

오염총량평가를 위한 부하지속곡선 개발 및 적용

Development of Load Duration Curve Methodology for TMDL Evaluation

강두기*, 강순구**, 김상단***, 신현석****

Du Kee Kang, Soon Ku Kang, Sang Dan Kim, Hyun Suk Shin

Abstract

The major streams in South Korea have established the TMDL(Total Maximum Daily Loads) regulation for just 4 years. Traditional concepts in water quality management in South Korea are based upon the selection of a design stream flow which is 10-year averaged flow exceedance probability 75%(Q275). That is, a single flow value based upon average long term flow conditions is chosen for application in dilution calculations, permit design, water quality modeling, etc. While these TMDLs seems to satisfy the requirement of the target water quality regulations, they have contributed little to any watershed/waterbody assessment and restoration plans. These types of TMDLs do little to characterize the problems the TMDLs are intended to address. For TMDLs to be more beneficial in the assessment and implementation process, TMDLs should reflect adequate water quality across flow conditions rather than at a single flow value such as average daily flow. In this paper, we developed LDC (load duration curve) methodology for the evaluation of Korean TMDL evaluation based on watershed scaled, physically based on SWAT(Soil and Water Assessment Tool) model.

Key words: Load Duration Curve, TMDL

1. 서 론

수질오염총량관리제도란 과학적 토대 위에서 수계 구간별 목표수질을 설정하고, 그 목표수질을 달성·유지하기 위한 허용부하량을 산정하고, 해당 총량관리 단위유역내에서 배출되는 오염물질의 총량이 목표수질을 달성할 수 있는 허용부하량 이내로 규제 또는 관리하는 제도이다. 그리고, 수질오염총량관리를 위한 기준유량이란 총량관리 단위유역 및 소유역별 오염부하량 할당의 기준이 되는 유량으로 과거 10년간 평균저수량으로 설정하여 관리도록 하고 있다(환경부, 2004). 그러나, 국내 시행중인 오염총량관리제도의 기준유량의 경우, 장기간의 유량조건을 기반으로 설정된 단순화되고 평균화된 개념으로 이를 이용한 부하량의 할당과 관리는 목표수질 달성이이라는 일종의 규제 기준은 만족하고 있지만, 오염총량관리제도를 통한 유역 혹은 수체의 전전한 회복과 평가 및 문제점을 도출하고 해결이라는 근본적인 유역관리의 역할은 미흡한 실정이다. 이러한 문제점을 개선할 수 있는 방안으로 본 연구에서는 일평균 유량과 같은 단순한 유량에 기반하기 보다는 전체 유량 조건을 반영할 수 있는 부하지속곡선(load duration curve) 기법의 적용을 통한 하천 및 유역의 환경문제를 특성화하고 평가하고자 하였다. 본 연구에서는 낙동강 수질오염총량관리 유역을 대상으로 유역모형인

* 정희원·부산대학교 토목공학과 박사과정 E-mail : dookee1@naver.com

** 비회원·부산대학교 토목공학과 석사과정 E-mail : ksg103@naver.com

*** 정희원·부경대학교 환경시스템공학부 조교수 E-mail : skim@pknu.ac.kr

**** 정희원·부산대학교 토목공학과 부교수 E-mail : hsshin@pusan.ac.kr

SWAT 모형을 이용하여 산정된 장기간의 일유량 자료와 목표수질을 이용하여 부하지속곡선을 작성하고, 실측자료를 이용한 평가를 수행하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 적용대상 유역인 낙동강 전체유역을 대상으로 SWAT 모형을 구축하고 실측자료를 이용한 모형의 보정을 수행하여 분석 대상 지점인 낙동강 본류 주요 지점에서의 1995~2004년(10년) 기간의 일유량 자료를 생성하였다. 모형의 구축 및 보정 과정은 신현석 등(2007)의 연구를 준용하였다. 생성된 일유량 자료를 이용한 지점별, 연도별 유황곡선을 작성하고 이를 평균하여 지점별 평균 유황곡선을 생성하였다. 부하지속곡선(Load duration curve)은 해당지점의 대표 유황곡선에 목표수질(Water quality standard)을 곱하여 작성되며, 실측 자료를 이용한 낙동강 본류 주요지점에 대한 수질오염총량 평가를 수행하였다(그림 1 참조). 이 때 평가시 적용한 실측 유량 및 수질자료는 환경부에서 현재 관측중인 수질오염총량관리 단위지점별 2004~2006년 기간동안의 실측 자료를 적용하였다. 부하지속곡선의 적용 절차는 다음과 같다.

