

연구논문

동적수질예측결과의 확률분포특성을 이용한 목표수질 달성가능성 평가

하성룡* · 이지현** · 서세덕* · 이승철* · 박정하**

충북대학교 도시공학과*, 충북개발연구원 오염총량관리센터**

(2007년 11월 5일 접수, 2008년 2월 14일 승인)

Assesment of Water Quality Standards using Stochastic Distribution Characteristics between Dynamic Modeling Results and Observed Data

Sung-Ryong Ha* · Ji-Heon Lee** · Se-Deok Seo* · Seung-Chul Lee* · Jung-Ha Park**

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University*
Chungbuk Development Institute Total Maximum Daily Loads Center **

(Manuscript received 5 November 2007; accepted 14 February 2008)

Abstract

Total Maximum Daily Load(TMDL) is a core basin management system to assign total emissions of pollutants to unit basin and emission source within a limit of the target water quality and to secure sustainability. considering "Environment and development" together. By current technical guidance of TMDL, the water quality in the riverbed of which the target water quality is noticed, must achieve the target; and the water quality standard for evaluating achievement of the target should be prescribed as non-excessive probability quality of water on the basis of the pertinent water quality documents. Therefore, the study calculated the target water quality by each unit basin which the target water quality must be noticed through the analysis of probability for water quality documents in rivers at the time of establishing a plan, and the study evaluated the achievement possibility of the target water quality by analyzing and comparing the target water quality plan with the standard water quality to evaluate the achievement of the target water quality.

As the result, applying the proposed method to Mihocheon River system, it is concluded that selected the target water quality (Each BOD 3.3mg/1 and BOD 3.0mg/1) in Miho A and Musim A is available. Of course, it showed that the target water quality: BOD 2.5mg/1 in Miho A and BOD 3.0mg/1 in Musim A, could be achieved if the small reduction in B unit area was implemented.

Key words : Total Maximum Daily Load(TMDL), Stochastic Distribution, HSPF

1. 서론

수질오염총량관리제(TMDL)는 목표수질 한도 내에서 단위 유역과 배출원에 오염물질 배출총량을 할당하고 "환경과 개발"을 함께 고려하는 지속가능성을 확보할 수 있는 핵심적 유역관리제도이며, 공공수역의 수질보전은 물론 수자원의 이용과 관련된 지역 간의 분쟁해소 및 유역공동체의 경제적, 환경적 형평과 상생을 꾀하는 보다 근원적이고 광범위한 수질관리정책이다(수질오염총량관리업무편람, 환경부, 2004). 이 제도의 시행은 먼저 해당수계의 환경자료조사를 통해 수질 및 유량을 실측하고 해당 수계내의 오염원 현황을 조사하여 오염부하량 산정을 한다. 조사된 유역환경자료 및 오염원 자료를 바탕으로 발생부하량 및 배출부하량, 유달부하량을 산정하고 수질모형을 통한 모의 및 예측이 이루어져 해당 수계의 목표수질 달성여부를 결정짓고 초과오염부하량에 대한 할당이 이루어진다(하 등, 2007). 따라서 목표수질관리지점에서의 목표수질 달성여부가 해당 지자체들의 관심의 초점이 되고 있다.

2004년부터 2010년까지의 1차년도 수질오염총량관리제에서는 과거 10년간 평균저수량을 기준유량으로 하여 생물학적 산소요구량(BOD)을 목표수질 설정방법으로 하였으나(충청북도 금강 오염총량관리 기본계획, 충청북도, 2005), 2011부터 2015년까지의 2차년도 수질오염총량관리제에서는 과거 10년평균저수량 및 평수량을 기준유량으로 한 총인(TP)이 추가되었다(금강수계 제2차 수질오염총량관리 기본계획 시범적용, 국립환경과학원, 2007).

현행 수질오염총량관리 기술지침에 의하면, 목표수질이 고시된 하천 지점에서의 수질은 고시된 목표를 달성하여야하며, 그 달성여부의 평가기준이 되는 수질은 해당 수질 자료를 기반으로 한 비초과 확률수질로 규정토록 하고 있다. 1차 수질오염총량관리계획에서는 목표연도 관측수질자료의 50% 비초과수질을 평가수질로 정의하고 있으며, 2차 수질오염총량관리계획에서는 이를 75% 비초과수질을 기준으로 한다(수계오염총량관리기술지침, 국립환

경연구원, 2004). 따라서 이러한 목표수질 원칙을 준용하여 합리적이고 적절한 목표수질을 설정하고 그 달성가능성 여부를 평가하기 위하여 HSPF 동적수질예측 모형과 수질자료의 확률분포특성을 이용한 방법을 제안하고자 한다.

II. 본론

수질오염총량관리계획의 목표수질 원칙을 준용하여 합리적이고 적절한 목표수질을 설정하고 그 달성가능성 여부를 평가하기 위하여 HSPF 동적수질예측 모형의 모의결과와 수질자료의 확률분포특성을 이용한 방법을 그림 1과 같이 제안하고자 한다. 계획수립시점의 하천수질자료 확률분석을 통하여 목표수질이 고시되어야 하는 단위유역별 목표수질안을 산정하고, 하천수질모형과 유역동적수질모형을 이용한 계획 목표연도의 수질을 예측하여 목표수질 달성평가 기준수질을 산출한다. 단위유역별 목표수질안과 목표수질 달성평가 기준수질의 비교분석을 통하여 목표수질의 달성 가능성을 평가한다.

