

미국의 오염총량규제의 동향과 전망

Trends and Perspectives of TMDL in the USA

최 중 대* · 최 예 환*

Choi, Joong-Dae, Choi, Ye-Whan

1. 서론

TMDL (total maximum daily load, 일오염 총량규제 혹은 오염삭감계획)은 수계의 수질기준을 충족할 수 있는 일최대오염부하량으로 정의되며 또한 어느 특정한 오염원에 할당된 일오염 최대배출량으로도 정의될 수 있다. TMDL은 정확히 측정하기가 매우 어려우므로 실측에 의하여 산정되었다기 보다는 과학적인 근거와 자료를 토대로 계산된 량이다. TMDL에는 목표수질을 확보하기 위하여 오염삭감 여유율을 반드시 포함하여야 하며, 또한 수질의 계절적 변화도 반드시 고려하여야 한다. 미국의 경우 어느 한 수계의 수질기준은 그 수계의 이용목적(상수원, 여가이용, 수생생태계 보호 등)에 따라 주정부에서 결정되며 간혹 자치령 혹은 인디언 자치지구에서 별도로 정하고 있다.

미국의 TMDL은 정수법 (clean water act) 제 303조로 규정되어 있었으나 최근에서야 국가적인 문제로 부각되었다. 이는 수질을 개선하려는 많은 연구와 투자에도 불구하고 아직도 많은 수계의 수질이 그 이용목적에 부합할 수 있을 정도로 개선되지 못하고 있고, 이에 반발한 많은 비정부 단체들이 연방정부와 주정부를 법원에 고소하였기 때문이다. 미국의 50개 주정부 중 40여개 주정부가 고소를 당해있는 상태이다. 또한 미국 환경처 (EPA)는 법원의 판결에 따라 오염삭감계획규정을 제정하여 각 주정부로 하여금

수질을 만족하지 못하는 모든 수계에 대하여 오염삭감계획 (TMDL)을 제출하도록 요구하고 있다. 미국 EPA는 2001년도 현재 민간 및 공공부문을 합하여 TMDL을 개발하는데 10.35억 달러, TMDL을 개발하는데 필요한 자료를 수집하기 위한 모니터링 연구에 2.55억 달러, 그리고 향후 약 15년에 걸쳐 TMDL을 수행하는데 135억 내지 645억 달러라는 천문학적인 예산이 소요될 것으로 추정하고 있다.

미국 EPA에 따르면 농업은 수계의 수질오염에 가장 큰 영향을 주는 최대의 오염배출원으로 간주되고 있다. 따라서 농업비점원 오염이 통제되지 못하면 TMDL은 성공할 수 없다고 생각하고 있다. 이는 농업비점원 오염이 농민에 의해서 자발적으로 규제되지 못한다면 법적인 제재를 받아 강제적으로 오염배출량을 삭감해야 하는 처지에 이를 수도 있다는 것을 의미하고 있다. 이에 대항하여 고위 농업관계자들은 불충분한 자료를 이용하여 개발되는 TMDL 때문에 불합리하고 불공정하게 농업비점원 오염이 규제를 받아서는 안된다고 주장하고 있다.

농업비점원 오염과 관련된 미국의 농공학자들은 이론과 실무면에서 TMDL의 개발에 필요한 자질을 충분히 갖추고 있기 때문에 그 어느 다른 분야의 전문가들 보다 TMDL의 개발에 깊숙하게 참여하고 있다. 이들은 현대에서 활용할 수 있는 최고의 자료와 모델링 기술을 사용하여 TMDL의 수행이 가장 합리적이고 경제적으로

*강원대학교 농업생명과학대학 농업공학부 (jdchoi@kangwon.ac.kr)

수행되는지를 판단할 수 있는 새로운 분석방법을 개발하는데도 주도적으로 참여하고 있다. TMDL은 농업뿐만 아니라 사회, 경제적으로도 매우 복잡하게 얽혀 있으므로 민간분야를 포함하는 여러 지역과 기관이 유기적인 공조체제를 갖추어 공동으로 대응할 필요가 있다.

2. TMDL에서 모델링과 모니터링 자료의 중요성

미국 국회의 요구로 미국 연방국가연구위원회(NRC, National Research Council)는 전문가들의 도움을 받아 TMDL의 이론적 근거에 대한 평가를 마쳤으며 이 평가의 요점은 다음과 같다.

