

발간등록번호
11-14808523-002210-01

 환경부  
NIER-RP2014-319

# 비점오염원 취약지역 선정 및 관리목표 설정·평가 방안 연구(II)

물환경연구부 유역총량연구과

박배경, 안기홍, 김은정, 강민지, 박준대, 박지형,  
정제호, 김용석, 류덕희, 이규민

## Decision of Prioritization of Catchments and Determination of Control Target for Non-point Source Pollution Management (II)

Bae Kyung Park, Ki Hong Ahn, Eun Jung Kim, Min Ji Kang, Jun Dae Park,  
Ji Hyung Park, Jae Ho Jeong, Yong Seok Kim, Doug Hee Rhew, Gyu Min Lee

Watershed Environment Research Department  
Water Environment Research Department  
National Institute of Environmental Research

2014



국립환경과학원  
National Institute of Environmental Research

---

# 목 차

---

목차 .....	i
표목차 .....	ii
그림목차 .....	iii
Abstract .....	iv
<b>I. 서 론 .....</b>	<b>1</b>
<b>II. 연구 내용 및 방법 .....</b>	<b>4</b>
1. 취약지역 평가요소별 과학적 계량화 개선 .....	4
2. 관리목표 설정 방법론 수립 .....	4
3. 비점오염원 관리지역의 관리목표 설정 .....	5
<b>III. 연구결과 및 고찰 .....</b>	<b>6</b>
1. 취약지역 평가요소별 과학적 계량화 개선 .....	6
가. 취약지역 선정을 위한 델파이 기법 도입 .....	6
나. 취약지역 평가요소에 대한 과학적 계량화 개선 .....	7
2. 관리목표 설정 방법론 수립 .....	11
가. 기존 관리목표의 문제점 .....	11
나. 관리목표 설정시 고려요소 및 설정 방법론 .....	16
3. 비점오염원 관리지역의 관리목표 설정 .....	24
가. 새만금 유역의 관리목표 설정(안) .....	24
나. 골지천 유역의 관리목표 설정(안) .....	27
<b>IV. 결 론 .....</b>	<b>31</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>33</b>

## 표 목 차

<표 1> 바람직한 비점오염원 관리 정책 .....	1
<표 2> 비점오염원 취약지역 평가체계 .....	9
<표 3> 평가항목의 계량방법 .....	10
<표 4> 비점오염관리지역의 관리목표 및 설정 근거 .....	12
<표 5> 시행계획 수립시 적용된 모형 및 평가 .....	13
<표 6> 비점오염원 관리지역별 관리목표 및 목표달성평가 방법 .....	13
<표 7> 오염원/수문학적 상태 중요도 .....	18
<표 8> 주요 유역모델의 특징 및 최적관리기법 적용성 여부 .....	21
<표 9> 새만금 우선관리 소유역에 대한 저감효과 모의 시나리오 .....	26
<표 10> 새만금 비점오염관리지역 관리목표 설정(안) .....	27
<표 11> 골지천 소유역에 대한 저감효과 모의 시나리오 .....	29
<표 12> 골지천 비점오염관리지역 관리목표 설정(안) .....	30

## 그 립 목 차

<그림 1> 새만금 및 골지천 유역의 비점오염원 관리지역 지정현황 .....	3
<그림 2> 주요 연구내용 .....	4
<그림 3> 취약성 지표 및 가중치 선정을 위한 델파이 과정 흐름도 .....	7
<그림 4> 새만금 유역의 우선관리지역(유역평가체계 중 오염원 그룹 평가) 11	
<그림 5> 비점오염원 관리목표 설정방법론 개요 .....	16
<그림 6> 유역의 토지피복으로부터 수용수체로의 유출과 오염부하를 모의하 기 위한 전형적인 유역모델 구조 .....	20
<그림 7> LDC 분석을 통한 비점오염부하량 현황 분석(TP 예시) .....	25
<그림 8> 새만금 비점관리지역 관리목표지점 및 모델구획도 .....	26
<그림 9> 유량구간에 따른 SS부하량 및 농도 현황 분석 (관리유역말단) .....	28
<그림 10> 골지천 비점관리지역 관리목표지점 및 모델구획도 .....	29

## Abstract

Scientific approaches and decision support tools are required for the designation of nonpoint source pollution management areas and the application of the best management practices (BMPs) to those areas. So the framework to prioritize subwatershed for nonpoint source pollution control was developed considering the characteristic of nonpoint source runoff and the water quality policies and using Delphi approach in the last study.

In this study, flexible application of this evaluation system was suggested after examining quantification method of evaluation parameter and level of collectable data. The order of subwatershed priority for Mangyung and Dongjin river management was derived after reestimating precipitation data, flow rate data and water quality evaluation parameter and downscaling subwatershed size.

After selecting nonpoint source pollution control areas, it is necessary to establish management plan including realizable management goal and strategy and principle for detailed plans.

Management goals and evaluating methods of goal achievement in existing nonpoint source pollution management areas were examined. The considerations and setting methodology for management plan were suggested based on problem recognition about management goals and evaluation of goal achievement. Methodology for management plan includes analysis of runoff and evaluation of pollution loads by watershed model and Load Duration Curve(LDC).

Nonpoint source pollution management goals for Saemanguem watershed and Golji stream watershed were suggested using methodology for management plan. In Saemanguem watershed, TP of 5~25 % flow duration interval was selected as management item. Management goals at Mangyung Bridge and Dongjin Bridge were estimated as TP 0.34~0.35 and 0.15 mg/L

each using HSPF model output under nonpoint pollutant reduction scenarios. In Golji stream watershed, SS of 5~10 % flow duration interval was selected as management item. Management goals at Golji 2 were estimated as SS 108.4~123.6 mg/L using HSPF model output under nonpoint pollutant reduction scenarios.

# I. 서 론

국내에서 비점오염원은 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등 불특정 장소에서 불특정하게 수질오염물질을 배출하는 배출원으로 규정된다. 비점오염물질은 강우유출수에 의해 유출되므로 유역의 기상학적, 수문학적, 인구학적 특성 등 다양한 조건에 따라 유출특성이 달라진다<sup>1</sup>. 이러한 인자들은 시·공간적으로 변하기 때문에 비점오염원이 수계에 미치는 영향을 모니터링 및 평가하여 제어하는 것은 쉽지 않다<sup>2,3</sup>. 비점오염원 문제가 지니는 본질적인 불확실성을 고려했을 때 합리적이고 실효성 있는 관리정책을 추진하기 위해서는 문제인식-수립-집행-평가 등의 과정을 반복적으로 거치면서 개선하는 정책 과정이 필요하다<sup>4</sup>. 강민지 등(2014)은 바람직한 비점오염원 관리 정책과정을 제안하면서 과학적인 정보를 토대로 실현가능하고 명확한 정책 목표와 정책 수단을 결정하고, 이해관계자의 참여, 합리적 절차 등을 통해 정책이 결정될 수 있도록 관리체계를 개선해야 한다고 주장하였다 <표 1>.

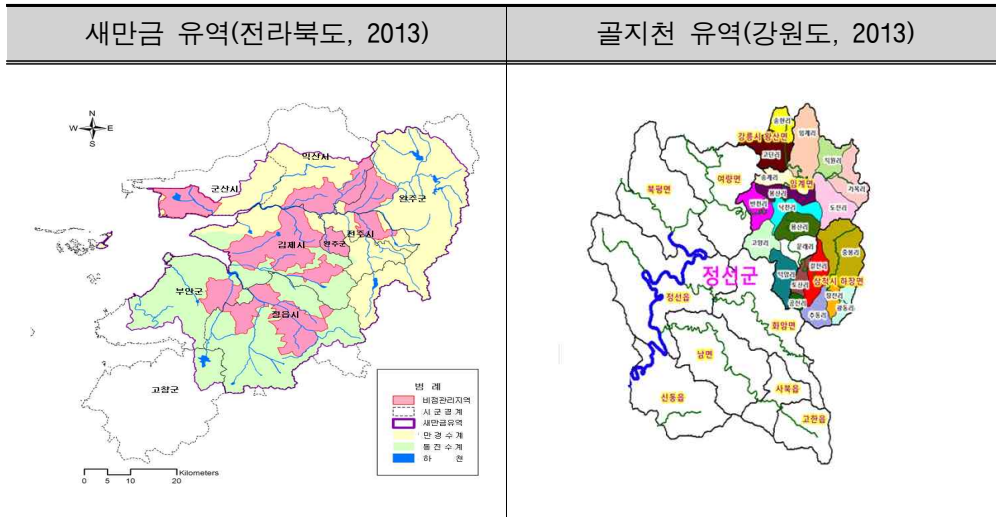
<표 1> 바람직한 비점오염원 관리 정책<sup>5</sup>

구분	내 용	
문제 인식	비점오염물질 발생현황 및 유출경로, 유역특성, 수질·수생태계 현황, 수체의 중요도, 환경훼손 규모, 기존 부하량 등 검토	
대책 수립	대안 구성	달성해야할 관리목표(부하량, 수질 등) 수준 설정 다양한 비점오염 저감기법(구조적·비구조적 최적관리기법, 저영향개발 기법 등) 등 검토 목표달성을 위한 다양한 대안 구성(저감기법별 우선순위, 저감시설의 규모 등)
	지표 선정	비점오염 저감효과, 경제성 등 측정가능한 평가지표 선정
	대안 평가	평가지표를 이용하여 관리목표의 실현가능성, 대안의 효율성 등 평가
	대안 채택	최선의 관리목표와 저감계획 채택
대책 이행	비점오염 저감시설의 설계, 설치, 운영 및 관리 등 발생원관리, 교육·홍보, 제도개선 등	
대책 평가	저감기법별 저감효과 모니터링 관리목표지점의 수질·유량 등 모니터링 관리대책 추진현황 및 저감효과 분석 목표달성여부 평가 및 원인 분석 등	

정책결정과정 중 문제인식과 관련된 연구로서 박배경 등(2013)은 전문가를 대상으로 한 다기준 의사결정방법(델파이 기법)을 적용하여 유역특성, 오염원 및 수질 현황, 관련 정책 기반여건 등 다수의 고려항목 및 가중치를 결정하여 비점오염원관리 취약지역을 분석한 바 있다<sup>6</sup>. 이는 전국 소권역(814개)을 대상으로 체계적인 평가체계를 구축한 것이지만, 일부 소권역의 경우 평가항목의 계량화에 필요한 자료가 부족했고 일부 평가항목의 경우 계량화 방법에 대한 검토가 미흡한 부분이 있었다. 따라서 효율적 정책 추진을 위해서는 관련 자료의 업데이트 및 주기적인 재평가가 이루어질 수 있는 비점오염 취약성 평가시스템이 필요하다고 제안한 바 있다. 이 뿐 아니라 지자체가 비점오염저감계획을 수립하고자 할 때 소권역은 다소 큰 규모이므로 해당 지역의 규모에 적합한 평가체계를 구축할 필요가 있다. 이에 따라 본 연구에서는 기존 평가체계의 한계와 활용방안을 검토하였다.

