

현안과제 연구

남원천 비점오염원 저감을 위한 효과적인 인공습지 조성방안 수립

의뢰기관 : 당진시(환경정책과)

연구자 : 환경생태연구부 오 혜 정

목 차

1. 현황 분석	1
2. 비점오염원 정의 및 특성	4
1) 비점오염원 특성	4
2) 비점오염원 종류	5
3) 비점오염원 발생특성 조사	5
3. 비점오염저감시설 선정	9
1) 비점오염저감시설 선정시 고려사항	9
2) 비점오염저감방법 선정	1
4. 인공습지 조성 방안	12
1) 인공습지 기능 및 공법	2
2) 인공습지 국내·외 사례	15
3) 남원천 인공습지 용량 및 위치 선정	12
5. 남원천 인공습지 수질개선 예상 효과	24
1) 문헌의 처리효율 조사	2
2) 인공습지로 인한 삭감부하량	2

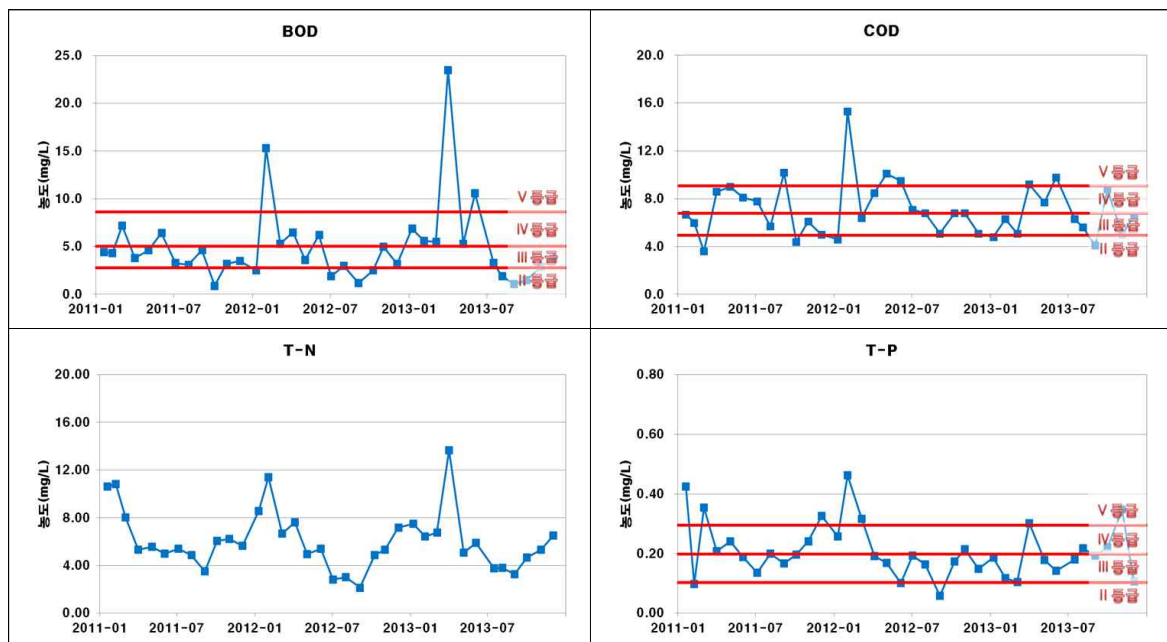
표 차례

<표 1> 점오염원과 비점오염원의 비교	5
<표 2> 토지이용별 비점오염 발생원	5
<표 3> 강우유출수 농도와 공공처리시설 방류수 농도 비교	8
<표 4> 비점오염시설 선정시 고려사항	9
<표 5> 비점오염시설 선정시 고려사항(계속)	10
<표 6> 비점오염저감시설 구분	11
<표 7> 인공습지 구간별 기능	21
<표 8> 인공습지 공법 비교	31
<표 9> 인공습지 공법 비교(계속)	41
<표 10> 국외 인공습지 조성 사례	81
<표 11> 국외 인공습지 조성 사례(계속)	91
<표 12> 국외 인공습지 조성 사례(계속)	102
<표 13> 도시 및 농촌지역 적용대상 비점오염물질저감시설 및 효율	142
<표 14> 비점오염저감시설 처리 효율	52
<표 15> 비점오염저감시설 처리 효율	52
<표 16> 비점오염저감시설 처리 효율	62
<표 17> Performance data for a northern-climate CW treating septic tank effluent	26
<표 18> Summary of North American treatment wetland database operational performance	27
<표 19> Average treatment wetland performance for removal of BOD ₅ , TSS, NH ₄ -N, TN in the Livestock Wastewater Treatment Wetland Database	27
<표 20> Watland Water Qualtiy, West Jacson Co., Ms	28
<표 21> BOD & TSS Removal for Ouray, CO	82
<표 22> 인공습지 저감효율	82
<표 23> 남원천 유역의 유황	92
<표 24> 연중 운영시 인공습지 삭감부하량	103
<표 25> 설계기준에 따른 강우처리비 산정시 적용계수	13
<표 26> 강우처리비에 따른 삭감대상부하비 산정시 적용계수	13
<표 27> 강우처리비 및 삭감대상부하비	13
<표 28> 강우시 인공습지 삭감부하량	23

그림 차례

(그림 1) 2011년~2013년 남원천 수질 변화	1
(그림 2) 남원천 월별 수질변화(2011년~2013년 평균)	2
(그림 3) 남원천 유역의 배출부하량(2011년 기준)	3
(그림 4) 일반적인 인공습지 시스템	31
(그림 5) 시화호 인공습지	51
(그림 6) 운정지구 인공습지	61
(그림 7) 주암호 유역 인공습지	61
(그림 8) 동북호 유역 인공습지	71
(그림 9) 대청댐 유역 인공습지	81
(그림 10) 남원천 인공습지 위치 선정 - 1안	3 2
(그림 11) 남원천 인공습지 위치 선정 - 2안	3 2

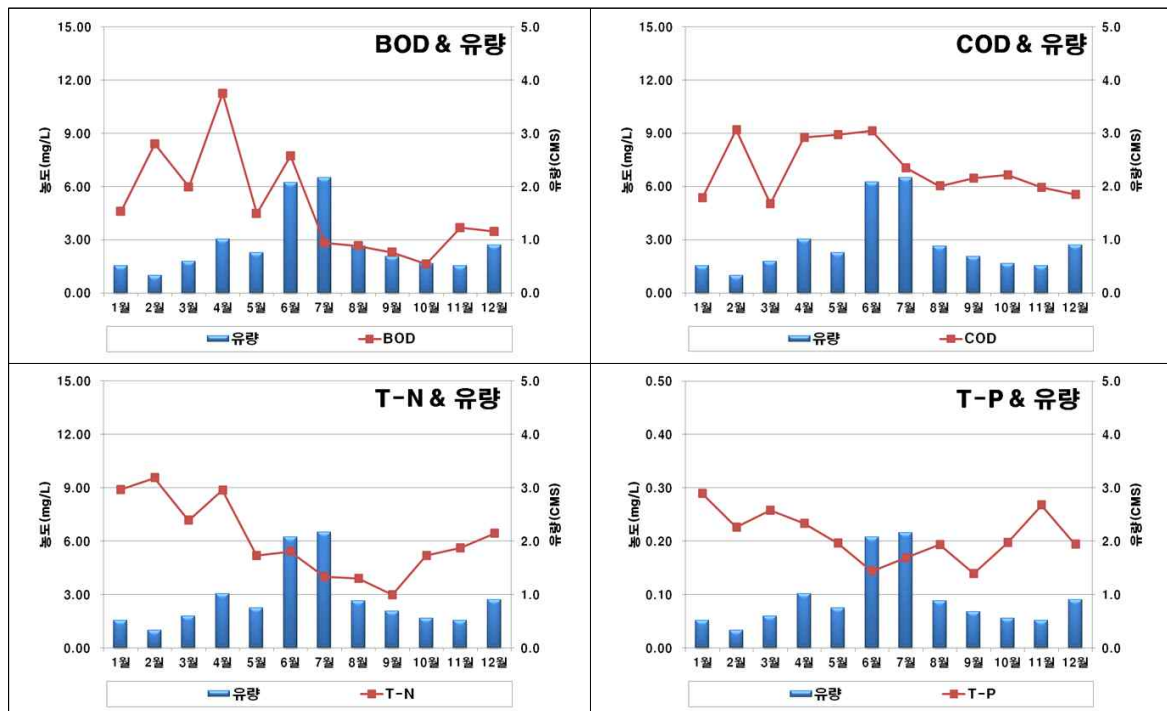
- 남원천은 삽교천의 제 1지류로서 법정 행정구역은 당진시에 포함되어 있으며, 유역내 토지이용 현황은 농경지 비율이 비교적 높은 특징을 나타냄
- 주요 지류로는 오봉천이 있으며 오봉천 이외에는 유역면적이 0.08~2.10km²이하의 소규모 지천들로 구성됨
- 하상경사를 분석한 결과 상류에서는 비교적 급한 경사를 보이다가 하류로 갈수록 완만해지며 특히 오봉천 합류 후에 매우 완만해 짐. 따라서 오봉천 합류 지점 하류의 유속이 상류에 비하여 급격히 감소하여 홍수시 수위 상승 등의 영향이 예상됨(남원천 하천정비기본계획, 2001)
- 남원천의 최근 3개년의 수질농도 분석결과 대부분 BOD, COD, T-P를 기준으로 III ~IV등급의 수질을 나타내고 있음 BOD는 점차 증가하는 경향을 나타냄



