

낙동강에서의 오염물 총량규제를 고려한 수질관리

○한건연*, 김규호**, 윤선영***, 김지원****

1. 서론

인구의 증가와 각종 산업의 발전은 공업용수와 생활용수 사용량의 급격한 증가를 야기하였고, 이에 따라 자연수계에 대한 도시하수 및 공장폐수의 방류량도 늘어나고 있다. 이를 처리하기 위해 대규모 하수처리장 건설과 운영에 많은 예산이 투입되고 있지만 하천 수질은 현저하게 개선되지 못하고 있으며, 특히 갈수시와 저수시의 수질 악화는 커다란 사회문제로 대두되고 있는 실정이다.

수질해석 모형의 가장 큰 목적은 하천 수질 및 생태계의 수학적 표현을 통해 장래의 수질을 예측하고, 예측된 결과에 따라 합리적인 수질관리대책을 수립하는 것이다. 산업화에 따른 도시하수 및 공장폐수가 증가하는 현시점에 비추어 볼 때 합리적인 수질관리대책의 수립은 시급한 문제라 할 수 있다. 특히, 낙동강 유역의 경우, 대구, 구미, 왜관, 김천 등에서의 대규모 오염부하가 금호강 등의 주요 지류를 통하여 본류부로 유입되고 있으며 하류부 칠서, 원동, 매리, 물금 등에서는 많은 양의 하천수를 취수하여 부산, 울산, 마산, 창원 지역 등의 상수 및 공업용수의 원수로 사용하고 있는 실정이다. 또한, 낙동강 유역에서 발생한 오염 사태와 최근 계속되는 영남 지역의 가뭄현상으로 인한 수질악화를 비추어 볼 때, 낙동강 물관리종합대책 시행과 더불어 이 유역에서의 효율적인 수질관리 기법의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

낙동강 유역의 오염물 총량규제에 대비한 수질관리모형 개발을 통하여 오염물질 삭감이 수질에 미치는 영향을 유역 전반에 걸쳐 평가하고 폐수처리장 및 지천에 대한 오염도를 효과적으로 규제하는 최적수질관리 기법을 제시해야 한다. 따라서 이러한 최적화 과정에서의 변동성을 추계학적 방법으로 처리할 필요가 있고, 또한 최적화 과정에서 불확실성을 지닌 매개변수에 대한 처리가 요구되고 있다.

실제로 자연 하천에서의 수리 및 수문학적 특성의 변동성과 각종 매개변수들의 불확실성은 모형에 의한 예측 결과에 큰 영향을 주게 된다. 오염물 총량규제에 대비하여 최적화 기법을 통한 오염물질 삭감전략을 수립함에 있어 추계학적 방법의 도입은 낙동강 유역의 수질 장·단기 예측을 통한 종합적인 수질관리를 가능하게 할 것으로 판단된다.

2. 모형의 보정과 검증

모형의 보정은 실측 자료를 적용하여 모형에 포함된 각종 반응계수를 추정하는 작업을 의미하며, 모형의 검정은 보정된 반응계수를 다른 조건하에서 적용하여 검정된 보정계수의 타당성을 증명하는 것이다.

모형의 보정과 검증을 위하여 국립 환경 연구원에서 제시한 2001년 1월에서부터 2002년 5월까지의 자료를 수집하여 활용하였다. 본 연구에서는 2001년 4월 수질측정 자료를 사용하여 1차원 수질해석 모형의 매개변수를 최적화하였고, 이를 통해 얻은 매개변수를 이용하여 2001년 5월과 2002년 4월의 유량 및 수질자료에 대해 적용함으로써 검증을 실시하였다. 그림 1은 2001년 4월의 모형의 보정 결과이고, 그림에서 보는 바와 같이 모형의 계산치는 그 중단형상에 있어 실측치와 비교하여 잘 일치되고 있음을 알 수 있다.

모형의 검증은 모형의 보정시 적용된 2001년 4월과 유량조건이 유사한 2001년 5월과 2002년 4월에 대해서 수행되었다. 그림 2는 2001년 5월과 2002년 4월의 DO, BOD, TN, TP에 대한 모형의 검증 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 모형에 의한 계산치와 실측치가 비교적 잘 일치되고 있음을 알 수 있다.