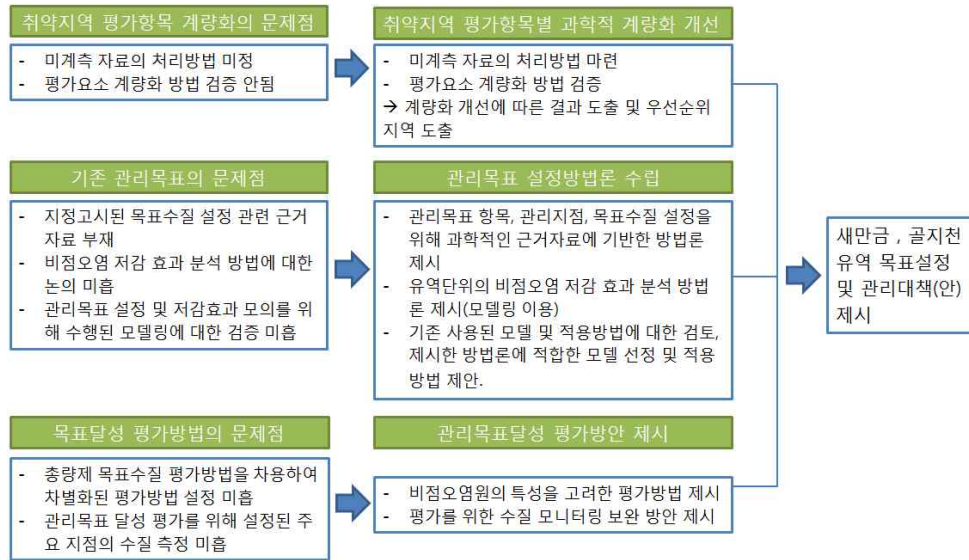
비점오염원에 대한 문제인식 후, 대책을 수립하기 위해서는 실현가능한 관리목표를 설정하고 세부계획 수립을 위한 전략 및 원칙을 설정할 필요가 있다. 본 연구에서는 관리목표 결정과정에서 제한된 자원, 정보가 무엇이며 지역별 비점오염 유출특성, 관리대책 추진 여건 등을 어떻게 고려할 것인지 등을 검토하여 합리적인 목표 설정을 위한 방법론을 제안하였다. 또한 환경부는 2014년 말까지 새만금 유역(7개 시군, 815.8 km<sup>2</sup>)과 골지천 유역(3개 시군, 398.34 km<sup>2</sup>)에 대한 관리대책을 수립할 계획이다. 관리대책에는 관리목표와 달성기간, 관리대상 수질오염물질의 발생량, 저감방안 등의 내용이 포함되어야 한다. 본 연구에서는 새만금 유역과 골지천 유역의 비점오염원 현황, 비점오염 유출특성, 제반여건 등을 검토하여 관리목표(안)을 제시하였다.





<그림 1> 새만금 및 골지천 유역의 비점오염원 관리지역 지정현황

## II. 연구 내용 및 방법



<그림 2> 주요 연구내용

### 1. 취약지역 평가요소별 과학적 계량화 개선

유역환경 평가체계를 대상으로 평가항목의 계량화 방법과 수집 가능한 자료수준 등을 검토하여 평가목적, 가용한 자료 등에 따라 평가체계를 유연하게 활용할 수 있는 방안을 제안하였다.

시·공간 변화가 큰 강우자료(연간총강우량, 강우일수, 평균강우강도), 하천 유량, 수질의 평가항목을 재산정하여 만경강·동진강 유역에 대한 우선순위를 도출하였으며, 소권역이 아닌 총량 소유역으로 유역단위를 축소하여 평가하는 방안을 검토하였다.

### 2. 관리목표 설정 방법론 수립

비점오염원 관리지역 지정제도에 따라 관리대책과 시행계획이 수립되어 추진 중인 소양호, 도암호 및 임하호 유역, 광주광역시와 수원시에 대한 관리목

표와 목표달성도 평가에 대한 문제점을 검토하였다. 분석된 문제점을 바탕으로 관리목표 설정시 고려요소 및 설정방법론을 제시하였으며, 비점오염 유출 특성과 부하량 평가에 활용될 수 있는 유역모델, 부하지속곡선(LDC: Load Duration Curve) 등을 검토하고 관리목표 설정 및 달성도 평가시 활용방안을 제안하였다.

### 3. 비점오염원 관리지역의 관리목표 설정

앞서 제시한 관리목표 설정 방법론에 따라 새만금, 골지천유역에 대한 관리목표(안)을 제안하였다. 관리항목의 설정 및 우선관리 소유역 선정을 위해서 유역 내 비점오염원 관리여건, 주요 지점에서 측정된 유량, 수질 및 수생태계 자료 등을 검토하였고 유량에 따른 수질 및 부하량을 분석하였다. 비점오염원저감 시나리오별 유역모델의 유량 및 수질 모의결과, 부하지속곡선 도출결과 등을 활용하여 각 유역의 비점오염원 관리 목적에 적합한 관리목표(안)을 제안하였다.

### III. 연구결과 및 고찰

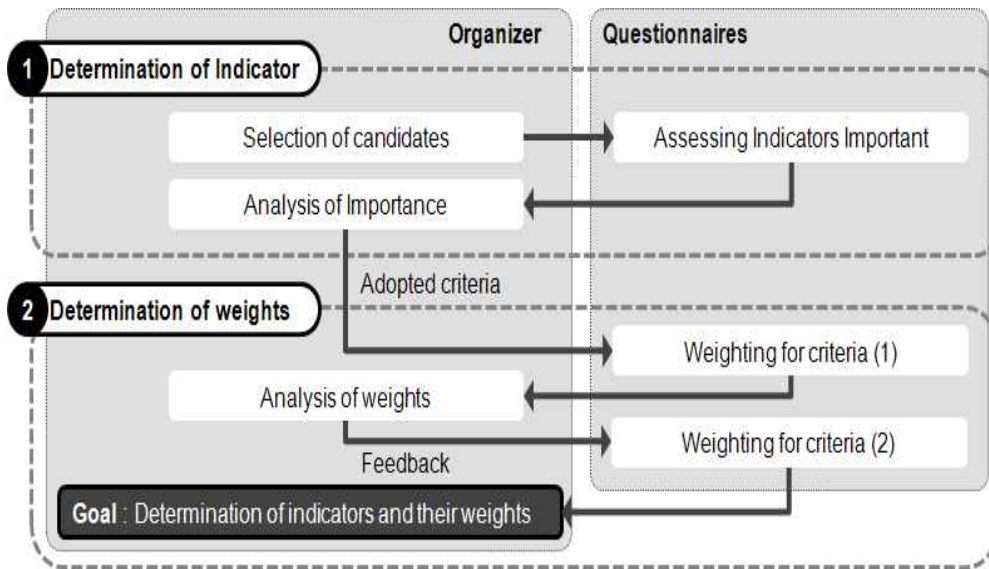
#### 1. 취약지역 평가요소별 과학적 계량화 개선

##### 가. 취약지역 선정을 위한 델파이 기법 도입

본 연구에서는 비점오염 취약지역분석 및 관리우선순위 설정에 필요한 평가항목 및 가중치를 델파이 설문조사기법을 이용하여 설정하였으며, 비점오염원 유출특성과 관련된 유역환경과 비점오염원 관리현황을 고려하여 평가체계를 구축하였다.

델파이 기법은 ‘선정한 설문조사 참여자의 그룹을 최대한 이용하는 효과적인 방법으로서 복잡한 문제를 처리하기 위해서 그룹 커뮤니케이션 과정을 구조화한 기법이다. 델파이 방법은 1950년대부터 인문·사회분야에서부터 적용된 방법으로, 제안된 의견을 분석하여 피드백하는 통제된 설문조사를 일련의 수단으로 하여 전문가 그룹으로부터 지식을 선정하고 추출하는 구조적 과정을 기반으로 한다.

일반적인 델파이 설문조사는 과정은 3~4회에 걸쳐 조사를 수행하는데 첫 번째 단계에서는 연구문제에 대하여 설문참여자들에게 개방형 질문에 응답하도록 하여 의견을 수집한다. 두 번째 단계에서는 앞에서 수집한 개방형 질문을 분석하여 구조화된 폐쇄형 질문으로 재구성하고 각 항목내용에 대한 참여자의 의견을 척도(척도의 예: 필요, 보통, 불필요)를 이용하여 동의의 정도를 판단하도록 하고 이를 수집한다. 다음 단계에서는 회수한 의견의 집중도, 변산도 등을 분석하여 참여자들에게 재배포 하여 본인의 의견의 재고하고 수정할 수 있는 기회를 제공한다. 이 절차를 참여자들의 의견이 어느 정도 합의에 이를 때 까지 몇 차례 반복한다(그림 3).



<그림 3> 취약성 지표 및 가중치 선정을 위한 델파이 과정 흐름도

나. 취약지역 평가요소에 대한 과학적 계량화 개선

(1) 기존 비점오염원 취약지역 평가체계

기존 평가체계는 유역환경(그룹: 오염원, 유출경로, 공공수역) 및 비점오염원 관리 현황(그룹: 총량관리, 기타 수질 및 수량관리, 비점오염원 관리)으로 구분되며, 델파이 설문조사기법으로 도출된 평가항목과 가중치(순위법, 비율법, 퍼지가중치법)가 사용된다. 평가를 위해서 관련 자료를 수집하고 평가항목별 계량치를 산정하여 표준화한 이후에 가중치를 적용하며, 각 그룹별 평가결과는 TOPSIS 방법을 통해 합산하여 이루어진다.

