내의 식물의 생장이 안정적으로 이루어고, 향후 식물의 생장이 잘 유지 된다면 정화효율이 증대될 것으로 판단된다.

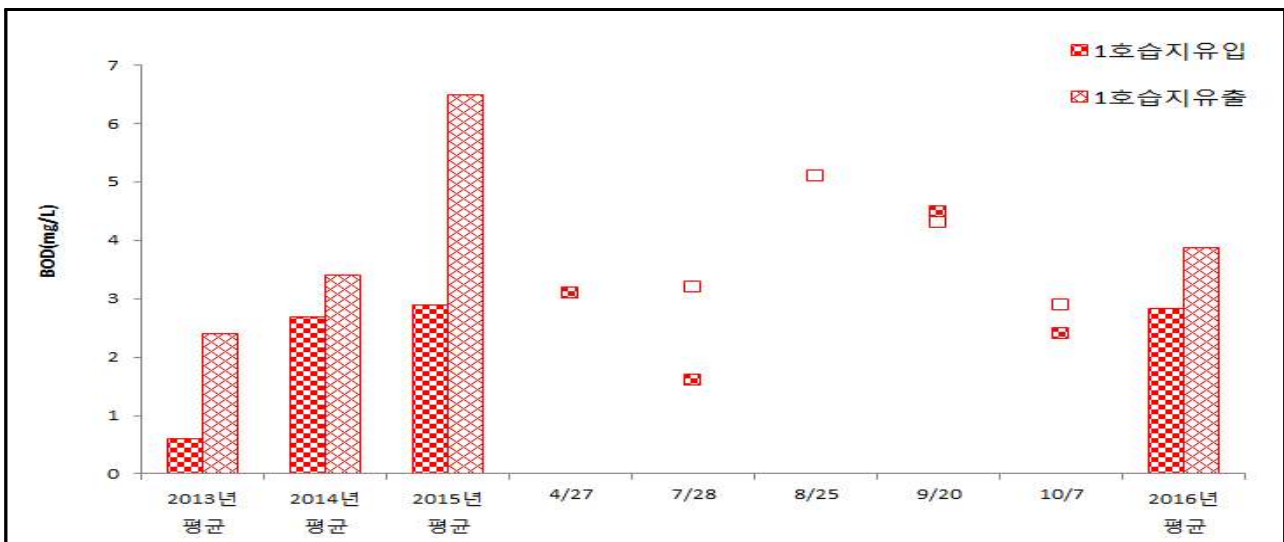


[그림 9-3-2] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화

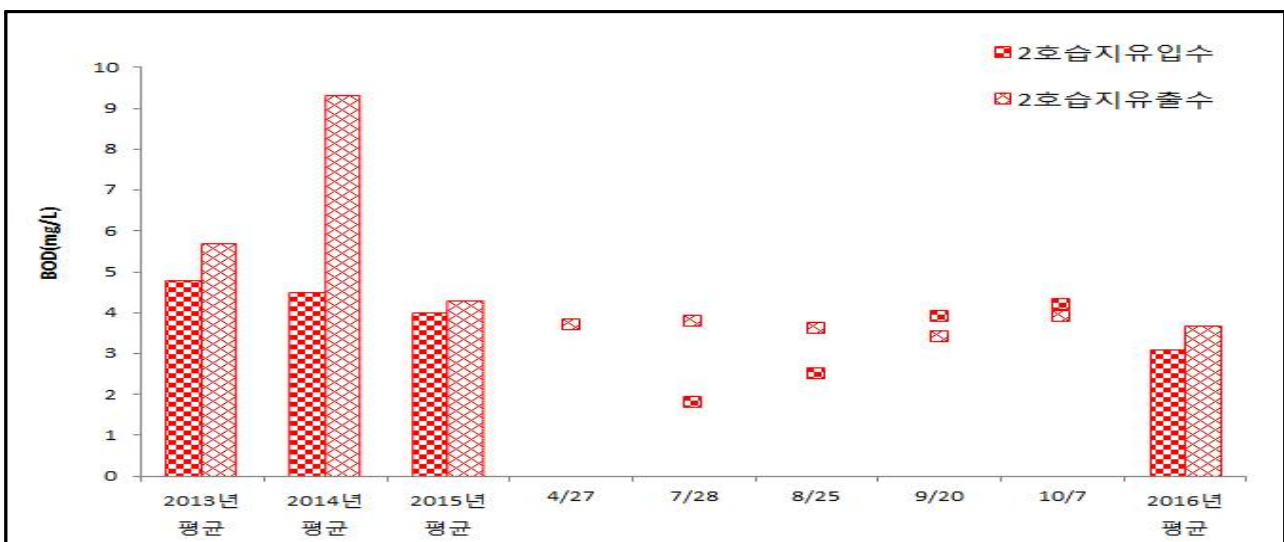


[그림 9-3-3] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화

- BOD의 경우 1호습지 유입수가 1.6~4.5mg/L, 유출수가 2.5~5.1mg/L로 유출수에서 높아졌다. 2호 인공습지 유입수는 3.1mg/L, 유출수가 3.7mg/L로 유출수에서 다소 높아졌으며, 4개년 간 BOD의 정화효율을 살펴보면 평균적으로 1호, 2호 인공습지는 1.9, 3.4kg/d가 유입되고 각각 1.2, 5.8kg/d가 유출되어 각 37.5%, -67.7%의 정화효율을 보였다.
- BOD농도가 높아진 것은 가뭄 및 유입수 감소와 습지 내 체류시간이 길어지면서 조류가 다량생장 할 수 있는 환경이 만들어진 것으로 판단되며, 안정적인 유입수 유지와 정화식물의 생장이 안정화 된다면 정화효율이 향상될 것으로 판단된다.

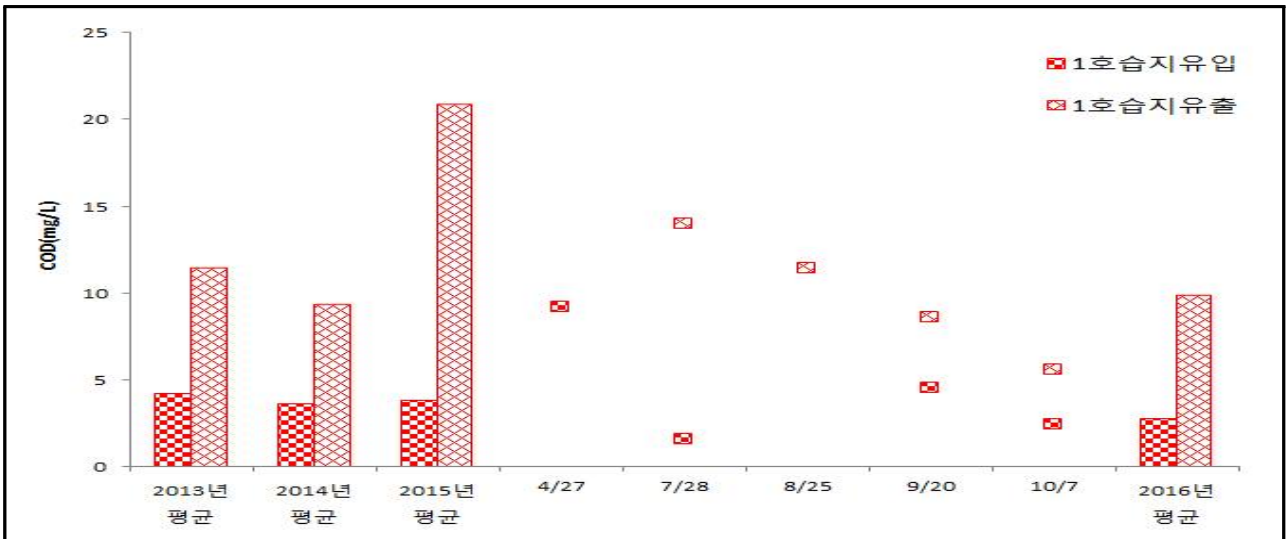


[그림 9-3-4] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화

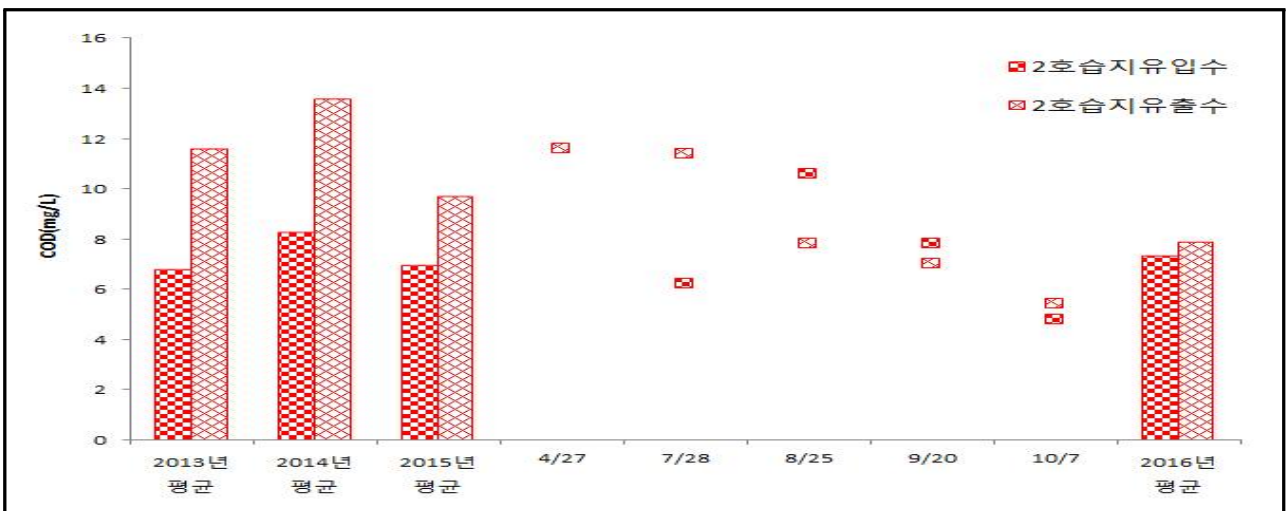


[그림 9-3-5] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화

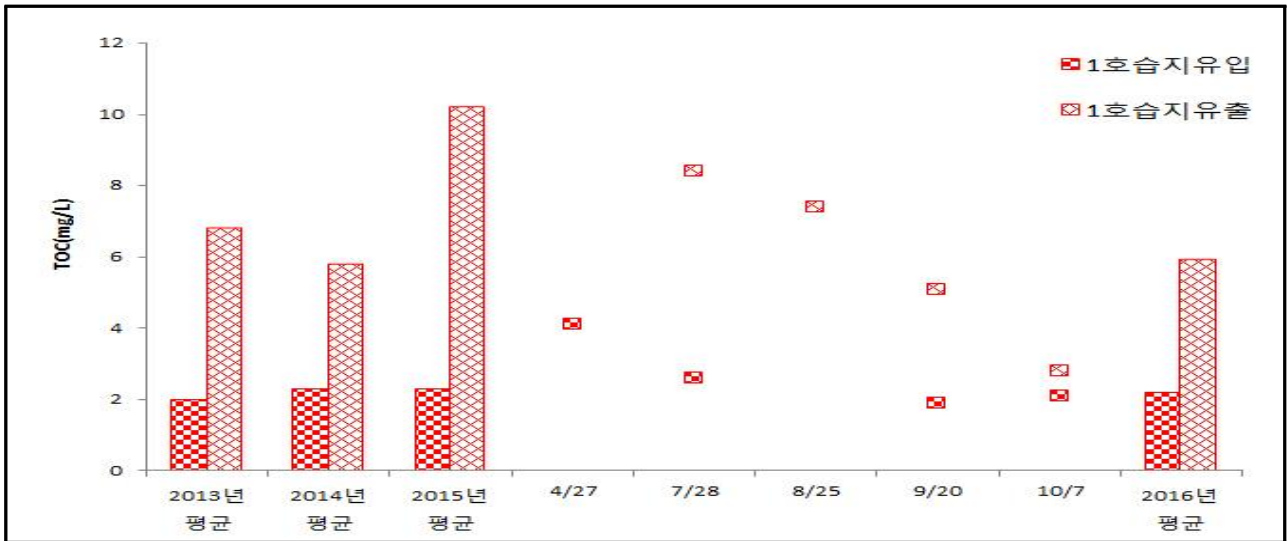
- COD는 1호습지 유입수가 3.0~9.2mg/L, 유출수가 5.6~14.0mg/L로, 2호습지 유입수가 4.8~10.6mg/L, 유출수가 5.4~11.6mg/L로 유출수에서 높아졌으며, TOC의 경우도 1호 습지 유입수가 1.9~4.1mg/L, 유출수가 2.8~8.4mg/L로, 2호습지도 유입수가 3.1~7.5mg/L, 유출수가 3.5~8.6mg/L로 유출수에서 높아졌다.
- 4개년 간 COD의 정화효율을 살펴보면 1호, 2호습지는 5.5, 5.3kg/d가 유입되고, 각각 4.3, 9.0kg/d가 유출되어 각 21.8%, -69.0%의 정화효율을 보였으며, TOC의 정화효율을 살펴보면 1호, 2호습지는 2.8, 3.2kg/d가 유입되고, 2.7, 5.3kg/d가 유출되어 각 1.1%, -68.3%의 정화효율을 보였다. 이는 유입수의 유량감소와 가뭄으로 인공습지로 물이 지속적으로 공급되지 못해 마른 땅에서 잘 자라는 잡풀이 자랐다가 고사하면서 분해되었기 때문인 것으로 판단된다.



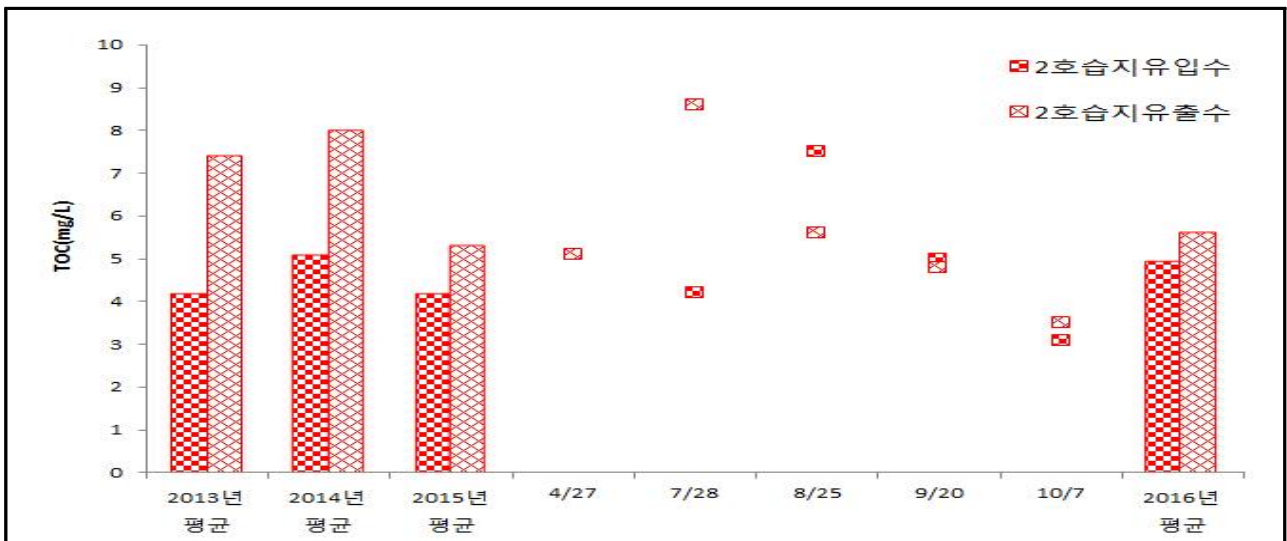
[그림 9-3-6] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화



[그림 9-3-7] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화

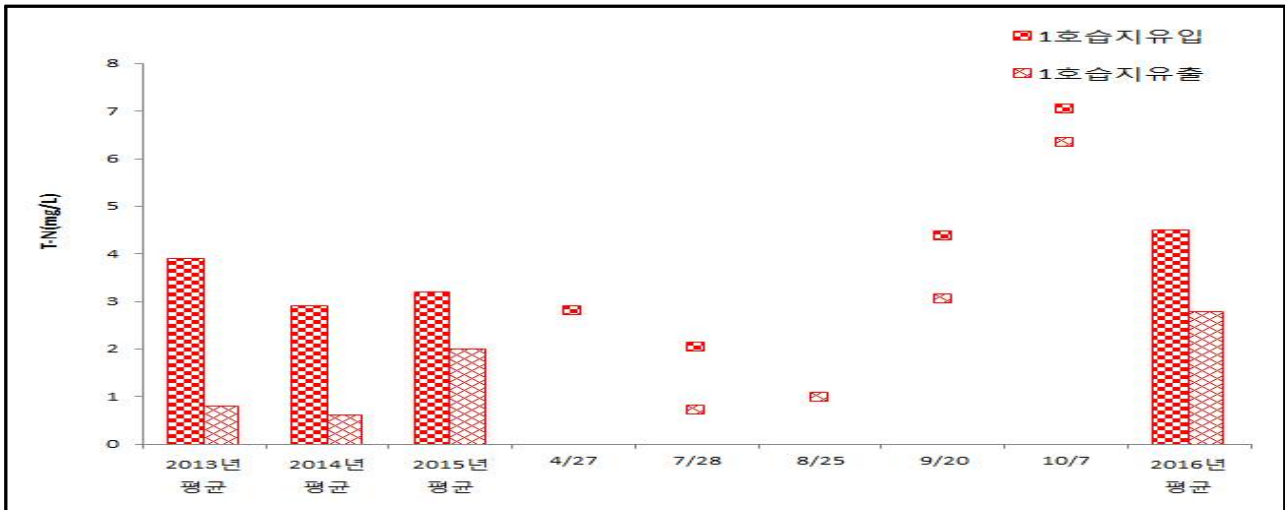


[그림 9-3-8] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

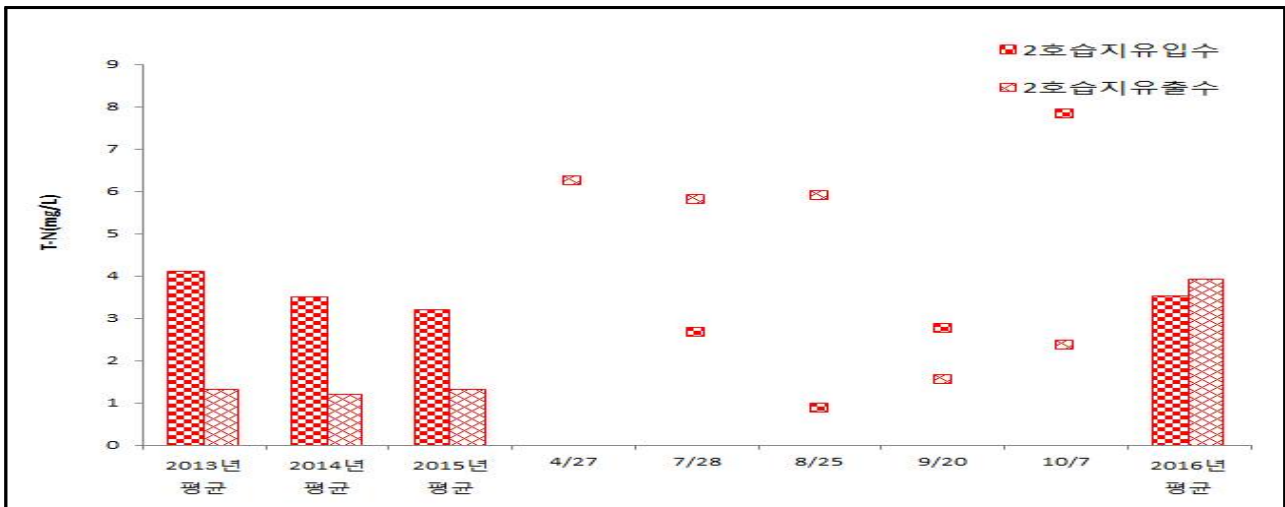


[그림 9-3-9] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N의 경우 1호 인공습지 유입수는 2.031~7.038mg/L였으나 유출수는 0.717~6.342mg/L로 낮아졌다. 2호습지도 유입수는 2.031~7.038mg/L였으나 유출수는 0.717~6.342mg/L로 낮아졌다.
- 4개년 간 T-N의 정화효율을 살펴보면 평균적으로 1호, 2호 인공습지 2.972, 2.323kg/d가 유입되고 0.738, 1.158kg/d가 유출되어 각 75.2%, 50.2%의 정화효율을 보였다. 2013년 이후 유출수의 농도가 지속적으로 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 습지 내 정화식물 생장이 T-N 정화효율에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

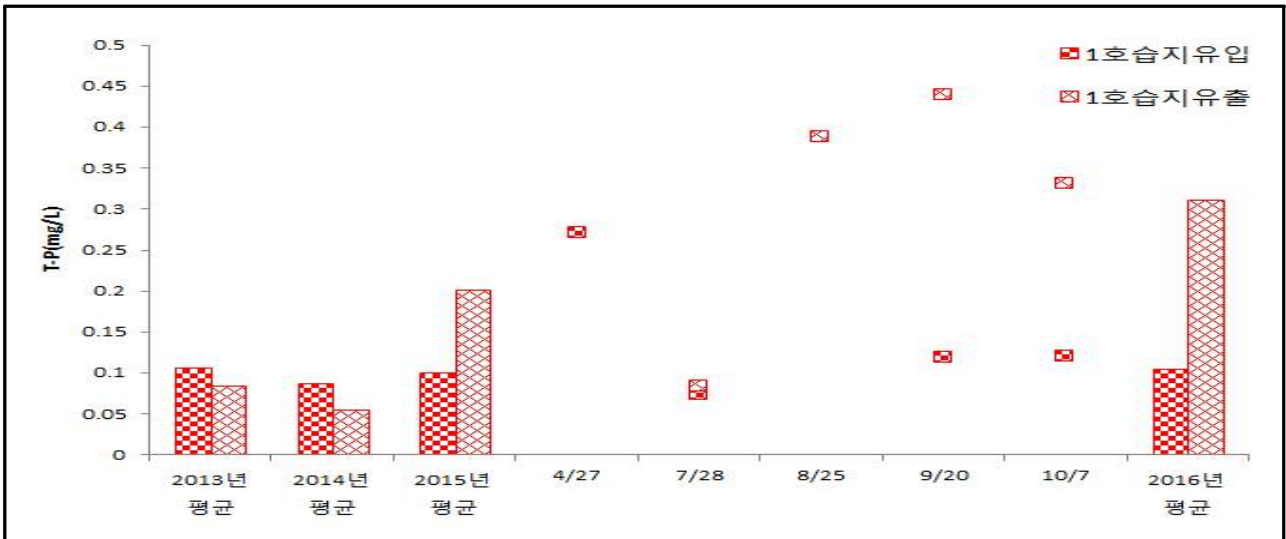


[그림 9-3-10] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화



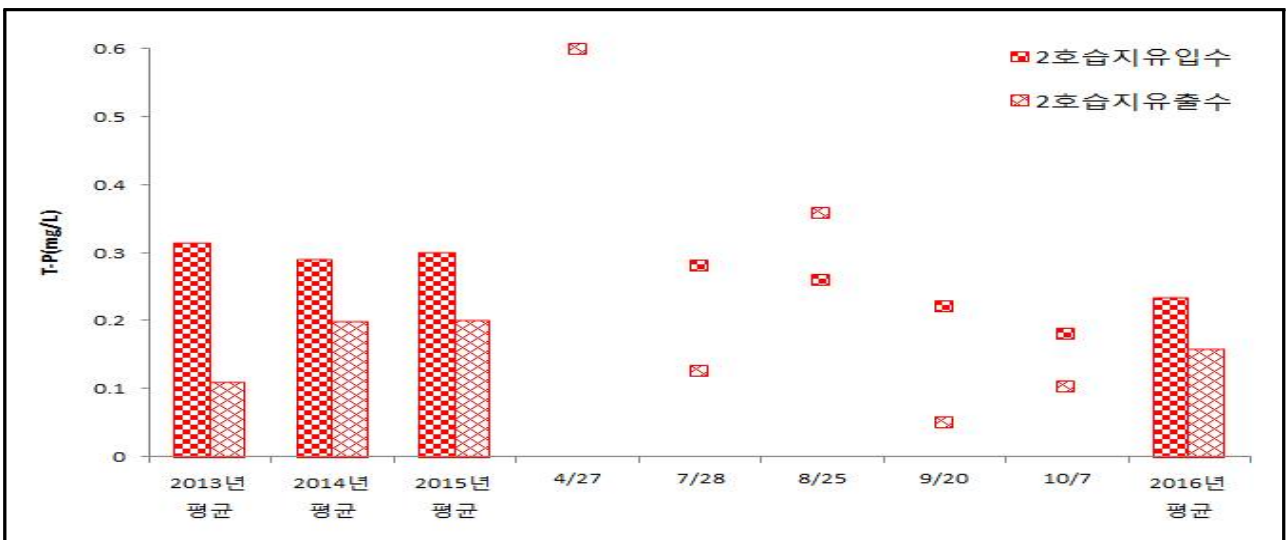
[그림 9-3-11] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P는 1호 유입수가 0.074~0.271mg/L이었고, 유출수는 0.070~0.439mg/L로 다소 높아졌지만, 2호 인공습지는 유입수가 0.179~0.279mg/L이었고, 유출수는 0.050~0.597mg/L로 유입수보다 낮아졌다. 연차별로도 2015년~2016년도에 1호 습지에서는 유입수에 비해 유출수에서 T-P 농도가 높아지는 경향을 보였다. 4개년 간 T-P의 정화효율을 살펴 보면 평균적으로 0.156kg/d가 유입되고 0.057kg/d가 유출되어 각 63.5%의 정화효율을 보였다. SS의 경우와 같이 가뭄으로 인하여 습지식물의 활동에 의한 유기물 분해가 저하되었기 때문으로 판단된다.
- T-P의 경우 1호습지는 유입수가 0.074~0.271mg/L, 유출수가 0.070~0.439 mg/L로 유출수에서 높아졌으며 2차, 3차 조사시기에 가뭄으로 인한 유입량 감소로 인하여 인공습지 내에 퇴적되어 있던 인성분이 강우로 인해 유출되면서 수치가 높게 나타난 것으로 판단된다.



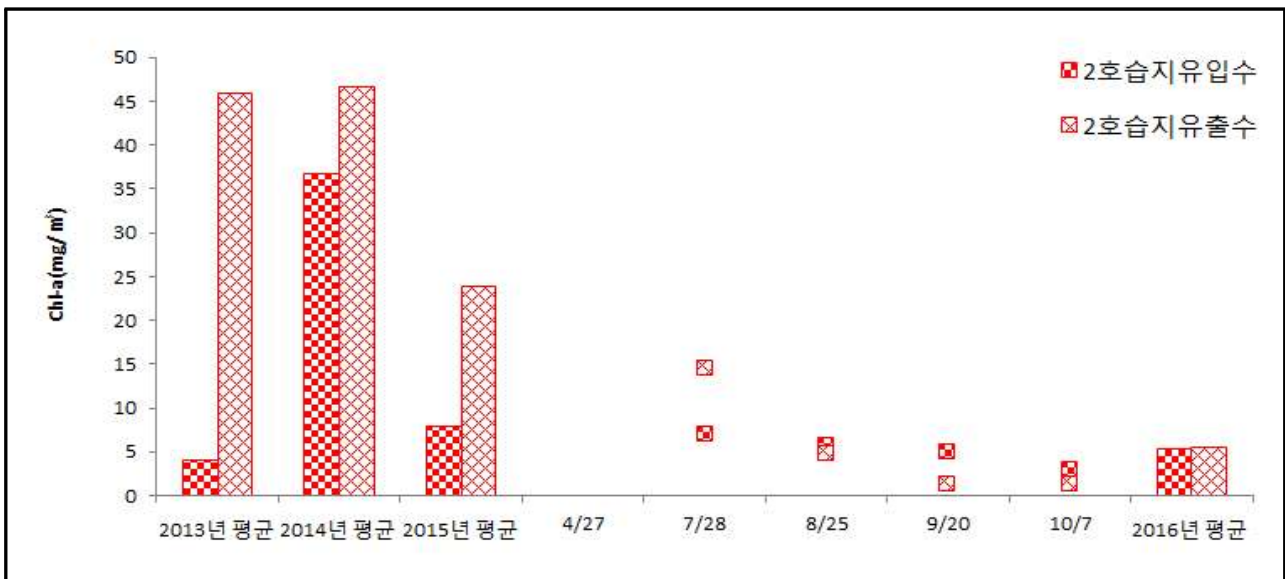
[그림 9-3-12] 둔전지구 1호 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- 2호 습지의 T-P는 유입수가 0.179~0.279mg/L, 유출수가 0.050~0.597mg/L로 강우시를 제외하고 유출수에서 낮아졌으며, 4개년 간 T-P의 정화효율을 살펴보면 평균적으로 0.141kg/d가 유입되고 0.157kg/d가 유출되어 -11.4%의 정화효율을 보였다.
- 1차 강우조사시기에 가뭄으로 인한 유입량 감소로 인하여 인공습지 내에 퇴적되어 있던 인성분이 강우로 인해 유출되면서 수치가 높게 나타났으나, 이후 안정적인 유입수량으로 인하여 유출수의 T-P 농도가 감소한 것으로 판단된다.



[그림 9-3-13] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- Chl-a는 유입수가 3.0~7.0mg/m³, 유출수가 1.2~14.5mg/m³로 유출수에서 높아졌으며, 4개년 간 T-P의 정화효율을 살펴보면 평균적으로 1호, 2호습지에서 2.3, 31.7g/d가 유입되고 19.8, 19.1g/d가 유출되어 -756.6%, 40%의 정화효율을 보였다.
- 1호 습지의 경우 기상여건으로 인한 유입량 감소와 조류의 다량발생으로 인하여 정체되었다가 강우시 습지 내 조류들이 일시에 유출되면서 수치가 높게 나타난 것으로 판단된다.



[그림 9-3-14] 둔전지구 2호 인공습지 유입수 및 유출수 Chl-a 변화

- 이상과 같이 둔전지구 인공습지에서는 가뭄으로 하여 정수식물이 성장하지 못하고 잡풀의 고사와 분해로 SS와 유기물 농도가 높아진 것으로 판단며, 정수식물이 정상적으로 자랄 수 있도록 유도할 필요가 있다.
- 특히, 갈대 등의 정수식물은 통기조직이 발달하여 뿌리부분에 산소를 공급함으로써 미생물이 유기물을 분해할 수 있는 환경을 조성해주어 정화효율을 향상시키므로 목표로 하는 정수식물이 정착될 수 있도록 관리할 필요가 있다.

9.3.2 침강지 수질개선효과

- 수온은 유입수가 20.1~27.9℃이고 유출수가 20.6~27.3℃로 유출수의 수온이 다소 높은 일반적인 경향을 보였다.
- pH는 유입수와 유출수가 각각 6.8~7.6, 6.5~7.3으로 유출수에서 다소 낮았으며, 농업용수 관리기준인 6.0~8.5를 만족하였다.
- EC는 유입수가 194~243μS/cm, 유출수가 78~278μS/cm로 증가하였으나, 작물생육에 지장이 없는 기준인 700μS/cm 이하를 만족하였다.
- DO는 유입수가 6.9~8.5mg/L, 유출수가 4.1~6.3mg/L로 유출수에서 다소 낮아졌으나, 농업용수 관리기준인 2.0mg/L 이상을 만족하였다.

