

## 수질오염총량 단위유역의 유량조건별 수체 손상 평가를 위한 부하지속곡선 적용성 연구

황하선<sup>†</sup> · 윤춘경<sup>\*</sup> · 김지태<sup>\*\*</sup>

국립환경과학원 수질총량연구과

<sup>\*</sup>건국대학교

<sup>\*\*</sup>한국환경정책·평가연구원

## Application Load Duration Curve for Evaluation of Impaired Watershed at TMDL Unit Watershed in Korea

Ha-Sun Hwang<sup>†</sup> · Chun-Gyeong Yoon<sup>\*</sup> · Ji-Tae Kim<sup>\*\*</sup>

Water Pollution Cap System Division, National Institute of Environmental Research

<sup>\*</sup>Department of Environmental Science, Konkuk University

<sup>\*\*</sup>Korea Environment Institute (KEI)

(Received 31 May 2010, Revised 26 September 2010, Accepted 29 September 2010)

### Abstract

The purpose of this study was evaluated on the applicability of Load Duration Curve Method (LDC Method) using HSPF watershed model and sampling data for efficient TMDLs in Korea. The LDC Method was used for assessment pollutant characteristics in watershed and water quality variation in each water flow level. Load Duration Curve is applied for judge the level of impaired water-body and can be estimated the impaired level by pollutant, such as BOD, T-N, and T-P in this study depending on variation of stream flow. As a result, BOD, T-P was usually exceed the standard value at low flow and dry hydrologic period. Improvement of effluent concentration from WWTP and riparian buffer protection zone are effective to improve the water quality. T-N showed the worst condition at mid-range hydrologic period and moist hydrologic period. Therefore, soil erosion control program and BMPs for non-point source pollution control is effective for recovery the water quality, which can be useful method for management of water quality in the plan of recovery water quality spontaneously. Applicability of LDC Method was evaluated in the Nakbon A watershed. However, we need to consider more detailed and accumulated data set such as accurate GIS data and detail pollution data, and WWTP discharge water quality data for accurate evaluation of watershed. Overall, The LDC Method is adequate for evaluation of watersheds characteristics, and its application is recommended for watershed management and TMDL Implementation.

**keywords** : Flow Duration Curve, HSPF, Load Duration Curve, TMDL

### 1. 서론

우리나라는 지형적으로 자연효과 부족하고 동·서의 유역 경사가 크며 강우가 여름철에 집중되는 등 수자원 확보에 다소 불리한 조건을 가지고 있다. 또한, 급격한 인구증가, 산업화 그리고 무분별한 개발 등으로 수질은 점점 악화되고 이로 인한 이용 가능한 담수수자원의 부족으로 양질의 수자원을 확보하기 위한 지역간 분쟁이 빈번히 발생하고 있다(황하선, 2007).

이에 따라 정부는 목표수질 한도에서 유역의 오염물질 배출량을 총체적으로 관리하는 오염총량관리 제도를 새로이 도입하게 되었다(환경부, 2004). 이러한 정책전환은 지역의 총오염부하량을 감소시키면서 지역개발 욕구의 자율

조절을 유도하여 공공수역의 수질을 보전하고, 각 자치단체에 허용 가능한 오염배출량을 할당하여 관리함으로써 수질 오염에 대한 지역간 책임소재를 분명히 하고, 수자원 이용과 지역발전에 대한 유역 전체의 형평과 상생을 기하는 바람직한 정책방향으로 모아진다.

미국은 1972년부터 청정수법(Clean Water Act)에 의해 배출수 수질기준을 만족함에도 불구하고 수체의 수질기준을 만족하지 못할 경우, 각 주에서 TMDL을 적용하도록 하여 현재 많은 주가 시행을 하고 있다(Houck, 2002). 우리나라는 4대강 법에 의해 2004년부터 오염총량관리 기본계획을 수립하여 현재 시행 중에 있으며, 2015년을 목표로 한 2단계 오염총량관리 기본계획을 수립하는 등 제도가 안정적으로 정착되고 있다(환경부, 2002, 2006). 그러나 우리나라는 특정 유량조건(기준유량 조건)에서 목표수질을 달성·유지하기 위해 유역의 허용총량을 할당 관리하므로 총

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
undersun@korea.kr

량계획만으로는 유역 특성, 강우량에 따른 유역의 배출특성 등이 고려된 수체의 손상정도에 대한 평가가 어려운 실정이다.