(2) 평가항목의 계량방법

유역환경에 대한 평가체계에서 그룹별 평가항목의 계량화 방법 및 관련 자료는 <표 2>과 같으며, 자료확보 유무 등 제반여건에 따라 평가체계를 유연하게 적용할 수 있다. 즉 비점오염원 관리에서도 부족한 정보와 불확실한 대상 시스템을 관리하기 위하여 정확한 이해와 반응에 대한 지식을 축적해 가면서 시스템에 대한 관리능력을 높여가는 반복적인 접근방법(Holling, 1978;

Waters, 1986)인 ‘적응형 관리(Adaptive Management)’<sup>7,8</sup>의 도입을 고려해 볼 수 있다.

오염원 그룹의 평가항목은 매년 조사되는 전국오염원조사자료, 지자체 통계자료를 통해 산정할 수 있으며, 평가대상 유역(지역)이 변경되더라도 해당 법정동리를 매칭하여 평가항목의 계량치 산정이 가능하다.

유출경로 그룹의 강우 관련 평가항목은 유역면적 강우량을 사용하는 것이 더 타당하며, 유역면적, 형상계수, CN값은 유역이 변경되면 수치지도, 하천도, 토양특성자료, 토지피복도 등을 이용하여 값을 재산정하여야 한다.

공공수역 그룹의 하천유량, 수질항목 등은 대상 유역의 유출 및 수질 현황 특성을 대표할 수 있는 지점의 측정값을 활용하는 것이 타당하나 미계측 유역은 강우-유출모델, 수질모델 등의 적용을 고려할 수도 있다. 수생태계건강성 등은 환경부 수생태계 건강성 조사결과를 활용할 수 있으나 측정지점이 상대적으로 작아 미계측 유역의 대푯값을 도출하기 어렵다.

<표 2> 비점오염원 취약지역 평가체계<sup>6</sup>

I. 유역환경에 대한 평가체계			II. 비점오염원 관리현황에 대한 평가체계				
그룹	평가항목	평가항목	그룹	평가항목	평가항목		
오염원	노출 요소	인구밀도	총량 관리	시행지역	1단계 평가 할당부하량 초과지역		
		도시화율			1단계 평가 목표수질 초과지역		
		산업현황				수질개선 사업지역	1단계 평가 할당부하량 초과지역
	영향 요소	하수관거시스템					1단계 평가 목표수질 초과지역
		가축사육두수					
		축사면적					
	토지 이용	비료소비량		1단계 평가 목표수질 초과지역			
		대지면적					
		논면적					
		밭면적					
		임야면적					
		기타면적					
유출경로	강우	연간총강우량	기타 수질 및 수량 관리	주요 수질관리 지역	특별대책지역, 상수원보호구역		
		강우일수			수질예보발생현황		
		평균강우강도		홍수위험 지역	홍수위험지역		
	유출	유역면적			풍수해현황		
		CN값					
		유역형상계수					
공공수역	하천	하천유량	비점 관리	설치신고 현황	개발사업		
		하천정비현황			사업장		
	수질	일반항목(BOD, TN, TP)		비점저감 사업계획	사업 추진건수		
		SS			사업 추진계획 수립		
		그 외 수질항목 (COD, Chlorophyll a, 수온)					
	수생태계	수생태계건강성					

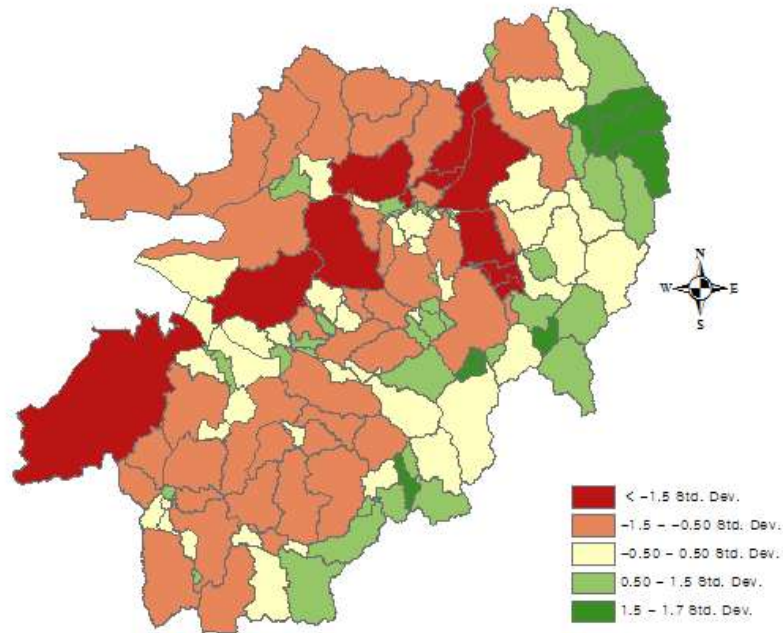
<표 3> 평가항목의 계량방법

그룹	평가항목	평가항목	계량방법	관련자료
노출요소	인구밀도	단위면적당 인구수(명/km <sup>2</sup> )		생활계 오염원
	도시화율	총인구수에 대한 시가인구수 비율(명/명)		생활계 오염원
	산업현황	사업장 규모 <sup>1)</sup> , 특정수질유해물질배출여부 <sup>2)</sup> , 배출허용기준 적용지역 <sup>3)</sup> 에 대한 평가치를 합산하여 산정 1) 1종 5점, 2종 4점, 3종 3점, 4종, 2점, 5종 1점 2) 배출 2점, 미배출 1점 3) 특례지역 4점, 청정지역 3점, 가지역 2점, 나지역 1점		산업계 오염원
영향요소	하수 관거시스템	처리/미처리 인구를 기준으로 분류식 및 합류식 비율, 미처리 구역 비율에 가중치 <sup>1)</sup> 를 적용한 평가치를 합산하여 산정 1) 분류식비율 0.25, 합류식비율 0.5, 미처리구역비율 1.0		생활계 오염원
	가축 사육두수	축종 <sup>1)</sup> 별 사육두수에 가중치 <sup>2)</sup> 를 적용한 평가치를 합산하여 산정 1) 총량제 축종 분류표 2) 축종별 발생유량원단위를 기준으로 산정 (젓소 0.5673, 한우 0.1816, 말 0.1207, 돼지0.1070, 양·사슴 0.0087, 개 0.0137, 가금 0.0010)		축산계 오염원
	축사면적	축종별 축사면적을 합산하여 산정		축산계 오염원
	비료소비량	질소질, 인산질, 가리질 비료의 연간 총소비량		지자체 통계자료
토지이용	대지면적	총량 지목중 대지면적을 합산하여 산정		토지계 오염원
	논면적	총량 지목중 논면적을 합산하여 산정		토지계 오염원
	밭면적	총량 지목중 밭면적을 합산하여 산정		토지계 오염원
	임야면적	총량 지목중 임야면적을 합산하여 산정		토지계 오염원
	기타면적	총량 지목중 기타면적을 합산하여 산정		토지계 오염원
강우	연총강우량	연간 강우량을 합산하여 산정		강우자료
	강우일수	연간 강우일수를 합산하여 산정		강우자료
	평균 강우강도	연간 발생한 강우사상의 시강우강도의 평균값		강우자료
	유역면적	유역면적		유역도
	CN값	토지피복별 면적과 CN값을 산정하여 면적가중평균 CN값 산출, 수문학적 토양등급에 따라 CN값 결정		토지피복자료, 토양자료
유출	유역 형상계수	형상계수(Shape Factor, R <sub>c</sub> ) <sup>1)</sup> 1) 유역면적과 동일한 면적을 가지는 원의 직경(D <sub>c</sub> )에 대한 유역의 주하천길이(L <sub>c</sub> )의 비		유역도, 하천도
	유역 평균경사	수치표고자료(DEM: Digital Elevation Model)의 각 셀에 해당하는 경사를 도단위로 산술평균하여 산정		수치표고자료
하천	하천유량	유역내 주요 유량측정지점의 평균 유출량		하천유량, 댐 방류량 등
	하천 정비현황	저식 및 주변환경평가점수 <sup>1)</sup> 1) 하천의 자연적인 중형사주, 하천변 폭, 저질상태, 횡구조물, 하도정비 및 하도특성의 자연도, 저수로하안공, 제방하안 재료, 제내외지의 토지이용, 오염원유입 정화시설 등 10항목에 대한 평가치를 합산하여 측정		수생태계 건강성 조사자료
	일반항목(BOD, TN, TP)	유역내 주요 수질측정지점에 대한 표준화 <sup>1)</sup> 된 BOD, TN, TP 계량치를 합산하여 산정 1) 해당 유역의 주요 수질측정지점에 대한 시간에 대한 평균 수질값 산정 후 전체 유역의 측정지점에 대해 공간 평균한 값에 대한 비율로 표준화		수질측정자료
	SS	유역내 주요 수질측정지점에 대한 표준화된 SS		수질측정자료
	그 외 수질 항목(COD, Chlorophyll a, 수온)	유역내 주요 수질측정지점에 대한 표준화 <sup>1)</sup> 된 COD, Chlorophyll a, 수온의 계량치를 합산하여 산정		수질측정자료
수생태계	수생태계 건강성	수생태계 건강성 통합평가점수 1) 부착조류 영양염지수(TDI), 저서성 대형무척추동물 한국 청정생물지수(KPI) 및 어류 생물지수(IBI)를 산술평균하여 산정		수생태계 건강성 조사자료



(3) 새만금 유역(만경강·동진강 유역)에 대한 취약성 재평가

소권역 평가대상단위가 너무 커서 총량 소유역으로 단위를 변경하고 계량화가 쉬운 오염원 그룹에 대해서 재평가하였으며 그 결과는 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 새만금 유역의 우선관리지역(유역평가체계 중 오염원 그룹 평가)