- TMDL은 통상적인 물리적 및 화학적 오염물질뿐만 아니라 수체에 작용하는 모든 오염요소를 수용하고 평가할 수 있어야 한다.
- TMDL의 개발에 사용되는 모델에는 불확실성이 항상 존재하고 이를 완전히 제거할 수 없다. 따라서 이 불확실성을 줄이기 위해 최대한의 노력을 경주해야 한다. TMDL 개발에 사용된 모델의 불확실성과 이로 인한 결과의 불확실성에 관해서 TMDL은 분명하게 설명하여야 한다.
- 수계의 수질이 수질기준에 부합되는가를 판단할 때는 반드시 생물기준도 물리 및 화학적 기준과 함께 사용되어야 한다.
- 모든 화학적 수질기준과 일부의 생물학적 수질기준은 크기, 빈도 및 기간 등으로 분명하게 정의되어야 한다.
- EPA는 환경적 위해요소와 생물학적 반응관계를 보다 효율적으로 연계할 수 있는 모델의 개발을 선별적으로 지원해야 한다.
- 모니터링과 자료수집 연구과제는 수질기준과 TMDL에 잘 부합되도록 수행되어야 한다.

이상에서 알 수 있듯이 모델링과 모니터링 자료의 확보는 합리적으로 공정하게 TMDL을 개발하는데 가장 중요한 요소이다. 특히, 불확실성이 점오염원에 비해 매우 큰 농업비점원 오염물

질이 수질에 미치는 영향과 오염현황을 파악하여 TMDL을 작성하기 위해서는 모델링과 신뢰성이 있는 모니터링 자료가 반드시 필요하다. TMDL을 위한 모델 개발자들은 모델의 불확실성을 충분히 기술해야 하며, 사용자들은 모델의 한계를 정확하게 인식하고 적절한 모델을 사용하여 TMDL을 작성해야 한다. 또한 필요하다면 TMDL에 적합하도록 모델을 수정한 후 사용하여야 한다.

미국 동남부 지역에서는 수질을 보전하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔다. 이들 연구의 핵심 대상은 유역의 수문현상, 유사배출, 화학적 오염물질의 이송과정 등이었다. 최근에는 자연생태계의 중요성이 부각되면서 수계의 생물학적 변화과정이 중요한 인자로 등장하였고 기존의 연구에 이들 생물학적 인자를 포함시키기 위한 연구도 이미 시작되었다. 또한 유역의 수질보전 활동이 지역의 투자자들에게 미치는 영향에 대해서도 연구를 하고 있다. 기존의 연구성과 및 기술과 생물학적 인자와 경제적 인자들을 평가할 수 있는 기술들을 조합하여 TMDL을 보다 합리적으로 개발할 수 있는 모델과 방법의 개발은 향후 5년 동안 이 분야 연구의 근간을 이룰 것이다.

수질기준에 미치지 못하는 수계의 TMDL은 유사, 병원균, 영양염류, 중금속, 용존산소, 온도, pH, 생태계 오염, 농약, 수은, 유기물, 수중의 해로운 수초, 암모니아 등과 같은 개별적인 수질인자별로 작성된다. 따라서 TMDL을 작성하기 위해서는 일차적으로 수계가 어떤 수질인자에 의하여 오염되었는지를 분명히 밝힐 수 있어야 한다. 이들 여러 가지 수질인자 중에서 유사, 영양염류, 농약, 병원균, 생태계 오염 등이 미국 농업공학자들의 주된 TMDL 연구분야이다.

경제학자들은 기존의 수문모델에 경제적 변수와 최적화 모델을 연결시켜 운영할 수 있을 정도로 연구를 진전시켰고, 농민들은 그들의 영농방법이 수입과 수질에 미치는 영향을 분석할 수 있는 모델을 운영할 수 있게 되었다. 이와 같이 복잡한 종합모델들도 인공지능시스템, 지리정보시

시스템, 시각화 모델과 같은 정보처리기술을 인터페이스로 이용하여 쉽게 사용할 수 있다. 또한 이들 정보처리기술을 이용하면 모델의 방대한 입력자료를 쉽게 준비하고 입력할 수 있으며, 복잡한 출력값도 알기 쉽고 보기 쉽게 나타낼 수 있다. 따라서 모델의 복잡한 기능도 이들 인터페이스 소프트웨어를 사용하여 쉽게 조작할 수 있으며 일반인들도 복잡한 종합모델을 간단하게 다루고 필요한 정보를 추출할 수 있게 되었다.