부하지속곡선 방법은 계절별 유량 변동에 따른 수질 영향을 파악할 수 있으며, 목표수질의 빈도와 크기 및 허용 삭감부하량의 크기에 대한 이해를 쉽게 해주는 방법으로, 미국은 많은 주에서 부하지속곡선 방법을 이용하여 TMDL 설정 기법, 데이터 분석 기법 및 유량 규모별 점원 및 비점원 부하량 관리 기법으로 적용하고 있다 (Nebraska, 2002, 2004; Nevada, 2003; Oregon, 2004; South Calolina, 2004).

우리나라의 경우 중앙정부가 대상물질 및 광역시·도 경제지점의 목표수질을 정하고 이를 지자체가 준수하는 제도의 특성상, 지자체가 능동적으로 단위유역 말단지점의 수체 손상정도를 규명하여 과학적 합리적으로 수질 개선 대책을 수립하는 것이 무엇보다 선행되어야 한다.

본 연구는 낙동강수계 낙본A 단위유역을 대상으로 오염총량관리 추진을 통해 축적된 자료와 부하지속곡선(Load Duration Curve)을 이용하여 유량 조건에 따른 수체 손상정도를 파악하고 적절한 수질개선대안을 수립함으로써 우리나라 오염총량관리 발전을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 부하 지속곡선 방법(Load Duration Curve Method)

부하지속곡선 방법은 다양한 유량 조건의 수질 모니터링 자료를 이용하여 부하지속 곡선에 해당 기간 동안의 관측 수질 및 유량 자료를 도식하여 전체 유량규모에 대한 모니터링의 분포를 확인할 수 있으며, 이를 이용하여 하천 및 유역관리를 위한 최적의 유량 및 수질 모니터링 계획을 수립할 수 있게 해주는 방법으로, 지속곡선(Duration curve)은 주어진 유량 또는 부하량과 같은 매개변수가 주어진 값과 같거나 초과하는 시간의 백분율을 곡선화하여 그래픽하게 표현한 것이다(Nevada, 2003).

미국의 여러 주에서는 TMDL의 개발에 있어 평균유량과 같은 특정유량 조건이 아닌 모든 유량 조건의 적절한 수질 기준을 고려하여 오염물질의 문제를 특성화하고 이를 이행하기 위하여 부하지속곡선 방법을 이용하고 있다.

부하지속곡선 방법은 하천 수질관리의 문제점을 특성화하여 기술할 수 있으며, 목표수질의 빈도와 크기 및 허용 부하를 쉽게 나타낼 수 있고 삭감부하량의 크기에 대해 쉽게 이해할 수 있도록 하므로 일반인들에게 그 문제점과 TMDL의 달성 목표를 시각적으로 이해하기 쉽도록 해줄 수 있다.

### 2.2. 부하지속곡선 방법 적용

부하지속곡선 방법의 적용은 1) 유량지속곡선(Flow Duration Curve) 생성, 2) 부하지속곡선 생성 그리고 3) 부하지속곡선에 실측 자료를 도식화하는 과정으로 구분된다.

### 2.2.1. 유량지속곡선 작성

일유량 자료를 최대유량에서 최소유량 순으로 배열하여 특정유량을 초과하는 일수를 백분율로 계산한다(식 (1)).

$$\text{Percent of Days Flow Exceeded}(\%) = \frac{\text{Rank}/\text{Number of data}}{\times 100} \quad (1)$$

### 2.2.2. 부하지속곡선 작성

일유량 자료와 수질기준 자료를 이용하여 식 (2)에 의해 부하지속곡선을 작성한다.

$$\text{Load}(\text{kg/day}) = \text{Flow}(\text{m}^3/\text{s}) \times \text{WQS}(\text{mg/L}) \times 86.4 \quad (2)$$

여기서, WQS는 Water Quality Standard 이다.

### 2.2.3. 유량 및 수질 관측 자료 도식화

관측된 데이터를 부하지속곡선을 이용하여 평가하기 위해, 관측자료의 부하량을 관측 유량과 관측 수질 농도를 이용하여 계산한 후 각 일유량을 유황곡선의 유량자료와 비교하여 초과 부하량 백분율(percent of days load exceeded)에 대응하는 초과 유량 백분율(percent of days flow exceeded)의 값을 결정하여 도식화 한다.

## 2.3. 연구 대상 유역

부하지속곡선 방법을 적용하기 위한 본 연구의 대상유역은 낙동강 최상류 유역으로 강원도 태백시의 일부이며 황지천, 소도천, 철암천을 포함하고 있다(Fig. 1). 유역면적은 약 300 km<sup>2</sup>이고, 토지이용현황은 산지가 70%, 목초지가 12.3%, 농경지가 11.1%, 대지가 4.5%, 나지가 1.1%, 수체 0.7%로 대부분의 토지이용은 산지와 목초지 및 농경지이다(Table 1).