2. 관리목표 설정 방법론 수립

가. 기존 관리목표의 문제점

(1) 관리목표의 문제점

- 관리목표 설정 관련 과학적 근거 자료의 부족

<표 4> 비점오염관리지역의 관리목표 및 설정 근거

비점오염관리지역	관리목표	설정 근거
광주광역시	BOD 5.0 mg/L 이하로 유지	하천 수질 2등급
도암호	SS 5 mg/L 이하로 유지	호소 수질 2등급
소양호	탁도 50 NTU 이하로 유지	소양강댐 탁수저감대책( '07.3.21)의 목표 준용 - 댐내 및 방류수의 탁도를 30~50 NTU 이하로 유지하도록 함
임하호	탁도 50 NTU 이하로 유지	임하댐 탁수저감대책( '05.1.19)의 목표 준용
수원시	비점오염부하율을 52.4 %이하로 낮추거나 2009년도 대비 배 출량 250 톤/년 저감	비점오염물질 배출부하비율이 인구 100만명 이상 도시의 평균치가 52.4 %임에 근거

- 연평균 개념을 적용한 수질 기준
  - 비점오염원 배출을 평가할 수 있는 강우시 농도 기준이 아닌 연평균 개념의 농도 기준을 제시하고 있어 비점오염원에 의한 수질변화 특성을 고려하지 못하고 있다.
- 달성가능성, 지역 현황 등이 고려되지 않은 획일화된 기준
  - 임하호와 소양호의 관리대책상 관리목표는 관리대책 지정 시부터 지속적으로 달성하고 있으며, 광주광역시와 도암호는 각각 하천 및 호소 수질환경 2등급을 관리목표로 적용하고 있다.
- 주요 지점별 관리목표 설정 및 저감효과 모의를 위해 수행된 모델링에 대한 검증이 미흡

<표 5> 시행계획 수립시 적용된 모형 및 평가<sup>9~13</sup>

관리지역	모형	모의 항목	평가
소양호, 도암호	SWAT, SATEEC	토사발생량	- 시행계획 추가 관리목표를 위한 연간토사발생량 산정 및 우심소유역 제시하였으나 저감효과 모의는 하지 않음
임하호	SATEEC	토사발생량	- 시행계획 추가 관리목표를 위한 연간토사발생량 산정하였으나 저감효과 모의는 하지 않음 - 해당 모형은 관리목표지점에 미치는 영향 판단 불가
광주광역시	확인불가 QUAL계열 모형로 추정	BOD	- 비점오염원 저감시 BOD 개선효과 모의 - 총량배출부하량 및 유달율을 이용한 정적모의방법으로 실제 비점배출부하량 및 유달과정을 반영하기 어려움
수원시	HSPF	BOD	- 강우에 의한 비점오염배출을 모의하여 관리목표지점에서의 저감효과 판단 및 목표수질 산정 - 실측값의 한계로 인해 강우시 수질재현에 오차 가능성 존재

(2) 관리목표 달성도 평가의 문제점

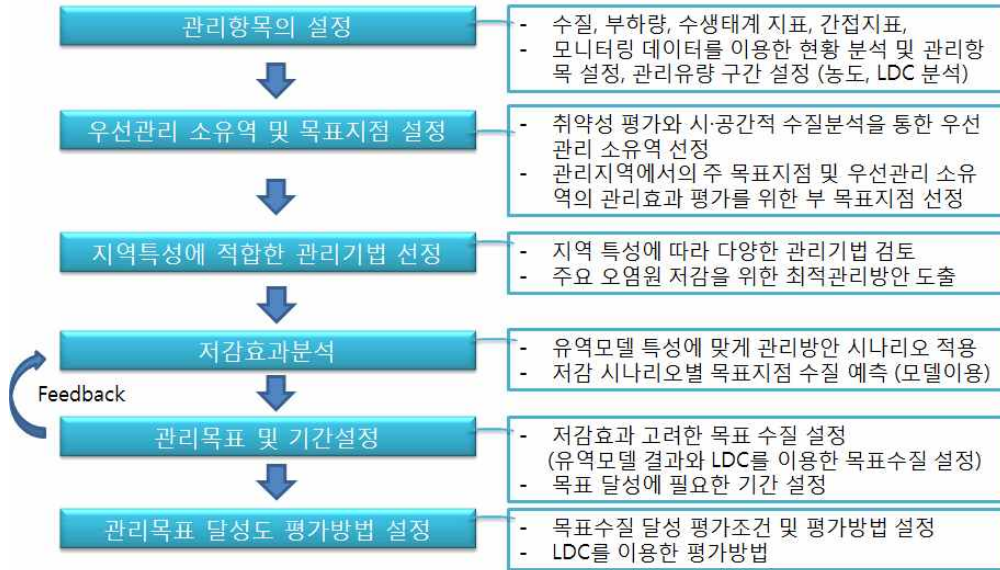
- 총량제 목표수질 평가방법 준용
  - 3년 평균 연속 2회 관리목표 유지시 목표 달성한다는 총량제 평가방법을 준용하여 비점오염 관리를 위한 차별화된 평가방법이 미흡하다.
- 관리목표 달성도 평가를 위한 모니터링 자료의 부족
  - 강우시 특성을 반영한 모니터링 자료가 부족하여 관리목표 달성도 평가가 어려우며, 목표 달성도 평가를 위한 측정지점임에도 정기적인 데이터 측정이 이루어지지 않아 평가가 어려운 경우가 있다.

<표 6> 비점오염원 관리지역별 관리목표 및 목표달성평가 방법

관리 지역	시행계획 관리목표	목표달성평가	자료 현황																																
소양호	<p>○ 소양호 말단지역(소양강댐 1지점)의 탁도를 50 NTU 이하로 유지</p> <p>- 주요 지구별 수질을 현재보다 50%개선 목표설정( '17년까지, NTU)</p> <p>· 만대지구(610 → 305), 자운지구(829 → 415), 가아지구(268 → 134)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th rowspan="2">하천명</th> <th rowspan="2">기준지점</th> <th colspan="2">현재 수질</th> <th colspan="2">목표수질</th> </tr> <tr> <th>SS (mg/l)</th> <th>탁도 (NTU)</th> <th>SS (mg/l)</th> <th>탁도 (NTU)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>만대지구</td> <td>만대천</td> <td>물골교</td> <td>649</td> <td>610</td> <td>325</td> <td><u>305</u></td> </tr> <tr> <td>자운지구</td> <td>자운천</td> <td>양수교</td> <td>304</td> <td>829</td> <td>152</td> <td><u>415</u></td> </tr> <tr> <td>가아지구</td> <td>가아천</td> <td>상촌교</td> <td>285</td> <td>268</td> <td>143</td> <td><u>134</u></td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 현재 수질 및 목표수질은 강우사상별 유량가중 평균농도임</p>	구분	하천명	기준지점	현재 수질		목표수질		SS (mg/l)	탁도 (NTU)	SS (mg/l)	탁도 (NTU)	만대지구	만대천	물골교	649	610	325	<u>305</u>	자운지구	자운천	양수교	304	829	152	<u>415</u>	가아지구	가아천	상촌교	285	268	143	<u>134</u>	<p>○ 목표수질 달성도 평가는 3년 평균 연속 2회 관리목표 유지시 목표를 달성한 것으로 평가</p> <p>○ 주요 지구별 목표수질 달성도 평가는 연간 강우사상별로 측정, 유량가중평균농도로 산정</p> <p>- 측정대상 강우사상은 50mm 이상으로, 3년간의 평균 유량가중평균농도 초과여부로 판단(3년 평균 연속 2회 목표수질 달성 여부)</p>	<p>○ 소양호 말단지역 탁도는 수자원공사 소양강댐 관리단에서 측정</p> <p>○ 주요 지구별 수질자료(강원도 보건환경연구원)는 월 1회 측정자료로 강우사상별 수질·유량 자료 부재</p>
구분	하천명				기준지점	현재 수질		목표수질																											
		SS (mg/l)	탁도 (NTU)	SS (mg/l)		탁도 (NTU)																													
만대지구	만대천	물골교	649	610	325	<u>305</u>																													
자운지구	자운천	양수교	304	829	152	<u>415</u>																													
가아지구	가아천	상촌교	285	268	143	<u>134</u>																													
도암호	<p>○ 도암호 말단지역(도암댐 앞 지점)의 SS 5mg/L 이하로 유지</p> <p>- 도암호 유입부 하천(송천) 지점의 SS를 25 mg/L 이하로 유지하는 것으로 설정</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>하천명</th> <th>기준지점</th> <th>현재 수질 (SS, mg/l)</th> <th>목표수질 (SS, mg/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>송천</td> <td>용산교</td> <td>29.1</td> <td><u>25.0</u></td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 현재 수질 및 목표수질은 정규분포로 변환한 평균값(중간값)임</p>	하천명	기준지점	현재 수질 (SS, mg/l)	목표수질 (SS, mg/l)	송천	용산교	29.1	<u>25.0</u>	<p>○ 목표수질 달성도 평가는 3년 평균 연속 2회 관리목표 유지시 목표를 달성한 것으로 평가</p> <p>○ 송천 지점의 목표수질 달성도 평가는 환경부 및 강원도의 수질모니터링 자료를 활용</p> <p>- 평가방법은 3년간의 변환평균 값(SS)이 목표수질을 초과하는지 여부로 판단(3년 평균 연속 2회 목표수질 달성 여부)</p>	<p>○ 도암호 말단지역 SS는 강원도에서 측정 (국가 측정망자료 부재)</p> <p>○ 송천 1(용산교)에서는 월 1회 SS 측정 자료</p>																								
하천명	기준지점	현재 수질 (SS, mg/l)	목표수질 (SS, mg/l)																																
송천	용산교	29.1	<u>25.0</u>																																