3. 지역 협력의 중요성

TMDL을 위한 모델과 분석방법의 개발에는 많은 경비와 시간이 소요된다. 미국의 많은 주 정부는 서로 비슷한 TMDL 문제점들을 가지고 있기 때문에 주별로 독립적으로 문제해결을 시도하기보다는 여러 주가 연합으로 협력하여 TMDL과 관련된 문제를 해결하려고 한다. 종합 모델들은 다양한 조건에서 운전할 수 있도록 개발되었지만 미국과 같이 지역이 광대하고 지역마다 많은 차이점이 있는 유역에서는 이들 모델의 응용성이 떨어진다. 따라서 많은 차이를 보이는 지역적 특성을 반영할 수 있는 모델로 검증받기 위해서는 여러 지역이 협력하여 공동연구를 수행해야 한다. 따라서 TMDL의 개발과 수행에는 지역협력이 매우 중요한 인자이다.

4. TMDL 연구의 목적과 추진방향

수질을 개선하기 위해서는 사람들의 습관을 바꿀 필요가 있으며, 이와 같은 정책을 수행하기 위해서는 많은 재정을 필요로 한다. 따라서 최소의 비용으로 환경의 질을 개선할 수 있는 정책이 필요하다. 초기의 TMDL 정책이 올바른 방향으로 개발되고 효과적으로 수행되어야 후속 정책들이 합리적이며 경제적으로 개발되고 추진될 수 있다. 초기의 정책개발이 불합리하고 현실을 도외시키고 있다면 후속 정책들은 갈피를 잡지 못하고 비효율적이고 비경제적으로 운용될 수밖에

에 없다. 미국에서는 농업이 수계의 수질악화에 가장 큰 원인을 제공하고 있는 것으로 인식되고 있다. 따라서 수질에 대한 농업비점원 오염이 명확하게 구명(究明)되지 않는 한 합리적인 TMDL의 개발은 불가능하다고 인식하고 있으며, 농업비점원 오염을 정확하게 측정하거나 예측할 수 있는 기법이나 모델의 개발에 박차를 가하고 있다. 농업비점원 오염을 정확하게 예측할 수 있는 기법이나 모델의 개발범위는 매우 광범위하여 어느 특정한 지역에서 독자적으로 개발할 수 없다. 여러 주의 기관들이 서로 협력하여 모델의 개발과 자료수집 연구과제를 효과적이고 경제적으로 수행할 필요가 있으며, 이를 위하여 다음과 같은 연구목적을 설정하였다. 이 목적은 향후 5년 동안 미국의 농업비점원 오염연구자들이 추구할 궁극적인 방향이다.

- (1) TMDL 개발과 수행에 필요한 유역모델과 분석방법들을 개발하고, 개선하고, 평가한다.
- (2) 유역이나 필지단위의 TMDL 수행과 관련되어 나타날 수 있는 투자 대 수익율 및 형평성 문제를 평가한다.
- (3) 유역단위의 TMDL 수행과 관련되어 나타날 수 있는 생태학적 연관성/혜택을 평가한다.

이 목적을 달성하기 위해 각 목적별로 세부 목적을 정하고, 세부목적을 달성할 수 있는 전문가들이 소위원회를 구성하여 연구를 수행한다. 각 목적별 세부목적은 요약하면 다음과 같다.

목적(1)의 세부목적:

- ① 농업유역에서 TMDL의 개발에 사용할 수 있는 유역평가모델 (AGNPS, ANSWERS, HSPF, SWAT, GWLF 등)을 검증한다.
- ② TMDL 개발에 이용되는 모델에 사용할 수 있도록 현재의 자료들을 융합하는 시스템을 개발한다. 이 시스템은 지리정보시스템과 사용자 인터페이스 모델을 적극 활용한다.
- ③ TMDL 개발에 사용되는 모델의 개발과 평가에 활용할 수 있도록 자료를 수집하고 중

합적인 데이터베이스를 구축한다.

- ④ 모델 불확실성의 검증과 예측을 위한 지침서를 개발한다.
- ⑤ TMDL 개발에 필요한 모델의 적용범위를 확대한다.

목적(2)의 세부목적

- ① 목적(1) 수행에 필요한 3곳의 대표유역을 선정하고 TMDL 개발 모델링과 관련된 비용, 혜택, 위험성 및 불확실성을 평가한다. 이 평가는 자료수집비용, 자료의 질, 모델의 응용성과 적용성 및 모델링 결과 등에 중점을 둔다.
- ② 위 3곳의 대표유역에 대해 TMDL 수행계획의 대체안을 개발하고 평가한다. TMDL의 사회적 적용 가능성, 형평성, 정책 등을 정밀히 분석한다.
- ③ 농가경제 차원에서 수질보호의 가치를 평가한다.
- ④ 위 3곳 대표유역의 생태적 가치를 평가한다.
- ⑤ TMDL 수행과정을 모니터링하는 장기적인 연구를 수행한다.