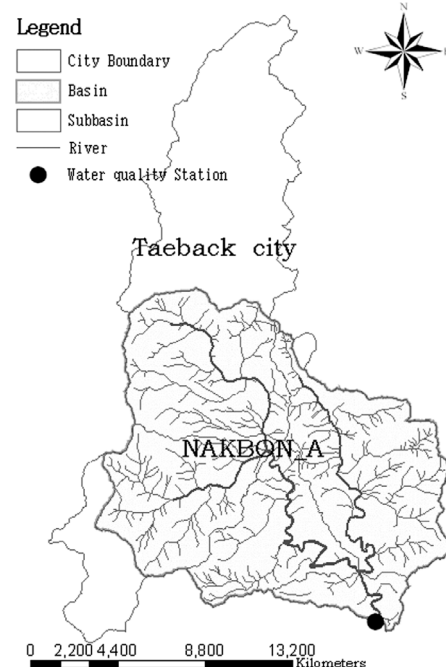


Fig. 1. The Nakbon-A watershed and monitoring stations.

**Table 1.** Landuse characteristics in study area

	Forest	Pasture	Agriculture	Urban	Barren	Water	Total
Area (km <sup>2</sup> )	210	36.9	33.3	13.5	3.3	2.4	300
Share (%)	70	12.3	11.1	4.5	1.1	0.8	100

본 연구유역은 낙동강수계 오염총량관리 낙본A 단위유역으로 현재 오염총량관리계획을 수립 시행 중이며 기준유량(저수량)은 1.404 m<sup>3</sup>/sec, 목표수질은 BOD 1.5 mg/L로 설정되어 있다(강원도, 2005).

**2.4. 지역 및 수질 평가 자료**

하천 수질평가를 위한 자료는 오염총량관리 낙본A 단위유역 말단에서 2004년부터 8일 간격으로 측정된 유량 및 수질자료(수질유량측정망시스템, 2010) 중 유량과 수질측정일자가 일치하는 자료를 선별하여 사용하였다.

**3. 결과 및 고찰**

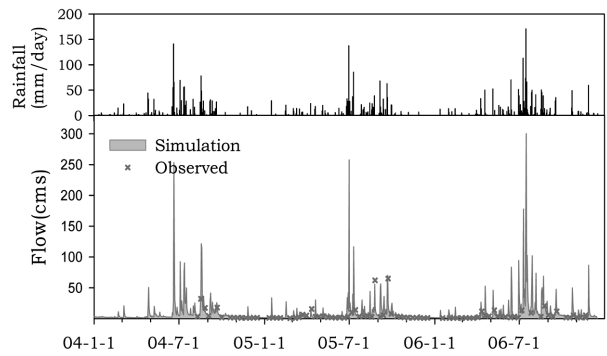
**3.1. 유역모형의 적용**

본 연구지역에서 유량지속곡선 작성을 위해 가용한 자료는 단위유역 말단에서 측정하고 있는 8일 간격의 실측 유량자료이다. 그러나 8일간격의 유량자료 만으로는 하천의 모든 유량조건을 대변하기 어려워 유량지속곡선을 작성하기에는 현실적으로 한계가 있다. 따라서, 간헐적 실측자료를 일단위의 유량자료로 보간하기 위해 대상유역에 대하여 HSPF(Hydrological Simulation Program - Fortran)모형을 구축하였다.

HSPF는 유역에서의 수문해석 및 오염물질의 거동 분석을 위해 세계적으로 널리 이용되고 있는 유역모형으로(전지홍 등, 2009) 우리나라에서도 많은 연구자들(신아현, 2008; 윤춘경 등, 2007a, 2007b; 정광욱 등, 2007)에 의해 다양한 유역을 대상으로 모형의 적용성을 입증한 바 있다.

모형 구축시 사용된 경위도 30 m 격자 크기의 수치고도 모델(Digital Elevation Model, DEM)과 토지이용도는 환경부에서 제공받았으며, 기상자료는 태백 기상관측소에서 관측한 강우량, 기온, 증발량, 전운량, 이슬점온도, 일사량, 풍속에 대하여 4년간(2003~2006)의 시간자료를 기상청으로부터 제공받아 이용하였다.