1. 비초과 확률

연속 무작위 변수에서 변량 x 의 확률 $p(x)$ 는 $x + \Delta x$ 범위에 있는 변량의 확률로 주어지며 연속함수이다. 이때 변량 x 의 연속된 확률함수 $p(x)$ 를 확률밀도함수(pdf)라 한다. 누적확률 $F(X)$ 는 확률밀도함수 $p(x)$ 의 적분에 해당하며 주어지고 일반적으로 분포함수라 한다. $F(X) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x p(X) dx$, x 의 한계가 ∞ 까지이면 $p(x \leq \infty) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx = 1$, 또한 $P(X \leq x)$ 를 비초과 확률이라고 하며 $P(X \geq x) = 1 - P(x \leq x)$ 를 초과확률이라고 한다.

2. 수질자료의 확률분포함수 $F(x)$ 를 이용한 하천수의 확률규모별 비초과 수질 산정

그림 2에서 알 수 있듯이, 본 하천수질자료의 확률분포함수로부터, 확률규모별 비초과수질을 구할 수 있다.

비초과확률 그래프의 50%의 값은 평균값과 같으

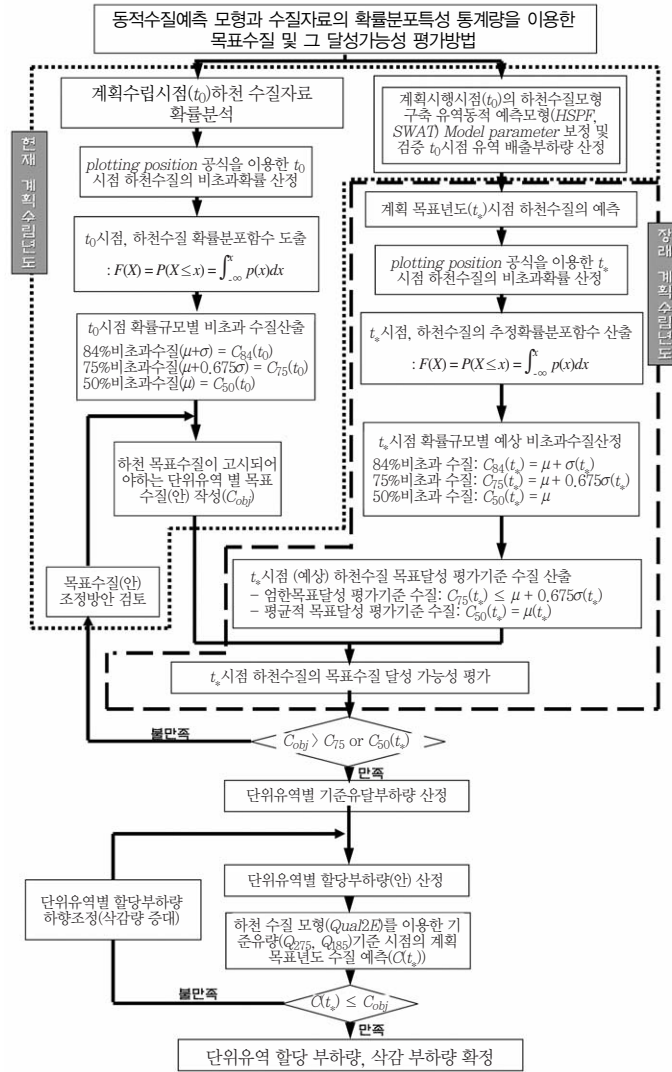


그림 1. 동적수질예측 모형과 수질자료의 확률분포특성을 이용한 목표수질 설정 및 장래 달성가능성 평가방법(S.R.Ha 2007)

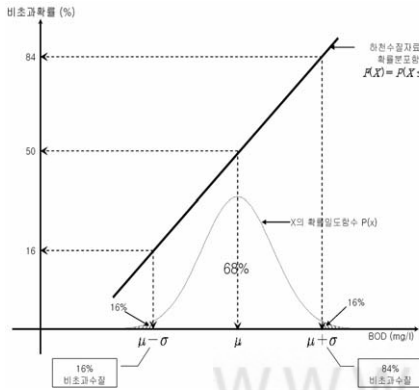


그림 2. 확률 규모별 비초과수질 산정(예)

며 정규분포 그래프의 중앙에 해당한다. 84%비초과확률값은 평균값에 표준편차를 더한 것과 같으며, 16%비초과확률값은 평균값에 표준편차를 뺀 것과 같다.

3. 하천 목표수질의 확률적 의미

하천수질 관리의 기준이라는 목표수질의 실정은 해당하천에서 최근 관측된 수질을 기준으로 하여, 해당하천 수질의 관리책임을 지닌 해당 자치단체의 수질보전을 위한 경제적 및 기술적, 그리고 하천을

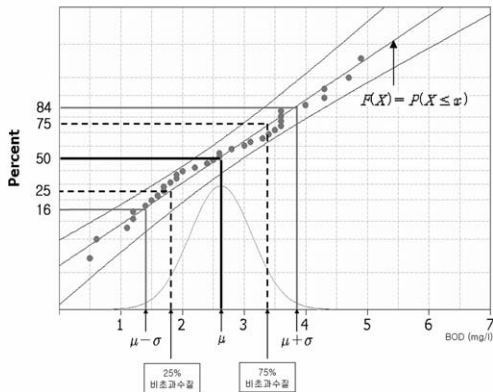


그림 3. 하천수질관리의 기준이 되는 확률이 고려된 비초과수질(S.R.Ha)

공유하고 있는 인근 자치단체 등의 입장뿐만 아니라 수질보전의 최종관리기관인 해당유역환경청의 의지가 반영됨으로써 이루어진다.