목적(3)의 세부목적

- ① TMDL 수행으로 야기된 수체의 물리적, 수리학적 변화를 보다 잘 표현할 수 있는 방법을 개발한다.
- ② 수체의 물리적, 수문학적 변화가 수중 서식지에 미치는 영향을 파악할 수 있는 인과관계를 개발한다.
- ③ 수질화학, 오염부하수준, 그리고 하천 서식지의 질이 수중생태계의 질과 활성도에 미치는 영향을 관계지을 수 있는 방법을 개발한다.

이상의 세부목적들도 연구범위가 매우 넓으므로 지역별로 혹은 전문 분야별로 소위원회를 구성하여 공동으로 연구를 추진하게 된다. 또한 이들의 연구결과는 일정한 기간마다 종합적으로

토의되고 수정되면서 보다 합리적인 방법으로 연구목적을 달성하도록 추진된다.

5. TMDL 개발의 예

1. 미국 Delaware 주의 TMDL 개발

- (1) 1996년 : 여러 환경보호단체들이 수질이 개선되지 않는 것에 대해 EPA를 고발하였음
- (2) 1997. 7. 25. DNREC (델타웨어 자연자원 및 환경통제국)와 EPA가 수질개선을 위한 MOU (양해각서) 체결
 - 향후 10년내에 Delaware 주의 37개 유역에 대해 TMDL을 개발
- (3) 1998. 12. Delaware Inland Bays에 대한 TMDL을 개발
- (4) TMDL의 주요내용
 - Point Source : 100 % 감축
 - 상류유역 NPS : N 85 %, P 65 % 감축
 - 기타유역 : N과 P 40 % 감축
 - 대기강하 N : 20 % 감축
- (5) 접근방법 : 시민교육을 통한 bottom-up policy making

2. 미국 Virginia 주의 TMDL 개발

- (1) 1998년 : Virginia DEQ (환경보호국)와 EPA가 수질개선을 위한 MOU 체결
 - 2010년까지 636개의 TMDL을 개발
- (2) 2001. 12 : 21개의 TMDL 개발 완료
 - 21개의 TMDL 중 20개는 수체의 fecal coliform bacteria (장대장균)를 줄이기 위한 TMDL
- (3) 대장균 TMDL의 주요내용
 - Point source : 100 % 감축 (정화조, milking parlor 등)
 - 가축방목에 의한 대장균 유입 : 90-100 % 감축
 - 야생동물 분뇨에 의한 대장균 유입 :

35-85 % 감축

- NPS에 의한 대장균 유입 : 0-95 % 감축

(4) Virginia의 경우 야생동물에 기인하는 대장균 농도만으로도 수질기준인 200 cfu/100 ml에 달하므로 수질기준이 너무 엄격히 설정되었다는 지적이 제기되고 있음

(5) 접근방법 : 시민교육을 통한 자발적인 참여와 인센티브

(6) Virginia의 TMDL 정보 :

<http://www.deq.state.va.us/tmdl/>

3. 미국 Kansas 주의 TMDL 개발

(1) 2001년 12월 : Kansas 주 면적의 2/3에 해당하는 유역에 TMDL 개발완료

(2) 주 target pollutant (목표 오염물질) : fecal coliform bacteria

(3) 2010년까지 TMDL 성취를 위한 오염관리 목표

- 모든 수체에서 1.6 km (1 mile) 이내의 주택과 농경지는 오염원 배출을 감축하기 위한 환경기초시설을 설치하거나 이에 준하는 조치를 수행함

(4) 접근방법

- 교육과 인센티브 제공
- 시범연구유역 운영을 통한 주민교육
- 정부, 민간, 연구기관, 개인 등이 참여하는 단체를 구성하여 추진

4. 미국 Minnesota 주의 TMDL 개발

(1) EPA에 TMDL 계획서 제출

(2) 모니터링 자료에 기초한 TMDL 기준설정
- Minnesota의 1986.10.1. - 1996.9.30 사이 10년 모니터링 자료 이용

(3) 현재 1개 유역을 설정하여 fecal coliform bacterial와 탁도를 감소시키기 위한 시범 연구를 진행하며 TMDL의 문제점을 파악하며 실현 가능한 TMDL 개발을 추진하고