유출량에 대한 보정은 유출에 비교적 큰 영향을 주는 인자인 LZSN, INFILT, AGWRC, UZSN, DEEPER, LZETP, INTFW, IRC 등을 위주로 하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다. 단위유역 말단에서 실측된 86개의 자료에 대한 보정 결과를 보면 R<sup>2</sup>는 0.90, RMSE는 3.63 cms 그리고 EF는 87.98%을 나타냈다. Santhi 등(2001)에 따르면 R<sup>2</sup>가 0.6이상이면 보정을 종료할 것을 추천하고 있으며, Donigian (2000)은 과거 10년 넘게 HSPF 모형의 연구와 논의를 바탕으로 모형의 보·검증 결과 R<sup>2</sup>이 0.8 이상이면 “Very Good”이라 하였다. 이러한 기준으로 보았을 때 모형의 보정은 신뢰성(Assurance)이 있는 것으로 나타났다.



**Fig. 2.** Daily rainfall and daily mean runoff of observed and simulated on calibration period.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{P})^2} \tag{3}$$

$$SE = \left( \sum_{i=1}^n \frac{P_i - O_i}{n} \right)^{1/2} \times 100 \tag{4}$$

$$FE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i - \bar{P}} \times 100 \tag{5}$$

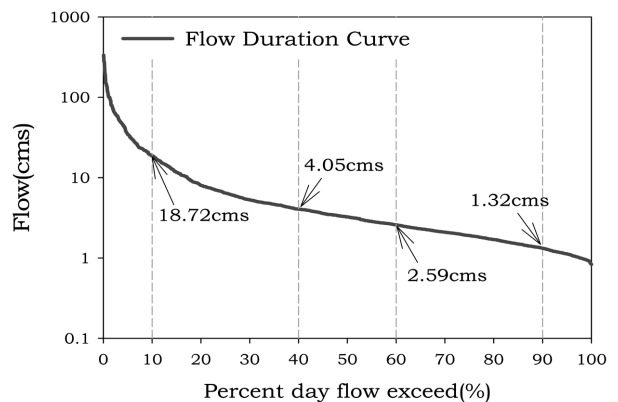
여기서,

P<sub>i</sub>와 O<sub>i</sub>는 예측치와 관측치이며,  $\bar{P}$ 는 평균측정값이며, n은 측정자료 개수이다.

**3.2. 지속곡선 작성**

**3.2.1. 유량 지속곡선 작성**

구축 및 보정된 유역모형에 의하여 생성된 3년간(2004~2006년)의 일단위 유량을 이용하여 최대유량에서 최소유량순으로 데이터를 배열하고 초과하는 일수를 백분율로 계산하여 유량지속곡선을 작성하였으며 그 결과는 Fig. 3과 같다.



**Fig. 3.** Result of flow duration curve.

**3.2.2. 부하지속곡선 작성**

부하지속곡선을 작성하기 위해서는 유량지속곡선 뿐 아

나라 오염물질에 대한 기준수질이 필요하다. 본 연구지역의 수질기준을 보면 물환경관리기본계획(환경부, 2006)에서는 매우 좋음(1a) 등급으로 설정되어 있으며, 수질오염총량관리 계획에서는 1단계('04년~'10년)의 경우 BOD 항목만 기준 유량인 10년 평균 저수량 조건에서 목표수질을 1.5 mg/L로 설정하여 관리하고 있으며(강원도, 2005), 2단계('11년~'15년)에서는 BOD 외 추가적으로 총인에 대하여 기준유량(10년 평균 저수량 및 평수량) 조건에서 목표수질을 0.057 mg/L로 설정하여 관리할 계획에 있다(강원도, 2010).

우리나라 하천의 생활환경 기준(환경부, 2009)에는 본 연구에 사용된 수질항목인 BOD, T-N, T-P 중 BOD만 있었으며 2009년 7월에 T-P가 추가되었고, 오염총량관리에서는 1단계 오염총량관리 대상물질을 BOD에 한정하고 있어 본 연구기간(2004~2006년) 동안의 수체의 주요 오염물질인 T-N, T-P에 대한 손상정도를 파악하기 위한 수질기준을 결정하기가 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 연구기간 동안의 실측 수질값의 평균을 수질기준으로 하여 부하지속곡선을 개발한 후 하천의 유량변동에 따른 오염물질별 손상정도를 파악 하였으며, 설정된 오염물질별 기준수질은 BOD, T-N, T-P가 각각 1.2 mg/L, 2.4 mg/L과 0.06 mg/L이다(Table 2).

