

비점오염원 모니터링 전략 및 기준강우량 산정 방향



강 두 기 |

(주)낙동수환경방재기술원 대표이사
dookee@nwater.co.kr



유 재 정 |

낙동강물환경연구소 연구관
youji@me.go.kr



윤 영 삼 |

낙동강물환경연구소 연구사
ysyoons3@me.go.kr



신 현 석 |

부산대학교 사회환경시스템 공학부 부교수
hsshin@pusan.ac.kr

1. 서론

환경부는 '95년 전국비점오염원 조사를 통해 비점오염원이 수질오염에 기여하는 비율이 T-N과 SS는 50% 이상을 점유하고 기타 BOD, T-P도 20~30% 수준임을 밝혀냈다. 그리고 비점 기여율은 점오염원의 처리율이 향상될수록 더욱 증가하며, 점오염원 처리가 어느 정도 이루어진 상태에서는 효율적인 수질

관리를 위해 비점오염원의 적절한 관리가 필요함을 제안하였다. 이에 정부에서는 '98년에 “팔당호 등 한강수계 상수원수질관리 특별종합대책”을 수립하여 비점오염원 관리대책을 도입하였고, 이어 '99년에는 “낙동강수계 물관리 종합대책”을, 2000년에는 “금강수계와 영산강수계 물관리종합대책”에서도 비점오염원 관리대책을 수립하였다. 그 후에도 비점오염원의 적극적인 관리를 위해 “비점오염원 관리요령” 등을 작성하여 교육과 홍보 등을 하였다. 또한 2006년에 수립된 “물환경관리기본계획(4대강 대권역 수질보전 기본계획)”에서도 비점오염원과 축산분야의 정책적 비중을 극대화하여 비점오염원 관리를 위한 제도적 기반을 조기에 구축하고, 이를 바탕으로 비점오염물질에 대한 저감사업의 단계적 추진 계획을 수립하였다. 이와 같이 비점오염원의 중요성에 대한 인식이 증대되면서 종전의 하·폐수 등 점오염원 관리 중심에서 토지이용에 따른 비점오염원 관리를 본격화하고 있다. 2004년 정부합동으로 “4대강 비점오염원관리 종합대책”을 수립하여 비점오염원관리를 위한 장기대책을 마련하였다. 이로써 개발·건축 및 농지정비 등과 관련한 각종 법령, 지침 및 규정에 비점오염원 관리 방향을 반영하는 등 비점오염원 관리를 위한 제도적 토대가 마련되었으며, 주요 비점오염원별로 시범사업을 통한 비점오염원 관리 사업을 추진 중에 있다. 특히 비점오염 저감시설의 효율평가, 설계 기준 정립, 운영 및 유지관리 지침서 마련을 위해 수계별 비점오염 저감시설 설치, 모니터링 및 유지관리 시범사업이 실시되고 있다.

비점오염원에서의 오염물질은 대부분이 강우 시에 유출되므로, 재현성을 포함한 정량화는 많은 노력과

비용이 소요된다. 강우시 유출되는 비점오염원의 하천 및 호소 수질에 대한 영향은 하수 처리율이 향상되고 경제활동수준이 증가하고, 토지이용이 고밀도로 이용될수록 상대적으로 높아지고 있다. 특히 오염원이 집중되어 있는 도시지역에서의 비점오염원에 대한 관리대책은 기존 생활하수, 공단폐수 그리고 축산과 각종 산업폐수와 같은 점오염원에 비하여 충분히 진행되지 못하고 있는 실정이다.

수역의 수질을 적절히 관리하기 위해서는 유역 내에 분포하는 비점오염 발생량의 공간적·시간적 분포를 우선적으로 파악함과 아울러 수역으로 유출되는 오염발생량을 양적·질적인 측면에서 규명하는 것이 대단히 중요하다. 장래의 수질관리 성공여부는 비점오염원의 효율적인 관리여부가 큰 변수로 작용할 것으로 본다. 따라서 공공수역의 수질관리를 위해서는 토지이용과 지역특성을 고려한 비점오염원 부하량의 합리적인 조사, 비점오염물질 저감을 위한 관리기술의 개발, 비점오염원 관리정책의 개발 등이 필수적이다. 본고에서는 과학적, 효율적인 비점오염원 장기모니터링 전략 및 비점오염원 관리를 위한 기준강우량 산정 방향을 제시하고자 한다.