있음

(4) TMDL 개발방법

- 자격심사를 통해 TMDL을 개발할 수 있는 consultant pool(용역전문가 그룹)을 구성

- 현재 6명의 consultant가 선발되었음

- 이들 consultant가 TMDL의 개발과 수행에 주도적으로 참여

- 현재 30개의 TMDL 개발이 consultant와 시민단체를 중심으로 진행되고 있음

(5) Minnesota의 TMDL 정보 :

<http://www.pca.state.mn.us/water/tmdl.html>

6. 결 론

미국은 우리 나라와는 비교할 수 없을 정도로 많은 연구자료를 갖고 있다. 그럼에도 불구하고 TMDL을 개발하고 실행하려다 보니 아직도 불확실성이 너무나 많고 또한 필요한 자료도 많이 부족함을 느끼고 있어 자신있게 TMDL을 개발하지 못하고 있다. TMDL의 개발 및 수행성과의 평가에 필요한 자료를 모두 실측할 수 없기 때문에 미국인들은 모델을 적극적으로 활용한다. 불확실성이 최소화된 모델을 사용하기 위해서는 모니터링 자료가 절대적으로 필요하기 때문에 자료수집과 모델의 검증이 바늘과 실처럼 항상 함께 인용된다. 부정확한 자료로 개발된 TMDL은 형평성 문제를 일으키고 이는 사회적인 불만 요소로 작용하기 때문에 성공적으로 TMDL을 수행할 수 없게 된다. TMDL의 개발에는 형평성 문제가 매우 중요하게 다루어진다.

미국의 정책담당자, 연구자 및 연구지원부서는 일반상식적인 TMDL의 개발원칙을 고수하고 있다. TMDL은 현실적으로 반드시 가능해야 하며, 소외되는 계층이나 분야가 없이 모든 사회가 참여할 수 있어야 한다(형평성 확보). 또한 기술적으로 안전해야 하며, TMDL의 사회·경제적인 면이 반드시 고려되어야 한다. 자발적인 참여를

유도할 수 있는 인센티브를 적용해야 하며, 지역의 특색에 맞도록 개발되어야 한다. 지속적인 연구지원 및 기술개발이 이루어져야 한다. 이상의 원칙은 보기에는 쉬워도 실행하기는 매우 어렵다.

우리 나라에서도 미국의 TMDL에 해당하는 오염총량규제를 위한 계획이 실행에 옮겨지고 있다. 그러나 비점원 오염과 관련된 연구자료의 부족으로 오염총량규제를 위한 정책의 개발에 많은 어려움을 겪고 있다. 특히, 비점원 오염의 발생, 운반 및 수질에 미치는 영향 등 비점원 오염의 특성을 잘 모르는 비전문가에 의해 오염총량규제정책이 개발되고 있기 때문에 그 실현성과 효과는 회의적일 수밖에 없다. 우리 나라에서 점오염원을 처리하기 위한 하수처리장 등 환경기초시설투자는 7~8년 이내에 마무리되어 비점원 오염관리와 통제를 위한 정부정책이 본격적으로 도입될 것으로 예상하고 있다. 그러나 정책의 개발과 시행은 연구자료에 바탕을 두고 개발되어야 하나, 우리 나라에서는 정책을 개발하는데 사용할 수 있는 비점원 오염에 관한 체계적인 자료의 수집과 데이터베이스화는 아직 초보단계를 벗어나지 못하고 있다. 지금부터라도 정책적인 차원에서 비점원 오염원에 관한 자료를 체계적으로 수집하고 데이터베이스화하는데 적극적으로 투자해야 할 것이다. 오염총량규제는 일과성의 정책실험이 아닌 충분한 자료를 근거로 이해 당사자 모두가 공감하고 함께 참여할 수 있도록 추진되어야 할 것이다. 한국적인 상황에서 한번 실패한 정책을 다시 시도하기는 거의 불가능하므로 오염총량규제가 일과성의 정책실험으로 시도되어서는 안 될 것이다.

참고문헌

1. T. Dillaha. 2002, South Regional Reserach Project S-1004: Development & Evaluation of TMDL Planning & Assessment Tools & Process, An ASAE Steering Committee Handout.
2. ASAE. 2002, Total Maximum Daily Load (TMDL) Environmental Regulations, Proceedings of the March 11-13, 2002 Conference. Fort Worth, Texas. ASAE Publication 701P0102.