[표 9-3-4] 둔전저수지 침강지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (℃)	침강지 유입수	23.9	22.9	25.2	27.9		23.7	20.1	23.9	15.2
	침강지 유출수	27.2	25.6	25.5	27.3	26.8	27.0	20.6	25.4	16.1
pH	침강지 유입수		7.4	7.5	7.4		6.8	7.6	7.3	7.9
	침강지 유출수	7.2	7.5	7.3	7.3	6.5	6.6	7.1	6.9	7.9
EC (μS/cm)	침강지 유입수		193	173	194		243	222	220	115
	침강지 유출수	195	211	191	78	278	252	216	206	182
DO (mg/L)	침강지 유입수		6.5	7.3	6.9		7.3	8.5	7.6	10.4
	침강지 유출수	5.9	5.1	4.0	6.3	4.1	4.9	6.2	5.4	10.3
SS (mg/L)	침강지 유입수		3.2	3.5	1.5		0.5	1.4	1.1	24.0
	침강지 유출수	16.9	16.3	16.1	6.7	5.7	9.0	4.9	6.6	46.0
BOD (mg/L)	침강지 유입수	0.85	2.7	2.9	1.6		4.5	2.4	2.8	3.1
	침강지 유출수	2.6	3.9	6.7	2.4	4.2	2.9	4.1	3.4	2.9
COD (mg/L)	침강지 유입수	4.3	3.7	3.9	4.0		3.0	3.4	3.5	9.2
	침강지 유출수	8.7	7.4	12.3	8.6	16.0	8.0	8.4	10.3	9.2
TOC (mg/L)	침강지 유입수	2.2	2.3	2.8	2.6		1.9	2.1	2.2	4.1
	침강지 유출수	5.3	4.7	6.0	5.6	9.6	5.5	5.0	6.4	3.8
T-N (mg/L)	침강지 유입수	3.658	2.930	3.226	2.031		4.384	7.038	4.480	2.811
	침강지 유출수	3.008	1.714	1.538	0.518	0.863	1.392	3.151	1.480	4.179
T-P (mg/L)	침강지 유입수	0.116	0.087	0.083	0.074		0.119	0.120	0.100	0.271
	침강지 유출수	0.116	0.093	0.220	0.099	0.060	0.113	0.118	0.100	0.306
Chl-a (mg/m ³)	침강지 유입수	2.8	4.5	2.2	7.8		0.5	0.7	3.0	2.7
	침강지 유출수	20.6	14.2	11.3	64.3	5.7	9.0	11.0	22.5	18.6

[표 9-3-4] 둔전지구 침강지 수질

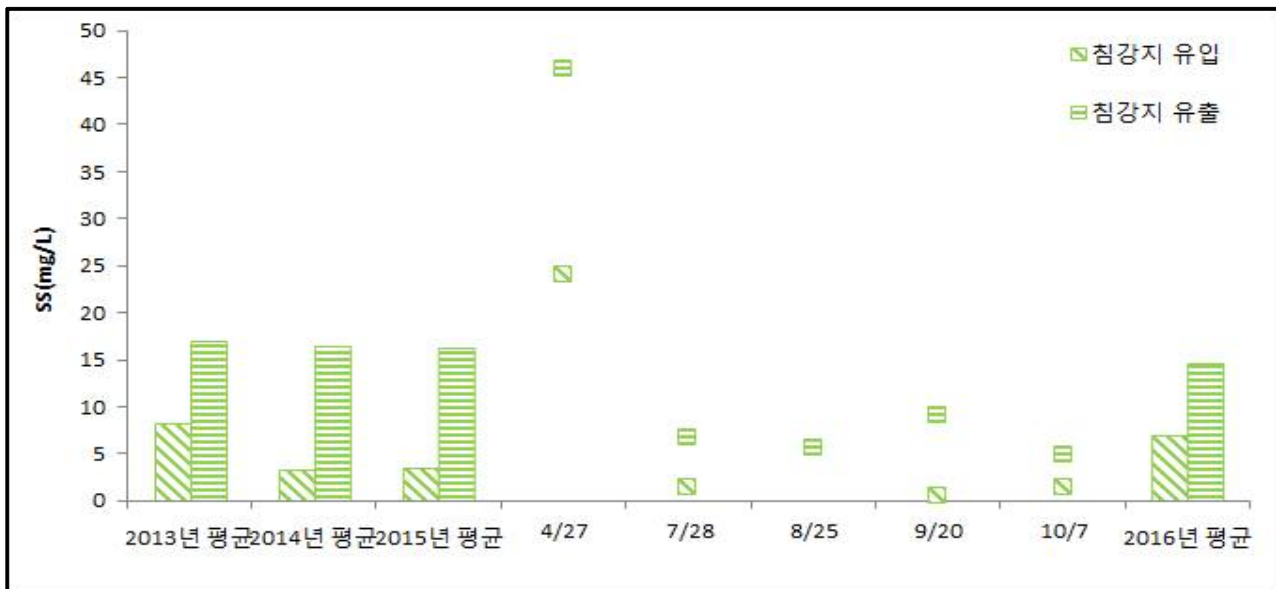
구 분		'13~16년 평균			'13~16년 평상시			'13~16년 강우시		
		평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대
수온 (°C)	침강지 유입수	23.6	15.2	27.9	24.0	18.4	27.9	21.8	15.2	25.3
	침강지 유출수	25.3	16.1	29.2	25.9	20.6	29.2	23.2	16.1	26.9
pH	침강지 유입수	7.6	6.8	9.5	7.6	6.8	9.5	7.6	7.4	7.9
	침강지 유출수	7.3	7.0	8.1	7.2	6.5	8.1	7.4	7.1	7.9
EC (μS/cm)	침강지 유입수	205	139	289	218	139	289	154	115	174
	침강지 유출수	198	116	282	148	78	282	168	129	192
DO (mg/L)	침강지 유입수	7.7	5.6	12.6	7.8	5.6	12.6	7.4	5.9	10.4
	침강지 유출수	5.3	1.1	10.3	5.0	1.1	8.0	6.1	3.6	10.3
SS (mg/L)	침강지 유입수	4.9	0.6	28.7	2.0	0.5	5.2	15.6	3.3	28.7
	침강지 유출수	15.1	1.3	46.0	12.1	1.3	40.3	25.4	5.6	46.0
BOD (mg/L)	침강지 유입수	2.1	0.0	5.9	2.2	0.0	5.9	1.7	0.8	3.1
	침강지 유출수	4.4	1.5	10.0	4.3	1.5	10.0	3.4	2.8	4.2
COD (mg/L)	침강지 유입수	4.2	2.4	9.2	3.8	2.4	6.2	6.2	3.2	9.2
	침강지 유출수	9.4	5.0	16.4	12.6	5.6	44.0	11.5	9.4	14.0
TOC (mg/L)	침강지 유입수	2.3	1.2	4.2	2.1	1.2	3.3	3.3	1.3	4.2
	침강지 유출수	5.4	3.1	9.6	5.5	3.1	9.6	5.1	3.8	7.1
T-N (mg/L)	침강지 유입수	3.540	1.412	7.08	3.439	1.412	7.038	3.919	2.811	5.422
	침강지 유출수	2.116	0.371	4.928	1.848	0.371	3.151	3.051	1.544	4.928
T-P (mg/L)	침강지 유입수	0.106	0.048	0.271	0.086	0.048	0.120	0.178	0.101	0.271
	침강지 유출수	0.149	0.042	0.406	0.120	0.042	0.279	0.250	0.081	0.406
Chl-a (mg/m ³)	침강지 유입수	5.2	0.5	39.4	3.0	0.5	8.0	15.9	3.8	39.4
	침강지 유출수	16.5	3.8	64.3	16.4	3.8	64.3	17.0	8.0	34.6

[표 9-3-5] 둔전지구 침강지 정화효율

구 분		'13~'16년 평균		'13~'16년 평상시		'13~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	침강지 유입수	68.3	26.6	1.0	-992.5	236.7	37.0
	침강지 유출수	50.1		10.5		149.2	
BOD (kg/d)	침강지 유입수	4.9	-51.0	1.0	-135.1	14.7	-36.1
	침강지 유출수	7.5		2.5		20.0	
COD (kg/d)	침강지 유입수	18.4	-36.6	1.4	-192.9	61.1	-27.7
	침강지 유출수	25.2		4.1		78.0	
TOC (kg/d)	침강지 유입수	10.5	-38.9	0.9	-158.6	34.7	-31.5
	침강지 유출수	14.6		2.2		45.6	
T-N (kg/d)	침강지 유입수	13.9	75.7	1.5	50.7	44.8	77.8
	침강지 유출수	3.4		0.7		10.0	
T-P (kg/d)	침강지 유입수	0.03	-69.1	0.0	-58.8	0.0	-302.0
	침강지 유출수	0.05		0.0		0.0	
Chl-a (g/d)	침강지 유입수	12.0	-623.6	1.1	-278.0	39.3	-626.8
	침강지 유출수	86.9		7.4		285.5	

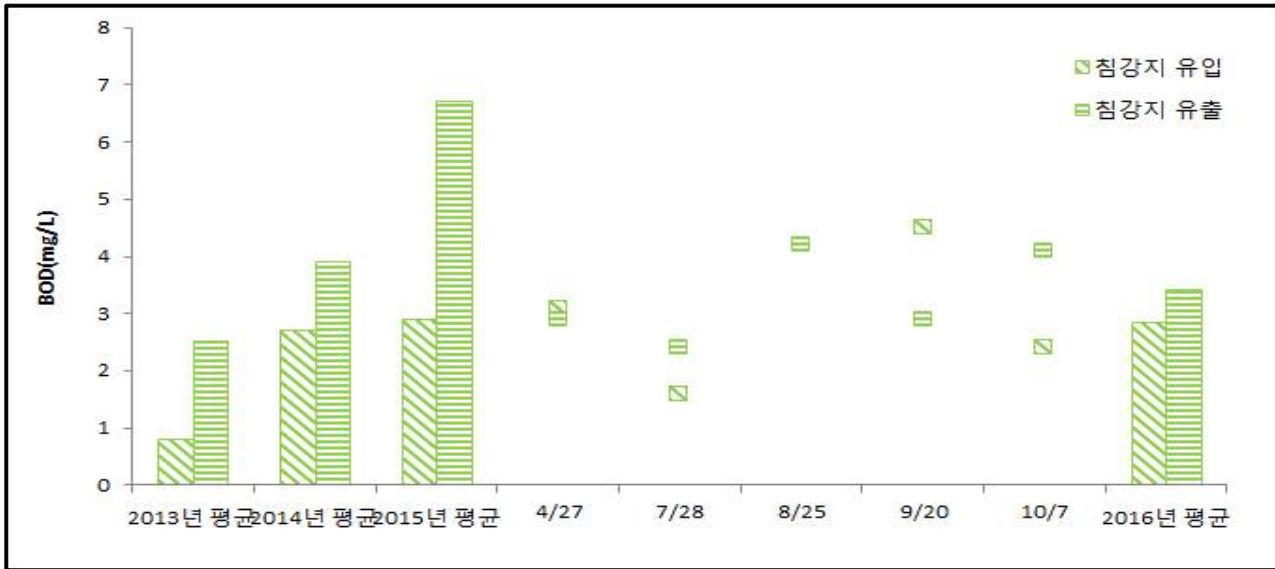
※ 16년 유입유량 미조사로 제외

- SS는 침강지 유입수가 0.5~24.0mg/L, 유출수가 2.0~46.0mg/L로 유출수에서 높게 나타났다. 이는 가뭄으로 인하여 침강지 바닥이 말라있는 상태였고 이후 강우에 의해 퇴적물이 유출되면서 SS농도가 높게 나타났다.



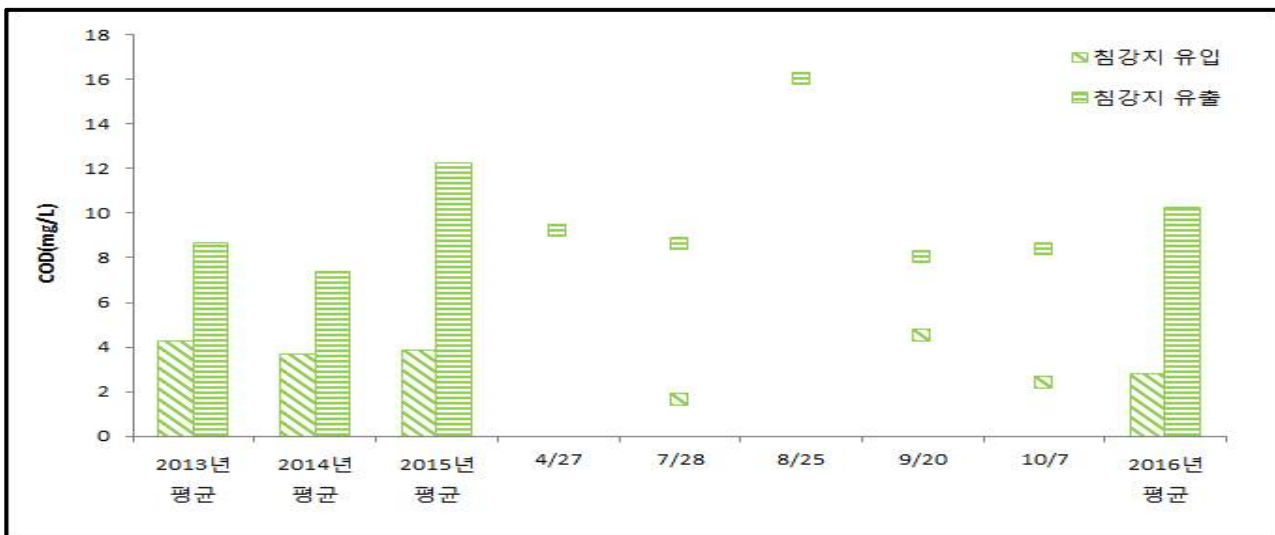
[그림 9-3-15] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수의 SS 변화

- BOD는 침강지 유입수가 1.6~4.5mg/L, 유출수가 2.4~4.8mg/L로 유출수에서 높아졌다. 이와 같이 침강지에서 BOD농도가 높아진 것은 유입량 감소로 인하여 침강지 내 체류시간이 길어져 조류가 대량 성장하고 유출되기 때문인 것으로 판단된다.

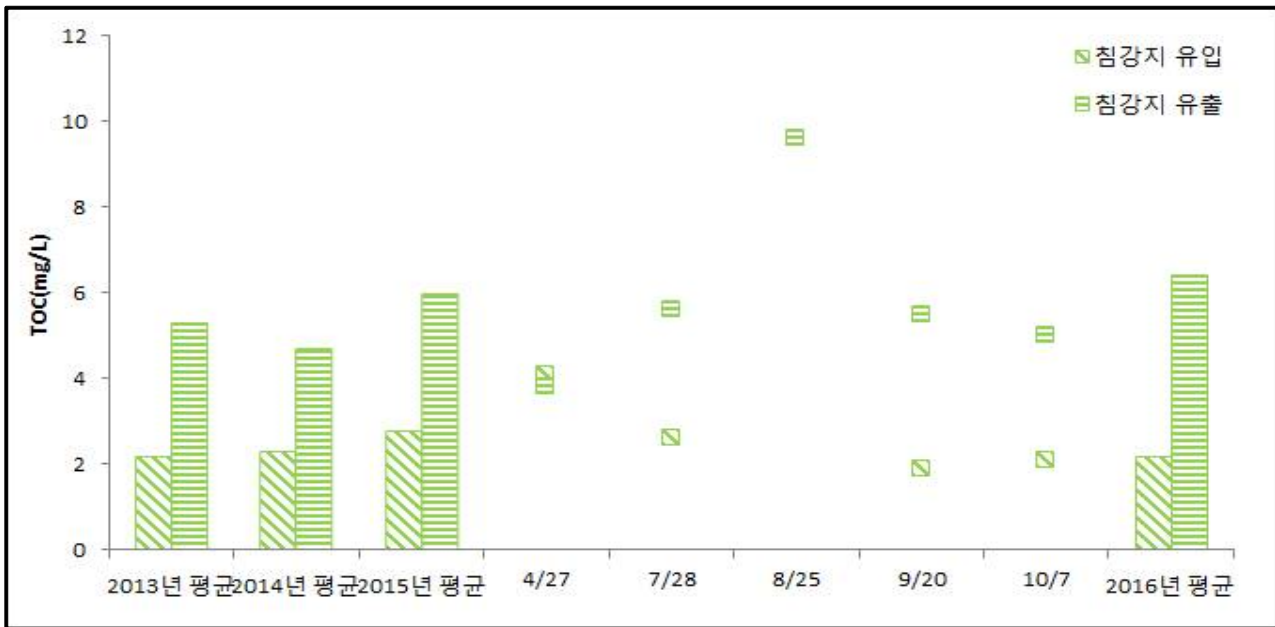


[그림 9-3-16] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수의 BOD 변화

- COD도 유입수가 3.0~9.2mg/L, 유출수가 5.0~16.0mg/L로 유출수에서 높아졌으며, TOC의 경우도 유입수가 1.9~4.1mg/L, 유출수가 3.1~9.6mg/L로 유출수에서 높아졌다. 이는 유입수의 유량감소와 장기정체현상으로 식물플랑크톤이 성장하여 유기물의 농도를 증가시키면서 일어나는 조류의 다량번식 때문인 것으로 판단된다.

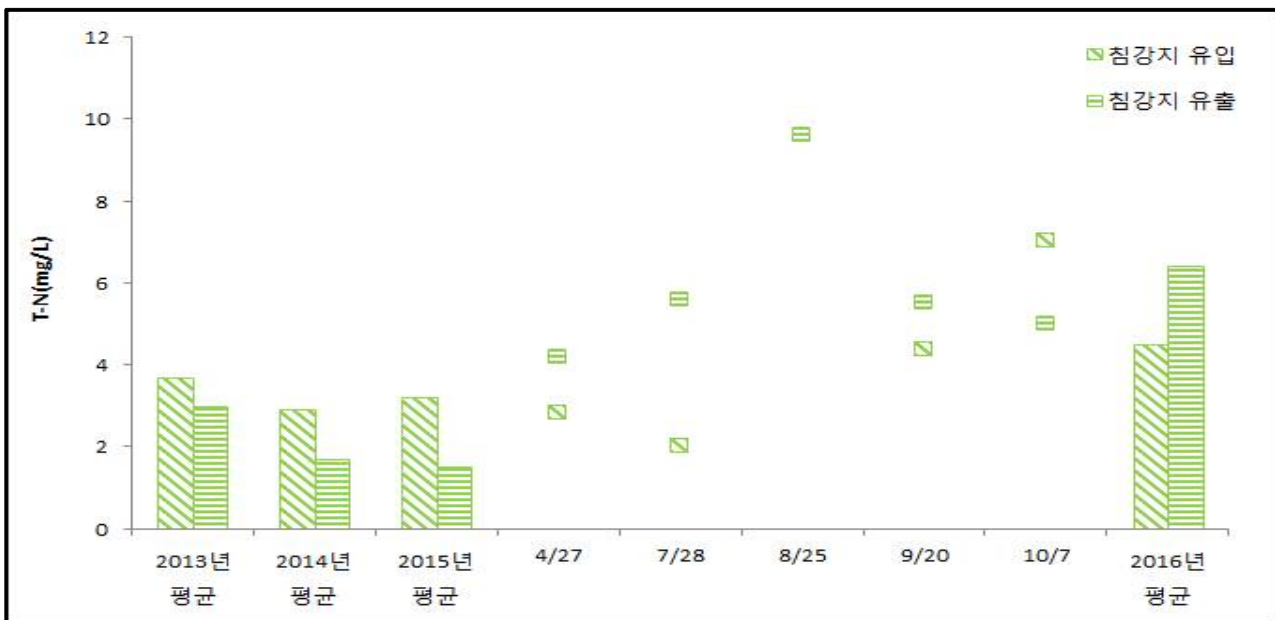


[그림 9-3-17] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수의 COD 변화



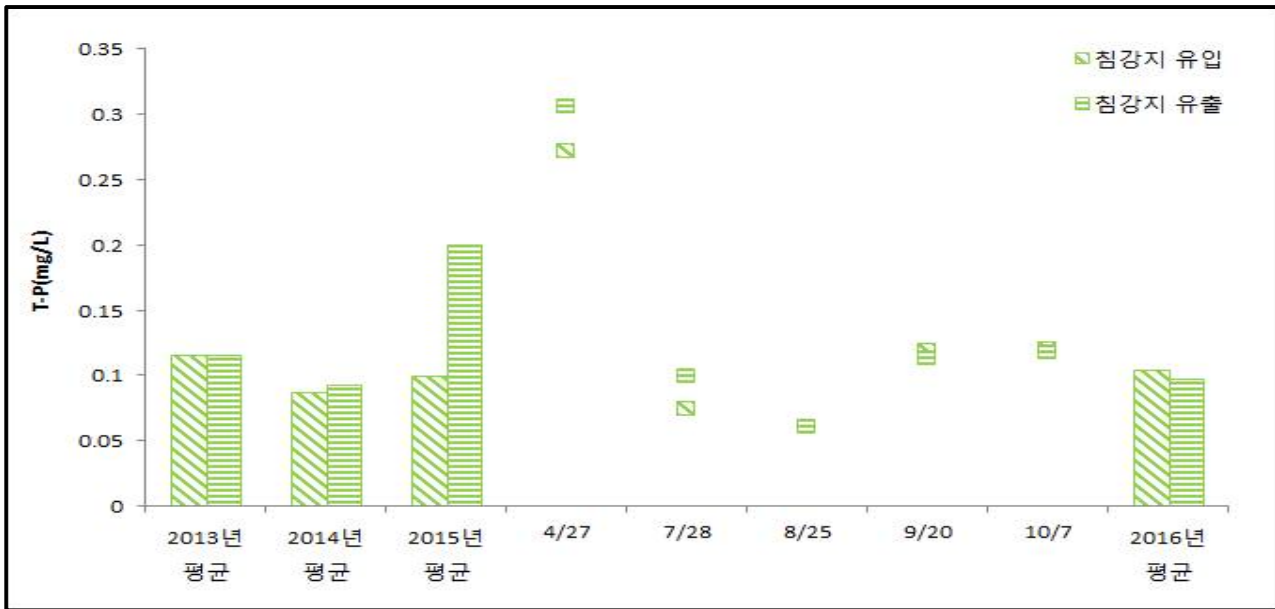
[그림 9-3-18] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수의 TOC 변화

- T-N의 경우 침강지 유입수는 2.031~7.038mg/L였으나 유출수는 0.518~4.179mg/L로 낮아져, 약 30%의 정화효율을 보였다. 연차별로도 2013년, 2014년 및 2015년도 모두 유입수에 비해 유출수에서 농도가 낮아졌다.



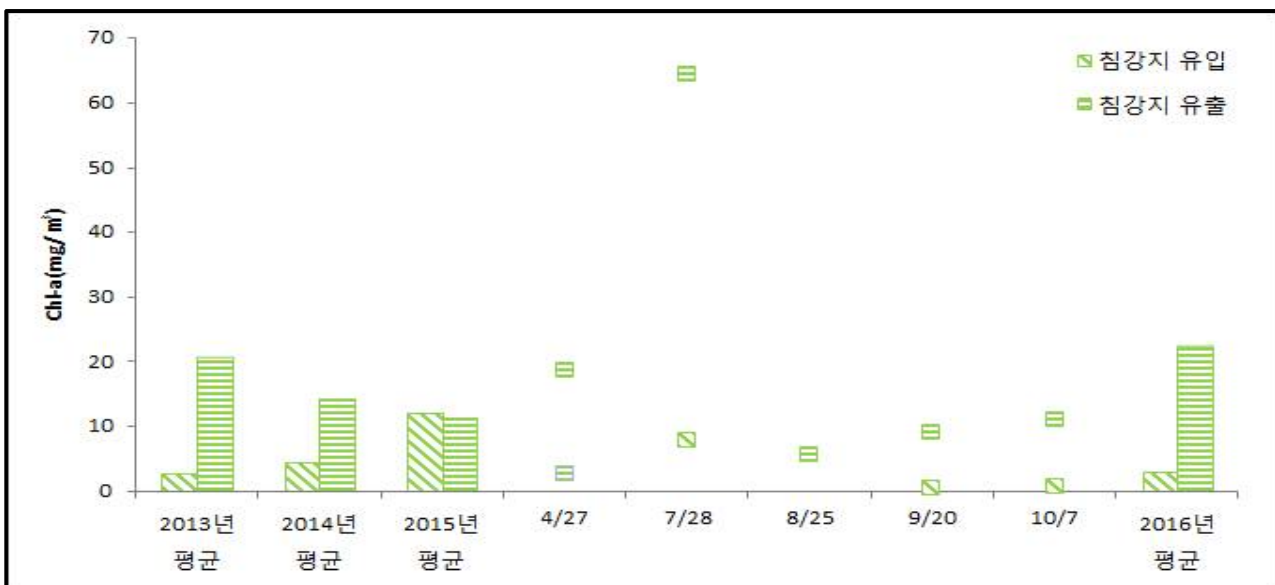
[그림 9-3-19] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수의 T-N 변화

- T-P도 유입수가 0.074~0.271mg/L, 유출수가 0.060~0.306mg/L로 유입수와 유출수의 농도가 비슷하였다. 이는 1차, 2차 조사시기에 가뭄으로 인한 유입량 감소로 인하여 인공습지 내에 퇴적되어 있던 인성분이 유출되면서 수치가 높게 나타났으나 3차, 4차 조사시기의 유입량이 늘어나면서 하반기 조사시 유출수의 T-P 농도가 낮아진 것으로 판단된다.



[그림 9-3-20] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수의 T-P 변화

- Chl-a는 침강지 유입수가 0.5~7.8mg/m³, 유출수가 6.1~18.8mg/m³이며, 둔전지구의 침강지 내에서도 식물플랑크톤이 성장하여 Chl-a가 증가하는 일반적인 경향을 보였다.



[그림 9-3-21] 둔전지구 침강지 유입수 및 유출수의 Chl-a 변화

9.4. 저수지 수질변화 및 개선효과

- 둔전지구 수질정화시설은 운영 4년차이며, BOD발생 부하량이 준공년도인 2012년도에 34.6kg/d에서 2013년도에는 33.8kg/d, 2014년도에는 34.0kg/d, 2015년에는 29.9kg/d로 감소하였고, 2016년에는 28.7kg/d의 수치를 나타내었다. 이에 따라 둔전저수지의 COD는 2014년도에는 8.0mg/L로 낮아졌으나 2015년도에는 8.7mg/L, 2016년도에는 11.9mg/L 로 농업용수 관리기준인 8.0mg/L을 상회하고 있다.
- TOC의 경우 2012년도와 2013년도에는 각각 6.3mg/L, 6.2mg/L로 관리기준인 6.0mg/L를 상회하였고, 2014년도부터 관리기준을 만족하기 시작하였으나, 2016년도에 다시 목표기준을 초과하였다.
- 둔전저수지 유역의 T-N 발생부하량은 준공년도인 2012년도의 33.1kg/d에 비해 2013년도와 2014년도에는 32.8kg/d, 2015년도에는 31.6kg/d로 지속적으로 낮아졌으나, 저수지의 T-N농도는 2012년도에 1.4mg/L, 2013년도에는 1.1mg/L, 2014년도에는 1.5mg/L, 2015년도에는 2.4mg/L, 2016년도에는 0.8mg/L로 크게 개선되었다. 그러나 TN/TP비가 38로 16 이상이기 때문에 T-N은 관리기준을 적용하지 않는다.
- 2016년 1월에서 11월까지 둔전저수지의 평균 저수율은 44.1%로 매우 낮은 저수율을 유지하였다. 이는 극심한 가뭄으로 인한 영향으로 저수지 수질에도 악영향을 주는 요인으로 작용하였다고 판단된다.

[표 9-4-1] 둔전저수지 월별 저수율 현황

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
저수율(%)	13.4	9.9	26.3	53.4	83.7	43.4	85.0	38.0	21.2	55.2	56.4	15.1

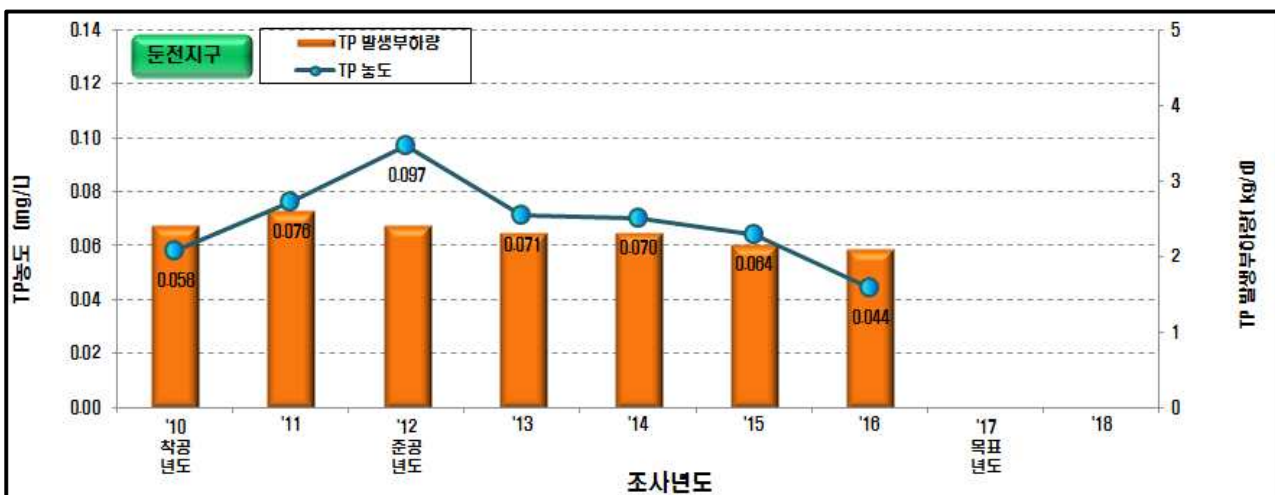


[그림 9-4-1] 둔전저수지 유역의 연도별 BOD 발생부하량 및 둔전저수지 COD, TOC 변화



[그림 9-4-2] 둔전저수지 지역의 연도별 T-N 발생부하량 및 둔전저수지 T-N 변화

- T-P의 경우는 오염부하 발생부하량이 준공년도인 2012년도에 2.4kg/d이고, 2013년도와 2014년도에는 2.3kg/d로 차이가 없었고 2015년에는 2.2kg/d, 2016년도에는 2.1kg/d로 감소했다. 저수지의 T-P농도는 2012년도의 0.097mg/L에서 2013년도에 0.071mg/L, 2014년도에는 0.070mg/L, 2015년도에는 0.064mg/L, 2016년도에는 0.044mg/L로 낮아져 모두 농업용수 관리기준인 0.1 mg/L 이하를 만족하고 있다.



[그림 9-4-3] 둔전저수지 지역의 연도별 T-P 발생부하량 및 둔전저수지 T-P 변화

9.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안

- 시설 유지관리시 고려할 사항으로는 강우시 둔전저수지의 1호 취입보를 세워놓는 경우 옆의 농경지 침수 민원이 발생하므로 취입보 가동시 침수방지를 위해 세심한 주의가 필요하며, 2015년말에 목표식물(갈대)을 재식재 하였어도 극심한 가뭄으로 인하여 그 동안 물이 정상적으로 공급되지 못하여 목표식물(갈대)이 완전히 정착하지 못하고 있으므로 내년에는 세심한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

- 상류대책으로 진도군 의신면 세등리에 진도군에서 추진하는 68m³/일의 소규모 하수처리시설이 조속히 설치될 수 있도록 진도군과 전라남도 등에 적극 요청해야 한다. 이 시설이 설치된다면 둔전저수지 수질개선에 도움이 될 것으로 예상된다.
- 호내대책으로 수생식물(마름)의 적극적인 제어가 필요하다. 마름이 대번성하는 시기에는 저수지 수면의 95% 이상이 마름으로 뒤덮이고 고사시에는 수질에 악영향을 주므로 수질개선을 위하여 향후 마름의 제거가 필요하다.
- 수질개선사업 목표수질 달성이 2017년도이며 수질조사 결과 수질항목 중 COD 항목은 달성하지 못하였으나 T-N과 T-P 항목에서는 목표수질을 달성하였다. 따라서 유역관리 및 상류대책 조속 실시 등의 적극적인 수질관리가 이루어진다면 수질개선 목표를 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

9.6. 결론

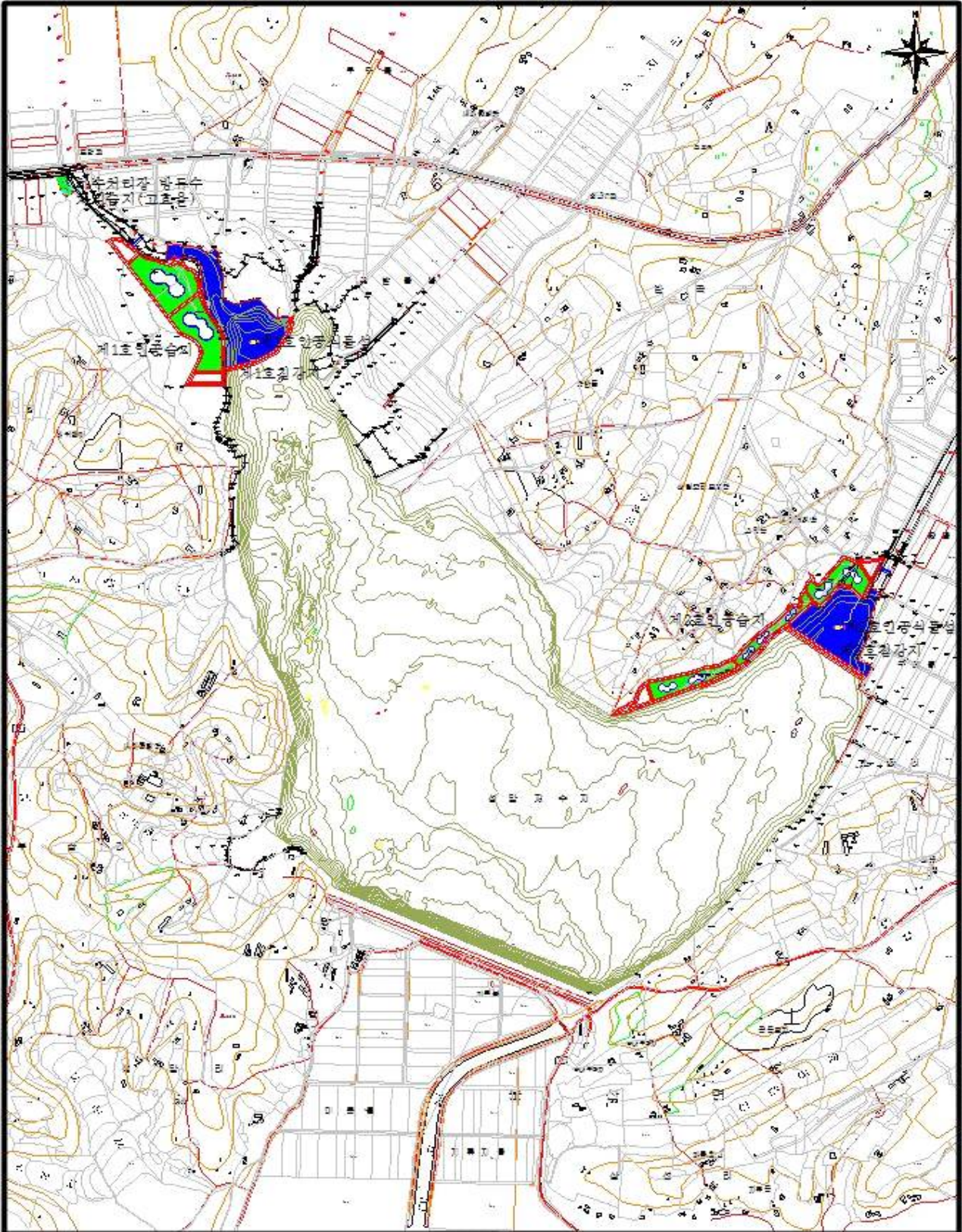
- 본 과제는 둔전지구 농업용수 수질개선사업을 완료 후 지속적으로 유지관리를 실시하고 개선시설의 지속적인 모니터링을 통하여 정화효과를 파악하고 개선방안을 마련하여 향후 설계와 유지관리에 적용하여 수질개선사업의 발전에 이바지 할 수 있을 것이다.
- 둔전지구 수질개선사업은 농촌지역의 수질오염 및 자연환경 특성에 적합한 자연정화기능을 이용한 생태공학적 수질개선공법을 적용하였으며, 주요 공법은 침강지와 인공습지이다. 본 사업의 유역내 오염물질 발생부하량은 사업시행후인 2010년 BOD 305kg/일, T-N 196kg/일, T-P 25.3kg/일로 나타났다. 연도별 BOD 발생부하량은 점차 감소하는 추세에 있으나 극심한 가뭄 등 기상상황이 수질개선에 악영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 둔전저수지의 수질개선 효과를 살펴보기 위하여 최근 6개년의 평균수질을 기준으로 평가하였다. 대부분의 분석항목에서 유출수의 수치가 높게 나타났으며, T-N과 T-P 항목에서는 수질개선이 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 금년도 수질결과와 월별 저수량, 기상상황 등을 종합적으로 분석한 결과 지속적인 유입수량과 인공습지의 정화식물 성장상태에 따라 개선효과가 나타나는 항목들이 눈에 띄며, 인공습지와 침강지 내에 유입수량 확보여부에 따라 유출수의 수질상태가 악화되는 경향을 보인다. 이 결과로 보아 습지 내부로 들어오는 유입수를 평상 유지하는 방안이 마련되어야 하며, 습지 및 정화식물을 통한 안정적인 개선효과를 보기 위해 일정유량 관리 및 수초제거 등의 노력이 필요한 것으로 판단된다.

10. 성암지구



-
- 10.1 지구현황
 - 10.2 기상 및 수질현황
 - 10.3 시설별 수질개선 효과
 - 10.4 저수지 수질변화 및 개선효과
 - 10.5 현장적용성 향상 및 유지관리 방안
 - 10.6 결 론

성암지구 수질개선사업 평면도



10.1. 지구현황

10.1.1 저수지 현황

1) 유역현황

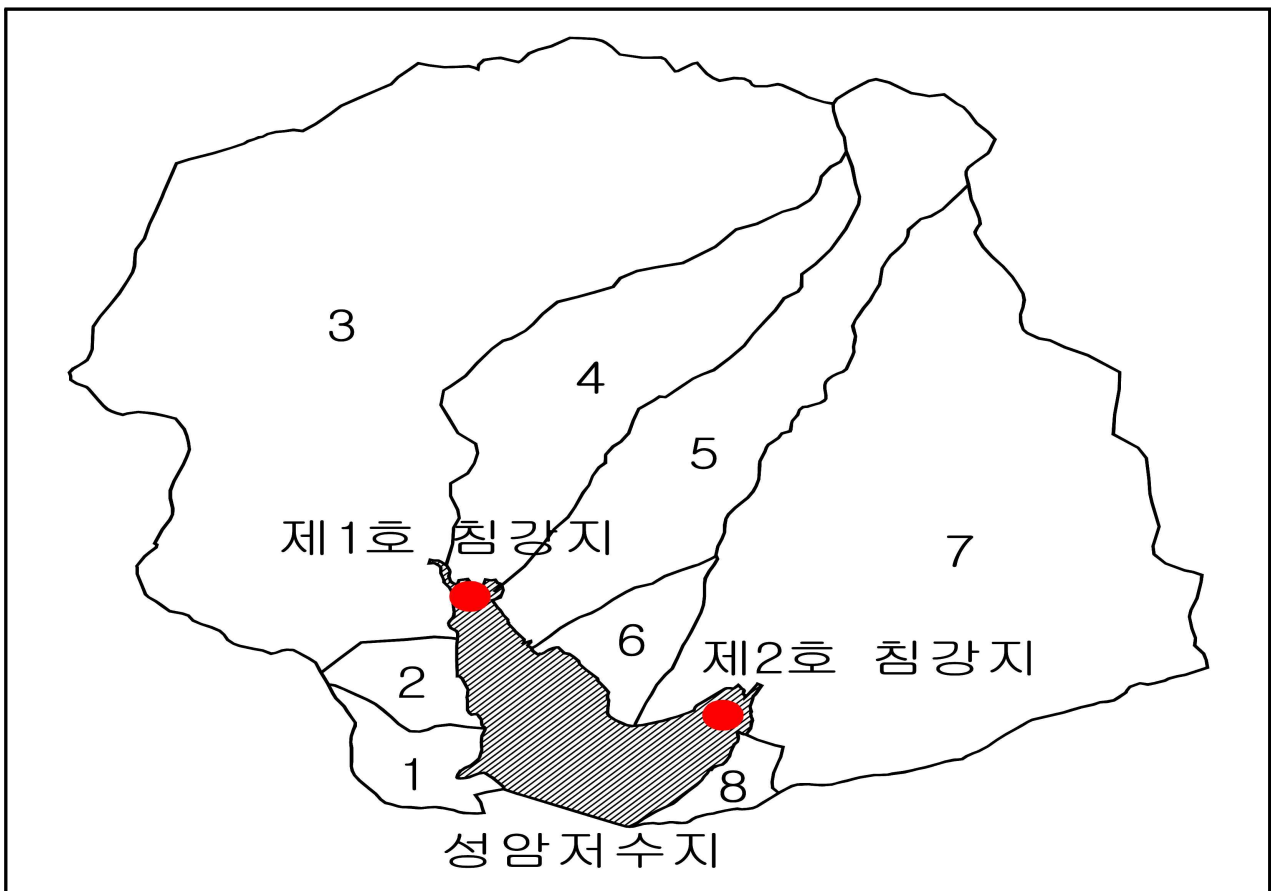
- 성암저수지는 서산시에 위치하여 북으로는 당진군과 동으로는 예산군, 남으로는 홍성군, 서로는 태안군과 경계를 이루며 행정구역상 서산시 음암면 탑곡리와 운산면 가좌리에 속한다.
- 본 지구는 지형적으로 북쪽으로 양대산(175m), 북동쪽으로 은봉산(283m) 및 동쪽으로 동암산(175m) 등 해발 150~300m의 비교적 낮은 산지들로 둘러싸여 있으며, 행정구역상 음암면 도당리, 탑곡리, 운산면 가좌리를 포함하고 있다.
- 성암저수지 유역은 북서쪽 외곽지역은 경사가 급격한 산악지형을 이루고 있으나 그 외의 대부분의 유역이 경사도가 완만한 구릉성 산지로 이루어져 있고 4개의 수계가 발달되어 저수지로 유입되고 있으며, 수계를 중심으로 농경지가 발달되어 있다. 성암저수지 유역내 농경지의 수혜수는 자체 강우외에 대호호에서 용수로로 통해 일부 공급받고 있다.
- 주요 유입하천은 주수계인 지방 2급하천 도당천(4.6km)은 양대산, 은봉산에서 발원하여 도당2리의 비교적 큰 마을과 음암면 소재지를 경유하여 저수지로 유입된다. 은봉산에서 발원하여 탑곡리를 경유하여 저수지에 유입되는 중곡천은 유하길이 2.8km의 농경배수로 형태를 갖추고 있으며, 탑곡리 일원의 농경배수가 그대로 유입되고 있다. 은봉산과 동암산에서 발원하여 가좌리를 경유하는 가좌천은 하천길이 3.6km의 소하천으로 가좌리 일대의 농경배수 및 생활하수가 유입되고 있다.