(그림 1) 2011년~2013년 남원천 수질 변화

● 계절적 변화 분석을 위하여 3개년의 월평균 농도 분석결과 봄철의 농도가 가장 높은 것으로 나타남

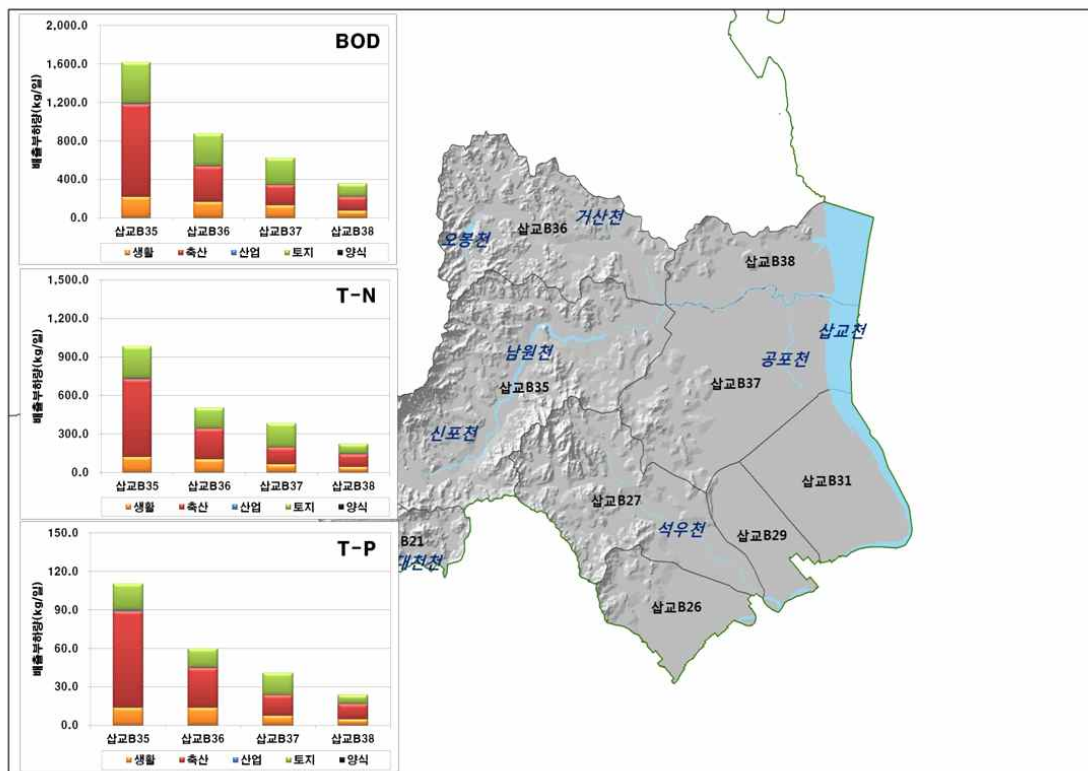
- 일반적으로 봄철의 유량이 가장 적기 때문에 오염원의 영향을 크게 받으며, 겨울 내 축적되었던 비점오염원들이 봄철 해동 및 강우에 의하여 유출되기 때문에 그 영향이 더 커지는 것으로 판단됨
- 여름철의 경우 초기 강우로 인한 순간적인 비점오염원의 유출이 크고 초기 강우 이후의 오염농도가 감소하는 경향이 있으며, 일반적으로 측정시 비강우시에 측정하여 농도가 낮으며, 특히 하천의 유량이 많아 다른 계절과 비교시 농도가 낮게 나타난 것으로 사료됨



(그림 2) 남원천 월별 수질변화(2011년~2013년 평균)

● 남원천 유역의 배출부하량 산정결과 오봉천 합류전 상류 유역(삽교B35)와 오봉천(삽교B36) 유역의 오염부하가 크게 나타났음

- 모든 유역에서 비점오염부하인 토지와 축산의 오염부하가 큰 것으로 나타남
- 토지는 주로 전답으로 구성되어 토지부하량은 각 유역이 유사하게 나타남
- 오염부하가 큰 남원천 상류와 오봉천 유역에서 축산계 부하량이 가장 크게 나타남



- 삼교B38과 삼교B37은 남원천 유역 외에 삼교천 유역을 포함하여 남원천 유역만의 오염부하량은 더 적을 것으로 판단됨

(그림 3) 남원천 유역의 배출부하량(2011년 기준)

- 종합적으로 분석한 결과 하류지역보다는 오봉천 합류 전의 남원천 상류 유역과 오봉천의 오염부하 저감을 위한 시설의 도입이 필요할 것으로 판단됨
 - 지형적 특성상 오봉천 합류후 지점에서는 유속이 저하되어 자연적 유하가 어려울 수 있음
 - 상류유역의 축산, 토지 등의 오염부하가 하류에 비하여 큼
- 본 연구의 목적은 삼교천 수질에 영향을 미치는 남원천 유역의 비점오염부하 저감을 위하여 남원천 특성이 반영된 비점오염저감시설의 조성 방안을 수립하는 것임

비점오염원 정의 및 특성 ◀

02

- 비점오염원(非點汚染源)이라 함은 공장, 하수처리장, 건축물, 축사 등과 같이 일정한 지점에서 오염물질을 배출하는 점오염원과 구분되어 불특정한 지역(도로, 농지, 산지 등)에서 배출되는 오염원을 말함
 - 비점오염원은 오염물질의 유출 및 배출경로가 명확하게 구분되지 않아 수집이 어렵고 발생량이 강수량 등 기상조건에 크게 좌우되기 때문에 처리시설의 설계 및 유지관리가 어려움

1) 비점오염원 특성

- 점오염원의 경우는 배출지점이 명확하여 제어하기 쉽고, 수질처리효율이 높은 반면에, 비점오염원의 경우 배출지점이 유역전체에 걸쳐 있어 관리가 어렵고, 관리를 한다고 해도 일정한 처리효과를 얻기 위해 장시간이 소요되며, 또한 강수시에 유입량이 크게 변동되어 일정한 처리효율을 얻기 힘들어 수질관리 정책의 측면에 많은 어려움
- 비점오염원은 일반적으로 강우시 유출되기 때문에 일간, 계절간 배출량 변화가 크고 예측, 정량화가 어려우며, 인위적 조절이 불가능한 기상조건, 지질, 지형 등에 영향을 많이 받음
- 비가 올 때 도로, 농경지, 주차장 등에 쌓여 있던 비료, 농약, 먼지, 기름 성분 등에 의해 오염된 빗물은 지표면을 따라 흐르므로 발생지점이 분명하지 않으며, 초기 빗물에는 오염도가 높지만 나중에는 농도가 떨어지고, 수질처리를 하기 위해 한 곳으로 모으기가 매우 어려운 특성이 있음

<표 1> 점오염원과 비점오염원의 비교

구 분	점오염	비점오염
배출원	·공장, 가정하수, 가두리양식장 ·축산폐수처리시설 ·하수종말처리시설	·논, 밭, 임야, 대지, 도로 등 ·대기 강하 물질
특 징	·인위적 ·배출지점이 명확 ·수역 한 지점에 집중적으로 배출 ·자연적인 영향을 적게 받아 계절적인 변화가 크지 않음 ·차집이 용이하고 처리효율이 높음	·인위적 및 자연적 ·배출기능과 흡수정화능력의 양면성이 있음 ·배출지점이 불명확 ·희석, 확산되면서 넓은 지역으로 배출 ·자연적인 영향을 받아 계절에 따른 변화가 심함 ·차집이 어렵고 강우의 영향을 받아 처리효율이 일정치 않음

2) 비점오염원 종류

- 비점오염원을 발생시키는 주요 토지이용행위를 크게 농업지역(축산지역 포함)과 도시지역(공업지역 포함)으로 구분할 수 있음

<표 2> 토지이용별 비점오염 발생원

토지이용		세부 발생항목
농업지역	농경지역	논작물, 밭작물, 과수 및 묘목, 양어장, 제방침식 등 자연적 원인
	축산지역	초지, 목축지, 축분저장 및 이용
도시지역	일반도시지역	도로 및 교량건설, 토지형질변경, 우수거, 합류식 하수거, 지표면유출수, 하수의 현지처리(정화조 등), 대기강하물, 하수저장/조정조 누출, 도로 유출수
	공업지역	우수거, 합류식하수거, 지표면 유출수, 공업폐기물의 토지처리, 폐수의 현지처리, 대가강하물, 사고누출

3) 비점오염원 발생특성 조사

가) 토지이용 현황 파악의 필요성

- 비점오염원은 대부분 강우시 지표를 흘러 하천으로 유입되므로 그 과정에서 강우의 강도와 양, 토질과 같은 자연적인 조건과 토지이용현황, 건기동안 지표에 누적된 오염물질의 종류와 양 등의 인위적인 조건에 큰 영향을 받음
- 토지이용에 따라 크게 도시지역과 비도시지역으로 구분 할 수 있음
 - 도시지역은 불투수층 면적을 증가시키는 주택단지, 산업입지 및 산업단지의 조성, 도로건설 등이며, 비도시지역은 산지의 개발 및 논, 밭과 축산농가의 조성, 모래·자갈 등의 채취, 골프장 등 체육시설 설치와 같이 투수층을 유지하되 개발로 인해 부가적 환경부하를 일으키는 지역임
 - 도시지역의 경우 지표면에 퇴적되는 많은 입자성 오염물질이 초기강우에 쓸려 한꺼번에 배출되며, 비도시지역에서는 토사, 질소, 인등이 주로 배출됨
- 비점오염물질은 이들 토지이용 현황에 따라 발생 및 배출특성이 다르므로 최적관리방안을 마련하기 위해서는 토지이용에 따른 비점오염 특성을 파악할 필요가 있음

