

우리나라 수질오염총량관리계획에 대하여



김 경 섭 |

국립한경대학교 환경공학과 교수
kskim@hknu.ac.kr

(나동강, 금강, 영산강) 유역은 의무제로 이 제도를 수행하고 있다.

1. 서론

수계 수질관리의 하나인 오염원의 농도규제는 산업화의 진전과 오염원의 집중화 등으로 발생하는 오·폐수의 과다유입을 효과적으로 통제하지 못하여 이로 인해 수체의 환경기준달성에 한계를 노출하게 되었다. 수질오염총량관리계획은 수계가 수용할 수 있는 오염총량을 정하여 이에 따른 총량규제를 시행하는 것으로 유역의 오염원, 유량 및 수질을 종합적으로 관리하는 통합 유역관리의 하나이다. 우리나라는 「팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리 특별종합대책(’98.11.20) 수립」을 추진하면서 지역의 수질오염총량관리계획을 공식적으로 도입하게 되었으며, 이어 「낙동강수계 물관리종합대책(’99.12.30) 수립」, 「금강수계 물관리종합대책, 영산강수계 물관리종합대책(’00.10.24) 수립」을 확정하면서 지방자치단체가 의무적으로 지역의 환경용량 한도 안에서 자율적으로 환경친화적 지역 개발을 추진하도록 수질오염총량관리계획을 실시하고 있다. 2010년 초 한강 유역은 임의제로, 그 외 3대강

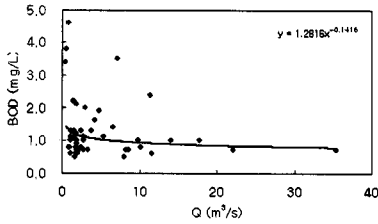
2. 본론

우리나라 수질오염총량관리계획은 주로 미국 EPA에서 개발한 QUAL2E와 같은 부하량할당(WLA : Waste Load Allocation) 모델을 사용하거나 국립환경과학원에서 발표한 QUAL2E 모델을 개선한 QUALKO를 사용하여 유역의 환경용량을 파악하고 유역에 부하량을 할당한다. QUAL2E 계열 모델은 하천흐름을 정상 부등류(steady non-uniform flow)로 가정하고 온도 이외의 수질항목을 정상상태로 모의하는 전형적인 정적 모델이다. 이 모델을 수질오염총량관리계획에 적용하기 위해서는 기준 유량, 기준 수질, 유달율 등을 파악하여야 하며 부하량 산정을 위한 원단위 등을 적용하여야 한다.

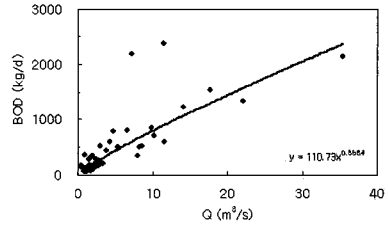
2.1 정적 모델 한계

2.1.1 기준 유량

우리나라 수질오염총량관리계획의 기준 유량은 10년 평균 저수량으로 하고 있다. 기준 유량을 저수량으로 하는 이유는 외부 영향(오염부하량)에 의하



(a) 유량-농도 관계



(b) 유량-부하량 관계

그림 1. 한강 지류 흑천 (2007)

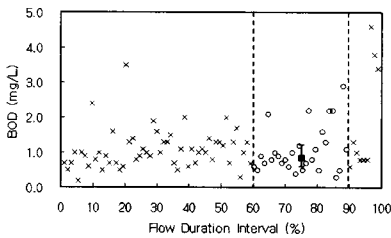


그림 2. 흑천6 BOD농도 자료 (2006-2007)

여 야기되는 수계의 반응(농도)을 안전율(MOS : Margin Of Safety)을 고려하여 파악하기 위함이다. 일반적으로 유량과 농도의 관계는 역함수의 관계를 나타내며 유량이 커지면 농도가 커지거나 반대로 농도가 작아진다(그림 1 (a)). 유량과 부하량의 관계는 유량이 커지면 부하량은 커진다(그림 1 (b)). 수계의 어느 지점에서 유량을 고정하는 정적 모델은 배출부하량이 수계를 거쳐 도달하는 유달부하량을 항상 일정하게 하는 한계를 안고 있다.