유량지속곡선과 기준수질을 이용하여 부하지속곡선을 작성하였으며 그 결과는 Fig. 4와 같다. 누적 유량은 유량 크기의 정도에 따라 0~10%는 홍수량 조건, 10~40%는 풍수량 조건, 40~60%는 평수량 조건, 60~90%는 저수량 조건, 90~100%는 갈수량 조건으로 구분하여 분석하였으며(Table 3), 실측부하량은 계절의 변이성을 고려하여 4월에서 9월, 10월에서 3월기간으로 구분하여 분석하였다. 선

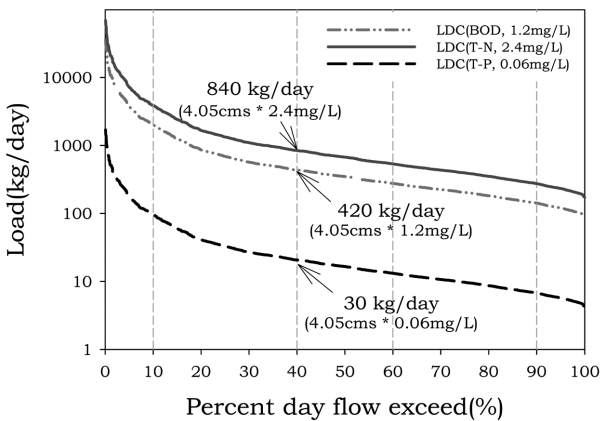


Fig. 4. Result of load duration curve.

Table 2. Comparisons of water quality standard in present study and others basic plans

	WQS	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
W.M.P*	Before 2009.7	below 1	-	-
	After 2009.7	below 1	-	below 0.02
TMDL**	First period (2004~2010)	1.5 (1.404 cms)	-	-
	Second period (2011~2015)	1.5 (1.267 cms)	-	0.057 (1.404 and 2.148 cms)
	This study	1.2	2.4	0.06

\* W.M.P : Water Environmental Management Basic Plan and Framework act on environmental policy

\*\* TMDL : Gangwon-do Basic Plan on TMDL Management in Nakdong river

Table 3. Classifications of hydrologic condition

Flow duration interval	Hydrologic condition class
0 ~ 10%	High flow
10 ~ 40%	Moist conditions
40 ~ 60%	Mid-Range conditions
60 ~ 90%	Dry conditions
90 ~ 100%	Low flow

Source : Cleland, 2003

의 위쪽에 위치하는 자료는 허용부하량과 관련이 있는 수질기준을 초과하는 것을 의미한다.

### 3.3. 유량·수질 실측자료 도식화

실측된 유량 및 수질 자료로부터 산정된 실측 부하량을 각 실측유량에 대응하는 초과 유량 백분율의 값을 결정하여 부하지속 곡선에 도식화 하였으며 그 결과는 Fig. 5와 같다.

BOD의 경우는 20~100%의 유량조건에서 허용총량을 초과하는 것으로 나타났으며, 계절적 특징을 보면 10월~3월 사이의 측정값은 대부분이 기준을 초과하고 있다. 이는 상대적으로 선행강우가 적은 기간에 발생하는 강우시 유역의 초기유출의 영향으로 판단된다. 또한 유량 크기에 따른 수체 손상 정도는 주로 갈수량 조건에서 허용부하량을 초과하는 것으로 나타났는데 이는 점오염원에 의한 영향으로 판단된다.

T-N은 저유량 조건(90~100%)를 제외하고 대부분의 유량 조건에서 허용총량을 초과하고 있는 것으로 나타났는데, T-N의 경우는 BOD와 T-P에 비해 유량의 크기에 따른 계절적 수질변화 뿐 아니라 수질의 변이도 크지 않은 것으로 나타났다. 유량크기에 따른 수체 손상정도는 주로 하천의 유량이 많은 시기에 허용총량을 초과하는 것으로 나타나 비점오염원에 의한 영향으로 판단된다.

T-P는 60~100%의 유량조건에서 허용총량을 초과하는 것으로 나타났으며, 계절적 변화를 보면 동일유량 조건에서 변화는 작은 것으로 나타났고 유량이 증가할수록 수질의 변이는 비교적 큰 것으로 나타났다. 유량조건에 따른 수체손상정도는 갈수량 조건과 저수량 조건에서 수질이 상대적으로 악화되는 것으로 나타났으며 그 다음으로 평수량 조건이나 그 외 조건에서는 허용총량을 달성하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 점오염원에 의한 영향으로 판단된다.