나) 비도시지역의 비점오염 발생 및 유출 특성

- 남원천은 토지이용 중 농경지 및 산지의 비중이 크고, 배출오염원도 가축사육의 비중이 가장 크므로 비도시지역으로 구분할 수 있음
- 비도시지역은 비료 및 농약 사용량의 증가, 생산성이 높은 단일 품종의 집중재배 활동 증가, 농기계 보급에 따른 토지교란 행위의 증가, 가축사육량 증가 등으로 비점오염물질 유출량이 점차 증가하고 있는 추세임
- 농림지역 토지이용으로 발생하는 비점오염물질은 강우특성, 시비방법, 용수관리 및 관개방법, 토양관리 등에 따라 유출양상이 크게 달라짐

(1) 농경지 및 고랭지 밭

- 논에서는 농약과 영양물 등이 흡착된 침식물과 용존영양염이 대표적 비점오염물질이며, 밭에서는 침식물과 인·질소 등 영양물이 주로 배출됨
- 논에서는 썩레질과 모내기 기간 동안에 비점오염물질이 배출되거나 장마철 또는 수확 전 물을 뺄 때 표면에 고여 있던 농약·비료 등이 배출됨
- 농작물 경작시에 교란된 표토, 토층 상부에 살포된 비료와 가축 분뇨, 살충제 등 농약 등이 주요한 비점오염물질임
- 비료의 종류보다는 살포시기가 중요한데, 즉 비료를 뿌린 후 비가 오거나 동절기 후 해빙기에 살포된 비료는 다량 유출됨
- 밭의 비점오염물질은 주로 강우시에 배출되나 밭 관개(灌溉)가 일반화되면서 과잉 관개시 비점오염물질의 배출량도 증가하는 추세이며, 작물 재배전후 나지 상태이거나 작물이 어릴 때 가장 많이 배출됨
- 특히 표고가 400m 이상인 고랭지밭은 연중 나지 상태가 길고 경사도가 대부분 15% 이상인데다 과다 시비, 잦은 객토 등으로 비점오염 부하량이 매우 높음
- 연작(連作)으로 인한 지력 저하와 잦은 표토 유실 등으로 토질이 악화되어 과다 시비하는 경향이 있으며, 기계영농이 원활하도록 등고선에 평행한 경운이 아닌 수직으로 경운하는 경우가 많아 등고선 경운을 하는 밭에 비해 질소양분 유출량이 3.3배가 많은 것으로 나타남
- 멀칭농법(비닐·유리하우스 포함) 적용 시 강우유출수의 침투를 거의 완벽히 차단함에 따라 강우시 유출수가 일시에 하부경작지에 집중되어 국지 세굴 및 범람 등의 피해를 유발하게 됨
- 농경지로부터 하천에 유입된 유기성 비료는 호소의 부영양화를 초래하고 토사의 미세입자가 하상의 자갈층에 붙어 저서생물의 서식처·어류의 산란처를 파괴하는 등 수생태계를 교란하게 됨
- 농경지의 경우 도시지역과 달리 유량증가와 더불어 총인과 총질소 농도도 높게 나타나는 것으로 조사됨

(2) 축산지역

- 축산농가에서는 유기물, 박테리아, 영양염류, 침식물 등이 주로 배출되며 종종 금속류와 농약 등도 유출됨

- 축산농가는 가축분뇨처리시설과 재활용시설을 통해 폐수를 처리하여야 하는 점
오염원이지만, 부실한 관리로 인하여 비점오염원으로도 작용함
- 강우시 축산농가로부터의 배출수는 공공처리시설의 방류수 수질기준과 비교하여
7~28배의 고농도로 하천에 유입됨
- 액·퇴비 저장조 등 가축분뇨처리시설의 운용능력이 미흡하거나, 저장조를 부적
정하게 관리하는 경우 강우시 액·퇴비가 누출됨
- 가구당 가축사육두수는 많아져 액·퇴비 공급량은 늘어나는데 반해, 액·퇴비 수
요 경종농가(耕種農家)가 적어 생산된 액·퇴비를 사용할 농경지를 확보하지 못
함에 따라 축분퇴비를 야적·방치하여 비점오염원이 되는 사례가 발생하기도 함
- 방목장, 운동장 등에 비가림시설이 구비되지 않은 경우 표면에 방치된 분뇨가
강우시 유출됨

<표 3> 강우유출수 농도와 공공처리시설 방류수 농도 비교

구 분	강우유출수(mg/L)	가축분뇨공공처리시설(mg/L)
BOD	2.8 ~ 221.5	30
SS	20 ~ 8,523	30
T-N	0.01 ~ 89.01	-
T-P	0.03 ~ 36.46	-

자료) 축산폐수배출시설 및 처리시설 관리개선방안연구('03.7, 환경부)

(3) 산지

- 산지는 강우유출수에 포함된 오염물질을 정화하는 기능도 하는 반면, 면적이 크
고 경사가 급해 훼손되는 경우 오염부하량이 급격히 증가함.
- 산림관리용으로 건설되는 임도나 절토·성토의 경사면으로부터 강우시에 빗물과
함께 토사가 유출되며, 벌목·간벌에 따른 목편(木片)과 낙엽 등도 비점오염으로
작용하게 됨
- 또한 산불이 발생한 지역은 다시 조림을 하기까지는 강우시 나지(裸地)처럼 대
규모의 토양침식과 토사유출이 일어나며, 이때의 토양유실량은 조림된 산림에 비
해 최고 300배가 많음

비점오염저감시설 선정 ◀

03

- 비점오염원은 오염물질의 유출 및 배출 경로가 명확하게 구분되지 않아 수집이 어렵고 발생량 및 배출량이 강수량 등 기상조건에 크게 좌우되기 때문에 처리시설의 설계 및 유지관리가 어려움
 - 해당 사업지역의 강우특성, 토지이용현황, 오염물발생량 등을 고려하여 비점오염저감방법을 선정하여야 하며, 가능한 대안에 대해 충분한 검토를 실시하여야 함

1) 비점오염저감시설 선정시 고려사항

- “비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼, 2014, 환경부”에서는 비점오염저감시설을 설치하려는 경우에는 다음의 사항을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 위치에 가장 적합한 시설을 설치하는 것으로 제시함

<표 4> 비점오염시설 선정시 고려사항

구 분	고려사항	비 고
1단계 : 토지이용특성	<ul style="list-style-type: none"> •부지의 토지이용상황을 고려할 때 어느 시설이 가장 적합한가? •처리대상 유역이 비점오염물질의 유출이 높은 토지이용인가? •시설 입지 부지가 공공용지인지 또는 여유부지 활용인지? •토지이용 특성에 대한 고려사항은 도로, 농촌지역, 도심지역, 유해물질 배출지역이다. 	
↓		
2단계 : 물리적 타당성	<ul style="list-style-type: none"> •계획부지에 특정한 비점오염저감시설의 사용을 제한하는 물리적 제한 요인이 있는지? •설계자는 특정 개발부지의 토양, 지하수위, 배수구역, 경사조건, 수두조건 등이 비점오염저감시설의 적용을 제한하는지를 검토한다. 	

<표 5> 비점오염시설 선정시 고려사항(계속)

구 분	고려사항	비 고
3단계 : 기후 및 지역적 요소	<ul style="list-style-type: none"> •비점오염저감시설의 활용을 제한하거나 수정하는 어떤 지역적인 특성이 있는가? •기후 및 지질학적 특성을 근거로 비점오염저감시설의 선택에 필요한 사항을 상세하게 설명한다. 	
↓		
4단계 : 유역요소	<ul style="list-style-type: none"> •비점오염저감시설이 설치되는 유역에 달성하여야 하는 목표나 제안사항이 있는지? •처리된 유출수가 곧바로 인근 하천으로 배수가 가능한 곳인지? •유역요소에는 보호되어야 할 수자원을 근거로 비점오염저감시설 목표치와 제한요소를 고려하여 평가한다. 	
↓		
5단계 : 강우유출수 관리능력	<ul style="list-style-type: none"> •이 단계에서 설계자는 비점오염저감시설이 지하수 재충전, 수질, 수로 보호 및 홍수조절을 모두 만족할 수 있는지를 결정하기 위해 비점오염저감시설을 선별한다. •이 단계의 마지막 부분에서 설계자는 하나의 비점오염저감시설이 필요한지, 조합이 필요한지 결정할 수 있다. 	
↓		
6단계 : 오염물질 제거	<ul style="list-style-type: none"> •각 비점오염저감시설의 오염물질(총부유물질(TSS), BOD, 총인(T-P), 총질소(T-N), 중금속) 제거능력은 어떠한가? •이 단계에서 설계자는 오염물질 제거측면을 고려하여 목표수질은 유지하기 위해 가장 적합한 비점오염저감시설을 결정한다. 	
↓		
7단계 : 지역사회와 환경요소	<ul style="list-style-type: none"> •선정에 영향을 미치는 지역사회 요소 또는 환경적인 장점이나 단점이 있는가? •시설입지로 인하여 생태적인 보존 및 확대에 기여하는지? 주민들의 심미성 및 안전성을 고려하였는지? •이 단계에서 유지관리 편의성, 서식지, 지역사회 수용성, 비용 및 기타 환경요소에 대해 비점오염저감시설을 비교·평가한다. 	
↓		
8단계 : 비용의 적정성	<ul style="list-style-type: none"> •비점오염저감시설은 건설비 및 유지관리 비용 등을 종합적으로 고려하여 선정하여야 한다. 	
↓		
9단계 : 유지관리의 용이성	<ul style="list-style-type: none"> •비점오염저감시설의 선정시 시설의 유지관리가 용이한지 여부를 반드시 고려하여야 하며, 유지관리 계획을 수립하여 시설별 정기점검 및 수시점검이 이루어지도록 한다. 	
↓		
10단계 : 안전성	<ul style="list-style-type: none"> •비점오염저감시설은 안전상 위험이 발생하지 않도록 설치 및 관리하여야 한다. 	
↓		
11단계 : 기타 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> •비점오염저감시설의 설치와 관련된 법적인 제안사항이 있는지? 	