- 1) 유황곡선 작성 : 일반적인 유황곡선은 주어진 유량 또는 부하량과 같은 매개변수가 값과 같거나 또는 초과하는 시간의 백분율을 나타내는 곡선으로 검토 대상 지점의 연속 일유량 자료를 이용하여 용이하게 얻을 수 있다. 일유량 자료를 이용한 해당지점의 유황곡선의 작성은 최대유량에서 최소유량 순으로 자료를 배열하여 특정 유량을 초과하는 일수를 백분율로 계산하여 순위별로 나열하여 작성한다.
- 2) 부하지속곡선 작성 : 일유량 자료와 해당지점의 목표수질 자료를 이용하여 다음의 식을 이용하여 부하지속곡선을 작성한다. 여기서, MOS는 안전율(Margin of safety)을 나타내고 있으며, 국내 수질오염총량관리제도에서는 10%를 적용하고 있다.

$$load(kg/day) = streamflow(m^3/sec) \times water\ quality\ standard(mg/l) \times conversion\ factor \times MOS$$

- 3) 실측자료를 이용한 해당지점의 목표수질 달성을 평가 : 관측된 자료의 목표수질 달성여부 등을 부하지속곡선을 이용한 평가를 위해서는 우선 상기 식을 이용하여 관측 자료의 부하량을 관측 유량과 관측 수질농도를 이용하여 계산한다. 다음으로 각 일유량을 유황곡선의 유량자료와 비교하여 초과 부하량 백분율에 대응하는 초과 유량 백분율의 값을 결정한다. 이때, 곡선의 위쪽에 위치하는 자료는 허용부하량을 초과한 것을 의미하며, 곡선 아래 위치한 자료는 허용부하량을 초과하지 않은 자료를 의미한다.

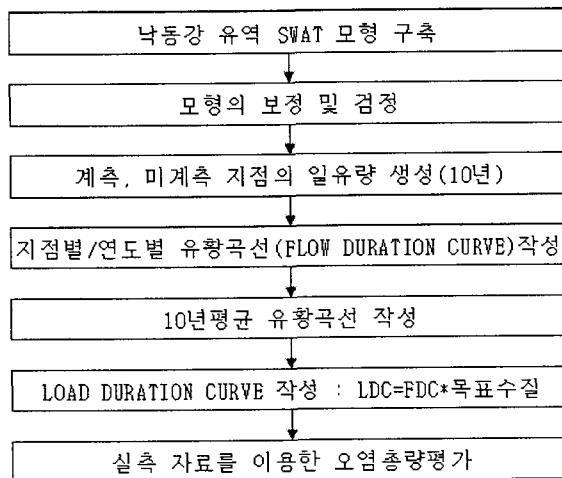


그림 1. 연구 절차도

3. 낙동강 본류에의 적용 및 평가

본 연구에서는 낙본G, 낙본L 지점에 대한 연도별 유황곡선 및 평균 유황곡선을 그림 2와 같이 작성하여, 그림 3과 같이 부하지속곡선을 작성하였다. 그림 4는 대구시 직상류 지점인 낙본F, 대구시 직하류 지점인 낙

본G 및 부산시 취수원 지점인 낙본L 및 금호강 중류인 금호B, 금호강 하류 지점인 금호C 지점의 유황곡선 및 부하지속곡선의 비교를 수행하였다. 검토 결과, 금호C의 경우, 유황곡선은 낙본F 지점보다 아래에 위치하고 있으나, 저수량과 갈수량 중간 지점에서의 부하지속곡선은 낙동강 본류인 낙본F 지점보다 크점을 알 수 있다. 즉, 낙동강 본류의 부하량 보다 금호강의 부하량이 높아짐을 알 수 있는데 이는 역으로 저갈수기 낙동강 전체 수질문제에 미치는 금호강의 비중이 크점을 알 수 있다.