통상, 하천수질관리에서 관심이 되고 있는 수질은 크게, 해당하천의 평균적 수질을 나타내는 관측수질 자료의 평균값, μ (즉, 그림 3에서 보이는 50% 비초과수질), 관측수질 평균에 자료의 분산값, σ^2 을 고려한, $\mu + \sigma$ 값 (84% 비초과수질) 그리고 $\mu - \sigma$ 값 (16% 비초과수질)등이 있다. 한편, 하천수질의 목표수질작성 여부를 판단하는 경우에 잘 사용되고 있는 수질규모가 75% 비초과수질이 있다.

현행, 금강의 수질오염총량관리 계획(1차)에서 단위유역별로 고시된 목표수질은 해당 지점의 10년 평균 저수량(Q275)시점에 관측치된 하천수질의 평균에 전술한 관련된 요인등이 고려되어서 결정된 것이다. 목표수질은 관측수질 확률분포함수의 50% 비초과수질에 해당한다.

4. 하천수질의 '목표달성' 평가기준수질

현행 수질오염총량관리 기술지침에 의하면, 목표수질이 고시된 하천 지점에서의 수질은 고시된 목표를 달성하여야하며, 그 달성여부의 평가기준이 되는 수질은 해당 수질 자료를 기반으로한 비초과 확률수질로 규정토록 하고있다.

1차 수질오염총량 계획에서는 목표연도 관측수질 자료의 50% 비초과수질(년평균수질해당)을 평가수

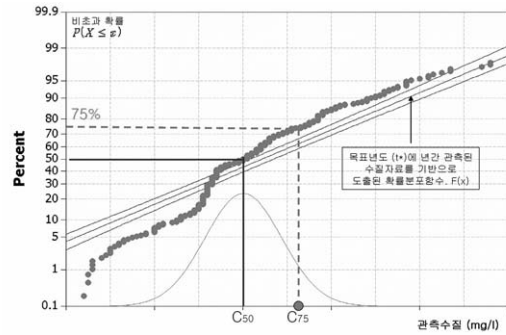


그림 4. 75% 비초과수질을 기준으로 한 목표수질달성 평가 기준

질로 정의하고 있으며, 2차 수질오염총량관리계획에서는 이를 75% 비초과수질($\mu + 0.6745 \sigma$)을 기준으로 한다. 즉, 계획목표연도(t_*)에서 관측된 하천수질이 계획수립시점(t_0)년도에 고시된 목표수질 C_{obj} 를 만족하기 위해서는 계획 목표연도(t_*)의 하천수질자료의 75% 비초과수질 C_{75} 가 다음 조건을 만족하여야 한다.

목표수질 달성 평가기준 확률규모가 75% 비초과 확률의 목표수질 달성조건 :

$$C_{obj} \geq C_{75} \quad (1)$$

여기서, C_{obj} : 해당 하천에 고시된 목표수질 (mg/l)
 C_{75} : 해당 하천에서 계획목표연도에 관측 (또는 예측)된 수질자료의 75% 비초과수질로 목표달성 평가 기준 수질에 해당.

5. '목표수질' 과 목표달성 평가기준수질의 관계

전술한 바와 같이, 하천에 설정되는 목표수질 (C_{obj})은 계획수립년도(t_0)이전의 수질자료를 기반으로 정의되는 한편, 하천수질이 고시된 목표수질의 달성여부는 그 보다 수년정도 늦은 시점(t_*)에 관측되는 하천수질자료를 기반으로 판정된다. 특히 그 판정의 평가기준수질은 t_* 시점 자료의 비초과수질 규모에 따라 50% 비초과수질인 C_{50} 또는 75% 비초과수질 C_{75} 로 구분된다. 1차 수질오염총량관리 계획 효과 평가에 적용된 50% 비초과수질 C_{50} 은 t_* 시점의 연간 평균 수질을 평가 기준으로하는 한편, 2차

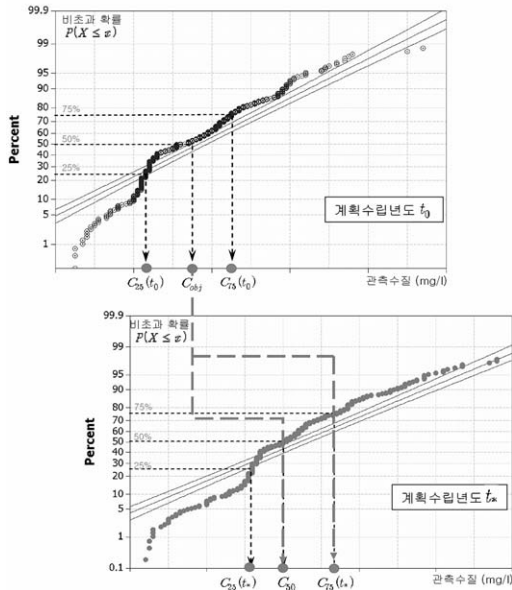


그림 5. 목표달성 평가 기준수질(C_{50} , C_{75})과 목표수질 (C_{obj})와의 관계(S.R.Ha 2007)

수질오염총량관리계획 평가에는 그보다 높은 조건인 t_* 시점의 년간 관측된 하천수질 자료의 높은 수질농도(보다 오염된 수질) 상위 25%에 해당하는 75% 비초과수질을 기준으로 할 것을 요구하는 것이다.