2) 비점오염저감방법 선정

- 비점오염저감시설은 수질오염방지시설 중 비점오염원로부터 배출되는 수질오염 물질을 제거하거나 감소시키는 시설로서 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙(별표6)에서 정의하고 있으며 크게 자연형 시설과 장치형 시설로 구분되어 있음

<표 6> 비점오염저감시설 구분

구 분	처리방법	비 고
자연형	•저류시설, 인공습지, 침투시설, 식생형 시설	
장치형	•여과형 시설, 와류형 시설, 스크린형 시설, 생물학적 처리형 시설	

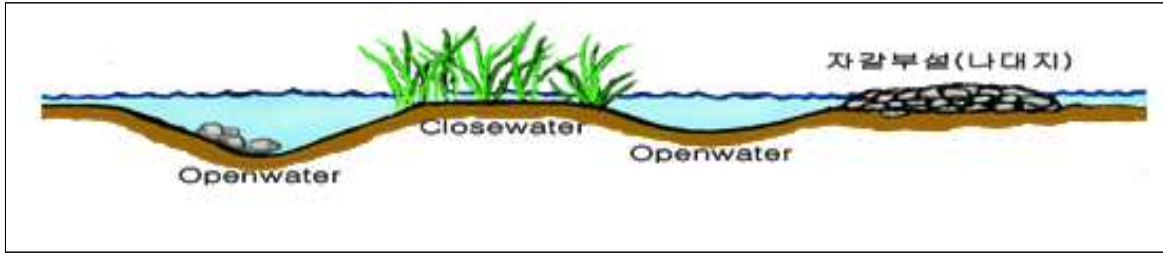
- 비점오염저감방법 선정의 1단계인 토지이용특성에 따라 분류시 농촌지역이나 저밀도로 개발된 지역에서는 비점오염물질의 유출특성상 입자상 물질, 영양염류 및 유기물 등의 발생량이 많으므로 자연적 기작을 가진 비점오염저감시설의 설치가 적당함(비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼, 2014, 환경부)
- 남원천은 농지의 비율이 많은 전형적인 농촌지역이며, 특히 가축사육으로 인한 유기물 및 영양염류의 배출이 많으므로 보다 안정적인 처리와 유지관리가 용이한 인공습지를 적용하는 것이 가장 타당할 것으로 판단됨

1) 인공습지 기능 및 공법

- 인공습지는 침전, 여과, 흡착, 미생물 분해, 식생 식물에 의한 정화 등 자연상태의 습지가 보유하고 있는 정화능력을 인위적으로 향상시켜 비점오염을 줄이는 시설임
- 인공습지는 오염물질의 제거뿐 아니라 조경적 가치, 야생서식지로서의 역할을 하는 효과적인 비점오염원 관리기법 중 하나임
- 인공습지는 자연습지에 비해 생물다양성이 떨어지기는 하지만 비점오염 물질을 처리하기 위한 목적으로 설계되어 짐. 그러나 자연습지와 비교 하여 지속적인 흐름 또는 수생식물의 성장을 뒷받침할 일정 이상의 수위를 필요로 함
- 일반적인 인공습지의 시스템은 침강저류지 → 습지(open water + close water + island) → 침전지 → 방류로 구성됨

<표 7> 인공습지 구간별 기능

단 위		주 요 기 능
침강저류지(forebay)		- 강우시 초기유출수 등 오염부하가 많은 유입수를 일시 저류하여 유속을 저하시키고 일정시간 체류시킴 - 자연중력침전에 따라 입자성 오염물질 제거
습지	폐쇄수면(close water)	- 정수식물에 의한 오염물의 침전, 흡수
	개방수면(open water)	- 산소 공급 - 고형물 침전 및 탈질화
	중도(island)	- 산소 공급 - 야생식물 및 조류 서식처
침전지(mocropool)		- 부유물의 재부유 방지 - 산소 공급



(그림 4) 일반적인 인공습지 시스템

- 기본적인 시스템을 바탕으로 개발된 인공습지의 공법은 매우 다양하며 다음에 그 중 3가지 공법에 대하여 제시하였으며, 추후 유역에 대하여 자세한 조사 후 공법을 선정하는 것이 타당함

<표 8> 인공습지 공법 비교

구 분	인공습지		
	고효율 인공습지	자연형 비점오염저감시설	생태적수질정화미디아시스템을 활용한 습지비오톱 복원기술
처 리 방 식	<ul style="list-style-type: none"> 침강지, 지표흐름습지, 생태여과지 등의 복합 구조형 인공습지 부유습지를 이용한 효율증진 접촉여과의 폐쇄현상을 방지하기 위해 식물뿌리를 이용한 생태여과조 구성 	<ul style="list-style-type: none"> 자연통풍형 호기조/습지조를 이용한 인공습지 수질정화기술 	<ul style="list-style-type: none"> [유입구→침강저류지→1차습지 개방수면의 연못→2차,3차 이상의 다단계습지 (multi-cell)→침전지(micro-pool)→유출구]의 과정을 통한 수질정화 시스템
공 법 개 요	<ul style="list-style-type: none"> 미생물 접촉침강지 - 수생식물 뿌리를 접촉여과로 이용한 미생물에 의한 유기물 및 질소, 인 제거 입자성 유입 오염물 침강제거 지표 흐름습지 - 수생식물에 의한 유기물 및 질소, 인 제거 생태여과지 - 식물뿌리를 여과재로 이용하는 횡형 여과지, 최종 처리수의 물리적 여과와 생물학적 제거를 동시에 수행 	<ul style="list-style-type: none"> 자연통풍방식에 의해 공기가 공급되어 호기성 분위기가 유지되는 호기조(갈대조)와 공기가 공급되지 않는 혐기/무산소조(습지조)를 유입수가 차례로 통과하면서, 각 조의 여재(모래, 자갈, 갈대뿌리, 수조뿌리)에 서식하는 미생물에 의해 유기물 및 질소, 인을 동시에 제거하는 자연친화형 인공습지 고도처리기술 	<ul style="list-style-type: none"> 침강저류지에서 1차적으로 고형물질을 침전시키고 유속을 저하시켜 수생식물 습지로 유입시킨 후 수생식물에 의한 자연형 수질정화 기작을 거친 다음 고형물 재부유, 부유물질 제거 기능을 하는 침전지를 통과하여 방류되는 구조의 인공습지 시스템
처 리 개 통	<p>생태침강지 지표흐름습지 생태여과지</p>	<p>유입 → 침전저류조(인공연못) → 호기성 인공습지(호기조) → 습지조 → 방류</p>	
지적 재산권	<ul style="list-style-type: none"> 생태공학작 수처리 시스템 (특허 제0787149호 수처리를 위한 인공습지) 인공식물섬 (건교부 신기술 360호 인공식물섬 조성기술) 	<ul style="list-style-type: none"> 환경신기술 인증 제99호 / 환경신기술 검증 제66호 특허 제0375237호 •특허 제0609837호 •특허 제079741호 특허 제0994781호 •특허 제1030690호 •특허 제0845521호 인공습지 하천정화, 비점정화, 호소수 정화관련 특허출원 3건(심사중) 	<ul style="list-style-type: none"> 환경부 신기술 제258호 특허제10-0444972호 특허제10-0746245호 특허제10-0809104호

<표 9> 인공습지 공법 비교(계속)