그림 5 및 표 1은 낙본G 및 낙본L 지점의 실측 자료를 이용한 오염총량 목표수질 달성을 평가 결과를 나타낸 것이며 이때, 각 지점에서의 목표수질은 낙본G 2.9 mg/l, 낙본L은 3.1 mg/l이다. 유량크기를 반영한 관측 횟수를 살펴보면, 낙본G의 경우 풍수량 이상, 평수량~풍수량, 저수량~평수량, 갈수량~저수량, 갈수량 이하 구간에서 각각 14.71%, 27.94%, 25.00%, 32.35%, 0.00%로 관측되었음을 알 수 있다. 또한, 낙본L 지점의 경우는 풍수량 이상, 평수량~풍수량, 저수량~평수량, 갈수량~저수량, 갈수량 이하 구간에서 각각 10.77%, 24.62%, 32.31%, 16.92%, 15.38%로 관측되었음을 알 수 있다. 분석 결과, 비교적 유량 크기를 반영한 관측이 이루어지고 있으나, 낙본G의 경우 갈수량 이하 유량에 대한 관측이 없음을 알 수 있다. 초과율을 살펴보면, 낙본G 및 낙본L 지점에서 각각 39.71%, 38.46%로 산정되었다. 또한, 그림 6은 기준 부하지속곡선 및 실측자료를 유량과 부하량간의 비선형상관관계 곡선을 도시한 것으로 낙본G의 경우 저수량 구간에서 기준을 초과하는 교점이 발생되고 있음을 알 수 있으며, 낙본G의 경우 비점오염원 보다는 점오염원 관리가 필요함을 유추할 수 있다. 그러나, 낙본L 지점의 경우에는 기준을 초과하는 구간은 발생하지 않고 있음을 알 수 있다.

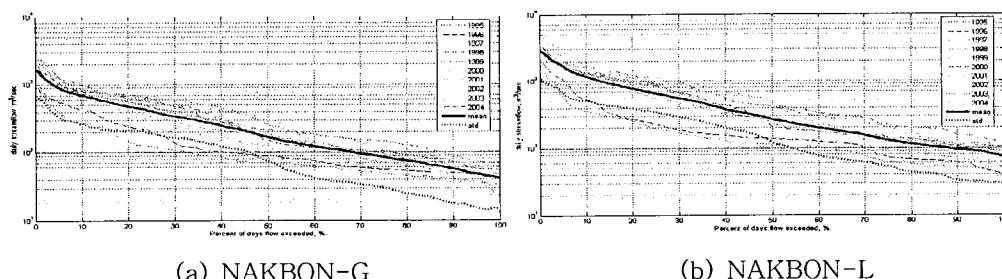


그림 2. 유황곡선 생성(낙본G, 낙본L)

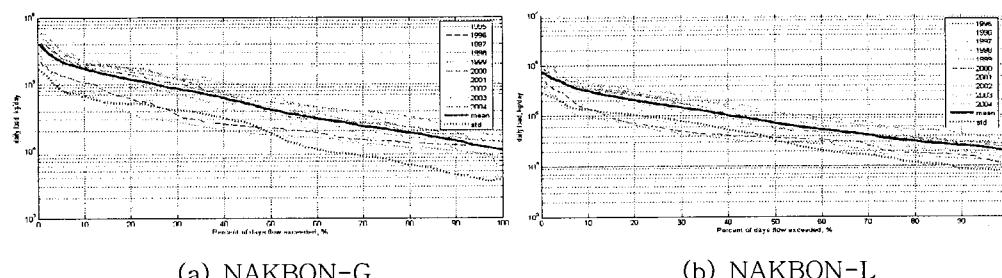


그림 3. 부하지속곡선 생성(낙본G, 낙본L)