* 경북대학교 토목공학과 교수

** 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 대우건설 해외토목팀

**** 한국수자원공사 창원권관리단

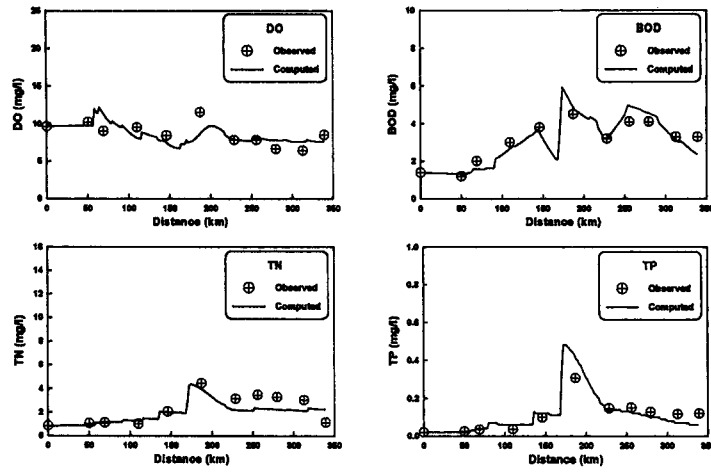
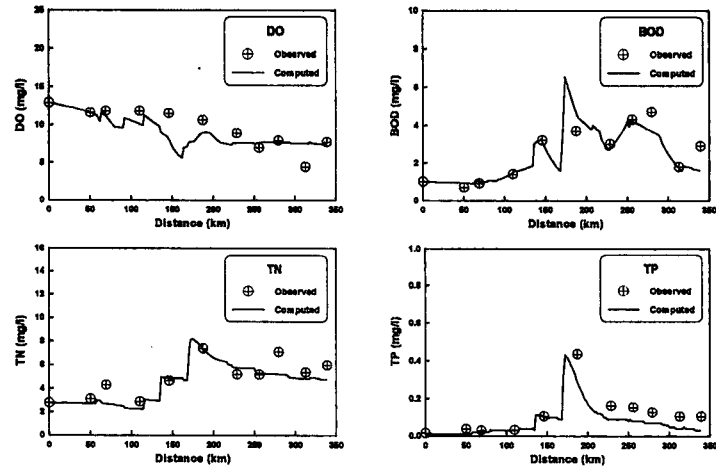
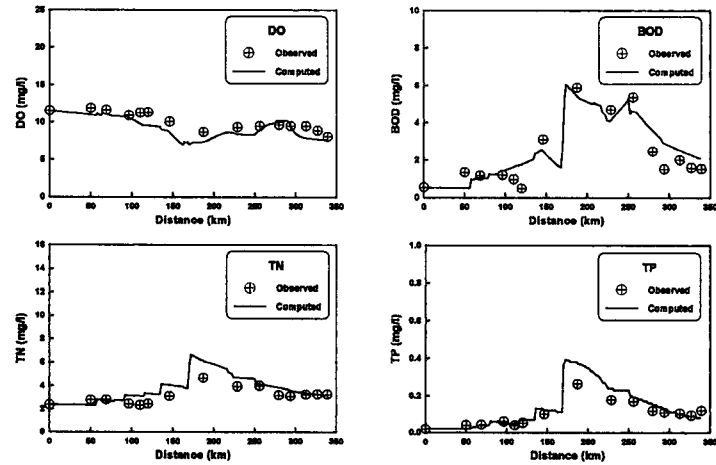


그림 1 모형의 보정 결과 (2001년 4월)



(a) 2001년 5월



(b) 2002년 4월

그림 2 모형의 검증 결과

3. 오염부하 삭감량 결정

일반적으로 최적화를 하기 위한 모형을 적용할 수 있는 문제로 사용자에게 용수를 할당하는 문제, 저수지 운영 정책을 최적화하는 문제, 농작물 경작 패턴을 최적화하는 문제, 오염부하량 할당의 문제 등을 들 수 있다. 오염물 총량규제에 대비하여 폐수처리장 및 지천의 오염부하 삭감량을 결정하는 문제를 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