구 분	인공습지		
	고효율 인공습지	자연형 비점오염저감시설	생태적수질정화미디어시스템을 활용한 습지비오톱 복원기술
적용 분야	<ul style="list-style-type: none"> 오염하천 정화 호소수 정화 하/폐수 3차 처리 비점오염원 저감 저농도 범위에서 적용 가능한 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 하수/오수 고도처리 오염하천정화/비점오염원 동시 저감 하/폐수 3차처리 비점오염원 저감 호소수 순환정화식 습지필터 다양한 유입수 농도범위에서 고효율 처리 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> 저농도 오염하천정화 하/폐수 3차 처리 비점오염원 저감 저농도 범위에서 적용 가능한 기술
장 점	<ul style="list-style-type: none"> 인공구조물, 폭기시설 등이 필요 없는 자연친화적인 공법 장지형 공법보다 공사비/유지관리비가 적게 소요됨 다양한 정수식물 식재로 생태복원, 경관향상 기능 수행 가능 인공식물섬을 이용한 부유습지 기술의 접목으로 식재면적이 넓고, 제거효과가 안정적임 습지 내 녹조 발생을 억제 숯을 이용한 흡착 미디어 적용으로 처리효율이 안정적 	<ul style="list-style-type: none"> 환경신기술 인증/검증기술로 하천정화 외 다양한 기술적용 으로 기술신뢰도 높은 환경친화적 인공습지 고도처리 공법 유지관리요소가 최소화되어 유지관리 용이하며, 유지관리비 낮은 검증된 기술 하천 주변으로 유입되는 비점오염원 저감시설로 동시에 활용가능(청천시: 하천정화/강우시: 비점오염원 저감) 자연통풍에 의한 호기성 수직흐름 인공습지와 수평/지하 흐름 인공습지가 순차적으로 결합된 hybrid 인공습지 기술로 유기물, 질소 및 인의 제거효율이 높음. 국내 인공습지 기술 중 가장 작은 부지면적 소요 국내 인공습지 분야 현장적용실적 풍부 생태복원공간 제공 및 생태공원 학습장으로 연계하여 개발 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 습지와 개방수면을 혼합한 구조로 생태복원 기능 있음 갈대, 부들, 줄 등 수생식물을 이용하여 오염원을 정화시키는 생태적 수질정화시스템 공원화 또는 환경교육 장소로 활용 용이하고 시공비 저렴(복합적 기능을 수행하는 환경생태교육장소의 제공 및 지역커뮤니티 공간으로 활용/ 휴식은 물론 생태관찰 또는 생태 체험프로그램으로 활용) 자유수면흐름으로 폐색현상(clogging)이 거의 없어 다양한 대상지에 적용가능 수질 정화기능, 생물서식처기능, 경관향상기능, 생태공원기능 식물상, 동물상 복원효과
단 점	<ul style="list-style-type: none"> 식물에 의한 정화효율에 의존하게 되므로 처리효율이 비교적 낮음. 자유흐름습지와 인공식물섬으로 구성되어 식물의 주기적인 관리 노력 요구 고농도 유입수에 대한 처리 어려움. 처리과정 중 자유수면 습지에서 녹조발생으로 미관 저해 	<ul style="list-style-type: none"> Hybrid 인공습지로 구성되어 전문적인 시공기술이 요구됨. 	<ul style="list-style-type: none"> 생태복원습지의 기능이 많으나, 수질정화능력이 크지 않음. 고농도 유입수에 대한 처리 어려움. 처리과정 중 자유수면 습지에서 녹조발생으로 미관 저해 부지면적이 많이 소요됨
무 인 시 감	<ul style="list-style-type: none"> 100% 무동력 운전으로 시설물 고장에 대한 우려 없이 연중 상시 가동 무인운전이 가능 : CCTV 등 보조 관찰시설 설치 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 100% 무동력 운전으로 시설물 고장에 대한 우려 없이 연중 상시 가동 무인운전이 가능 : CCTV 등 보조 관찰시설 설치 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 100% 무동력 운전으로 시설물 고장에 대한 우려 없이 연중 상시 가동 무인운전이 가능 : CCTV 등 보조 관찰시설 설치 가능 둔치 내 설치시 홍수 때 시설물 파손 발생 : 홍수시 상시 관찰 요함.
순 공사비	1,000m ² /일 시설기준 : 960백만원	1,000m ² /일 시설기준 : 800백만원	1,000m ² /일 시설기준 : 1,000백만원
유지 관리비	1,000m ² /일 시설기준 : 22백만원	1,000m ² /일 시설기준 : 6백만원	1,000m ² /일 시설기준 : 25백만원
적 실 용 적	<ul style="list-style-type: none"> 서울우유 거창공장(약 300m²/일) 풀무원 춘천공장(약 500m²/일) 신정호 유입하천오염저감 시범습지(약 300m²/일) 신원저수지 유입하천오염저감 인공습지(약 300m²/일) 금산 남이휴양림 인공습지(약 150m²/일) 화성 마도산업단지(약 600m²/일) 충주 로얄포레 CC(약 300m²/일) 등 	<ul style="list-style-type: none"> 전남 장성군 황룡강 수질개선시설(1,500m²/일) 거제/고현천(용산 및 남문소하천) 수질정화시설(5,000m²/일, 2,000m²/일) 고성/고성천 수질정화시설 (폐수후처리시설, 450m²/일) 진주/대평마을 공공하수처리시설 (350m²/일), 환경부/국립생태원 개인하수처리시설(380m²/일) 장수/하수처리장 인공습지 수질정화시설(1,400m²/일), 진주/바이오21센터 고도처리시설(50m²/일) 전국 약 200개소 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 경안천 하류 생태적수질정화인공 습지 조성 (1지역:25,000m²/일, 2지역:10,000m²/일, 6지역 9,587m²/일) 안터 생태공원 생태적수질정화비오톱 (1,500m²/일) 금어천 생태적수질정화비오톱 (8,200m²/일) •제민천 생태적수질정화비오톱(10,000m²/일) 기타 현장 다수

2) 인공습지 국내·외 사례

가) 국내 조성 사례

(1) 시화호 인공습지

- 시화호로 유입되는 3개 하천(반월천, 동화천, 삼화천)이 모이는 합류부 간석지에 갈대 등의 수생식물을 식재한 인공습지를 조성
- 축산폐수 및 생활하수를 자연적 정화방법으로 처리한 후 시화호로 유입시킴으로써 시화호의 수질개선을 도모하고 자연학습장 기능을 갖춘 생태공원 및 환경교육장으로 활용하고자 설치
- 습지의 형태 : 자유수면형 습지 - 침강저류지, 갈대식생대, 개방수면(Open water), 중도(Island)



(그림 5) 시화호 인공습지

(2) 파주 운정지구 인공습지

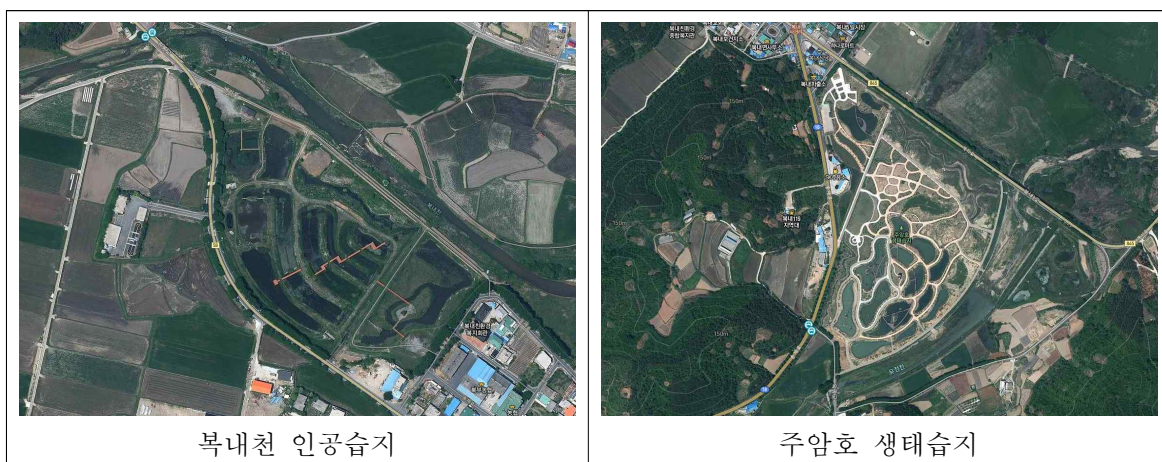
- 파주 운정지구 신도시의 도시 물순환시스템 구축의 일환으로 자연친화적 조성
과 적절한 수질관리를 위해 생태공학적 기법을 도입한 습지