<p>임하호</p>	<p>○ 임하호 유역 목표수질(탁도 50NTU 이하) 달성을 위한 기준지점으로 임하댐 앞(반변천 2)에 대해 목표수질 설정 - 이를 위해 토사유출 저감목표 35%(연간 토사발생량 1,080천톤/년 중 324천톤/년 저감) 설정</p>	<p>○ 목표수질 달성도 평가는 환경부 및 경상북도, 한국수자원공사의 수질 모니터링 자료를 활용 - 평가방법은 연간 평균(산술) 탁도가 초과하는지의 여부로 매 익년 3월에 실시(3년 평균, 연속 2회 목표수질 달성 여부)</p>	<p>○ 임하댐 앞지점 탁도는 수자원공사 안동댐 관리단에서 측정 ○ 반변천 2에서는 탁도 자료 부재 (SS만 측정)</p>
<p>광주광역시</p>	<p>○ 광주광역시 말단지점(광산)의 수질을 생물화학적산소요구량 5mg/L이하로 유지</p>	<p>○ 3년 평균 연속 2회 관리목표 유지시 목표를 달성한 것으로 평가</p>	<p>○ 영산강 물환경연구소에서 측정(총량측정망, 영본 B 지점)</p>
<p>수원시</p>	<p>○ 수원시 오염물질 배출량 중 비점오염원에서 배출되는 오염물질(유기물질, BOD기준)을 2009년 대비 배출량 250톤/년 저감 - 관리목표량 : 5,312.59kg/일(20년까지, BOD 기준) ※ 5,312.59kg/일= (2009년 배출부하량: 5,997.59kg/일) - (685kg/일:250톤/년) ○ 비점오염 저감효과 평가를 위한 보조지표 : 화산교 지점 수질 BOD 4.7mg/ℓ</p>	<p>○ 비점오염원에서 배출되는 오염물질의 비율 또는 배출량이 2년 연속하여 관리목표를 달성한 경우 관리목표를 달성한 것으로 평가</p>	<p>○ 지자체 담당자가 비점오염 배출부하량 산정 불가 ※ 이행평가서 매년 3월 31일까지 제출 - 총량 시행계획 수립지역으로 이행평가서 배출부하량 산정 ※ 이행평가서 매년 5월 31일까지 제출 ○ 시행계획 승인조건으로 수질 측정 요청 - 화산교 지점 및 황구지천, 서호천, 수원천, 원천리천 하류지점 - BOD 매월 1회 이상, 중금속(Cd, CN, Pb, Cr<sup>16</sup>, As, Hg) 매분기 1회 이상</p>

나. 관리목표 설정시 고려요소 및 설정 방법론



<그림 5> 비점오염원 관리목표 설정방법론 개요

(1) 관리 항목의 선정

관리항목 선정시 우선적으로 고려해야 하는 것은 해당 유역에서 비점오염원을 관리해야하는 목적을 설정하는 것이다. 관리유역내의 특정 수체구간에서 비점오염원이 수질 또는 수생태계에 미치는 영향을 감소시키는 것이 목적인 경우는 해당 수질항목의 농도나 수생태계 지표가 관리항목이 될 수 있으며, 수질이나 수생태계 서식지 환경에 영향을 주는 간접적인 지표(예: 불투수면적, 수생태계 서식조건에 중요한 수질항목, 수문학적 조건 등)가 될 수도 있다. 관리유역으로부터 배출되어 하류에 위치한 수체의 수질 또는 수생태계에 영향을 미치는 비점오염원을 관리하는 것이 목적인 경우는 해당 비점오염물질의 유달부하량이 관리항목이 될 수 있다.

관리목적 및 항목을 정하는 것은 해당지역 전문가나 이해당사자의 역할이 중요하며, 관리항목의 적합성을 판단하기 위해서는 모니터링 자료를 이용한

분석이 수반되어야 한다. 수질 자료의 경우 강우시 데이터가 포함된 장기간의 자료여야하며 수생태계 자료의 경우도 연중 다회 측정된 장기간의 자료가 필요하다. 수질이나 수생태계에 영향을 주는 간접지표항목인 경우에는 관리항목과 수질 또는 수생태계와의 상관관계를 분석할 수 있는 데이터가 필요하다.

본 연구에서는 수질을 관리항목으로 하는 경우 목표지점에서의 기준 부하 지속곡선(LDC:Load Duration Curve)과 실측 수질 및 유량을 통해 산정된 부하량을 비교하여 관리항목을 선정하는 방안을 제안하고자 한다. EPA(2007)에 따르면 수문학적 조건에 따라 부하에 기여하는 오염원의 종류가 달라지며, 수문지속곡선(FDC: Flow Duration Curve)의 고유량 구간에서 비점오염원의 상대적 중요도가 커지는 것을 알 수 있다<표 7>. 따라서 여러 수질 항목에 대하여 기준 LDC를 작성한 후 관리대상 고유량 구간에서 실측부하량이 기준 LDC를 초과하는 정도를 분석하여 관리대상항목을 선정할 수 있다. 관리유량 구간은 유역, 수질 및 유달부하량 특성에 따라 관리가 필요한 구간으로 설정한다. 기준 LDC를 이용한 구체적인 적용방법은 아래와 같다.

※ 기준 LDC 작성에 의한 관리항목 선정방법

1. 분석지점에서의 유량지속곡선(FDC)을 작성

- FDC는 일유량 자료 또는 8일 간격 자료가 존재하는 경우에는 해당 자료를 이용하고, 자료가 없는 경우에는 유역모델을 통한 일유량 산정결과를 이용
- FDC는 최근 5~10년 정도의 누적 자료를 이용하여 산정

2. 관리 유량 구간 설정

- 관리 유량구간은 유역의 특성과 관리목적에 따라 달라짐 (예: 극단적인 유량조건을 빼고 관리하는 방법: FDC에서 10~40 % (Moist condition) 구간의 유량을 관리)

3. 분석 지점에 적용 가능한 수질기준(총량목표수질, 중권역목표수질 등)을 FDC와 곱하여 기준 LDC를 작성 후, 관리유량 구간에서 실측부하량이 기준 LDC를 넘는 항목을 관리항목으로 설정

- 실측 수질 및 유량 자료가 부족한 경우에는 유역모델을 이용해 모의된 수질 및 유량자료를 보조적으로 이용하여 평가함

<표 7> 오염원/수문학적 상태 중요도<sup>14</sup>

오염원	지속곡선구간				
	홍수량 (0~10 %)	습윤 (10~40 %)	평수량 (40~60 %)	건조 (60~90 %)	저수량 (90~100 %)
점오염원				M	H
폐수처리시스템			H	M	
수변구역		H	H	H	
우수: 불투수지역		H	H	H	
합류식 하수도 월류수	H	H	H		
우수: 경작지	H	H	M		
제방 침식	H	M			

비고: 주어진 수문학적 상태에서 부하에 기여하는 오염원 지역의 잠재적 상대 중요도 (H: 높음, M: 중간)

수생태계 지표의 경우는 수생 유기체의 존재, 다양성 및 생산성이 서식처의 적합성 특성을 추론하기 위한 목적으로 사용될 수 있으므로 물리적, 화학적 지표를 보완해줄 수 있다<sup>15</sup>. U. S. EPA(1999)<sup>15</sup>에 따르면 사용할 수 있는 생물학적 평가 지표로 두 가지를 들고 있으며 첫째는 종의 수, 다양성 및 생산성에 대한 정량적 분석을 이용한 방법이며 생물학적 지표 선택 및 특정지표 선택에 대한 상세한 지침은 U. S. EPA(1989)<sup>16</sup> 등에 제시되어 있다. 둘째는 생물학적 지표의 평가를 물리적 지표(주로 하천바닥 상태 요인) 및 화학적 지표(예: 온도범위)와 통합하여 복합 서식처 품질 지표를 만들 수 있는 정성적 또는 준정성적 방법이다. 수생태지표의 구체적인 관리항목 설정방안은 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

불투수면적을 관리항목으로 하는 경우는 유역에 대한 불투수면적을 목표치를 정하게 되며, 이를 위해서는 불투수면적, 관련오염부하, 결과적 수체조건(수질 등)간의 관계를 분석할 수 있는 데이터가 필요하다. 이 방법은 불투수면적과 유출 및 수체에 대한 효과 사이의 관계에 의존하기 때문에 도시 유출을 제외한 다중 오염원이 영향을 크게 주는 지역에서는 적용이 제한될 수 있다<sup>17</sup>.



**(2) 관리목표지점 설정 및 우선관리 소유역 선정**

관리목표지점은 비점관리유역의 말단 하천지점이나 인근의 수질 측정망이 존재하는 지점을 고려하여 선정하며 비점오염원 저감효과를 평가할 수 있는 지점으로 한다. 관리지역의 범위가 커서 소유역에서의 저감효과를 판단하기 어려운 경우에는 우선관리 소유역에서의 비점오염원 저감효과를 판단할 수 있는 상류의 지점을 추가로 지정한다.

관리지역내에서 관리대상 비점오염원의 배출이 특정 소유역에서 크게 문제가 되거나 관리지역의 크기가 커서 모든 지역을 한꺼번에 관리하기 힘든 경우에는 우선관리 소유역을 선정하여 해당 소유역에 대한 관리계획을 우선적으로 세운다. 우선관리 소유역을 선정하기 위해서는 취락지역 선정방법을 이용한 평가와 모니터링 자료를 이용한 시공간적 분석을 수행한다. 모니터링 자료를 이용한 분석에서는 본류로 유입되는 소유역의 유입전·후 수질변화를 분석하며, 유량 구간에 따른 수질변화와 계절에 따른 수질변화 및 시간에 따른 수질변화를 공간적으로 분석하여 강우기에 본류수질에 영향을 크게 미치는 소유역을 선정하게 된다.

**(3) 지역특성에 적합한 관리기법 선정 및 저감효과 분석**

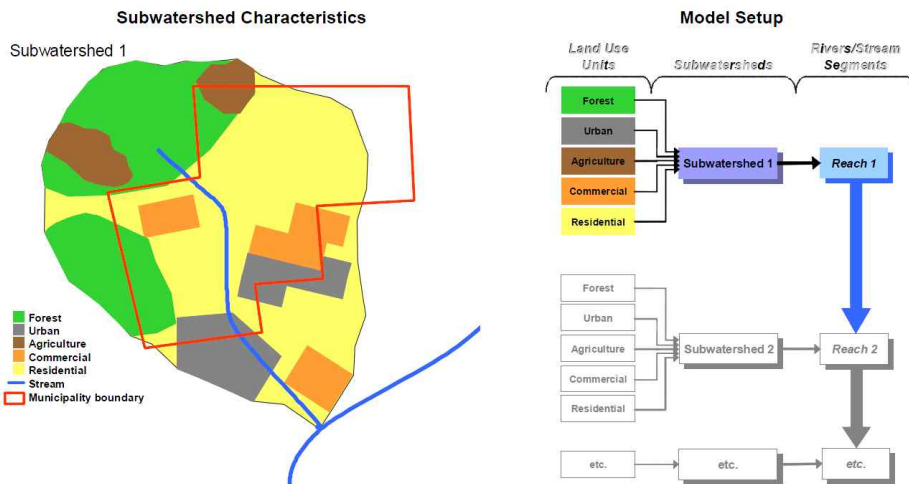
관리목적 및 관리항목이 정해진 후에는 다양한 관리기법을 검토한 후 지역 특성에 적합한 최적관리기법을 선정하여야 한다. 비점오염관리기법은 일반적으로 도시지역과 농촌지역에 대하여 구분할 수 있고 각각에 대하여도 구조적 방법과 비구조적 방법으로 나눌 수 있다.