2.1.2 유달율

정적 모델은 강건성 또는 재현성 확보를 위하여 매개변수를 보정하고 검증 한다. 매개변수의 보정·검증에는 기준 유량과 이에 해당하는 농도(기준 수질)로 실시하고 있다. 그리고 재현성이 확보된 정적 모델을 이용하여 장래 오염부하량을 할당하며, 여기에는 기준 유량에 근거한 유달율을 사용하는 것이 일반적이다. 저수량을 기준으로 파악한 유달율은 평수량을 기준으로 파악한 유달율보다 대체적으로 낮으므로 이를 사용하여 오염부하량을 할당하는 것은 해당유역에 과다한 오염부하량을 할당할

가능성이 높다. 부하량 할당에 저수량에 기준한 유달율을 사용하는 것은 한계가 있다.

2.1.3 비점오염원

비점오염원은 유량의 발생에 의하여 수계내로 유입한다. 정적 모델은 비점오염원 유입을 구간별로 일정한 유량과 농도로 고려하거나 영향이 적을 경우 고려하지 않는다. 환경기초시설 확충으로 점오염원의 수계내 유입이 정량화·정밀화되고 수계내 영향정도가 감소하는 상태에서 현실과 거리가 있는 비점오염원의 고려는 모델의 재현성 확보에 한계를 갖는다. 일반적으로 비점오염원 관리는 다음 사항을 고려하여 접근한다.

1) Half-Inch 법칙

도시에서 초기강우 약 12 mm(1/2 inches)에 대부분의 오염물질이 유출된다는 법칙이다. 유출량은 배수면적에 12 mm를 곱하여 얻는다. 불투수층이 증가하면 Half-Inch 법칙에 의해 산정된 유출량에 오염물질이 포함되는 양은 감소한다. 총고형물의 경우 불투수층이 10%이면 오염물질이 포함되는 양이 100%, 불투수층이 50%이면 75%, 불투수층이 90%이면 43%에 달하는 것으로 알려져 있다.

2) 90% 강우사상

비점오염원 시설은 연간 24-hour 강우사상 중 90%에 해당하는 강우강도로 산출되는 유출량을 저류하고 처리하여야 한다. 도시별로 90% 강우사상에 해당하는 강우강도는 다르지만 대략적으로 25 mm(1 inch)에 근접하는 것으로 파악되고 있다.

2.2 정적 모델 개선

2.2.1 기준 유량

개선된 기준 유량 파악을 위하여 미국 TMDL (Total Maximum Daily Load)에서 제안한 지속 곡선(Duration curve)을 활용할 수 있다. 지속 곡선의 수평축은 유량지속 기간을 나타내며 수직축은 유량, 부하량 또는 농도를 나타낸다. 유량지속 기간 60%는 전체 기간 가운데 60% 이상의 유량이 발생하는 시기를 의미하며 유량지속 기간 75%는 우리나라 저수량 기준에 해당한다. 유량지속 기간 0~10%는 고유량, 10~40%는 습기, 40~60%는 중간 유량, 60~90%는 건기, 90~100%는 저유량 영역이라 한다. 우리나라 수질오염총량관리계획 저수량 조건은 유량 지속 곡선에서 건기의 중앙값에 해당한다.

우리나라 수질오염총량관리계획에서 정적 모델의 보정 및 검증에 위한 기준 유량은 10년 평균 저수량의 $\pm 20\%$ 안에 들어오는 유량의 평균치를 사용한다. 이와 같은 방법은 실측지역의 특성에 따라 선택 개수가 한정되어 대표성 확보가 어려울 수 있다. 모델 보정 및 검증에 위한 기준 유량은 지속곡선에서 유량지속 기간 60~90%가 건기이므로 10년 유량측정 자료의 지속곡선 분석으로부터 건기에 해당하는 실측년도의 유량 자료를 통계 분석하여 평균치로 파악하는 것이 합리적인 것으로 판단한다.