[표 10-1-1] 성암저수지 경위도상 위치

소재지	단	경도와 위도의 극점			연장거리
		지명	극점		
			동경	북위	
서산시 운산면	동단	운산면 소중리 58-1	126° 32' 39"	36° 47' 21"	동서1.44km 남북1.42km
	서단	음암면 도당리 540	126° 31' 47"	36° 47' 34"	
	남단	운산면 상성리 387-14	126° 32' 18"	36° 46' 57"	
	북단	음암면 도당리 1598	126° 31' 54"	36° 47' 39"	

2) 저수지 현황

- 성암저수지는 1966년에 설치되었으며, 유역면적 1,936ha, 유효저수량 3,074천m³, 수혜 농지 624ha, 만수면적은 104ha를 한국농어촌공사 서산·태안지사가 관리하고 있다.
- 성암저수지 행정리 유역구분은 서산시 음암면 도당리, 탑곡리, 갈산리와 운산면 가좌리, 소중리로 분류되며, 수리수문 분석을 위한 유달울을 고려하여 7개의 소유역으로 구분하였다.
- 도당천, 가좌천, 중곡천은 일부구간을 제외한 대부분이 자연상태의 하천형태를 유지하고 있으며, 특히 하천의 저수지 유입부에는 줄 및 갈대식생대가 아주 잘 발달되어 수질개선에 효과적인 특성을 가지고 있다.
- 저수지 상류대책으로 시설용량 125m³/일 규모로 도산리 마을하수도가 운영되고 있으며, 호내대책으로는 수질정화습지 3개소, 침강지 2개소, 인공식물섬 2개소가 운영되고 있다.
- 주요오염원은 생활계로 총 BOD발생 부하량의 63.6%를 차지하며, 2016년 축산계 오염원인 우사 1,275두가 증가 및 돈사 170두가 증가되었다.



[그림 10-1-1] 성암저수지 유역도

[표 10-1-2] 성암저수지 주요시설 현황

소재지	충청남도 서산시 음암면 성암리	
설치년도	1966년	
유역면적	1,936ha	
유효저수량	3,074천m ³	
수해농지	624ha	
만수면적	104ha	
관리주체	한국농어촌공사(서산태안지사)	

10.1.2 수질개선시설 현황

1) 주요대책

- 상류대책으로 도당리에 음암하수종말처리장에서 음암면 생활하수를 처리하고 있으며, 방류수가 도당천 하류를 통해 저수지로 유입되고 있다.
- 호내대책으로 운영중인 인공습지 2개소(A = 58,615m²), 오염물질 침강지 2개소(A = 36,467m²), 인공식물섬 1개소(A = 1,000m²)가 운영되고 있다.

[표 10-1-3] 성암저수지 수질개선시설 현황

구분	대안	시설	규모	비고
<input type="checkbox"/> 상류대책(서산시 추진)				
1	○하수처리장 방류수 처리 ○부영양화 물질 질소 및 인의 처리	하수처리장	○1개소, ○시설용량 600m ³ /일	
<input type="checkbox"/> 호내대책				
1	○하수처리장 방류수 처리 ○부영양화 물질 질소 및 인의 처리	여과형 고효율습지	○처리용량:600m ³ /일	
2	○강우유출수 및 농경배수처리 ○유기오염물질 및 질소, 인 제거	1호 인공습지	○습지면적: 30,423m ²	
3	○강우유출수 및 농경배수처리 ○유기오염물질 및 질소, 인 제거	2호 인공습지	○습지면적: 28,192m ²	
4	○홍수시 유입되는 침강성 오염 물질 처리	1호 침강지	○면적 : 25,401m ²	
5	○홍수시 유입되는 침강성 오염 물질 처리	2호 침강지	○면적 : 20,166m ²	
6	○침강지녹조발생억제 ○생물서식처 제공 및 경관개선	인공식물섬	○면적 : 1,000m ²	

2) 1호 인공습지

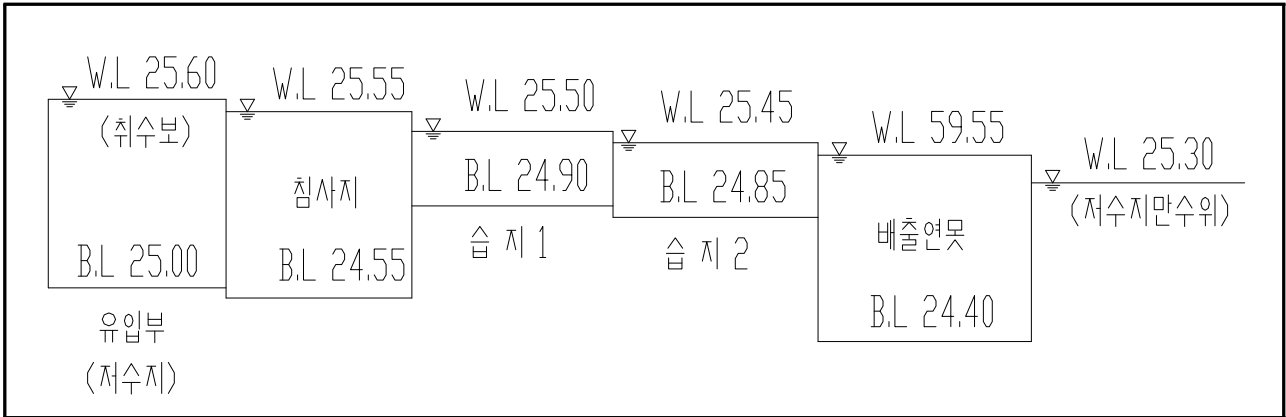
- 유역구분 : 3유역 (CA = 78.68ha)
- 계획유량 : $Q_p = 11,923\text{m}^3/\text{day} = 496\text{m}^3/\text{hr}$
- 체류시간 : HRT = 24hr 내외 기준
- 인공습지 계획수심 : $d = 0.60\text{m}$
- 인공습지 필요면적 : $A_s = (496 \times 24 / 0.60) = 19,840\text{m}^2$
- 성암저수지 유역3의 일30mm미만 유출시 유하하는 유입유량을 정화처리하기 위해 필요한 1호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 $30,423\text{m}^2$ 으로 계획하였다.
- 이중 습지의 면적은 $22,410\text{m}^2$ 으로 계획하였고, 내용적상으로는 $17,104\text{m}^3$ 으로서 유역에서 유출되는 유출량 $496.0\text{m}^3/\text{hr}$ 이 습지에서 평균적으로 $17104/496.0 \approx 34.5$ 시간 정도 체류하도록 계획하였다.

[표 10-1-4] 인공습지 계획유량

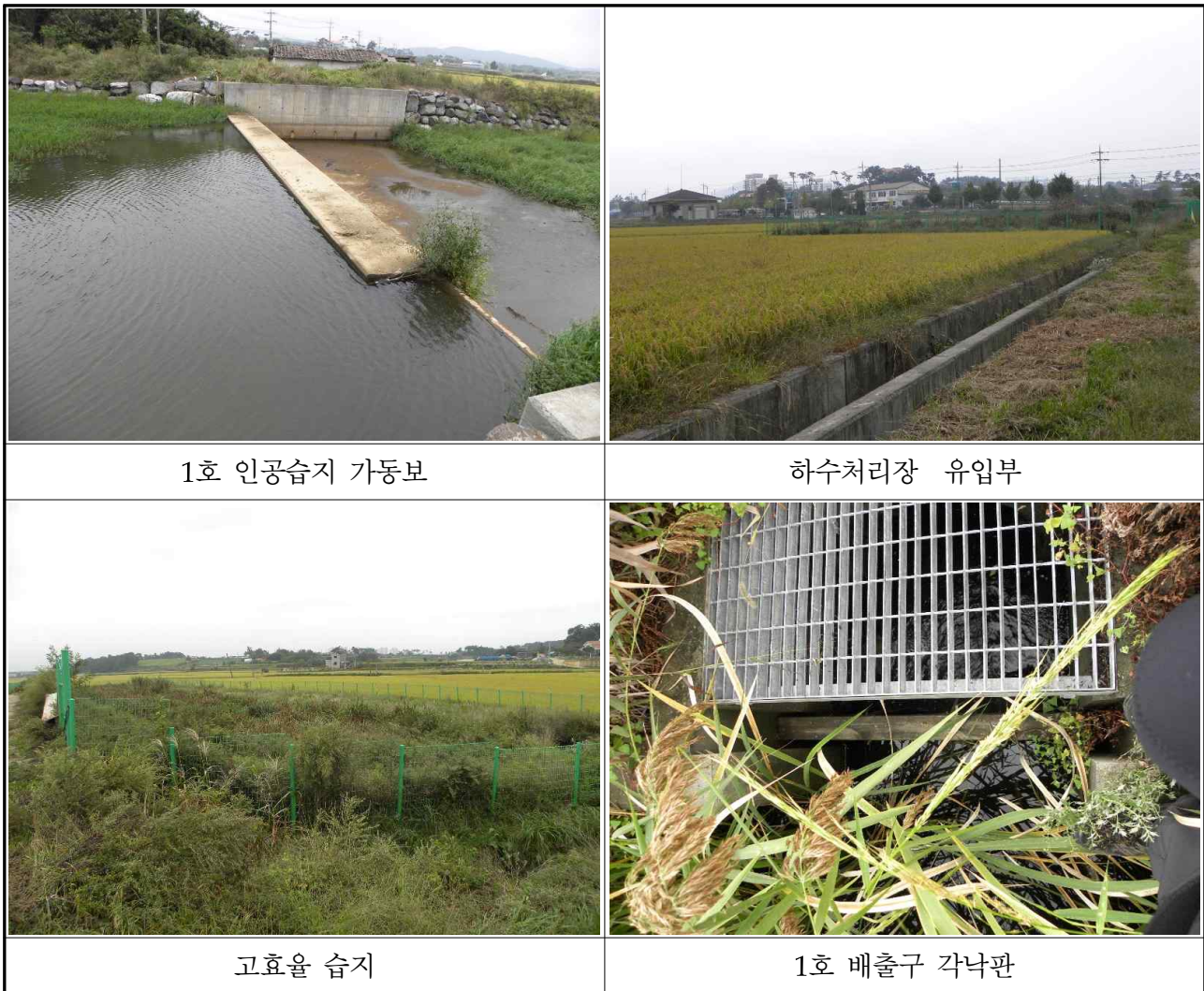
구 분	유역구분	유역면적 (ha)	평균 유입량($\text{m}^3/\text{일}$)			계획수량 ($\text{m}^3/\text{일}$)	비고
			총유입량	일30mm 미만유입량	마을하수도 유입량		
계		1,313.42	22,848	20,862		20,861	
1호인공습지	3	750.21	13,044	11,924	-	11,923	
2호인공습지	7	563.21	9,804	8,938	-	8,938	

[표 10-1-5] 1호 인공습지 제원

구 분	규모	계획면적 (m^2)	계획수심 (m)	내용적 (m^3)	비 고	
1호 인공 습지	침사지	1개소	1,012	1.00	1,012	
	인공습지	2개소	15,577	0.60	9,346	
	연못습지	2개소	4,625	0.60	5,550	
	배출연못	1개소	1,196	1.00	1,196	
	관리도로 및 기타		8,013	-	-	
합 계		30,423		17,104		



[그림 10-1-2] 1호 인공습지 수리계통도



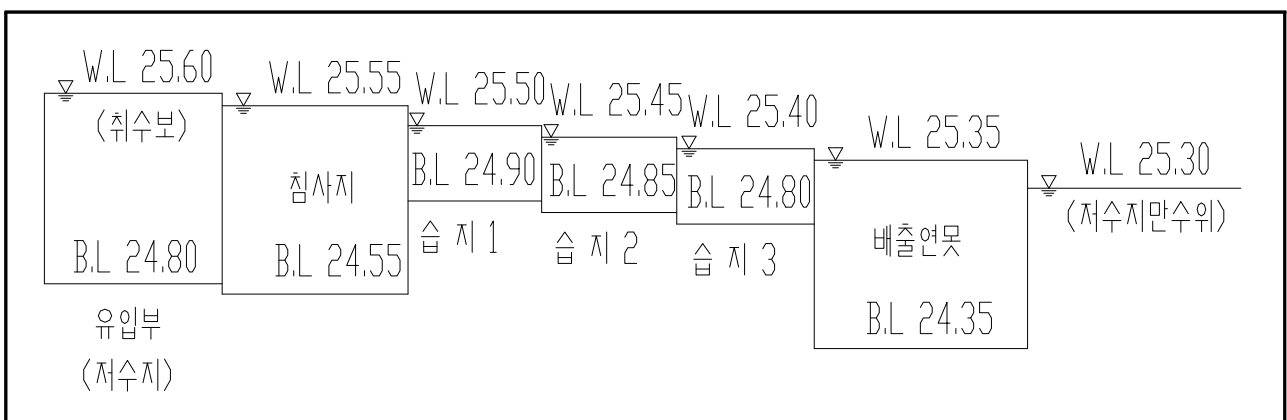
[그림 10-1-3] 1호 인공습지 시설현황

2) 2호 인공습지

- 유역구분 : 7유역 (CA=563.21ha)
- 계획유량 : $Q_p = 8,938\text{m}^3/\text{day} = 372.0\text{m}^3/\text{hr}$
- 체류시간 : HRT = 24hr 내외 기준
- 인공습지 계획수심 : $d = 0.60\text{m}$
- 인공습지 필요면적 : $A_s = (372.0 \times 24 / 0.60) = 14,880\text{m}^2$
- 성암저수지 유역7의 일30mm미만 유출시 유하하는 유입유량을 정화처리하기 위해 필요한 2호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 28,192 m^2 으로 계획하였다.
- 이중 습지의 면적은 16,514 m^2 으로 계획하였고, 내용적상으로는 12,324 m^3 으로서 유역에서 유출되는 유출량 372.0 m^3/hr 이 습지에서 평균적으로 12,324/372.0=약 33.1시간 정도 체류하도록 계획하였다.

[표 10-1-6] 2호 인공습지 제원

구 분		규모	계획면적 (m^2)	계획수심 (m)	내용적 (m^3)	비 고
2호 인공 습지	침사지	1개소	746	1.00	746	
	인공습지	3개소	11,975	0.60	7,185	
	연못습지	3개소	3,002	1.20	3,602	
	배출연못	1개소	791	1.00	796	
	관리도로 및 기타		11,678	-	-	
합 계			28,192		12,324	



[그림 10-1-4] 2호 인공습지 수리계통도



[그림 10-1-5] 2호 인공습지 시설현황

3) 고효율습지

- 본 사업지역에 적용된 NPS 수질정화재는 무수히 많은 공극이 존재하여 비표면적이 많으며 15~30으로 적당한 양이온 치환능력(CEC)을 보유하여 식물생육을 더욱 촉진시켜 미생물의 생육이 활발하게 하여 영양물질을 흡착시키며 서서히 식물이 이용할 수 있게 한다.
- 30%에 불과한 모래의 공극율과 비교할 때 본 여재는 55%~60%의 공극율을 지니고 있어서 좁은 면적에서 많은 유량을 처리할 수 있다.

- 자유흐름형 인공습지와 지하흐름형 인공습지의 장점을 동시에 만족할 수 있도록 호기조건과 혐기조건을 동시에 가지고 있는 하향류 흐름을 지니고 있다.
- 하향류 흐름을 원활하게 하기 위하여 수두손실을 고려한 계단형으로 설계하여 처리 효율이 보장되는 한 많은 유량을 처리할 수 있으며 유량증가에 따른 월류를 방지할 수 있다.



[그림 10-1-6] 3호 고효율인공습지 평면도

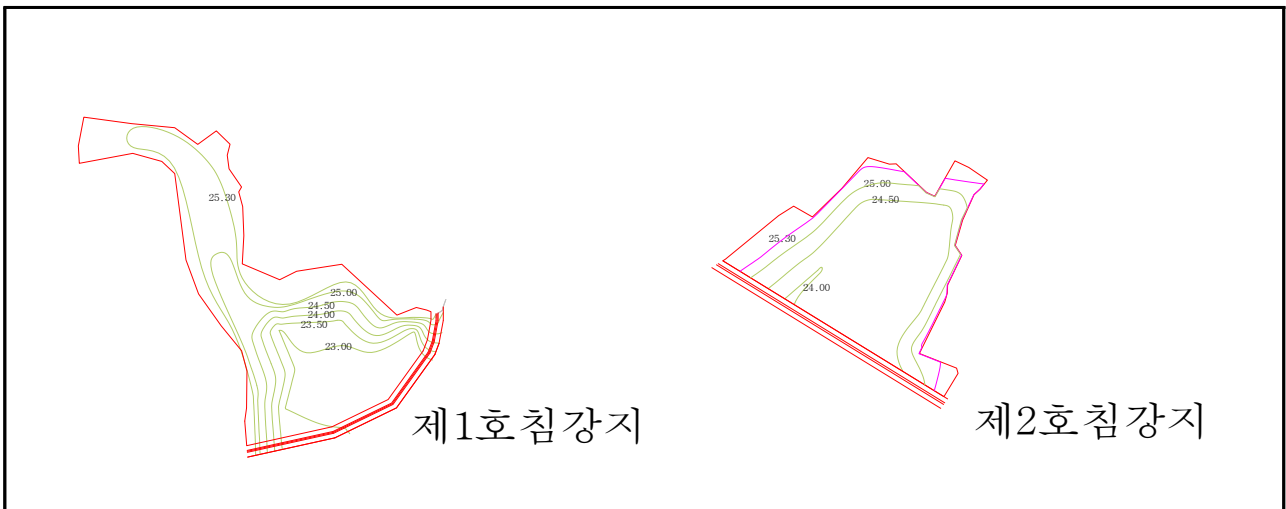
3) 침강지

- 침강지 위치는 유역 중 오염물질 유입이 가장 많은 성암저수지 3, 7유역(전체 직접 유역 유입량의 68.0%)의 하천 말단부 저수지내에 계획하였다.

[표 10-1-7] 1호, 2호 침강지 제원

구 분		저수지 전체	1호 침강지	2호 침강지	비 고
수표면적(m ²)	계획면적	1,041,600	25,401	20,166	
	필요면적	-	20,572	15,895	
시행후내용적(C,m ³)		3,189,055	53,034	45,486	저수지 : EL.25.30m 침강지 : EL.24.30m
년평균유입량(L,m ³ /년)		11,773,450	4,760,960	3,578,300	

- 침강지의 계획시 가장 중요한 체류시간, 부유물질의 침강속도 등을 살펴보면 강우시 유입하천수의 퇴적속도 실험결과 2시간 이내에 대부분의 입자성 물질이 침강되는 것으로 나타났으며, 문헌(환경공학, George Tchobanogious & Edward. D. Schroeder 공저, 1985년)에 의하면 강우유출수에 포함된 입자성물질이 d=0.02mm 정도의 clay질로 볼 때, 침전속도는 $8.72 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ 로 보고 있다.
- 침강지의 평균수심을 2.5m로 볼 때, 필요한 침강속도는 약 8시간 정도 필요한 것으로 나타났다.
- 따라서 본 지구의 침강지 규모는 유역의 유출량(일평균 30mm초과 유출시 침강지 유입량)에 대하여 체류시간을 약 12시간 이상 확보할 수 있도록 계획하였다.



[그림 10-1-7] 1호 및 2호 침강지 평면도



[그림 10-1-8] 1호 및 2호 침강지 및 인공식물섬 시설현황



[그림 10-1-9] 하수종말처리장 전경 및 고효율습지 노랑꽃창포 현황

10.2. 기상 및 수질환경

10.2.1 기상현황

1) 기온

- 성암저수지 유역과 가장 가까운 서산기상대에서 측정된 최근의 평균, 최고, 최저 기온과 최근 30년간 평년 기온을 표로 나타내었다. 성암지구의 사업시행 전인 2009년도에 11월까지 평균기온은 13.4℃로써 평년도의 11월까지 평균인 12.9℃보다 다소 높았다.
- 준공연도 이후 2014년도에는 기온이 계속 높아져 11월까지 평균 13.6℃로 높은 값을 보였으며, 2016년도에도 극심한 가뭄 등으로 기온이 평균 13.9℃로 평년에 비해 다소 높은 값을 보였다.

[표 10-2-1] 성암저수지 유역 사업시행 전후 월별 기온 분포

[단위 : °C]

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
2009년 (시행전)	평균	-1.5	2.6	5.6	10.9	17.3	20.9	23.2	24.6	20.5	15.1	7.9	13.4
2010년 (시행중)	평균	-2.7	1.1	4.3	8.4	15.2	21.0	24.4	25.7	21.3	13.7	7.0	12.7
2011년 (시행중)	평균	-5.2	0.8	3.5	9.5	16.5	20.3	24.1	24.5	20.4	13.0	11.2	12.6
2012년 (준공)	평균	-2.4	-2.0	3.7	10.3	17.8	22.5	24.9	26.2	19.8	13.9	6.0	12.8
2013년 (시행후)	평균	-2.8	-0.9	3.8	8.6	16.3	22.2	25.1	26.6	20.7	14.8	6.3	12.8
2014년 (시행후)	평균	-0.8	1.5	6.4	12.2	16.9	21.9	24.5	23.6	20.6	14.4	8.2	13.6
2015년 (시행후)	평균	-0.4	1	4.9	11.9	16.8	21.3	24.1	24.9	20.7	14.8	9.5	13.6
2016년 (시행후)	평균	-1.7	0.6	5.9	12.5	17.9	21.9	25.2	26.4	21.7	15.3	7.2	13.9
평년값		-2.0	-0.2	4.6	10.9	16.4	21.1	24.3	25.1	20.4	14.0	7.0	12.9

2) 강수량

- 서산기상대의 평년의 11월까지 강수량은 1,255.3.0mm인데, 사업시행 전인 2009년도에는 11월까지 1,030.0 mm로 평년도보다 적었다. 준공년도인 2012년도에는 1,577.2mm로

평년도 및 2009년도보다 강우가 많았다. 그러나 2013년부터는 줄어들어 2013년도에 11월까지 강수량이 989.9mm이고, 2014년도 918.5mm, 2015년도 751.5mm, 2016년도 859.4mm로 더욱 적었다. 이와 같이 성암지구는 4년 연속 평년값보다 적은 강수량을 보였다. 따라서 기온은 높고, 강수량은 적어 저수지의 수질이 악화될 수 있는 환경이었다.

[표 10-2-2] 성암저수지 유역 사업시행 전후 월별 강수량 분포 [단위 : mm]

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	합계
2009년 (시행전)	15.2	26.5	67.0	43.0	117.9	74.9	364.9	196.3	16.0	49.2	59.1	1,030.0
2010년 (시행중)	55.5	58.4	79.2	52.2	168.0	94.9	447.1	707.0	402.0	29.1	12.0	2,105.4
2011년 (시행중)	8.8	55.8	34.5	96.2	107.9	462.6	656.5	151.2	50.3	18.1	48.9	1,690.8
2012년 (준공)	15.1	2.4	41.6	113.5	14.5	91.1	266.8	647.9	201.5	100.7	82.1	1,577.2
2013년 (시행후)	36.8	65.7	60.8	61.8	114.9	94.4	213.8	120.6	147.4	7.7	66.0	989.9
2014년 (시행후)	7.0	17.0	31.2	85.6	52.7	69.3	151.7	242.3	106.7	117.2	37.8	918.5
2015년 (시행후)	20.7	23.1	20.6	116.8	40.6	64.1	158.5	63.1	15.1	74.2	154.7	751.5
2016년 (시행후)	21.9	61.7	24.3	87.0	153.7	36.8	295.6	34.0	53.1	73.8	17.5	859.4
평년값	28.1	28.5	46.9	68.9	88.2	137.5	268.7	297.1	138.4	53.4	57.2	1,212.9

10.2.2 수질현황

1) 목표수질 설정

- 성암저수지의 목표수질은 농업용수 권장기준인 IV등급 이하로 COD 8.0mg/L, T-N 1.0mg/L, T-P 0.1mg/L이다. 2017년도 예측수질은 COD 8.0mg/L, T-N 0.660mg/L, T-P 0.059mg/L이었다. 금년도 수질은 COD 8.9mg/L, TOC 4.7mg/L, T-N 1.778mg/L, T-P 0.058mg/L으로 농업용수 권장기준을 만족하고 있다.
- COD 1.1%, T-N - 8.3%, T-P 1.7%의 수질개선 효과를 나타내고 있다.

[표 10-2-3] 성암저수지 목표수질

구 분	목표수질	'07 기본계획(A)	'17 예측수질	'16년 (B)	수질개선 효과(%)
					(A-B)/A
COD(mg/L)	8.0	9.0	8.0	8.9	1.1
TOC(mg/L)	-	-	-	4.7	
T-N (mg/L)	1.0	1.641	0.660	1.778	-8.3
T-P (mg/L)	0.1	0.059	0.059	0.058	1.7
수질등급	IV등급	VI등급	IV등급	IV등급	
유해물질	사람의 건강보호에 관한 환경기준 만족				

2) 오염원 현황

- 유역 내 인구수는 사업시행 전인 2009년 4,903명이었으며, 그 이후 2011년부터 4,000명에 조금 못 미치는 수준으로 줄어들고 큰 변화없이 인구가 유지되었고, 2016년도에는 4,612명이었다.

[표 10-2-4] 성암저수지 유역내 인구변화 추이

구 분	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
인구(명)	4,903	3,979	3,968	3,960	3,979	3,961	4,612

[표 10-2-5] 성암저수지 유역내 연도별 축산변화

구 분	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
한우 (두)	436	1,305	1,092	978	875	902	1,275
젓소 (두)	68	47	53	66	3	61	60
돼지 (두)	775	42	43	38	-	-	170

- 축산두수는 한우가 2009년 436두였으나 2011년에 1,305두가 되었고, 준공년도인 2014년도에는 1,092두로 늘어났다. 그러나 그 이후 감소되어 2013년도에는 978두, 2014년도에는 875두로 감소되었으나, 2016년에는 1,275두로 사업시행 전에 비해서는 증가되었다. 젓소의 경우는 2009년도에 68두, 그 이후 증감을 반복하다가 2016년도에는 60두로 사업시행전과 비슷한 수준이었다. 돼지의 경우는 2009년도에 775두였으며 이후 점차로 줄어들어 2014년, 2015년 돈사사육시설은 없어졌으나 2016년에는 170두로 다시 증가하였다.

- 유역면적은 1,936ha로 그 중 논과 밭이 각각 35.3%, 27.4%를 차지하여 임야와 기타가 각각 18.1%, 19.2%를 차지한 것에 비해 더 많은 부분을 차지하고 있었다. 논과 밭의 면적의 합은 전체 유역 면적의 62.7%를 차지하고 있어 강우시 경작지로부터 높은 농도의 비점오염물질이 저수지로 유입될 수 있다.

[표 10-2-6] 성암저수지 유역내 지목별 토지이용현황

구 분	2010년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
계	1,936	1,936	1,936	1,936	1,936	1,936
전(ha)	530	530	530	530	530	530
답(ha)	684	684	684	684	684	684
임야(ha)	351	351	351	351	351	351
기타(ha)	371	371	371	371	371	371

3) 오염부하량

- 저수지의 유역내 오염물질 발생부하량은 대부분이 점오염원으로 BOD 발생부하량 기준 91%를 차지하고 있다.

[표 10-2-7] 2016년 성암저수지 유역내 발생부하량

구 분	점 오염 원						비점오염원					계	
	생활계 (인)	축산계(두)			산업계 (m ³ /일)	소계	토지현황(ha)				소계		
		한우	젓소	돼지			전	답	임야	기타			
원수	4,612	1,275	60	170	5		530	684	351	371			
발 생 부 하 량	BOD	226.0	85.4	7.0	5.4	0.0	323.8	8.5	15.7	3.5	3.7	31.4	355.2
		63.6%	24.0%	2.0%	1.5%	0.0%	91.2%	2.4%	4.4%	1.0%	1.0%	8.8%	100%
	T-N	60.9	51.0	3.8	2.5	0.0	118.2	50	44.9	7.7	0.2	102.8	221.0
		27.6%	23.1%	1.7%	1.1%	0.0%	53.5%	22.6%	20.3%	3.5%	0.1%	46.5%	100%
T-P	6.9	4.5	0.6	0.6	0.0	12.6	1.3	4.2	0.5	0.1	6.1	18.7	
	36.9%	24.1%	3.2%	3.2%	0.0%	67.4%	7.0%	22.5%	2.7%	0.5%	32.6%	100%	

- 점오염원중 대부분은 생활계 63.6%, 축산계로 27.5%가 그 뒤를 잇고 있다. 비점오염원은 대부분 담 4.4%전로 2.4%를 차지하며, 그 뒤로 임야 순이다.
- 연도별 오염물질 발생량은 시설 운영 전인 2009년도 BOD 334.0kg/일, T-N 201.0kg/일, T-P 18.0kg/일, 2014년도 BOD 285.4kg/일, T-N 190.6kg/일, T-P 15.1kg/일으로 최저값을 보였으며, 2016년도에 BOD 355.3kg/일, T-N 221.1kg/일, T-P 18.6kg/일로 다소 높은 발생하량을 나타내고 있다. 이는 유역 내 우사 및 돈사 축산증가 증가에 따른 것으로 판단된다.

[표 10-2-8] 성암저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량

구 분	연도별 발생부하량(kg/d)						
	2009년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
BOD	334.0	320.6	306.5	299.9	285.4	293.1	355.3
T-N	201.0	211.1	202.9	199	190.6	195.1	221.1
T-P	18.0	17.3	16.5	16.2	15.1	15.8	18.6

3) 수질현황

- 성암저수지 수질현황은 준공년도인 2012년도 COD 6.4mg/L, T-N 2.230mg/L, T-P 0.061mg/L이었다. 2014년도는 COD, TOC가 최고 높았으며 이후 충남관내 최근 3년간 가뭄 등 기후변화로 인공습지 및 침강지의 정상 운영이 불가능하였다.
- 2016년도에는 COD 8.9mg/L, TOC 4.7mg/L, T-N 1.778mg/L, T-P 0.058mg/L 으로 목표수질을 상회하고 있다.

[표 10-2-9] 성암저수지 수질현황

구 분	5개년 평균	'07년 (착공시)	수질 변화(mg/L)						목표년도 ('17년)	목표수질
			'11	'12	'13	'14	'15	'16		
COD	8.3	9.0	5.7	6.4	7.6	9.8	8.6	8.9	8.0	8.0이하
TOC	4.5	-	2.9	3.6	4.5	5.3	4.3	4.7	-	6.0이하
T-N	1.815	1.641	2.446	2.230	2.225	1.505	1.337	1.778	1.00	1.0이하
T-P	0.074	0.059	0.083	0.061	0.085	0.103	0.064	0.058	0.10	0.1이하

10.3. 시설별 수질개선 효과

- 수질조사 지점은 하흐름형 습지인 고효율습지의 ① 유입부와 ② 유출부, 지표흐름형 습지인 ③ 1호 침강지 및 인공습지 유입부, ④ 1호 인공습지 유출부, ⑤ 1호 침강지 유출부, ⑥ 2호 침강지 및 인공습지 유입부, ⑦ 2호 인공습지 유출부 및 ⑧ 2호 침강지 유출부 등 총 8지점에서 조사하였다.

[표 10-3-1] 성암저수지 수질조사시기

구 분	조사횟수	조사일자				
		1차	2차	3차	4차	강우시
수질조사	5회	2016.05.23	2016.08.25	2016.09.27	2016.10.19	2016.07.12 1일(53mm) 4일(20mm) 5일(20mm)



[그림 10-3-1] 성암지구 수질조사 지점

10.3.1 인공습지 수질개선효과

- 인공습지 및 고효율습지의 유입수 수온은 유입수가 22.4℃인데, 유출수는 21.8℃로 큰 차이가 없었다. 1호 지표흐름 인공습지(이하 인공습지)는 유입수가 24.6℃인데, 유출수가 23.3℃, 2호 인공습지는 유입수가 21.1℃인데, 유출수는 21.8℃로 나타났다.
- pH는 고효율습지 유입수가 6.1이고 유출수도 6.3로 차이가 없었다. 1호 인공습지는 유입수가 6.7이고 유출수는 6.6이며, 2호 인공습지는 유입수가 7.0이고 유출수는 6.3으로 큰 차이가 없었다.
- EC는 고효율습지 유입수가 539 μ S/cm이고 유출수가 548 μ S/cm로 유사하였다. 1호 인공습지는 유입수가 1,570 μ S/cm이고 유출수가 1,507 μ S/cm, 2호 인공습지 유입수는 205 μ S/cm이고 유출수가 170 μ S/cm로 조사되었다. 고효율습지는 인근 하수처리수 방류수를 정화할 목적으로 조성된 습지로서 조사기간 동안 500 μ S/cm 내외로 거의 일정한 값을 보였으며, 1호 습지에서는 연중 변동이 매우 커 가장 높은 때는 2,385 μ S/cm 까지 높아졌다. 2호 습지에서는 강우시와 평상시에 상관없이 연중 200 μ S/cm 내외로 낮은 값을 보였다.
- DO는 고효율습지 유입수가 6.0mg/L, 유출수는 3.8mg/L로 다소 낮아졌다. 1호 습지에서는 유입수가 5.2mg/L, 유출수는 2.5mg/L이며, 2호 인공습지의 유입수는 6.3mg/L, 유출수는 3.1mg/L이다. 이와 같이 대부분 유입수에 비해 유출수에서 낮아지는 경향을 보였는데, 이는 습지를 지나는 동안 미생물이 오염물질을 분해하면서 용존 산소를 소비하기 때문이다. 그러나 모두 농업용수 권장기준인 2.0mg/L 이상을 유지하고 있었다.