2. 비점오염원 모니터링 전략

2.1 모니터링 목적

비점오염물질의 발생, 유출 메커니즘을 규명하기 위한 가장 선차적이며 중요한 절차는 모니터링을 통한 자료의 축적과 모델링 기법을 통합적으로 고려한 메커니즘의 규명이라고 할 수 있다. 비점오염원 모니터링의 목적은 다음과 같이 요약할 수 있다(ITFM, 1995; McDonald et al., 1991).

- 비점오염원 배출 현황 및 유출 특성 분석
- 수계에 미치는 비점오염원 영향 분석

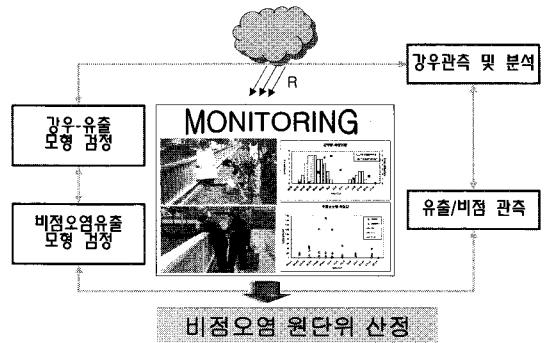


그림 1. 비점오염원 모니터링 개요

- 관리 및 규제기준 마련
- 관리제도 효율성 평가
- 응급대책 마련
- 유역 최적관리를 위한 계획 수립
- 비점오염 모형의 검보정
- 관련분야 연구기반 마련

2.2 비점오염 관리제도 추진 절차

비점오염원 관리를 위해서는 정책추진 계획 수립과 기술적 기반 구축이라는 두 가지의 방향을 동시에 달성할 수 있는 합리적인 계획이 통합적으로 수립되어야만 한다.

비점오염원 관리를 위한 정책추진 절차는 비점오염원 관리 정책 입안, 관계부처간의 협의, 정책 도입에 따른 이해당사자 의견수렴, 토지이용별 관리 목표를 경제적, 사회적, 기술적 측면을 고려하여 결정하며 수립된 목표에 대한 의견수렴, 관계부처간의 협의를 통해 최종적으로 정책 추진계획을 수립하고 추진경과에 따른 평가 및 사후관리를 수행하는 것이 필요하다. 비점오염원 관리를 위한 기술 기반의 마련은 기본계획 수립, 현황자료 분석, 모니터링 수행과 모델링을 통한 관련 자료 및 기술 기반의 마련이 선차적으로 해결되어야 할 과제이다. 축적된 자료 및 기술 정보에 대한 분석 및 평가를 바탕으로 구체적이고

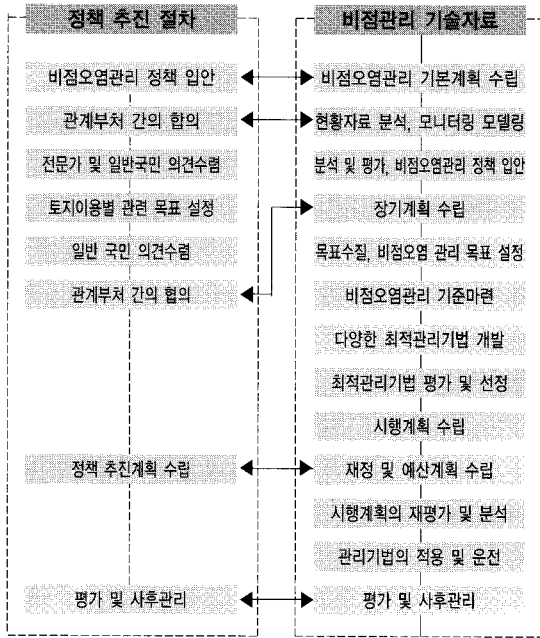


그림 2. 비점오염 관리제도 추진 절차

실현가능한 관리제도를 추진하는 것이 요구된다.

2.3 비점오염원 장기모니터링 계획

국내의 경우 비점오염 관리는 기본계획 수립 및 기초 기술기반 마련의 단계라 할 수 있으며, 이러한 단계에서의 가장 중요한 사안은 비점오염원을 과학적, 합리적, 경제적으로 모니터링하여 관련 자료를 축적하고 향후 정책 추진을 위한 근거 및 관리를 위한 기준을 설정하는 것이다. 모니터링 계획 수립, 모니터링 수행 및 평가의 두 가지 범주로 나누어 비점오염원 장기모니터링 계획 수립을 설명할 수 있다.