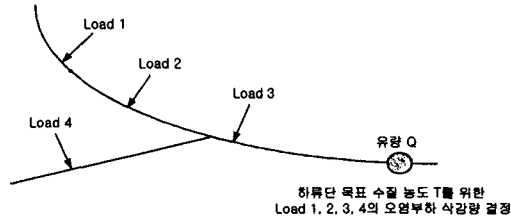


그림 3 오염부하 삭감량 결정 문제의 최적화 모형 적용

하류단 특정 지점의 목표 수질 농도 T 를 만족하기 위해 상류부 지천의 오염부하 삭감량을 LP모형을 통해 결정할 수 있다. 상류부 지천의 오염부하량을 삭감하는데 소요되는 비용을 최소화하는 것이 목적 함수로 사용되고, 제약조건은 유량 Q 를 가진 하류부 특정 지점이 목표 수질 농도 T 를 만족하도록 하는 것이다. 또한 모든 결정변수 즉, 각 지천의 오염부하 삭감량이 양의 값을 가진다는 제약조건도 사용된다.

낙동강 유역은 상류부와 중류부에 대규모의 오염원이 존재하여 지류 및 폐수처리장 등을 통해서 오염물질이 유입되고 있고 하류부에서는 다량의 취수가 이루어지고 있는 상황으로서 오염원과 취수원이 공존하고 있으므로 과학적이고 정교한 수질관리가 절실히 요구되고 있다. 따라서 향후 오염물 총량규제 시행에 따라 다수의 오염원을 효율적으로 제어할 수 있는 낙동강 유역 특성에 적합한 최적수질관리 기법의 개발이 요구되고 있다. 환경부(2001)에서 작성한 수질측정망 운영계획에 의하면 낙동강 본류의 하천수질환경 기준으로 안동교에서부터 금호강 유입지점까지는 하천수질환경 기준이 I 등급으로 제시되어 있고, 금호강 유입 직후부터 낙동강 하구연까지는 하천수질환경 기준이 II 등급으로 제시되어 있다. 즉, 안동교에서부터 금호강 유입지점까지는 BOD에 대한 목표수질농도가 1mg/l 이하이고, 금호강 유입 직후부터 낙동강 하구연까지는 목표수질농도가 3mg/l 이하이다.

그러나 장래 수질모의 결과를 도시한 그림 4를 보면 낙동강 유역 본류부 대부분의 구간에서 BOD 농도가 목표수질농도 범위를 넘어서고 있어서 현실적인 오염부하 삭감량 결정이 어려운 실정이다. 따라서 목표수질농도를 적절한 수준으로 조정하여 현실성 있는 오염부하 삭감량 결정을 할 수 있도록 하였다. 낙동강 전 구간을 대략 상류부, 중류부, 하류부로 나누어 안동교에서부터 금호강 유입지점까지는 BOD에 대한 목표수질농도를 1.5mg/l 이하로 하였고, 금호강 유입 직후부터 토평천 유입지점까지는 4mg/l 이하, 토평천 유입 직후부터 낙동강 하구연까지는 3mg/l 이하로 하였다. 낙동강 유역 본류부에 대해서 이와 같이 BOD에 대한 하천수질환경 기준을 달성할 수 있도록 하기 위해 LP 모형을 적용하여 낙동강 유역의 각 지천에 대한 오염부하 삭감량 결정을 위한 모의를 수행하였다. 목적함수는 BOD 처리를 위한 총 비용을 최소화하도록 하였고, 본류 구간 중 5개의 관심 대상 지점에 대해서 목표수질농도를 만족하도록 BOD 발생 오염부하량을 기준으로 LP 모형을 적용하여 각 지천에 대한 BOD 오염부하 삭감량과 그 비율을 산정하였다. 5개의 관심 대상 지점은 왜관, 고령, 남지, 수산교, 물금이다.

표 1은 오염부하량을 삭감한 이후에 낙동강 본류부 지점에 대한 농도의 변화를 나타낸 것이고, 이러한 농도 변화 양상을 그림 4에 도시하였다. 현재 하천수질환경 기준에는 TN과 TP에 대한 기준치가 제시되어 있지 않기 때문에 그림 4에 도시된 TN과 TP의 수질모의 결과를 보고, BOD와 같은 양상을 보이도록 적절한 수준의 목표수질농도를 결정하여 최적화를 수행하였다. TN에 대해서, 안동교에서부터 금호강 유입지점까지는 목표수질농도를 3.5mg/l 이하로 하였고, 금호강 유입지점부터 토평천 유입지점까지는 6mg/l 이하, 토평천 유입지점부터 낙동강 하구연까지는 5mg/l 이하로 하였다. TP에 대해서, 안동교에서부터 금호강 유입지점

까지는 목표수질농도를 0.1mg/l 이하로 하였고, 금호강 유입직후부터 토평천 유입지점까지는 0.35mg/l 이하, 토평천 유입직후부터 낙동강 하구언까지는 0.2mg/l 이하로 하였다.