[표 10-3-2] 성암저수지 지하흐름습지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차 (05.23)	2차 (08.25)	3차 (09.27)	4차 (10.19)	평균	강우 (07.12)
수온 (℃)	유입수	22.6	22.7	22.9	21.7	28.6	25.2	22.9	24.6	25.8
	유출수	22.0	22.1	22.3	21.8	28.4	22.9	20.0	23.3	27.6
pH	유입수	7.1	7.7	7.5	6.4	6.4	5.7	6.0	6.1	6.2
	유출수	7.5	7.5	7.3	6.4	6.6	5.8	6.4	6.3	7.7
EC (μS/cm)	유입수	517	461	422	509	755	438	454	539	515
	유출수	504	435	392	572	736	430	454	548	515
DO (mg/L)	유입수	6.5	6.3	6.9	6.4	5.8	5.4	6.2	6.0	6.09
	유출수	6.5	4.2	4.8	3.6	2.4	2.5	6.5	3.8	7.51
SS (mg/L)	유입수	6.2	13.3	17.7	4.6	1.9	8.0	3.0	4.4	8.7
	유출수	9.3	5.3	6.4	2.4	26.8	8.0	13.0	12.6	1.5
BOD (mg/L)	유입수	3.3	3.3	3.1	8.0	0.8	1.2	1.1	2.8	2.4
	유출수	3.2	1.7	1.3	2.2	1.5	1.1	0.8	1.4	2.9
COD (mg/L)	유입수	11.3	10.3	10.7	16.0	7.4	9.0	8.8	10.3	9.0
	유출수	9.6	8.5	8.9	14.0	8.6	9.8	8.4	10.2	8.8
TOC (mg/L)	유입수	5.7	5.7	5.8	7.84	4.60	5.0	5.4	5.7	6.2
	유출수	5.2	5.2	5.5	7.0	4.6	5.6	4.8	5.5	6.0
T-N (mg/L)	유입수	12.1	6.9	6.9	9.167	9.955	8.419	1.502	7.261	10.057
	유출수	9.3	4.6	4.7	7.685	9.835	7.803	1.497	6.705	9.941
T-P (mg/L)	유입수	2.0	1.8	1.7	3.831	2.250	1.720	0.173	1.994	0.864
	유출수	1.6	1.6	1.8	3.445	1.663	1.991	0.317	1.854	1.287

[표 10-3-3] 성암저수지 1호 인공습지 수질변화

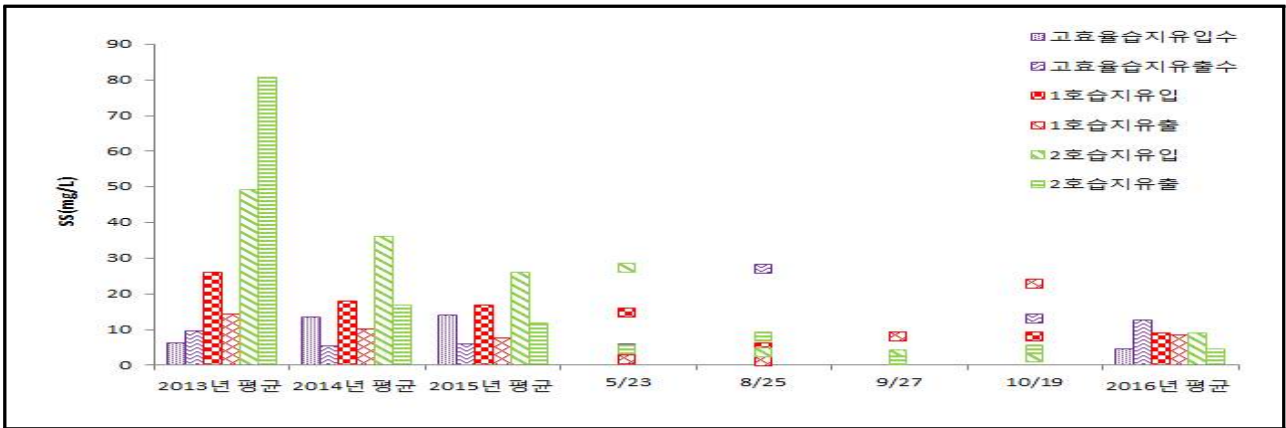
구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차 (05.23)	2차 (08.25)	3차 (09.27)	4차 (10.19)	평균	강우 (07.12)
수온 (°C)	1호 유입수	20.7	22.2	22.8	23.0	28.1	20.4	18.1	22.4	25.1
	1호 유출수	22.0	22.1	22.3	22.9	26.5	20.2	17.6	21.8	25.7
pH	1호 유입수	7.6	7.6	7.3	7.3	7.4	5.9	6.3	6.7	6.5
	1호 유출수	7.6	7.6	7.4	6.8	6.9	6.2	6.6	6.6	6.3
EC (µS/cm)	1호 유입수	728	869	898	2385	2334	808	752	1570	635
	1호 유출수	706	1,061	1,157	2280	2153	868	725	1507	642
DO (mg/L)	1호 유입수	7.1	6.3	6.2	4.5	7.0	2.01	7.1	5.2	2.38
	1호 유출수	7.0	5.1	5.8	3.6	0.5	1.1	4.7	2.5	2.1
SS (mg/L)	1호 유입수	25.9	17.7	19.7	14.7	4.8	8.0	7.9	8.9	10.6
	1호 유출수	14.2	10.1	7.4	1.6	1.0	8.0	22.7	8.3	5.8
BOD (mg/L)	1호 유입수	3.0	2.9	2.7	8.6	0.8	1.2	0.5	2.8	2.7
	1호 유출수	2.4	2.9	2.1	1.4	1.0	1.1	0.5	1.0	3.5
COD (mg/L)	1호 유입수	7.5	8.5	9.6	16.4	9.2	9.0	3.0	9.4	6.0
	1호 유출수	6.6	11.5	11.5	15.6	9.8	9.8	4.8	10.0	8.4
TOC (mg/L)	1호 유입수	3.5	4.2	4.4	7.9	3.5	5.0	1.5	4.5	4.2
	1호 유출수	3.4	6.6	6.4	7.4	4.0	5.6	2.5	4.9	5.0
T-N (mg/L)	1호 유입수	3.3	2.6	2.3	6.243	1.290	8.419	2.061	4.503	1.650
	1호 유출수	2.3	1.8	1.7	2.418	0.660	7.803	0.377	2.815	0.540
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.1	0.5	0.3	0.120	0.088	1.720	0.054	0.496	0.108
	1호 유출수	0.1	0.3	0.1	0.041	0.078	1.991	0.040	0.538	0.078

[표 10-3-4] 성암저수지 2호 인공습지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차 (05.23)	2차 (08.25)	3차 (09.27)	4차 (10.19)	평균	강우 (07.12)
수온 (°C)	1호 유입수	20.7	21.5	22.1	21.4	26.0	20.1	16.8	21.1	23.7
	1호 유출수	22.9	22.5	22.7	23.5	27.0	20.6	15.9	21.8	26.1
pH	1호 유입수	7.3	7.9	7.7	7.3	7.6	6.3	6.7	7.0	6.6
	1호 유출수	7.7	7.8	7.5	6.2	6.6	6.3	6.2	6.3	6.5
EC (µS/cm)	1호 유입수	165	240	250	175	148	243	252	205	262
	1호 유출수	181	208	221	165	181	100	233	170	246
DO (mg/L)	1호 유입수	8.4	6.8	6.6	5.7	6.4	5.37	7.8	6.3	4.28
	1호 유출수	7.8	4.9	4.5	5.3	1.6	2.2	3.1	3.1	4.3
SS (mg/L)	1호 유입수	49.0	36.0	38.7	27.3	3.4	2.9	2.1	8.9	2.7
	1호 유출수	80.7	16.7	13.0	4.4	8.0	1.2	4.4	4.5	4.5
BOD (mg/L)	1호 유입수	3.1	2.9	2.6	3.1	0.5	1.6	0.4	1.4	2.6
	1호 유출수	3.7	1.7	1.4	1.3	1.2	0.6	0.7	1.0	3.9
COD (mg/L)	1호 유입수	6.7	8.8	10.4	9.6	5.2	6.4	2.2	5.9	3.6
	1호 유출수	8.9	7.1	8.0	8.6	6.6	4.6	3.2	5.8	5.4
TOC (mg/L)	1호 유입수	3.5	4.7	5.3	4.2	2.9	3.9	1.1	3.0	2.2
	1호 유출수	4.2	4.5	5.1	4.8	4.2	2.8	1.8	3.4	3.5
T-N (mg/L)	1호 유입수	4.4	4.4	3.4	3.708	1.890	4.481	4.860	3.735	6.746
	1호 유출수	3.7	1.7	1.2	1.943	0.410	0.609	0.657	0.905	0.801
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.2	1.2	0.8	0.123	0.081	0.110	0.034	0.087	0.079
	1호 유출수	0.2	0.4	0.4	0.044	0.079	0.031	0.027	0.045	0.027

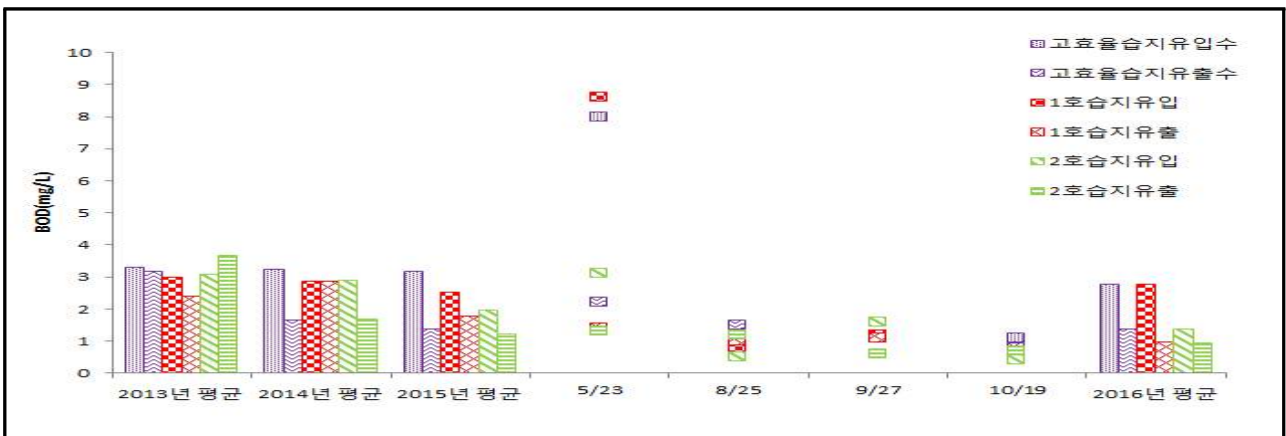
[표 10-3-5] 성암저수지 지하흐름습지 및 인공습지 정화효율

구 분		'13~'16년 전체		'13~'16년 평상시		'13~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	지하흐름 유입	6.9	9.5	5.2	-43.5	12.1	78.0
	지하흐름 유출	6.3		7.5		2.7	
	1호습지 유입	218.4	58.0	77.2	29.4	613.9	68.1
	1호습지 유출	91.6		54.5		195.6	
	2호습지 유입	166.3	8.9	19.5	-168.9	577.6	25.7
	2호습지 유출	151.5		52.4		429.2	
BOD (kg/d)	지하흐름 유입	2.9	29.1	2.8	35.4	3.4	13.4
	지하흐름 유출	2.1		1.8		2.9	
	1호습지 유입	34.2	24.8	24.9	46.9	60.1	-0.9
	1호습지 유출	25.7		13.2		60.7	
	2호습지 유입	17.3	35.6	2.5	-24.6	58.9	42.7
	2호습지 유출	11.2		3.1		33.8	
COD (kg/d)	지하흐름 유입	10.1	8.2	9.6	6.2	11.5	13.3
	지하흐름 유출	9.2		9.0		10.0	
	1호습지 유입	89.7	-10.3	71.6	-1.6	140.3	-22.8
	1호습지 유출	99.0		72.8		172.3	
	2호습지 유입	32.4	5.4	9.4	-13.0	96.7	10.4
	2호습지 유출	30.6		10.6		86.6	
TOC (kg/d)	지하흐름 유입	5.9	7.1	5.6	8.4	6.8	3.8
	지하흐름 유출	5.5		5.1		6.5	
	1호습지 유입	42.9	-27.0	33.4	-6.9	69.7	-54.0
	1호습지 유출	54.5		35.7		107.3	
	2호습지 유입	17.1	-4.5	4.8	-17.8	51.4	-1.0
	2호습지 유출	17.9		5.7		52.0	
T-N (kg/d)	지하흐름 유입	8.1	12.6	7.0	14.2	11.2	9.7
	지하흐름 유출	7.0		6.0		10.1	
	1호습지 유입	30.0	38.7	25.7	38.3	41.9	39.3
	1호습지 유출	18.4		15.9		25.5	
	2호습지 유입	22.3	67.7	4.8	43.2	71.4	72.3
	2호습지 유출	7.2		2.7		19.8	
T-P (kg/d)	지하흐름 유입	1.5	-3.5	1.5	-1.7	1.6	-8.8
	지하흐름 유출	1.6		1.6		1.7	
	1호습지 유입	3.5	28.7	1.5	30.8	9.2	27.8
	1호습지 유출	2.5		1.0		6.7	
	2호습지 유입	13.0	78.9	0.4	29.2	48.3	80.0
	2호습지 유출	2.7		0.3		9.7	



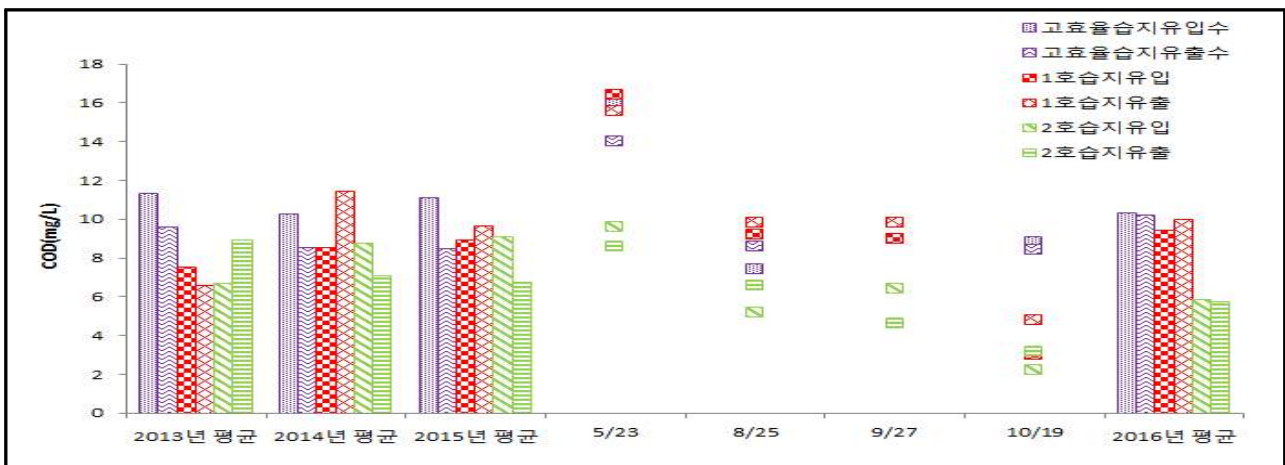
[그림 10-3-2] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화

- SS는 고효율습지 유입수가 4.4mg/L이며, 유출수가 12.6mg/L로 유출수에서 높아졌다.
- 고효율습지에서는 조사시기에 상관없이 항상 일정하게 하수처리 방류수가 유입되기 때문에 여과처리를 거친 후 방류되는 하수처리수 특성상 고농도의 부유물질 유입은 없지만 일시적 오염부하 증가가 있는 것으로 조사되었다.
- 1호 인공습지는 유입수가 8.9mg/L이었는데, 유출수는 8.3mg/L로 낮아졌으며, 2호 인공습지도 유입수가 8.9mg/L, 유출수가 4.5mg/L로 낮아졌다. 성암지구 인공습지는 개방 구간 사이를 흡수로로 연결한 형식이기 때문에 갈수기시에는 이 수로로만 물이 흘러 퇴적물이 유출되어 유출수의 SS가 높아질 수 있다. 따라서 유출구의 수위를 높여 물이 연결수로로만 흐르지 않고 인공습지 전단면을 통하여 흐르도록 관리해야 한다.
- 지하흐름 SS 정화효율은 유입부하량이 12.9kg/d이고, 유출부하량은 6.0kg/d로 낮아져 9.5%의 정화효율을 보였다. 1호 인공습지 SS 정화효율은 유입부하량이 218.4kg/d이고, 유출부하량은 91.6kg/d로 낮아져 58.0%의 높은 정화효율을 보였다. 또한 2호 인공습지 SS 정화효율은 유입부하량이 166.3kg/d이고, 유출부하량은 151.5kg/d로 낮아져 8.9%의 정화효율을 보였다.



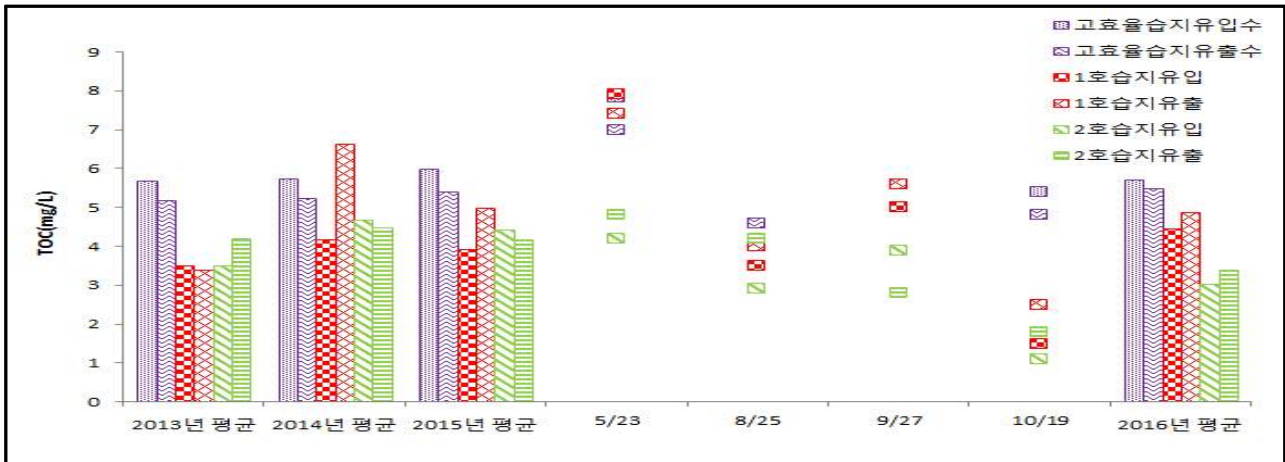
[그림 10-3-3] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 BOD 변화

- 유기물 지표 중 하나인 BOD는 고효율습지 유입수가 2.8mg/L, 유출수가 1.4mg/L로 유출수에서 낮아졌다. 1호 인공습지는 유입수가 2.8mg/L, 유출수가 1.0mg/L로 다소 낮아졌으며, 2호 인공습지의 경우도 유입수가 1.4mg/L, 유출수가 1.0mg/L로 차이가 없었다. 연차별로는 유입수에 비해 유출수의 농도가 높아지기도 하고 낮아지기도 하여 일정한 경향을 보이지는 않았는데, 이는 유입수의 농도 자체가 배경농도 이하로 낮았기 때문이다.
- 지하흐름 BOD 정화효율은 유입부하량이 2.9kg/d이고, 유출부하량은 2.1kg/d로 낮아져 29.1%의 정화효율을 보였다. 1호 인공습지 BOD 정화효율은 유입부하량이 2.9kg/d이고, 유출부하량은 2.1kg/d로 낮아져 29.1%의 정화효율을 보였다. 또한 2호 인공습지 BOD 정화효율은 유입부하량이 17.3kg/d이고, 유출부하량은 11.2kg/d로 낮아져 35.6%의 정화효율을 보였다.



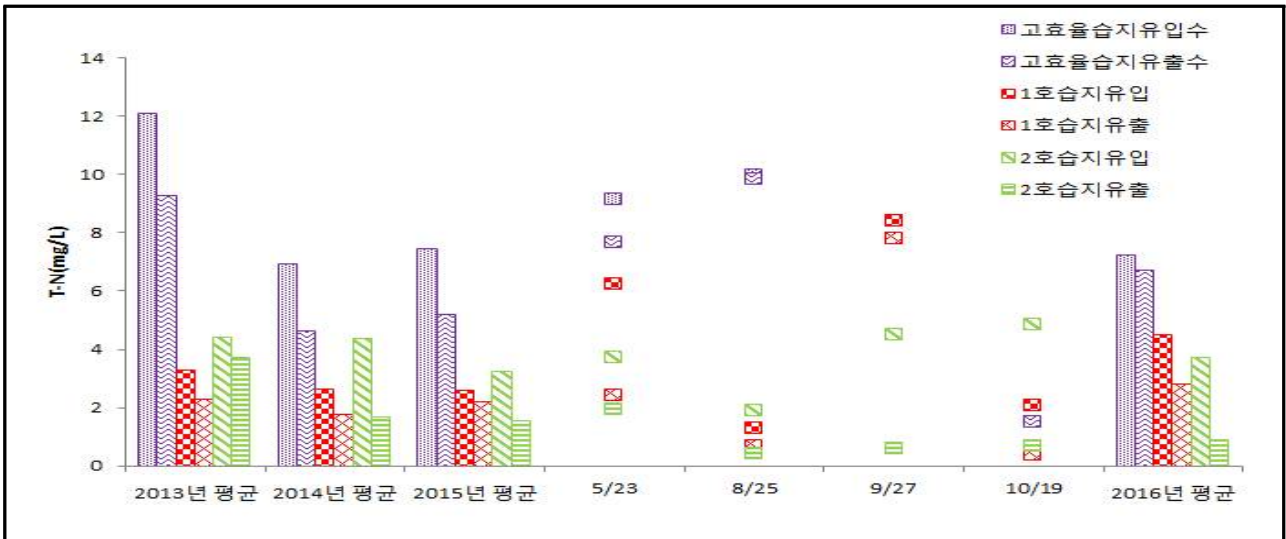
[그림 10-3-4] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화

- COD는 고효율습지 유입수가 10.3 mg/L였는데, 유출수는 10.2 mg/L로 낮아졌다. 1호 인공습지는 유입수가 9.4 mg/L, 유출수가 10.0 mg/L, 2호 인공습지는 유입수가 5.0 mg/L, 유출수가 5.8 mg/L로 조사되었다. 이와 같이 1, 2호 인공습지에서 정화효율이 낮은 것은 SS에서 언급한바와 같이 흙수로인 연결수로로 물이 흐르기 때문에 유량이 많아 유속이 빨라지면 퇴적물이 재부유하여 유출되기 때문인 것으로 판단된다.
- 지하흐름 COD 정화효율은 유입부하량이 10.1 kg/d이고, 유출부하량은 9.2 kg/d로 낮아져 8.2%의 정화효율을 보였다. 1호 인공습지 COD 정화효율은 유입부하량이 89.7 kg/d이고, 유출부하량은 99.0 kg/d로 낮아져 -10.3%의 정화효율을 보였다. 또한 2호 인공습지 COD 정화효율은 유입부하량이 32.4 kg/d이고, 유출부하량은 30.6 kg/d로 낮아져 5.4%의 정화효율을 보였다.



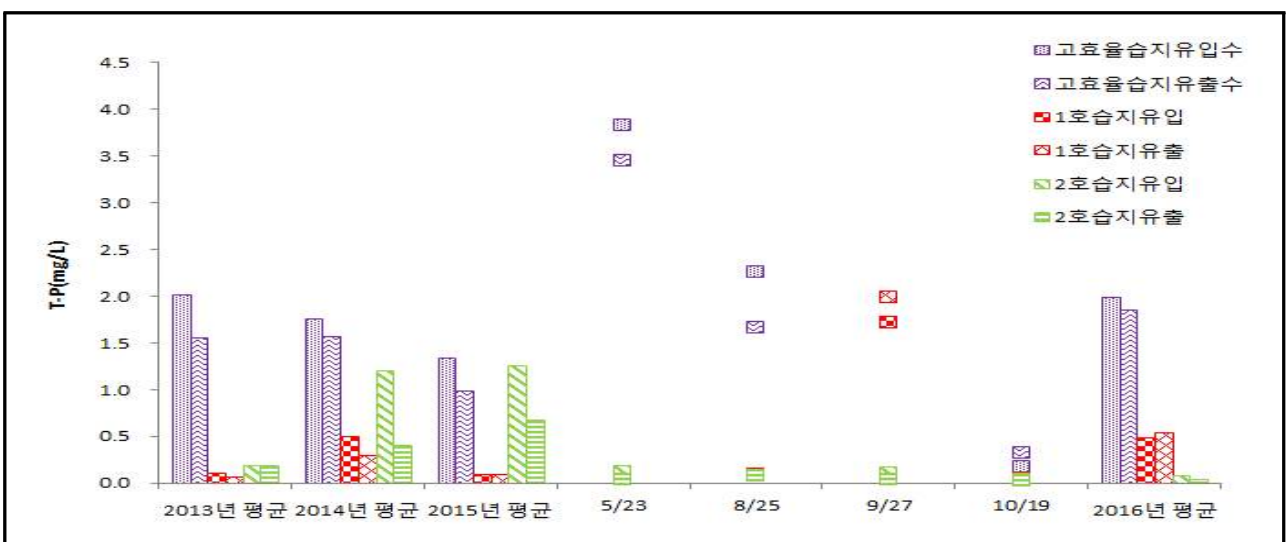
[그림 10-3-5] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- TOC는 고효율습지 유입수가 5.7mg/L이고, 유출수가 5.5mg/L로써 다소 낮아졌으나 큰 차이는 없었다, 1호 인공습지는 유입수가 4.5mg/L, 유출수가 4.9mg/L로 다소 높아졌으나, 2호 인공습지는 유입수가 3.0mg/L, 유출수가 3.4mg/L로 차이가 없었다. 1, 2호 인공습지에서 TOC가 높아지는 경향을 보였는데, 이것은 COD에서 기술한 바와 같이 흙으로 된 연결수로 물이 흐르기 때문인 것으로 판단된다.
- 지하흐름 TOC 정화효율은 유입부하량이 5.9kg/d이고, 유출부하량은 5.5kg/d로 낮아져 7.1%의 정화효율을 보였다. 1호 인공습지 TOC 정화효율은 유입부하량이 42.9kg/d이고, 유출부하량은 54.5kg/d로 낮아져 -27.0%의 정화효율을 보였다. 또한 2호 인공습지 TOC 정화효율은 유입부하량이 17.1kg/d이고, 유출부하량은 17.9kg/d로 낮아져 -4.5%의 정화효율을 보였다.
- T-N은 고효율습지 유입수가 7.3mg/L, 유출수가 6.7mg/L로 유출수에서 낮아졌다. 1호 인공습지는 유입수가 4.5mg/L, 유출수가 2.8mg/L, 2호는 유입수가 3.7mg/L, 유출수가 0.9mg/L로써 모두 유출수에서 낮아지는 경향을 보였다. 연차별로도 2013년도 이후부터 2016년도 모두 유입수에 비해 유출수에서 낮아져 T-N이 정화되는 경향을 보였다.
- 지하흐름 T-N 정화효율은 유입부하량이 8.1kg/d이고, 유출부하량은 7.0kg/d로 낮아져 12.6%의 정화효율을 보였다. 1호 인공습지 T-N 정화효율은 유입부하량이 30.0kg/d이고, 유출부하량은 18.4kg/d로 낮아져 38.7%의 정화효율을 보였다. 또한 2호 인공습지 T-N 정화효율은 유입부하량이 22.3kg/d이고, 유출부하량은 7.2kg/d로 낮아져 67.4%의 높은 정화효율을 보였다.



[그림 10-3-6] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P는 고효율습지의 유입수가 2.0mg/L였는데, 유출수는 1.9mg/L로 유사하였다. 1호 습지의 유입수는 0.5mg/L였는데, 유출수는 0.5mg/L로 변화가 없었다. 2호 습지의 유입수는 0.09mg/L였는데, 유출수가 0.05mg/L로 낮아졌다. 연차별로도 2013년도 이후부터 2016년도 모두 유입수에 비해 유출수의 T-P 농도가 낮아졌다.
- 지하흐름 T-P 정화효율은 유입부하량이 1.5kg/d이고, 유출부하량은 1.6kg/d로 낮아져 -3.5%의 정화효율을 보였다. 1호 인공습지 T-P 정화효율은 유입부하량이 3.5kg/d이고, 유출부하량은 2.5kg/d로 낮아져 28.7%의 정화효율을 보였다. 또한 2호 인공습지 T-P 정화효율은 유입부하량이 13.0kg/d이고, 유출부하량은 2.7kg/d로 낮아져 78.9%의 높은 정화효율을 보였다.



[그림 10-3-7] 성암지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

10.3.2 침강지 수질개선효과

- 침강지의 수온은 1호 침강지 유입수가 22.4℃이고 유출수가 24.0℃였다. 2호 침강지에서는 유입수가 21.1℃이고 유출수가 24.1℃로 유입수보다 유출수의 수온이 다소 높았는데, 이는 침강지에 오랜 시간 정체하면서 수온이 상승하는 일반적인 현상이다.
- pH는 1호 침강지 유입수가 6.7이고 유출수가 7.1, 2호는 침강지 유입수가 7.0이고 유출수가 7.4으로 차이가 없었고, 대부분 농업용수 권장기준인 6.0~8.5를 만족하였다.
- EC는 1호 유입수가 1,570μS/cm인데, 유출수가 1,261μS/cm, 2호 침강지는 유입수가 205μS/cm인데, 유출수가 207μS/cm로써 1호에서는 유출수 농도가 낮아졌으나 2호에서는 변화가 없는 것으로 조사되었다. 그러나 조사기간 동안 유출수는 식물생장에 지장이 없는 권장기준인 700μS/cm에 비해 낮은 값을 보였다.
- DO는 1호 침강지에서 유입수가 5.2mg/L이고 유출수가 6.9mg/L, 2호 침강지에서 유입수가 6.3mg/L이고 유출수가 9.8mg/L로써 유출수에서 높아지기도 하고 낮아지기도 하여 일정한 경향을 보이지 않았다. 조사기간 동안 농업용수 권장기준인 2.0mg/L 이상을 나타내었다.

[표 10-3-6] 성암저수지 1호 침강지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차 (05.23)	2차 (08.25)	3차 (09.27)	4차 (10.19)	평균	강우 (07.12)
수온 (℃)	1호 유입수	20.7	22.2	22.8	23.0	28.1	20.4	18.1	22.4	25.1
	1호 유출수	25.0	22.8	23.1	23.8	31.9	20.0	20.2	24.0	26.2
pH	1호 유입수	7.6	7.6	7.3	7.3	7.4	5.9	6.3	6.7	6.5
	1호 유출수	8.1	7.9	7.4	7.6	7.7	6.6	6.6	7.1	6.7
EC (μS/cm)	1호 유입수	728	869	898	2385	2334	808	752	1570	635
	1호 유출수	498	801	949	1190	2131	928	794	1261	645
DO (mg/L)	1호 유입수	7.1	6.3	6.2	4.5	7.0	2.01	7.1	5.2	2.38
	1호 유출수	7.5	6.9	6.4	11.0	8.0	3.0	5.5	6.9	3.4
SS (mg/L)	1호 유입수	25.9	17.7	19.7	14.7	4.8	8.0	7.9	8.9	10.6
	1호 유출수	28.1	63.9	77.0	10.3	51.7	1.4	2.8	16.6	7.3
BOD (mg/L)	1호 유입수	3.0	2.9	2.7	8.6	0.8	1.2	0.5	2.8	2.7
	1호 유출수	4.8	4.5	4.1	4.7	1.1	0.3	0.3	1.6	6.9
COD (mg/L)	1호 유입수	7.5	8.5	9.6	16.4	9.2	9.0	3.0	9.4	6.0
	1호 유출수	10.8	9.4	10.1	15.2	9.6	5.2	3.0	8.3	8.4
TOC (mg/L)	1호 유입수	3.5	4.2	4.4	7.9	3.5	5.0	1.5	4.5	4.2
	1호 유출수	5.9	4.9	5.0	6.9	5.9	2.70	2.0	4.4	5.0
T-N (mg/L)	1호 유입수	3.3	2.6	2.3	6.243	1.290	8.419	2.061	4.503	1.650
	1호 유출수	2.7	2.5	2.4	4.604	1.568	0.411	0.449	1.758	0.543
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.1	0.5	0.3	0.120	0.088	1.720	0.054	0.496	0.108
	1호 유출수	0.1	0.6	0.3	0.044	0.252	0.029	0.022	0.087	0.067

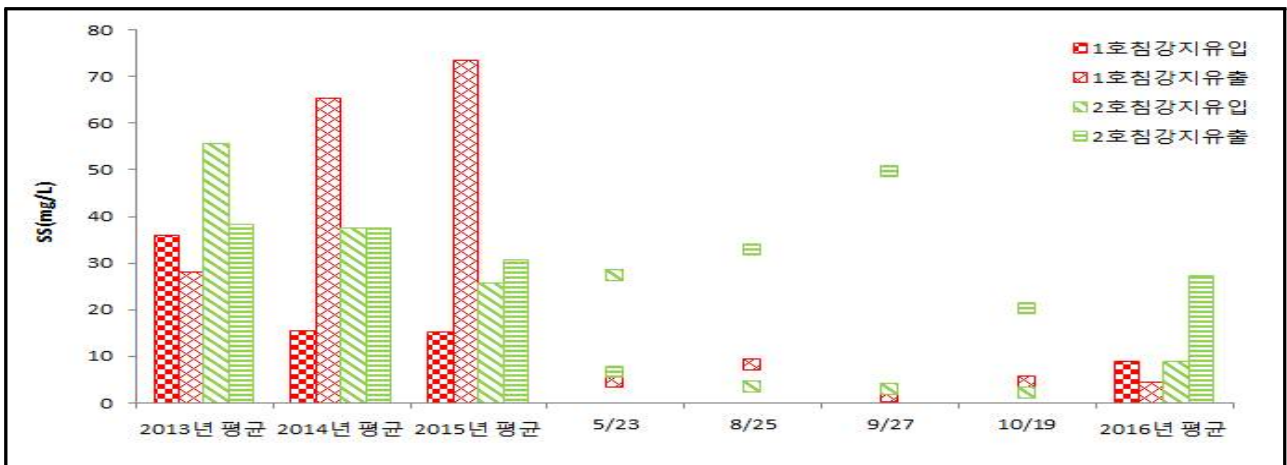
[표 10-3-7] 성암저수지 2호 침강지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차 (05.19)	2차 (08.26)	3차 (09.28)	4차 (10.20)	평균	강우 (07.13)
수온 (°C)	2호 유입수	20.7	21.5	22.1	21.4	26.0	20.1	16.8	21.1	23.7
	2호 유출수	21.8	22.9	23.5	22.6	30.6	22.7	20.4	24.1	29.7
pH	2호 유입수	7.3	7.9	7.7	7.3	7.6	6.3	6.7	7.0	6.6
	2호 유출수	7.5	8.0	7.6	7.1	7.3	6.6	8.4	7.4	8.6
EC (µS/cm)	2호 유입수	165	240	250	175	148	243	252	205	262
	2호 유출수	195	239	246	179	206	207	237	207	232
DO (mg/L)	2호 유입수	8.4	6.8	6.6	5.7	6.4	5.37	7.8	6.3	4.28
	2호 유출수	8.6	6.2	5.1	9.3	6.3	7.2	16.2	9.8	13.1
SS (mg/L)	2호 유입수	49.0	36.0	38.7	27.3	3.4	2.9	2.1	8.9	2.7
	2호 유출수	38.4	36.8	37.8	6.6	32.8	49.7	20.3	27.4	9.3
BOD (mg/L)	2호 유입수	3.1	2.9	2.6	3.1	0.5	1.6	0.4	1.4	2.6
	2호 유출수	3.6	4.3	3.3	3.1	2.1	1.2	1.4	2.0	3.3
COD (mg/L)	2호 유입수	6.7	8.8	10.4	9.6	5.2	6.4	2.2	5.9	3.6
	2호 유출수	8.7	9.4	10.5	9.6	6.4	5.8	4.2	6.5	8.8
TOC (mg/L)	2호 유입수	3.5	4.7	5.3	4.2	2.9	3.9	1.1	3.0	2.2
	2호 유출수	4.7	5.2	5.8	4.7	3.4	2.6	2.1	3.2	4.6
T-N (mg/L)	2호 유입수	4.4	4.4	3.4	3.708	1.890	4.481	4.860	3.735	6.746
	2호 유출수	3.1	2.7	1.8	2.141	0.778	1.833	2.597	1.837	2.865
T-P (mg/L)	2호 유입수	0.2	1.2	0.8	0.123	0.081	0.110	0.034	0.087	0.079
	2호 유출수	0.2	0.7	0.2	0.034	0.076	0.155	0.077	0.086	0.090

[표 10-3-8] 성암저수지 침강지 정화효율

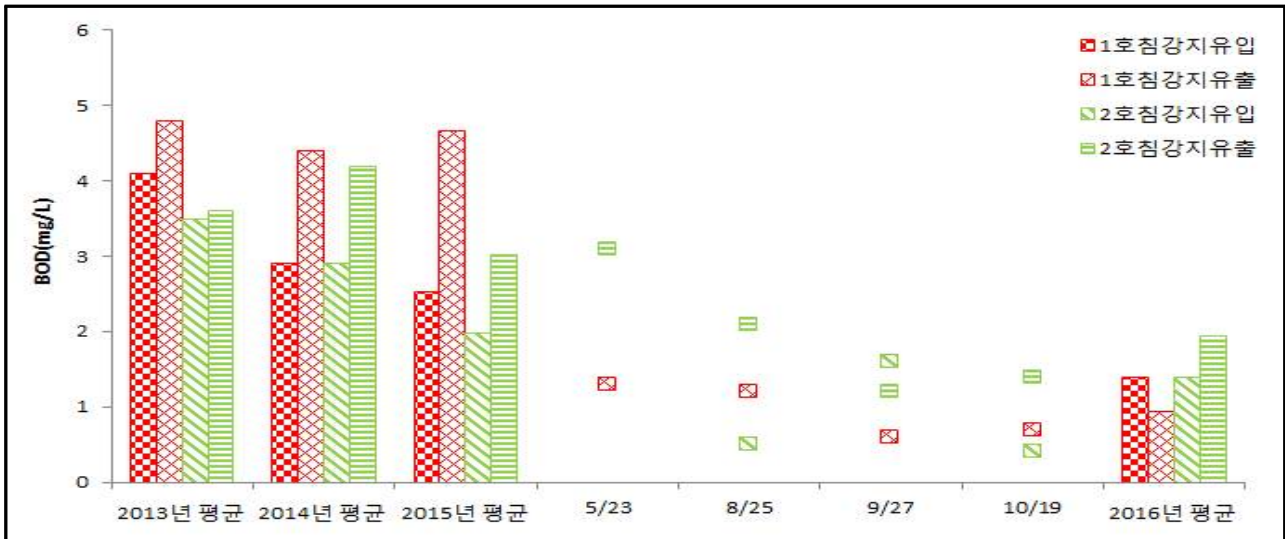
구 분		'13~'16년 전체		'13~'16년 평상시		'13~'16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	1호침강지 유입	1,319.6	49.1	39.4	-171.1	4,135.9	53.8
	1호침강지 유출	671.1		106.9		1,912.4	
	2호침강지 유입	1,951.5	50.3	233.2	-53.7	6,419.1	60.1
	2호침강지 유출	970.0		358.4		2,560.4	
BOD (kg/d)	1호침강지 유입	93.5	42.7	8.7	-64.6	280.0	50.0
	1호침강지 유출	53.6		14.4		140.0	
	2호침강지 유입	110.2	24.4	27.7	29.7	324.7	36.4
	2호침강지 유출	83.3		35.9		206.4	
COD (kg/d)	1호침강지 유입	212.6	12.2	26.9	-16.1	621.1	14.8
	1호침강지 유출	186.7		31.2		528.9	
	2호침강지 유입	220.8	5.1	69.3	-16.8	614.6	11.5
	2호침강지 유출	209.6		81.0		544.1	
TOC (kg/d)	1호침강지 유입	94.1	3.3	12.7	-42.8	273.1	8.1
	1호침강지 유출	90.9		18.2		251.1	
	2호침강지 유입	114.4	0.5	38.5	-31.8	311.6	10.8
	2호침강지 유출	113.9		50.8		277.8	
T-N (kg/d)	1호침강지 유입	51.5	1.7	9.8	12.4	143.4	0.1
	1호침강지 유출	50.6		8.6		143.2	
	2호침강지 유입	100.3	8.5	34.3	4.3	271.9	9.9
	2호침강지 유출	91.8		32.8		245.1	
T-P (kg/d)	1호침강지 유입	5.4	2.1	0.3	-22.3	16.4	3.1
	1호침강지 유출	5.2		0.4		15.9	
	2호침강지 유입	19.6	19.7	1.3	-23.8	67.2	21.9
	2호침강지 유출	15.8		1.6		52.5	

- SS는 1호 침강지에서 유입수가 8.9mg/L이고, 유출수가 16.6mg/L이며, 2호 침강지에서는 유입수가 8.9mg/L이고 유출수가 27.4mg/L로 1호 침강지 및 2호 침강지에서는 높아졌다. 연차별로 살펴보면 2013년도에는 유입수에 비해 유출수에서 낮아졌으나, 2014년도부터 2016년도까지 유출수에서 높아졌다. 이와 같이 2014년도 및 2016년도에 유출수에서 SS농도가 높아진 것은 가뭄으로 침강지에서의 정체기간이 길어지고 높은 기온으로 침강지에 조류가 성장할 조건이 조성되어 조류가 과다 성장한 때문으로 판단되며 비점오염정화시설로서의 기능을 유지하고 있는 것으로 나타났다.
- 1호 침강지 SS 정화효율은 유입부하량이 1,319.6kg/d이고, 유출부하량은 671.1kg/d로 낮아져 49.1%의 정화효율을 보였다. 또한 2호 침강지 SS 정화효율은 유입부하량이 1,951.5kg/d이고, 유출부하량은 970.0kg/d로 낮아져 50.3%의 높은 정화효율을 보였다.