비점오염 모니터링 계획 수립은 모니터링 목적 조사, 인력 및 재정 계획 검토, 현황 자료 조사 및 분석, 측정항목, 측정횟수, 측정지점 및 분석방법 선정, 모니터링 프로그램 목적 달성을 위한 측정, 분석항목 결정, 체계적, 과학적 모니터링 계획 수립의 단계를 통해 달성할 수 있다. 또한, 모니터링 수행 및 평가는

예비조사 수행, 관측 자료 분석 및 평가, 지목별 모니터링 달성 목적 평가, 장기 모니터링 수행, 관측 자료 통계분석 및 검보정, 모형 구축 및 분석, 최종결과 도출 및 개선방향 제시의 단계로 수행하여야만 비점오염 모니터링 소기의 성과를 얻을 수 있다.

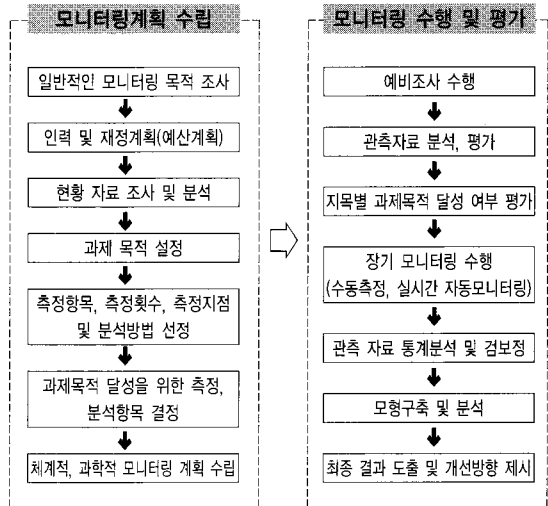


그림 3. 모니터링 계획 수립 절차

2.4 비점오염 모니터링시스템

비점오염 관리를 위한 정책 추진 및 기술기반 마련을 위해서는 체계적인 모니터링시스템을 구축하여 추진하는 것이 타당한 방안으로 고려될 수 있는데, 비점오염 모니터링시스템은 크게 모니터링 의사결정시스템, 실시간 자동모니터링시스템, 자료관리 및 분석시스템 등 세가지 시스템이 요구된다. 모니터링 의사결정시스템은 모니터링 기준설정, 측정인원 및 비상연락망 구축 및 운영 지침, 연구 및 모니터링 책임자 의사결정 기준 등 모니터링 수행시 단계별 의사결정을 위한 내용이 포함된다. 실시간 자동모니터링시스템 구성은 소프트웨어, 하드웨어, 강우계 및 유량계 등 관측 장비, 자료전송 및 저장 시스템이 될 수 있으며, 자료관리 및 분석 시스템은 관측 자료의 통계분

석 모듈, 관측자로 검보정 시스템, 비점오염 모형시스템으로 구성된다.