그림 6은 목표년도인 $t=t_*$ (2015년의 경우) 시점에 관측된 하천수질자료의 시계열 분표이다. 이 하천에 고시된 목표수질(C_{obj})은 7mg/l 수준이었고, 목표연도에 관측된 수질자료의 75%가 초과하지 못한 수질(C_{75})는 5.5mg/l 이었으며, 그해의 평균수질(C_{50})은 3.8mg/l이었다. 특히, 75% 비초과수질이 평가기준이었음을 고려할 때, 이 하천수질은 $C_{obj} > C_{75} > C_{50}$ 의 관계를 보임으로써 목표수질달성 조건인 전술의 식(1)을 만족함을 알 수 있다.

한편, 그림 7은 목표수질 C_{obj} 가 7mg/l이고 목표연도 t_* 시점의 평균수질(C_{50})이 3.8mg/l, 75%비초과수질(C_{75})가 9.5mg/l의 경우이다. 이때 50%비초과수질(C_{50})이 목표달성평가 기준수질인 경우, $C_{obj} > C_{50}(t_*)$ 를 만족하여 목표가 달성된 것으로 판정된다. 그러나 그보다 엄격한 75%비초과 수질이 목표달성평가 기준수질로 고려될 경우, $C_{75}(t_*) > C_{obj}$ 의 관계를 보임으로써 목표가 달성되지 못한 것으

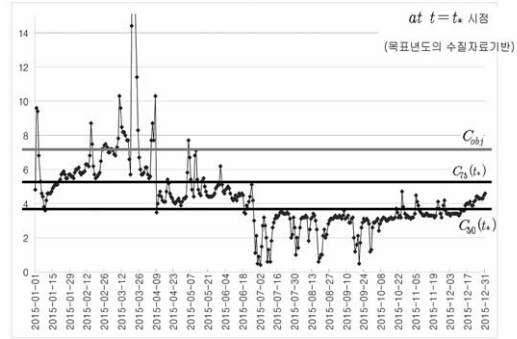


그림 6. 목표수질을 만족하는 경우 예

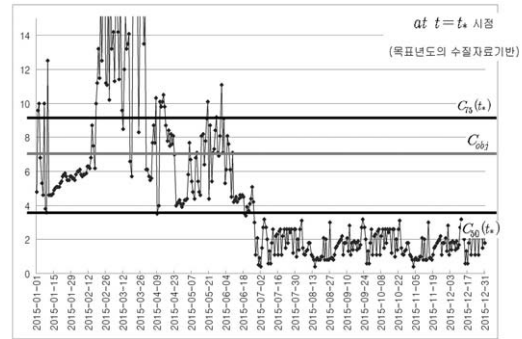


그림 7. 목표수질을 만족하지 못하는 경우 예

로 평가될 수 있음을 알 수 있다.

$C_{obj} < C_{75}(t_*)$, $C_{obj} > C_{50}(t_*)$ 즉, t_* 시점의 50% 비초과수질은 C_{obj} 를 만족하나, 75% 비초과 수질은 C_{obj} 를 불만족 시킨다. 즉 ‘목표달성’ 실패이다. 따라서, t_* 시점의 하천 “수질목표달성 여부” 평가기준시, “목표달성 평가 기준 확률규모” 75%, 50%를 적용에는 t_* 시점의 해당 수질달성의 책임 자치단체가 지난 오염저감(목표수질달성) 가능성이 신중히 고려되어야 한다.

그림 8은 이상 설명한 바와 같이 목표연도의 하천수질이 목표수질을 만족할지 여부에 매우 큰 영향을 미치는 평가기준수질의 확률규모의 중요성을 도표화한 결과이다. 그림에서 보듯이 계획수립시의 목표수질을 3가지로 고려했다.

- (1) 엄한 목표수질: $C_{obj1} = \mu - 0.6745 \sigma(t_0)$
- (2) 평균 목표수질: $C_{obj2} = \mu(t_0)$
- (3) 느슨한 목표수질: $C_{obj3} = \mu + 0.6745 \sigma(t_0)$

한편, 목표연도(t_*)에서 관측된 수질의 목표달성

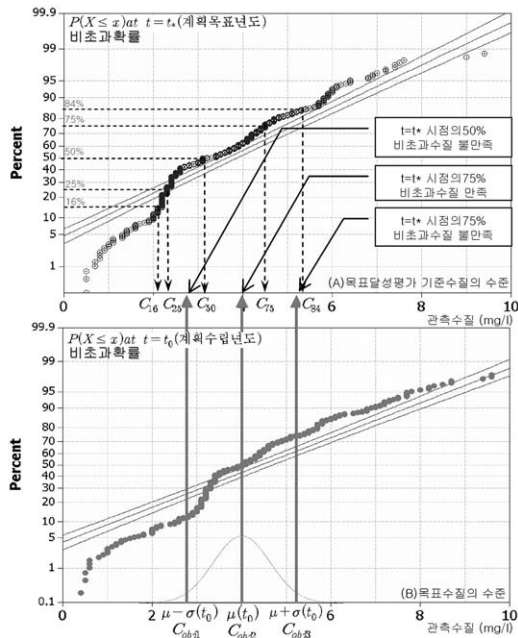


그림 8. 목표수질의 수준과 목표달성 평가 기준수질의 수준 (S.R.Ha 2007)

평가 기준수질은 두가지 확률규모 즉, 50% 비초과수질 C_{50} (년평균수질)과 75% 비초과수질 C_{75} 기준으로 고려하고 있다.