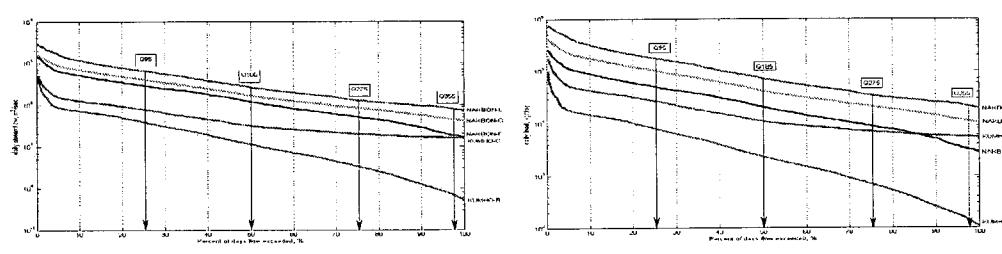
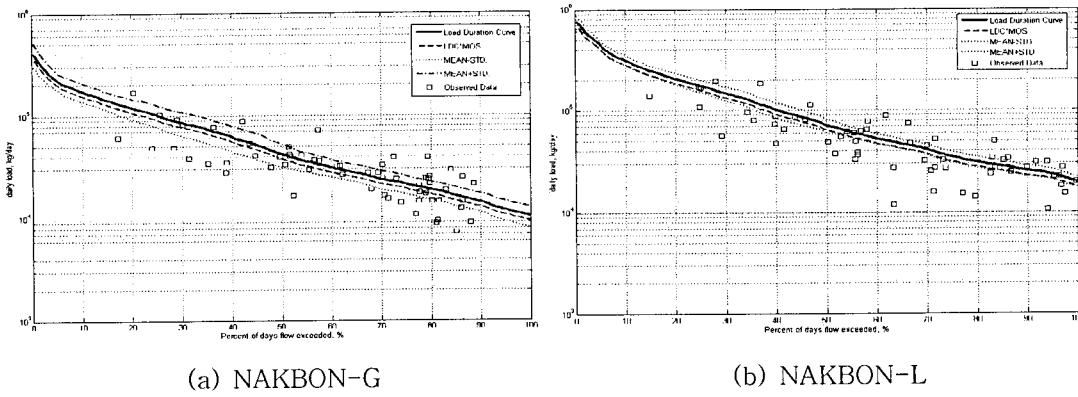


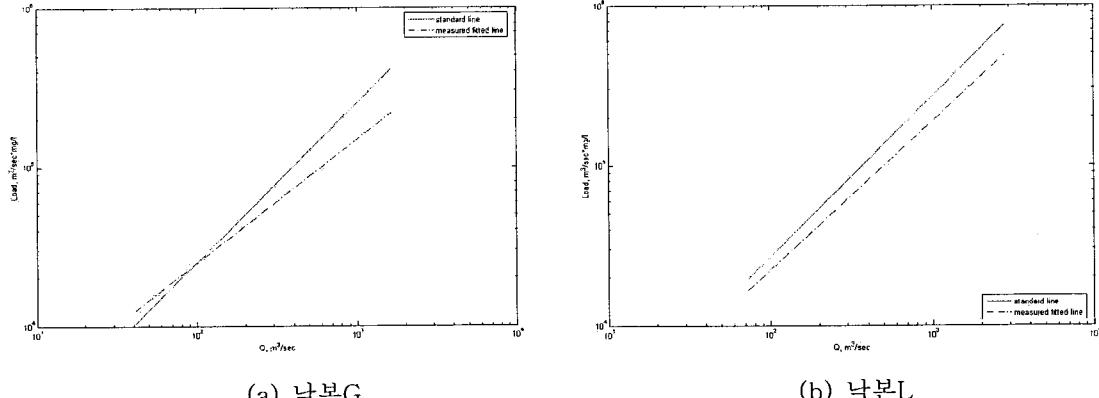
그림 4. 낙동강 주요지점 유황곡선 및 부하지속곡선 비교



(a) NAKBON-G

(b) NAKBON-L

그림 5. 부하지속곡선을 이용한 실측자료 평가(낙본G, 낙본L)