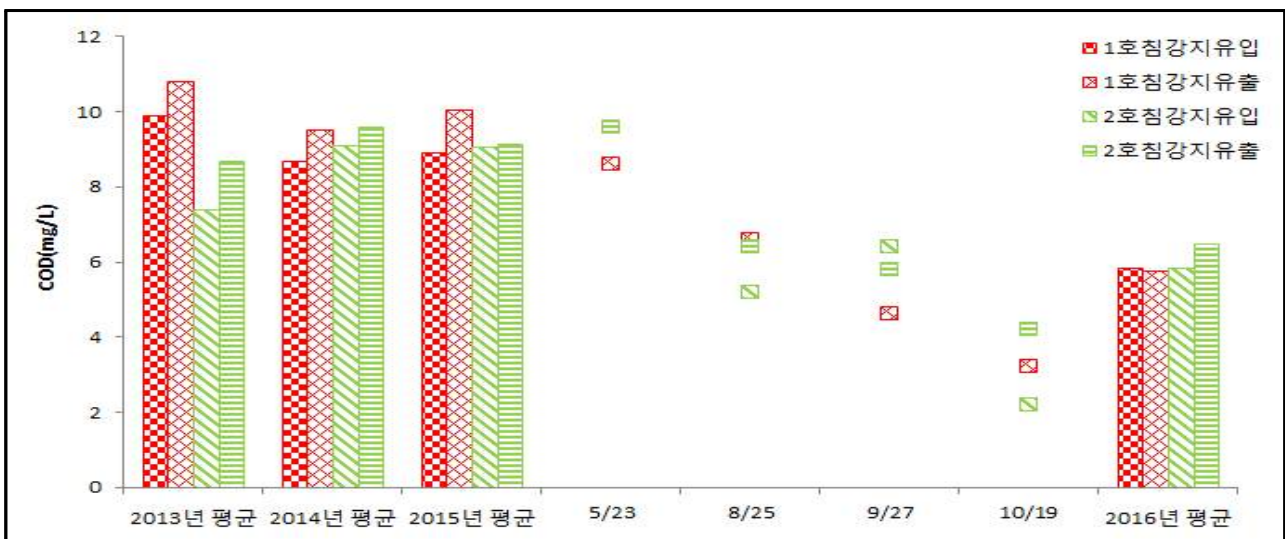
[그림 10-3-8] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화

- BOD는 1호 침강지에서 유입수가 2.8mg/L, 유출수가 1.6mg/L 낮아졌으며, 2호 침강지에서는 유입수가 1.4mg/L, 유출수가 2.0mg/L로 유출수에서 높아졌다. 이와 같이 농도는 증감을 반복하는 것은 오염부하량 및 유량변동에 따라 변화되고 있는 것으로 조사되었다.
- 1호 침강지 BOD 정화효율은 유입부하량이 93.5kg/d이고, 유출부하량은 53.6kg/d로 낮아져 42.7%의 정화효율을 보였다. 또한 2호 침강지 BOD 정화효율은 유입부하량이 110.2kg/d이고, 유출부하량은 83.3kg/d로 낮아져 24.43%의 정화효율을 보였다.

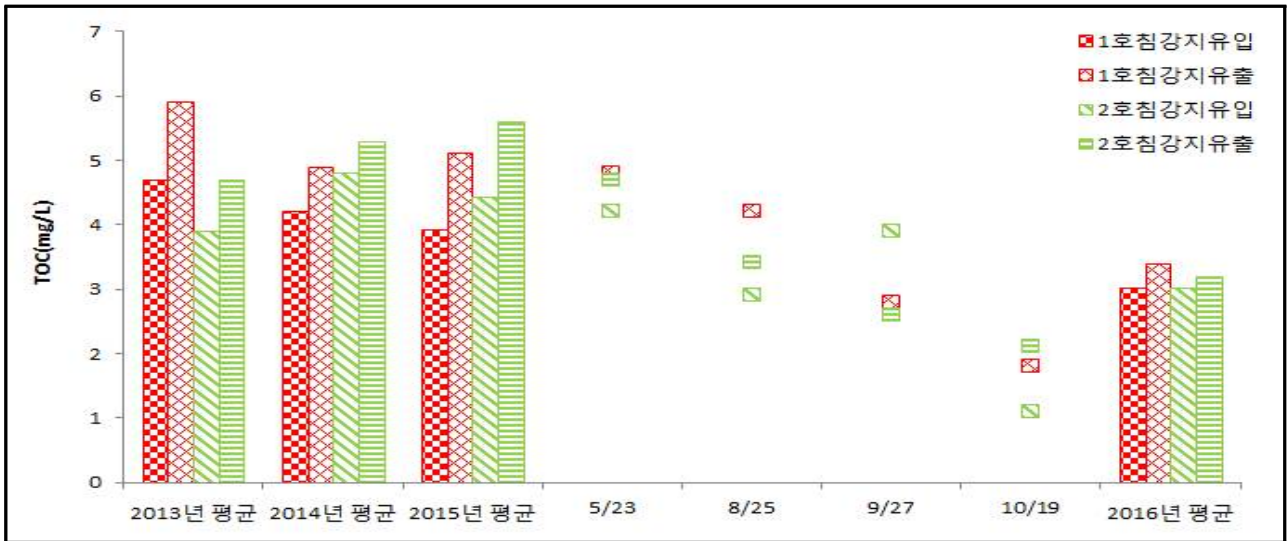


[그림 10-3-9] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 BOD 변화

- COD도 1호 침강지에서 유입수가 9.4mg/L, 유출수가 8.3mg/L로 낮아졌으며, 2호 침강지에서는 유입수가 5.9mg/L, 유출수가 6.5mg/L로 높아졌다. BOD 변화경향과 관련있는 오염부하량 및 유량변동에 따라 변화되고 있는 것으로 조사되었다.
- 1호 침강지 COD 정화효율은 유입부하량이 212.6kg/d이고, 유출부하량은 186.7kg/d로 낮아져 12.2%의 정화효율을 보였다. 또한 2호 침강지 COD 정화효율은 유입부하량이 220.8kg/d이고, 유출부하량은 209.6kg/d로 낮아져 5.1%의 정화효율을 보였다.

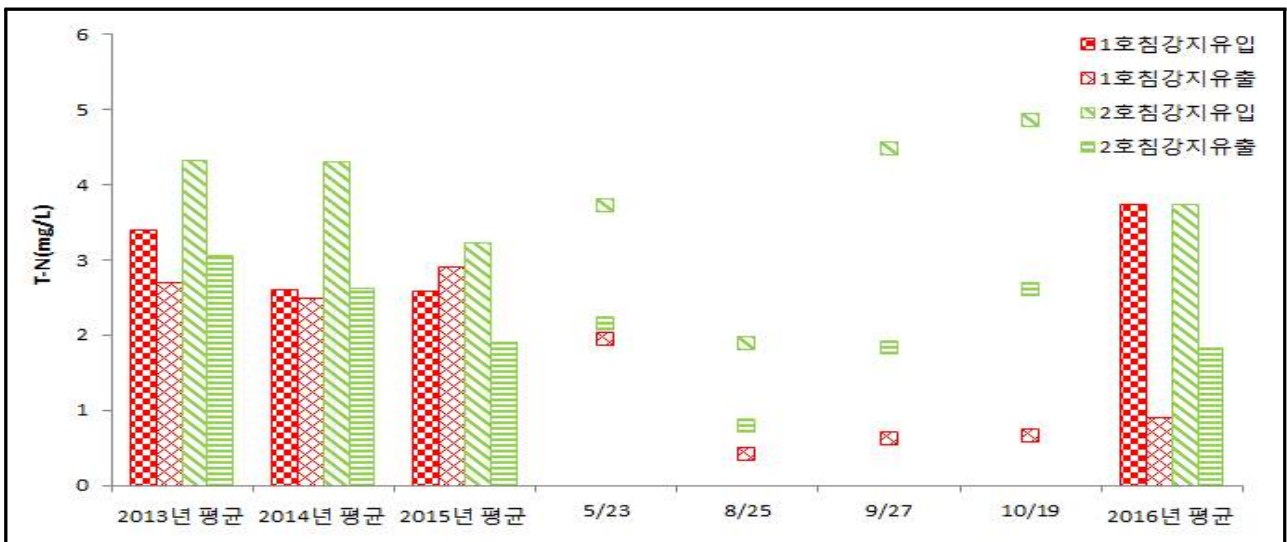


[그림 10-3-10] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화



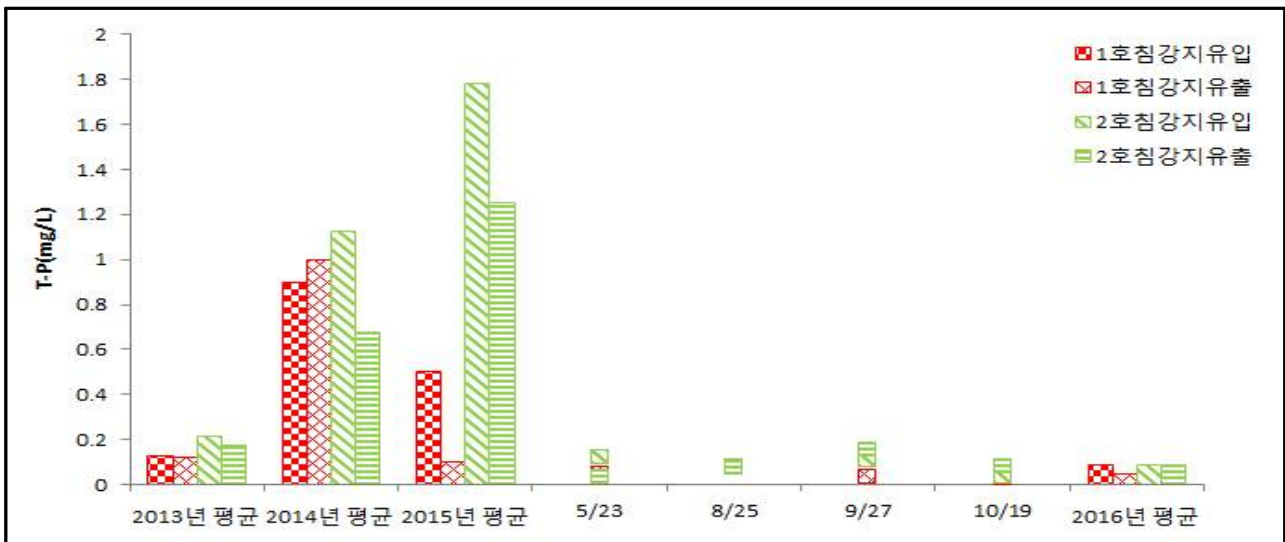
[그림 10-3-11] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- TOC의 경우도 BOD, COD와 마찬가지로 1호 침강지에서 유입수가 4.5mg/L, 유출수가 4.4mg/L였으며, 2호 침강지에서는 유입수가 3.0mg/L, 유출수가 3.2mg/L로 높아지는 것으로 나타났다. 따라서 강우시 설계유량을 초과하는 비점오염물질을 처리하는 목적으로 설치한 침강지가 기능을 유지하고 있는 것으로 나타났다.
- 1호 침강지 TOC 정화효율은 유입부하량이 94.1kg/d이고, 유출부하량은 90.9kg/d로 낮아져 3.3%의 정화효율을 보였다. 또한 2호 침강지 TOC 정화효율은 유입부하량이 114.4kg/d이고, 유출부하량은 113.9kg/d로 낮아져 0.5%의 정화효율을 보였다.



[그림 10-3-12] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-N의 경우 1호 침강지 유입수는 4.5mg/L였으나 유출수가 1.8mg/L로 낮아졌다. 2호 침강지도 유입수는 3.7mg/L이고, 유출수는 1.8mg/L로 낮아졌다. 평상시와 강우시 모두 유입수에 비해 유출수에서 낮아지는 경향을 보였다. 연차별로도 2013년도~2016년도에 대부분 유입수에 비해 유출수의 T-N이 낮아져 정화되는 경향을 보였다.
- 1호 침강지 T-N 정화효율은 유입부하량이 51.5kg/d이고, 유출부하량은 50.6kg/d로 낮아져 1.7%의 정화효율을 보였다. 또한 2호 침강지 T-N 정화효율은 유입부하량이 19.6kg/d이고, 유출부하량은 15.8kg/d로 낮아져 19.7%의 정화효율을 보였다.



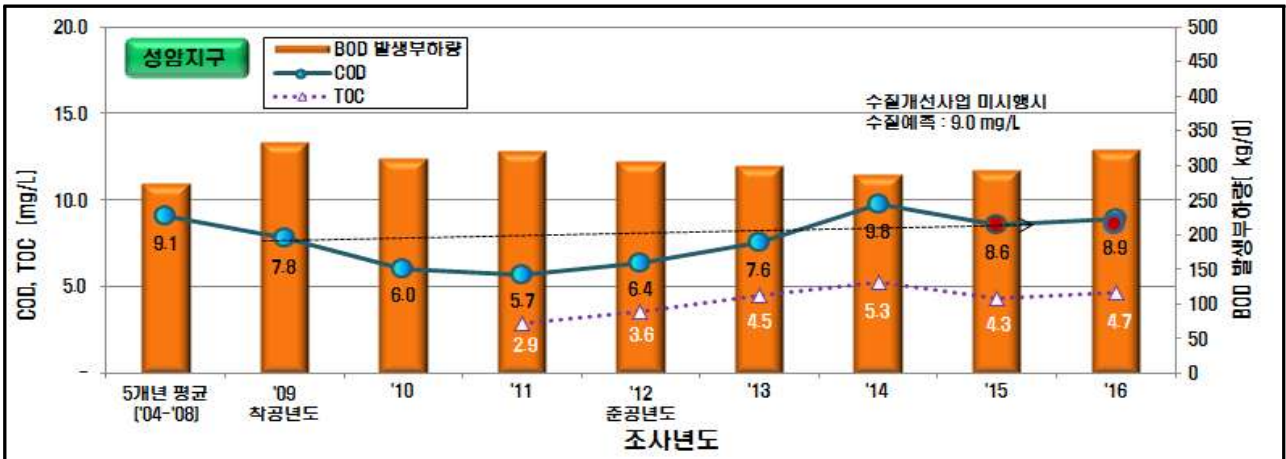
[그림 10-3-13] 성암지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- T-P는 1호 침강지의 유입수가 0.50mg/L이고, 유출수는 0.09mg/L로 낮아졌으며, 2호 침강지에서는 유입수가 0.09mg/L, 유출수가 0.09mg/L로 변화가 없었다. 유량과 농도가 크게 높아지는 강우시에는 침강지에서 T-P가 정화되는 것으로 나타났다. 따라서 침강지는 강우시 유입되는 오염물질을 침강시켜 저수지 수질을 개선시키는 기능을 유지하고 있다.

10.4. 저수지 수질변화 및 개선효과

- 성암지구 수질정화시설은 운영 4년차인데, 준공년도인 2012년도에 비해 2013년도에 BOD발생 부하량이 306.5kg/d에서 299.9kg/d로, 2015년도에는 293.5kg/d로 감소 되었으며, 2016년도에는 355.3kg/d로 다시 증가되었다. 성암저수지의 COD농도는 2012년도의 6.4mg/L에서 2013년도에는 7.6mg/L로, 2014년도에는 9.8mg/L로 높아 졌지만, 2015년도 8.6mg/L, 2016년도 8.9mg/L로 농업용수 권장기준을 상회하였다.

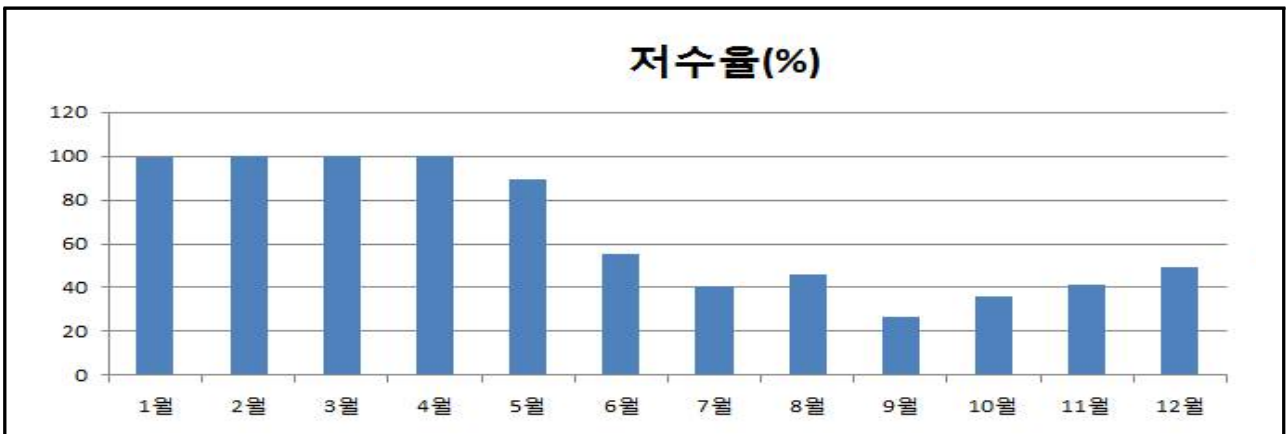
- 성암저수지의 TOC농도는 2012년도의 3.6mg/L에서 2013년도에는 4.5mg/L, 2014년도에 5.3mg/L로 높아졌으나, 2015년도에는 4.3mg/L, 2016년도에는 4.7mg/L로 증감하고 있으나 농업용수 권장기준인 6.0mg/L이하 목표수질을 만족하고 있다.



[그림 10-4-1] 성암지구 유역 연도별 BOD발생부하량 및 COD, TOC농도 변화

[표 10-4-1] 성암저수지 월별 저수율 현황

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
저수율 (%)	99.7	100	100	100	89.2	55.1	40.4	45.7	26.8	35.7	41.0	49.1



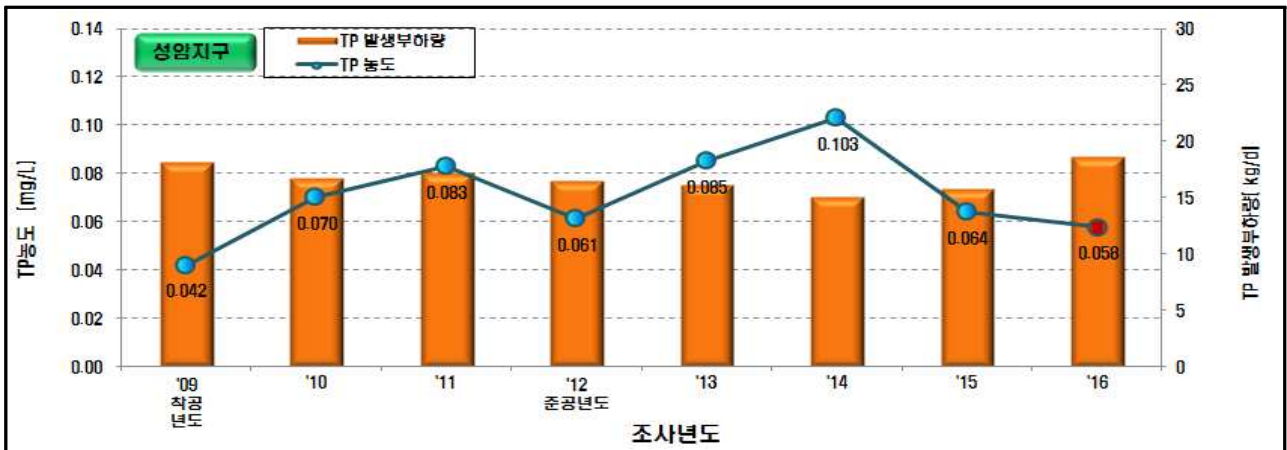
[그림 10-4-2] 성암지구 저수율 변환

- T-N 발생부하량은 준공년도인 2012년도의 202.9kg/d에 비해 2013년도에는 199.0kg/d, 2016년도에는 221.1kg/d로 높아졌다. 저수지의 T-N농도도 준공년도인 2012년에는 2.2mg/L였으나, 2016년도에는 1.8mg/L로 다시 증가하는 경향을 보였다. 이는 축산계 오염원인 한우 및 돼지 사육두수 증가로 인한 영향으로 보인다.



[그림 10-4-3] 성암지구 유역 연도별 T-N발생부하량 및 T-N농도 변화

- T-P의 경우도 오염부하 발생부하량이 준공년도인 2012년도에 16.5kg/d이고, 연도별 증감은 있지만 2015년도에는 15.8kg/d로 감소하는 추세에 있지만, 저수지의 T-P 농도는 2012년도의 0.061mg/L에서 2013년도에 0.085mg/L로, 2014년도에는 0.103mg/L로 높아지다가 2015년도에는 0.064mg/L, 2016년도에는 0.058mg/L로 낮아져 농업용수 권장기준을 만족하였다.



[그림 10-4-4] 성암지구 유역 연도별 T-P발생부하량 및 T-P농도 변화

10.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안

- 성암저수지 관련 사업으로 2015~2017년 3개년 동안 진행될 예정이며, 제당사석 보강 사업 및 여수토 보강사업으로 인한 개보수사업이 진행됨에 따라 올해 수질조사시 저수율이 저하되었다.
- 성암지구의 경우 취수를 위한 1호 취입보 전도게이트의 고장이 많았으며, 강우시 상류 농지 침수민원으로 호우주의보 시 미리 전도시킴으로서 취입보 유입량이 적었으며, 이에 따른 비점오염물질 정화가 불가능하였다.

- 서산태안지사에서는 예비부품 등을 미리 구비하여 신속히 복구될 수 있도록 대처하고, 가동보 전도게이트를 미리 전도시키지 않도록 재난대비 유지관리에 선제적 대응을 할 수 있도록 독려하여야 할 것이다.
- 또한 오염도가 높은 초기 유출수를 최대한 습지로 유입시키도록 지사 유지관리 담당직원을 수질개선사업에 대한 교육을 지속적으로 관리할 필요가 있다.
- 또한 1호 및 2호 인공습지의 유량을 조절해주는 각낙판 설치 등 습지의 기능이 유지 관리 될 수 있도록 주기적 점검(1회/주 이상)이 필요하다.

10.6. 결 론

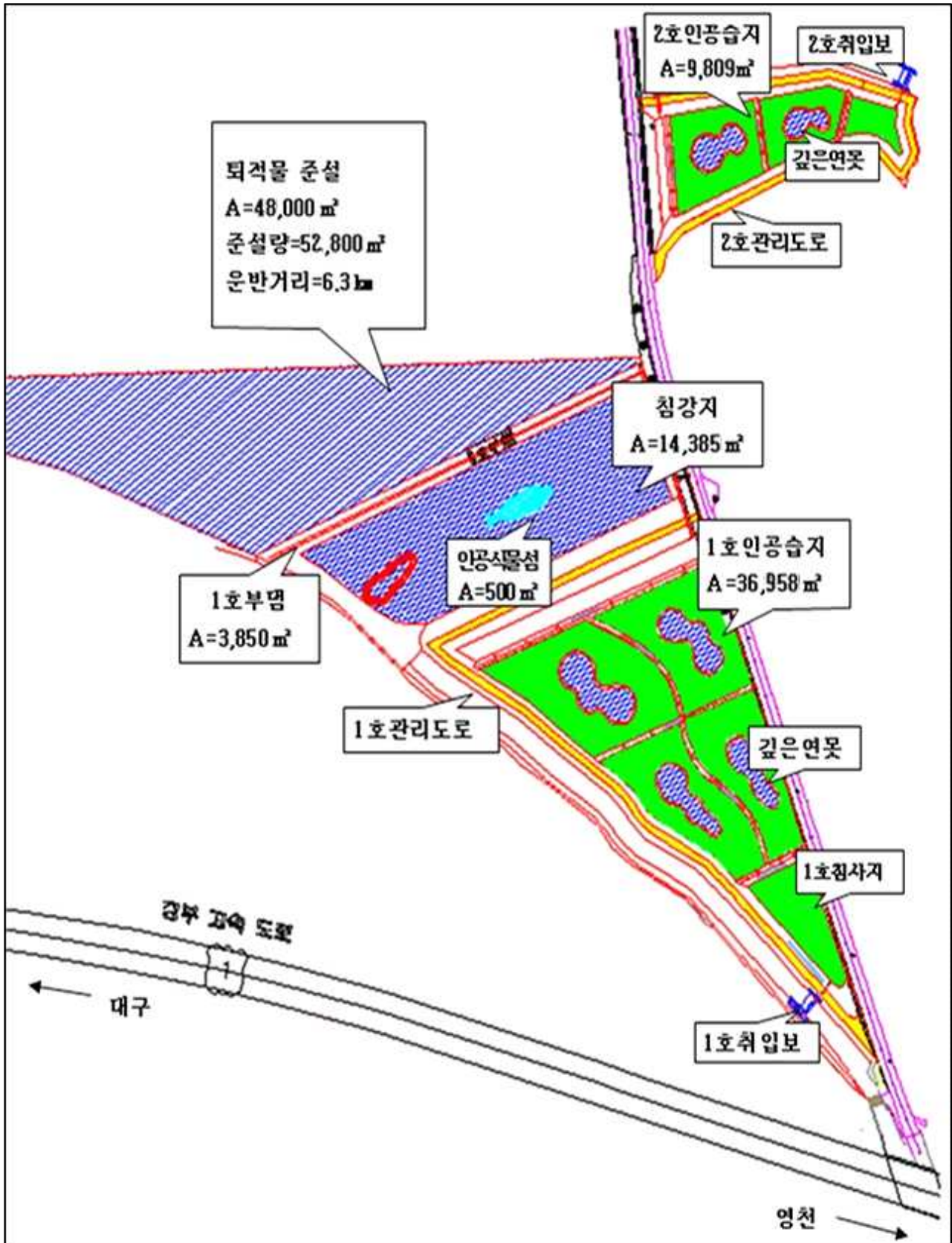
- 운영 4년차 인 성암저수지는 준공(2012년) 이후부터 인공습지, 침강지, 고효율습지의 기능을 발휘할 수 있도록 취입보 관리가 최고 우선되어야 할 것으로 판단되며, 2016년 11월 식생절취가 이루어짐에 따라 내부 오염부하량 감소에 기여할 것을 예측된다.
- 장기적으로 2016년 KRC 수질보전대책 고도화사업이 추진됨에 따라 수질개선시설이 정상 기능을 발휘하도록 수초제거사업 유지관리비가 매년 지속적으로 지원되어야 할 것이다.
- 2016년 수질개선 효과는 기본계획 대비 현재 COD 1.1%, T-N -8.3%, T-P 1.7%의 개선효과를 나타내고 있다.

11. 대승지구



-
- 11.1 지구현황
 - 11.2 기상 및 수질현황
 - 11.3 시설별 수질개선 효과
 - 11.4 저수지 수질변화 및 개선효과
 - 11.5 현장적용성 향상 및 유지관리 방안
 - 11.6 결 론

대승지구 수질개선사업 평면도



11.1 지구현황

11.1.1 저수지 현황

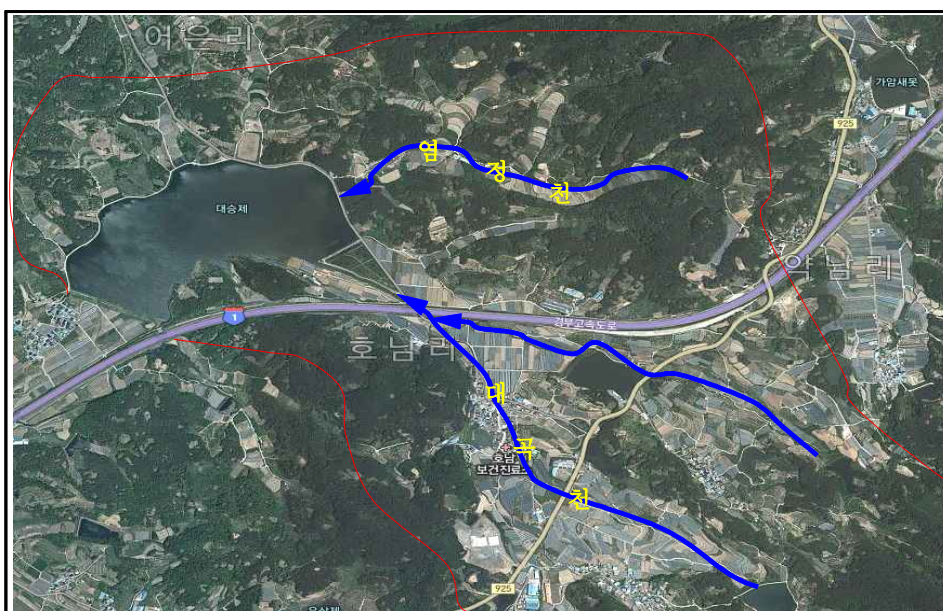
1) 유역현황

- 남쪽의 채악산(498m)자락 등 120 ~ 450m의 산들로 둘러싸인 장화 형상의 유역으로 하단은 저구릉지 형태로 대부분의 농경지가 위치하며, 행정구역상 금호읍 호남리, 대곡리 등 5개리가 해당된다.

[표 11-1-1] 대승저수지 경위도상 위치

소재지	단	경도와 위도의 극점			연장거리
		지명	극점		
			동경	북위	
영천시 금호읍 오계리	동단	영천시 금호읍 어은리	128° 54' 38"	35° 54' 28"	동서 1.2km 남북 0.69km
	서단	영천시 금호읍 오계리	128° 53' 53"	35° 54' 17"	
	남단	영천시 금호읍 호남리	128° 54' 7"	35° 54' 9"	
	북단	영천시 금호읍 어은리	128° 54' 20"	35° 54' 36"	

- 대승저수지 유입수계는 남쪽의 채악산에서 발원한 3개의 소하천이 북거제 등 소류지를 거쳐 대곡천, 염정천을 통해 대승저수지로 유입하며, 그 외는 유하거리가 짧은 소하천이 단거리로 유입하고 있다.




[그림 11-1-1] 대승저수지 유역도

2) 저수지 현황

- 주요염원은 생활계로 대부분의 마을이 유역 중앙에 위치하고 있어 발생된 생활하수는 짧은 유하거리를 거친 후 저수지로 유입되고 있다.
- 대승저수지 유역 내에 마을하수도 2개소가 운영(방류수 저수지 유입)되고 있으며, 최상류에 금호대곡공단이 위치하나, 폐수발생이 없는 업체로 구성되어 있다.
- 유역 내 밭과 사과·포도 과수원의 비율이 높고 퇴비 시용이 많으며, 강우시 이들에게서 발생하는 영양 염류의 유입이 예상되며, 일부 규제 대상 축사에서도 축분 야적 등 관리가 필요한 상태이다.
- 경지 이용에 따른 영양염류 유입 등 비점오염원 유입과 호내 마름 군락이 저수지의 1/2이상을 차지할 정도로 번성하여 고사기 내부부하량도 저수지 수질에 영향을 끼치고 있으며, '16년에는 저수지 수리시설 개보수 공사가 진행되어 낮은 저수량을 유지하였다.
- 대승지는 수질개선사업지구이며 '10~'12년 기간 동안 사업을 진행하여 현재 운영 중에 있다.(준공 4년차)

[표 11-1-2] 대승저수지 주요시설 제원

소재지	영천시 금호읍 오계리	
설치년도	1992 년	
유역면적	715 ha	
유효저수량	1,619 천m ³	
수해농지	189.7 ha	
만수면적	55.8 ha	
관리주체	한국농어촌공사 영천지사	

11.1.2 수질개선시설 현황

1) 주요대책

- 상류대책 : 유역내 마을하수도 2개소 운영
 - 대곡지구 마을하수도처리시설 : 50m³/d, 고효율접촉폭기법
 - 대곡2지구 마을하수도처리시설 : 48m³/d, 접촉폭기법
- 호내대책 : 수질개선사업('10~'12) 진행
 - 인공습지 2개소, 침강지 1개소, 인공식물섬 1개소, 물순환장치 1기

[표 11-1-3] 대승저수지 수질개선시설 현황

구분	대안	시설	규모	비고
<input type="checkbox"/> 상류대책(영천시 추진)				
1	하수처리시설	대곡마을하수도	50m ³ /d, 고효율접촉폭기법	
2	하수처리시설	대곡2마을하수도	48m ³ /d, 접촉폭기법	
3	관리감독	축분야적시설		
<input type="checkbox"/> 수변대책				
1	평시 유출수 처리	1호 인공습지	36,958m ²	
2	평시 유출수 처리	2호 인공습지	9,809m ²	
<input type="checkbox"/> 호내대책				
1	부유식 순환장치	태양광물순환장치	1개소, 물순환량 54,000m ³ /d	
2	퇴적물제거	호내	48,000m ² (제거량 : 52,800m ³)	
3	평시 및 강우 유출수 처리	침강지	1개소, 14,385m ³	
4	내부생산 저감	인공식물섬	1개소, 500m ²	

- 호내 마름군락이 번성하고 있어 내부 부하량을 감소를 위해서는 수생식물 고사기 이전 식생제거가 필요하다.
- 저수지 만수시 습지 및 침강지 기능이 저하되기 때문에 대승저수지 유지관리 규정을 준수하는 범위 내에서 저수율 적정관리를 통한 주요 대책 시설의 효율을 증대하는 방안이 필요하다.