(1) 엄한 목표달성 평가 기준수질 : $C_{75} = \mu(t_*) + 0.6745 \sigma(t_*)$

(2) 평균적 목표달성 평가 기준수질: $C_{50} = \mu(t_*)$

엄한 목표달성 평가 기준수질의 경우는 평가 기준수질이 목표연도 수질의 연평균(50% 비초과수질에 해당)보다 큰 값(나쁜 수질)이고 $\mu + \sigma$ 수질농도(84% 비초과수질에 해당)보다는 작은 값(보다 깨끗한 수질)에 해당한다.

한편, 평균적 평가기준수질의 경우는 평가기준수질의 목표연도 수질의 연평균(50% 비초과수질)을 취하고 있다. 이상의 목표수질의 수준과 평가기준수질의 수준이 서로 어우러진 조건을 형성하여 하천수질의 목표달성 여부가 결정되는 것이다. 그림 8의 경우, 엄한 목표달성 평가기준수질인 75%비초과 수질이 적용되는 경우에도 느슨한 목표수질인 C_{obj3} 가 적용된 경우 $C_{obj3} > C_{75}$ 를 만족하여 목표수질이 달성될 수 있음을 나타낸다. 한편, 계획수립년

도의 기준유량 시점의 평균수질인 $\mu(t_0)$ 가 목표수질인 C_{obj2} 의 경우, 목표연도인 t_* 시점의 목표달성 평가기준수질의 확률규모 75% 비초과를 적용하면 $C_{obj2} < C_{75}$ 가 되어 목표수질 만족조건을 만족시키지 못하고, 그보다 낮은 수준의 평가기준수질인 연평균수질 C_{50} 을 적용하면 $C_{obj2} > C_{50}$ 으로 되어 목표를 만족하게 된다.

III. 결 과

1. 단위유역 수질 분포함수를 이용한 목표수질 선정

그림 9는 무심A 지역의 Q_{275} (12월, 1월, 2월)시점의 BOD수질모의(HSPF, Qual2e)값과 환경부,

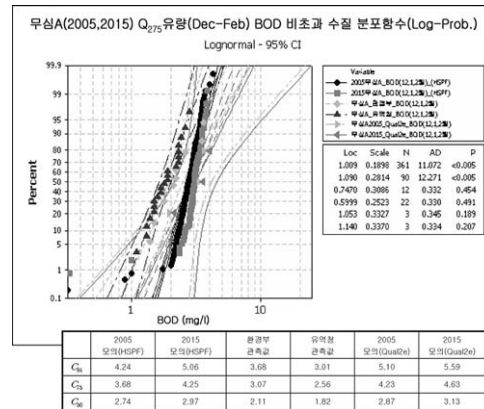


그림 9. 무심A(2005, 2015) Q_{275} 유량(Dec-Feb) BOD 비초과 수질 분포함수

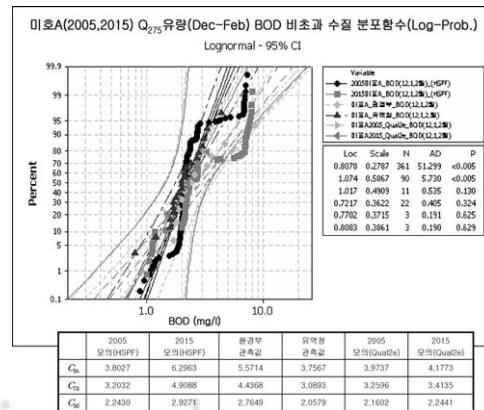


그림 10. 미호A(2005, 2015) Q_{275} 유량(Dec-Feb) BOD 비초과 수질 분포함수

유역청의 관측값을 비초과 수질 분포함수로 나타낸 그래프이다. C_{75} 의 2015년 HSPF의 모의값은 4.25mg/l이고 환경부 관측값은 3.07mg/l, 유역청 관측값은 2.56mg/l, 2015년 Qual2e의 모의값은 4.63mg/l로 계산되었다. C_{50} 의 2015년 HSPF의 모의값은 2.97mg/l이고 환경부 관측값은 2.11mg/l, 유역청 관측값은 1.82mg/l, 2015년 Qual2e의 모의값은 3.13mg/l로 계산되었다.

그림 10은 미호A 지역의 Q_{275} (12월, 1월, 2월)시점의 BOD수질모의(HSPF, Qual2e)값과 환경부, 유역청의 관측값을 비초과 수질 분포함수로 나타낸 그래프이다. C_{75} 의 2015년 HSPF의 모의값은 4.91mg/l이고 환경부 관측값은 4.44mg/l, 유역청 관측값은 3.09mg/l, 2015년 Qual2e의 모의값은 3.41mg/l로 계산되었다. C_{50} 의 2015년 HSPF의 모의값은 2.93mg/l이고 환경부 관측값은 2.76mg/l, 유역청 관측값은 2.06mg/l, 2015년 Qual2e의 모의값은 2.24mg/l로 계산되었다.