관리기법이 정해지면 유역모델을 이용하여 저감효과를 분석한다. 유역모델은 토지이용에 따른 비점오염부하량의 정량적인 산정, 이동경로 파악 및 수체에 대한 영향의 정량적인 분석을 가능하게 한다. 따라서 유역모델을 이용하면 각 비점오염원에 대한 저감방안 적용시 목표로 하는 수체에서의 저감효과를 정량적으로 평가할 수 있다. 또한 소유역 단위의 저감효과 분석이 가능하며 경우에 따라 저감시설의 최적위치 및 효율분석이 가능하다. 대표적으로 사용되고 있는 유역모델에 대한 특징을 <표 8>에 제시하였다.

유역모델을 시뮬레이션하는데 사용되는 일반적인 가용데이터는 수치지형

도, 토지피복, 토양종류, 기상특징, 하천/인공호 치수 등이다. 대부분의 유역모델은 토지단위에 기초해서 계산을 수행하며 각 토지피복은 불투성과 투수성으로 나누어 서로 다른 계산과정을 거치게 된다. <그림 6>은 전형적인 유역모델이 어떻게 유역을 토지이용별로 구분하고 그 후 각 유역의 토지이용으로부터의 흐름과 부하를 수용하천까지 라우팅하는지를 보여준다<sup>17</sup>.

비점오염원 관리기법에 의한 저감효과를 분석하는 방법은 각 모델마다 다르며 적용할 수 있는 관리기법의 종류 및 적용방식에도 차이가 있다<표 8>. 따라서 적용하고자 하는 유역모델의 종류에 따라 적합한 분석 방법을 설정하여야 한다. 또한 비구조적 관리기법에 대해서 정량적인 효과분석이 가능하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.



<그림 6> 유역의 토지피복으로부터 수용수체로의 유출과 오염부하를 모의하기 위한 전형적인 유역모델 구조

<표 8> 주요 유역모델의 특징 및 최적관리기법 적용성 여부<sup>18</sup>

	AGNPS	STEPL	GWLF	HSPF	P8-UCM	SWAT	SWMM
<b>일반적 적용 가능 토지이용도 및 수체 특성</b>							
Urban	—	□	■	■	■	■	●
Rural	●	□	■	●	□	●	■
Agriculture	●	□	■	●	□	●	□
Forest	—	□	■	●	□	●	□
River	—	—	□	●	□	□	□
Lake	—	—	—	■	—	□	□
Reservoir/impoundment	—	—	—	■	■	□	■
Estuary (tidal)	—	—	—	—	—	—	—
Coastal (tidal/shoreline)	—	—	—	—	—	—	—
<b>세분화된 토지이용 특성</b>							
Air deposition	—	—	—	□	—	—	—
Wetlands	—	—	—	■	□	□	□
Land-to-land simulation	□	—	—	□	—	—	—
Hydrologic modification	—	—	—	■	—	—	■
BMP siting/Placement	●	—	—	□	■	—	■
<b>도시 지역 최적 관리기법 적용성</b>							
Street sweeping and vacuuming	—	—	□	—	■	□	■
Nutrient control practices (fertilizer, Pet waste management)	■	—	—	□	□	□	□
Stormwater structures (manhole, splitter)	—	—	—	—	□	—	■
Detention/retention ponds	■	—	—	□	■	□	■
Constructed wetland processes	—	—	—	—	□	□	□
Vegetative practices	■	—	□	□	□	□	□
Infiltration practices	—	—	—	□	□	—	—
<b>농촌 지역 최적 관리기법 적용성</b>							
Nutrient control practices (fertilizer, manure management)	●	□	□	●	—	●	□
Agricultural BMPs (contouring/terracing/row cropping)	●	□	□	●	—	●	□
Irrigation practices/tile drains	□	—	—	—	—	●	—
Ponds	■	—	—	■	■	■	■
Vegetative practices	■	□	□	□	—	■	—

\* 구분: — 모의 불가, □ 특성을 단순화하여 모의, ■ 중간 분석 수준으로 모의,

● 토지와 수체 특성 관련 반응기작의 세밀한 모의 가능

#### (4) 관리목표 및 기간 설정

관리항목이 수질농도 또는 유달부하량인 경우에는 현재수질 또는 부하량을 기준으로 저감효과 분석을 통해 달성가능한 수준의 목표를 제시하거나, 수생태계의 서식처 환경이나 수체의 용도에 따른 정책적인 기준에 기반을 둔 목표를 제시하는 방법이 있다. 두 가지 경우 모두 유량구간을 한정하여 목표를 설정하는 것이 비점오염원 배출특성을 고려한 목표설정방안이라고 사료되며, 유량구간은 극단적인 홍수량은 배제하는 것이 비점관리목적에 적합할 것이다.

관리항목이 수질인 경우는 비점오염원으로 인한 수질농도상승 자체만으로 수체이용이나 수생태계 서식환경에 악영향을 미치는 경우이므로, 관리 유량조건에서 관리기법 적용시 저감된 농도수준을 기준으로 목표수질농도를 제시한다. 저감된 농도는 유역모델에 의해 예측되며 관리유량구간의 예측 농도 분포에 대하여 상위 10 퍼센타일에 해당하는 값을 목표값으로 한다. 이 때 최대 농도가 아닌 상위 10 퍼센타일 농도를 선택한 이유는 모델보정시 또는 실측값에서 나타나는 오차를 감안하기 위함이다.

관리항목이 유달부하량인 경우에는 관리 유량조건에서 관리기법 적용시 저감된 유달부하량 분포를 유역모델을 이용하여 산출한 후 이를 기준으로 목표수질 농도를 제시한다. 이를 위해서 LDC를 이용한 설정방법을 제안하며 이는 저감된 유달부하량 분포가 관리유량 구간에서 새로운 기준 LDC 이하로 유지될 수 있는 수준으로 목표수질을 정하는 방법이다. 구체적인 적용 방법은 아래에 제시하였다.

**※ 유역모델과 LDC를 이용한 목표수질 설정 방법**

1. 관리지점에서 현재 수질 기준(총량목표수질, 중권역 목표수질 등)을 적용한 기준 LDC 작성
2. 현재조건(과거 5년~10년)에 대하여 유역모델 모의결과를 이용한 유달부하량이 관리유량 구간에서 초과되는지 확인
3. 유역모델에 적합한 비점관리기법 적용하여 수질 예측 및 새로운 유달부하량 산정
4. 비점관리기법 적용시 감소되는 유달부하량 분포의 90퍼센타일이 새로운 목표수질 LDC 이하로 유지되도록 목표수질을 정함
5. 관리기법 적용 시기를 고려하여 달성 기간을 설정함

관리항목이 수생태계 지표인 경우는 해당 지표가 목적으로 하는 수환경상태를 대표할 수 있는 값으로 목표가 설정되어야 한다. 수질 또는 수생태에 대한 간접지표항목인 경우에는 관리항목과 수질 또는 수생태와의 상관관계 분석에 의하여 목표로 하는 수질 또는 수생태 환경을 만족시킬 만한 수준으로 목표값을 설정한다.

관리목표를 달성하기 위한 기간 설정은 해당유역에 적용 가능한 비점오염 관리기법의 적용가능 시기를 고려하여 설정한다.

**(6) 관리목표 달성도 평가방법 설정**

관리목표 달성도 평가방법은 관리항목의 종류에 따라 달라질 수 있으며 본 연구에서는 관리항목이 수질 또는 유달부하량인 경우에 대해서 평가방법론을 제시하고자 한다. 두 방법론 모두 실측 수질과 유량 자료가 필요하다.

관리항목이 수질인 경우는 실측 수질이 관리유량 구간에서 목표수질을 초과하는지 여부로 달성도를 평가하며, 측정 오차 등을 고려하여 실측수질의 상위 10 퍼센타일이 목표수질을 초과하지 않으면 관리목표를 달성한 것으로 본다. 관리항목이 유달부하량인 경우는 관리목표의 달성도 평가는 실측 수질과 유량을 이용하여 실측유달부하량을 산정한 후 관리유량 구간에서 목표수질 LDC를 초과하는지 여부로 달성도를 평가하며, 실측부하량의 상위 10 퍼센

타일이 목표수질 LDC를 초과하지 않으면 관리목표를 달성한 것으로 본다. 비점오염원은 강우패턴 변화에 의한 영향이 크므로 연속하여 과거 3년~5년 동안의 실측수질 또는 실측유달부하량으로 평가한다.

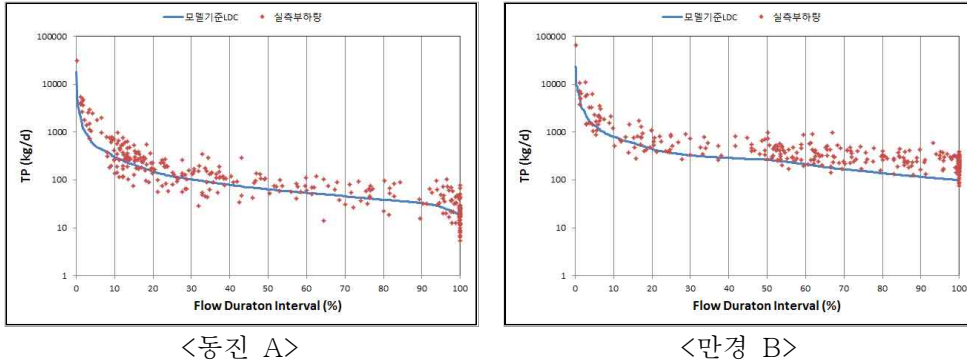
관리목표 달성도 평가를 위해서는 관리유량 구간에서의 실측 수질 및 유량 데이터가 필수적이며 이를 위해서는 모니터링 계획이 필요하다. 기본적으로 강우시 수질 및 유량 측정이 상시적으로 이루어지는 것이 가장 바람직하며 관리목표 평가 지점에서의 유역이 총량 단위유역 규모 이상인 경우는 총량수질측정망과 같은 빈도의 정기적인 수질 및 유량 측정으로도 관리유량 구간에서의 모니터링 자료 확보가 가능할 것으로 사료된다.