2) 인공습지

- 인공습지의 설계 유량은 30mm/d 24시간 강우분포율에 의한 홍수유출량을 수질정화 용량(체류시간 12시간, 수심 60cm)으로 결정하였다.
- 인공습지는 2개소로 면적은 4.7ha이고 습지내 침사지 2개소와 깊은 연못이 6개소가 조성되어 용존산소 공급과 수심을 1m 정도 유지시켜서 겨울철에도 수서곤충, 양서류 등 수생태계를 유지할 수 있도록 하였다.
- 인공습지는 유역이 가장 크고, 마을과 기존농경지 등 오염원이 많이 위치하는 3, 4 유역을 대상으로 습지를 조성하였다.

[표 11-1-4] 인공습지 계획유량

구 분	유역 구분	유역면적 (ha)	평균 유입량(m ³ /일)			계획수량 (m ³ /일)	비고
			총유입량	일30mm 미만유입량	마을하수도 유입량		
계		498.88	10,267.52	9,697.89	98	9,697.89	
1호인공습지	4	446.36	8,122.30	7,687.36	98	7,687.36	기본 조사
2호인공습지	3	52.52	2,145.22	2,010.53	-	2,010.53	



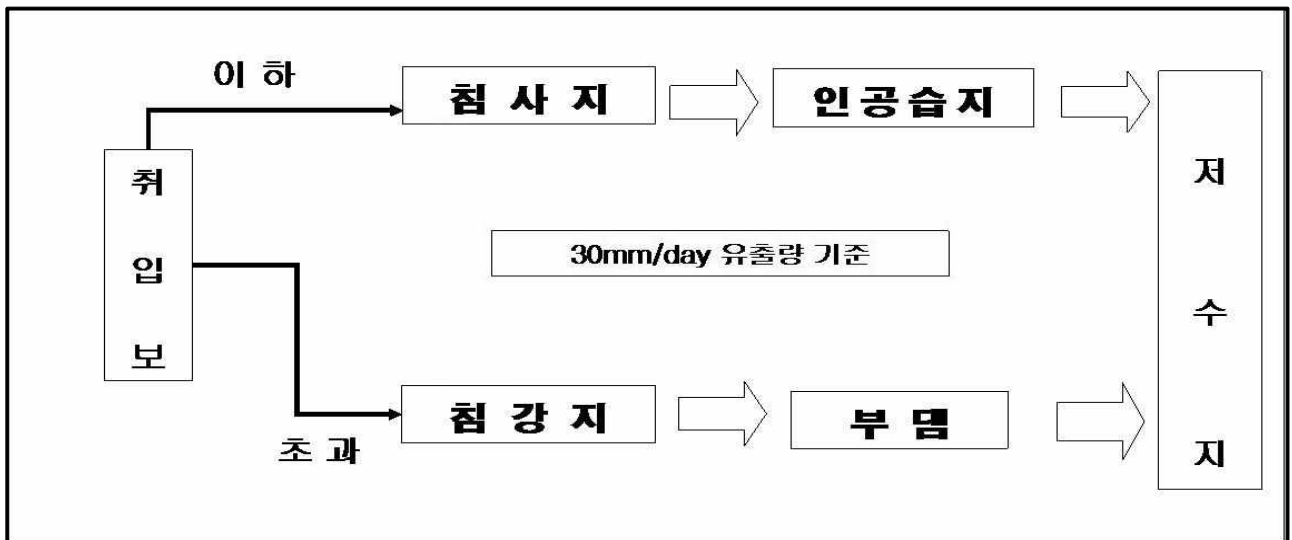
[그림 11-1-2] 대승저수지 유역 구분도

○ 1호 인공습지

- 유역 4의 일 30mm미만 유출시 유하하는 유입유량을 정화처리하기 위해 필요한 1호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 36,958m²으로 계획함. 이중 습지의 면적은 18,281m²으로 계획하였고, 내용적상으로는 7,856m³(인공+연못습지)으로서 유역에서 유출되는 유출량 320.3m³/hr이 습지에서 평균적으로 약 24.5시간 정도 체류하도록 계획하였다.

[표 11-1-5] 1호 인공습지 제원

구 분		규모	계획면적 (㎡)	계획수심 (m)	내용적 (㎡)	비 고
습 지	얕은습지	4개소	14,326	0.30	4,297	
	깊은연못	4개소	3,955	0.90	3,559	
	소 계		18,281		7,856	
기 타	침사지	1개소	1,740	1.00	1,740	
	배출연못	1개소	1,781	1.00	1,781	
	관리도로 및 기타		15,156			
	소 계		18,677		3,521	
합 계			36,958		11,377	기본조사



[그림 11-1-3] 대승지구 수처리계통도



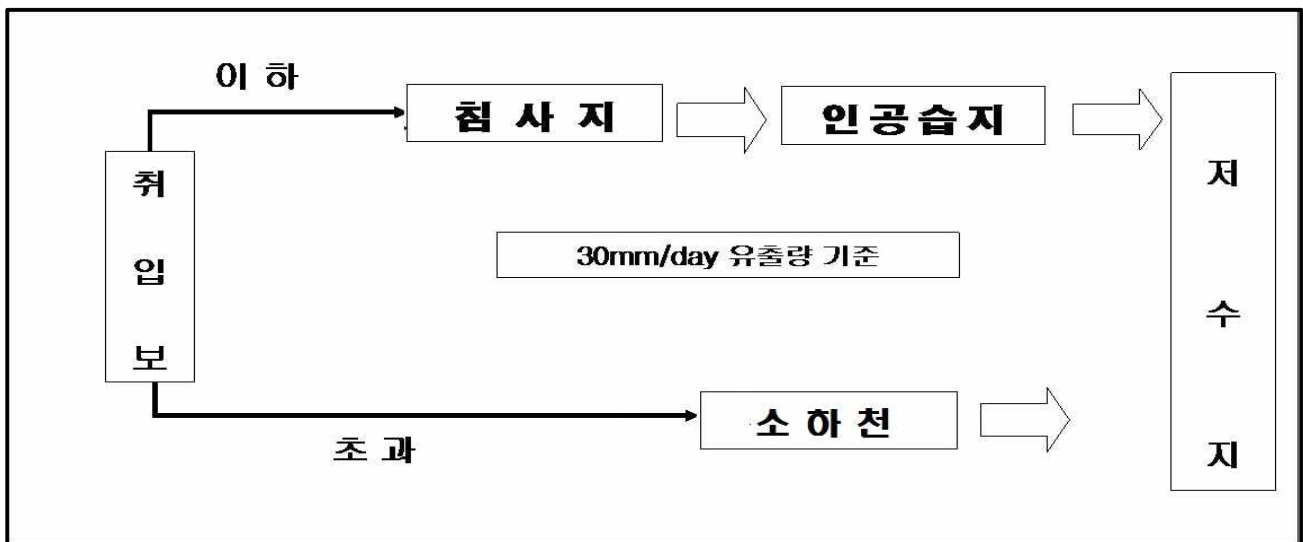
[그림 11-1-4] 1호 인공습지 시설현황

○ 2호 인공습지

- 유역 3, 4의 일30mm미만 유출시 유하하는 유입유량을 정화처리하기 위해 필요한 1호 인공습지 계획면적은 관리도로 등을 포함하여 9,809m²으로 계획함. 이중 습지의 면적은 4,487m²으로 계획하였고, 내용적상으로는 1,951m³(인공+연못습지)으로서 유역에서 유출되는 유출량 83.8m³/hr이 습지에서 평균적으로 약 23.3시간 정도 체류하도록 계획하였다.

[표 11-1-6] 2호 인공습지 제원

구 분		규모	계획면적 (m ²)	계획수심 (m)	내용적 (m ³)	비 고
습 지	얕은습지	2개소	3,476	0.30	1,042	
	깊은연못	2개소	1,011	0.90	909	
	소 계		4,487		1,951	
기 타	침사지	1개소	604	1.00	604	
	배출연못	1개소	345	1.00	345	
	관리도로 및 기타		4,373			
	소 계		5,322		949	
합 계			9,809		2,900	기본조사



[그림 11-1-5] 대승지구 수처리계통도



[그림 11-1-6] 2호 인공습지 시설현황

3) 침강지

○ 호내 대책으로 제 1호 침강지가 운영 중이며, 제2호 침강지는 지방도로 등에 의해 자연적으로 분획, 형성되어 운영된다.

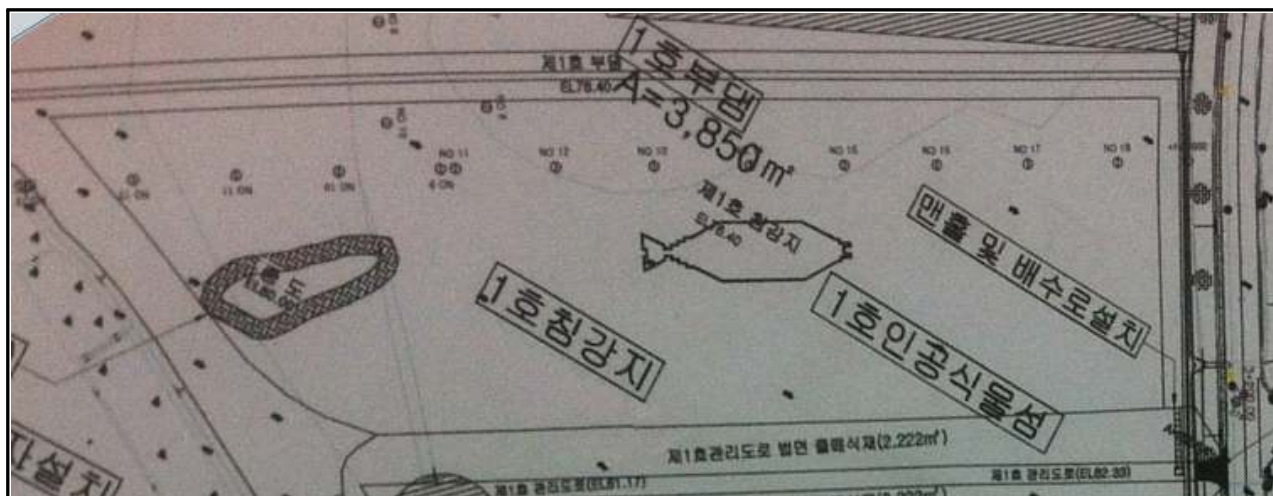
- 1호 침강지 : 26,533m³(14,385m²)

○ 1호 침강지의 계획유량 및 설치제원, 평면도는 [표 11-1-7], [그림 11-1-8]과 같다.

[표 11-1-7] 1호 침강지 제원

구 분	유역		일30mm 초과유입량 (m ³ /일)	계획 수심 (m)	수표 면적 (m ²)	계획 내용적 (m ³)	체류 시간 (hr)	비 고
	유역 구분	면적 (ha)						
1호침강지	4	446.36	52,917	1.8	14,385	26,533	12	기본조사

※ 부댐 제정고 기준



[그림 11-1-7] 1호 침강지 평면도



[그림 11-1-8] 1호 침강지 시설현황

4) 기타 수질개선시설

- 물순환장치 : 호내 1개소(물순환량 54,000m³/d) 설치 및 운영
- 기타 수질개선시설 : 인공식물섬 1개소(0.05ha) 침강지내 설치 운영



[그림 11-1-9] 기타시설 시설현황

11.2. 기상 및 수질환경

11.2.1 기상현황

1) 기온

- 대승저수지와 최근거리의 대구기상대에서 측정된 년도별 기온현황은 [표 11-2-1]과 같으며, 평균 기온 분석결과 금년 11월까지 평균 기온이 15.7 °C로 작년과 마찬가지로 높았다. 또한, 사업시행 후의 월평균 기온 14.1 °C보다 높은 경향을 보였다.

[표 11-2-1] 대승저수지 유역 사업시행 전후 월별 기온 분포 (단위 : °C)

구 분		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	연간
시행전 ('09)	평균기온	0.7	6.4	9.0	15.4	20.9	24.0	24.8	25.5	22.6	17.2	9.1	16.0
시행전 ('10)	평균기온	0.0	3.9	6.9	11.5	19.4	24.8	26.7	28.7	23.3	16.4	8.6	15.5
시행중 ('11)	평균기온	-2.5	4.2	7.0	13.7	18.8	24.3	26.8	26.2	23.0	15.7	11.9	14.3
시행중 ('12)	평균기온	0.8	1.1	7.7	15.1	20.1	23.2	27.5	27.9	21.7	15.8	8.2	15.4
시행후 ('13)	평균기온	-0.1	2.6	9.8	12.3	20.3	24.3	28.7	29.0	23.0	17.2	8.9	15.0
시행후 ('14)	평균기온	1.7	3.5	8.8	14.5	20.2	22.4	26.1	23.8	21.4	15.4	9.4	15.2
시행후 ('15)	평균기온	2.3	3.8	9.2	14.6	21.7	22.9	25.0	26.0	20.6	15.8	11.0	15.7
시행후 ('16)	평균기온	-0.2	3.1	8.8	14.9	20.0	23.4	26.4	27.6	21.9	16.6	10.4	15.7
평년값		0.6	2.9	7.8	14.3	19.1	22.8	25.8	26.4	21.7	15.9	9.0	14.1

2) 강수량

- 대승저수지와 최근거리의 대구기상대에서 측정된 년도별 월별 강수량 현황은 사업 시행전 2009년은 799mm로 최근 30년 평년값(11월까지) 1,049.1mm 에 비해 적은 강우량을 보였고, 사업 시행중인 2011~2012년의 경우 1,139.1~1,420mm로 많은 강우량을 보였으며, 사업준공 후(2013~2016년)의 경우 875~1,182.8mm로 년도별 편차가 심하였다.

[표 11-2-2] 대승저수지 유역 사업시행 전후 월별 강수량 분포

[단위 : mm]

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	연간
시행전 ('09)	7.1	23.5	19.2	21.3	104.4	136.3	338.0	49.5	41.5	25.8	32.4	799.0
시행전 ('10)	15.2	58.1	59.1	63.5	97.5	35.9	247.8	396.0	160.5	41.8	1.7	1,177.1
시행중 ('11)	1.0	64.4	16.5	104.5	156.8	173.0	427.7	253.6	38.5	115.0	69.8	1,420.8
시행중 ('12)	8.1	7.1	82.1	74.4	50.6	85.1	202.5	327.1	241.5	28.1	32.5	1,139.1
시행후 ('13)	17.7	27.3	55.1	60.5	70.5	63.1	249.3	203.0	96.7	107.5	40.0	990.5
시행후 ('14)	1.7	7.0	110.5	105	24.4	28.2	142.6	402.8	110.5	88.6	45.3	1,066.6
시행후 ('15)	24.1	14.6	50.5	82.7	34.7	62.1	157.5	269.5	70.3	38.1	70.9	875.0
시행후 ('16)	23.8	15.5	67.5	151.0	65.0	45.7	307.3	81.2	306.2	111.5	8.1	1,182.8
평년값	20.6	28.2	47.1	62.9	80.0	142.6	224.0	235.9	143.5	33.8	30.5	1,049.1

11.2.2 수질현황

1) 목표수질 설정

- 대승저수지의 수질개선사업을 통한 목표수질, 예측수질, 금년 수질현황, 수질개선 효과 등은 [표 11-2-3]와 같다.
- 대승저수지의 목표 수질은 농업용수 수질환경기준을 만족하는 것으로 설정하였고, 기본조사시 오염원 증감이 없을 경우 수질개선사업 이후 저수지 수질이 COD 7.2 mg/L로 호수 수질 IV등급 이내로 개선 될 것으로 예측되었다.

[표 11-2-3] 대승저수지 목표수질

구 분	목표수질	기본계획수립시 (2007년도)(A)	예측수질 ('08년)	'16년 (B)	수질개선 효과(%)
					(A-B)/A
COD(mg/L)	8.0이하	9.2	7.2	12.4	-34.8
T-N (mg/L)	1.000이하	1.080	0.782	1.175	-8.8
T-P (mg/L)	0.100이하	0.061	0.055	0.039	36.1
수질등급	IV	V	IV	VI	
유해물질	사람의 건강보호에 관한 환경기준 만족				

2) 오염원 현황

- 인공습지 설치 전에 비하여 2014년을 기점으로 인구 및 축산의 변화가 나타났으며, 점오염원 증가에 따른 발생부하량도 증가하여 저수지 수질에 영향을 주고 있다.
- 사업 시행 초기 인구 200여명 대비 사업시행 후 395명으로 증가하였고 규제대상 시설의 증가 등 한우 사육두수도 증가하였으며, 상류지역에 금호대곡공단이 조성되어 이에 따른 토지 이용변화가 나타났다.

[표 11-2-4] 대승저수지 유역내 인구변화 추이

구 분	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
인구(명)	206	205	217	202	395	395	395

[표 11-2-5] 대승저수지 유역내 연도별 축산변화

구 분	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
한우	35	49	69	176	210	210	210

[표 11-2-6] 대승저수지 유역내 연도별 산업계 변화

구 분	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
발생량(m ³ /d)	0	0	0	30	293	293	293

[표 11-2-7] 대승저수지 유역내 지목별 토지이용현황

구 분	2010년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
계	685	685	715	715	715	715
전(ha)	13	13	13	13	74	74
답(ha)	113	113	113	113	120	120
임야(ha)	480	480	480	480	439	439
기타(ha)	79	79	109	109	81	81

3) 오염부하량

- 대승저수지 유역내 오염물질 발생부하량은 [표 11-2-8]과 같으며, 연도별 오염물질 발생부하량 변화는 [표 11-2-9]와 같다.
- 오염물질 발생부하량에 따른 주요오염원을 살펴보면, BOD 오염물질 발생부하량은 생활계가 31.2%, T-N, T-P 발생부하량은 산업계가 각 56.5%, 52.5%로 가장 높아, 유기물질은 생활계가, 영양염류는 산업계가 주요 오염원인 것을 알 수 있다.

[표 11-2-8] 2016년 대승저수지 유역내 발생부하량

(kg/일)

구 분	점 오염원						비점오염원					계	
	생활계 (인)	축산계(두)			산업계 (m ³ /일)	소계	토지현황(ha)				소계		
		한우	젓소	돼지			전	답	임야	기타			
원수	390	210	0	0	293		74	120	439	81			
발 생 부 하 량	BOD	19.1	14.1	0.0	0.0	18.8	52.0	1.2	2.8	4.4	0.8	9.2	61.2
		31.2%	23.0%	0.0%	0.0%	30.7%	84.9%	2.0%	4.6%	7.2%	1.3%	15.1%	100.0%
	T-N	5.1	8.4	0.0	0.0	49.4	62.9	7.0	7.9	9.7	0.0	24.6	87.5
		5.8%	9.6%	0.0%	0.0%	56.5%	71.9%	8.0%	9.0%	11.1%	0.0%	28.1%	100.0%
	T-P	0.6	0.7	0.0	0.0	3.1	4.4	0.2	0.7	0.6	0.0	1.5	5.9
		10.2%	11.9%	0.0%	0.0%	52.5%	74.6%	3.4%	11.9%	10.2%	0.0%	25.5%	100.0%

- 연도별 유역내 오염물질 발생부하량은 사업시행전인 2009년 BOD가 21.0kg/일, T-N 23.4kg/일, T-P 1.9kg/일이었는데, 준공년도인 2012년도에는 BOD가 24.0kg/일, T-N 24.9kg/일, T-P 2.0kg/일로 약간 증가하였고, 인구 및 축산 사육두수의 증가, 공업단지 조성 등으로 2014년 이후 오염물질이 크게 증가하였고, 2015년 BOD가 61.2kg/일, T-N 87.5kg/일, T-P 5.9kg/일로 높아진 이후 금년까지 유지되고 있다.

[표 11-2-9] 대승저수지 유역내 연도별 오염물질 발생부하량

구 분	연도별 발생부하량(kg/일)							
	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
BOD	21.0	20.8	22.0	24.0	31.8	60.9	61.2	61.2
T-N	23.4	23.4	23.9	24.9	35.8	82.3	87.5	87.5
T-P	1.9	1.8	1.9	2.0	2.6	5.8	5.9	5.9

4) 수질현황

- 2016년 대승저수지의 수질현황은 평균 COD가 12.4mg/L로 호소 수질 VI등급, TOC는 7.5mg/L로 V 등급, T-N은 1.175mg/L, T-P는 0.039mg/L로 나타났으며, 농업용수 관리기준을 초과하고 있다.
- 착공년도인 2010년에 비해 오염도가 증가 하였으며, 금년은 수리시설 개보수공사 따른 저수량 저하 지속, 작년부터 이어진 가뭄, 집중호우, 고온현상 등이 수질악화에 영향을 미치고 있다.

[표 11-2-10] 대승저수지 연도별 수질현황

구 분	5개년 평균	'10년 (착공시)	수질 변화						목표년도 ('17년)	목표수질
			'11	'12	'13	'14	'15	'16		
COD	9.5	11.2	10.0	13.4	9.2	9.5	9.5	12.4	8.0	8.0이하
TOC	-	-	6.5	8.6	6.2	6.5	6.8	7.5	6.0	6.0이하
T-N	0.800	0.787	2.406	1.656	1.151	0.980	1.211	1.175	1.000	1.0이하
T-P	0.033	0.033	0.104	0.081	0.054	0.042	0.050	0.039	0.100	0.1이하

11.3. 시설별 수질개선 효과

- 대승지구는 인공습지 2개소, 침강지 1개가 조성되었으며 2호 침강지는 소하천이 침강지 역할을 하고 있다.
- 대승저수지 수질개선시설의 수질개선효과를 분석하기 위하여 ① 1호 침강지 및 인공습지 유입부와 ② 1호 인공습지 유출부, ③ 1호 침강지 유출부를 선정하였으며 ④ 2호 침강지 및 인공습지 유입부와, ⑤ 2호 인공습지 유출부, ⑥ 2호 침강지 유출부 등 총 6지점을 선정하였다.
- 2016년 조사는 총 5차에 걸쳐, 1차 5월 12일, 2차 7월 5일, 3차 8월 24일, 4차 10월 17일에 현장조사를 실시하였고, 강우시 조사는 9월 20일에 실시하였다.

[표 11-3-1] 수질 조사시기

구분	조사횟수	조사일자				
		1차	2차	3차	4차	강우시
수질조사	5회	2016.05.12	2016.07.05	2016.08.24	2016.10.17	2016.9.20



[그림 11-3-1] 대승지구 수질조사 지점

11.3.1 인공습지 수질개선효과

- 사후모니터링 조사는 6월부터 10월까지 총 5회(평시 4회, 강우시 1회)에 걸쳐 인공 습지와 침강지에서 이루어졌다.
- 대승저수지는 제1호 습지는 대곡천에서, 제2호 습지는 염정천에서 취입보를 이용하여, 일정 규격의 각낙판을 활용하여 계획유량을 취수하고 있다.
- 금년의 경우 초여름까지 가뭄과 더불어 평시 취입수량을 조절하는 각낙판의 유실 및 분실이 잦아 유입수량 확보가 어려웠다.
- 인공습지와 침강지의 퇴적특성 분석을 위한 퇴적물 조사는 되지 않았고, 인공습지별 수질조사 결과는 [표 11-3-2, 11-3-3]과 같다.
- 수온 조사결과 제1호 습지의 유입수 평균이 24.4℃인데 유출수는 22.1℃로 낮아졌고, 제2호 습지의 유입수 평균이 23.9℃인데 유출수는 24.1℃로 약간 높아졌다.
- pH 조사결과 제1호 습지의 유입수 평균이 7.2인데 유출수는 7.0으로, 제2호 습지의 유입수 평균이 7.7인데 유출수는 7.0으로 두 시설 모두 습지를 거치면서 pH가 낮아 졌지만 유입, 유출수 모두 농업용수 관리기준을 만족하고 있다.

- EC 조사결과 제1호 습지의 유입수 평균이 303 μ S/cm이며 유출수는 319 μ S/cm로 증가한 반면, 제2호 습지의 유입수 평균이 314 μ S/cm인데 유출수는 289 μ S/cm로 다소 낮아졌고 일정 경향을 보이지 않지만, 두 시설 모두 작물생육에 지장이 없는 700 μ S/cm이하 수준이었다.(캘리포니아대학교 대외 협력국(UCCES) 농업용수 관리 기준지침)
- DO 조사결과 제1호 습지의 유입수 평균이 9.1mg/L이며 유출수는 6.1mg/L로 감소하였으며, 제2호 습지의 유입수 평균이 7.0mg/L에서 유출수는 5.6mg/L로 감소하였다. 이와 같이 두 시설 모두에서 인공습지를 통과하면서 DO농도가 낮아졌는데, 이는 물이 습지를 통과하는 동안 미생물이 오염물질을 분해하면서 용존산소를 소비하기 때문이다. 인공습지를 통과하면서 DO 농도가 낮아지기는 하였으나, 습지 중간에 식물이 자라지 않는 개방구간을 설치하였기 때문에 대기와의 재폭기에 의해 산소가 공급되어 모두 호소의 농업용수 관리기준인 2.0mg/L 이상을 만족하였다.

[표 11-3-2] 대승저수지 1호 인공습지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (°C)	1호 유입수	19.8	21.8	20.2	24.3	23.1	29.3	20.7	24.4	20.4
	1호 유출수	21.2	21.1	19.2	21.3	22.3	26.9	17.8	22.1	19.6
pH	1호 유입수	7.7	7.9	7.9	7.2	7.9	7.4	6.3	7.2	6.6
	1호 유출수	7.7	7.3	7.2	7.1	7.0	7.0	6.7	7.0	6.5
EC (μ S/cm)	1호 유입수	348	380	378	287	256	400	270	303	302
	1호 유출수	373	384	365	269	385	391	229	319	170
DO (mg/L)	1호 유입수	8.8	8.1	8.5	12.2	8.1	8.0	8.0	9.1	7.7
	1호 유출수	7.7	4.6	3.7	8.1	1.7	6.7	7.7	6.1	5.8
SS (mg/L)	1호 유입수	60.1	21.9	27.9	6.5	2.1	5.5	8.8	5.7	10.3
	1호 유출수	11.0	7.4	10.1	8.0	0.7	1.8	3.3	3.5	8.2
COD (mg/L)	1호 유입수	11.8	10.0	10.6	7.0	6.4	7.0	8.2	7.2	7.0
	1호 유출수	13.0	11.6	13.9	16.0	8.2	13.2	13.2	12.7	16.8
TOC (mg/L)	1호 유입수	6.6	6.0	6.5	4.6	5.4	5.1	5.3	5.1	4.9
	1호 유출수	7.9	7.7	9.1	8.3	6.4	8.7	8.3	7.9	8.6
T-N (mg/L)	1호 유입수	4.717	6.025	5.843	5.619	9.891	1.922	5.145	5.644	6.364
	1호 유출수	2.466	2.095	1.606	0.759	3.400	0.807	0.624	1.398	1.003
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.402	0.266	0.238	0.126	0.197	0.187	0.221	0.183	0.138
	1호 유출수	0.124	0.167	0.208	0.225	0.044	0.360	0.266	0.224	0.729

[표 11-3-3] 대승저수지 2호 인공습지 수질변화

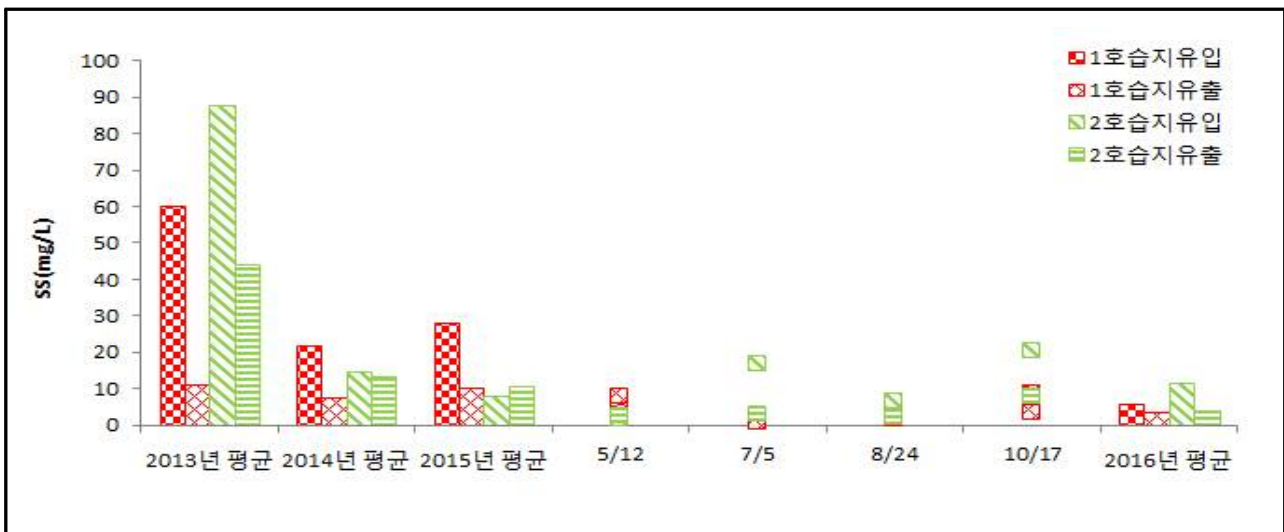
구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (°C)	2호 유입수	22.5	21.4	19.4	23.7	25.9	25.9	20.0	23.9	19.9
	2호 유출수	26.2	22.4	20.0	20.8	25.8	29.5	20.1	24.1	20.3
pH	2호 유입수	7.3	7.5	7.6	8.6	8.0	6.6	7.4	7.7	6.2
	2호 유출수	7.5	7.6	7.7	7.0	7.1	7.4	6.6	7.0	6.3
EC (µS/cm)	2호 유입수	226	281	284	371	306	402	177	314	160
	2호 유출수	246	266	278	369	248	339	200	289	118
DO (mg/L)	2호 유입수	6.2	6.3	6.0	7.2	5.9	6.6	8.3	7.0	7.3
	2호 유출수	8.2	6.8	7.0	4.0	3.2	7.1	8.0	5.6	7.3
SS (mg/L)	2호 유입수	87.7	14.5	8.2	1.8	17.0	6.5	20.4	11.4	6.0
	2호 유출수	44.2	13.5	10.6	2.5	3.0	2.2	7.8	3.9	2.2
COD (mg/L)	2호 유입수	21.8	13.4	13.9	8.0	14.4	11.4	10.0	11.0	10.8
	2호 유출수	15.4	12.8	13.4	8.6	14.4	19.6	14.8	14.4	16.0
TOC (mg/L)	2호 유입수	12.1	8.3	9.1	5.0	9.7	8.8	6.3	7.4	7.0
	2호 유출수	9.1	8.1	8.7	5.5	11.0	12.9	8.2	9.4	10.0
T-N (mg/L)	2호 유입수	4.149	3.748	4.038	2.811	4.660	0.983	2.173	2.657	2.293
	2호 유출수	2.430	2.172	2.094	1.158	5.137	1.105	0.660	2.015	1.247
T-P (mg/L)	2호 유입수	0.409	0.287	0.312	0.165	0.197	0.325	0.191	0.220	0.104
	2호 유출수	0.167	0.120	0.120	0.069	0.132	0.108	0.128	0.109	0.111

[표 11-3-4] 대승저수지 인공습지 정화효율

구 분		13~16 전체평균		13~16년 평상시		13~16년 강우시	
		부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)	부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	1호습지유입	126.2	81.2	24.0	63.9	360.1	83.8
	1호습지유출	23.7		8.6		58.2	
	2호습지유입	104.9	42.9	6.8	-5.4	268.4	44.9
	2호습지유출	59.9		7.2		147.8	
COD (kg/d)	1호습지유입	27.2	-8.4	16.1	-15.0	52.4	-3.8
	1호습지유출	29.5		18.6		54.4	
	2호습지유입	26.2	19.3	8.0	-12.8	56.3	26.9
	2호습지유출	21.1		9.1		41.2	
TOC (kg/d)	1호습지유입	15.5	-17.2	10.5	-14.8	26.9	-19.4
	1호습지유출	18.2		12.1		32.1	
	2호습지유입	14.8	15.4	5.1	-8.5	30.9	22.0
	2호습지유출	12.5		5.6		24.1	
T-N (kg/d)	1호습지유입	13.8	61.4	9.9	57.4	22.7	65.5
	1호습지유출	5.3		4.2		7.8	
	2호습지유입	5.6	32.0	2.1	19.8	11.5	35.6
	2호습지유출	3.8		1.7		7.4	
T-P (kg/d)	1호습지유입	0.9	35.6	0.4	37.6	2.0	34.7
	1호습지유출	0.6		0.3		1.3	
	2호습지유입	0.5	43.2	0.1	42.3	1.0	43.4
	2호습지유출	0.3		0.1		0.5	

※ 15년, 16년 유입유량 미조사로 제외

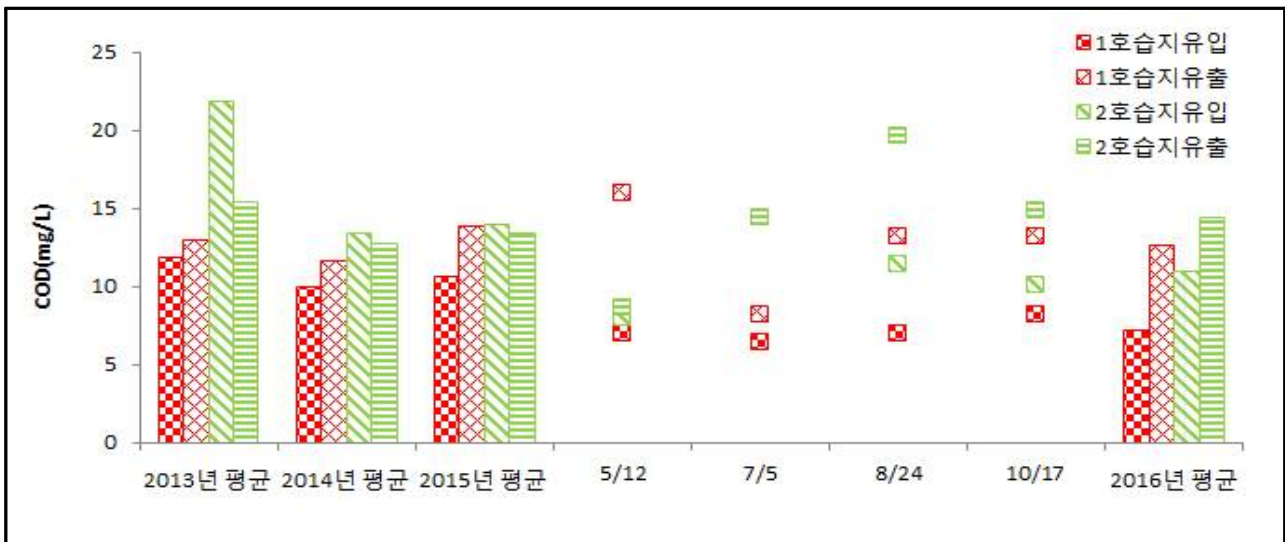
- SS 항목 분석결과 제1호 습지의 유입수 평균이 5.7mg/L이며 유출수는 3.5mg/L로, 제2호 습지의 유입수 평균이 11.4mg/L에서 유출수는 3.9mg/L로 감소하였다. 년차별로도 2013년부터 2016년까지 대부분 유입수에 비해 유출수의 SS 농도가 낮아 정확되는 경향을 보였다.
- 강우시 조사결과 제1호 습지의 유입수는 10.3mg/L이며 유출수는 8.2mg/L로 감소하였으며, 제2호 습지의 유입수는 6.2mg/L에서 유출수는 2.2mg/L로 평상시와 같이 감소하였다.
- SS 정화효율은 1호습지 유입부하량이 126.2kg/d였는데, 유출부하량은 23.7kg/d로 낮아져 81.2%의 매우 높은 정화효율을 보였으며 2호 습지 유입부하량은 104.9kg/d, 유출부하량은 59.9kg/d로 낮아져 평균 42.9%의 정화효율을 나타내었다.
- 이와 같이 인공습지는 침전지에서의 침전, 인공습지에서의 여과작용 및 접촉 침전 등에 의해 SS 성분이 잘 제거되고 있는 것으로 나타났다.