2. 목표달성 가능성 평가수질 산정

그림 11은 2015년 무심A의 HSPF모의 결과를 BOD수질 분포함수로 나타낸 그래프이다. 84%비초과 수질 C_{84} 는 3.73mg/l이고, 75%비초과 수질 C_{75} 는 3.00mg/l, 50%비초과 수질 C_{50} 는 1.89mg/l로 나타났다. 그림 12는 2015년 미호A의 HSPF모의 결과(BOD)를 수질 분포함수로 나타낸 그래프이다. 84%비초과 수질 C_{84} 는 4.13mg/l이고, 75%비초과 수질 C_{75} 는 3.09mg/l, 50%비초과 수질 C_{50} 는 2.05mg/l로 나타났다.

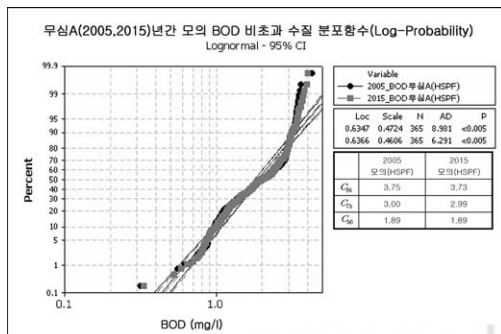


그림 11. 2015년 무심A BOD수질의 HSPF 모의결과와 비초과 분포함수

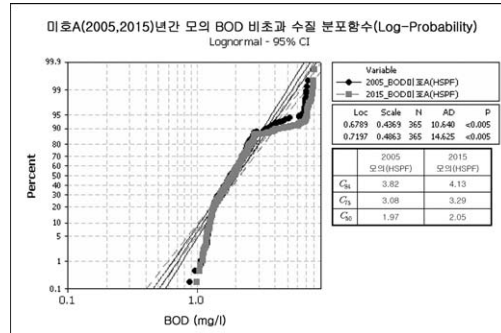


그림 12. 2015년 미호A BOD수질의 HSPF 모의결과와 비초과 분포함수

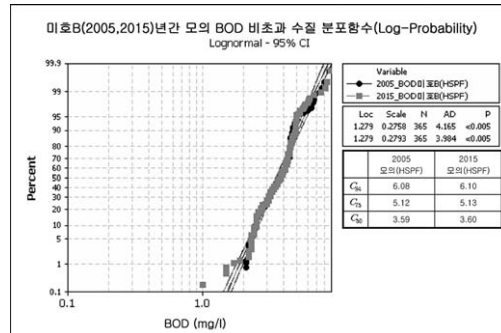


그림 13. 2015년 미호B BOD수질의 HSPF 모의결과와 비초과 분포함수

수질 C_{75} 는 3.29mg/l, 50%비초과 수질 C_{50} 은 2.05mg/l로 나타났다. 그림 13은 2015년 미호B의 HSPF모의 결과(BOD)를 수질 분포함수로 나타낸 그래프이다. 84%비초과 수질 C_{84} 는 6.10mg/l이고, 75%비초과 수질 C_{75} 는 5.13mg/l, 50%비초과 수질 C_{50} 은 3.60mg/l로 나타났다.

3. 목표수질 달성 가능성 평가

해당 단위유역의 하류 단에서 목표연도인 2015년에 관측되는 수질에 관한 실제 자료는 존재하지 않는다. 따라서 장래 하천수질에 관한 정보는 해당 하천에 보정과 검정이 되어 있는 모형을 이용하여 당시의 유역으로부터 발생하는 오염부하량과 부하 삭감시설에 의한 삭감효가가 동시에 반영된 부하량 조건을 토대로 하천수질을 모의하여 필요한 정보를 확보해야 한다. 특히, 본 연구에서 동적 수질모의 모델을 사용할 경우, 장래 목표연도의 연간 단위유

역으로부터 유달되는 부하량을 일단위로 산정할수 있을 뿐만아니라 장래 수질이 지닌 확률분포함수도 산출이 가능하다.

표 1의 횡축은 동적모델을 이용하여 각 단위유역에서 유달되는 수질부하량의 분포함수를 구하고 그 자료로부터 얻어진 비초과 수질, 즉 전술한바와 같은 미호A와 무심A의 목표달성 평가수질을 정리한 것이다. 이들 자료를 가지고, 전술한 바와 같은 목표수질의 달성조건을 만족하는 지를 평가하게 된다. 목표수질 달성 조건은 목표수질이 해당 단위유역의 장래 확률수질보다 커야 한다. 목표달성 평가수질의 확률규모가 커질수록 해당 단위유역에서 극복해야 할 수질의 규모가 커진다. 예로 무심A의 75% 비초과 수질, C_{75} 의 경우, 장래 수질의 75%이상의 일 수질농도가 $C_{75}(mg/l)$ 을 넘지 않아야함을 의미한다. 한편 목표수질의 경우는 확률규모가 커질 수록 목표수질이 더 나빠질 수 있도록 보다 큰 값의 수질목표(오염된 수질)을 지향하게 된다. 따라서 종방향으로, 위로 향할수록 또한, 횡방향으로 좌

측으로 향할수록 보다 엄한 수질을 만족하는 것을 의미하고, 그 반대의 경우는 보다 느슨한 규제를 의미한다. 이상의 점들을 고려하여 평가한 결과, 목표달성이 가능한 조건을 나타낸 것이 표 중에 "O"으로 구분하였다.