(그림 6) 운정지구 인공습지

(3) 주암호 인공습지

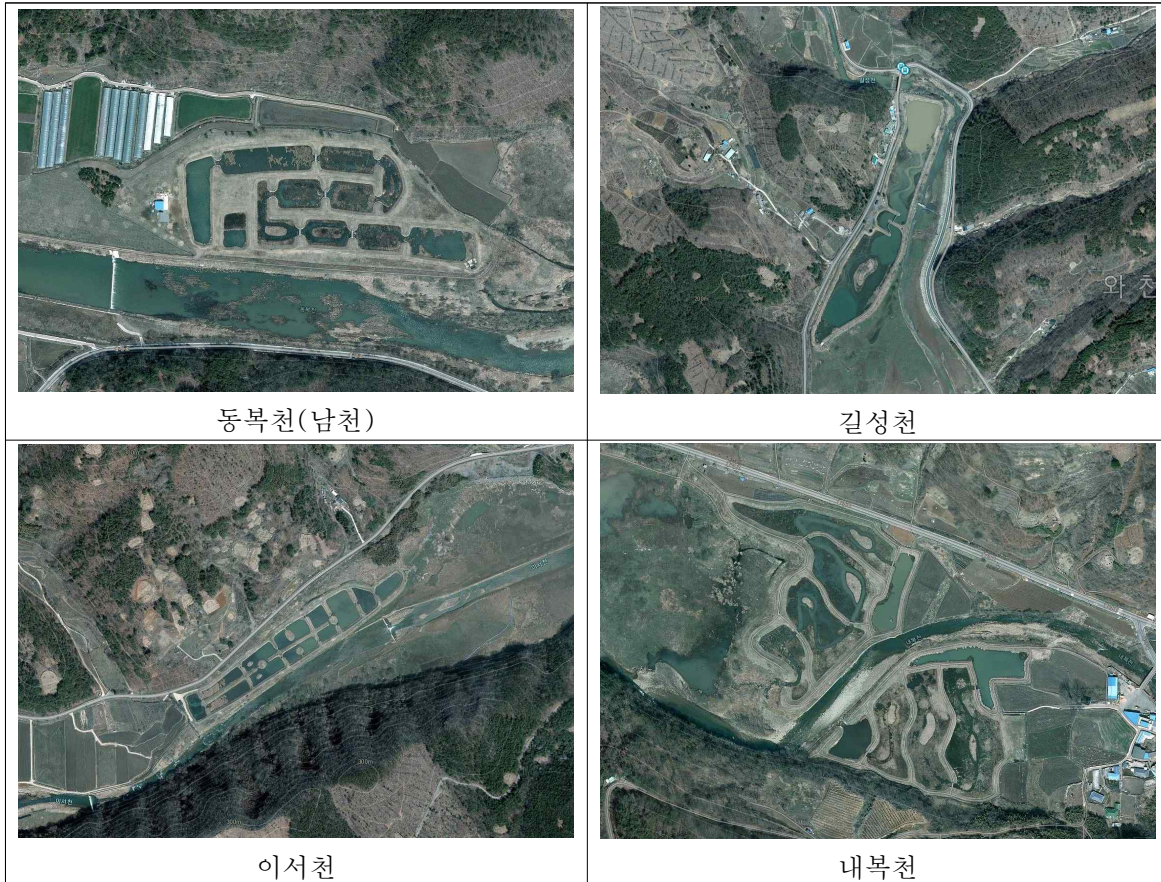
- 복내천 인공습지는 복내하수처리장 방류수 처리와 주변 지역에서 유입되는 비
점오염원을 저감하기 위해 조성
- 주암호 생태습지는 유정천에서 하루 1만5천톤의 하천수를 습지로 유입시켜
오염원을 저감 후 주암호로 배출하여 주암호의 수질개선을 도모하고 생태의
보존을 위하여 조성. 습지 부지에서 약 50만톤의 담수능력도 확보하고 있어
홍수조절 및 저류지의 역할도 가능함



(그림 7) 주암호 유역 인공습지

(4) 동북호 인공습지

- 광주광역시의 주요 상수원인 동보호의 수질개선을 위하여 주요 유입 하천인 동북천(남천), 이서천, 길성천, 내북천의 말단에 비점오염원을 저감하기 위해 조성



(그림 8) 동북호 유역 인공습지

(5) 대청댐 인공습지

- 대청댐의 수질개선을 위하여 보은 회인천(1만7890m²), 옥천 안내천(3만m²), 소옥천(15만5000m²), 구일소류지(6만6500m²), 대전 주원천(1만229m²)등의 인공습지를 조성하였음



(그림 9) 대청댐 유역 인공습지

(6) 양재천 인공습지

- ‘국내 여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발연구’에서 제시된 하천의 생태계와 수질정화를 종합적으로 고려한 비오톱 개념을 도입하여 하천변에 자연수면형과 여과형 등 2가지 형태로 조성

나) 국외 조성 사례

- 국외의 경우 인공습지는 유역내 오염부하의 저감뿐만 아니라 도시화 및 산업화에 의해 감소한 자연생물 서식지를 제공, 도시내 생물다양성 증대를 기대할 수 있으며, 자연생태공원으로 조성되어 도시민의 자연체험 및 학습의 장의 역할과 동시에 일반인의 휴식공간을 제공하는 공간으로 활용되고 있음

<표 10> 국외 인공습지 조성 사례

국가	구 분		내 용
미국	Incline Village (Nevada)	규모	1,566,920㎡(총 3,116,036㎡)
		의의	- 처리수의 효과적, 경제적인 처리, 야생생물서식지 확대 및 교육의 장 마련 - 유입수질 : SS 20mg/l, BOD5 20mg/l, TP-P 6.5mg/l, TN-N 25mg/l

<표 11> 국외 인공습지 조성 사례(계속)

국가	구분		내용																			
미국	Houghton Lake (Michigan)	규모	1,243㎥/d																			
		처리 효과	SS 25→5 ~ 10mg/l, DIN(NH ₃ , NO ₃) 5.69→0.129mg/l, TP 3.39→0.074mg/l																			
	Las Gallinas Valley (California Marin Country)	규모	10,962㎥/d																			
		처리 효과	방류수농도 BOD 9.9mg/l, TSS 14mg/l, NH ₃ -N 2.3mg/l																			
		의의	- 처리장 방류수를 습지 및 Storage Pond로 보내 하천과 Bay로의 오염부하를 줄임 · 1년중 9개월 : 하천과 San Pablo Bay로 방류 · 6, 7, 8월 : Pond에 저장, 목장에 관개, Water Agency의 재사용계획에 사용(보통 11월까지 관개)																			
	Lakeland Wetland (Florida 주 Mulberry 동쪽)	처리 효과	<table><tr><td></td><td>BOD (mg/l)</td><td>TSS (mg/l)</td><td>TN (mg/l)</td><td>TP (mg/l)</td></tr><tr><td>유입수</td><td>3.88</td><td>5.60</td><td>10.36</td><td>9.05</td></tr><tr><td>유출수</td><td>3.12</td><td>4.70</td><td>1.99</td><td>4.22</td></tr></table>						BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)	유입수	3.88	5.60	10.36	9.05	유출수	3.12	4.70	1.99	4.22
			BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	TN (mg/l)	TP (mg/l)																
	유입수	3.88	5.60	10.36	9.05																	
	유출수	3.12	4.70	1.99	4.22																	
		의의	인구증가에 의해 증가된 하수의 처리를 위해 설계																			
	West Jackson County (Mississippi)	규모	9,828㎥/d, 습지면적 226,621㎡																			
		처리 효과	BOD 26→4.5mg/l, TSS 30.0→7.3mg/l, TN 11.6→NH ₃ 1.7mg/l																			
	Oregon ; Hillsboro	규모	40,000㎡																			
		처리 효과	BOD 5.1→3.0mg/l, SS 7.7→9.6mg/l, TN 11.9→4.8mg/l, TP 6.3→3.8mg/l																			
의의		- SS와 BOD처리를 목적으로 하는 대부분의 습지와는 달리 Tualatin 강으로 유입되는 2차 하수처리장 유출수의 인과 질소제거를 목적으로 함																				
Arcata (California)	규모	8,694㎥/d																				
	처리 효과	BOD 155→8mg/l, SS 185→10mg/l, TIN(무기질소) 45→5mg/l																				
	구성	침전→산화지→습지처리를 거침																				
Hayward Marsh (샌프란시스코)	규모	696,000㎡																				
	개요	- 6개셀로 구분하여, 5개는 하수의 2차처리, 나머지 1개는 동물보존을 위해 남겨놓고 집중호우시 강우유출수를 유입처리																				

<표 12> 국외 인공습지 조성 사례(계속)

국가	구 분	내 용
일본	동경도항 야조공원	규모 30ha = 300,000㎡
		<ul style="list-style-type: none"> - 자연보전과 레크레이션, 교육 · 연간 약 10,000명의 학생이 이용하며, 학생뿐만 아니라 폭넓은 연령층이 이용 · 다양한 행사를 개최하여 지역주민의 참여를 적극적으로 유도
영국	Gillespie Park (런던중앙에서 5km 이격)	구성 - 다양한 수생생물이 자라는 연못, 습지와 초지, 삼림지역
		<ul style="list-style-type: none"> - 영국철도의 석탄저장소로 이용되던 곳을 Natural Park 로 조성하여 1982년 일반에게 개장 - 자연체험학습을 위해 초등학교에서 이용, 1주일에 100여명 정도의 학생이 방문하여, 공원내 Nature Centre와 학교에서 다양한 교육프로그램을 개발함
	Barm Elems (Westminster사원에서 4mile 이격)	규모 404,680㎡
		<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 새들의 서식공간으로 설계, 새들을 유인, 정착시킴
독일	Dortmund	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 탄광지역에 악화된 수질을 자연정화능력을 이용하여 개선 - 물속에 함유된 철분이 습지를 통과하며 정화됨
	Block 6 (베를린 크레이츠 베이크)	<ul style="list-style-type: none"> 규모 661㎡ 목적 <ul style="list-style-type: none"> - 물의 절약과 수질오염의 최소화 - 정화조에서 1차 처리된 가정생활하수를 갈대를 이용 정화후 화장실 등에서 재이용

3) 남원천 인공습지 용량 및 위치 선정

가) 법적 기준 검토

(1) 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙(일부개정 2014.01.29)

- 규모 및 용량 산정시 자연형 시설의 경우 초기강우량을 누적유출고로 환산하여 5mm를 기준으로 하도록 명시되어 있음

비점오염저감시설의 설치기준(제76조제1항 관련)

..... 중간생략

사. 비점오염저감시설의 설계규모 및 용량은 다음의 기준에 따라 초기 우수(雨水)를 충분히 처리할 수 있도록 설계하여야 한다.

- 1) 해당 지역의 강우빈도 및 유출수량, 오염도 분석 등을 통하여 설계규모 및 용량을 결정하여야 한다.
- 2) 해당 지역의 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5mm 이상의 강우량을 처리할 수 있도록 하여야 한다.
- 3) 처리 대상 면적은 주요 비점오염물질이 배출되는 토지이용면적 등을 대상으로 한다. 다만, 비점오염저감계획에 비점오염저감시설 외의 비점오염저감대책이 포함되어 있는 경우에는 그에 상응하는 규모나 용량은 제외할 수 있다.