(a) 낙본G

(b) 낙본L

그림 6. 비선형회귀식을 이용한 평가(낙본G, 낙본L)

표 1. 실측자료를 이용한 목표수질 달성을 평가(낙본G, 낙본L)

	유황	유량(m^3/sec)	관측횟수 비율	초과율	미초과율
낙본G	풍수량	389.66	14.71%	20.00%	80.00%
	평수량	163.408	27.94%	26.32%	73.68%
	저수량	83.424	25.00%	52.94%	47.06%
	갈수량	44.522	32.35%	50.00%	50.00%
	갈수량이하	-	0.00%	-	-
	합계		100.00%	39.71%	60.29%
낙본L	풍수량	631.37	10.77%	0.00%	100.00%
	평수량	258.76	24.62%	18.75%	81.25%
	저수량	127.689	32.31%	33.33%	66.67%
	갈수량	76.797	16.92%	63.64%	36.36%
	갈수량이하	-	15.38%	80.00%	20.00%
	합계		100.00%	38.46%	61.54%

4. 결 론

본 연구에서는 낙동강 수질오염총량관리 유역을 대상으로 유역모형인 SWAT 모형을 이용하여 산정된 장기간의 일유량 자료와 목표수질을 이용하여 부하지속곡선을 작성하고, 실측자료를 이용한 평가를 수행하여

다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 본 연구에서는 부하지속곡선의 개념을 소개하고 낙동강 수질오염총량관리 지점에의 적용 및 평가를 통해 그 적용 및 활용 가능성을 확인하였다.
- 2) 낙동강 주요지점에 대한 유황곡선, 부하지속곡선을 생성하고 지점별 비교를 통해 금호강의 부하량의 비중을 확인하고 이의 필요성을 논하였다. 또한, 실측자료를 이용한 평가를 통해 유량 크기를 고려한 관측횟수를 평가하였으며, 그 문제점을 도출하였다.
- 3) 실측자료를 이용한 초파율을 산정한 결과, 낙본G, 낙본L 지점에서 각각 39.71%, 38.46%로 산정되었다.
- 4) 본 연구를 통해 부하지속곡선의 활용방안 및 적용시 문제점은 다음과 같다. 부하지속곡선은 해당지점의 수질현황을 시각적, 도식적으로 제공할 수 있어 수질오염총량관리의 이해를 높일 수 있으며, 수질 현황을 유량 특성을 반영하여 해석할 수 있도록 한다. 즉, 점오염원과 비점오염원을 구분하여 문제점을 특성화하고 관리방향을 제시할 수 있는데 활용될 수 있다. 그 외 계절별 수질변동, 수질 및 유량 모니터링의 적정성에 대한 평가, 지점간의 상호비교 등에 활용할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 부하지속곡선을 이용한 평가시 유량 크기에 따른 수질기준의 설정의 과학적인 근거 및 유량에 따른 안전율 적용의 합리성과 과학성에 대한 면밀한 검토를 통한 적용이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 낙동강 수계 제2차 수질오염총량관리 기준설정연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 신현석, 강두기, 김상단(2007). 낙동강유역 SWAT 모형 구축 및 물수지 시나리오에 따른 유황분석, 한국수자원학회 논문집, 제40권 제3호, pp.351-363.
2. Geonha Kim, Euiso Choi, Dongyul Lee(2005), Diffuse and point pollution impacts on the pathogen indicator organism level in the Geum River, Korea, Sceince of the Total Environment, 350, pp.94-105.
3. 환경부, 수질오염총량관리 업무편람, (2004).