[그림 11-3-2] 대승지구 인공습지 유입수 및 유출수 SS 변화

- COD 항목 분석결과 제1호 습지의 유입수 평균이 7.2mg/L이며 유출수는 12.7mg/L로 증가하였으며, 제2호 습지의 유입수 평균이 11.0mg/L에서 유출수는 14.4mg/L로 증가하였다.
- 강우시 조사결과 제1호 습지의 유입수는 7.0mg/L이며 유출수는 16.8mg/L로 증가하였으며, 제2호 습지의 유입수는 10.8mg/L에서 유출수는 16.0mg/L로 증가하였다.
- COD 정화효율을 살펴보면 1호습지의 유입부하량이 27.2kg/d이고, 유출부하량이 29.5kg/d로써 유출부하량이 높은 것으로 나타나 -8.4%의 정화효율을 보였으며 2호 습지의 유입부하량은 26.2kg/d이고, 유출부하량이 21.1kg/d로 19.3%의 정화효율을 나타내었다.

- 대승저수지 인공습지에서 COD 정화효율이 낮은 것은 저수지 만수시 물이 원활히 흐르지 못하고 정체되어 체류시간이 길어짐에 따라서 물이 식물고사체 등의 영향으로 부패하여 인공습지에서 오히려 수질농도가 높아지는 경우가 있다. 따라서 대승저수지의 수질개선을 위해서는 저수지와 인공습지의 수위관리를 통하여 적절한 체류시간이 확보될 수 있도록 수위를 관리할 필요가 있다.
- 또한, 인공습지 내 갈대 등 식생의 고사체가 인공습지 바닥에 퇴적 또는 식생절취 후 외부반출이 안되어 분해된 것도 하나의 원인인 것으로 판단된다.



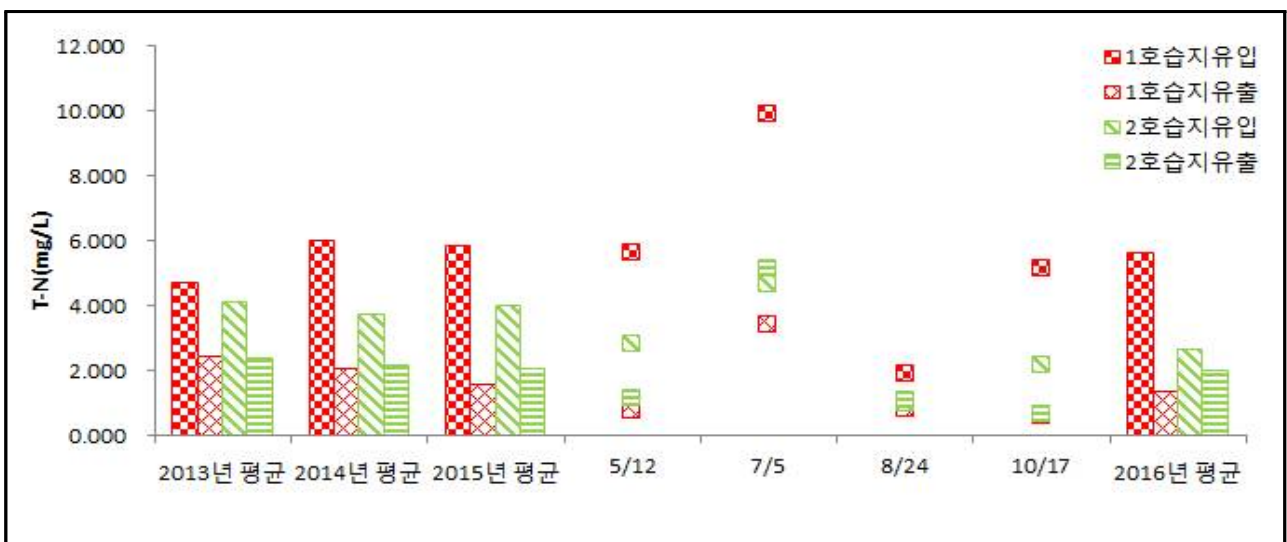
[그림 11-3-3] 대승지구 인공습지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC 항목 분석결과 제1호 습지의 유입수 평균이 5.1mg/L이며 유출수는 7.9mg/L로 증가하였으며, 제2호 습지도 유입수 평균이 7.5mg/L에서 유출수는 9.4mg/L로 증가하였다.
- 강우시 조사결과 제1호 습지의 유입수는 4.9mg/L이며 유출수는 8.6mg/L로 증가하였으며, 제2호 습지의 유입수는 7.0mg/L에서 유출수는 10.0mg/L로 증가하였다.
- TOC 정화효율은 1호습지에서 유입부하량이 15.5kg/d이고, 유출부하량이 18.2kg/d로써 -17.2%의 정화효율을 나타내었고, 2호습지에서 유입부하량이 14.8kg/d이고, 유출부하량이 12.5kg/d로써 15.4%의 정화효율을 나타내었다.
- COD와 마찬가지로 1호 습지에서는 낮은 정화효율, 2호 습지에서는 유기물 개선효과가 나타나지만 강우시를 제외한 평상시에는 모두 낮은 정화효율을 나타내고 있다.



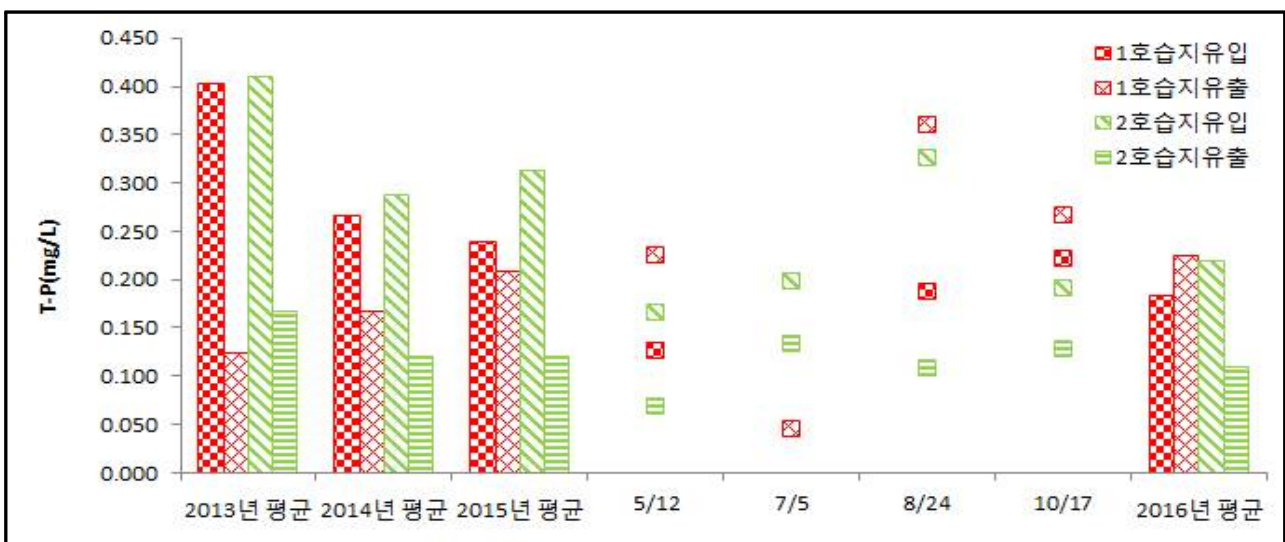
[그림 11-3-4] 대승지구 인공습지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N 항목 분석결과 제1호 습지의 유입수 평균이 5.644mg/L이며 유출수는 1.398mg/L, 제2호 습지의 유입수 평균이 2.657mg/L에서 유출수는 2.015mg/L로 두 시설 모두 습지를 거치면서 T-N농도가 감소하는 것으로 나타났다.
- 강우시 조사결과 제1호 습지의 유입수는 6.364mg/L이며 유출수는 1.003mg/L로 감소, 제2호 습지의 유입수는 2.293mg/L에서 유출수는 1.247mg/L로 평상시와 같이 감소하였다.
- T-N 정화효율은 1호습지 유입부하량이 13.8kg/d였는데, 유출부하량은 5.3kg/d로 낮아져 61.4%의 높은 정화효율을 보였으며 2호 습지 유입부하량은 5.6kg/d, 유출부하량은 3.8kg/d로 낮아져 32.0%의 정화효율을 나타내었다.



[그림 11-3-5] 대승지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P 항목 분석결과 제1호 습지의 유입수 평균이 0.183mg/L이며 유출수는 0.224mg/L로 증가하였으나, 제2호 습지의 유입수 평균이 0.220mg/L에서 유출수는 0.109mg/L로 감소하는 것으로 나타났다.
- 강우시 조사결과 제1호 습지의 유입수는 0.138mg/L이며 유출수는 0.729mg/L로 증가, 제2호 습지의 유입수는 0.104mg/L에서 유출수는 0.111mg/L로 증가하였다.
- T-P 정화효율은 1호습지 유입부하량이 0.9kg/d였는데, 유출부하량은 0.6kg/d로 낮아져 35.6%의 정화효율을 보였으며 2호습지 유입부하량은 0.5kg/d였는데, 유출부하량이 0.3kg/d로 낮아져 43.2%의 정화효율을 보였다.



[그림 11-3-6] 대승지구 인공습지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- 이상과 같이 전체적으로 보면 대승지구 인공습지에서 유기물 정화효율은 매우 낮은 것으로 나타났다. 하지만 유입수의 SS성분의 침강과 입된 T-N과 같은 영양염류는 식생의 흡수로 인해 제거됨으로써 수질정화 효과가 있는 것으로 나타났다.

11.3.2 침강지 수질개선효과

- 대승저수지는 30mm/일 이상의 강수 사상이 발생할 경우 유입하천에서 저수지로 직접 유입되는 수량을 계획 유량으로 하며, 강우가 없는 평시는 습지의 월류 수량이 침강지로 유입된다.
- 수온 조사결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 24.4℃인데 유출수는 21.6℃로 감소, 제2호 침강지의 경우 유입수 평균이 23.9℃인데 유출수는 23.5℃로 약간 낮아졌다.
- pH 조사결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 7.6인데 유출수는 7.4로 감소하였고, 제2호 침강지의 유입수 평균이 7.3인데 유출수는 7.4로 약간 증가하였지만 유입,

유출수 모두 농업용수 관리기준을 만족하고 있다.

- EC 조사결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 324 μ S/cm인데 유출수는 314 μ S/cm로 감소하였으며, 제2호 침강지의 유입수 평균이 293 μ S/cm인데 유출수는 310 μ S/cm로 다소 높아져 일정 경향을 보이지 않았다. 평시나 강우시 두 시설 모두 작물생육에 지장이 없는 700 μ S/cm이하 수준이었다.(캘리포니아대학교 대외 협력국(UCCES) 농업용수 관리기준지침)
- DO 조사결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 9.1mg/L이며 유출수는 8.2mg/L로 감소하였으며, 제2호 침강지의 유입수 평균이 7.0mg/L에서 유출수는 5.4mg/L로 감소하였으나 모두 농업용 관리기준인 2.0mg/L 이상을 유지하고 있었다.

[표 11-3-5] 대승저수지 1호 침강지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (°C)	1호 유입수	19.8	21.8	20.2	24.3	23.1	29.3	20.7	24.4	20.4
	1호 유출수	27.0	23.5	21.6	26.5	26.5	29.8	21.4	21.6	21.3
pH	1호 유입수	7.7	7.9	7.9	8.6	7.9	7.4	6.3	7.6	6.6
	1호 유출수	7.3	8.3	8.2	7.3	7.9	7.4	7.1	7.4	6.5
EC (μ S/cm)	1호 유입수	348	380	378	371	256	400	270	324	302
	1호 유출수	282	305	321	341	341	375	200	314	206
DO (mg/L)	1호 유입수	8.8	8.1	8.5	12.2	8.1	8.0	8.0	9.1	7.7
	1호 유출수	7.0	9.0	9.5	9.6	6.9	6.8	9.5	8.2	8.2
SS (mg/L)	1호 유입수	133.9	21.9	27.9	6.5	2.1	5.5	8.8	5.7	10.3
	1호 유출수	12.8	10.2	11.8	25.3	11.3	8.7	9.6	13.7	8.5
COD (mg/L)	1호 유입수	17.6	10.0	10.6	7.0	6.4	7.0	8.2	7.2	7.0
	1호 유출수	11.9	12.6	13.5	14.0	10.4	21.6	18.5	16.1	11.0
TOC (mg/L)	1호 유입수	9.0	6.0	6.5	4.6	5.4	5.1	5.3	5.1	4.9
	1호 유출수	7.7	7.4	7.7	7.4	7.0	11.3	8.0	8.4	6.9
T-N (mg/L)	1호 유입수	6.467	6.025	5.843	5.619	9.891	1.922	5.145	5.644	6.364
	1호 유출수	1.030	2.208	3.518	1.286	3.755	1.035	1.533	1.902	3.602
T-P (mg/L)	1호 유입수	0.800	0.266	0.238	0.126	0.197	0.187	0.221	0.183	0.138
	1호 유출수	0.092	0.143	0.206	0.058	0.164	0.142	0.099	0.116	0.206

[표 11-3-6] 대승저수지 2호 침강지 수질변화

구 분		'13년	'14년	'15년	'16년 평상시 및 강우시					
		평균	평균	평균	1차	2차	3차	4차	평균	강우
수온 (°C)	2호 유입수	22.5	19.4	19.4	23.7	25.9	25.9	20.0	23.9	19.9
	2호 유출수	23.6	22.9	21.1	21.7	23.3	28.4	20.6	23.5	21.1
pH	2호 유입수	7.3	7.5	7.6	7.2	8.0	6.6	7.4	7.3	6.2
	2호 유출수	7.2	7.7	7.8	8.1	6.8	7.1	7.7	7.4	6.3
EC (µS/cm)	2호 유입수	226	281	284	287	306	402	177	293	160
	2호 유출수	137	326	328	310	307	423	200	310	154
DO (mg/L)	2호 유입수	6.2	6.3	6.0	7.2	5.9	6.6	8.3	7.0	7.3
	2호 유출수	5.0	7.2	6.7	7.0	2.8	5.8	6.1	5.4	6.6
SS (mg/L)	2호 유입수	124.3	14.5	8.2	1.8	17.0	6.5	20.4	11.4	6.0
	2호 유출수	65.7	22.2	14.5	5.0	5.8	13.2	13.2	9.3	10.2
COD (mg/L)	2호 유입수	24.1	13.4	13.9	8.0	14.4	11.4	10.0	11.0	10.8
	2호 유출수	19.9	13.0	12.4	9.0	11.6	13.6	15.2	12.4	13.6
TOC (mg/L)	2호 유입수	13.2	8.3	9.1	5.0	9.7	8.8	6.3	7.4	7.0
	2호 유출수	11.8	7.8	7.9	5.00	9.62	10.00	7.44	8.0	8.1
T-N (mg/L)	2호 유입수	4.568	3.748	4.038	2.811	4.660	0.983	2.173	2.657	2.293
	2호 유출수	4.150	2.518	2.204	0.487	4.799	0.743	1.247	1.819	2.299
T-P (mg/L)	2호 유입수	0.394	0.287	0.312	0.165	0.197	0.325	0.191	0.220	0.104
	2호 유출수	0.263	0.134	0.127	0.093	0.085	0.089	0.097	0.091	0.097

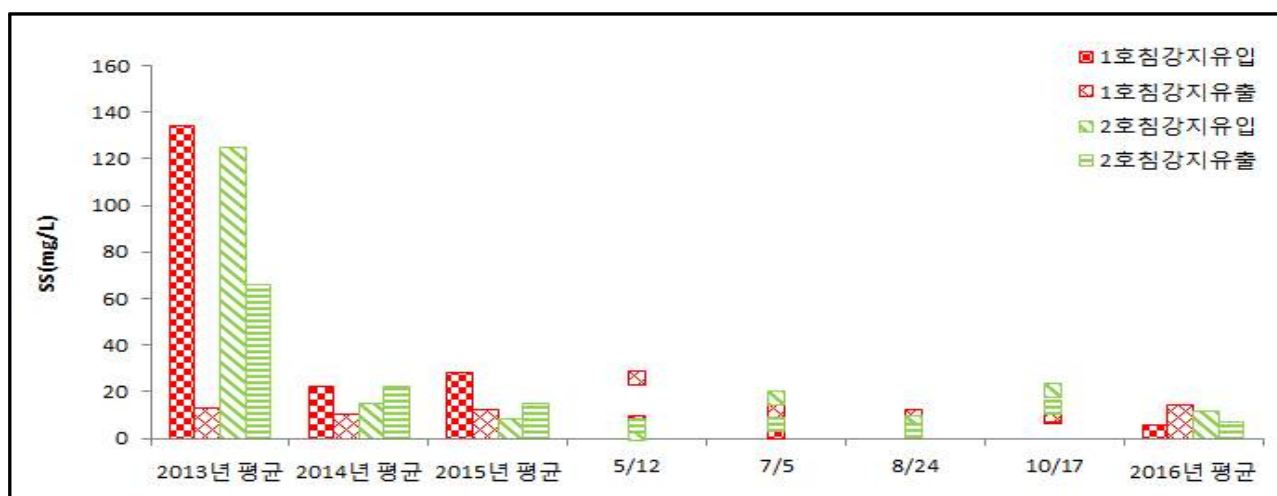
[표 11-3-7] 대승저수지 1호 침강지 정화효율

구 분		'13년~'16년 강우시 평균	
		부하량	정화효율 (%)
SS (kg/d)	1호침강지 유입	16,550.4	91.9
	1호침강지 유출	1,341.2	
COD (kg/d)	1호침강지 유입	1,654.3	41.0
	1호침강지 유출	975.9	
TOC (kg/d)	1호침강지 유입	753.7	19.0
	1호침강지 유출	610.8	
T-N (kg/d)	1호침강지 유입	610.2	84.6
	1호침강지 유출	94.0	
T-P (kg/d)	1호침강지 유입	72.1	87.5
	1호침강지 유출	9.0	

[표 11-3-8] 대승저수지 2호 침강지 정화효율

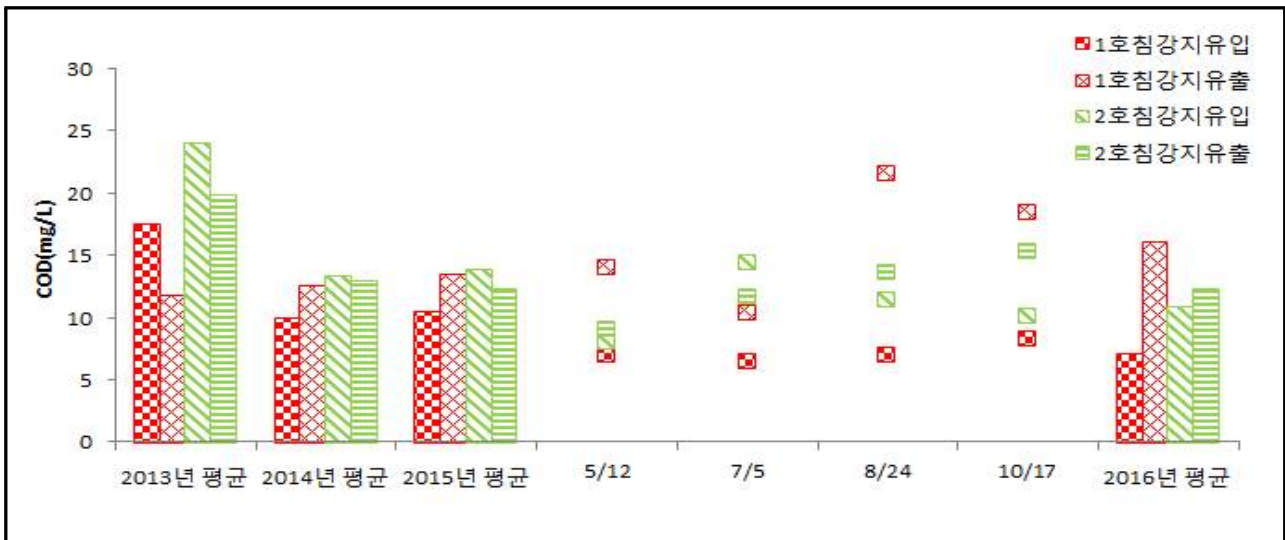
구 분		'13년~'16년 강우시 평균	
		부하량	정화효율(%)
SS (kg/d)	2호침강지 유입	2,828.4	12.2
	2호침강지 유출	2,482.1	
COD (kg/d)	2호침강지 유입	578.3	0.8
	2호침강지 유출	573.5	
TOC (kg/d)	2호침강지 유입	308.0	0
	2호침강지 유출	308.0	
T-N (kg/d)	2호침강지 유입	122.6	-1.0
	2호침강지 유출	123.9	
T-P (kg/d)	2호침강지 유입	10.2	2.9
	2호침강지 유출	9.9	

- SS 항목 분석결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 5.7mg/L이며 유출수는 13.7mg/L로 증가하였고, 제2호 침강지의 유입수 평균이 11.4mg/L에서 유출수는 9.3mg/L로 감소하였다.
- 강우시 조사결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 10.3mg/L이며 유출수는 8.5mg/L로 감소하였고, 제2호 침강지의 유입수 평균이 6.0mg/L에서 유출수는 10.2mg/L로 증가하였다.
- 강우시 1호 침강지의 SS 정화효율은 유입부하량이 16,550.4kg/d였는데, 유출부하량은 1,314.2kg/d로 낮아져 91.9%가 감소하였으며 2호 침강지에서는 유입량이 2,828.4 kg/d에서 유출량이 2,482.1kg/d로 낮아져 12.2%의 정화효율을 나타내었다.
- 오염물질의 침전을 위해 인공적으로 만들어진 1호 침강지와 지방도로 등에 의해 자연적으로 분획, 형성되어 침강지의 역할을 하고 있는 2호 침강지의 SS 정화효율은 일정한 경향성을 나타내지 못하고 있다.



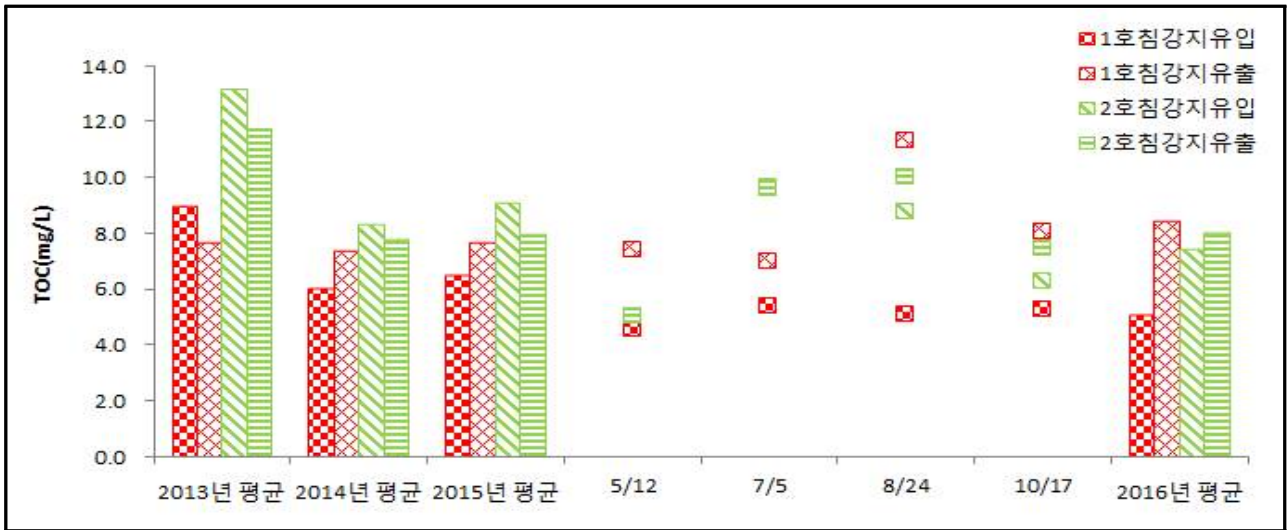
[그림 11-3-7] 대승지구 침강지 유입수 및 유출수 SS 변화

- COD 항목 분석결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 7.2mg/L이며 유출수는 16.1mg/L로 증가하였고, 제2호 침강지의 유입수 평균이 11.0mg/L에서 유출수는 12.4mg/L로 증가하였다.
- 강우시 조사결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 7.0mg/L이며 유출수는 11.0mg/L로 증가하였고, 제2호 침강지의 유입수 평균이 10.8mg/L에서 유출수는 13.6mg/L로 증가하였다.
- 강우시 1호 침강지의 COD 정화효율은 유입부하량이 1,654.3kg/d였는데, 유출량부하량은 975.9kg/d로 낮아져 41.0%가 감소하였으며 2호 침강지에서는 유입량이 578.3kg/d에서 유출량이 573.5kg/d로 낮아져 0.8%의 정화효율을 나타내었다.
- 침강지의 COD 정화효율이 낮은 것은 유입수량 부족으로 침강지에 장기간 체류한 유입수가 내부생산량 증가 등의 이유로 유출수의 COD 농도가 높아진 것으로 판단된다.



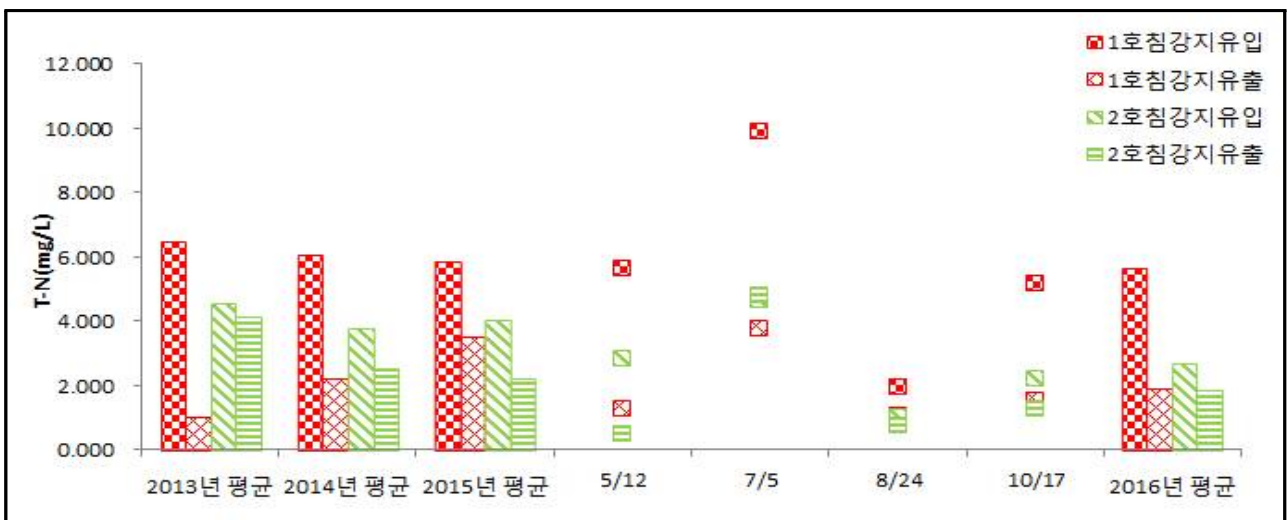
[그림 11-3-8] 대승지구 침강지 유입수 및 유출수 COD 변화

- TOC 항목 분석결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 5.1mg/L이며 유출수는 8.4mg/L로 증가하였으며, 제2호 침강지의 유입수 평균이 7.4mg/L에서 유출수는 8.0mg/L로 증가하였다.
- 강우시 조사결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 4.9mg/L이며 유출수는 6.9mg/L로 증가하였고, 제2호 침강지의 유입수 평균이 7.0mg/L에서 유출수는 8.1mg/L로 증가하였다.
- 강우시 1호 침강지의 TOC 정화효율은 유입부하량이 753.7kg/d였는데, 유출부하량은 610.8kg/d로 낮아져 19.0%가 감소하였으며 2호 침강지에서는 유입량과 유출량이 모두 308kg/d로 차이가 없었다.
- 유기물 성분의 침강지 내 정화효율이 낮은 것은 장기간 체류한 유입수가 내부생산량 증가 등의 이유로 농도가 증가하기 때문인 것을 판단된다.



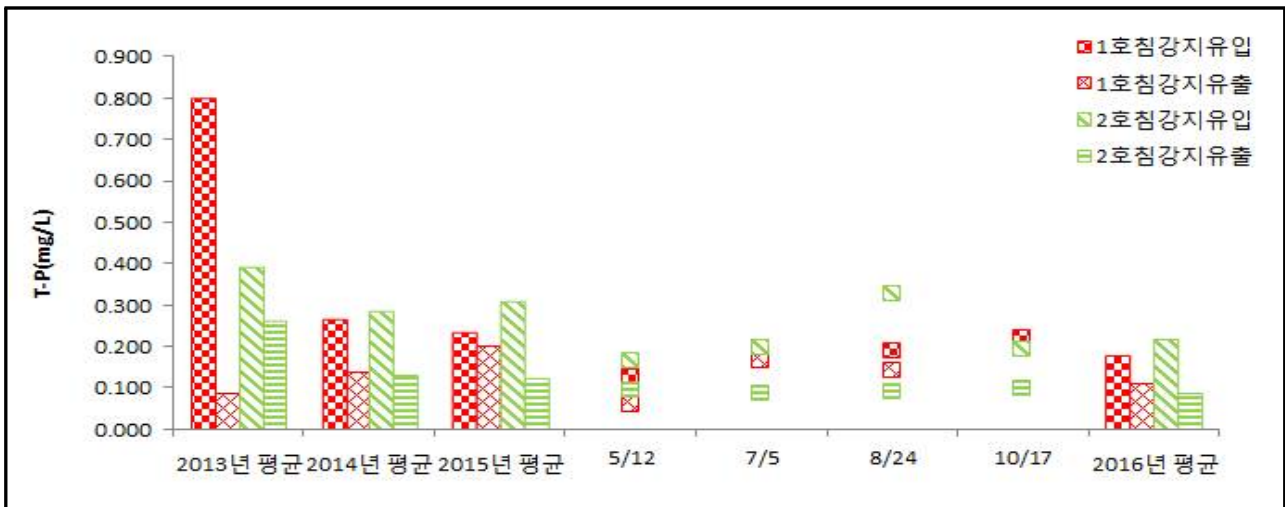
[그림 11-3-9] 대승지구 침강지 유입수 및 유출수 TOC 변화

- T-N 항목 분석결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 5.644mg/L이며 유출수는 1.902mg/L로 감소하였으며, 제2호 침강지의 유입수 평균이 2.657mg/L에서 유출수는 1.819mg/L로 감소하였다.
- 강우시 조사결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 6.364mg/L이며 유출수는 3.602mg/L로 크게 감소하였고, 제2호 침강지의 유입수 평균이 2.293mg/L에서 유출수는 2.299mg/L로 조금 증가하였다. 매년 침강지에서의 T-N 항목 정화 효과가 나타나고 있는 것으로 조사되었다.
- 강우시 1호 침강지의 T-N 정화효율은 유입부하량이 610.2kg/d였는데, 유출량 부하량은 94.0kg/d로 낮아져 84.6%가 감소하였으며 2호 침강지에서는 유입량이 122.6kg/d에서 유출량이 123.9kg/d로 다소 높아졌지만 큰 차이가 없었다.



[그림 11-3-10] 대승지구 침강지 유입수 및 유출수 T-N 변화

- T-P 항목 분석결과 제1호 침강지의 유입수 평균이 0.183mg/L이며 유출수는 0.116mg/L로 감소하였으며, 제2호 침강지의 유입수 평균이 0.220mg/L에서 유출수는 0.091mg/L로 감소하였다.
- 강우시 조사결과 T-P농도가 제1호 침강지의 유입수 0.138mg/L이며 유출수는 0.206mg/L로 증가하였으며, 제2호 침강지의 유입수가 0.104mg/L에서 유출수는 0.097mg/L로 감소하였다.
- 강우시 1호 침강지의 T-P 정화효율은 유입부하량이 72.1kg/d였는데, 유출부하량은 9.0kg/d로 낮아져 87.5%가 감소하였으며 2호 침강지에서는 유입량이 10.2kg/d에서 유출량이 9.9kg/d로 낮아져 2.9%의 정화효율을 나타내었다.
- 금년 강우시 유출수에서 일시적인 T-P 증가현상을 보였지만 매년 침강지에서의 T-P 항목 정화 효과가 나타나는 것으로 조사되었다.



[그림 11-3-11] 대승지구 침강지 유입수 및 유출수 T-P 변화

- 이상과 같이 전체적으로 보면 대승지구 침강지에서는 입자상물질과 T-N, T-P의 제거효율은 높은 것으로 나타났으며 장기간 퇴적된 오염물질의 주기적인 제거를 통해서 침강지의 기능이 유지될 수 있게 관리해야 한다.

11.4. 저수지 수질변화 및 개선효과

- 현재 대승저수지 수질개선사업 운영 4년차로 준공년도인 2012년 BOD 발생부하량 24.0kg/일에서 2016년 61.2kg/일로 크게 증가하였다.
- 대승저수지의 수질변화를 살펴보면 COD농도는 2012년 13.4mg/L, 2013년 9.2mg/L, 2014년 9.5mg/L, 2015년 9.5mg/L로 점차 개선되는 경향을 보였으나, 작년부터 이어진

가뭄과 개보수공사로 인한 저수율 감소로 2016년 COD 농도가 12.4mg/L로 다소 높게 나타났다.

- TOC 농도 또한 준공년도인 2012년에 8.6mg/L, 2013년 6.2mg/L, 2014년 6.5mg/L, 2015년 6.8mg/L로 개선되는 경향을 보였으나, 2016년 7.5mg/L로 다소 높게 나타났다.
- 대승저수지의 수질개선 목표는 '17년 COD 8.0 mg/L을 목표로 하였지만 수질개선 사업 시행 후 오염원의 증가, 가뭄, 고온현상 등의 이상기온으로 인해 수질악화가 지속되고 있다. 향후 지자체와의 협력을 통한 상류대책마련, 수질개선시설 적정 운영 등 다양한 노력이 필요하다.
- 대승저수지의 저수율은 2012년도 66.6%로 가장 낮았으며 금년에는 71.8%를 나타내었다.



[그림 11-4-1] 대승지구 유역 연도별 BOD발생부하량 및 COD, TOC농도 변화

[표 11-4-1] 대승저수지 월별 저수율 현황

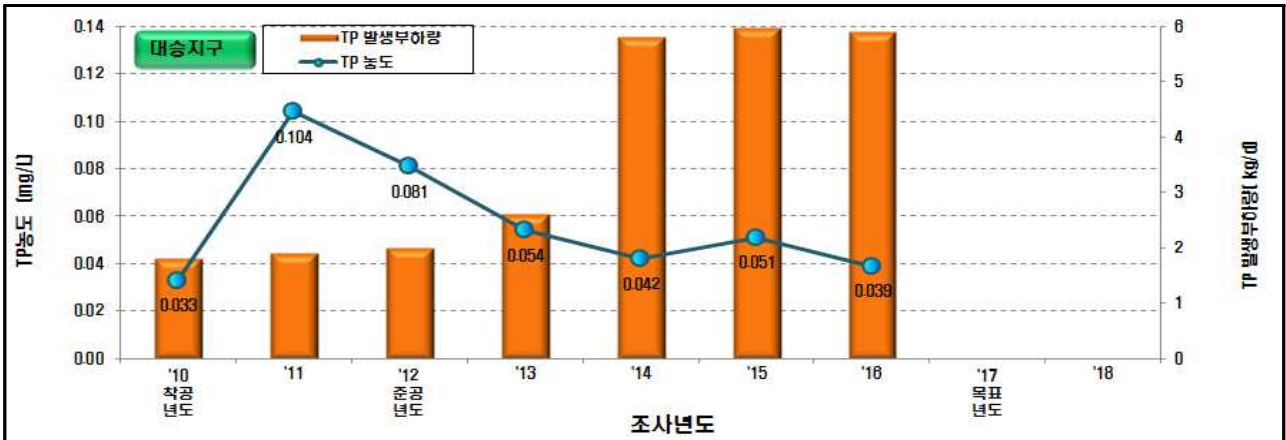
구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	평균
저수율 (%)	74.7	71.1	66.8	67.5	66.7	57.1	68.7	59.7	88.7	91.1	79.6	72.0

- 대승저수지의 준공년도인 2012년 T-N 발생부하량 24.9kg/일에서 2016년 87.5kg/일로 크게 증가하였음에도 불구하고, 대승저수지의 T-N 농도가 2012년 1.656mg/L, 2013년 1.151mg/L, 2014년 0.980mg/L, 2015년 1.241mg/L, 2016년 1.175mg/L로 점차 안정화 되는 경향을 나타내고 있다.