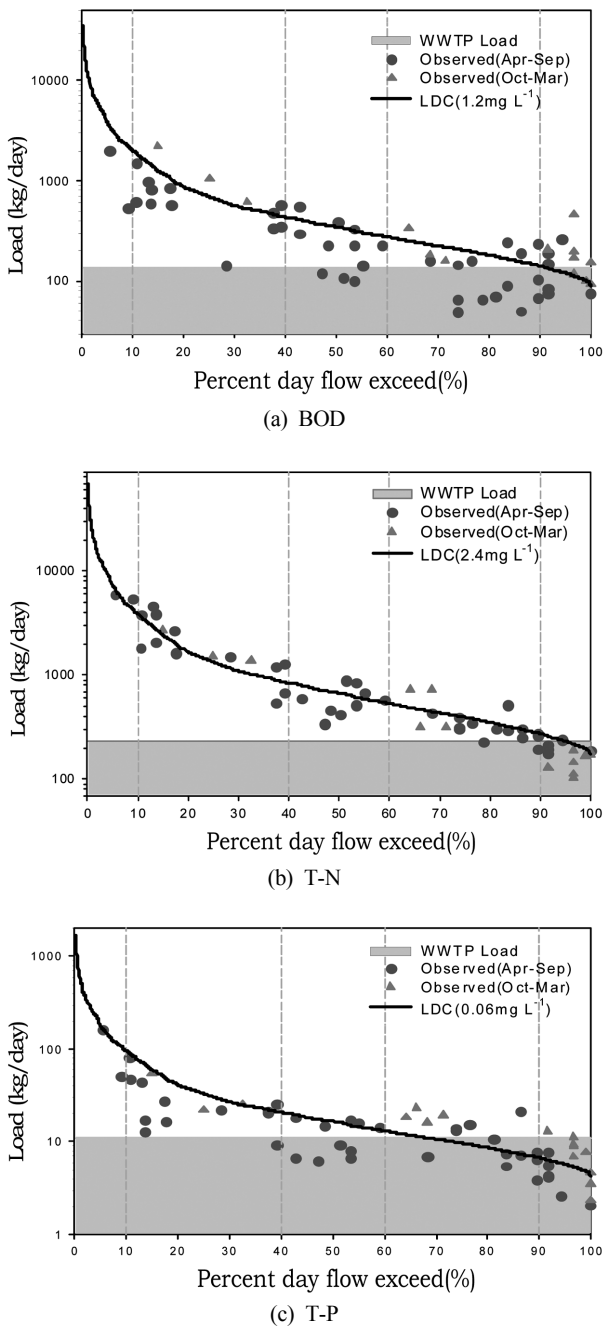


Fig. 5. Graphing of load duration curve and observed values.

3.4. 오염원별 수체 손상 평가 및 관리 방안

부하지속곡선 방법은 계절별 유량 변동에 따른 수질 영

향을 파악할 수 있는데, 초과 부하량 자료 중 좁은 범위에 집중되어 있는 자료들은 계절별 유량 변동으로 인한 영향과 관련이 있다. 또한 목표수질의 빈도와 크기 및 허용부하를 쉽게 나타낼 수 있으며, 삭감부하량의 크기에 대해 쉽게 이해할 수 있도록 해준다.

Nevada 주 환경청 보고서(Nevada, 2003)에 의하면 부하지속곡선 방법은 수질기준을 초과하는 경우의 유량 특성을 설명하는데 이용될 수 있으며, 특히 유량 규모를 고려한 점오염원 및 비점오염원 특성을 파악할 수 있다. 일반적으로 고유량(higher flows)기간 동안에 발생하는 수질기준 초과와 저유량(lower flows)기간 동안 발생하는 수질기준 초과의 경우는 점오염원으로 인한 영향일 가능성이 크다고 할 수 있다(Table 4).

또한, US EPA(2006)에 의하면 홍수기에 수질이 손상된 경우 주요 삭감방안은 BMPs, 개발 또는 하천제방 안정화, 토양침식조절 프로그램 등이 있으며, 풍수기와 평수기에 손상된 경우는 토양침식조절 프로그램, 수변식생대 조성 등이 있고 저수기에는 수변식생대 조성, 환경기초시설 수질개선 등이 있으며 갈수기에 손상된 경우는 환경기초시설 방류수질 개선 등이 있다.

이러한 정의에 따라 본 연구대상 유역에서의 부하지속곡선에 유량·수질 실측자료 도식화를 통해 유량 변화에 따른 오염원별 수체 손상정도를 파악하였으며 그 결과는 Table 5와 같다.

표에서 보는 바와 같이 BOD, T-N, T-P 모두 특정 유량 조건에서 허용총량을 초과하는 것으로 나타났으며, BOD와 T-P의 경우는 주로 저유량 조건에서 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 기준수질 만족을 위해서는 BOD의 경우 하수처리장의 방류수질을 우선 개선하고, 다음으로 수변식생대 조성 등으로 저유량 조건의 초기 강우시 유역으로부터의 유입을 줄이는 삭감방안이 효율적일 것으로 판단되며, T-N은 토양침식 예방 프로그램 또는 BMPS적용을 통하여 강우시 유역으로부터의 질소 유입을 저감하는 방법이 타당할 것으로 판단되며, 추가적으로 하수처리장의 방류수 수질 개선 및 수변식생대 조성 등으로 저유량 시기의 수질을 관리하는 방안이 타당한 것으로 판단된다.