### 3. 비점오염원 관리지역의 관리목표 설정

#### 가. 새만금 유역의 관리목표 설정(안)

##### (1) 관리항목 설정

- 새만금 유역 수질 목표 현황
  - 총량목표수질(BOD) : 만경A 1.6, 전주A 5.9, 만경B 4.2, 탑천A 4.9, 정읍A 3.4, 동진A 3.1, 고부A 4.7, 원평A 3.4
  - 중권역 목표수질 : 만경 B(BOD 5.0, TP 0.2), 동진 A(BOD 3.0, TP 0.1)
- 관리유역으로부터 배출되어 하류의 새만금호 수질에 영향을 미치는 비점오염원을 관리하는 것이 목적이므로 비점오염물질의 유달부하량을 관리항목으로 하였다.
- 만경강 및 동진강 유역내의 모든 총량측정망의 유량 및 수질 자료를 이용한 유달부하량 산정 후 기준 LDC(BOD는 총량목표, TP는 중권역 목표, TN은 새만금담수호 목표수질에 상응하는 농도)와 함께 도시한 결과 BOD보다 TN, TP가 기준 LDC 초과율이 높게 나왔다.

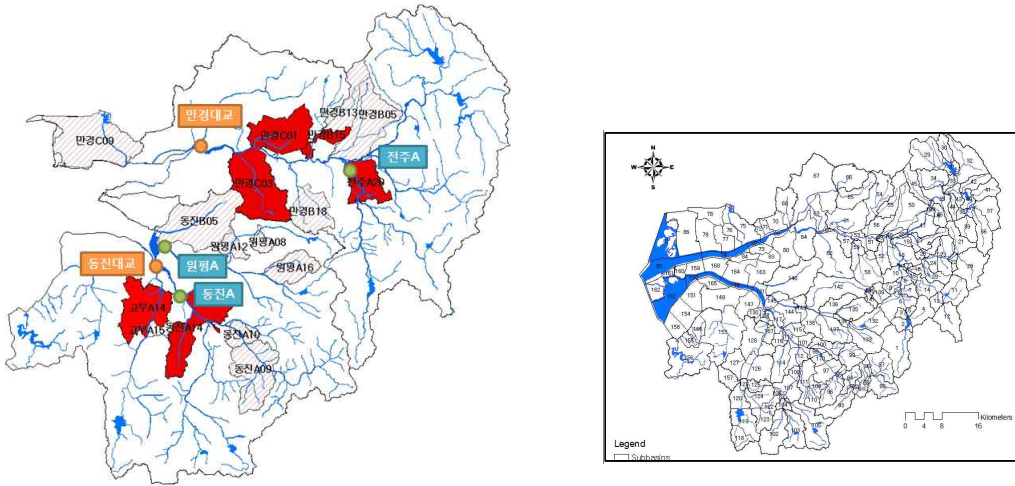


<그림 7> LDC 분석을 통한 비점오염부하량 현황 분석(TP 예시)

- 비점오염원 대표물질이며 새만금 수질개선 대책 목표수질 항목이자 중권역 목표가 존재하는 항목인 TP를 관리항목으로 선정하였다.
- 유량구간에 따른 TP 유달부하량 분포 분석결과 비점오염원으로 인한 부하량 증가는 평균적으로 0~25 % 유량 구간에 해당하며 극단적인 홍수량 구간을 제외하고 5~25 % 구간을 관리유량 구간으로 설정하였다.

**(2) 우선관리 소유역 선정 및 관리목표지점 설정**

- 2010년~2012년 수질 종합분석(전라북도 보건환경연구원, 2011~2013 참고) 결과 하천 수질 변화에 가장 큰 영향을 미칠것으로 예상되며 기존에 다양한 비점관리대책이 진행 중인 소유역을 제외하면 소유역을 선정 - 만경강 : 전주A20, 만경C03, 동진강: 동진A14, 고부A14
- 유역모델 모의 결과를 이용하여 분류로 유입되는 소유역의 유입전·후에 대하여 유량 구간에 따른 수질변화를 공간적으로 분석한 결과 강우기에 분류수질에 영향을 크게 미치는 소유역은 우심지역을 포함하는 소유역과 같은 결과가 나왔다.
- 관리목표지점은 우선관리지역 평가지점, 기존 수질측정망, 상위계획 목표지점 등을 고려하였으며 우선관리지역을 모두 포함하는 유역하단에 위치하는 만경대교, 동진대교 지점을 1차적으로 선정하고, 2차적으로 전주A 지점, 동진A 지점, 원평A 지점을 선정하였다.



<그림 8> 새만금 비점관리지역 관리목표지점 및 모델구획도

(3) 저감효과 분석

- 2009~2012년에 대하여 보정 및 검증이 완료된 유역모델(HSPF)을 이용하여 주요 지점에 대하여 저감 시나리오별 효과 분석을 실시하였다.
- 비점오염원 관리대책

<표 9> 새만금 우선관리 소유역에 대한 저감효과 모의 시나리오

소유역	시나리오 적용 내용
전주A20	- LID (기존 불투수면적의 20 %를 투수면적으로 전환 가정), - 도로청소 (교통지역 면적의 15 %에 대하여 도로노면축적량의 70 % 저감 가정) - CSOs 및 미처리 배제수 관리(10 %(시나리오 1), 30 %(시나리오 2), 50 %(시나리오 3), 100 %(시나리오 4) 가정)
만경C03	- 농업비료 저감(30 %), 축산계 비점처리(10 %(시나리오 1), 30 %(시나리오 2), 50 %(시나리오 3))
동진A14	- 농업비료 저감(30 %), 축산계 비점처리(10 %(시나리오 1), 30 %(시나리오 2), 50 %(시나리오 3))
고부A14	- 농업비료 저감(30 %), 축산계 비점처리(10%(시나리오 1), 30 %(시나리오 2), 50 %(시나리오 3))



**(4) 관리목표 설정(안)**

- 관리대책 시나리오 적용에 의한 관리목표
  - 관리대책 적용시 예측부하량의 90퍼센타일이 목표수질 LDC를 만족하는 수질로 목표를 설정하였다.

<표 10> 새만금 비점오염관리지역 관리목표 설정(안)

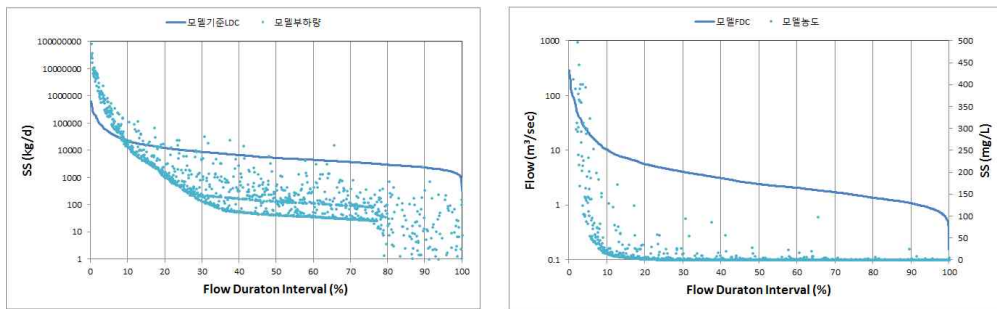
지점	관리유량구간 (m <sup>3</sup> /s)	base (TP mg/L)	관리대책 적용 (TP mg/L) 시나리오 3	관리대책 적용 (TP mg/L) 시나리오 4
만경대교	26.8~105	0.36	0.35	0.34
동진대교	13.7~46.4	0.16	0.15	0.15
전주A	8.3~25.8	0.65	0.61	0.58
동진A	13.8~58.9	0.14	0.14	0.14

나. 골지천 유역의 관리목표 설정(안)

**(1) 관리항목 설정**

- 골지천 유역은 고랭지밭의 비율이 높으며, 임계면 소하천에 대한 수질 및 유량을 측정한 선행연구(청천시 6회, 강우시 3회, '12년 5월~9월)결과 청천시는 특이 농도가 발생하지 않으나 강우시 유량이 급격히 증가하며 탁수지표물질(탁도, SS)의 농도가 높게 나타나므로 탁수지표물질을 관리대상으로 하였다.
- 장기간의 실측자료가 부족한 실정이므로 유역모델 결과값을 이용하여 현황분석 및 관리목표 설정을 하고자하며 이를 위해 관리항목을 모델에서 직접 모의 가능한 SS로 설정하였다.
- 강우시 유실된 토양의 하천유입과 일정시간 체류로 인해 수질오염과 생태계 위협이 증가하므로 일시적인 SS의 농도가 중요하며, 유량이 증가하는 시기에 농도도 증가하므로 부하량이 아닌 농도를 관리하기로 하였다.
- 유역모델 모의결과인 유량 및 수질 자료(2010~2013년)를 이용한 유달부하량 산정 후 기준 LDC(SS 25 mg/L)와 함께 도시한 결과 0~10 % 구간

에서 초과율이 높으므로 극단적인 홍수량 구간을 제외하고 5~10 % 구간을 관리유량 구간으로 설정하였다.



<그림 9> 유량구간에 따른 SS부하량 및 농도 현황 분석 (관리유역말단)

(2) 우선관리 소유역 선정 및 관리목표지점 설정

- 유역모델 모의 결과를 이용하여 분류로 유입되는 소유역의 유입전·후에 대하여 유량 구간에 따른 수질변화를 공간적으로 분석한 결과 강우기에 본류수질에 영향을 크게 미치는 유역은 송현천과 임계천유역이다. 선행연구결과 강우시 실측농도가 더 높게 나타나며 수생태계 영향이 심한 곳은 송현천 유역이므로 송현천을 우선관리 소유역으로 설정하였다.
- 관리목표지점은 관리지역을 모두 포함하며 국가수질측정망이 위치하는 골지천 2를 1차적으로 선정. 2차적으로 우선관리지역의 관리효과를 평가하기 위한 임계수위표 지점을 선정하였다.