1) 건기 자료 활용

보정 및 검증에 위한 기준 수질도 기준 유량산정 방법과 같이 수행하여 수질오염총량계획에 적용할 수 있다. 그림 2는 양평군 수질오염총량관리계획

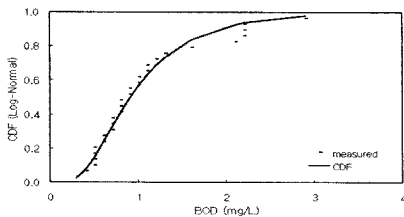


그림 3. 흑천6 건기 BOD 분포 (CDF, PDF) (2006~2007)

흑천 유역에서 최말단부에 위치한 흑천6 지점의 2006년부터 2007년까지 2년간 BOD 농도 자료(92개)를 나타낸 것으로 건기에 해당하는 28개 자료의 중위수(median)는 0.850 mg/L, 1사분위수는 0.600 mg/L, 3사분위수는 1.225 mg/L로 파악되었다. 건기 BOD농도의 산술평균은 1.075 mg/L를 보여 환경부에서 정한 목표수질인 1.1 mg/L에 근접하게 나타나는 것으로 파악되었다.

2) 건기 자료 통계분석

흑천6 2006년, 2007년 BOD농도 자료에 대한 건기 BOD 대수정규분포가 그림 3에 나타나 있다. 이 그림은 건기 BOD 자료 28개를 분석한 것으로 BOD 분포에 대하여 일반적으로 알려진 바와 같이 대수정규분포로 잘 적합되는 것을 알 수 있다.

흑천6 BOD 평균수질은 BOD 분포를 통하여 파악할 수 있다(표 1, 그림 4). BOD 중위수는 0.912 mg

표 1. 흑천6 대수정규분포

구분	값	BOD(mg/L)
Φ	0.25	0.618
	0.50	0.912
	0.75	1.344
평균		1.076

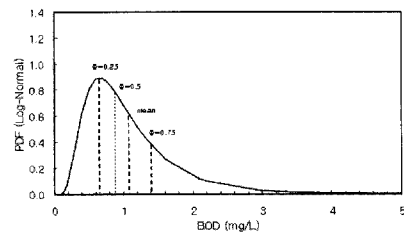
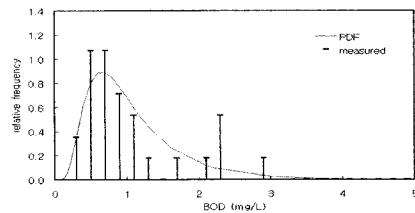
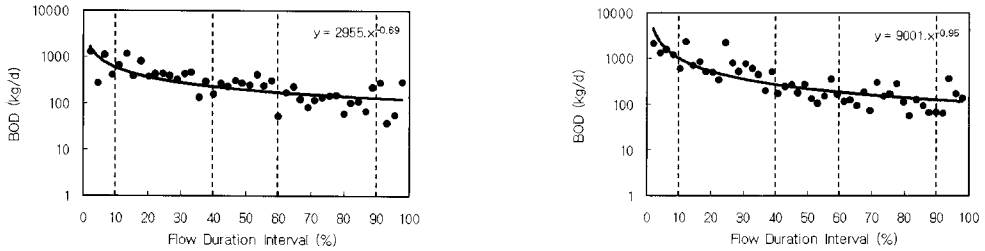


그림 4. 흑천6 BOD 확률밀도함수분포 (2006~2007)





(a) 2006년

(b) 2007년

그림 5. BOD 부하량 지속 곡선

l/L, 평균은 1.076 mg/L로 파악되었으며, 건기 대수 정규분포의 평균 1.076 mg/L은 건기 산술평균 1.075 mg/L과 유사하게 나타나는 것으로 파악되었다.

이상의 건기 자료 통계분석으로부터 분포를 통한 모수의 파악은 수질자료의 대표성을 더욱 확보할 것으로 판단한다. 자료의 수가 적은 분포는 Bootstrap방법 등을 통하여 개선할 수 있다.