(2) 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영매뉴얼(2014, 환경부)

- 비점오염물질의 영향을 받는 하천의 수질·수량 보호를 위해 처리되어야 하는 수질처리용량(WQv : Water Quality Volume)을 기준으로 결정하며 해당지역의 강우량을 누적 유출고로 환산하여 최소 5mm 이상을 처리할 수 있도록 설계함

$$WQv = (P1) \times (A) \times 10^{-3}$$

P1 : 설계강우량으로부터 환산된 누적유출고(mm)

A : 배수면적(m²)

나) 인공습지 용량 산정

- 비점오염저감시설의 용량산정은 공사비 및 유지관리비 등에 직접적인 영향을 미치므로 적정한 용량산정이 매우 중요함
- 앞서 분석결과를 바탕으로 상류에 오염부하량이 많은 오봉천 합류 후 지점을 대상으로 인공습지의 용량을 산정하였음

- 인공습지의 용량산정시 배수구역이 넓은 경우에는 주요 비점오염물질이 유출되는 구역 외에 대부분 임야 등이 포함되는데 임야가 넓을수록 비점오염저감시설이 과대해질 우려가 있으므로 임야를 제외한 배수구역을 설정하는 것도 무방함(비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼, 2014, 환경부)
- 따라서 금회 용량 산정시 유역내 전, 답, 대지의 유역면적에 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙(별표17, 비점오염저감시설 설치기준)”에서 제시한 최소 누적유출 강우량 5mm을 적용한 결과 194,885m³으로 산정됨

$$WQ_v = (P1) \times (A) \times 10^{-3}$$

$$WQ_v = 5(\text{mm}) \times 38,977,000(\text{m}^2) \times 10^{-3}$$

$$= 194,885(\text{m}^3)$$

- 본 연구에서는 대략적인 용량을 산정하였으며, 추후 유역에 대한 자세한 조사 후와 비교시 변경될 수 있음

다) 인공습지 위치 선정

- 오염부하가 많은 오봉천 합류 후 지점을 대상으로 대략적인 위치를 선정함
 - 설계시 수심(1~3m)이 고려되기 때문에 면적에 차이가 있을 수 있음
- 오봉천 합류후 하상경사가 완만해져서 하류로 갈수록 유속이 느려지고 자연유하가 어려울 수 있음
- 오봉천 합류후 위치선정한 2가지 안 중 물리적인 요건인 하상경사, 홍수시 저류효과 등을 대략적으로 감안하였을시 2안이 더 효과적으로 판단됨
- 또한 2안의 경우 향후 설계에 따라 남원천의 유량을 유입시켜 처리하고 오봉천은 오봉저수지를 활용하는 방안으로 변경하여 활용할 수도 있을 것으로 사료됨
 - 측사 등이 밀집하여 오염부하가 더 큰 남원천에서 유출되는 오염부하를 집중적으로 저감시키고 오봉저수지를 개선하여 오염부하저감 및 생태공원으로 활용하는 방안도 검토해 볼 수 있음



(그림 10) 남원천 인공습지 위치 선정 - 1안



(그림 11) 남원천 인공습지 위치 선정 - 2안

남원천 인공습지 수질개선 예상 효과 ◀

05

1) 문헌의 처리효율 조사

● 비점오염원저감 시설인 인공습지 설치 및 운영시 처리기법에 따른 처리 효율 검토를 위하여 국내·외 비점오염원 관련 문헌, 상위계획 및 업무편람 등의 처리효율을 다음과 같이 제시 함

가) 국내 문헌상의 처리효율

● 비점오염원 관리시설별 처리효율에 대한 국내 자료를 조사한 결과 다음과 같이 비점오염원저감시설별 처리효율을 제시 함

<표 13> 도시 및 농촌지역 적용대상 비점오염물질저감시설 및 효율

적용지역	시설명		처리원리	처리효율(%)			
				BOD	SS	T-N	T-P
도시지역	저류형	저류조	침전	30~40	70~90	20~60	10~60
		인공습지	침전·여과	20~80	50~90	~40	~80
	침투형	침투조	토양침투	50~80	50~80	50~80	50~80
		침투도랑	토양침투	50~90	50~90	50~90	50~90
	장치형	여과장치	여과	40~70	60~90	20~40	~80
		와류형 장치	고액분리	5~10	10~25	5~10	5~10
		침전분리장치	고액분리	-	~80	~51	~36
	하수처리형	화학처리시설	응집·침전	50~70	85~95	15~30	90~95
농촌지역	저류형	저류지	침전	30~40	70~90	20~60	10~60
		인공습지	침전·여과	20~80	50~90	~40	~80
	식생형	식생여과대	여과	~80	40~90	20~60	30~80
		식생수로	여과	~25	20~40	10~30	20~40

자료 : 팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 기본계획 및 타당성조사(2000.6, 환경부)

<표 14> 비점오염저감시설 처리 효율

구 분		처리효율(%)					비고
		BOD	COD	SS	T-N	T-P	
저류형	저류조	30	30	70~90	20~60	10~60	10~12시간체류
	인공습지 (고도처리기능)	64~86	20~80	73~93	15~40	47~80	4~14일 체류
	인공습지 (산화지기능)	40~60	10~40	40~60	~25	~12	24~48시간 체류
	연못	10~70	10~70	50~70	10~70	20~70	SS 처리용 2일 이상 체류 T-N·T-P처리용 14일 이상체류
침투형	유공포장	60~90	60~90	60~90	60~90	60~90	배수시간 6~7hr
	침투조	50~80	50~80	50~80	50~80	50~80	깊이는 1~3.5m
	침투도랑	50~90	50~90	50~90	50~90	50~90	
장치형	스크린류	20	20	60	10	20	
	필터형류	60	40~70	60~90	20~40	~80	
	와류형류	-	5~10	10~25	5~10	5~10	기름·그리스, 혐잡물 제거율 높음

자료 : 비점오염원관리 업무편람(2006.12, 환경부)

<표 15> 비점오염저감시설 처리 효율

구 분		시설	처리효율(%)		
			BOD	T-N	T-P
저류형	저류시설	습식연못	43	31	52
	인공습지	인공습지	53	24	70
침투형	침투시설	침투통, 침투관, 침투측구	53	72	46
		침투화분	75	73	72
		투수성포장	75	83	65
		침투저류지	73	74	79
		침투도랑	77	62	73
여과형	식생형 시설	식생여과대	44	42	42
		식생수로	34	45	51
	여과형 시설	여과시설 (모래여과 및 제조여과)	54	40	58
		빗물정원, 통로화분, 수목여과박스	54	49	65

자료 : 수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침(2010. 6, 국립환경과학원, 환경부)

<표 16> 비점오염저감시설 처리 효율

구 분		처리효율(%)		
		BOD	T-N	T-P
저류형	저류지	34	28	36
	지하저류조	25	24	20
	인공습지	53	37	60
침투형	투수성포장	75	83	65
	침투저류지	69	58	69
	침투도랑	77	62	73
	침투통, 침투관 침투측구	53	72	46
여과형	식생여과대	44	42	42
	식생수로	34	45	51
	모래여과시설 제조 여과시스템	50	46	54
생태저류형	침투화분	75	73	72
	빗물정원 통로화분 수목여과박스	54	49	65
와류형 시설		16	11	22
스크린형 시설		15	9	19
시설형(초고속응집, 침전법)		80	20	85

자료 : 수질오염총량관리기술지침(2014. 5, 국립환경과학원)

나) 국외 문헌상의 처리효율

- 북미지역에 설치된 여러 형태의 인공습지(생활하수, 농경지 유출수, 축산폐수 처리를 위한 목적으로 하는 인공습지)를 대상으로 BOD, TSS, TN, TP 등의 처리효율을 조사함

<표 17> Performance data for a northern-climate CW treating septic tank effluent

Season	BOD(mg/L)		TSS(mg/L)		TP(mg/L)		TN(mg/L)	
	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
Winter	251	34	40	9	12	9	86	64
Spring	252	33	39	8	12	9	80	66
Summer	176	14	33	9	11	4	71	26
Autumn	288	17	41	6	12	5	81	35
Annual	242	25	38	8	12	7	80	48

Unpublished results from Northeastern Regional Corrections Center near Duluth, MN, USA. Abbreviations : CW, Constructed Wetland

<表 18> Summary of North American treatment wetland database operational performance

Parameter	type	Average Concentration(mg/L)			
		In	Out	Eff.(%)	Count(n)
BOD5	SF	30.3	8.0	74	182
	SSF	27.5	8.6	69	34
	All	29.8	8.1	73	216
TSS	SF	45.6	13.5	70	198
	SSF	48.2	10.3	79	34
	All	46.0	13.0	72	232
TN	SF	9.03	4.27	53	175
	SSF	18.92	8.41	56	12
	All	9.67	4.53	53	187
TP	SF	3.78	1.62	57	191
	SSF	4.41	2.97	32	8
	All	3.80	1.68	56	199

SF, Surface Flow; SSF, Subsurface Flow; EFF(%), efficiency of concentration reduction; Modified from Kadlec & Knight(1996)

<表 19> Average treatment wetland performance for removal of BOD5, TSS, NH₄-N, TN in the Livestock Wastewater Treatment Wetland Database