3.5. 우리나라 오염총량제에서의 LDC 적용 가능성

다양한 유량 조건의 수질 모니터링 자료를 이용하여 부하지속곡선에 해당 기간동안의 관측 수질 및 유량 자료를

Table 4. Result of Potential relative importance of source area to contribute loads under given hydrologic condition

Contributing source area	Duration curve zone				
	High	Moist	Mid-Range	Dry	Low
Point source				M	H
On-site wastewater systems			H	M	
Riparian areas		H	H	H	
Storm water : Impervious areas	H	H	H		
Combined sewer overflows	H	H	M		
Bank erosion	H	M			

Note : H : High; M : Medium; L : Low, Source : U.S. EPA, 2006

**Table 5.** Result of impaired section according to the variable flow condition and implementation opportunities in study area

	High	Moist	Mid-Range	Dry	Low
BOD					upper
T-N		upper	upper	upper	
T-P				upper	upper
Implementation opportunities	Post development BMPs				
	Streambank stabilization				
	Erosion control program				
	Riparian buffer protection				
					Municipal WWTP

도식하면 전체 유량규모에 대한 수질의 분포를 확인할 수 있다. 미국의 오염총량관리에 있어 많은 주에서 부하지속곡선 방법을 이용하여 TMDL 설정 기법, 데이터 분석 기법 및 유량 규모별 점·비점원 부하량 관리 기법으로 적용하고 있으나, 부하지속곡선 방법은 수체의 오염물질간의 상호관계를 대변하기 어려우며, 소유역의 오염원을 분석하고 평가할 정도의 유량 및 수질측정 지점이 적고, 기준유량 조건의 목표수질을 설정하여 관리하고 있는 우리나라에서 오염총량관리 계획수립이나 이행평가 수단으로 사용하기는 아직까지 어려움이 있는 것으로 판단된다.

그러나, 오염총량관리에 대한 이해와 참여가 부족한 우리나라에서 부하지속곡선 방법을 이용하여 전체 유량 크기에 따른 수질오염 문제를 단순한 그림으로 제공함으로써 기존의 수질 규제에 익숙한 대중에게는 낮은 개념들을 많이 내포하고 있는 수질오염총량관리제의 시행에 있어서 대중의 참여, 특히 주민이 속한 수계의 수질특성을 보여 줌으로서 유역관리교육과 홍보를 위한 도구로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 우리나라 오염총량관리제의 특징을 보면 수계 구간에 대한 오염총량관리 기본계획을 수립하고 목표수질을 초과한 단위유역에 대해 시행계획을 수립하여 해마다의 이행사항을 평가하지만, 목표수질을 초과하지 않는 단위유역은 수질개선사업서를 통하여 자발적인 관리를 하도록 하고 있는데, 수질개선사업지역에서 유량에 따른 수질의 손상 정도를 파악하여 허용총량의 준수 여부와 합리적인 수질개선 계획을 수립하기 위한 기초자료로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

**4. 결론**

본 연구에서는 부하지속곡선을 이용하여 오염물질별 유량 조건에 따른 수체 손상정도를 파악하고 수질개선을 위한 적절한 관리방안을 제시함으로써 우리나라 오염총량관리 발전을 위한 기초 연구 자료를 제공하고자 낙동강 오염총량관리 단위유역 중 하나인 낙본A 단위유역을 대상으로 유량 및 부하지속곡선을 작성하고 실측수질을 도식화하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 8일 간격의 총량 유량 자료로부터 일 유량자료를 생성하여 유량지속곡선을 작성하고자 WinHSPF 모형을 적용

하였으며, 보정 결과 R<sup>2</sup>는 0.90, RMSE는 3.63 cms 그리고 EF는 87.98%으로 나타나 모형의 보정은 신뢰성이 있는 것으로 나타났으며, 유역모형을 이용하여 8일 간격의 유량 자료를 일 유량 자료로 변환이 가능한 것으로 나타났다.