무심A의 경우, C_{75} 에 속하며 75%와 84%의 사이에 존재하는 3.0 BOD mg/l를, 미호A의 경우도 C_{75} 와 C_{75} 근방에 존재하는 3.3 BOD mg/l을 만족하는 조건의 목표수질 대안 1을 선택하였고, 또 다른 대안으로, 무심A 3.0 BOD mg/l, 미호A는 2.5 BOD mg/l의 조합을 고려하였다. 한편, 미호B의 장래 수질은 그 상류(무심 A와 미호A)에 설정되는 목표수질의 만족 여부에 따라서 목표수질의 달성여부가 결정된다. 실제로, 표 1에서 미호B의 경우, 목표달성 평가수질의 확률규모가 50%수준인 수질에서만 4.3mg/l의 목표수질을 달성 할뿐, 75% 수준에서는 달성이 불가하다. 이는 미호A와 무심A에서의 목표 조정없이는 미호B의 목표수질달성은 매우 어려움을 의미한다.

표 1. 무심A, 미호A의 목표수질 달성 가능성평가 Matrix

		목표달성평가 기준수질(mg/l)			
		C_{50}	C_{75}	C_{84}	
무심A 목표수질(C_{obj}) BOD mg/l		1.89	2.99	3.73	
μ (50%)	유역청	1.82	X	X	X
	환경부	2.11	O	X	X
$\mu + 0.675\sigma$ (75%)	유역청	2.56	O	X	X
	환경부	3.07	O	O	X
$\mu + \sigma$ (84%)	유역청	3.01	O	O	X
	환경부	3.68	O	O	X
미호A 목표수질(C_{obj}) BOD mg/l		C_{50}	C_{75}	C_{84}	
		2.05	3.29	4.12	
μ (50%)	유역청	2.06	O	X	X
	환경부	2.76	O	X	X
$\mu + 0.675\sigma$ (75%)	유역청	3.09	O	X	X
	환경부	4.44	O	O	O
$\mu + \sigma$ (84%)	유역청	3.76	O	O	X
	환경부	5.57	O	O	O
미호B 목표수질(C_{obj}) BOD mg/l		C_{50}	C_{75}	C_{84}	
		3.60	5.13	6.10	
Q_{275} 시점 (12월, 1월, 2월) 환경부고시		4.3	O	X	X

4. 목표수질 대안의 설정

전술한 바와 같은 분석을 통하여 설정된 단위유역별 목표수질의 대안을 정리한 것이 표 2이다. 미호수계에 위치한 미호A와 무심A(광역차단체가 목표수질 고시)에는 두 개의 대안을 부여함으로써 미호A로부터 미호B 단위유역으로 유입되는 부하량을 다소 엄하게 제어 또는 비교적 느슨한 목표수질 설정으로 인한 하류측 미호B의 목표수질달성에 미치는 영향을 분석하였다.

표 2. 목표수질 대안(미호A, 무심A)

		목표수질			
		Q_{275} 시점 (12, 1, 2월)		Q_{185} 시점 (3, 4, 5월)	
단위유역		BOD (mg/l)	T-P (mg/l)	BOD (mg/l)	T-P (mg/l)
미호A	대안1	3.3	-	-	-
	대안2	2.5	-	-	-
무심A	대안1	3.0	-	-	-
	대안2	3.0	-	-	-

5. 무심A, 미호A 목표수질 달성 확인

표 3, 4는 미호A와 무심A에 설정되는 목표수질의 변화가 미호B유역에 미치는 영향을 분석한 결과이다. 미호A에서의 목표수질을 BOD 2.5mg/l에서 3.3mg/l로 증가시킴으로써, 하류 미호B단위 유역에서 삭감되어야 할 삭감부하량은 2,672.60 kg/d에서 3,519.82 kg/d로 증가했고, 미호A로부터 삭감부하량 2,075.61kg/d로부터 1,465.82kg/d로 감소하였다. 한편 이러한 목표수질의 조정을 통하여 현재 두 곳에 설정되어 있는 목표수질, 미호A 3.0mg/l와 무심A 2.3mg/l가 특히, 무심A의 목표수질의 대폭확대에도 불구하고 미호B에서의 목표수질 4.3mg/l를 달성할 수 있는 결과를 얻었다.

6. 미호A와 무심A의 목표수질 결정에 따른 미호B 목표수질 달성 가능성 평가

미호B에서는 2015년 목표수질을 달성하기 위하여 미호A와 무심A 그리고 미호B유역으로부터 배출되는 부하량을 삭감하는 노력이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 미호B의 상류인 미호A와 무심A에서 목표수질을 제어한 후에 미호 B단위유

역의 2015년 수질의 분포함수를 수정하여 목표수질의 달성가능성을 재평가해야 한다. 그림 14는 미호B의 2015년 BOD수질의 분포함수를 상류(미호A와 무심A)를 목표수질로 제어한 이후 조건을 토대로 재작성한 것이다.