그림 4에서 보는 것처럼 BOD, TN, TP 모두 LP 모형의 적용에 따라 오염부하량을 삭감한 이후 본류부 지점의 농도가 목표수질농도 아래로 떨어지는 결과를 나타내고 있다.

표 1 오염부하량 삭감에 따른 본류부 지점 BOD 농도 변화

지 점	BOD 농도 (mg/l)		TN 농도 (mg/l)		TP 농도 (mg/l)	
	오염부하량 삭감전	오염부하량 삭감후	오염부하량 삭감전	오염부하량 삭감후	오염부하량 삭감전	오염부하량 삭감후
왜 관	1.65	1.19	3.86	3.42	0.12	0.08
고 령	4.36	3.16	6.29	5.62	0.43	0.34
남 지	4.27	2.72	6.06	4.48	0.27	0.18
수 산 교	3.28	2.12	5.53	4.02	0.22	0.15
물 금	2.49	1.73	5.32	4.00	0.16	0.12

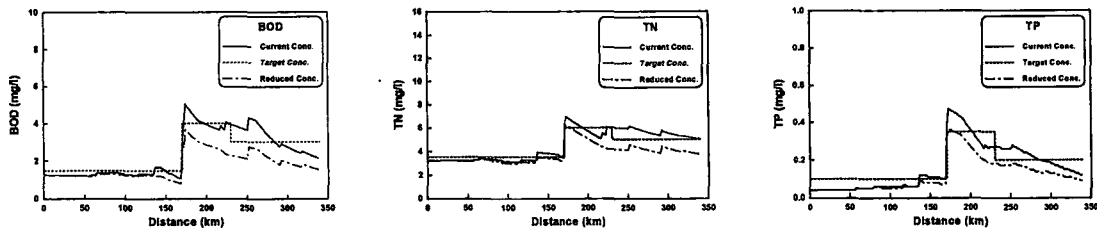


그림 4 오염부하량 삭감에 따른 농도 변화 양상

4. 결 론

낙동강 유역은 상류부와 중류부에 대규모의 오염원이 존재하여 지류 및 폐수처리장 등을 통해서 오염물질이 유입되고 있고 하류부에서는 다량의 취수가 이루어지고 있는 상황으로서 오염원과 취수원이 공존하고 있으므로 과학적이고 정교한 수질관리가 절실히 요구되고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 향후 오염물 총량 규제 시행에 따라 다수의 오염원을 효율적으로 제어할 수 있는 낙동강 유역 특성에 적합한 최적수질관리 기법을 개발하고, 이 최적화 과정의 불확실성을 처리할 수 있는 추계학적 수질해석 방법을 도입하여 보다 정교한 수질관리 모델을 확보하고자 함에 있다.

이를 위하여 1차원 수질해석 모형을 통하여 낙동강 유역에 대한 확정론적 수질해석 및 보정, 검증을 실시하고, 최적화 기법의 하나인 LP 모형에 추계학적 수질해석 방법을 도입함으로써 낙동강 유역 지천의 오염물질 삭감전략을 수립할 수 있도록 하였다. 낙동강 본류부 전구간에서 하천수질환경기준을 초과하는 지점이 없도록 LP 모형을 적용시킴으로써 과학적이고 정교한 수질관리 방안을 제시하였다.

5. 참고문헌

한건연 (1994). "낙동강 중류부에서의 확정론적 수질해석." 한국수문학회 논문집, 제 27권 제1호, pp. 53-67.
 한건연 (1994). "추계학적 해석기법에 의한 하천수질 관리." 대한토목학회지, 제42권 제1호, pp. 80-92.
 환경부 (2001). 수질측정망 운영계획.
 Mays, L.W. and Tung, Y.K. (1992). *Hydrosystems engineering and management*, McGraw-Hill.
 Tung, Y.K. (1992). "Multiple-objective stochastic waste load allocation.", *Water Resources Management*, pp. 117-133.