2.2.2 유달율

흑천6 지점에서 BOD 부하량 지속 곡선이 그림 5에 나타나 있다. 유달율은 유량에 따라 변하므로 기존 유량에서와 같이 부하량 자료 분석으로부터 대표성 있는 수치를 파악할 수 있다. 그리고 오염 부하량 할당에 기존 유량에 근거한 유달율을 사용하기보다는 평균 유량에 근거한 유달율을 사용하는 것이 안전율이 반영된 합리적인 접근이라 판단한다.

2.2.3 비점오염원

점오염원은 다양한 기술적 방법을 적용하여 수계로 유입하는 양을 감소할 수 있으나 비점오염원은 발생이 불규칙하고 처리효율의 저하로 수계의 영향이 점차 커지고 있는 실정이다. 비점오염원은 주로 강우에 의해 수계로 유입하므로 정적 모델의 한계를 극복한 유역 모델을 활용할 필요가 있다. 수질오염총량관리계획에서 비점오염원과 관련한 유역 모델 적용의 장점을 살펴보면 다음과 같다.

① 유역 모델은 강우사상을 모의할 수 있고 이와

함께 발생하는 오염부하량을 산정할 수 있으므로 실제와 유사하게 비점오염원을 파악할 수 있다.

② 유역 모델은 비점오염원의 정량화가 가능하므로 소 배수구역별로 효과적인 비점오염원 관리대책을 수립할 수 있다.

③ 유역 모델은 일반적으로 지형의 변화를 수반하는 대규모 도시 조성 및 주택단지 개발, 유역내 토지이용변화에 따른 수계의 농도변화를 적절히 파악할 수 있다.

2.3 제도 개선

2.3.1 수질 항목

1995년 10월 이후 미국 수질항목별 누적 TMDL 건수는 표 2와 같으며 이 건수는 병원군(대장균관련 약 83%), 중금속(대부분 Fe, Al, Mn), 수은, 영양물질(인관련 약 60%), 유사 순으로 나타나고 있다. 우리나라 수질오염총량관리계획의 수질관리 대상 항목은 4대강에 모두 획일적으로 BOD로 하고 있으며 TP를 추가적으로 도입하고 있는 실정이다. 일반오염물질 이외에 온도, 유사 및 중금속 등의 수질관리 대상 항목을 설정하여 유역별 오염특성을 반영한 수질오염총량관리계획을 수립·시행하여야 할 것으로 판단한다.

2.3.2 적용 모델

우리나라 수질오염총량관리계획에서 적용 모델

표 2. 미국 수질항목별 누적 TMDL 건수

수 질 항 목	건 수
Pathogens	7,796
Metals(Other than Mercury)	7,064
Mercury	6,793
Nutrients	4,486
Sediments	3,425
Organic Enrichment/Oxygen Depletion	1,811
pH/Acidity	1,634
Temperature	1,550
Salinity/TDS/Chlorides/Sulfates	1,516
Ammonia	1,073
Pesticides	998
Turbidity	921
PCBs	358
Chlorine	336
Other Cause	208
Toxic Inorganics	189

은 전적으로 정적 모델인 QUAL2E 계열 모델에 한한다. 정적 모델은 본문에서 언급한 바와 같이 적용의 한계가 존재한다. 따라서 유역 특성에 맞는 모델 적용이 필요하며 수질관리 대상 수질 항목이 변하면 대상 항목에 적합한 모델을 선정·사용하여야 한다. 유역 모델의 적용은 정적 모델의 한계를 극복할 수 있는 하나의 대안이다. 예를 들어 유역 모델은 원단위를 사용한 부하량 산정의 불확실성을 감소할 수 있으며, 소 배수구역별로 원단위와 발생부하량 없이 배출부하량을 파악할 수 있고, 비점오염원의 정량화 및 관리가 가능한 장점이 있다. 정적 또는 유역 모델 이외에 SPARROW(Spatially Referenced Regressions On Watershed attributes)와 같은 통계 모델의 적용도 유역 특성에 따라 고려할 필요가 있다. 각 모델간의 장점을 활용한 수질오염총량관리계획 추진도 필요한 시점이다. 획일적인 모델의 적용으로 수질오염총량관리의 부분적인 목적은 달성할 수 있으나 총체적인 목적을 달성하기는 어렵다.