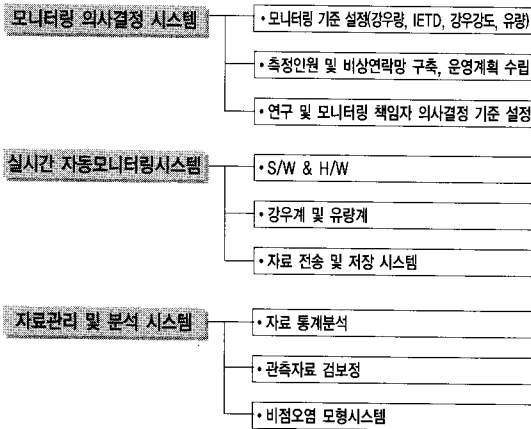


그림 4. 모니터링시스템 구성

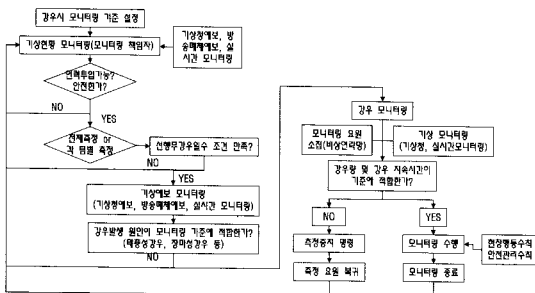


그림 5. 의사결정시스템그림

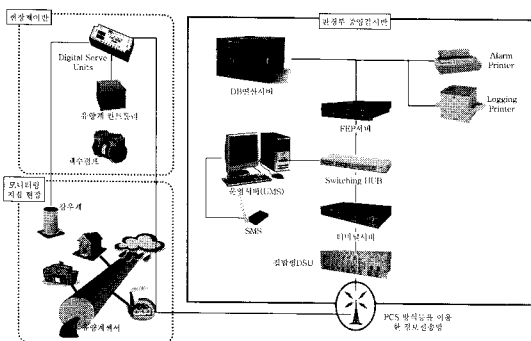


그림 6. 실시간 모니터링시스템

3. 비점오염원 관리를 위한 기준강우량 산정 방향

3.1 비점오염 관리를 위한 강우관측망 선정

비점오염원의 유출은 강우 특성과 밀접적인 관련이 있으며, 이러한 강우에 대한 해석 및 평가를 위해서는 가장 우선적으로 기준 강우 관측망에 대한 조사 및 평가를 통해 모니터링 목적을 달성할 수 있는 분석 대상 강우관측소를 선정하는 것이 필수적이다. 선정된 강우관측망 자료의 수집, 분석을 통해 해당지역 강우의 시공간적 특성에 대한 분석을 수행할 수 있을 것이다. 본고에서는 기존의 강우관측망에 대한 관측 지점, 위치, 자료 보유기간 및 제공받을 수 있는 자료의 현황에 대한 분석을 수행하였다. 조사 대상 관측망은 건설교통부, 수자원공사, 기상청 등 유관기관에서 관리하고 있는 낙동강 유역내 모든 관측망을 대상으로 하였다. 검토 대상 관측망은 건설교통부 관리 142개소 관측소, 수자원공사 관리 48개소 및 기상청 AWS망인 24개소 지점을 대상으로 하였다. 비점오염원 유출 장기모니터링을 통해 목적으로 하는 지목별 비점오염원 발생 및 유출 원단위를 산정하는 것을 목적으로 하는 경우 그 대상 지목별 면적이 단일 토지 이용 특성을 반영할 수 있는 비교적 적은 면적을 대상으로 하고 있다. 이에 따라 강우-유출 특성을 강우의 지체시간이 단시간이기 때문에 강우의 자료 기간이 짧아야만 분석이 가능하다. 자료가 1분 단위로 제공되는 기상청 AWS망 자료를 이용하여 분석을 수행하는 것이 현재로서는 가장 합리적인 방안이다. 낙동강 유역의 경우 AWS 관측소는 총 24곳으로서 2000년 이전까지는 TM방식으로 강우를 관측하였으나 2000년부터 현재까지 AWS방식으로 1분단위로 강우량을 관측하여 오고 있으며 그 현황은 다음과 같다.

3.2 선행무강우일수 산정

비점오염 관리 강우분석시 개별 강우사상을 분리

표 1. 비점오염 관리를 위한 강우관측망 자료 현황

관할기관	지점수	시간별 강우자료 보유현황						
		1분	10분	30분	1시간	24시간	월평균	년평균
건설교통부 (홍수통제소)	142개소				○	○	○	○
한국수자원공사	48개소				○	○	○	○
기상청(AWS)	24개소	○	○	○	○	○	○	○

표 2. 지점별 선행무강우일수 분석 결과

구분	자기상관분석			지수분포형적용			평균
	우수기 (6월~10월)	비우수기 (11월~5월)	전월	우수기 (6월~10월)	비우수기 (11월~5월)	전월	
진주	17	11	14	12	12	12	13
부산	17	11	13	12	6	9	11
마산	10	8	9	7	4	5	7
대구	9	8	8	14	6	10	9
영주	12	8	10	12	11	11	11
밀양	12	8	9	10	6	6	9
평균	13	9	11	11	7	9	10

할 수 있는 기준으로 적용되고 있는 개념이 IETD(InterEvent Time Definition)와 MIT(Minimum Interval Time)이다. 본고에서는 이들 개념에 대한 개요 및 낙동강유역내 강우자료를 이용하여 분석한 결과를 소개하고 그 적용성을 제시하고자 한다. 전체의 강우사상에서 개별 강우사상을 분리하기 위해서는 개별 강우사상의 시작과 끝을 결정하는 적합한 기준을 적용해야 한다. IETD 및 MIT는 강우사상을 분리하는 일반적인 기준이다. 강우분포도에서 강우사상은 무강우 시간에 의해 분리되는데, 이 시간이 짧으면 두 강우사상은 같은 사상으로 볼 수 있으며, 시간이 길면 다른 강우사상이 된다. 이러한 강우사상간 분리는 자기상관관계분석, 강우사상간 시간을 지수분포로 가정하여 통계적인 분석을 통해 산정이 가능하며, 이와 관련된 상세한 이론은 관련 문헌을 참조할 수 있다. 본고에서는 낙동강 유역 내 위치하고 있는 기상청 AWS 강우관측망 자료를 이용하여 6개 지점에 대한 선행무강우일수를 산정하였다. 산정 결과 대체로 우수기가 비우수기보다 큰 값을 보

이고 있으며, 연도별로는 강우량이 큰 해가 강우량이 적은 해보다 크게 산정되고 있음을 알 수 있다.