<그림 10> 골지천 비점관리지역 관리목표지점 및 모델구획도

**(3) 저감효과 분석**

- 2010~2013년에 대하여 보정 및 검증이 완료된 유역모델(HSPF)을 이용하여 주요 지점에 대하여 저감 시나리오별 효과 분석을 실시하였다.
- 저감 시나리오

<표 11> 골지천 소유역에 대한 저감효과 모의 시나리오

시나리오	내용
시나리오 1	송현천 유역 발지역 유출 10 %(1-1), 30 %(1-2), 50 % 저감(1-3)
시나리오 2	임계천 유역 발지역 유출 10 %(2-1), 30 %(2-2), 50 % 저감(2-3)
시나리오 3	당곡천 유역 발지역 유출 10 %(3-1), 30 %(3-2), 50 % 저감(3-3)
시나리오 4	송현천+임계천 유역 발지역 유출 10 %(4-1), 30 %(4-2), 50 % 저감(4-3)
시나리오 5	송현천+임계천+당곡천 유역 발지역 유출 10 %(5-1), 30 %(5-2), 50 % 저감(5-3)

**(4) 관리목표 설정(안)**

- 저감시나리오별 관리목표 (골지천 2 지점)
  - 관리유량 구간의 상위 10 퍼센타일 농도로 설정하였다.

<표 12> 골지천 비점오염관리지역 관리목표 설정(안)

시나리오	관리유량구간 (m <sup>3</sup> /sec)	base	관리목표 SS (mg/L)		
			10 % 삭감	30 % 삭감	50 % 삭감
시나리오 1	11.5~24.7	126.8	123.6	117.8	114.8
시나리오 4	11.5~24.7	126.8	122.6	115.8	108.8
시나리오 5	11.5~24.7	126.8	122.6	115.8	108.4

- 송현천 받지역 유출만 50 % 삭감한 경우 114.8 mg/L이며, 송현천과 임계천의 받지역 유출 50 % 삭감한 경우 108.8 mg/L, 송현, 임계, 당곡천 유역의 받지역 유출 50 % 삭감한 경우 108.4 mg/L로 설정되었다.

○ 생태계 지표 (임계 수위표 지점)

- 송현천과 임계천 유역의 강우시 고농도 탁수발생은 고유량 구간에 한정해서 일시적으로 발생하며 생태계 서식처에 대한 영향을 미치는 것이 가장 문제가 되므로 이를 관리하기 위하여 생태계 지표를 관리목표로 설정하며 송현천과 임계천이 합류되는 임계 수위표 지점을 관리지점으로 하였다.
- 탁수로 인한 하천교란으로 인하여 현재 상류유역임에도 중류유역의 어류군집이 분포하고 있다. 따라서 어류 다양성, 풍부성과 관련된 지표를 마련하여 상류유역의 생태계 특징을 갖도록 하는 것을 목적으로 하며, 생태계 지표 마련을 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## IV. 결 론

본 연구에서는 대기질 의사결정방법(델파이 기법)을 적용하여 비점오염원관리 취약지역을 분석한 선행연구에 대하여 취약지역 평가요소별 과학적 계량화부분을 개선하였다. 또한 실현가능한 관리 목표 설정 방법론을 제시하고 새만금 유역과 골지천 유역에 이를 적용하여 관리목표(안)을 제시하였으며 도출된 연구결과는 다음과 같다.

### 1. 취약지역 평가요소별 과학적 계량화 개선

- 기존 평가체계는 유역환경(그룹: 오염원, 유출경로, 공공수역) 및 비점오염원 관리 현황(그룹: 총량관리, 기타 수질 및 수량관리, 비점오염원 관리)으로 구분하여, 델파이 설문조사기법으로 도출된 평가항목과 가중치(순위법, 비율법, 퍼지가중치법)가 사용
- 평가대상 유역(지역)의 규모 축소, 자료의 시의성, 시계열 자료의 시간적 변동성 등을 고려할 때 평가체계는 유연하게 적용될 필요가 있으며 본 연구에서는 유역환경의 평가체계에 대한 계량화 방법을 제안하였다.
- 새만금 유역(만경강·동진강 유역)에 대한 취약성을 재평가 하였으며, 소권역 평가대상단위가 너무 커서 총량 소유역으로 단위를 변경하고 계량화가 쉬운 오염원 그룹에 대해서 재평가 하였다.

### 2. 관리목표 설정 방법론 수립

- 기존 비점오염원 관리지역에서의 관리목표를 검토한 결과, 관리목표 설정관련 과학적 근거자료가 부족하고 강우시 주로 배출되는 비점오염원의 특성, 달성가능성, 지역현황 등이 고려되지 않은 획일화된 기준을 적용하고 있는 문제점이 있는 것으로 분석되었다.
- 분석된 문제점을 바탕으로 관리목표 설정시 고려요소 및 설정방법론을 관리항목 설정, 관리목표 지점 설정 및 우선관리 소유역 설정, 지역특성에 적합한 관리기법 선정 및 저감효과 분석, 관리목표 및 기간 설정의

순으로 제시하였다.

- 비점오염 유출특성과 부하량 평가에 활용될 수 있는 유역모델, 부하지속곡선(LDC: Load Duration Curve) 등을 검토하고 관리항목, 관리목표 설정 및 달성도 평가시 활용방안을 제안하였다.

### 3. 비점오염원 관리지역의 관리목표 설정

- 새만금 유역에서는 TP를 관리항목으로 선정하고 새만금호로 유입되는 유달부하량을 관리대상으로 하였다.
  - 유량지속곡선의 5~25 % 유량구간을 관리유량 구간으로, 우선관리 소유역은 전주A20, 만경C03, 동진A14, 고부A14로 선정하였다.
  - 관리목표 지점은 만경대교, 동진대교 지점을 1차적으로 선정하였으며 2009~2012년에 대하여 보정 및 검증이 완료된 유역모델(HSPF)을 이용하여 관리대책 적용시 예측부하량의 90퍼센타일이 목표수질 LDC를 만족하는 수질을 목표수질로 설정하였다.
  - 목표수질은 저감시나리오에 따라 만경대교, 동진대교에서 각각 TP 0.34~0.35, 0.15 mg/L로 산정되었다.
- 골지천 유역에서는 탁수 지표물질인 SS 농도를 관리항목으로, 5~10 % 유량 구간을 관리유량 구간으로 설정하였다.
  - 송현천 유역이 우선관리 소유역으로 선정되었으며 관리목표지점은 1차적으로 골지천 2 지점으로 하였다. 2010~ 2013년 보정·검증이 완료된 유역모델을 이용하여 관리대책 적용시 예측수질의 90 퍼센타일이 만족하는 농도로 목표수질을 설정하였다.
  - 목표수질은 받지역 유출 저감시나리오에 따라 SS 108.4~123.6 mg/L로 산정되었다.

본 연구결과는 비점오염원 관리의 필요성이 높은 지역부터 지정·관리하여 정책효과를 높일 수 있도록 관리지역 지정 우선순위 결정을 위한 과학적 틀을 제공하여 비점관리지역 지정 확대에 필요한 제반 요소 마련하는데 기여할 수 있을 것이다. 또한 실현가능한 관리목표를 설정하기 위한 방법론을 제

공하여 관리목표 설정 및 이행방안 등 제도 시행 관련 규정 마련을 위한 기반을 구축하는데 기여할 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

1. Candela, A., Freni, G., Mannina, G., and Viviani, G., Quantification of diffuse and concentrated pollutant loads at the watershed-scale: an Italian case study, *Water Sci Technol*, **2009**, vol.59, pp. 2125-35.
2. Wang, J.L. and Yang, Y.S., An approach to catchment-scale groundwater nitrate risk assessment from diffuse agricultural sources: a case study in the Upper Bann, Northern Ireland, *Hydrol Process*, **2008**, vol.22, pp. 4274-86.
3. Yang, Y.S. and Wang, L., A review of modelling tools for implementation of the EU Water Framework Directive in handling diffuse water pollution, *Water Resour Manag*, **2010**, vol.24, pp. 1819-43.
4. 정희성과 변병설, 환경정책의 이해, 박영사, **2006**.
5. 강민지, 류덕희, 최지용, 국내 비점오염원 관리 정책현황과 연구동향, 환경정책학회 제22권 제4호, **2014**.
6. 박배경, 강민지, 김은정, 유지철, 김선정, 안기홍, 김홍태, 박지형, 신동석, 김용석, 류덕희, 비점오염 취약지역과 관리목표 설정을 위한 연구 - 비점오염원 우선관리지역 선정, 국립환경과학원(NIER-RP2013-276), **2013**.
7. Holling, C. S., *Adaptive environmental assessment and management*, London: John Wiley, **1978**.
8. Waters, C. J., *Adaptive management of renewable resources*, New York: Macmillan, **1986**.
9. 강원도, 도암호 비점오염관리지역 관리대책 시행계획, **2010**.
10. 강원도, 소양호 비점오염관리지역 관리대책 시행계획, **2010**.
11. 경상북도, 임하호 비점오염관리지역 관리대책 시행계획, **2009**.

12. 팔당수질개선본부, 수원시 비점오염원 관리대책 시행계획서, **2013**.
13. 광주광역시, 광주광역시 비점오염원 관리대책 시행계획서, **2009**.
14. U. S. EPA, An Approach for using Load Duration Curves in the development of TMDLs, EPA 841-B-07-006, Office of Wetlands, Oceans and Watersheds U. S. EPA, **2007**.
15. U. S. EPA, Protocol for developing sediment TMDLs, EPA 841-B-99-004, U. S. EPA, **1999**.
16. U. S. EPA, Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: Benthic macroinvertebrates and fish. EPA 444-4-89-001. U. S. EPA, **1989**.
17. U. S. EPA, TMDLs Stormwater Permits Handbook(draft), Office of Wetlands, Oceans and Watersheds U. S. EPA, **2008**.
18. U. S. EPA., TMDL Model Evaluation and Research Needs, EPA 600-R-05-149, **2005**.