2.3.3 제도 관리 주제

우리나라 수질오염총량관리계획의 수립 및 시행은 5년 주기로 하고 있으며, 이와 관련한 승인은 전

적으로 환경부 또는 유역 환경청에서 담당하고 있다. 또한 동 기관은 매년마다 이행계획을 평가한다. 수질오염총량관리계획의 도입이 거의 10년에 이르고 낙동강 수계에서 2011년부터 2단계 계획이 추진되는 시점에서 중앙정부 위주의 획일적인 제도 운영은 유역의 특성을 반영하기 힘들고 주민참여의 폭을 제한하는 한계가 있다. 관리 권한을 지방정부에 과감히 이양하여 적절한 수준의 모든 관계 시민들의 참여가 보장될 수 있도록 하여야 한다. 관리 권한의 이양과 함께 효과적인 제도운영을 위하여 지방정부에서 수계관리 전문가, 광역단체 및 지방자치단체 관련자가 참여하는 유역관리 협의체를 구성할 필요가 있다. 유역관리 협의체는 유역의 특성을 반영한 효율적인 수질오염총량관리계획 수행을 위하여 모델 적용의 합리성, 부하량 할당의 객관성, 목표수질 설정의 타당성, 안전율 적용의 적합성 등을 협의하도록 한다.

3. 결론

수질오염총량관리계획은 유역의 환경용량을 파악하여 수계의 수질관리를 효과적으로 수행할 수 있는 선진화된 제도이다. 유역의 특성을 반영한 환경용량의 파악은 수학적 모델을 통하여 가능하며 적용되는 모델은 자연현상을 최대한 구현하여 임의성을 최소화해야 한다. 모델은 나름대로 장점과 단점이 존재하며 모델의 복잡성과 신뢰성은 항상 비례하지 않는다. 수질오염총량관리계획에서 획일적인 수질항목 설정, 획일적인 모델 적용, 다양한 기준의 합리성 결여 등은 제도의 신뢰도를 저하시키고 이해당사자의 끊임없는 논란을 야기할 수 있다. 약 10년간의 수질오염총량관리계획 수행으로부터 중앙정부와 지방정부는 역할분담을 확실히 할 필요가 있다. 예를 들어 중앙정부는 제도의 전체적인 운영을 위한 기본 틀을 마련하며, 지방정부는 유역의 특성을 반영한 세부적인 지침을 마련하는 것도 하

나의 방법이다. 지방정부의 능동적이고 책임있는 수질오염총량관리계획의 참여는 제도의 완성도를 향상시킨다. 수질오염총량관리계획의 성공적인 정

착으로 인간과 자연이 조화를 이룬 건강하고 생산적인 삶이 향유되는 우리나라를 희망해 본다.

참고문헌

1. 경기개발연구원 (2006). 오염총량관리제 의무제 시행에 따른 경기도의 대응 방안.
2. 경기개발연구원 (2008). 수질오염총량관리제의 합리적 시행을 위한 정책수립 및 대응전략 연구.
3. 경기개발연구원 (2010). 수질오염총량관리계획 수립시 장기유출 모형 적용 방안.
4. 국립환경연구원 (2004). 오염총량관리를 위한 하천수질모델의 개발(I).
5. 김경섭, 안태진 (2009). “안성천 유역의 BOD농도 확률분포 특성”, 수질보전 한국물환경학회지, 25(3), pp. 425~431.
6. 김경섭 (2010). “Bootstrap 기법을 이용한 BOD 평균 농도 및 신뢰구간 분석”, 수질보전 한국물환경학회지, 26(2), pp. 297~302.
7. 양평군 (2009). 양평군 수질오염총량관리계획.
8. Novotny, V. (2004). “Simplified Databased Total Maximum Daily Loads, or the World is Log-Normal”, J. Environ. Eng., 130(6), pp. 674~683.
9. Schwarz, G. E., Hoos, A. B., Alexander, R. B. and Smith, R. A. (2006). The SPARROW Surface Water-Quality Model: Theory, Application and User Documentation. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
10. USEPA(2007). An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds. EPA 841-B-07-006. Washington, D.C.