그림에서 알 수 있듯이, 수정된 목표수질 달성평가 수질은 75%비초과 수질이 제어 전 4.55 mg/l로부터 제어 후 3.71mg/l로 감소하였다. 한편 50%의 경우, 제어 전 3.05mg/l에서 제어 후 2.45mg/l로 감소한 것을 알 수 있다. 특히, 75%비초과 목표달

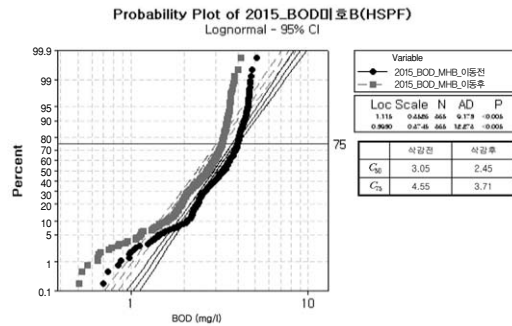


그림 14. 미호B HSPF모델의 삭감전과 삭감후 비초과 분포함수

표 3. Case1 무심A : 3.0, 미호A : 3.3, 미호B : 4.3

HSPF				단위 유역	Qual2E 모의결과		최종배출 부하량 (kg/d)	삭감부하량 (kg/d)	기준배출 부하량 (kg/d)
삭감전		삭감후			삭감전	삭감후			
C_{75}	2.99	C_{75}	3.00	무심A	3.86 (C_{92})	3.00 (C_{93})	6432.59	1370.89	5061.70
C_{50}	1.89	C_{50}	1.90						
C_{75}	3.29	C_{75}	3.30	미호A	4.62 (C_{90})	2.90 (C_{90})	14248.37	1465.82	12782.55
C_{50}	2.05	C_{50}	2.06						
C_{75}	4.55	C_{75}	3.71	미호B	5.16 (C_{92})	4.22	17977.91	3519.82	14458.09
C_{50}	3.05	C_{50}	2.45						

표 4. Case2 무심A : 3.0, 미호A : 2.5, 미호B : 4.3

HSPF				단위 유역	Qual2E 모의결과		최종배출 부하량 (kg/d)	삭감부하량 (kg/d)	기준배출 부하량 (kg/d)
삭감전		삭감후			삭감전	삭감후			
C_{75}	2.99	C_{75}	3.00	무심A	3.86	3.00	6432.59	1370.89	5061.70
C_{50}	1.89	C_{50}	1.90						
C_{75}	3.29	C_{75}		미호A	4.62	2.50	14248.37	2075.61	12172.76
C_{50}	2.05	C_{50}							
C_{75}	4.55	C_{75}	2.45	미호B	5.16	4.30	17977.91	2672.60	15305.31
C_{50}	3.05	C_{50}	3.71						

성 평가수질(3.7mg/l)을 적용하고도 2015년 미호B의 목표수질 4.3mg/l는 여유있게 달성될 것으로 판정된다.

이상의 분석결과로부터 본 연구에서 설정한 광역 차치단체장이 설정할 수 있는 미호A와 무심A의 목표수질(각각 BOD 3.3mg/l와 3.0mg/l)의 선정은 타당한 것으로 판단된다. 물론 다른 대안인 목표수질, 미호A BOD 2.5mg/l, 무심A 3.0mg/l도 미호B 단위유역에서의 보다 가벼운 삭감노력만으로도 목표수질의 달성이 확보될 수 있음을 나타내었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 2차 수질오염총량관리계획에 의거하여 합리적인 목표수질을 설정하고 그 달성가능성 여부를 평가하기 위하여 HSPF 동적수질예측 모형과 수질자료의 확률분포특성을 이용한 방법을 제안하였다. 제안된 방안은 먼저 계획수립시점의 하천수질자료에 대한 확률분석을 통하여 목표수질이 고시되어야 하는 단위유역별 목표수질안을 산정하고, 하천수질모형과 유역동적수질모형을 이용한 계획 목표연도의 수질을 예측하여 목표수질 달성평가 기준수질을 산출한다. 산출된 단위유역별 목표수질안과 목표수질 달성평가 기준수질의 비교분석을 통하여 목표수질의 달성 가능성을 평가하는 것으로 요약할 수 있다.

미호천 수계를 대상으로 제안된 방법을 적용한 결과 본 연구에서 제안한 미호A와 무심A의 목표수질(각각 BOD 3.3mg/l와 3.0mg/l)의 선정은 타당한 것으로 판단된다. 물론 다른 대안의 목표수질, 미호A BOD 2.5mg/l, 무심A 3.0mg/l도 미호B 단

위유역에서의 가벼운 삭감노력이 추가된다면 목표수질이 달성 가능한 것으로 나타났다.

이와 같이 수질관측지점에서의 실측 수질자료의 확률분포특성과 HSPF 동적수질예측 모형의 결과를 이용하여 합리적인 목표수질을 설정함으로써 각 지자체들이 가지는 할당부하량이 타당하게 분배될 수 있을 것으로 본다.

참고문헌

- 국립환경연구원, 2004, 수계오염총량관리기술지침.
국립환경과학원, 2007, 금강수계 제2차 수질오염총량관리 기본계획 시범적용, 연구보고서.
박정하, 하성룡, 배명순, 2007, 유역형상과 오염부하배출 특성을 고려한 유달계수 산정, 한국환경영향평가학회지, 16(1), 79-87.
충청북도, 2005, 충청북도 금강 오염총량관리 기본계획.
환경부, 2004, 수질오염총량관리 업무편람.
S. R. Ha, M. S. Bae, 2005, Gis-based influence analysis of geomorphological properties on pollutant wash-off in agricultural area, *Water Science and Technology*, 51(3), 301-307.
M. S. Bae, S. R. Ha, 2006, Nonlinear regression approach to Evaluate Nutrient Delivery coefficient, *Water Science and Technology*, 53(2), 271-279.

최종원고채택 08. 02. 18