[그림 11-4-2] 대승지구 유역 연도별 T-N발생부하량 및 T-N농도 변화

- 대승저수지의 준공년도인 2012년 T-P 발생부하량 2.0kg/일에서 2016년 5.9kg/일로 크게 증가하였음에도 불구하고 대승저수지의 T-P농도가 2012년 0.081mg/L, 2013년 0.054mg/L, 2014년 0.042mg/L, 2015년 0.051mg/L, 2016년 0.039mg/L로 점차 개선되는 경향을 보였다.



[그림 11-4-3] 대승지구 유역 연도별 T-P발생부하량 및 T-P농도 변화

- 저수지 유역은 2013년 오염원의 증가 이후로 큰 변동은 없으나 저수지와 인접한 하수미처리구역인 호남리의 마을하수처리시설 설치가 연기되어 지속적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.
- 대승지 유역내 경작지의 대부분이 포도밭으로 이용되고 있어 영농시 퇴비 및 비료 성분의 강우 시 유출로 수질에 영향을 미치고 있어 시비 조절 등 계도가 필요하며, 하수미처리구역인 호남리 일대에 소규모 하수도 정비와 하수처리시설 운영이 필요한 상황이다.
- 하절기 호내 마름 군락이 저수지 수면의 50%이상을 점유하는 상황이며, 고사기 내부 부하량 크게 상승시켜 하절기 수생식물 제거도 필요하다.

- 대승저수지의 목표년도(2017년)의 목표수질 COD 8.0mg/L, TOC 6.0mg/L, T-N 1.000mg/L, T-P 0.100mg/L를 달성하기 위해 인공습지 식생의 정기적 제거, 인입 수로의 적정관리, 호내 수생식물제거, 저수지 준설, 유역내 하수처리구역 확대 등 다각적인 노력이 필요하다.

11.5. 현장적용성 향상 및 유지관리 방안

- 제1호 인공습지 및 제2호 인공습지내 식생의 과도한 밀집과 고사로 유출수에 대한 악영향을 미친것으로 판단되어 정기적인 식생제거가 필요한 것으로 판단된다.
- 제1호 습지 유입부의 각낙판의 잦은 유실로 적정 유입 수량 유지하기 어려웠으며 고정시설물로 교체가 필요하다.
- 수질개선사업지구 점검 시 지적사항으로 침사지 준설, 습지의 식생관리 문제가 대두된바 식생의 주기적인 절취와 절취된 식생의 습지밖 이동, 침사지와 배출연못에 대한 준설 등이 필요하며 금년도 침사지의 준설과 식생절취는 12월에 시행하였다.
- 저수지 만수 시 제1호 습지의 배출연못 및 2호 습지 또한 침수되어 인공습지의 유량흐름이 없었으므로 저수지 유지관리 규정을 참고하여, 관개에 영향이 없을 정도로 저수율을 관리를 하여 항상 물이 흐를 수 있도록 유지관리 노력이 필요하며, 설계 시 시설 위치 선정 및 배치에 대한 깊은 고려가 필요하다.

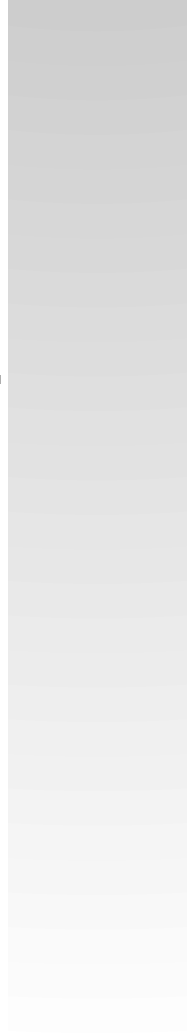
11.6. 결 론

- 운영 4년차인 대승지구의 4개년간('13~'16년) 1호 인공습지 수질정화효율은 SS 81.2%, COD - 8.4%, TOC - 17.2%, T-N 61.4%, T-P 35.6%을 나타냈으며 2호 인공습지는 SS 42.9%, COD 19.3%, TOC 15.4%, T-N 32.0%, T-P 43.2%를 나타냈다.
- 이상에서 유기물지표 보다는 입자성물질인 SS와 영양염류 지표인 T-N, T-P에서 높은 정화효율을 보였으며 2호습지에서 항목별 고른 정화효율을 나타내었다.
- 대승저수지의 COD는 작년과 비교하여 다소 상승하였으며 극심한 가뭄과 개보수 공사로 인한 저수율 저하로 물순환율이 저하와 정체현상에 따른 내부생산성 증대가 수질악화에 영향을 미친것으로 판단된다.

- 저수지 만수 시 제1호 습지 일부와 제2호 습지가 계획수위 이상으로 상승하여 물의 흐름이 원활하지 못해 정화효율이 낮아 질수 있으므로 세심한 수위관리가 필요하다.
- 또한 습지의 식생절취는 주기적으로 이루어지고 있지만 절취 후 식생의 습지 밖 이동 등이 이루어져 습지내에서 식생이 부패하는 2차적인 오염현상이 일어나지 않게 관리해야할 것이다.
- 또한, 수질개선 협업체계 구축을 통한 지자체와의 상류 오염원의 감축, 환경기초 시설 설치 노력도 병행되어야 수질이 개선될 수 있다고 판단된다.

12. 지구별

모니터링 결과



감 돈 지 구

- 위치 : 전라남도 무안군 몽탄면(저수량 1,667천m³, 수혜면적 384ha)
- 정화시설 : 지표흐름습지 2개소(4.5ha), 침강지 2개소(4.1ha), 폭기분수 1식
- 준공년도 : 2003년(목표연도 2008년)
- 수질정화시설 정화효율

- 지표흐름습지 : TOC -16.1%, TN 40.6%, TP 31.1%

- 침 강 지 : TOC 23.2%, TN 45.7%, TP 67.3%

⇒ 습지의 경우 '15년 고도화사업* 이후 정화식물 활착 및 성장 부진으로 여과·침전에 의한 유기물의 정화효율이 낮게 나타남.
침강지는 양호한 정화효율을 보임

* 습지표토제거 및 식생정비사업 등

- 저수지 수질변화 : 가뭄에 따른 유입수 감소 및 상류 유역 오염원 증가 등 외부 환경변화에도 불구하고, 농업용수 수질관리기준 IV등급 (TOC 6mg/L 이하) 이내의 안정적 수질상태를 보이고 있음

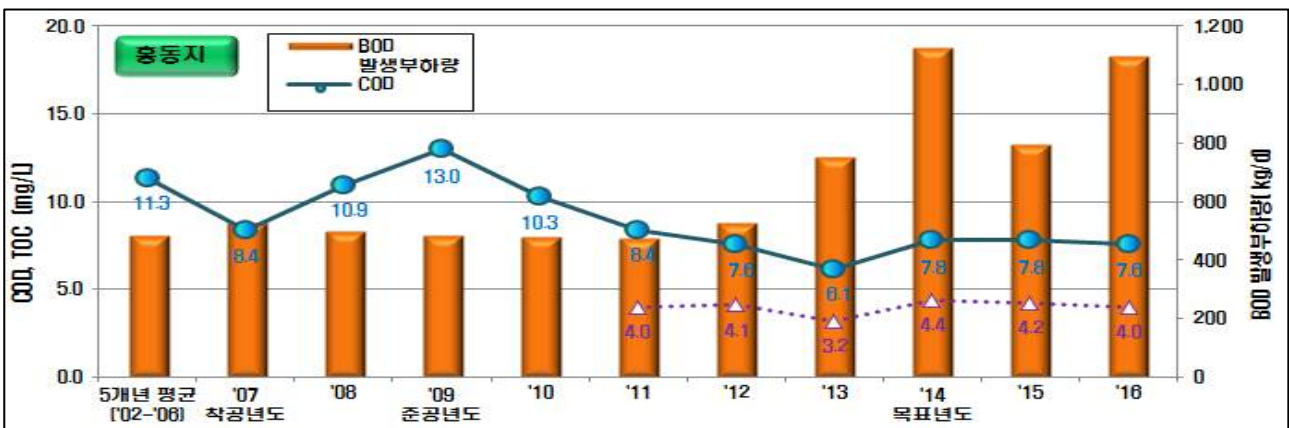


- 유지관리 개선방안

- 고도화사업 이후 정화식물 성장을 위해 적정 수위 및 식생관리 필요
- 습지내 안정적 용수공급을 위한 양수시설 및 침강지 녹조발생 억제를 위한 인 저감시설 등의 적정 운영 필요

홍 동 지 구

- 위치 : 충청남도 홍성군 장곡면(저수량 1,054천㎥, 수혜면적 235ha)
- 정화시설: 지표흐름습지 3개소(5.3ha), 침강지 3개소(3.9ha), 인공식물섬 1개소(400㎡)
 - ※ 정화시설 중 1개소는 지하흐름습지가 포함된 조합형 습지
- 준공년도 : 2009년(목표연도 2014년)
- 수질정화시설 정화효율
 - 지표흐름습지 : TOC -42.0%, TN 66.4%, TP -184.6%
 - 고효율습지 : TOC 5.6%, TN 15.0%, TP 28.4%
 - 침 강 지 : TOC 39.8%, TN 74.1%, TP 85.2%
- ⇒ 준공 7년차로 지표흐름습지는 유입토사 및 고사체 축적 등으로 정화효율이 낮게 나타남. '16년 11~12월 수질개선시설 고도화사업*을 시행하였으며, 추후 개선시설의 효율 향상이 기대됨
- * 퇴적토 제거(습지, 침강지)와 습지 구획화, 고효율습지 정비 등
- 저수지 수질변화 : 가뭄 및 상류 오염부하량 증가 등 외부 환경변화에도 목표수질을 만족하는 안정적인 수질을 보임



- 유지관리 개선방안
 - 식생 안정화 및 3호 습지 유입부 토사의 주기적 처리 등 습지의 정상 운영을 위한 지속적인 유지관리 필요
 - 상류 오염원 유입 저감을 위한 인 저감시설의 지속 운영 필요

개 천 지 구

- 위치 : 경상북도 의성군 안계면(저수량 1,187천m³, 수혜면적 795ha)
- 정화시설 : 지표흐름습지 2개소(3.9ha), 침강지 2개소(3.0ha), 인공식물섬 2개소(692m²), 물순환장치 1식
 - ※ 수질정화습지 중 1개소는 유입하천의 물을 양수하여 습지에 유입시킴
- 준공년도 : 2009년(목표연도 2014년)
- 수질정화시설 정화효율
 - 지표흐름습지 : TOC -18.0%, TN 28.4%, TP 4.5%
 - 침 강 지 : TOC 5.7%, TN 30.4%, TP 37.3%

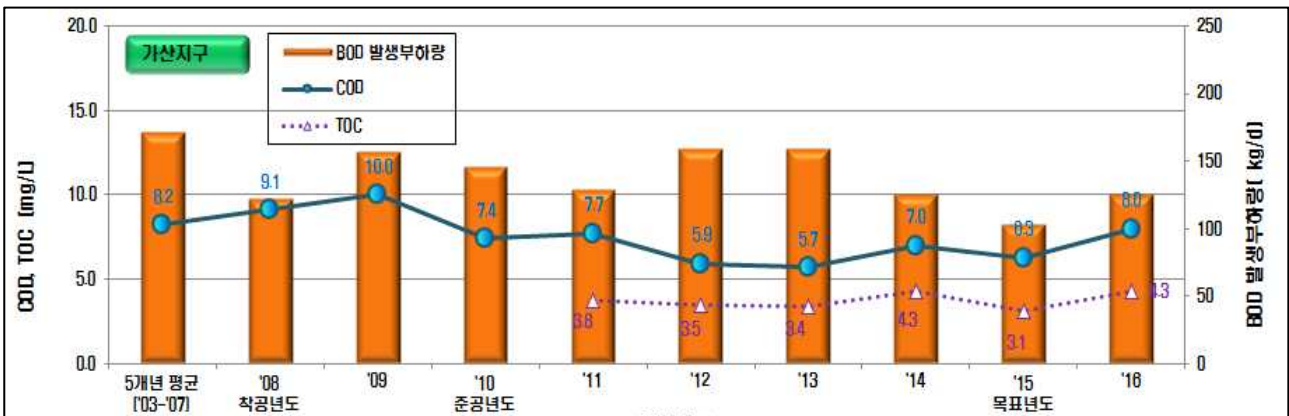
⇒ '15년부터 이어진 가뭄 및 집중호우로 유입량 부족과 고농도 비점 오염물질 일시유입 등 수질개선시설의 정상 운영 곤란. 또한 습지내 식생의 과밀성장과 사멸에 따른 2차 오염으로 유기물의 정화효율이 낮게 나타남
- 저수지 수질변화 : TOC 기준 '12년 이후 지속적인 수질 개선 추세를 보이고 있으나, 농업용수 수질관리기준 IV등급(6mg/L 이하)을 다소 초과하고 있음



- 유지관리 개선방안
 - 저수지 본체 양수 등 지표흐름습지의 원활한 운영을 위한 유입수 확보 대책 수립 필요
 - 식생의 주기적 절취로 고사 등에 따른 2차 수질오염 사전 방지 필요

가 산 지 구

- 위치 : 경상남도 밀양시 부북면(저수량 3,394천㎥, 수해면적 682ha)
- 정화시설 : 지표흐름습지 2개소(2.0ha), 침강지 2개소(1.1ha), 인공식물섬 2개소(500㎡), 물순환장치 2식
- 준공년도 : 2010년(목표연도 2015년)
- 수질정화시설 정화효율
 - 지표흐름습지 : TOC -31.5%, TN 33.8%, TP 8.0%
 - 침 강 지 : TOC 35.8%, TN 40.4%, TP 70.0%
 ⇒ 유입수 수질은 양호하지만, 유입수 부족으로 습지내 체류시간이 길어지고 내부부하량 증가, 식물체 고사 등으로 유기물의 정화효율이 낮게 나타남
- 저수지 수질변화 : 준공 이후 지속적으로 목표수질 만족



- 유지관리 개선방안
 - 1호 습지의 안정적 유량 공급을 위해 양수시설 설치 등 갈수기 용수 공급 방안 마련 필요
 - 습지내 식생에 대한 주기적 관리(절취 및 반출) 계획 마련 필요

월 천 지구

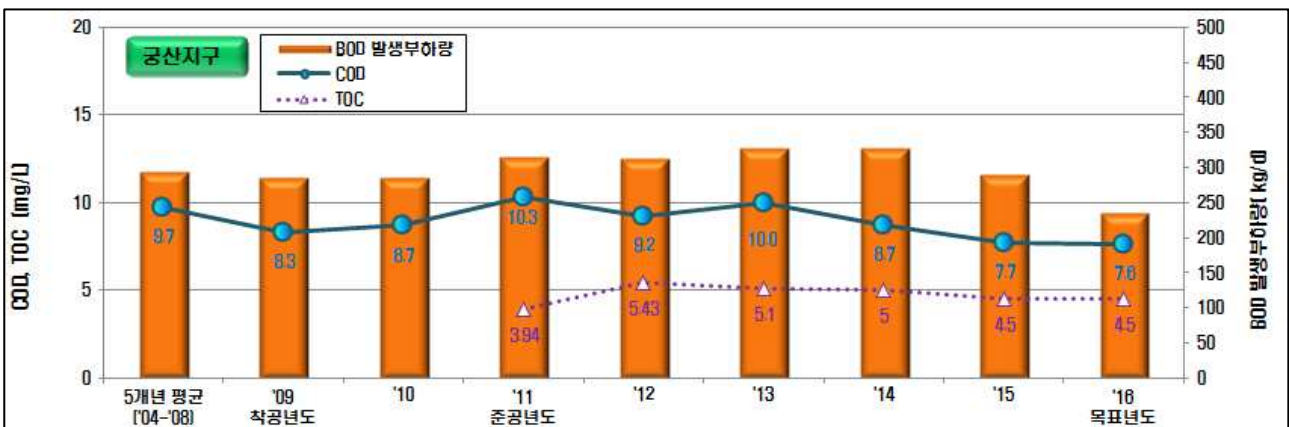
- 위치 : 전라남도 함평군 손불면(저수량 2,204천㎥, 수해면적 356ha)
- 정화시설 : 지표흐름습지 1개소(2.4ha), 침강지 1개소(1.1ha), 인공식물섬 1개소(500㎡), 물순환장치 1식
- 준공년도 : 2011년(목표연도 2016년)
- 수질정화시설 정화효율
 - 지표흐름습지 : TOC -59.9%, TN 65.7%, TP 69.3%
 - 침 강 지 : TOC -5.6%, TN 0.3%, TP -11.1%
- ⇒ '16년 식생활착 관계로 취입보를 미운영하여 습지의 정상적 운영이 불가능하였고, 침강지내 내부생산량 증가로 정화효율이 낮게 나타남. 그러나 '16년 시설보수 및 갈대식재가 완료됨에 따라 '17년부터는 정화효과가 향상될 것으로 예상됨
- ⇒ 침강지의 경우 폭이 좁은 형태로 빠른 유속으로 인해 오염물질의 침전제거 효과가 낮은 것으로 조사됨
- 저수지 수질변화 : 수질개선시설(취입보) 미운영으로 목표수질을 초과함



- 유지관리 개선방안
 - '16년 추가 식재한 정화식물의 적정 성장을 위해 지속적인 수위관리 필요
 - 인공습지 취입부는 하절기 폭우로 사질토 및 협잡물이 다량 유입되고 있어 정기적인 점검 및 제거작업 필요
 - 침강지내 유속감소 방지 및 체류시간 증가를 위한 준설 검토 필요

공 산 지 구

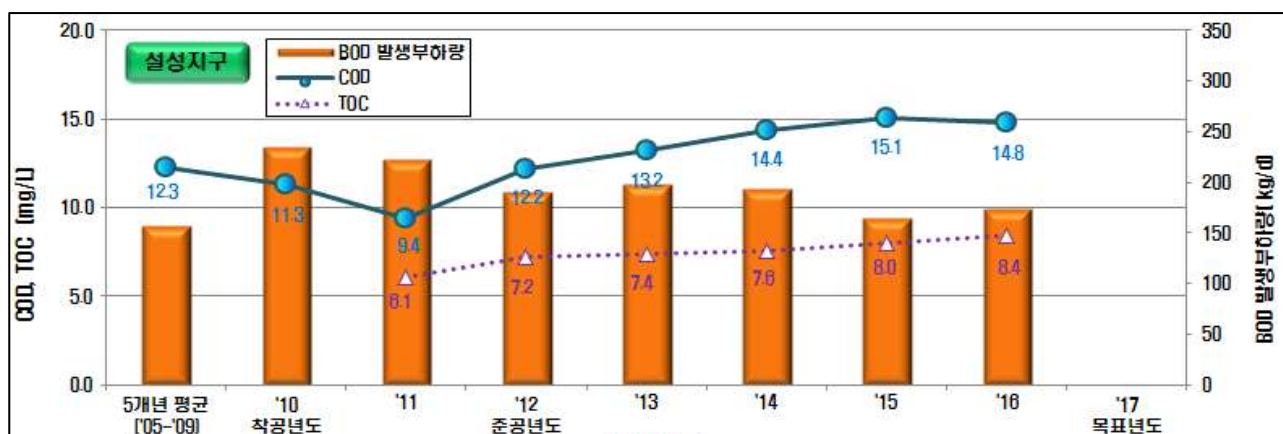
- 위치 : 전라북도 고창군 심원면(저수량 2,210천㎥, 수혜면적 260ha)
- 정화시설 : 지표흐름습지 2개소(7.4ha), 침강지 2개소(3.9ha), 인공식물섬 2개소(1,000㎡)
- 준공년도 : 2011년(목표연도 2016년)
- 수질정화시설 정화효율
 - 지표흐름습지 : (1호) TOC 0.3%, TN 47.7%, TP 74.0%
(2호) TOC -23.9%, TN 48.6%, TP -17.8%
 - 침 강 지 : (1호) TOC -40.2%, TN 8.9%, TP -33.5%
(2호) TOC 0.8%, TN 22.4%, TP 57.5%
- ⇒ '15년부터 이어진 가뭄으로 습지 유입수량 부족 및 체류시간 증가로 습지 효율 감소. 침강지 횡단면 부족으로 유속증가, 재부유 등으로 정화효율이 일부 낮게 나타남
- 저수지 수질변화 : 수질개선시설 준공 이후 지속적으로 개선되고 있으며, 목표연도('16년) 농업용수 수질관리기준 IV 등급을 만족함



- 유지관리 개선방안
 - 습지내 쓰레기 유입 차단 및 과밀성장 식생의 주기적 제거 필요
* 취입구 스크린 설치 및 식생 절취 완료('16년 말)
 - 상류부 침수 민원이 발생하지 않도록 세심한 취입보 운영 필요

설 성 지 구

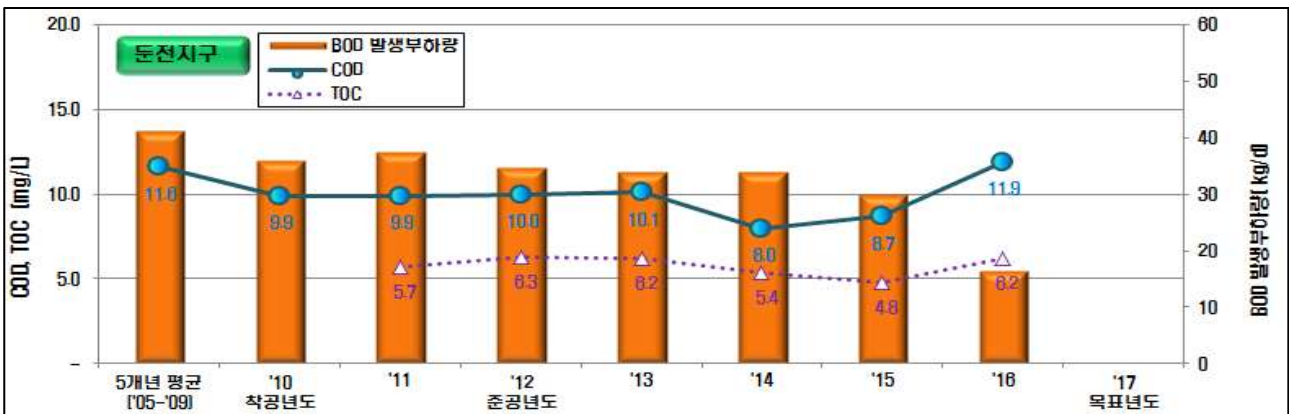
- 위치 : 경기도 이천시 설성면 장천리(저수량 858천^m³, 수혜면적 340ha)
- 정화시설 : 지표흐름습지 4개소(2.2ha), 침강지 3개소(1.2ha), 인공식물섬 3개소(1,100^m²)
- 준공년도 : 2012년(목표연도 2017년)
- 수질정화시설 정화효율
 - 지표흐름습지 : (1호) TOC 8.8%, TN 44.9%, TP 1.9%
 - 침 강 지 : (1호) TOC -0.5%, TN 18.8%, TP 47.3%
- ⇒ '14년부터 이어진 가뭄으로 인공습지 및 침강지로의 유입수가 거의 없어 체류시간 증가 및 습지내 정화식물 고사 등으로 유기물 정화효율이 상대적으로 낮게 나타남
- * '16년 강수량 부족으로 강우시 조사 미 실시
- 저수지 수질변화 : 수년간 지속된 가뭄으로 유입량 급감과 체류시간 증가로 인한 내부생산량 증가 등으로 농업용수 수질관리기준 IV등급을 초과하고 있음



- 유지관리 개선방안
 - 인공습지의 안정적 운영 및 효율 개선을 위해서는 갈수기 유량 공급을 위한 양수시설 설치가 필요
 - 습지내 주기적 식생제거 및 침사지 퇴적토 제거 등의 유지관리 필요

둔 전 지 구

- 위치 : 전라남도 진도군 고군면 오류리(저수량 1,316천^m₃, 수해면적 228ha)
- 정화시설 : 지표흐름습지 2개소(1.9ha), 침강지 1개소(2.0ha), 인공식물섬 1개소(500^m₂), 물순환장치 6기
- 준공년도 : 2012년(목표연도 2017년)
- 수질정화시설 정화효율
 - 지표흐름습지 : TOC 1.1%, TN 75.2%, TP 63.5%
 - 침 강 지 : TOC -31.5%, TN 77.8%, TP -302.0%
 ⇒ 유입하천의 수질이 양호*하여, 습지에 의한 정화효율이 상대적으로 낮게 나타남
- * '16년 평균 TOC 2.2mg/L, T-P 0.1mg/L
- 저수지 수질변화 : 연도별 BOD 발생부하량은 점차 감소하는 추세이나, 저수지 전면적에 걸친 마름 번성과 사멸 반복으로 수질개선 효과가 미미한 것으로 판단됨



- 유지관리 개선방안
 - 1호 습지내 일부구간의 정화식물 활착을 위해 적정 수위관리 필요
 - 호내 수생식물(마름) 번성(수면적의 95% 이상)으로 고사시 수질에 악영향을 주므로 마름 제거 대책 추진 필요

성 암 지 구

- 위치 : 충남 서산시 음암면 탑곡리(저수량 3,157천m³, 수혜면적 624ha)
- 정화시설 : 지표흐름습지 2개소(3.8ha), 고효율습지 1개소(1,141m²),
침강지 2개소(4.6ha), 인공식물섬 2개소(1,000m²)

* 마을하수 방류수 정화용 고효율 습지 설치

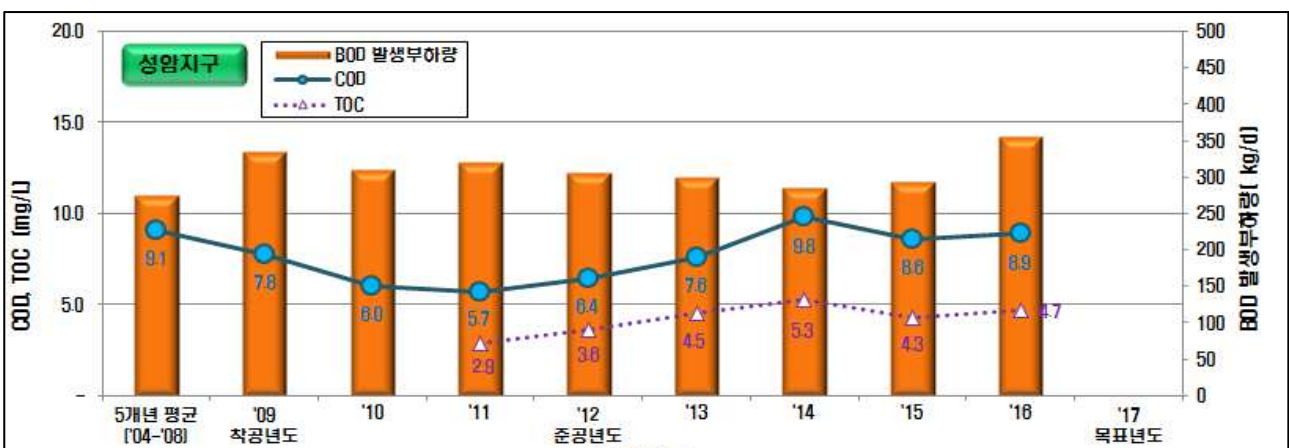
- 준공년도 : 2012년(목표연도 2017년)

- 수질정화시설 정화효율

- 지표흐름습지 : TOC -27.0%, TN 38.7%, TP 28.7%
- 지하흐름습지 : TOC 7.1%, TN 12.6%, TP -3.5%
- 침 강 지 : TOC 8.1%, TN 0.1%, TP 3.1%

⇒ 수년간 지속되고 있는 충남지역 가뭄으로 습지내 안정적인 유입수 공급이 이뤄지지 않아 정화효율이 낮게 나타남. 또한 침강지 유입수량 부족으로 강우시 오염물질 저감효과가 가시적으로 관측되지 않음

- 저수지 수질변화 : 농업용수 수질관리 기준은 만족하나(TOC) 지속된 가뭄으로 인한 물순환율 감소로 수질악화 경향 지속

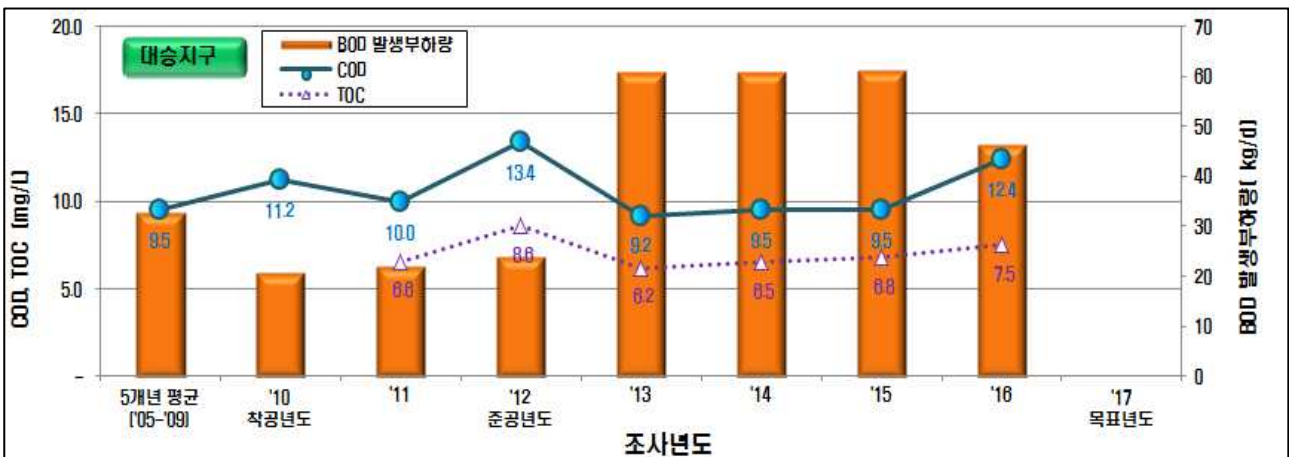


- 유지관리 개선방안

- 인공습지로 유입된 물이 수로형식으로 흐르지 않고 인공습지 전단면을 통하여 유하되도록 관리 필요
- 인공습지 정화효율 안정화를 위해 갈수기 침강지 혹은 호내수를 양수하여 습지에서 재처리하는 방안 강구 필요

대 승 지 구

- 위치 : 경상북도 영천시 금호읍 오계리(저수량 1,704천m³, 수혜면적 190ha)
- 정화시설 : 지표흐름습지 2개소(4.7ha), 침강지 1개소(1.4ha),
 인공식물섬 1개소(500m²)
- 준공년도 : 2012년(목표연도 2017년)
- 수질정화시설 정화효율
 - 지표흐름습지 : TOC -17.2%, TN 61.4%, TP 35.6%
 - 침 강 지 : TOC 19.0%, TN 84.6%, TP 87.5%
 ⇒ 지속된 가뭄으로 인한 습지 유입수량 불안정, 식생 밀식성장고사 등으로 유기물의 정화효율이 낮게 나타남
- 저수지 수질변화 : 극심한 가뭄과 개보수 공사로 저수율 저하로 물 순환율이 저하와 정체현상에 따른 내부생산성 증대가 수질악화에 영향을 미친것으로 판단됨



- 유지관리 개선방안
 - 저수지 만수위시 2호 습지가 계획수위 이상으로 상승하여 습지내 물 흐름이 원활하지 못하므로 세심한 수위관리 필요
 - 각낙관 유실 방지를 위해 고정시설물 설치, 과밀 식생에 대한 절취 및 침사지·배출연못 준설 등 체계적 관리 필요

▣ 참고문헌

1. 김형중, 2010, 농업용수 수질개선을 위한 인공습지공법, 농어촌과 환경, 109호
2. 농림부, 2004a, 농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계·관리 요령
3. 농림부, 2004b, 농업용수 수질개선 시험연구(최종)
4. 농림부, 2007a, 가산지구 농업용수 수질개선사업 기본조사보고서
5. 농림부, 2007b, 개천지구 농업용수 수질개선사업 기본조사보고서
6. 농림부, 2005, 흥동지구 농업용수 수지개선사업 기본계획
7. 한국농촌공사, 2007, 농업용수 수질개선 조사·설계 매뉴얼
8. 환경부, 2008, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼
9. 농림수산식품부, 2010a, 감돈지구 농업용수 수질개선 시범사업 사후조사 보고서
10. 농림수산식품부, 2010b, 담수호 수질개선시험조사 및 실용화 보고서
11. 농림수산식품부, 2010c, 흥동지구 농업용수수질개선사업 사후모니터링조사 보고서
12. 농림수산식품부, 2010d, 개천지구 농업용수 수질개선사업 사후모니터링조사보고서
13. 농림수산식품부, 2012, 농업용수 수질개선지구 사후모니터링 보고서
14. 농림축산식품부, 2013, 농업용수 수질개선지구 사후모니터링 보고서
15. 농림축산식품부, 2014, 농업용수 수질개선지구 사후모니터링 보고서
16. 농림축산식품부, 2015, 농업용수 수질개선지구 사후모니터링 보고서
17. 박우하, 2009, 인공습지 갈대관리, <http://blog.naver.com/sihwawetland/20066157407>
18. 박유미, 이의행, 이상재, 안광국, 2009, 탑정저수지의 부영양화 특성 및 주요 변수 간의 상호관계, 한국하천호수학회지 42(3): 382-393
19. 변명섭, 박혜경, 정동일, 2006, 대형수생식물이 팔당호의 물질 수지에 미치는 영향, 한국하천호수학회지 39(1), 85-92.
20. 양형재, 김병익, 2006, 주암호의 수질변화 및 COD 및 Chl-a 농도의 상관관계 분석, 대한환경공학회지 28(12): 1331-1336.
21. 장정렬, 최선화, 남귀숙, 권순국, 2005, 농업용 저수지내 침강지의 설치유형에 따른 수질정화효율 평가, 한국수자원학회 논문집, 38(8): 665-674.
22. 전라남도, 2002, 주암호 인공습지시설 기본계획 및 실시설계보고서
23. 전지홍, 윤춘경, 함중화, 김호일, 황순진, 2002, 농업용 저수지의 수질항목간의 상관관계 조사, 한국농공학회지 44(3): 136-145

24. Andersson, J. L., Bastviken, S. K., and Tonderski, K. S., 2005, Free water surface wetlands for wastewater treatment in Sweden: nitrogen and phosphorus removal. *Wat, Sci. Tech.* 51(9), pp.39-46
25. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, 2000, *Constructed Wetlands for Pollution Control-Processes, Performance, Design and Operation-*, Scientific and Technical Report, 156 : p.2000
26. George Tchobanogious, Edward. D. Schroeder, 1985, 환경공학
27. 荻野 激, 遠藤 祐司, 高橋 良, 2008, 人工濕地を用いた重金属含有酸性廢水の處理について, 日本 北海道立地質研究所

▣ 참여자 명단

소 속	직 위	성 명	담당업무
한국농어촌공사 환경사업처	처 장	최강원	업무총괄
	부 장	김완중	지도·점검
	차 장	김상현	지도·점검
	과 장	최철관	지도·점검
한국농어촌공사 경기지역본부	과 장	박종수	현장조사 및 결과분석
한국농어촌공사 충남지역본부	과 장	김홍건	현장조사 및 결과분석
한국농어촌공사 전북지역본부	과 장	윤상현	현장조사 및 결과분석
한국농어촌공사 전남지역본부	대 리	김태훈	현장조사 및 결과분석
한국농어촌공사 경북지역본부	대 리	이 동 건	현장조사 및 결과분석
한국농어촌공사 경남지역본부	과 장	김미숙	현장조사 및 결과분석

2016년 농업용수 수질개선사업 사후모니터링 보고서

발 행 일 : 2016년 12월

발 행 처 : **한국농어촌공사**
www.ekr.or.kr
전라남도 나주시 그린로 20

편 집 : 한국농어촌공사 환경사업처

인 쇄 처 : 선비전(주)
광주광역시 북구 양산제로 137번길 40-32
T. 062-233-0375 F. 062-225-0375

본서의 무단전제 및 복제행위를 금합니다.