- 2) 유량지속곡선 및 기준수질로부터 부하지속곡선을 구축하여 총량측정 부하량(유량×수질)을 도식화하여 유량 변화에 따른 오염원별 수체 손상정도를 분석한 결과 BOD, T-N, T-P 모두 특정 유량조건에서 허용총량을 초과하는 것으로 나타났다. BOD와 T-P의 경우는 주로 저유량 조건에서 초과하는 것으로 나타나 환경기초시설의 방류수질 개선, 수변식생대 조성 등의 삭감방안이 효율적일 것으로 판단되며, T-N은 주로 고유량 조건에서 기준을 초과하는 것으로 나타나 수체의 수질개선을 위해 토양침식 예방 프로그램 또는 BMPS적용이 필요한 것으로 판단된다.
- 3) 부하지속곡선 방법은 오염총량관리에 대한 대중의 참여 유동과 자발적인 수질개선사업지역에서 유량에 따른 수질의 손상 정도를 파악하여 허용총량의 준수 여부와 합리적인 수질개선 계획을 수립하기 위한 기초자료로서의 활용이 가능할 것으로 판단된다.
- 4) 부하지속곡선을 이용하여 오염총량관리 계획 수립 및 평가 등 다양한 적용을 위한 우리나라 오염총량관리 특성에 맞는 방법론을 개발하여야하며, 정확한 공간정보 자료 확보 및 세분화되고 정확한 오염원 자료가 필요한 것으로 판단된다.

**참고문헌**

강원도(2005). 낙동강수계 강원도 오염총량관리 기본계획.  
 강원도(2010). 제2단계 강원도 낙동강수계 수질오염총량관리 기본계획.  
 수질유량측정망시스템(2010). <http://water.nier.go.kr/>.  
 신아현(2008). BASINS/WinHSPF를 이용한 충주댐 유역의 댐 모의 및 비점오염 저감방안 연구. 석사학위논문, 건국대학교.  
 윤춘경, 신아현, 정광욱, 장재호(2007a). BASINS/WinHSPF를 이용한 남한강 상류 유역의 비점오염원 저감효율 평가. 수질보전 한국물환경학회지, 23(6), pp. 951-960.

- 윤춘경, 한정윤, 정광욱, 장재호(2007b). 소양강대 유역의 오염부하량 산정을 위한 BASINS/WinHSPF 적용. *한국유수학회지*, **40**(2), pp. 201-213.
- 전지홍, 최동혁, 김정진, 김태동(2009). 수질학적 관점에서의 수문모델 유출량 보정 방법 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(3), pp. 432-440.
- 정광욱, 윤춘경, 장재호, 김형철(2007). BASINS/HSPF를 이용한 용담댐유역의 오염부하량 산정. *한국농공학회지*, **49**(2), pp. 61-74.
- 환경부(2002). 낙동강수계 오염총량관리 기본방침.
- 환경부(2004). 수질오염총량관리 업무편람.
- 환경부(2006). 물환경관리기본계획 - 4대강 대권역 수질보전 기본계획('06-'15).
- 환경부(2009). 환경정책기본법.
- 황하선(2007). 우리나라 수질오염총량관리에 있어 유역특성을 고려한 BASINS/WinHSPF의 적용성 연구 - 낙동강수계를 중심으로 -. 박사학위논문, 건국대학교.
- Cleland, B. R. (2003). TMDL Development from the "Bottom up"-Part III: Duration Curve and Wet Weather Assessment. *National TMDL Science and Policy 2003-WEF Specialty Conference*, Chicago, IL.
- Donigian, Jr., A. S. (2000). *HSPF Training Workshop Handbook and CD. Lecture #19. Calibration and Verification Issues, Slide #L19-22*. EPA Headquarters, Washington Information Center, 10-14 January, 2000. Presented and prepared for U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology, Washington, D.C.
- Houck, O. A. (2002). *The Clean Water Act TMDL Program*, Environmental Law Institute.
- Nebraska (2002). *Nebraska's Approach for Developing TMDLs for Streams using Load Duration Curve*.
- Nebraska (2004). *Total Maximum Daily Loads for the Big Blue River Basin(Fecal coliform and E. coli Bacteria)*, Nebraska Department of Environmental Quality Planning Unit, Water Quality Division.
- Nevada (2003). *Load Duration Curve Methodlogy for Assessment and TMDL*, Development Nevada Division of Environmental Protection.
- Oregon (2004). *Bacteria Technical Appendix, Willamette Basin TMDL*, Oregon Department of Environmental Quality.
- Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Dugas, W. A., Srinivasan, R., and Hauck, L. (2001). Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint source. *Journal of the American Water Resource Association*, **37**(5), pp. 1169-1188.
- South California (2004). *Total Maximum Daily Load Development for the Upper Broad River Watershed Fecal Coliform Bacteria*, South Calolina Department of Health and Environmental Control.
- U.S. EPA Office of Wetlands, Oceans, & Watersheds (2006). *An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs*.