3.3 모니터링 대상 강우범위 선정

선행무강우 기간에 따라 강우사상을 분리하여 개별 독립적인 강우사상으로써 그 특성을 분석 후 강우사상별 분포 특성 중 일반적인 기준을 이용한 비점오염원 모니터링을 위한 정성적인 강우량의 범위를 산정할 수 있다. 우선 총강우량은 지목별 유출특성이 반영되어 재산정되어야만 하겠지만 일반적인 기준으로 총강우량 5mm 이하의 경우는 직접유출이 발생하지 않아 제외하는 것이 타당하며, 총강우량 80mm 이상의 경우는 장마철 또는 태풍성 강우 등으로 현실적으로 모니터링이 어려운 범위로 적정 총강우량의 범위는 5~80mm가 합리적이다. 강우 지속시간의 기준은 모니터링을 위한 측정 현장의 여건 등을 고려하여야 하며 일반적으로 60분~24시간의 범위를 대상으로 비점오염 모니터링 계획을 수립하는 것이 타당하다. 낙동강

표 3. 비점오염 모니터링 대상 강우기준

지점명	총사상수 (7년, 회)	관측대상 강우		
		구분	총강우량 기준 5mm<총강우량<80mm	강우 지속시간 기준 60분<지속시간<24시간
부산	441	비율(%)	52	65
		사상수(회)	33	40
대구	422	비율(%)	52	65
		사상수(회)	31	39
마산	496	비율(%)	51	55
		사상수(회)	36	39
밀양	459	비율(%)	53	67
		사상수(회)	34	43
영주	469	비율(%)	50	60
		사상수(회)	33	40
진주	403	비율(%)	56	64
		사상수(회)	31	36

유역내 강우관측소의 경우 비점오염 모니터링이 가능한 강우는 총강우량 기준으로 31~36회 정도, 강우 지속시간 기준으로 36~43회 정도로 산정되었다. 실제로는 이들 두가지 기준을 동시에 만족할 수 있는 강우를 대상으로 모니터링 계획을 수립하는 것이 필요할 것이다.

4. 결론

본고에서는 국내 비점오염원 관리를 위한 정책방향을 살펴보고, 이를 뒷받침할 수 있는 모니터링 전략과 기준강우량 산정 방향을 제시하였다. 우선, 비점오염원 모니터링 전략에서는 비점오염원 모니터링의 목적, 비점오염 관리제도의 추진 체계를 정책과 기술로 구분하여 체계적으로 수록하였으며, 과학적이며 효율적인 모니터링 방안으로 비점오염 모니터링 시스템을 제시하였다. 또한, 비점오염 관리를 위한 강우관측망 선정, 선행무강우일수 산정 기법, 모니터링 대상 강우범위 등 기준강우량 산정 방향을 제시하고 이를 낙동강 유역내 강우관측망을 대상으로 적용성을 평가하였다.

참고문헌

국립환경연구원. (1994). 비점오염원 유출부하량 조사방법.
 국립환경연구원. (1995). 비점오염원으로 부터의 오염물질 유출특성 조사를 위한 방법론적 연구.
 낙동강수계관리위원회. (2007). 주요 비점오염원 유출장기모니터링 및 저감기법연구
 환경부. (1995). 비점오염원 조사연구사업 보고서.
 환경부. (1995). 비점오염원 조사연구사업 보고서
 환경부. (1995). 전국의 비점오염원 조사연구.
 환경부. (2003) 낙동강수계 비점오염원 관리방안 마련을 위한 조사사업보고서.
 MacDonald, Smart and Wissmar. (1991), Monitoring Guidelines to Evaluate Effects of Forestry Activities on Streams in the Pacific Northwest and Alaska.
 ITFM. (1995). The Strategy for Improving Water-Quality Monitoring in the United States. Final report of the Intergovernmental Task Force on Monitoring Water Quality. Intergovernmental Task Force on Monitoring Water Quality. February