Parameter	Wastewater type	Average Concentration(mg/L)			
		Inflow	Outflow	Reduction(%)	Count(n)
BOD5	Cattle Feeding	137	24	83	14
	Dairy	442	141	68	374
	Poultry	153	115	25	80
	Swine	104	44	58	183
TSS	Cattle Feeding	291	55	81	12
	Dairy	1111	592	47	361
	Swine	128	62	52	180
NH ₄ -N	Cattle Feeding	5.1	2.2	57	12
	Dairy	105	42	60	351
	Poultry	74	59	20	80
	Swine	366	221	40	183
TN	Dairy	103	51	51	32
	Poultry	89	70	22	80
	Swine	407	248	39	164

Source : CH2M HILL & Payne Engineering(1997)

<표 20> Watland Water Qualtiy, West Jacson Co., Ms

Date	BOD5(mg/L)		TSS(mg/L)		NH4-N(mg/L)	
	In	Out	In	Out	In	Out
1996(Ave.)	32	10	42	9	7	4
1997(Ave.)	33	8	20	4	9	5

Source : Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters(USEPA. 2000)

<표 21> BOD & TSS Removal for Ouray, CO

Date	BOD5(mg/L)		TSS(mg/L)	
	In	Out	In	Out
1995(Ave.)	127	10	180	6
1996(Ave.)	106	6	162	5

Source : Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters(USEPA. 2000)

2) 인공습지로 인한 삭감부하량

- “수계오염총량관리기술지침, 2014, 국립환경과학원“ 에서 제시된 인공습지의 처리효율과 삭감방법을 이용하여 본 연구대상지의 처리효율 및 삭감부하량을 산정함

<표 22> 인공습지 저감효율

구 분	처리효율(%)			비고
	BOD	T-N	T-P	
인공습지	53	37	60	

자료 : 수질오염총량관리기술지침(2014. 5, 국립환경과학원)

- 인공습지 등의 오염원 저감시설은 강우시 유입되는 오염부하의 삭감량과 연중 유입되는 오염부하의 삭감량으로 구분하여 산정함

가) 연중 운영시 삭감부하량

- 연중 운영되는 비점오염저감시설의 삭감량은 시설별 유입부하량과 저감 효율에 의하여 산정함

<연중 유입되는 오염원의 삭감부하량 산정방법>

- 시설별 삭감부하량 = 시설별 유입부하량 - 시설별 저감효율
- 시설별 유입부하량(kg/일) = 시설별설계유량(m³/일) × 평균유입수질(mg/L)

- 연중 인공습지로 유입되는 부하량을 산정하기 위하여 인공습지의 유입유량을 15,000m³/일로 가정함

- 15,000m³/일은 “남원천 하천기본계획보고서, 2001”에서 산정한 저수기 유량(약 17,646m³/일)의 약 85%에 해당하는 유량 임
- 2011년~2013년 남원천 하류에서 실측한 유량을 분석시 금회 가정한 유량보다 적었던 경우는 단 1회(14,484m³/일)뿐이며, 이를 제외하면 최소 20,000m³/일 이상의 유량이 측정되어 계획한 습지에 15,000m³/일로 유입시키는데 큰 무리가 없을 것으로 판단됨

<표 23> 남원천 유역의 유황

지점	유역면적 (km ²)	유량 (m ³ /sec)			
		갈수량	저수량	평수량	풍수량
남원천 하구	88.78	0.087	0.250	0.610	1.312
오봉천합류후	72.53	0.071	0.204	0.498	1.072

자료 : 남원천 하천정비기본계획, 2001

- 인공습지의 유입수질은 2001년~2013년의 월평균 수질로 가정함
- 비강우시 인공습지를 운영할 경우 연평균 BOD 39.2kg/일, T-N 33.9kg/일, T-P 1.9kg/일이 삭감되는 것으로 산정됨

<표 24> 연중 운영시 인공습지 삭감부하량

구분	2011년~2013년 월평균수질			인공습지 유입부하량				삭감부하량		
	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	유입유량 (m³/일)	BOD (kg/일)	T-N (kg/일)	T-P (kg/일)	BOD (kg/일)	T-N (kg/일)	T-P (kg/일)
1월	4.60	8.893	0.289	15,000	69.0	133.4	4.3	36.6	49.4	2.6
2월	8.40	9.561	0.226	15,000	126.0	143.4	3.4	66.8	53.1	2.0
3월	6.00	7.171	0.258	15,000	90.0	107.6	3.9	47.7	39.8	2.3
4월	11.27	8.877	0.234	15,000	169.0	133.2	3.5	89.6	49.3	2.1
5월	4.50	5.198	0.196	15,000	67.5	78.0	2.9	35.8	28.8	1.8
6월	7.73	5.427	0.144	15,000	116.0	81.4	2.2	61.5	30.1	1.3
7월	2.83	3.995	0.169	15,000	42.5	59.9	2.5	22.5	22.2	1.5
8월	2.67	3.906	0.193	15,000	40.0	58.6	2.9	21.2	21.7	1.7
9월	2.30	2.980	0.140	15,000	34.5	44.7	2.1	18.3	16.5	1.3
10월	1.63	5.183	0.197	15,000	24.5	77.7	3.0	13.0	28.8	1.8
11월	3.70	5.629	0.268	15,000	55.5	84.4	4.0	29.4	31.2	2.4
12월	3.47	6.435	0.194	15,000	52.0	96.5	2.9	27.6	35.7	1.7
평균	4.925	6.105	0.209	15,000	73.9	91.6	3.1	39.2	33.9	1.9

나) 강우시 삭감부하량

- 강우시 가동되는 비점오염저감시설의 삭감부하량은 삭감대상부하량과 저감효율에 의하여 산정함

$$\text{비점오염저감시설삭감부하량} = \text{삭감대상부하량} \times \text{저감효율}$$

$$\text{삭감대상부하량} = \text{삭감대상부하비} \times \text{발생부하량}$$

- 삭감대상부하비는 발생부하량 대비 처리대상강우에 포함된 부하량의 비를 말하며, 처리대상구역의 유량 및 수질 연속측정자료로부터 도출된 수문곡선과 오염부하곡선으로부터 산정함
- 저감효율은 실측자료를 사용하는 것을 원칙으로 하며, 최소 3회 이상의 대표강우사상에 대한 수질 및 유량측정자료를 이용하여 산정한 평균저감효율을 사용함
- 강우시 가동되는 비점오염저감시설이 신규시설이거나 삭감부하량 산정을 위한 실측자료가 없을 경우에는 저감효율은 수질오염총량관리기술지침(2014.5 국립환경과학원)의 저감효율을 적용하여 산정함. 또한, 삭감대상부하비는 강우처리비 산정식 및 삭감대상부하비 산정식에 따라 산정함.

즉, 비점오염저감시설의 설계기준 강우량(mm) 또는 설계기준 강우강도(mm/hr)로부터 강우배출비를 산정하고, 이에 해당하는 삭감대상부하비를 산정함

$$\text{강우처리비} = a \cdot \ln(\text{설계기준강우}) + b$$

$$\text{삭감대상부하비} = e^{[a \cdot \{\ln(\text{강우처리비})\}^2 + b \ln(\text{강우처리비})]}$$

<표 25> 설계기준에 따른 강우처리비 산정시 적용계수

구 분	a	b
강우량(mm) 기준 설계시설	0.2716	-0.2425
강우강도(mm/hr) 기준 설계시설	0.2445	0.3174

자료 : 수질오염총량관리기술지침(2014. 5, 국립환경과학원)

<표 26> 강우처리비에 따른 삭감대상부하비 산정시 적용계수

구 분	BOD	TN	TP
a	-0.0184	-0.0030	-0.0018
b	0.6922	0.7509	0.7931

자료 : 수질오염총량관리기술지침(2014. 5, 국립환경과학원)

- 강우시 유역에서 유출되는 오염부하량 중 삭감대상부하량을 산정하기 위하여 다음과 같이 강우처리비와 삭감대상부하비를 산정하였음

<표 27> 강우처리비 및 삭감대상부하비

설계기준 강우량 (mm)	강우처리비	삭감대상부하비		
		BOD	T-N	T-P
5	0.1946	0.3066	0.2902	0.2717

- 삭감대상부하비를 이용하여 다음과 같이 삭감대상부하량을 산정하였으며, 앞서 제시된 인공습지의 저감효율을 적용하였을시 삭감부하량은 BOD 340.4kg/일, T-N 134.8kg/일, T-P 23.0kg/일로 산정됨

<표 28> 강우시 인공습지 삭감부하량

구분	비점오염원 부하량(주)			삭감대상부하량			삭감부하량		
	BOD (kg/일)	T-N (kg/일)	T-P (kg/일)	BOD (kg/일)	T-N (kg/일)	T-P (kg/일)	BOD (kg/일)	T-N (kg/일)	T-P (kg/일)
남원천	2,094.9	1,254.9	141.1	642.3	364.2	38.4	340.4	134.8	23.0

주) 토지계와 축산계 부하량의 합

◆ 참고 문헌 ◆

- 환경부, 2014, 비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 메뉴얼
- 국립환경과학원, 2014, 수질오염총량관리기술지침
- 환경부, 2010, 수질오염총량관리를 위한 개발사업 비점오염원 최적관리지침
- 환경부, 2006, 비점오염원관리 업무편람
- 대전지방국토관리청, 2001, 남원천 하천정비기본계획
- 충청남도, 2012, 오봉천 하천기본계획보고서
- 한국환경공단, 2014, 용봉리 축산습지 비점오염저감사업 기본 및 실시설계보고서
- 광주광역시상수도사업본부 정수사업소, 2006, 동북호 인공습지시설 조사 및 평가
- 한국수자원공사 안덕건설사업단, 1998, 인공습지조성 사례발표